

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

บทนี้กล่าวถึงข้อมูลจากการทดลองตามแนวทางการศึกษาในบทที่ 3 เริ่มจากผลของอัตราไหลแก๊สออกซิเจนต่อ โครงสร้างของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์ ผลของระยะห่างระหว่างเป่าสารเคลือบกับวัสดุรองรับต่อ โครงสร้างของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์ ผลของความหนาต่อ โครงสร้างของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์ และผลของความหนาต่อสมบัติทางแสงของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

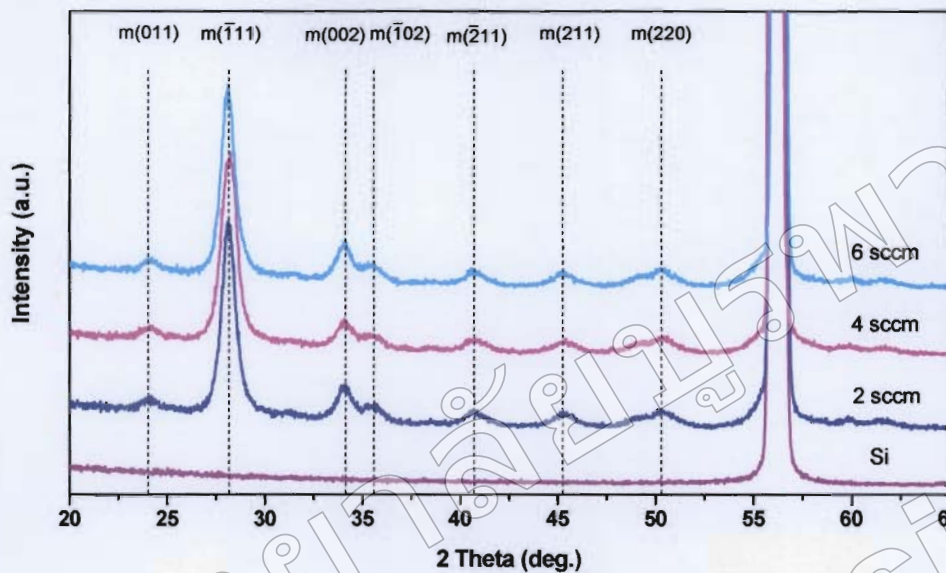
#### ผลของอัตราไหลแก๊สออกซิเจน

ส่วนนี้จะเป็นการเสนอผลการศึกษาโครงสร้างของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์ที่เคลือบด้วยวิธี รีแอคทีฟ ดีซี แมกนีตรอน สปีดเตอริง โดยแปรค่าอัตราไหลแก๊สออกซิเจนขณะเคลือบต่าง ๆ เพื่อศึกษาผลของอัตราไหลแก๊สออกซิเจนต่อ โครงสร้างของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์ สำหรับ โครงสร้างของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์ที่ศึกษาประกอบด้วย โครงสร้างผลึก ค่าคงที่แลตทิซ ขนาดผลึก ความหนา และลักษณะพื้นผิวฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

##### 1. โครงสร้างของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์

ฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์เคลือบด้วยวิธี รีแอคทีฟ ดีซี แมกนีตรอน สปีดเตอริง โดยกำหนดให้อัตราไหลแก๊สอาร์กอนคงที่เท่ากับ 1 sccm และแปรค่าอัตราไหลแก๊สออกซิเจนเท่ากับ 2 sccm, 4 sccm และ 6 sccm ตามลำดับ มีผลดังนี้

ภาพที่ 4-1 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์จากเทคนิค XRD ของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์ที่เคลือบได้โดยแปรค่าอัตราไหลออกซิเจนต่าง ๆ พบว่าฟิล์มที่เคลือบได้ทั้งหมดมีรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์เหมือนกันทุกเงื่อนไข โดยพบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่มุม  $24.05^\circ$ ,  $28.17^\circ$ ,  $34.14^\circ$ ,  $35.88^\circ$ ,  $40.70^\circ$ ,  $45.49^\circ$  และ  $50.09^\circ$  ซึ่งตรงกับรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของสารประกอบเซอร์โคเนียมออกไซด์ตามมาตรฐาน JCPDS เลขที่ 78-1807 ที่มีโครงสร้างผลึกแบบ โมโนคลินิก ระนาบ (011), ( $\bar{1}11$ ), (002), ( $\bar{1}02$ ), ( $\bar{2}11$ ), (211) และ (220) ตามลำดับ โดยที่มุม  $28.17^\circ$  มีความเข้มของพีกสูงสุด ส่วนรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่มุม  $56.5^\circ$  เป็นธาตุซิลิกอน ที่ใช้เป็นวัสดุรองรับ



ภาพที่ 4-1 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์ที่อัตราไหลแก๊สออกซิเจนต่าง ๆ

ค่าคงที่แลตทิซของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์ หาได้จากสูตรการคำนวณหา ระยะห่างระหว่างระนาบผลึกในระบบผลึกที่มีโครงสร้างแบบโมโนคลินิก เนื่องจากฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์ที่เคลือบได้มีโครงสร้างผลึกแบบโมโนคลินิก โดยอาศัยรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางที่ได้ พบว่าฟิล์มบางที่เคลือบโดยแปรค่าอัตราไหลแก๊สออกซิเจน มีค่าคงที่แลตทิซตรงตามมาตรฐาน JCPDS เลขที่ 78-1807 ดังแสดงในตารางที่ 4-1

สำหรับขนาดผลึกของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์นั้นหาได้จาก Scherrer equation โดยอาศัยรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางที่ได้ พบว่าฟิล์มบางที่เคลือบโดยแปรค่าอัตราไหลแก๊สออกซิเจน ผลึกมีขนาดใกล้เคียงกัน โดยมีค่าในช่วง 20.10 nm ถึง 20.48 nm ดังแสดงในตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-1 ค่าคงที่แลตทิซของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์ที่อัตราไหลแก๊สออกซิเจนต่าง ๆ

