

บทที่ 4

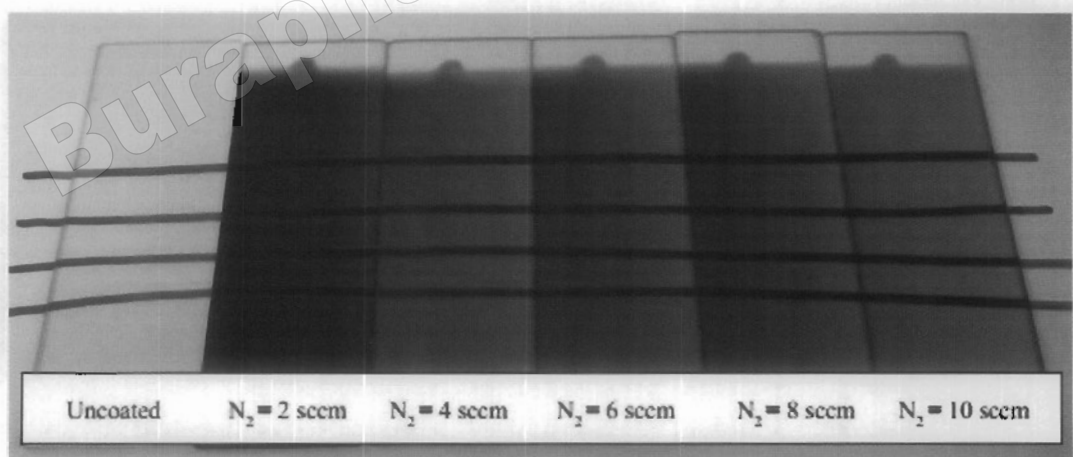
ผลการวิจัย

ผลของอัตราไหลแก๊สไนโตรเจน

ส่วนนี้เป็นข้อมูลจากการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ ที่เคลือบได้เมื่อแปรอัตราไหลแก๊สไนโตรเจนเท่ากับ 2, 4, 6, 8 และ 10 sccm ตามลำดับ ประกอบด้วย ลักษณะทางกายภาพ โครงสร้างผลึก ค่าคงที่แลตทิซ ขนาดผลึก ความหนา ลักษณะพื้นผิว และองค์ประกอบธาตุของฟิล์มบาง

1. ลักษณะทางกายภาพ

ฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ ที่เคลือบบนกระจกสไลด์ ด้วยอัตราไหลแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ ในงานวิจัยนี้ เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าพบว่าฟิล์มที่ได้มี สีน้ำตาล และส่งผ่านแสงได้บางส่วน โดยที่อัตราไหลแก๊สไนโตรเจน 2 sccm ฟิล์มมีสีน้ำตาลเข้ม เมื่ออัตราไหลแก๊สไนโตรเจนเพิ่มขึ้นเป็น 4 sccm ฟิล์มเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอ่อน และฟิล์มมีสีเข้มขึ้นเมื่ออัตราไหลแก๊สไนโตรเจนเพิ่มขึ้นเป็น 6 sccm และ 8 sccm สุดท้ายฟิล์มเปลี่ยนสีเป็นสีน้ำตาลอ่อนอีกครั้งเมื่ออัตราไหลแก๊สไนโตรเจนเท่ากับ 10 sccm ดังแสดงในภาพที่ 4-1

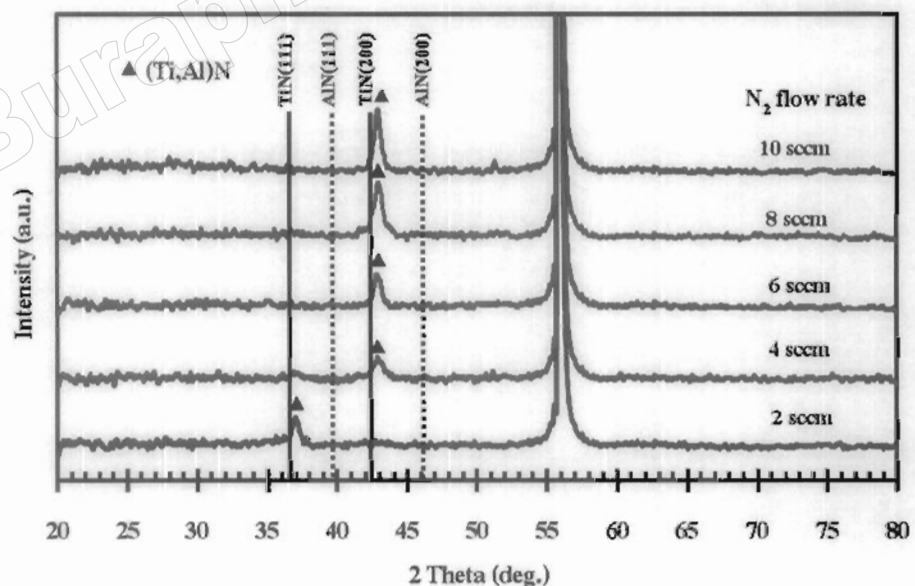


ภาพที่ 4-1 ลักษณะและสีของฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ที่เคลือบบนกระจกสไลด์เมื่อแปรค่าอัตราไหลแก๊สไนโตรเจน

2. โครงสร้างผลึก

ภาพที่ 4-2 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ จากเทคนิค XRD ของฟิล์มที่เคลือบได้ ในงานวิจัยนี้ โดยที่อัตราอัตราไหลแก๊สใน ไตรเจนเท่ากับ 2 sccm พบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ที่มุม 36.86° สอดคล้องกับ โครงสร้างผลึกของสารประกอบไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ ระนาบ (111) และเมื่อเพิ่มอัตราไหลแก๊สใน ไตรเจนเป็น 4, 6, 8 และ 10 sccm พบรูปแบบการเลี้ยวเบน รังสีเอกซ์ที่มุม 42.76° , 42.74° , 42.86° และ 42.84° สอดคล้องกับ โครงสร้างผลึกของสารประกอบ ไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ระนาบ (200) ทั้งนี้ความเข้มของรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ที่มุม 42.76° , 42.74° , 42.86° และ 42.84° ระนาบ (200) มีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราไหลแก๊สใน ไตรเจน ที่เพิ่มขึ้น สำหรับรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่มุม 56.50° เป็นตำแหน่งพิกของซิลิกอนที่ใช้เป็น วัสดุรองรับ

