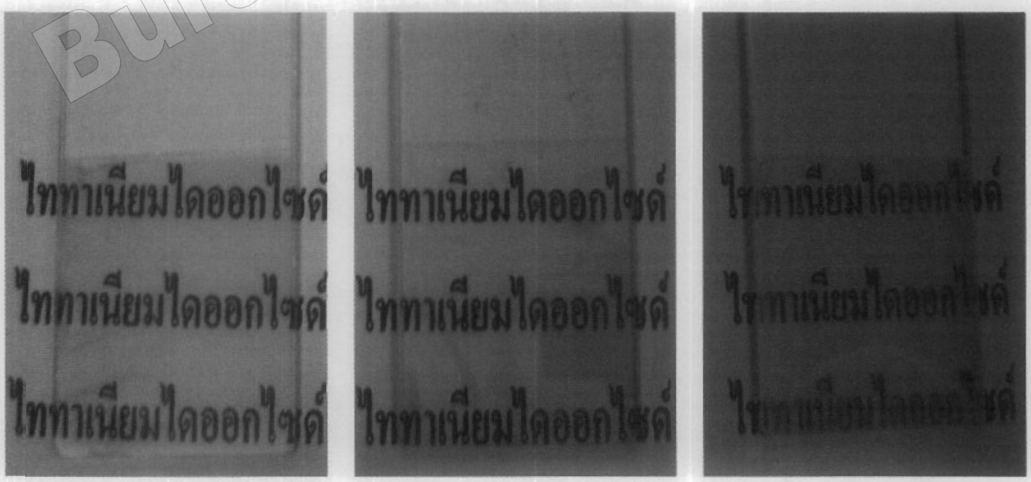
บทที่ 4

ผลและอภิปรายผลการวิจัย

บทนี้เป็นผลและอภิปรายผลการวิจัย ตามแนวทางการศึกษาในบทที่ 3 แบ่งเป็น 5 ตอน ดังนี้ ผลของอัตราเร็วในการจุ่มเคลือบ ผลของจำนวนชั้นของฟิล์มต่อลักษณะทางกายภาพ ผลของจำนวนชั้นของฟิล์มต่อโครงสร้างผลึก ผลของจำนวนชั้นของฟิล์มต่อลักษณะพื้นผิว ความหนาและความหยาบผิว และ ผลของจำนวนชั้นของฟิล์มต่อสมบัติไฮโดรฟิลิก ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ผลของอัตราเร็วในการจุ่มเคลือบ

ฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ทั้งหมดในงานวิจัยนี้เคลือบด้วยวิธีจุ่มเคลือบ จากสารเคลือบที่เตรียมด้วยเทคนิคโซลเจล ขั้นตอนนี้เป็นการทดลองหาอัตราเร็วที่เหมาะสมในการจุ่มเคลือบ เพื่อใช้ในการเตรียมฟิล์มสำหรับทดลองในงานวิจัยนี้ โดยแปรค่าอัตราเร็วในการจุ่มเคลือบต่างกัน 3 ค่า คือ 10 cm/min 20 cm/min และ 30 cm/min ผลการศึกษาพบว่า ฟิล์มที่เคลือบได้ เมื่อใช้อัตราเร็วเท่ากับ 10 cm/min และ 20 cm/min ฟิล์มมีลักษณะเรียบและใส ส่งผ่านแสงได้ดี ส่วนฟิล์มที่ได้เมื่อใช้อัตราเร็วในการจุ่มเคลือบเท่ากับ 30 cm/min พบว่ามีลักษณะเรียบและใส ส่งผ่านแสงได้ดี เนื้อฟิล์มมีลักษณะขาวขุ่นส่งผ่านแสงน้อยลง ดังแสดงในภาพที่ 4-1 ซึ่ง แสดงลักษณะทางกายภาพของฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบด้วยวิธีจุ่มเคลือบ เมื่อแปรค่าอัตราเร็วในการจุ่มเคลือบ