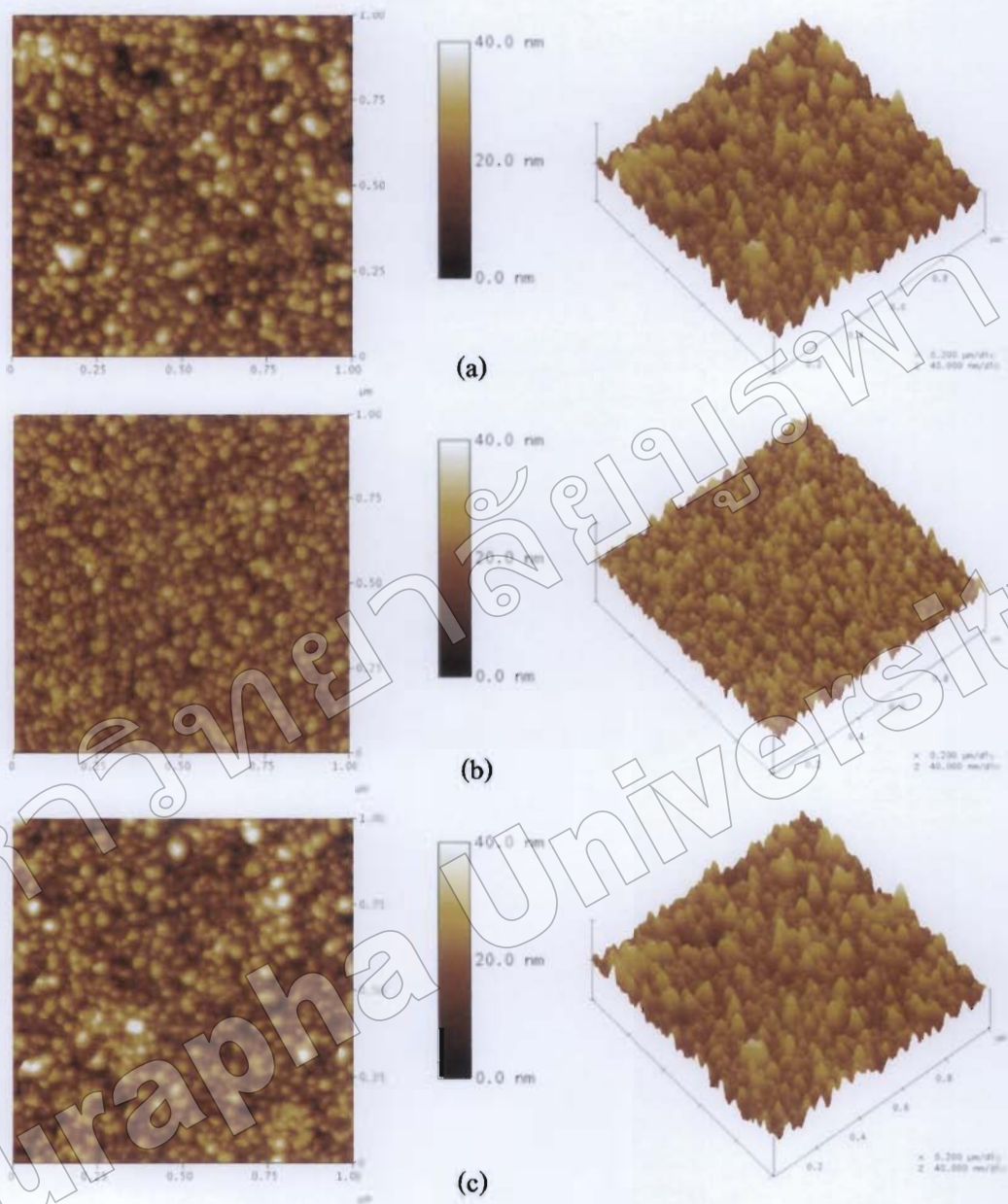
อัตราไหลแก๊สออกซิเจน (sccm)	$a$ (Å)	$b$ (Å)	$c$ (Å)	$\beta$ (องศา)
JCPDS (78-1807)	5.15	5.211	5.317	99.23
2	5.062	5.192	5.345	100.486
4	5.061	5.171	5.339	100.195
6	5.102	5.164	5.342	100.37

ตารางที่ 4-2 ขนาดผลึกของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์ที่อัตราไหลแก๊สออกซิเจนต่าง ๆ

อัตราไหลแก๊สออกซิเจน (sccm)	ขนาดผลึก (nm)	
	ZrO <sub>2</sub> m ( $\bar{1}11$ )	ZrO <sub>2</sub> m (002)
2	20.48	20.91
4	20.10	20.78
6	20.22	20.77

## 2. ความหนา และลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์

ภาพที่ 4-2 แสดงลักษณะพื้นผิวแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ของฟิล์มเซอร์โคเนียมออกไซด์เคลือบที่อัตราไหลแก๊สออกซิเจนต่าง ๆ จากเทคนิค AFM พบว่าที่ผิวหน้าของฟิล์มมีเกรนลักษณะเป็นแท่งปลายแหลม เล็ก มีขนาดไม่เท่ากันกระจายอยู่ทั่วพื้นผิวของฟิล์มเช่นเดียวกันทุกเงื่อนไข สำหรับความหนา และความหยาบผิวของฟิล์มพบว่าเมื่อเพิ่มอัตราไหลแก๊สออกซิเจนจาก 2 sccm เป็น 4 sccm (เมื่ออัตราไหลแก๊สอาร์กอนคงที่เท่ากับ 1 sccm) ฟิล์มที่เคลือบได้มีความหนา และความหยาบผิวลดลง และเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราไหลแก๊สออกซิเจนเพิ่มเป็น 6 sccm ดังแสดงในตารางที่ 4-3



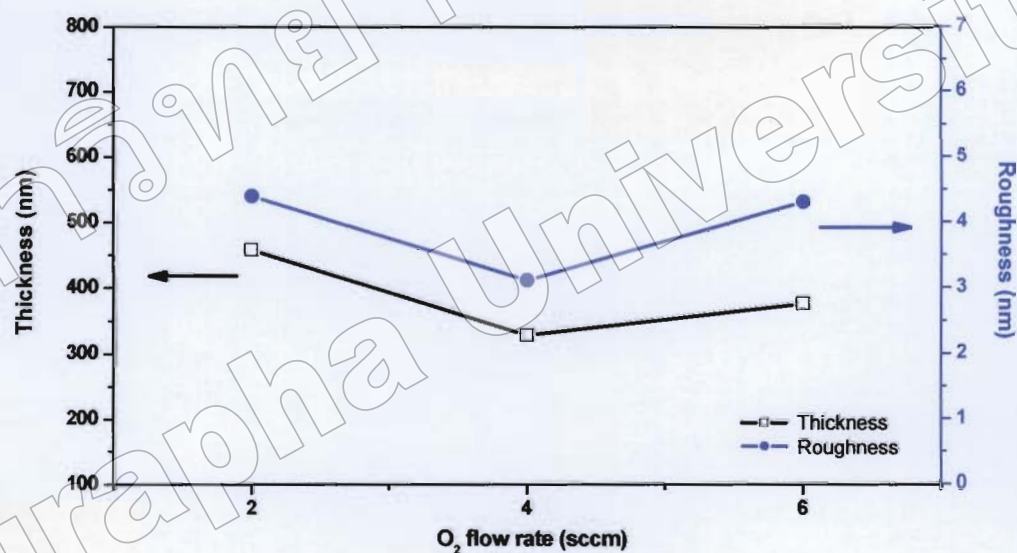
ภาพที่ 4-2 ลักษณะพื้นผิวแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์ ที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค AFM

- (a) อัตราไหล่ออกซิเจนเท่ากับ 2 sccm
- (b) อัตราไหล่ออกซิเจนเท่ากับ 4 sccm
- (c) อัตราไหล่ออกซิเจนเท่ากับ 6 sccm



ตารางที่ 4-3 ความหนา และความหยาบผิวของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์  
ที่อัตราไหลแก๊สออกซิเจนต่าง ๆ

อัตราไหลแก๊สออกซิเจน (sccm)	ความหนา (nm)	ความหยาบผิว (nm)
2	458	4.4
4	328	3.1
6	376	4.3



ภาพที่ 4-3 ความหนาและความหยาบผิวของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์  
ที่อัตราไหลแก๊สออกซิเจนต่าง ๆ