ทั้งนี้เมื่อพิจารณารูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของไทเทเนียมไนไตรด์ (TiN) และ อะลูมิเนียมไนไตรด์ (AlN) ซึ่งใช้เป็นตำแหน่งอ้างอิง จากฐานข้อมูล JCPDS เลขที่ 381420 และ 882250 ตามลำดับ สำหรับเปรียบเทียบการเกิดฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ในงานวิจัยนี้ พบว่ารูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มที่เคลือบได้ อยู่ระหว่างรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ของไทเทเนียมไนไตรด์และอะลูมิเนียมไนไตรด์ จึงกล่าวได้ว่าฟิล์มที่เคลือบได้ในงานวิจัยนี้คือ ฟิล์มบางของไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ ระนาบ (111) และ (200) ตามลำดับ



ภาพที่ 4-2 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ เมื่อแปรค่าอัตราไหลแก๊สใน ไตรเจน

ค่าคงที่แลตทิซของฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ที่เคลือบได้ คำนวณจากสมการระยะห่างระหว่างระนาบผลึกในระบบผลึกที่มีโครงสร้างแบบเฟซ เซ็นเตอร์คิวบิก จากรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางที่ได้ พบว่าค่าคงที่แลตทิซของฟิล์มที่ได้ในระนาบ (111) มีค่าเท่ากับ 4.2020 Å และพบค่าคงที่แลตทิซของฟิล์มที่ได้ในระนาบ (200) มีค่าอยู่ในช่วง 4.2046 Å - 4.2102 Å ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่างค่าคงที่แลตทิซของไทเทเนียมไนไตรด์และอะลูมิเนียมไนไตรด์ ตามฐานข้อมูล JCPDS ดังแสดงในตารางที่ 4-1

ขนาดผลึกของฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ในงานวิจัย หาค่าจากสมการของ Scherrer โดยอาศัยรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางที่ได้ พบว่าขนาดผลึกที่ระนาบ (111) มีค่าเท่ากับ 35.63 nm และขนาดผลึกที่ระนาบ (200) มีค่าอยู่ในช่วง 22.75 nm ถึง 33.46 nm ดังแสดงในตารางที่ 4-2

ตารางที่ 4-1 ค่าคงที่แลตทิซของฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ (111) และ (200) เมื่อแปรค่าอัตราไหลแก๊สไนโตรเจน

อัตราไหลแก๊สไนโตรเจน (sccm)	ค่าคงที่แลตทิซ (Å)	
	(111)	(200)
2	4.2020	-
4	-	4.2093
6	-	4.2046
8	-	4.2102
10	-	4.2102

หมายเหตุ 1. TiN JCPDS No. 381420 (4.241 Å)

2. AlN JCPDS No. 882250 (3.938 Å)

ตารางที่ 4-2 ขนาดผลึกของฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ (111) และ (200)
เมื่อแปรค่าอัตราไหลแก๊สไนโตรเจน

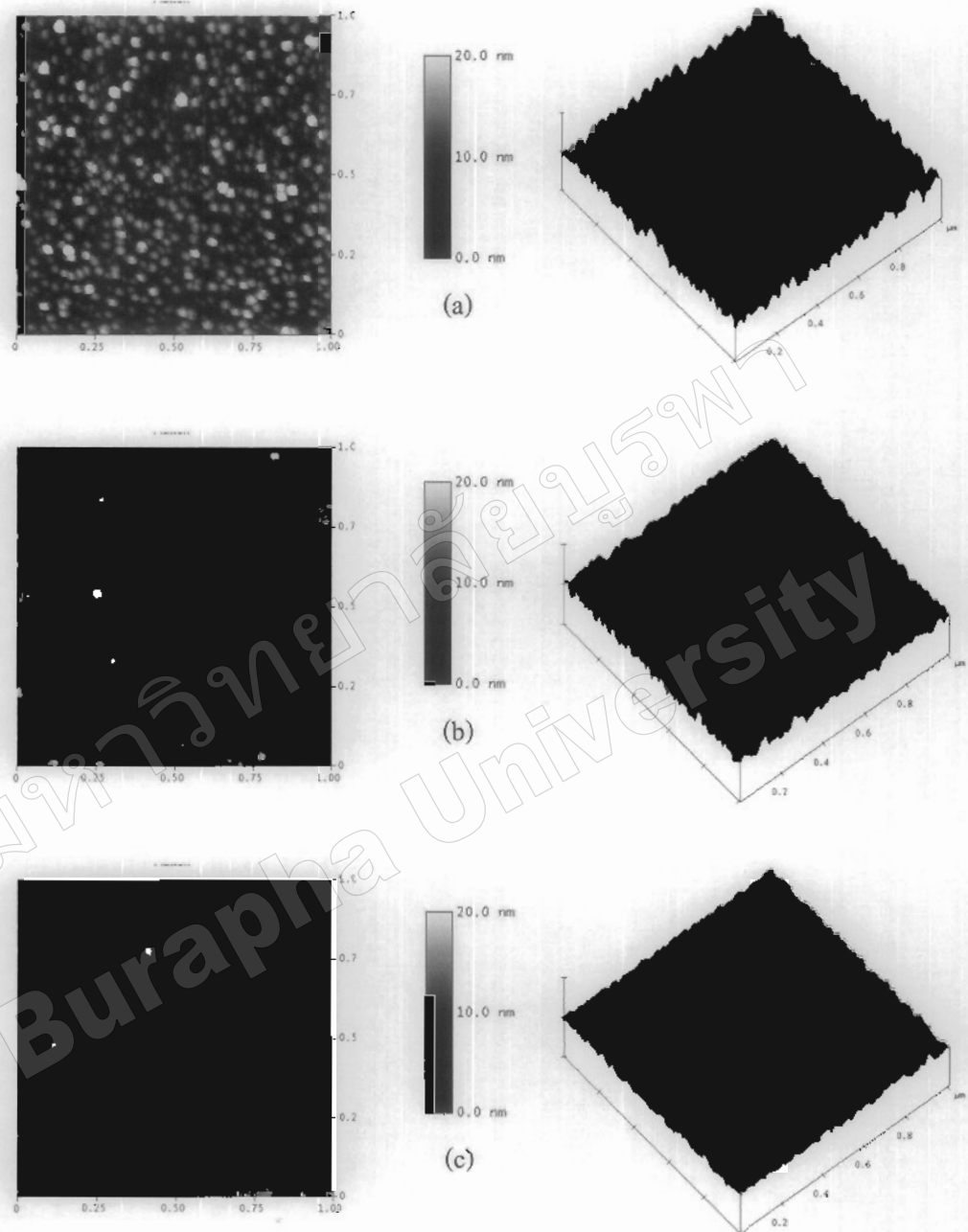
อัตราไหลแก๊สไนโตรเจน (sccm)	FWHM (rad)		ขนาดผลึก (nm)	
	(111)	(200)	(111)	(200)
2	0.0041	-	35.63	-
4	-	0.0065	-	22.75
6	-	0.0052	-	28.45
8	-	0.0048	-	31.03
10	-	0.0044	-	33.46