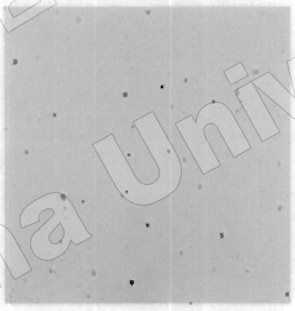
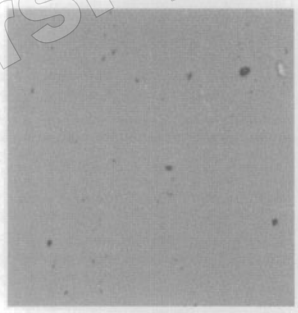
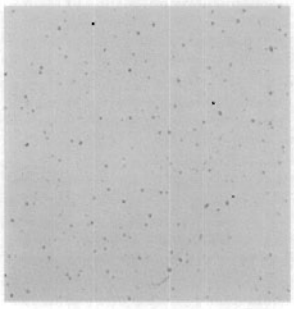
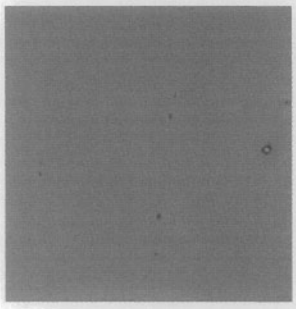
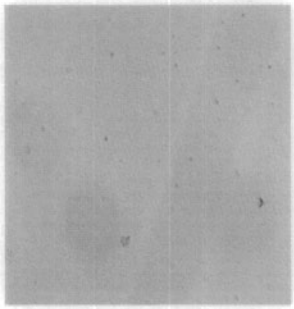
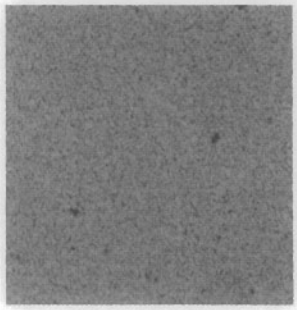
10 cm/min 20 cm/min 30 cm/min

ภาพที่ 4-1 ลักษณะของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ เมื่อแปรค่าอัตราเร็วในการจุ่มเคลือบ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 4-1 แสดงลักษณะพื้นผิวระดับจุลภาคของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่ได้เมื่อแปรค่าอัตราเร็วในการจุ่มเคลือบต่าง ๆ ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง (Optical Microscope) พบว่า เมื่อใช้กำลังขยาย 40X พบว่าฟิล์มที่เคลือบด้วยอัตราเร็วในการจุ่มเคลือบเท่ากับ 10 cm/min 20 cm/min และ 30 cm/min เนื้อฟิล์มมีลักษณะค่อนข้างเรียบ อย่างไรก็ดีบริเวณผิวหน้าของฟิล์มพบรูพรุนขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่วผิวหน้าของฟิล์ม เมื่อใช้กำลังขยาย 200X ในการตรวจวัดพบว่าฟิล์มที่เคลือบด้วยอัตราเร็วในการจุ่มเคลือบเท่ากับ 10 cm/min และ 20 cm/min เนื้อฟิล์มที่ได้เรียบและพบรูพรุน ส่วนฟิล์มที่เคลือบด้วยอัตราเร็วในการจุ่มเคลือบเท่ากับ 30 cm/min พบว่ามีอนุภาคขนาดเล็ก กระจายอยู่ภายในเนื้อฟิล์ม

ตารางที่ 4-1 ลักษณะของพื้นผิวฟิล์มที่ได้ เมื่อแปรค่าอัตราเร็วในการจุ่มเคลือบ

อัตราเร็วในการจุ่มเคลือบ	กำลังขยาย 40X	กำลังขยาย 200X
10 cm/min		
20 cm/min		
30 cm/min		

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 4-2 ความหนาของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ เมื่อแปรค่าอัตราเร็วในการจุ่มเคลือบ

อัตราเร็วในการจุ่มเคลือบ (cm/min)	ความหนาของฟิล์ม (nm)
10	84
20	118
30	152

ตารางที่ 4-2 แสดงค่าความหนาของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบได้ เมื่อแปรค่าอัตราเร็วในการจุ่มเคลือบ จากการวัดด้วยเครื่อง Roughness Tester พบว่า เมื่อใช้อัตราเร็วในการจุ่มเคลือบเท่ากับ 10 cm/min ฟิล์มมีความหนาเท่ากับ 84 nm และเพิ่มเป็น 152 nm เมื่อใช้อัตราเร็วในการจุ่มเคลือบเท่ากับ 30 cm/min

จากข้อมูลทั้งหมดในข้างต้น พบว่าฟิล์มบางที่เคลือบภายใต้อัตราเร็วในการเลื่อนกระจกสไลด์ขึ้นจากสารละลาย ด้วยอัตราเร็ว 10 cm/min 20 cm/min และ 30 cm/min พบว่าความหนาของฟิล์มเพิ่มขึ้นตามอัตราเร็วที่เพิ่มขึ้น โดยที่อัตราเร็ว 30 cm/min ฟิล์มบางที่ได้มีความหนา 152 nm แต่ในขณะเดียวกันเมื่อความเร็วเพิ่มขึ้นลักษณะพื้นผิวระดับจุลภาคพบว่าฟิล์มบางที่เคลือบได้มีลักษณะขาวขุ่น ไม่ใส เพราะเกิดอนุภาคขนาดเล็ก ที่มีลักษณะขาวขุ่น กระจายอยู่ทั่วเนื้อฟิล์ม ดังนั้น อัตราเร็วที่เหมาะสมในการเคลือบฟิล์ม เพื่อดูผลของความหนาที่มีต่อลักษณะเฉพาะของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ในตอนต่อไป จึงเลือกใช้อัตราเร็วในการเลื่อนกระจกสไลด์ขึ้นจากสารละลาย ที่ 20 cm/min เพราะชั้นฟิล์มที่เคลือบได้มีความหนา 118 nm และเนื้อฟิล์มมีลักษณะใสและเรียบ ขณะที่อัตราเร็ว 10 cm/min เนื้อฟิล์มที่เคลือบได้ แม้จะมีลักษณะใสเช่นกัน แต่ความหนาของฟิล์มที่เคลือบได้มีค่าค่อนข้างน้อย คือ 84 nm เท่านั้น