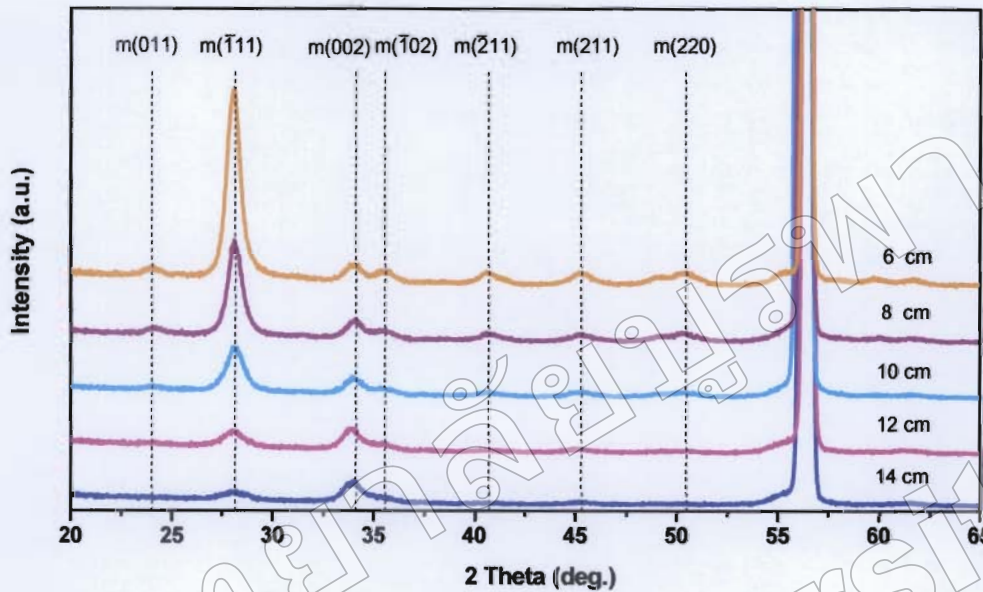
## ผลของระยะห่างระหว่างเป่าสารเคลือบกับวัสดุรองรับ

ส่วนนี้จะเป็นการเสนอผลการศึกษาโครงสร้างของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์ที่เคลือบด้วยวิธี รีเอกติฟ ดีซี แมกนีตรอน สปีดเตอริง โดยกำหนดให้อัตราส่วนแก๊สอาร์กอนต่อแก๊สออกซิเจนคงที่เท่ากับ 1 sccm : 6 sccm และแปรค่าระยะห่างระหว่างเป่าสารเคลือบกับวัสดุรองรับต่างๆ เพื่อศึกษาผลของระยะห่างระหว่างเป่าสารเคลือบกับวัสดุรองรับต่อโครงสร้างของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์ สำหรับโครงสร้างของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์ที่ศึกษาประกอบด้วยโครงสร้างผลึก ค่าคงที่แลตทิซ ขนาดผลึก ความหนา และลักษณะพื้นผิวฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

### 1. โครงสร้างของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์

ฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์เคลือบด้วยวิธี รีเอกติฟ ดีซี แมกนีตรอน สปีดเตอริง โดยแปรค่าระยะห่างระหว่างเป่าสารเคลือบกับวัสดุรองรับเท่ากับ 6 cm, 8 cm, 10 cm 12 cm และ 14 cm ตามลำดับ มีผลดังนี้

ภาพที่ 4-4 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์ที่เคลือบ โดยแปรค่าระยะห่างระหว่างเป่าสารเคลือบกับวัสดุรองรับต่างๆ พบว่าฟิล์มที่เคลือบได้ทั้งหมดมีรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่มุม  $2\theta$  24.05°, 28.17°, 34.14°, 35.88°, 40.70°, 45.49° และ 50.09° ซึ่งตรงกับรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของสารประกอบเซอร์โคเนียมออกไซด์ ตามมาตรฐาน JCPDS เลขที่ 78-1807 ที่มีโครงสร้างผลึกแบบ โมโนคลินิก ระนาบ (011), ( $\bar{1}$ 11), (002), ( $\bar{1}$ 02), ( $\bar{2}$ 11), (211) และ (220) ตามลำดับ โดยพบว่าเมื่อใช้ระยะห่างระหว่างเป่าสารเคลือบกับวัสดุรองรับเพิ่มขึ้น ฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์ที่มีโครงสร้างผลึกแบบ โมโนคลินิก ระนาบ ( $\bar{1}$ 11) มีความเข้มการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ลดลง ส่วนรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ที่มุม 56.5° เป็นธาตุซิลิกอน ที่ใช้เป็นวัสดุรองรับ



ภาพที่ 4-4 รูปแนวการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์ ที่ระยะห่างระหว่างเป้าสารเคลื่อนกับวัสดุรองรับต่าง ๆ

ค่าคงที่แลตทิซของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์ หาได้จากสูตรการคำนวณหา ระยะห่างระหว่างระนาบผลึกในระบบผลึกแบบ โม โนคลินิก เนื่องจากฟิล์มบางเซอร์โคเนียม ออกไซด์ที่เคลือบ ได้มี โครงสร้างผลึกแบบ โม โนคลินิก โดยอาศัยรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของ ฟิล์มบางที่ได้ พบว่าฟิล์มบางที่เคลือบ โดยแปรค่าระยะห่างระหว่างเป้าสารเคลื่อนกับวัสดุรองรับ มีค่าคงที่แลตทิซตรงตามมาตรฐาน JCPDS เลขที่ 78-1807 ดังแสดงในตารางที่ 4-4

สำหรับขนาดผลึกของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์นั้นหาได้จาก Scherrer equation โดยอาศัยรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางที่ได้ พบว่าฟิล์มบางที่เคลือบโดยแปรค่า ระยะห่างระหว่างเป้าสารเคลื่อนกับวัสดุรองรับ ขนาดผลึกเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นการเลี้ยวเบน รังสีเอกซ์ โดยมีค่าในช่วง 17.42 nm ถึง 22.43 nm ดังแสดงในตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-4 ค่าคงที่แลตทิซของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์ที่ระยะห่างระหว่างเป่าสารเคลือบ  
กับวัสดุรองรับต่าง ๆ

ระยะห่างระหว่าง เป่าสารเคลือบกับ วัสดุรองรับ (cm)	$a$ (Å)	$b$ (Å)	$c$ (Å)	$\beta$ (องศา)
JCPDS (78-1807)	5.15	5.211	5.317	99.23
6	5.124	5.199	5.348	99.788
8	5.102	5.164	5.342	100.370
10	5.085	5.164	5.358	100.370
12	5.218	5.143	5.358	99.439
14	5.124	5.157	5.354	100.137

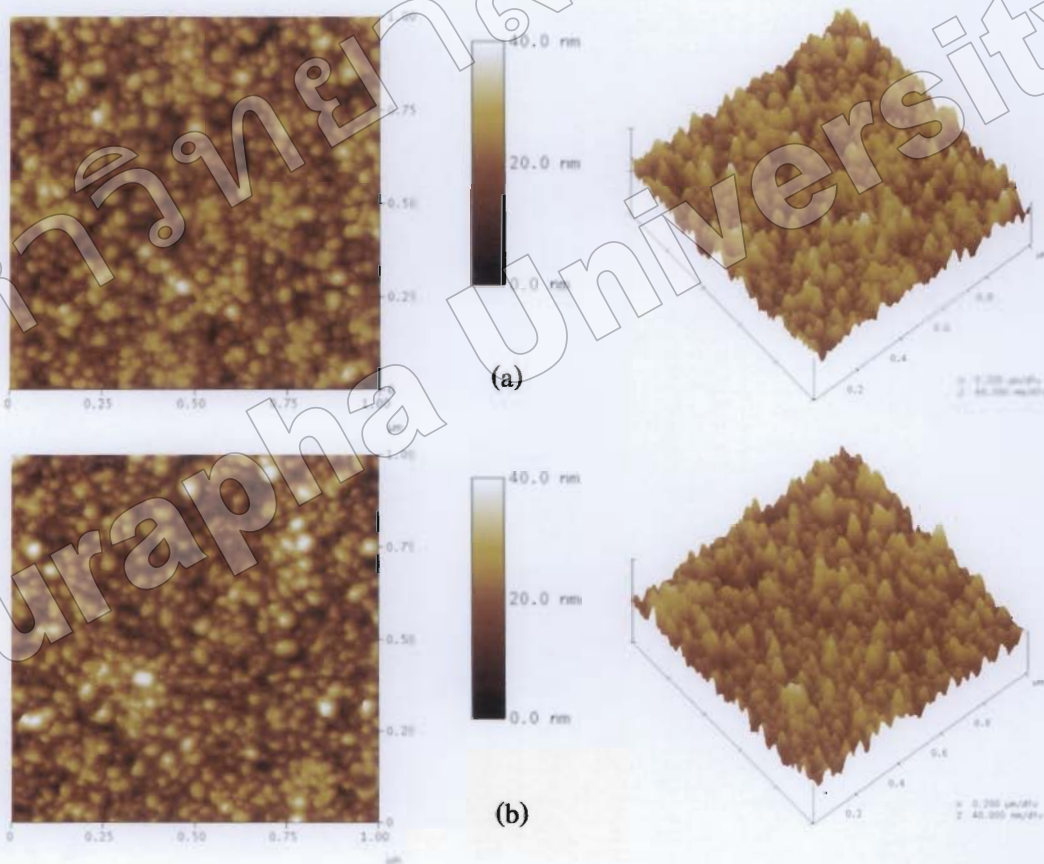
ตารางที่ 4-5 ขนาดผลึกของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์ที่ระยะห่างระหว่างเป่าสารเคลือบกับ  
วัสดุรองรับต่าง ๆ

