

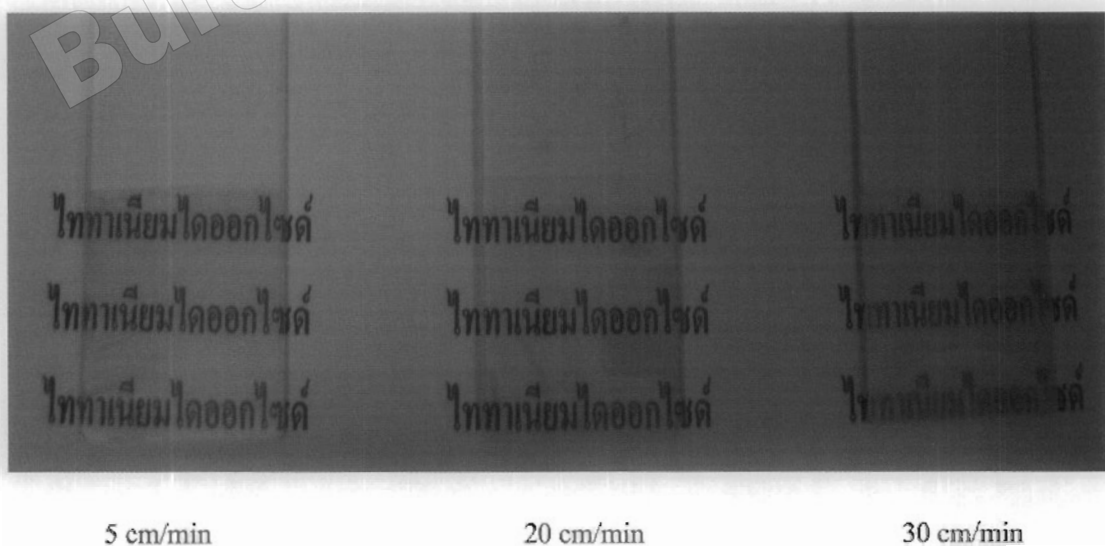
บทที่ 4

ผลการวิจัย

บทนี้เป็นข้อมูลจากการทดลองตามแนวทางการศึกษาในบทที่ 3 ซึ่งแบ่งเป็นผลของการเตรียมฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ โดยในขั้นแรกทำการทดลองโดยใช้อัตราเร็วในการจุ่มเคลือบของฟิล์มมีค่าต่าง ๆ กัน เพื่อหาเงื่อนไขอัตราเร็วที่เหมาะสมในการเคลือบฟิล์มบาง โดยดูจากลักษณะพื้นผิวฟิล์มบางที่เคลือบได้ หลังจากนั้นใช้อัตราเร็วในการจุ่มเคลือบดังกล่าว ไปใช้สำหรับจุ่มเคลือบฟิล์มบางภายใต้เงื่อนไขที่ความหนาของฟิล์มค่าต่าง ๆ กัน เพื่อศึกษาผลของความหนาของฟิล์มบางที่มีต่อ โครงสร้างผลึกและสมบัติทางแสงของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ต่อไป ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ผลของอัตราเร็วในการจุ่มเคลือบ