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ผลของจำนวนชั้นของฟิล์มต่อลักษณะทางกายภาพ

ส่วนนี้เป็นผลของจำนวนของชั้นฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบได้ เมื่อกำหนดให้อัตราเร็วในการจุ่มเคลือบเท่ากับ 20 cm/min ที่มีต่อลักษณะกายภาพของฟิล์มที่ได้ โดยแปรค่าจำนวนชั้นของฟิล์มในช่วง 1-3 ชั้น ผลการศึกษา พบว่า ฟิล์มที่ได้มีลักษณะเรียบและใส ส่งผ่านแสงได้ดี ดังแสดงในภาพที่ 4-2

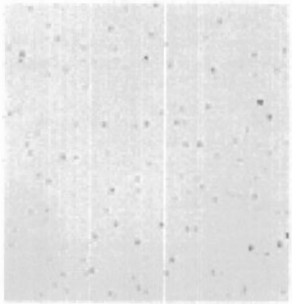
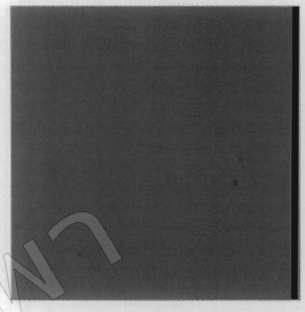
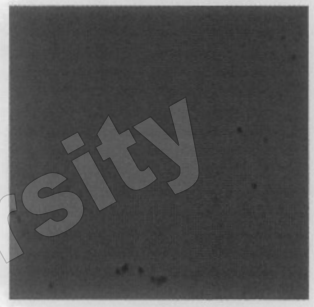
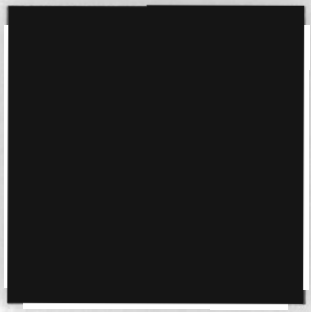
1 ชั้น 2 ชั้น 3 ชั้น

ภาพที่ 4-2 ลักษณะของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ เมื่อแปรจำนวนชั้นของฟิล์ม

ตารางที่ 4-3 แสดงลักษณะพื้นผิวระดับจุลภาคของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบได้ เมื่อแปรค่าจำนวนชั้นของฟิล์มในการจุ่มเคลือบ ด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบใช้แสง พบว่าเมื่อใช้กำลังขยาย 40X พบว่าฟิล์มที่จุ่มเคลือบจำนวน 1-2 ชั้น เนื้อฟิล์มมีลักษณะค่อนข้างเรียบ แต่อย่างไรก็ดีพบว่าบริเวณผิวหน้าของฟิล์มมีรูพรุนขนาดเล็กกระจายอยู่ทั่วผิวหน้าของฟิล์ม และฟิล์มที่จุ่มเคลือบจำนวน 3 ชั้น พบรอยแตกกระจายอยู่ทั่วเนื้อฟิล์ม ทั้งนี้เมื่อใช้กำลังขยาย 200X ในการตรวจวัดพบว่า ฟิล์มที่จุ่มเคลือบจำนวน 1-2 ชั้นฟิล์ม เนื้อฟิล์มมีลักษณะเรียบและพบรูพรุนกระจายอยู่ทั่วฟิล์ม ส่วนฟิล์มที่จุ่มเคลือบจำนวน 3 ชั้นฟิล์ม พบรอยแตกชัดเจนและมีลักษณะของอนุภาคขนาดเล็กกระจายอยู่ในเนื้อฟิล์ม