3. ความหนา และลักษณะพื้นผิว

ภาพที่ 4-3 แสดงลักษณะพื้นผิวแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ของฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ที่อัตราไหลแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ จากเทคนิค AFM พบว่าฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ที่เคลือบด้วยอัตราไหลแก๊สไนโตรเจนเท่ากับ 2 sccm เกรนของฟิล์มมีลักษณะปลายแหลมสูงต่ำไม่เท่ากันกระจายอยู่ทั่วผิวฟิล์ม ขณะที่อัตราไหลแก๊สไนโตรเจนเพิ่มขึ้นเป็น 4, 6, และ 8 sccm ลักษณะปลายแหลมสูงต่ำของเกรนลดลง สุดท้ายที่อัตราไหลแก๊สไนโตรเจนเท่ากับ 10 sccm เกรนของฟิล์มมีลักษณะปลายแหลมเล็กกระจายอยู่ทั่วผิวน้ำฟิล์ม

สำหรับความหนาของฟิล์มที่เคลือบได้ พบว่าที่อัตราไหลแก๊สไนโตรเจนที่ใช้เคลือบเพิ่มขึ้นจาก 2 sccm เป็น 4 sccm ความหนาฟิล์มมีค่าลดลงจาก 381 nm เป็น 194 nm และเมื่ออัตราไหลแก๊สไนโตรเจนเพิ่มขึ้นจาก 6 sccm เป็น 10 sccm ความหนาฟิล์มมีค่าลดลงจาก 170 nm เป็น 131 nm สรุปดังตารางที่ 4-3 และภาพที่ 4-4

ส่วนความหยาบผิวของฟิล์ม พบว่าเมื่ออัตราไหลแก๊สไนโตรเจนเพิ่มขึ้นจาก 2 sccm เป็น 6 sccm ความหยาบผิวของฟิล์มมีค่าลดลงจาก 4.36 nm เป็น 1.85 nm ขณะที่เมื่ออัตราไหลแก๊สไนโตรเจนเพิ่มขึ้นจาก 6 sccm เป็น 8 sccm ความหยาบผิวมีค่าค่อนข้างคงที่ในช่วง 1.85-1.89 nm สุดท้ายเมื่ออัตราไหลแก๊สไนโตรเจนเพิ่มขึ้นจาก 8 sccm เป็น 10 sccm ความหยาบผิวฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 1.89 nm เป็น 2.74 nm สรุปดังตารางที่ 4-3 และภาพที่ 4-5



ภาพที่ 4-3 ลักษณะพื้นผิวแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ของฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ ที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค AFM เมื่อแปรค่าอัตราไหลแก๊สไนโตรเจน

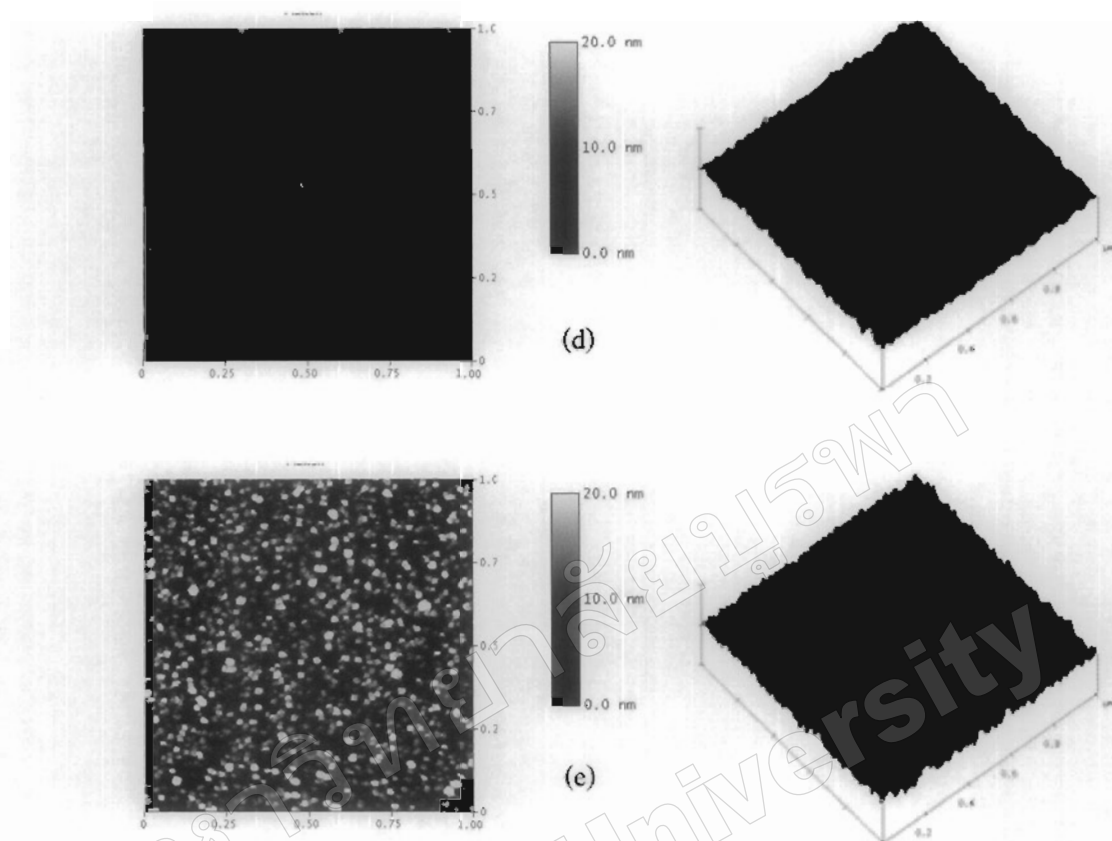
(a) 2 sccm

(b) 4 sccm

(c) 6 sccm

(d) 8 sccm

(e) 10 sccm



ภาพที่ 4-3 ลักษณะพื้นผิวแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ของฟิล์มบางโพลิเอทเธนิยมอะลูมิเนียมไนไตรด์ ที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค AFM เมื่อแปรค่าอัตราไหลแก๊สไนโตรเจน