ระยะห่างระหว่างเป่าสารเคลือบ กับวัสดุรองรับ (cm)	ขนาดผลึก (nm)	
	ZrO <sub>2</sub> m (111)	ZrO <sub>2</sub> m (002)
6	22.43	20.46
8	20.22	20.77
10	19.43	20.27
12	18.12	21.03
14	17.42	19.32



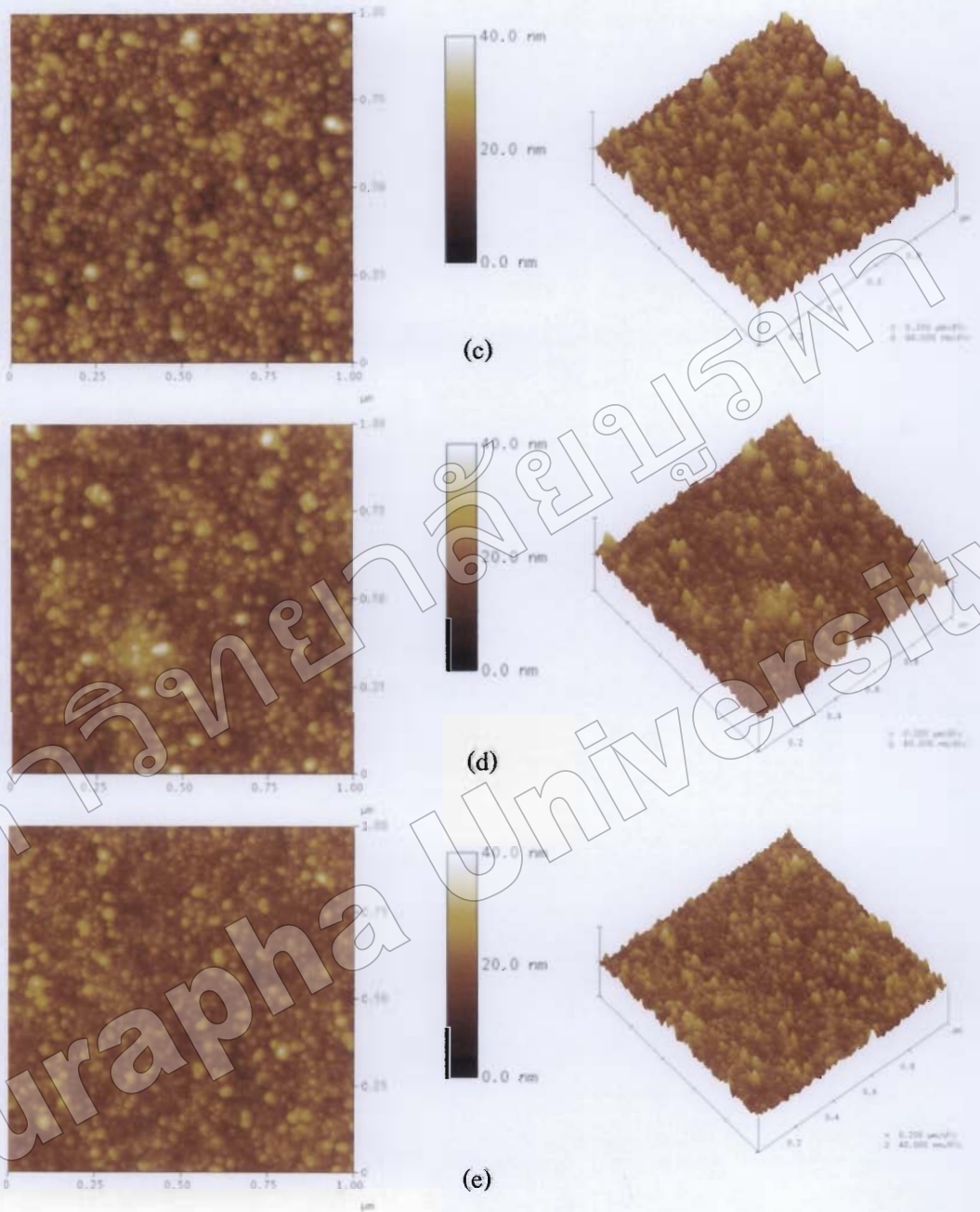
## 2. ความหนา และลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์

ภาพที่ 4-5 แสดงลักษณะพื้นผิวแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์ ที่ระยะห่างระหว่างเป้าสารเคลือบกับวัสดุรองรับต่าง ๆ จากเทคนิค AFM พบว่าที่ระยะห่างระหว่างเป้าสารเคลือบกับวัสดุรองรับเพิ่มขึ้น ผิวหน้าของฟิล์มมีเกรนลักษณะเป็นแท่งปลายแหลม เล็ก มีขนาดไม่เท่ากันกระจายอยู่ทั่วพื้นผิวของฟิล์ม และเกรนมีขนาดเพิ่มขึ้น เมื่อระยะห่างระหว่างเป้าสารเคลือบกับวัสดุรองรับลดลง สำหรับความหนา และความหยาบผิวของฟิล์มพบว่าเมื่อระยะห่างระหว่างเป้าสารเคลือบกับวัสดุรองรับลดลง ฟิล์มที่เคลือบ ได้มีความหนาเพิ่มขึ้นจาก 170 nm เป็น 618 nm ส่วนความหยาบผิวเพิ่มขึ้นจาก 2.1 nm เป็น 4.3 nm แล้วลดลงเป็น 4.0 nm เมื่อระยะห่างระหว่างเป้าสารเคลือบกับวัสดุรองรับเท่ากับ 6 cm ดังแสดงในตารางที่ 4-6



ภาพที่ 4-5 ลักษณะพื้นผิวแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์ ที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค AFM

- (a) ระยะห่างระหว่างเป้าสารเคลือบกับวัสดุรองรับเท่ากับ 6 cm
- (b) ระยะห่างระหว่างเป้าสารเคลือบกับวัสดุรองรับเท่ากับ 8 cm



ภาพที่ 4-5 ลักษณะพื้นผิวแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์ ที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค AFM