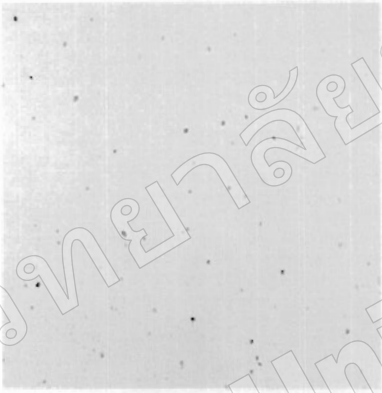
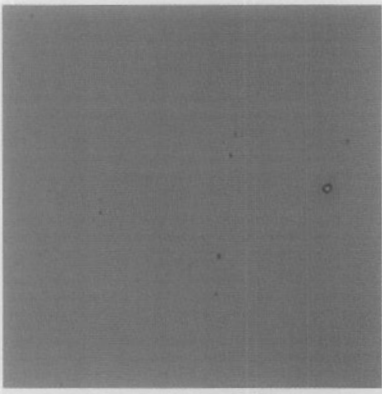
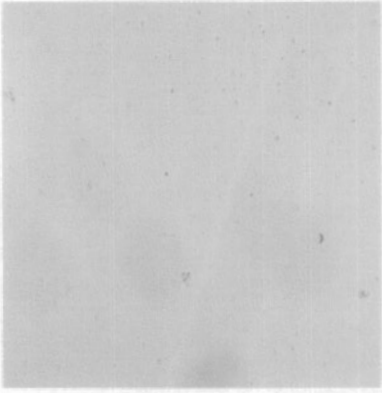
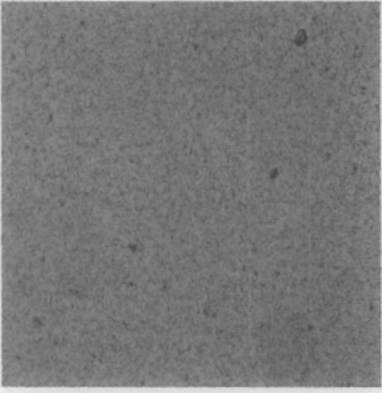
ภาพที่ 4-1 แสดงฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบด้วยวิธีโซลเจลภายใต้อัตราเร็วในการเลื่อนกระจกสไลด์ขึ้นจากสารละลายที่อัตราเร็ว 5 cm/min 20 cm/min และ 30 cm/min เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าพบว่า ฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่อัตราเร็ว 5 cm/min และ 20 cm/min มีลักษณะใส และเรียบ ส่วนฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่ความเร็ว 30 cm/min เนื้อฟิล์มมีลักษณะขรุขระ



ภาพที่ 4-1 ลักษณะของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่อัตราเร็วในการจุ่มเคลือบต่าง ๆ

เมื่อนำฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่อัตราเร็ว 5 cm/min 20 cm/min และ 30 cm/min ไปวิเคราะห์สภาพพื้นผิวระดับจุลภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) ผลปรากฏดังตารางที่ 4-1

ตารางที่ 4-1 ลักษณะของพื้นผิวฟิล์มที่อัตราเร็วต่าง ๆ จากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง

อัตราเร็วในการ จุ่มเคลือบ	กำลังขยาย 40X	กำลังขยาย 200X
5 cm/min		
20 cm/min		
30 cm/min		

จากตารางที่ 4-1 พบว่า เมื่อนำฟิล์มไปวิเคราะห์สภาพพื้นผิวระดับจุลภาคจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ที่กำลังขยาย 40X พบว่า ที่อัตราเร็ว 5 cm/min 20 cm/min และ 30 cm/min เนื้อฟิล์มค่อนข้างเรียบ พบรูพรุนขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่วบริเวณเนื้อฟิล์ม ที่กำลังขยาย 200X พบว่า ที่อัตราเร็ว 5 cm/min และ 20 cm/min เนื้อฟิล์มยังคงเรียบและพบรูพรุน ส่วนที่อัตราเร็ว 30 cm/min พบลักษณะของอนุภาคขนาดเล็ก กระจายอยู่ในเนื้อฟิล์ม

เมื่อนำฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่อัตราเร็ว 5 cm/min 20 cm/min และ 30 cm/min ไปวัดความหนาของฟิล์ม ด้วยเครื่อง SurfTest พบว่า ความหนาของฟิล์มบางที่อัตราเร็วต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-2 ความหนาของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่อัตราเร็วต่าง ๆ