(a) 2 sccm

(b) 4 sccm

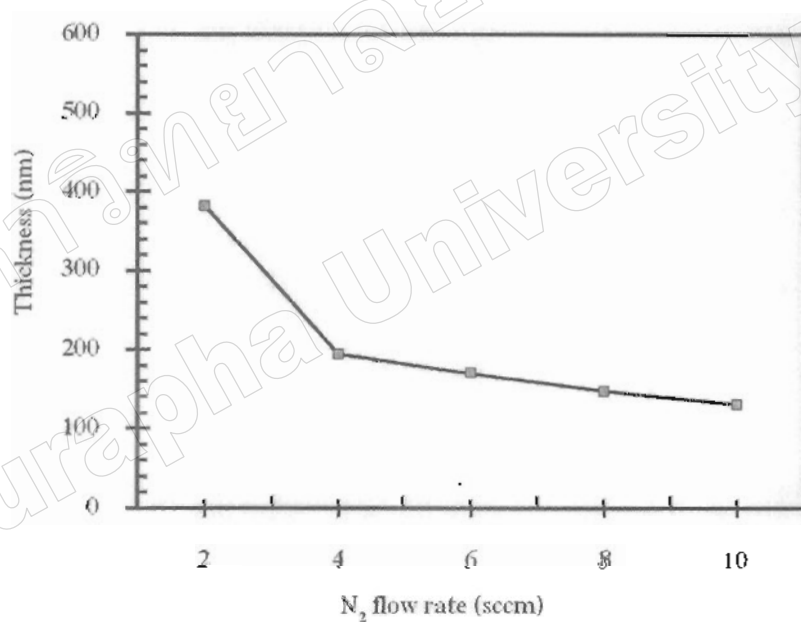
(c) 6 sccm

(d) 8 sccm

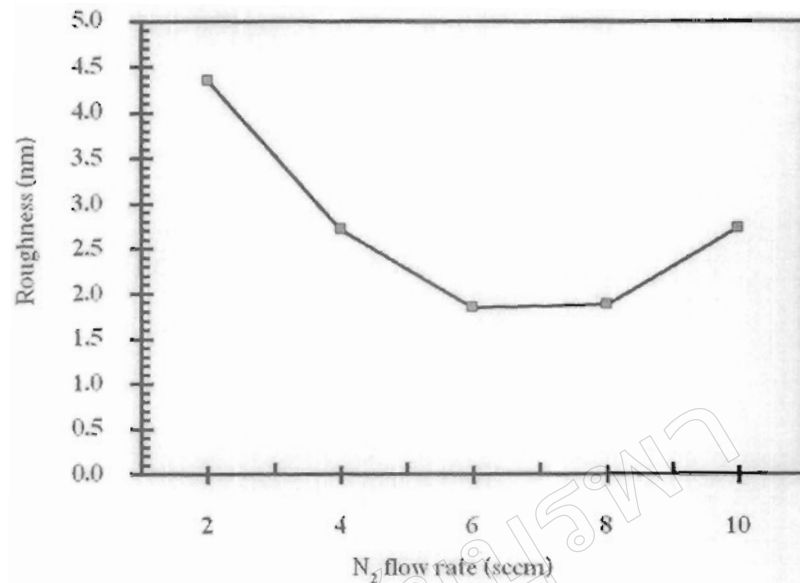
(e) 10 sccm

ตารางที่ 4-3 ความหนาและความหยาบผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์
เมื่อแปรค่าอัตราไหลแก๊สไนโตรเจน

อัตราไหลแก๊สไนโตรเจน (sccm)	ความหนา (nm)	ความหยาบผิว (nm)
2	381	4.36
4	194	2.72
6	170	1.85
8	147	1.89
10	131	2.74



ภาพที่ 4-4 ความหนาของฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์
เมื่อแปรค่าอัตราไหลแก๊สไนโตรเจน

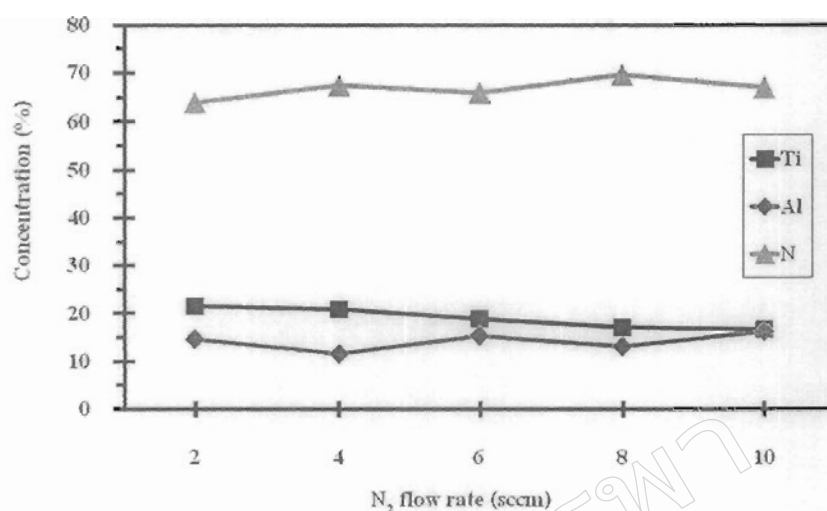


ภาพที่ 4-5 ความหยาบผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์
เมื่อแปรค่าอัตราไหลแก๊สไนโตรเจน

4. องค์ประกอบธาตุ

ภาพที่ 4-6 แสดงผลองค์ประกอบธาตุของฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ ที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDX พบว่าฟิล์มบางที่เคลือบได้ทั้งหมดมี ไทเทเนียม (Ti) อะลูมิเนียม (Al) และไนโตรเจน (N) เป็นองค์ประกอบในสัดส่วนต่าง ๆ โดยพบว่า เมื่ออัตราไหลแก๊สไนโตรเจน เพิ่มขึ้นจาก 2 sccm เป็น 10 sccm องค์ประกอบธาตุของฟิล์มมีการเปลี่ยนแปลงดังนี้คือ ไทเทเนียม มีค่าลดลงจาก 21.51% เป็น 16.71% ส่วนอะลูมิเนียม และ ไนโตรเจน ค่อนข้างคงที่โดยมีค่าอยู่ในช่วง 11.69% - 16.24% และ 63.85% - 69.74% ตามลำดับ