(c) ระยะห่างระหว่างเป้าสารเคลือบกับวัสดุรองรับเท่ากับ 10 cm

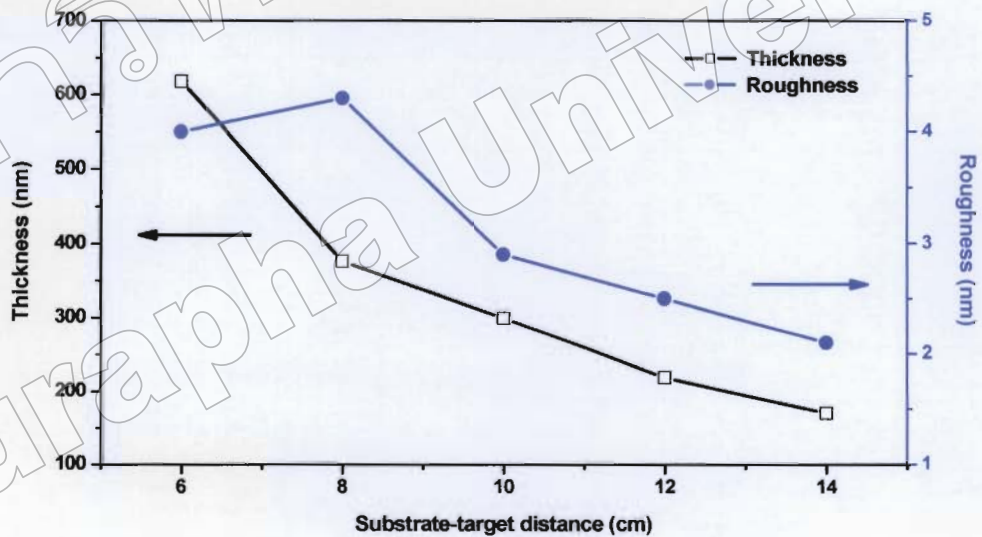
(d) ระยะห่างระหว่างเป้าสารเคลือบกับวัสดุรองรับเท่ากับ 12 cm

(e) ระยะห่างระหว่างเป้าสารเคลือบกับวัสดุรองรับเท่ากับ 14 cm



ตารางที่ 4-6 ความหนา และความหยาบผิวของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์  
ที่ระยะห่างระหว่างเป้าสารเคลือบกับวัสดุรองรับต่าง ๆ

ระยะห่างระหว่างเป้าสารเคลือบ กับวัสดุรองรับ (cm)	ความหนา (nm)	ความหยาบผิว (nm)
6	618	4.0
8	376	4.3
10	299	2.9
12	219	2.5
14	170	2.1



ภาพที่ 4-6 ความหนาและความหยาบผิวของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์  
ที่ระยะห่างระหว่างเป้าสารเคลือบกับวัสดุรองรับต่าง ๆ

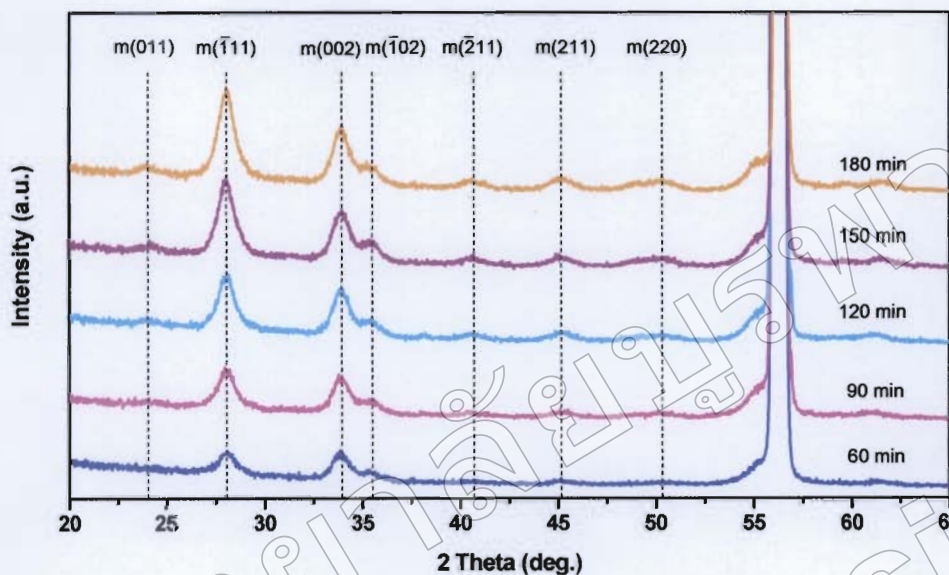
## ผลของความหนา

ส่วนนี้จะเป็นการเสนอผลการศึกษาโครงสร้างของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์ที่เคลือบด้วยวิธี รีแอคทีฟ ดีซี แมกนีตรอน สปีดเตอริง โดยกำหนดให้อัตราส่วนแก๊สอาร์กอนต่อแก๊สออกซิเจนคงที่เท่ากับ 1 sccm : 6 sccm ระยะห่างระหว่างเป้าสารเคลือบกับวัสดุรองรับเท่ากับ 10 cm และแปรค่าความหนาจากเวลาเคลือบต่าง ๆ เพื่อศึกษาผลของความหนาต่อ โครงสร้างของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์ สำหรับ โครงสร้างของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์ที่ศึกษาประกอบด้วย โครงสร้างผลึก ค่าคงที่แลตทิซ ขนาดผลึก ความหนา และลักษณะพื้นผิวฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

### 1. โครงสร้างของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์

ฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์เคลือบด้วยวิธี รีแอคทีฟ ดีซี แมกนีตรอน สปีดเตอริง โดยแปรค่าความหนาจากเวลาเคลือบเท่ากับ 60 นาที, 90 นาที, 120 นาที, 150 นาที และ 180 นาที ตามลำดับ มีผลดังนี้

ภาพที่ 4-7 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์ เมื่อใช้เวลาเคลือบต่าง ๆ พบว่าฟิล์มที่เคลือบได้ทั้งหมดมีรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่มุม  $24.05^\circ$ ,  $28.17^\circ$ ,  $34.14^\circ$ ,  $35.88^\circ$ ,  $40.70^\circ$ ,  $45.49^\circ$  และ  $50.09^\circ$  ซึ่งตรงกับรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของสารประกอบเซอร์โคเนียมออกไซด์ ตามมาตรฐาน JCPDS เลขที่ 78-1807 ที่มีโครงสร้างผลึกแบบ โมโนคลินิก ระนาบ (011),  $(\bar{1}11)$ , (002),  $(\bar{1}02)$ ,  $(\bar{2}11)$ , (211) และ (220) ตามลำดับ โดยที่ระนาบ  $(\bar{1}11)$ , (002) มีความเข้มการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์สูง และพบว่าเมื่อใช้เวลาเคลือบนานขึ้นฟิล์มที่เคลือบได้มีความเข้มการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์เพิ่มขึ้น ส่วนรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่มุม  $56.5^\circ$  เป็นธาตุซิลิกอนที่ใช้เป็นวัสดุรองรับ



ภาพที่ 4-7 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์ที่เวลาเคลือบต่าง ๆ

ค่าคงที่แลตทิซของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์ หาได้จากสูตรการคำนวณหา ระยะห่างระหว่างระนาบผลึกในระบบผลึกแบบ โมโนคลินิก เนื่องจากฟิล์มบางเซอร์โคเนียม ออกไซด์ที่เคลือบได้มีโครงสร้างผลึกแบบ โมโนคลินิก โดยอาศัยรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของ ฟิล์มบางที่ได้ พบว่าฟิล์มบางที่เคลือบโดยแปรค่าความหนา มีค่าคงที่แลตทิซตรงตามมาตรฐาน JCPDS เลขที่ 78-1807 ดังแสดงในตารางที่ 4-7

สำหรับขนาดผลึกของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์นั้นหาได้จาก Scherrer equation โดยอาศัยรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางที่ได้ พบว่าฟิล์มบางที่เคลือบโดยแปรค่า ความหนา ขนาดผลึกเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ โดยมีค่าในช่วง 17.81 nm ถึง 20.09 nm ดังแสดงในตารางที่ 4-8