อัตราเร็วในการจุ่มเคลือบ (cm/min)	ความหนาของฟิล์ม (nm)
5	78
20	111
30	154

จากข้อมูลทั้งหมดในข้างต้น พบว่าฟิล์มบางที่เคลือบภายใต้อัตราเร็วในการเคลื่อนกระจกสไลด์ขึ้นจากสารละลาย ด้วยอัตราเร็ว 5 cm/min 20 cm/min และ 30 cm/min พบว่าความหนาของฟิล์มเพิ่มขึ้นตามอัตราเร็วที่เพิ่มขึ้น โดยที่อัตราเร็ว 30 cm/min ฟิล์มบางที่ได้มีความหนา 154 nm แต่ในขณะเดียวกันเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นลักษณะพื้นผิวระดับจุลภาคพบว่าฟิล์มบางที่เคลือบได้มีลักษณะขรุขระ ไม่ใส เพราะเกิดอนุภาคขนาดเล็ก ที่มีลักษณะขรุขระกระจายอยู่ทั่วเนื้อฟิล์ม ดังนั้น อัตราเร็วที่เหมาะสมในการเคลือบฟิล์ม เพื่อคุณสมบัติของความหนาที่มีต่อลักษณะเฉพาะของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ในขั้นตอนต่อไป จึงเลือกใช้อัตราเร็วในการเคลื่อนกระจกสไลด์ขึ้นจากสารละลาย ที่ 20 cm/min เพราะชั้นฟิล์มที่เคลือบได้มีความหนา 111 nm และเนื้อฟิล์มมีลักษณะใสและเรียบ ในขณะที่อัตราเร็ว 5 cm/min เนื้อฟิล์มที่เคลือบได้แม้จะมีลักษณะใสเช่นกัน แต่ความหนาของฟิล์มที่เคลือบได้มีค่าค่อนข้างน้อย คือ 78 nm เท่านั้น

ผลของจำนวนชั้นในการจุ่มเคลือบ

เมื่อเลือกอัตราเร็วที่เหมาะสมในการทดลอง คือ 20 cm/min และได้ทำการจุ่มเคลือบฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ ที่จำนวนชั้นในการจุ่มเคลือบ 1 ชั้น 2 ชั้น และ 3 ชั้น เพื่อศึกษาผลของความหนาที่มีต่อโครงสร้างและสมบัติทางแสงของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ ผลปรากฏว่าฟิล์มบางที่ 1 ชั้น 2 ชั้น และ 3 ชั้น มีลักษณะใส เรียบ และมีการยึดเกาะฟิล์มที่ดี (ภาพที่ 4-2



ภาพที่ 4-2 ลักษณะของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่จำนวนชั้นในการจุ่มเคลือบ 1 ชั้น 2 ชั้น และ 3 ชั้น

เมื่อนำฟิล์มบางที่เคลือบได้ 1 ชั้น 2 ชั้น และ 3 ชั้น มาวัดความหนาของฟิล์มด้วยเครื่อง Surfist ดังแสดงในตารางที่ 4-3

ตารางที่ 4-3 ความหนาของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่จำนวนชั้นในการจุ่มเคลือบต่าง ๆ

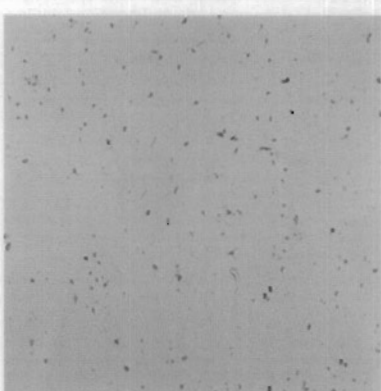
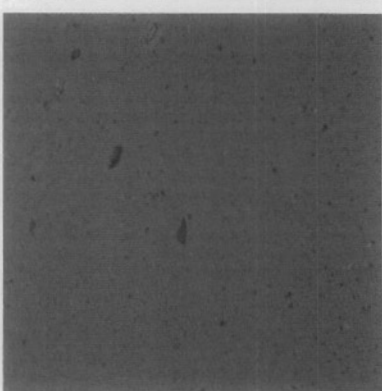
จำนวนชั้นในการจุ่มเคลือบ (ชั้น)	ความหนาของฟิล์ม (nm)
1	111
2	160
3	208

จากตารางความหนาของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่จำนวนชั้นในการจุ่มเคลือบ 1 ชั้น 2 ชั้น และ 3 ชั้น พบว่า ถ้าจำนวนชั้นในการจุ่มเคลือบมากขึ้น ความหนาของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์เพิ่มขึ้น

เมื่อนำฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ไปวิเคราะห์สภาพพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ผลปรากฏดังตารางที่ 4-4

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

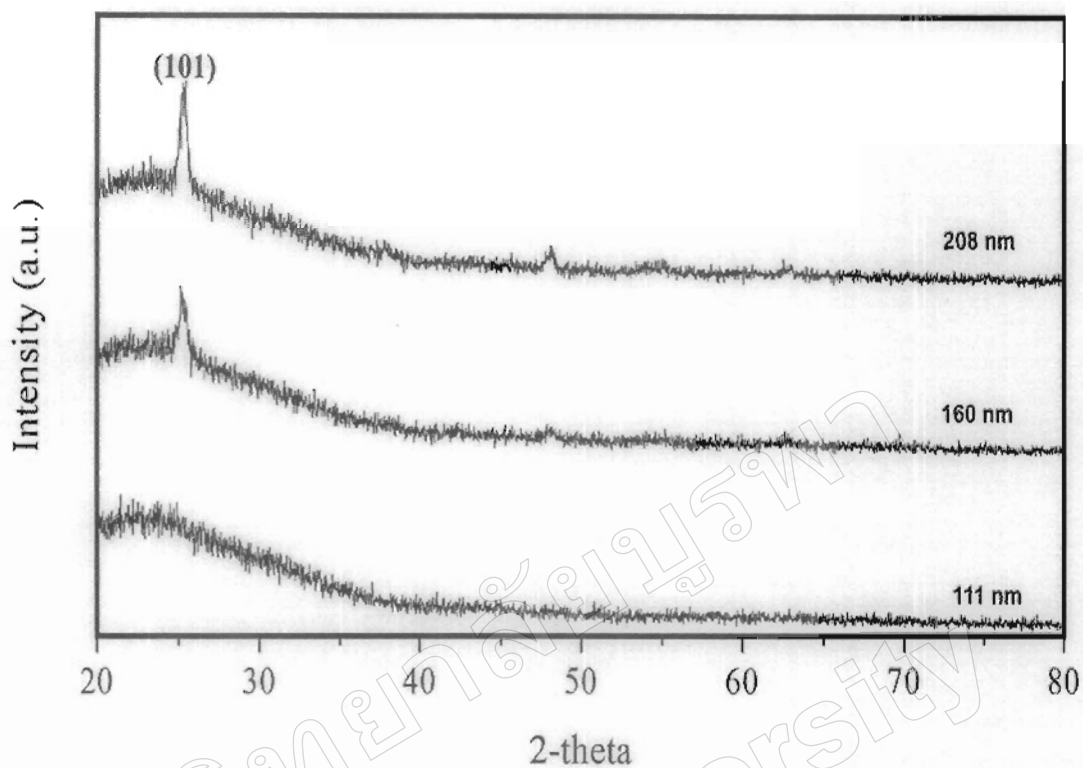
ตารางที่ 4-4 ลักษณะของพื้นผิวฟิล์มที่มีความหนาต่าง ๆ ของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ จากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง

ความหนา ของฟิล์ม (nm)	กำลังขยาย 40X	กำลังขยาย 200X
111		
160		
208		

จากตารางที่ 4-4 พบว่า เมื่อนำฟิล์มไปวิเคราะห์สภาพพื้นผิวระดับจุลภาคจากกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง ที่กำลังขยาย 40X พบว่า ที่ความหนา 111 nm และ 160 nm เนื้อฟิล์มค่อนข้างเรียบ พบรูพรุนขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่วบริเวณเนื้อฟิล์ม และที่ความหนา 208 nm พบรอยแตกกระจายอยู่ทั่วบริเวณเนื้อฟิล์ม ที่กำลังขยาย 200X พบว่า ที่ความหนา 111 nm และ 160 nm เนื้อฟิล์มยังคงเรียบและพบรูพรุนอยู่ และที่ความหนา 208 nm พบรอยแตกชัดเจนและมีลักษณะของอนุภาคนาขนาดเล็กกระจายอยู่ในเนื้อฟิล์ม

โครงสร้างผลึกของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์

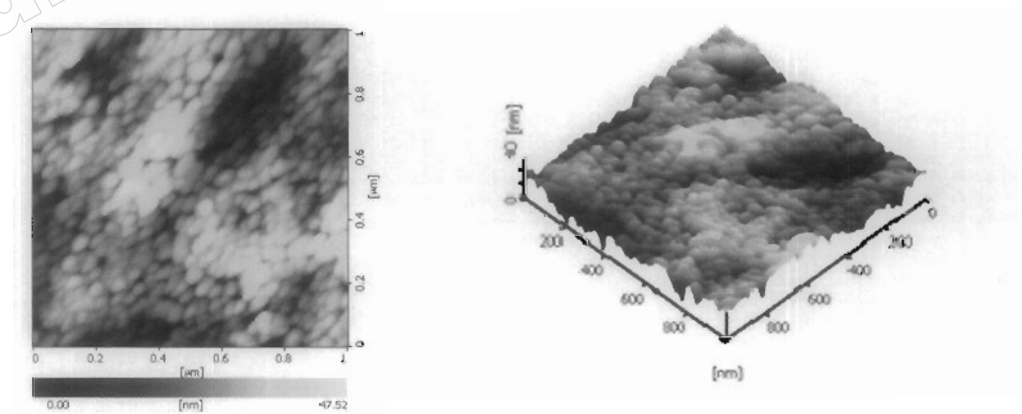
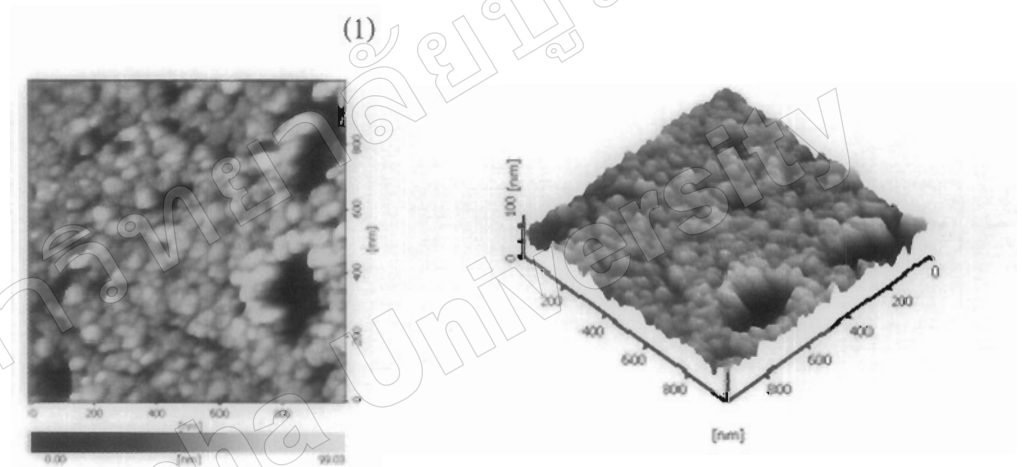
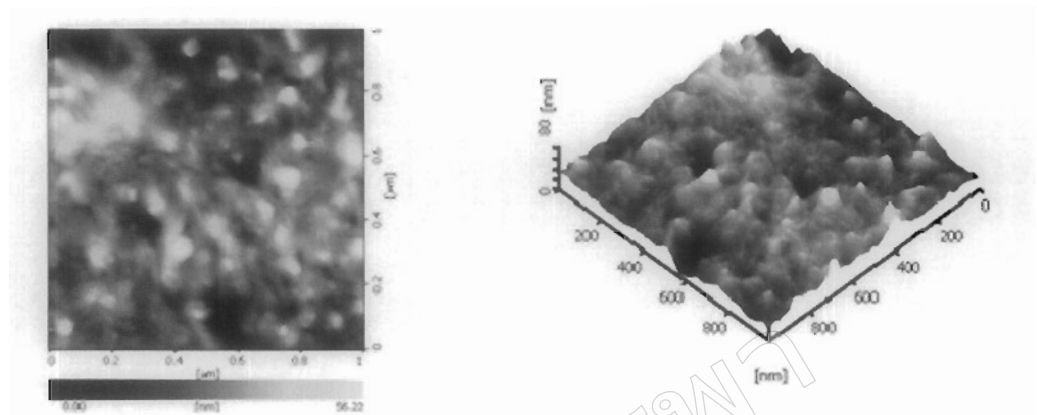
ภาพที่ 4-3 แสดงลักษณะทางโครงสร้างผลึกของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ ที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD พบว่า ฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่ความหนา 111 nm