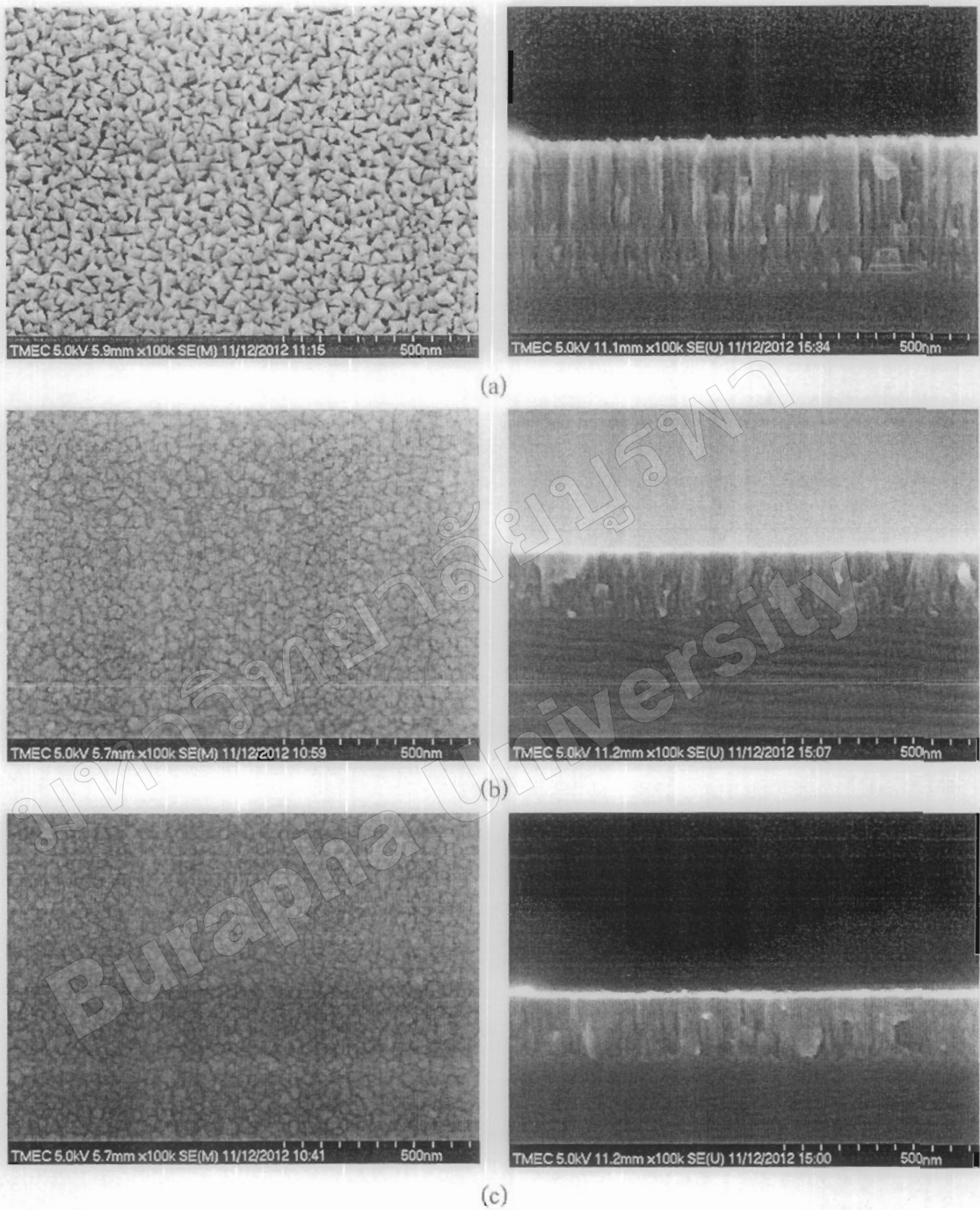
ทั้งนี้จากการศึกษาผลของอัตราไหลแก๊สไนโตรเจน พบว่าอัตราไหลแก๊สไนโตรเจน มีผลต่อโครงสร้างและลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ งานวิจัยนี้จึงเลือกอัตราไหลแก๊สไนโตรเจนเท่ากับ 10 sccm สำหรับใช้ในการทดลองต่อไป



ภาพที่ 4-6 องค์ประกอบธาตุของฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์
เมื่อแปรค่าอัตราไหลแก๊สไนโตรเจน

5. โครงสร้างจุลภาคและลักษณะพื้นผิว

ภาพที่ 4-7 แสดงโครงสร้างจุลภาคและลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ที่เคลือบได้ จากการศึกษาค้นคว้าด้วยเทคนิค FE-SEM พบว่าที่อัตราไหลแก๊สไนโตรเจน 2 sccm พื้นผิวฟิล์มมีเม็ดลักษณะคล้ายทรงสามเหลี่ยมกระจายอยู่ทั่วผิวฟิล์ม แสดงให้เห็นว่ามีความหยาบผิวมาก และเมื่ออัตราไหลแก๊สไนโตรเจนเพิ่มขึ้นจาก 4 sccm ถึง 8 sccm ผิวฟิล์มมีความขรุขระแบบไม่มีเม็ดลักษณะคล้ายทรงสามเหลี่ยมกระจายบนผิวฟิล์ม โดยความหยาบผิวลดลง และสุดท้ายความหยาบผิวมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออัตราไหลแก๊สไนโตรเจนเท่ากับ 10 sccm ส่วนลักษณะภาคตัดขวางของฟิล์มไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างของฟิล์มมีการจัดเรียงตัวแบบคอลัมน์นาร์ โดยลักษณะของคอลัมน์นาร์ลดลงตามอัตราไหลแก๊สไนโตรเจนที่เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 4-7 ภาพตัดขวางและลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ เมื่อแปรค่าอัตราไหลแก๊สไนโตรเจน