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

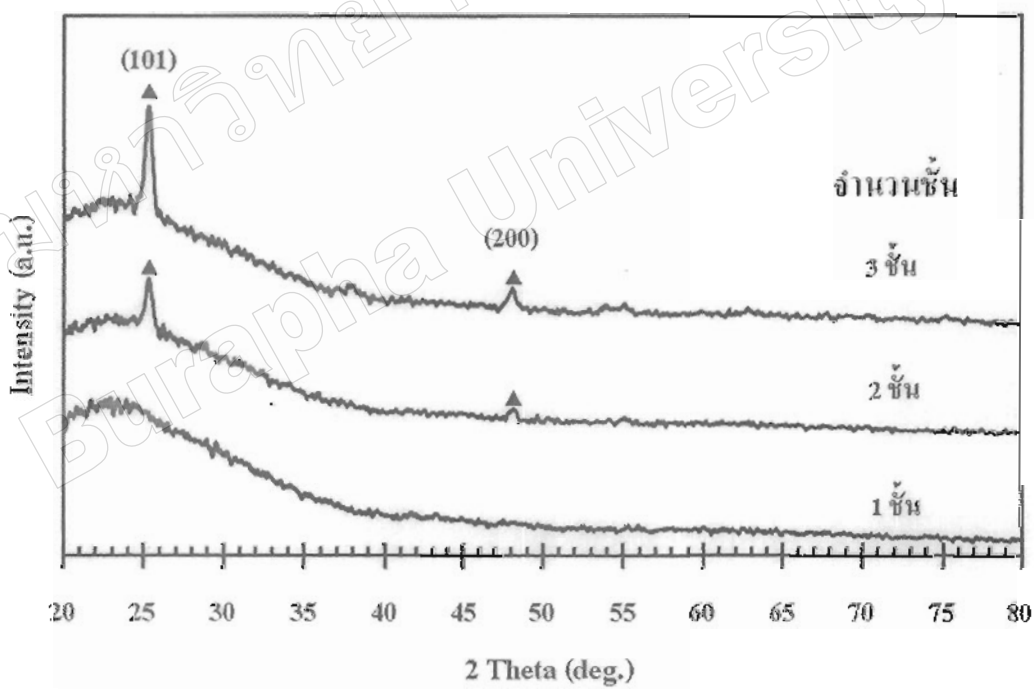
ตารางที่ 4-3 ลักษณะของพื้นผิวฟิล์มที่ได้ เมื่อแปรจำนวนชั้นของฟิล์ม

จำนวนชั้นของฟิล์ม	กำลังขยาย 40X	กำลังขยาย 200X
1 ชั้น		
2 ชั้น		
3 ชั้น		

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ผลของจำนวนชั้นของฟิล์มต่อโครงสร้างผลึก

ภาพที่ 4-3 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบได้ด้วยวิธีจุ่มเคลือบในงานวิจัยนี้ เมื่อแปรค่าจำนวนชั้นของฟิล์มในช่วง 1-3 ชั้น พบว่าฟิล์มที่จุ่มเคลือบจำนวน 1 ชั้น ไม่พบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ แต่เมื่อเพิ่มจำนวนชั้นในการจุ่มเคลือบเป็น 2 ชั้น พบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่มุมเท่ากับ 25.30^{o} และ 48.28^{o} ซึ่งสอดคล้องกับไททาเนียมออกไซด์ ที่มีโครงสร้างผลึกแบบอนาเทส ระนาบ (101) และ (200) ตามฐานข้อมูล JCPDS หมายเลข 89-4921 และเมื่อเพิ่มจำนวนชั้นในการจุ่มเคลือบเป็น 3 ชั้น พบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่มุมเท่ากับ 25.32^{o} และ 48.12^{o} ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับไททาเนียมออกไซด์ ที่มีโครงสร้างผลึกแบบอนาเทส ระนาบ (101) และ (200) ตามฐานข้อมูล JCPDS หมายเลข 89-4921 เช่นเดียวกัน โดยฟิล์มที่จุ่มเคลือบจำนวน 3 ชั้นมีความเข้มของรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์สูงสุดสำหรับในงานวิจัยนี้



ภาพที่ 4-3 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยเทคนิค XRD เมื่อแปรจำนวนชั้นของฟิล์ม

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ทั้งนี้จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของฟิล์มบางที่เคลือบได้ด้วยเทคนิค XRD พบว่าฟิล์มที่เคลือบได้ จากการจุ่มเคลือบจำนวน 1 ชั้น มีโครงสร้างผลึกแบบอสัณฐาน (Amorphous) ที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากฟิล์มที่เคลือบได้ค่อนข้างบางฟิล์มที่เตรียมได้ยังมีการจัดเรียบงโครงผลึกไม่ดี ส่วนฟิล์มที่เคลือบได้จากการจุ่มเคลือบจำนวน 2 ชั้น และ 3 ชั้น นั้น เมื่อเปรียบเทียบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์พบว่ามีโครงสร้งผลึกแบบอนาเทส ระนาบ (101) และ (200) ตามฐานข้อมูล JCPDS หมายเลข 89-4921 นอกจากนี้ความเข้มของรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของไททาเนียมไดออกไซด์จะมีค่าสูงขึ้น เมื่อจำนวนชั้นในการจุ่มเคลือบฟิล์มเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลเนื่องจากความหนาของฟิล์มที่มีค่าเพิ่มขึ้นตามจำนวนชั้นฟิล์มในการเคลือบ