ตารางที่ 4-7 ค่าคงที่แลตทิซของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์ที่เวลาเคลือบต่าง ๆ

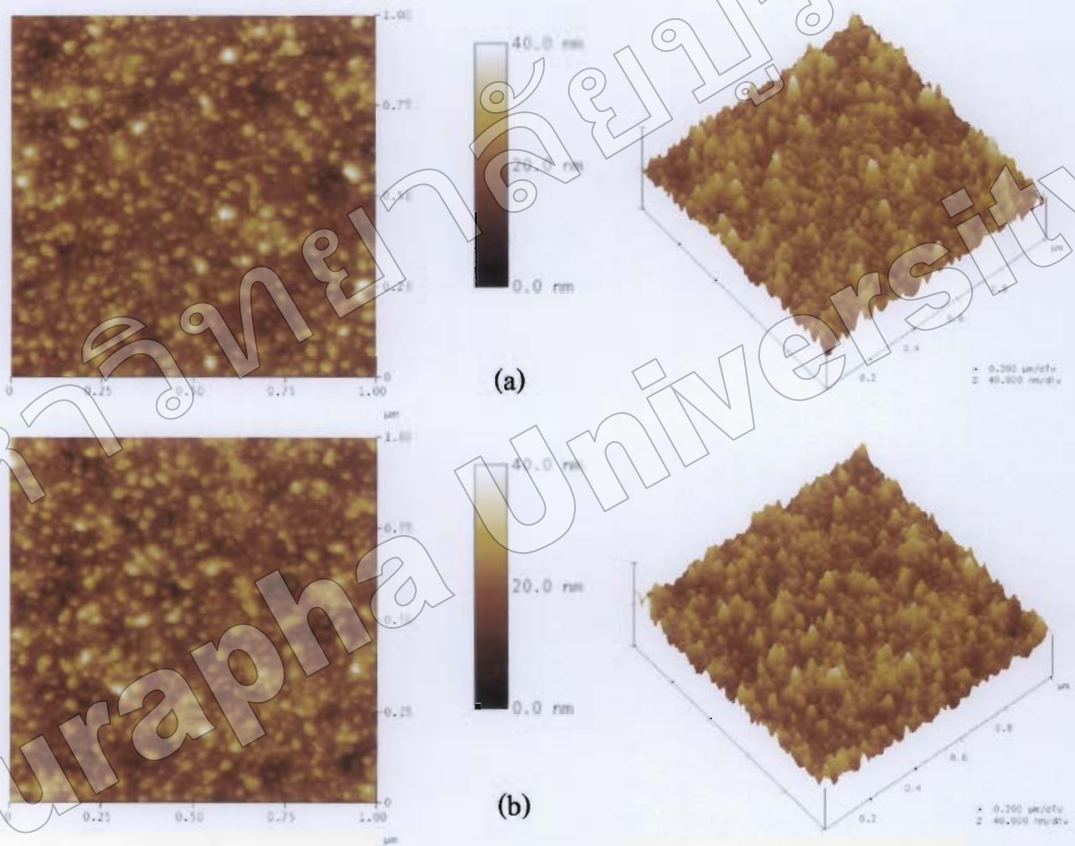
เวลาเคลือบ (min)	$a$ (Å)	$b$ (Å)	$c$ (Å)	$\beta$ (องศา)
JCPDS (78-1807)	5.15	5.211	5.317	99.23
60	5.168	5.150	5.366	99.962
90	5.215	5.148	5.348	99.323
120	5.155	5.157	5.359	99.962
150	5.249	5.130	5.346	99.613
180	5.069	5.213	5.364	100.312

ตารางที่ 4-8 ขนาดผลึกของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์ที่เวลาเคลือบต่าง ๆ

เวลาเคลือบ (min)	ขนาดผลึก (nm)	
	ZrO <sub>2</sub> m (111)	ZrO <sub>2</sub> m (002)
60	17.81	17.68
90	18.40	18.06
120	19.04	18.36
150	19.73	19.10
180	20.09	19.85

## 2. ความหนา และลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์

ภาพที่ 4-8 แสดงลักษณะพื้นผิวแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์ที่ความหนาต่าง ๆ จากเทคนิค AFM พบว่าที่ผิวหน้าของฟิล์มกรนั้นมีลักษณะเป็นแท่งปลายแหลม เล็ก มีขนาดไม่เท่ากันกระจายอยู่ทั่วพื้นผิวของฟิล์ม และเมื่อใช้เวลาในการเคลือบนานขึ้นฟิล์มที่เคลือบได้มีความหนาจาก 155 nm เป็น 502 nm ส่วนความหยาบผิวเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจาก 3.1 nm เป็น 3.6 nm ดังแสดงในตารางที่ 4-9