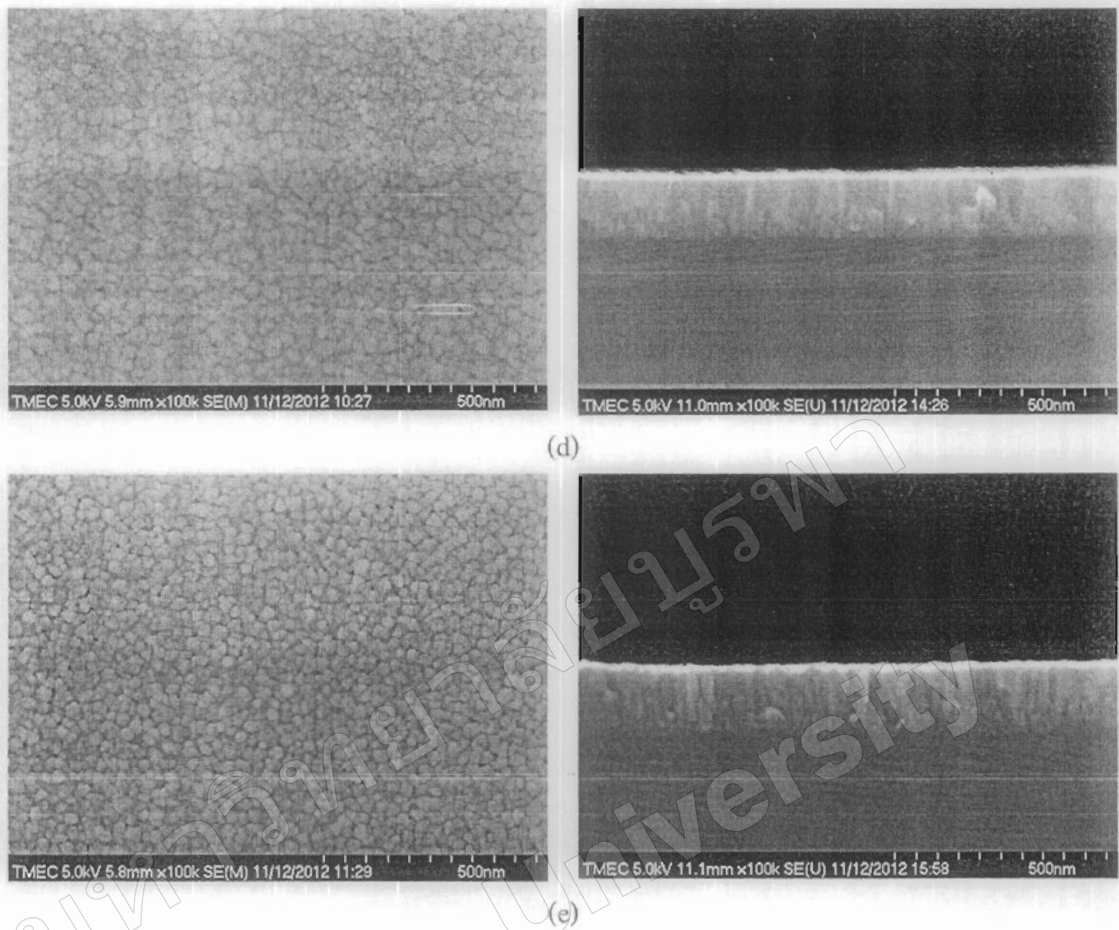
(a) 2 sccm

(b) 4 sccm

(c) 6 sccm

(d) 8 sccm

(e) 10 sccm



ภาพที่ 4-7 ภาพตัดขวางและลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์
เมื่อแปรค่าอัตราไหลแก๊สไนโตรเจน

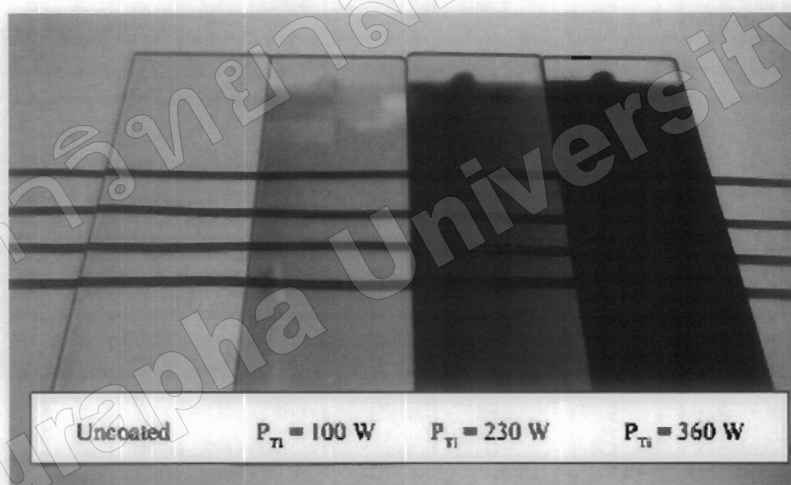
(a) 2 sccm (b) 4 sccm (c) 6 sccm
(d) 8 sccm (e) 10 sccm

ผลของกำลังไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียม

ส่วนนี้เป็นข้อมูลจากการวิเคราะห์ลักษณะเฉพาะของฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ ที่เคลือบด้วยวิธีรีแอคทีฟโคสปีดเตอริง เมื่อแปรค่ากำลังไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียม 3 ค่า คือ 100 W, 230 W และ 360 W ตามลำดับ ซึ่งประกอบด้วยลักษณะทางกายภาพ โครงสร้างผลึก ค่าคงที่แลตทิซ ขนาดผลึก ความหนา ลักษณะพื้นผิว และองค์ประกอบธาตุของฟิล์มบางที่เคลือบได้

1. ลักษณะทางกายภาพ

ฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ที่เคลือบบนกระจกสไลด์ ด้วยกำลังไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมต่าง ๆ ในงานวิจัยนี้ เมื่อสังเกตด้วยตาเปล่าพบว่าผิวหน้าฟิล์มมีลักษณะเรียบเนียน สดวาวเคลือบกระจายตัวสม่ำเสมอ ส่องผ่านแสงได้บางส่วน ฟิล์มที่เคลือบได้มีสีน้ำตาลอ่อน น้ำตาล และน้ำตาลเข้ม ตามลำดับ เมื่อกำลังไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 4-8