ค่าคงที่แลตทิซของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ จากสมการการคำนวณหาระยะห่างระหว่างระนาบผลึก ของระบบผลึกที่มีโครงสร้างแบบเตตระโกนอล โดยอาศัยรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางที่ได้ มีค่าดังนี้คือ ค่าคงที่แลตทิซของฟิล์มบางเฟสอนาเทส คือ ค่า a มีค่าอยู่ในช่วง 3.784 Å - 3.785 Å ส่วน ค่า c มีค่าอยู่ในช่วง 9.365 Å – 9.534 Å มีค่าใกล้เคียงค่ามาตรฐานของฐานข้อมูล JCPDS เลขที่ 89-4921 (a = 3.777 Å , c = 9.501 Å) ดังแสดงในตารางที่ 4-4

สำหรับขนาดผลึกของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์หาจากสมการของ Seherrer จากรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มที่ได้ พบว่าเมื่อจำนวนชั้นของการจุ่มเคลือบเพิ่มขึ้น ขนาดผลึกมีค่าเพิ่มขึ้น โดยมีค่าอยู่ในช่วง 32-37 nm ดังแสดงในตารางที่ 4-4

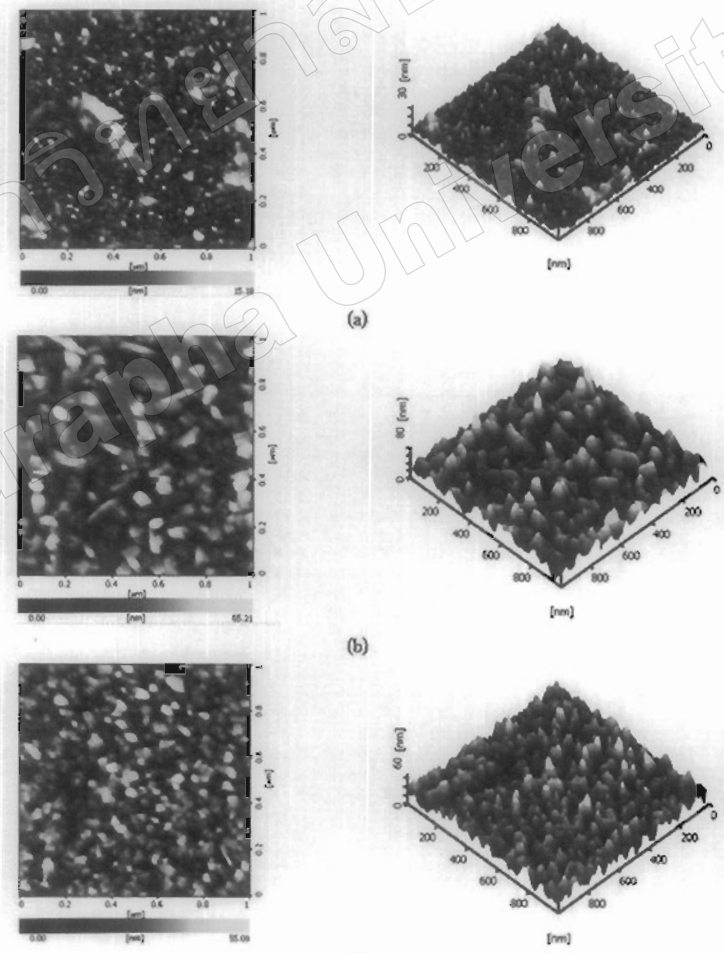
ตารางที่ 4-4 ขนาดผลึกและค่าคงที่แลตทิซของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ เมื่อแปรจำนวนชั้นของฟิล์ม

จำนวนชั้นฟิล์ม (ชั้น)	FWHM (องศา)	Crystallite size (nm)	ค่าคงที่แลตทิซ	
			a (Å)	c (Å)
1	-	-	-	-
2	0.22	37	3.783	9.607
3	0.25	32	3.783	9.552

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ผลของจำนวนชั้นของฟิล์มต่อลักษณะพื้นผิว ความหนาและความหยาบผิว

ภาพที่ 4-4 แสดงลักษณะพื้นผิว แบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ของฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบได้ เมื่อแปรค่าจำนวนชั้นของฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ จากเทคนิค AFM พบว่า ฟิล์มที่จุ่มเคลือบจำนวน 1 ชั้น พื้นผิวหน้าของฟิล์มมีลักษณะปลายแหลมเล็กกระจายตัวผิวหน้าฟิล์มยังไม่แสดงลักษณะรวมตัวเป็นเกรนของสารเคลือบอย่างชัดเจน โดยขนาดของเกรนบนผิวหน้าของฟิล์มมีค่าประมาณ 24 nm ทั้งนี้เมื่อเพิ่มจำนวนชั้นในการจุ่มเคลือบฟิล์มเป็น 2 ชั้น พบว่าสารเคลือบเริ่มมีการรวมตัวกันเป็นเม็ดเกรนขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้มีลักษณะเป็นแท่งขนาดใหญ่ปลายมน และ มีร่องลึกเพิ่มมากขึ้น โดยขนาดของเกรนของฟิล์มจำนวน 2 ชั้น มีค่าประมาณ 62 nm สุดท้าย เมื่อเพิ่มจำนวนชั้นในการจุ่มเคลือบเป็น 3 ชั้น พบว่า ลักษณะเกรนของฟิล์มเปลี่ยนเป็นแท่งแหลมเล็กและมีร่องลึกกระจายสม่ำเสมอ โดยเกรนของฟิล์มมีขนาดประมาณ 45 nm ดังแสดงในตารางที่ 4-7