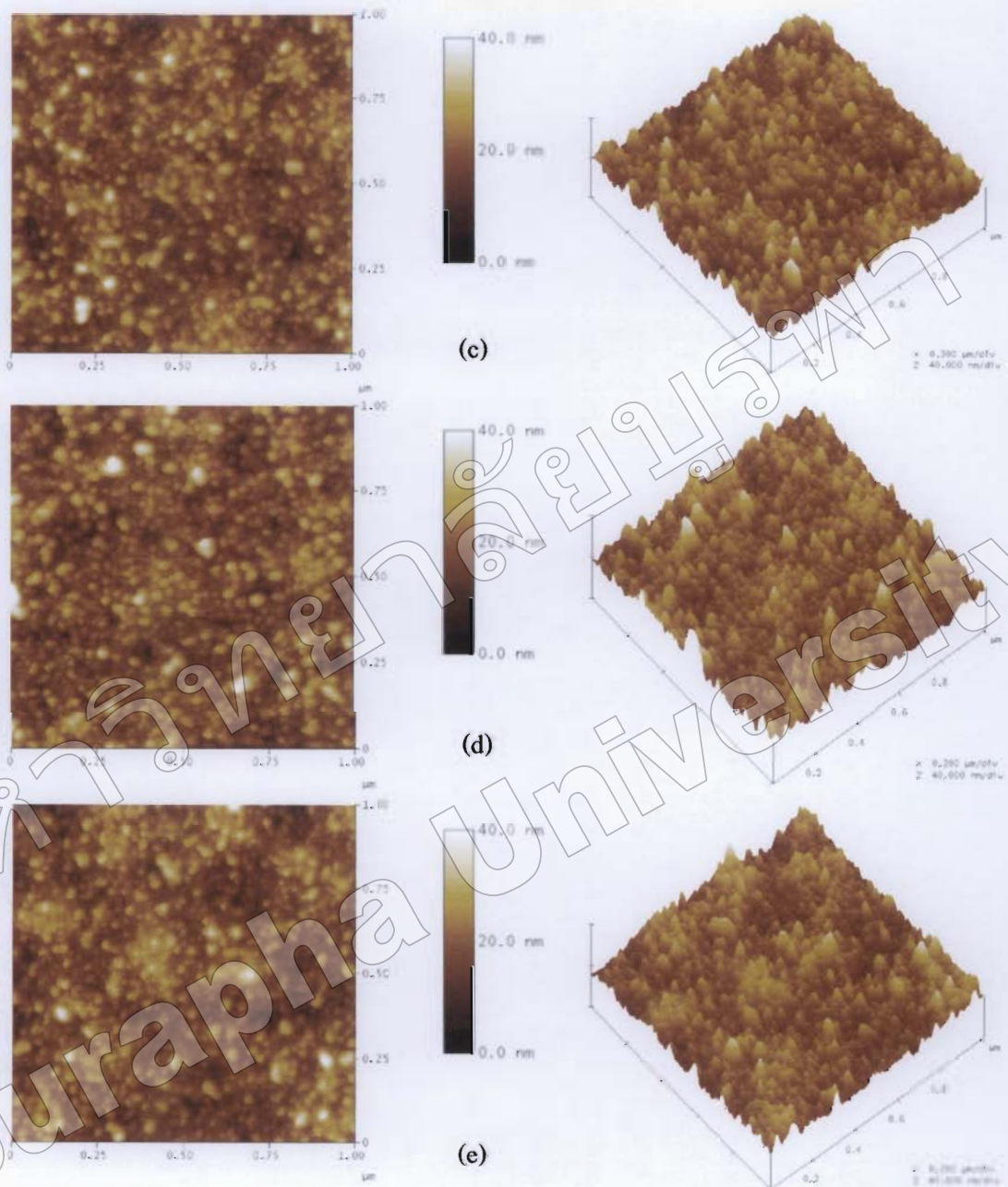


ภาพที่ 4-8 ลักษณะพื้นผิวแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์

ที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค AFM

(a) เวลาเคลือบเท่ากับ 60 min

(b) เวลาเคลือบเท่ากับ 90 min



ภาพที่ 4-8 ลักษณะพื้นผิวแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์

ที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค AFM

(c) เวลาเคลือบเท่ากับ 120 min

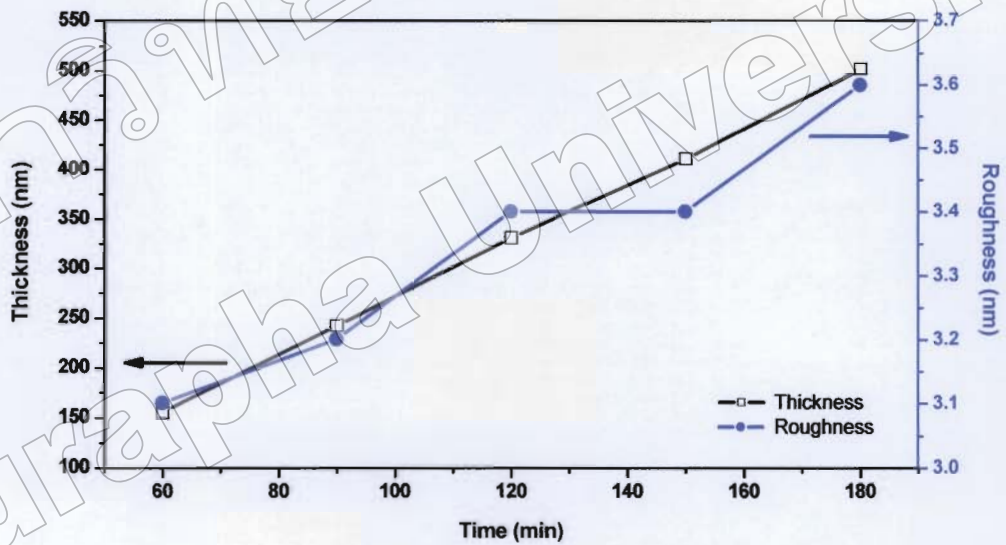
(d) เวลาเคลือบเท่ากับ 150 min

(e) เวลาเคลือบเท่ากับ 180 min



ตารางที่ 4-9 ความหนา และความหยาบผิวของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์ที่เวลาเคลือบต่าง ๆ

เวลาเคลือบ (min)	ความหนา (nm)	ความหยาบผิว (nm)
60	155	3.1
90	242	3.2
120	331	3.4
150	411	3.4
180	502	3.6



ภาพที่ 4-9 ความหนาและความหยาบผิวของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์ที่เวลาเคลือบต่าง ๆ

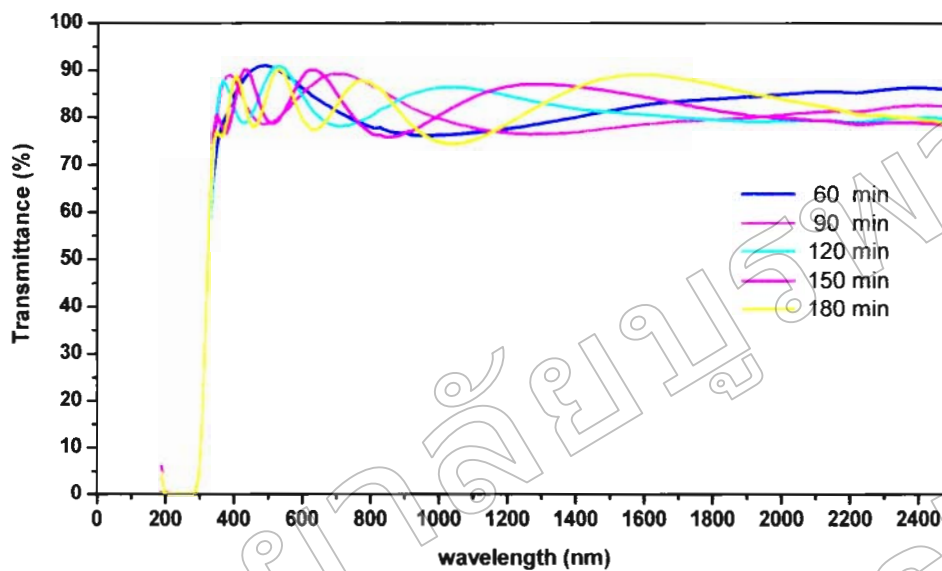
## สมบัติทางแสง และแถบพลังงานของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์

ส่วนนี้จะเป็นการเสนอผลการศึกษสมบัติทางแสงของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์ที่เคลือบบนกระจกสไลด์ ด้วยวิธี รีแอกตีฟ ดีซี แมกนีตรอน สปีดเตอริง โดยกำหนดให้อัตราส่วนแก๊สอาร์กอนต่อแก๊สออกซิเจนคงที่เท่ากับ 1 sccm : 6 sccm ระยะห่างระหว่างเป้าสารเคลือบกับวัสดุรองรับเท่ากับ 10 cm และแปรค่าความหนาจากเวลาเคลือบเท่ากับ 60 นาที, 90 นาที, 120 นาที, 150 นาที และ 180 นาที ตามลำดับ เพื่อศึกษาผลของความหนาต่อสมบัติทางแสงของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์ สำหรับสมบัติทางแสงของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์ที่ศึกษาประกอบด้วย ดัชนีหักเห สัมประสิทธิ์การดับสูญ และแถบพลังงาน

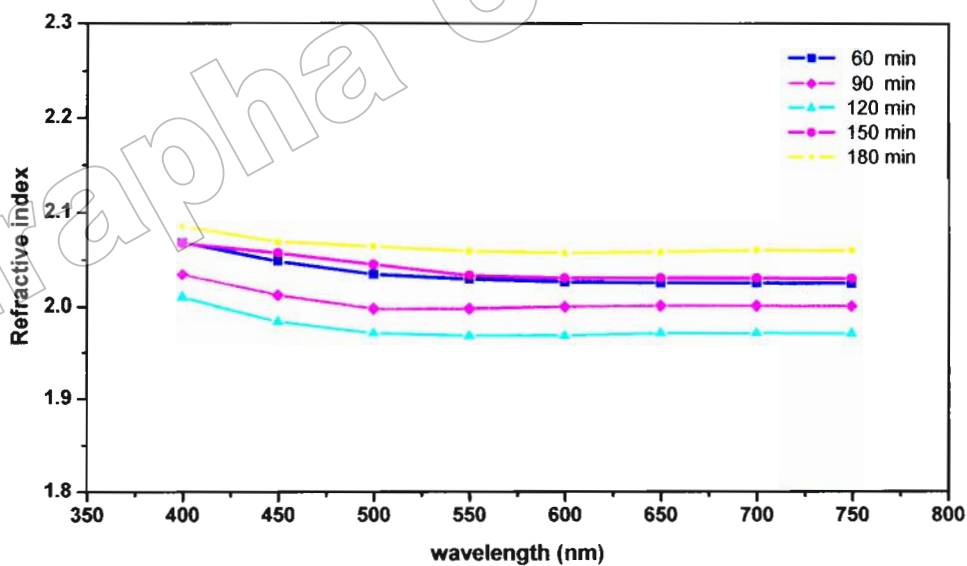
### 1. ดัชนีหักเห และสัมประสิทธิ์การดับสูญของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์

ฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์ที่เคลือบ โดยแปรค่าเวลาเคลือบ มีค่าการส่งผ่านแสงสูงทั้งในช่วงตามมองเห็นและอินฟราเรดใกล้ (ภาพที่ 4-10) สำหรับค่าดัชนีหักเห ( $n$ ) และสัมประสิทธิ์การดับสูญ ( $k$ ) หาได้จากวิธี Swanepoel โดยใช้ข้อมูลจากสเปกตรัมการส่งผ่านแสงมาคำนวณพบว่าที่ความยาวคลื่นแสง 550 nm ฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์ที่เคลือบ โดยแปรค่าเวลาในช่วง 60 นาที ถึง 120 นาที ดัชนีหักเหมีค่าลดลงจาก 2.03 เป็น 1.97 และเมื่อเพิ่มเวลาเคลือบเป็น 150 นาที และ 180 นาที ดัชนีหักเหมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 2.03 และ 2.06 ตามลำดับ (ภาพที่ 4-11) ส่วนค่าสัมประสิทธิ์การดับสูญ เมื่อใช้เวลาเคลือบเท่ากับ 60 นาที สัมประสิทธิ์การดับสูญมีค่าเท่ากับ 0.0003 เมื่อใช้เวลาเคลือบเท่ากับ 90 นาที สัมประสิทธิ์การดับสูญมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 0.0013 แล้วลดลงเป็น 0.0006 0.0005 ตามลำดับ และเมื่อใช้เวลาเคลือบเท่ากับ 180 นาที สัมประสิทธิ์การดับสูญ มีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 0.0009 (ภาพที่ 4-12)





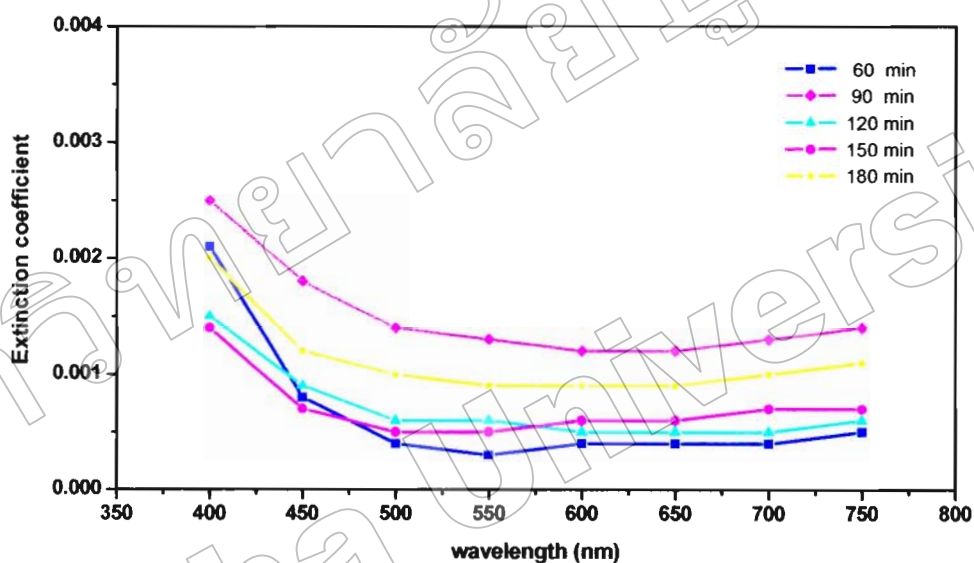
ภาพที่ 4-10 เปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์ที่เวลาเคลือบต่าง ๆ



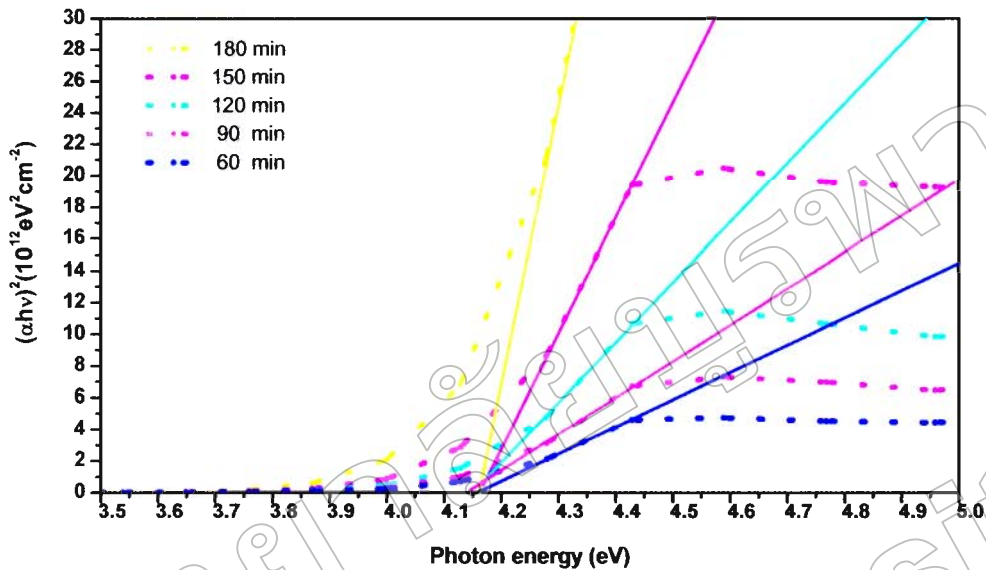
ภาพที่ 4-11 ดัชนีหักเหของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์เคลือบที่เวลาเคลือบต่าง ๆ

## 2. แถบพลังงานของฟิล์มบางเซอโรโคเนียมออกไซด์

ภาพที่ 4-13 แสดงแถบพลังงาน ( $E_g$ ) ของฟิล์มบางเซอโรโคเนียมออกไซด์ คำนวณจาก  $\alpha_{(x)} = A \sqrt{hv - E_g} / hv$  เมื่อ  $p = 2$  (direct optical band gap) (Henri & Jansen, 1991) พบว่าแถบพลังงานของฟิล์มบางเซอโรโคเนียมออกไซด์ ในงานวิจัยนี้มีค่าในช่วง 4.16 - 4.18 eV โดยมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อยตามความหนาของฟิล์ม และฟิล์มเคลือบที่เวลา 180 นาที มีแถบพลังงานของฟิล์มบางเซอโรโคเนียมออกไซด์มีค่าเท่ากับ 4.18 eV



ภาพที่ 4-12 สัมประสิทธิ์การดูดกลืนของฟิล์มบางเซอโรโคเนียมออกไซด์ที่เวลาเคลือบต่าง ๆ



ภาพที่ 4-13 แถบพลังงานของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมออกไซด์ที่เวลาเคลือบต่าง ๆ

มหาวิทยาลัยบูรพา  
Burapha University