เมื่อนำมาวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD จึงไม่พบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของไททาเนียมไดออกไซด์ในเฟสอนาเทส ส่วนฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่ความหนา 160 nm และ 208 nm พบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของไททาเนียมไดออกไซด์ในเฟสอนาเทสปรากฏที่ระนาบผลึก (101) ที่มุม 2θ เท่ากับ 25.24 และ 25.28 องศา ตามลำดับ และเมื่อนำไปคำนวณหาขนาดผลึกของไททาเนียมไดออกไซด์ ซึ่งพบว่า ฟิล์มบางที่ความหนา 111 nm ไม่พบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของไททาเนียมไดออกไซด์ จึงไม่สามารถคำนวณหาขนาดของผลึกได้ ส่วนฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่ความหนา 160 nm และ 208 nm สามารถคำนวณหาขนาดของผลึกได้เป็น 17.48 nm และ 17.71 nm ตามลำดับ ซึ่งมีขนาดผลึกที่ไม่แตกต่างกัน นอกจากนี้ความเข้มของรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของไททาเนียมไดออกไซด์จะมีค่าสูงขึ้น เมื่อจำนวนชั้นในการเคลือบของฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลเนื่องจากความหนาของฟิล์มที่มีค่าเพิ่มขึ้นตามจำนวนชั้นในการเคลือบ