ภาพที่ 4-4 ลักษณะพื้นผิวแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ เมื่อแปรจำนวนชั้นในการจุ่มเคลือบ จากเทคนิค AFM
(a) ฟิล์มจุ่มเคลือบ 1 ชั้น (b) ฟิล์มจุ่มเคลือบ 2 ชั้น (c) ฟิล์มจุ่มเคลือบ 3 ชั้น

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สำหรับความหนาของฟิล์มพบว่า เมื่อเคลือบฟิล์มจำนวน 1 ชั้น ฟิล์มที่ได้มีความหนาเท่ากับ 81.5 nm และเพิ่มขึ้นเป็น 221.5 nm เมื่อเคลือบฟิล์มจำนวน 3 ชั้น ทั้งนี้ความหนาฟิล์มที่เคลือบได้เพิ่มขึ้นตามจำนวนชั้นของฟิล์มที่จุ่มเคลือบ (ตารางที่ 4-5) ส่วนความหยาบผิวของฟิล์มพบว่าฟิล์มที่ได้เมื่อจุ่มเคลือบจำนวน 1 ชั้น มีความหยาบผิวเท่ากับ 1.8 nm และเพิ่มขึ้นเป็น 8.2 nm และ 6.9 nm เมื่อจำนวนชั้นของฟิล์มเพิ่มขึ้นเป็น 2 ชั้น และ 3 ชั้น (ตารางที่ 4-6)

ทั้งนี้ ความหยาบผิวของฟิล์มที่ได้สอดคล้องกับขนาดผลึกที่คำนวนได้ (ตารางที่ 4-4) ซึ่งพบว่าฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบจำนวน 2 ชั้น มีขนาดผลึกเท่ากับ 37 nm ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าฟิล์มที่เคลือบจำนวน 3 ชั้น สอดคล้องกับขนาดเกรนของฟิล์มที่วัดด้วยเทคนิค AFM ซึ่งพบว่า ฟิล์มที่เคลือบจำนวน 2 ชั้น มีขนาดเกรนเท่ากับ 62.9 nm ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าฟิล์มที่เคลือบจำนวน 3 ชั้น (ตารางที่ 4-6)

ตารางที่ 4-5 ความหนาของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ เมื่อแปรจำนวนชั้นของฟิล์ม

จำนวนชั้นของฟิล์ม (ชั้น)	ความหนาของฟิล์ม (nm)
1	81.5
2	163.6
3	211.5

ตารางที่ 4-6 ขนาดของเกรน และความหยาบผิว ของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ เมื่อแปรจำนวนชั้นของฟิล์ม

จำนวนชั้นของฟิล์ม (ชั้น)	ขนาดของเกรน (nm)	ความหยาบผิว (nm)
1	24.1	1.8
2	62.9	8.2
3	45.5	6.9

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ผลของจำนวนชั้นของฟิล์มต่อสมบัติไฮโดรฟิลิก

สมบัติไฮโดรฟิลิกของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบได้ในงานวิจัยนี้ พิจารณาจากค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนผิวหน้าฟิล์ม โดยเมื่อนำฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบได้เมื่อจุ่มเคลือบด้วยจำนวนชั้นของฟิล์มต่าง ๆ กัน มาวัดค่ามุมสัมผัส หลังฉายรับแสงอัลตราไวโอเลตโดยแปรค่าเวลา ในช่วง 20 – 80 นาที

ภาพที่ 4-5 แสดงค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ เมื่อแปรจำนวนชั้นของฟิล์ม พบว่า สำหรับฟิล์มที่เคลือบได้เมื่อเวลาฉายรับแสงอัลตราไวโอเลตเพิ่มขึ้นค่ามุมสัมผัสมีค่าลดลงตามเวลาฉายแสงที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้กรณีฟิล์มที่เคลือบจำนวน 1 ชั้น เมื่อฉายรับแสงอัลตราไวโอเลตนาน 20 นาที มุมสัมผัสมีค่าเท่ากับ 45 องศา และ ลดลงเป็น 33 องศา เมื่อเวลาฉายรับแสงเพิ่มเป็น 80 นาที ทำนองเดียวกับ ฟิล์ม จำนวน 2 ชั้น ซึ่งค่ามุมสัมผัสมีค่าลดลงจาก 29 องศา เป็น 5 องศา ส่วนฟิล์มที่เคลือบ จำนวน 3 ชั้น มุมสัมผัสมีค่าลดลงจาก 40 องศา เป็น 12 องศา (ตารางที่ 4-7) สรุปได้ว่า ค่ามุมสัมผัสมีค่าลดลง เมื่อเวลาฉายรับแสงอัลตราไวโอเลตเพิ่มขึ้น