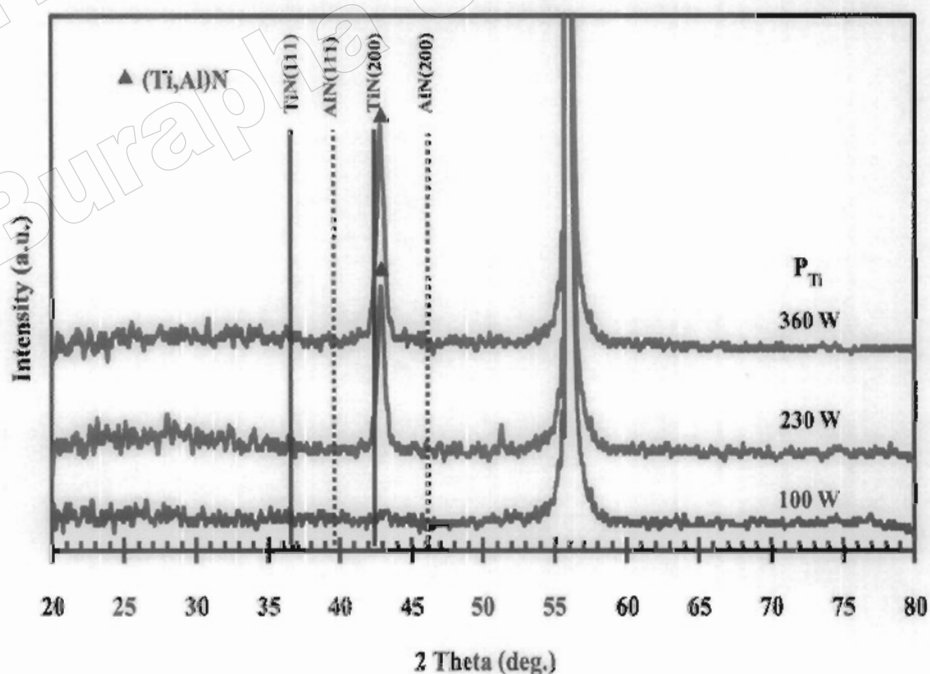


ภาพที่ 4-8 ลักษณะและสีของฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ที่เคลือบบนกระจกสไลด์ เมื่อแปรค่ากำลังไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียม

2. โครงสร้างผลึก

ภาพที่ 4-9 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์จากเทคนิค XRD ของฟิล์มบางที่เคลือบได้ในงานวิจัยนี้ เมื่อแปรค่ากำลังไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมเท่ากับ 100 W, 230 W และ 360 W โดยเมื่อใช้กำลังไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมเท่ากับ 100 W ไม่พบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ แต่เมื่อเพิ่มกำลังไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมขึ้นเป็น 230 W และ 360 W พบรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ที่มุม 42.38° และ 42.82° ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องกับโครงสร้างผลึกของสารประกอบไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ระนาบ (200) สำหรับรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่มุม 56.50° เป็นตำแหน่งผลึกของซิลิกอนที่ใช้เป็นวัสดุรองรับ

ทั้งนี้เมื่อพิจารณารูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของไทเทเนียมไนไตรด์ (TiN) และอะลูมิเนียมไนไตรด์ (AlN) ซึ่งใช้เป็นตำแหน่งอ้างอิง จากฐานข้อมูล JCPDS เลขที่ 381420 และ 882250 ตามลำดับ สำหรับเปรียบเทียบการเกิดฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ในงานวิจัยนี้ พบว่ารูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มที่เคลือบได้ อยู่ระหว่างรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของไทเทเนียมไนไตรด์และอะลูมิเนียมไนไตรด์ จึงกล่าวได้ว่าฟิล์มที่เคลือบได้ในงานวิจัยนี้คือฟิล์มบางของไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ ระนาบ (200)



ภาพที่ 4-9 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ เมื่อแปรค่ากำลังไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียม

ค่าคงที่แลตทิซของฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ที่เคลือบได้ คำนวณจากสมการระยะห่างระหว่างระนาบผลึกในระบบผลึกที่มีโครงสร้างแบบเฟซ เซ็นเตอร์คิวบิก จากรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางที่ได้ พบว่าค่าคงที่แลตทิซของฟิล์มที่ได้ในระนาบ (200) มีค่าอยู่ในช่วง 4.2102 Å - 4.2130 Å ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่างค่าคงที่แลตทิซของไทเทเนียมไนไตรด์และอะลูมิเนียมไนไตรด์ ตามฐานข้อมูล JCPDS ดังแสดงในตารางที่ 4-4

สำหรับขนาดผลึกของฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ในงานวิจัย หากจากสมการของ Scherrer โดยอาศัยรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางที่ได้ พบว่าเมื่อกำลังไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมเพิ่มขึ้น ขนาดผลึกระนาบ (200) มีค่าลดลงจาก 33.46 nm เป็น 30.47 nm ดังแสดงในตารางที่ 4-5

ตารางที่ 4-4 ค่าคงที่แลตทิซของฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ (200)

เมื่อแปรค่ากำลังไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียม

กำลังไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียม (W)	ค่าคงที่แลตทิซ (Å)
	(200)
100	-
230	4.2102
360	4.2130

หมายเหตุ 1. TiN JCPDS No. 381420 (4.241 Å)

2. AlN JCPDS No. 882250 (3.938 Å)

ตารางที่ 4-5 ขนาดผลึกของฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ (200)

เมื่อแปรค่ากำลังไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียม

กำลังไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียม (W)	FWHM (rad)	ขนาดผลึก (nm)
	(200)	(200)
100	-	-
230	0.0044	33.46
360	0.0048	30.47