ภาพที่ 4-3 ผลการวิเคราะห์ฟิล์มบางไททานเนียมไดออกไซด์ด้วยเทคนิค XRD ที่ความหนาต่าง ๆ

ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางไททานเนียมไดออกไซด์

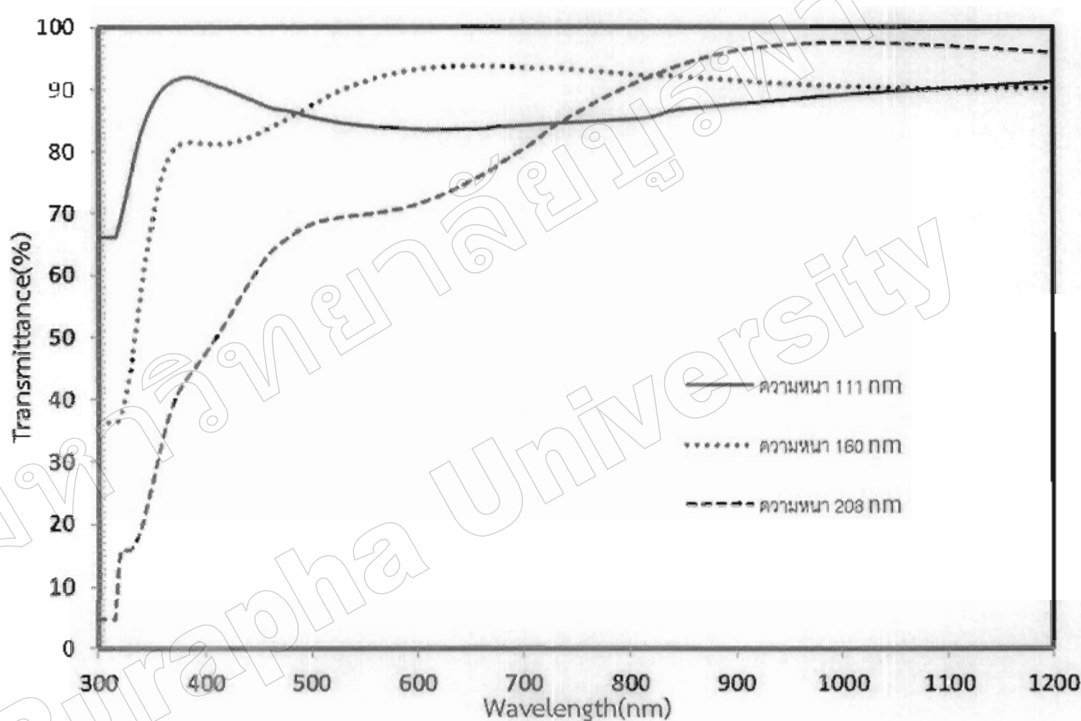
ผลของลักษณะพื้นผิว ความหยาบผิวและหาความหนาของฟิล์มบางไททานเนียมไดออกไซด์ที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค AFM แสดงในภาพที่ 4-4 พบว่า ฟิล์มบางที่ความหนา 111 nm ลักษณะของเกรนยังไม่ชัดเจน ที่ความหนา 160 nm และ 208 nm ลักษณะเกรนผลึกของฟิล์มมีลักษณะกลมรี ขนาดของเกรนมีขนาดเล็กในระดับนาโน โดยมีค่าประมาณ 60 nm นอกจากนี้ยังพบรูพรุนขนาดเล็กบนพื้นผิวฟิล์ม ที่ทุกเงื่อนไขของการเคลือบ



ภาพที่ 4-4 สภาพพื้นผิวและภาพ 3 มิติของฟิล์มบางไททานเนียมไดออกไซด์ที่ความหนาต่างๆ

สมบัติทางแสงของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์

ผลการศึกษาฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ ดังแสดงในภาพที่ 4-5 พบว่า ในช่วงความยาวคลื่น 300-500 nm เปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงลดลงเมื่อฟิล์มมีความหนาเพิ่มขึ้น และเมื่อพิจารณาที่ความยาวคลื่น 550 nm พบว่า เปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่ความหนา 111 nm 160 nm และ 208 nm มีค่าเป็น 84.11% 91.29% และ 69.82% ตามลำดับ



ภาพที่ 4-5 เปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่ความหนาต่างๆ

เมื่อนำเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงที่วัดได้จากเครื่องสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ของฟิล์มบางที่เคลือบได้มาคำนวณหาค่าแถบช่องว่างพลังงาน โดยค่าแถบช่องว่างพลังงานที่ความหนาต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 4-5 พบว่า เมื่อความหนาของฟิล์มบางไททานเนียมไดออกไซด์เพิ่มขึ้น ทำให้ค่าแถบช่องว่างพลังงานมีค่าลดลง

ตารางที่ 4-5 ค่าแถบช่องว่างพลังงานของฟิล์มบางไททานเนียมไดออกไซด์ที่ความหนาต่าง ๆ

ความหนาของฟิล์ม (nm)	ค่าแถบช่องว่างพลังงาน (eV)
111	3.20
160	3.15
208	2.90