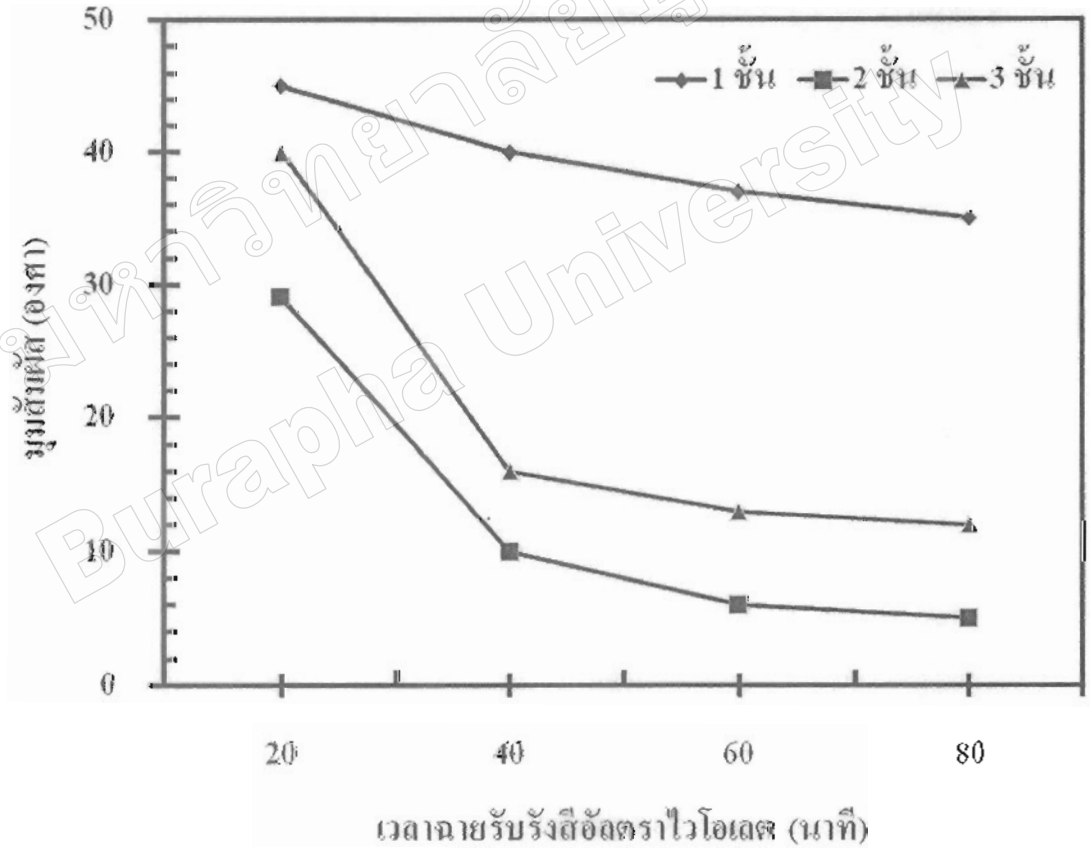
ทั้งนี้เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบค่ามุมสัมผัสของฟิล์มเมื่อฉายรับแสงอัลตราไวโอเลตที่เวลาคงที่ พบว่า ที่เวลาฉายรับแสงอัลตราไวโอเลต เท่ากับ 20 นาที มุมสัมผัสของฟิล์มที่เคลือบจำนวน 1 ชั้น มีค่าเท่ากับ 45 องศา ขณะที่ ฟิล์มที่เคลือบ จำนวน 2 ชั้น และ 3 ชั้น มุมสัมผัสของฟิล์มมีค่า เท่ากับ 29 องศา และ 40 องศา ตามลำดับ และ เมื่อฉายรับแสงอัลตราไวโอเลตนาน 80 นาที พบว่า ฟิล์มบางที่จุ่มเคลือบจำนวน 1-3 ชั้น พบว่ามุมสัมผัสของฟิล์มมีค่า เท่ากับ 35 องศา 5 องศา และ 12 องศา ตามลำดับ (ตารางที่ 4-7) สรุปได้ว่า ค่ามุมสัมผัสมีค่าลดลง เมื่อจำนวนชั้นของฟิล์มเพิ่มขึ้น

ฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบได้ในงานวิจัยนี้มีเฟสอนาเทส ซึ่งเมื่อนำมาฉายรับแสงอัลตราไวโอเลตพบว่าค่ามุมสัมผัสของฟิล์มมีค่าเปลี่ยนไปตามจำนวนชั้นของฟิล์มและเวลาที่ฉายรับแสงอัลตราไวโอเลต (ดังแสดงในตารางที่ 4-8 ถึง ตารางที่ 4-10) ซึ่ง Zhao et al. (2005) ได้อธิบายว่าโครงสร้างผลึกแบบอนาเทส มีค่าแถบพลังงานสูงกว่าโครงสร้างผลึกแบบอื่น อิเล็กตรอนและโฮลที่ถูกกระตุ้นจึงมีพลังงานมาก นอกจากนี้ยังอธิบายว่าอัตราการรวมตัวกัน (Recombination Rate) ของอิเล็กตรอนและโฮลจะลดลงแบบ Exponential เมื่อแถบพลังงานมีค่าสูงขึ้น ดังนั้นอิเล็กตรอนและโฮลมีชั่วชีวิต (Lifetime) นานขึ้น ทำให้เกิดสภาพชอบน้ำแบบยิ่งยวดได้

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 4-7 ค่ามุมสัมผัสที่เวลาฉายรับแสงอัลตราไวโอเลตต่าง ๆ ของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์เมื่อแปรจำนวนชั้นของฟิล์ม

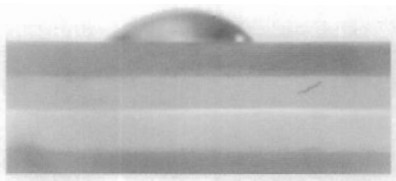
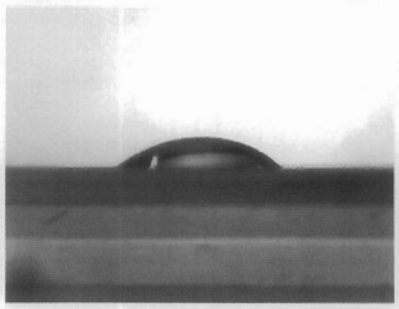
จำนวนชั้นของฟิล์ม (ชั้น)	ค่ามุมสัมผัสที่เวลาฉายรับแสงอัลตราไวโอเลตต่าง ๆ			
	20 นาที	40 นาที	60 นาที	80 นาที
1	45	40	37	35
2	29	10	6	5
3	40	16	13	12



ภาพที่ 4-5 มุมสัมผัสของหยดน้ำบนฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ เมื่อแปรจำนวนชั้นของฟิล์ม

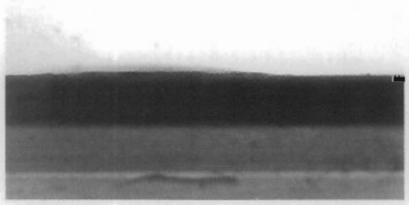
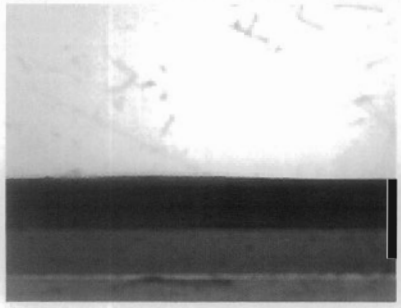
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 4-8 ลักษณะของหยดน้ำบนผิวฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์จำนวน 1 ชั้น เมื่อแปรค่าเวลาในการฉายรับแสงอัลตราไวโอเลต

เวลาในการฉายรับแสงอัลตราไวโอเลต	ลักษณะของหยดน้ำบนผิวฟิล์ม
20 นาที	
40 นาที	
60 นาที	
80 นาที	

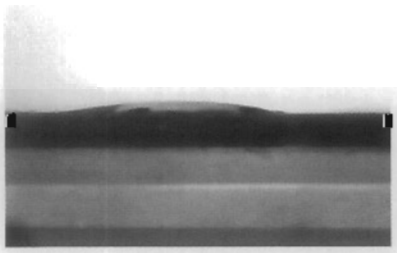
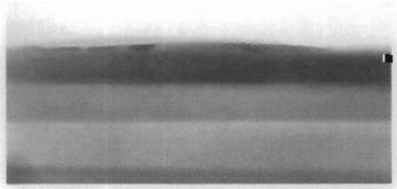
มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 4-9 ลักษณะของหยดน้ำบนผิวฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์จำนวน 2 ชั้น เมื่อแปรค่าเวลาในการฉายรับแสงอัลตราไวโอเลต

เวลาในการฉายรับแสงอัลตราไวโอเลต	ลักษณะของหยดน้ำบนผิวฟิล์ม
20 นาที	
40 นาที	
60 นาที	
80 นาที	

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

ตารางที่ 4-10 ลักษณะของหยดน้ำบนผิวฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์จำนวน 3 ชั้น เมื่อแปรค่าเวลาในการฉายรับแสงอัลตราไวโอเลต

เวลาในการฉายรับแสงอัลตราไวโอเลต	ลักษณะของหยดน้ำบนผิวฟิล์ม
20 นาที	
40 นาที	
60 นาที	
80 นาที	

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University