3. ความหนาและลักษณะพื้นผิว

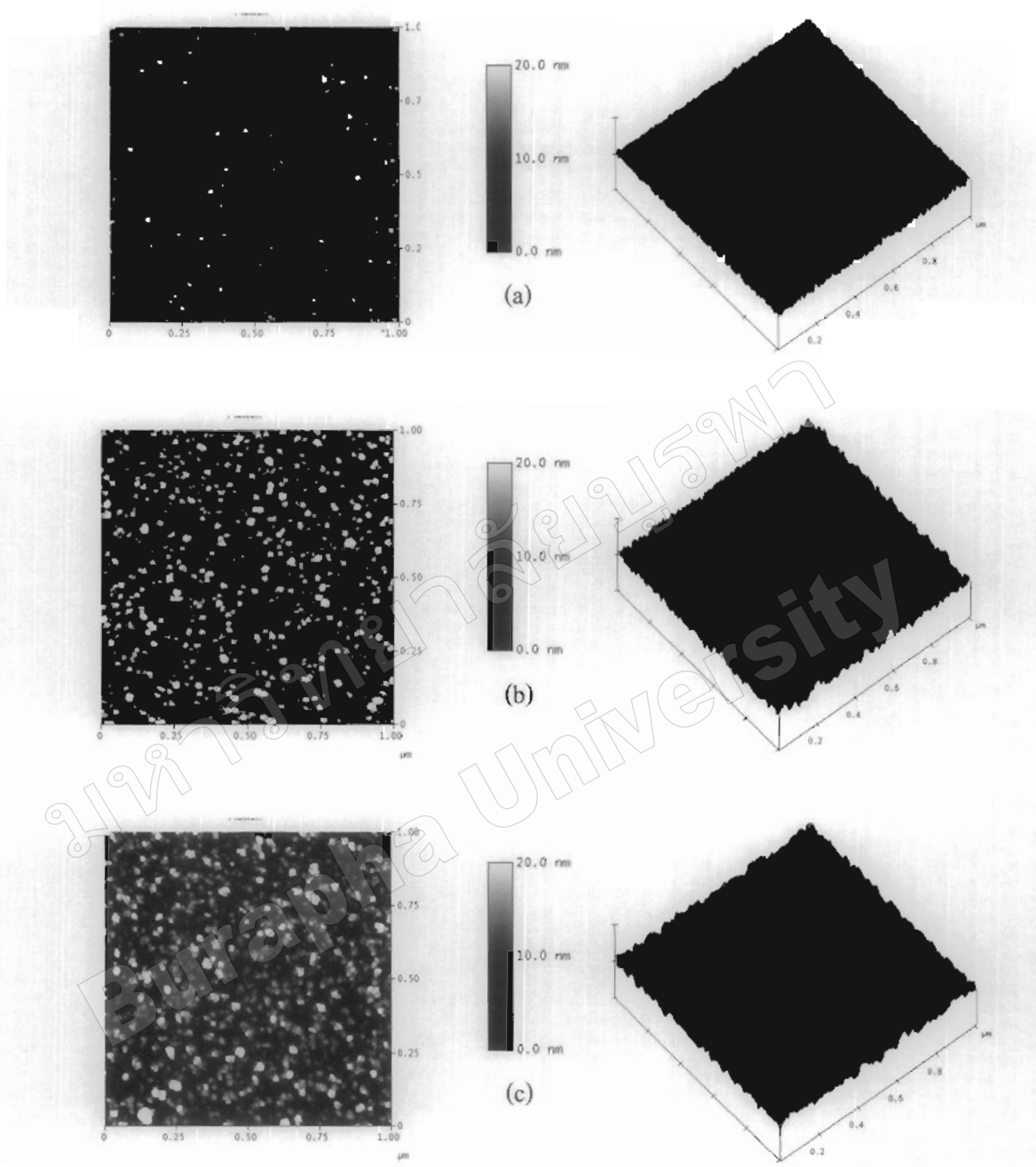
ภาพที่ 4-10 สำหรับแสดงลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์เคลือบที่กัลลังของเป้าไทเทเนียมต่าง ๆ จากเทคนิค AFM พบว่าฟิล์มชุดที่เคลือบด้วยกัลลังไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมเท่ากับ 100 W เกรนที่เกิดขึ้นมีลักษณะเป็นเม็ดเล็กกระจายทั่วผิวหน้าของฟิล์ม และเมื่อกัลลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นเป็น 230 W เกรนของฟิล์มเริ่มเกาะกลุ่มกันมีขนาดใหญ่ขึ้น สุดท้ายเมื่อกัลลังไฟฟ้าเพิ่มเป็น 360 W ลักษณะผิวหน้าของฟิล์มที่เคลือบได้มีลักษณะแหลมสูงและต่ำกระจายทั่วอยู่ผิวหน้าของฟิล์มที่เคลือบ

สำหรับความหนาของฟิล์มที่เคลือบได้ พบว่าเมื่อเพิ่มกัลลังไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมจาก 100 W เป็น 360 W พบว่าความหนาของฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 76 nm เป็น 226 nm ตามกัลลังไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมที่เพิ่มขึ้น สรุปดังตารางที่ 4-6 และภาพที่ 4-11

ส่วนความหยาบผิวของฟิล์ม พบว่าเมื่อเพิ่มกัลลังไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมจาก 100 W เป็น 230 W ความหยาบผิวของฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 1.32 nm เป็น 2.74 nm และเมื่อเพิ่มกัลลังไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมเป็น 360 W พบว่าความหยาบผิวของฟิล์มลดลงเป็น 2.35 nm สรุปดังตารางที่ 4-6 และภาพที่ 4-12

ตารางที่ 4-6 ความหนาและความหยาบผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์เมื่อแปรค่ากัลลังไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียม

กัลลังไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียม (W)	ความหนา (nm)	ความหยาบผิว (nm)
100	79	1.32
230	131	2.74
360	226	2.35

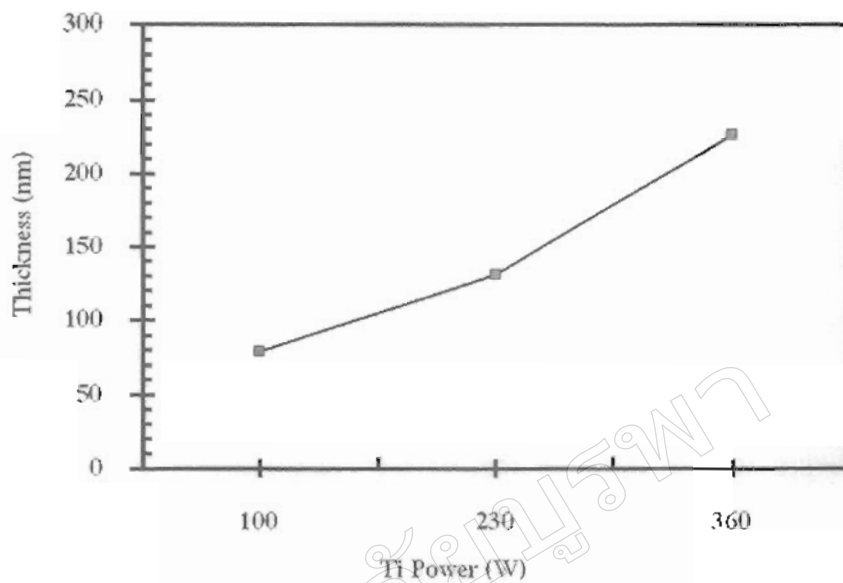


ภาพที่ 4-10 ลักษณะพื้นผิวแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ของฟิล์มบางโพลิเอไมด์อะลูมิเนียมไนไตรด์ ที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค AFM เมื่อแปรค่ากำลังไฟฟ้าของเป้าโพลิเอไมด์

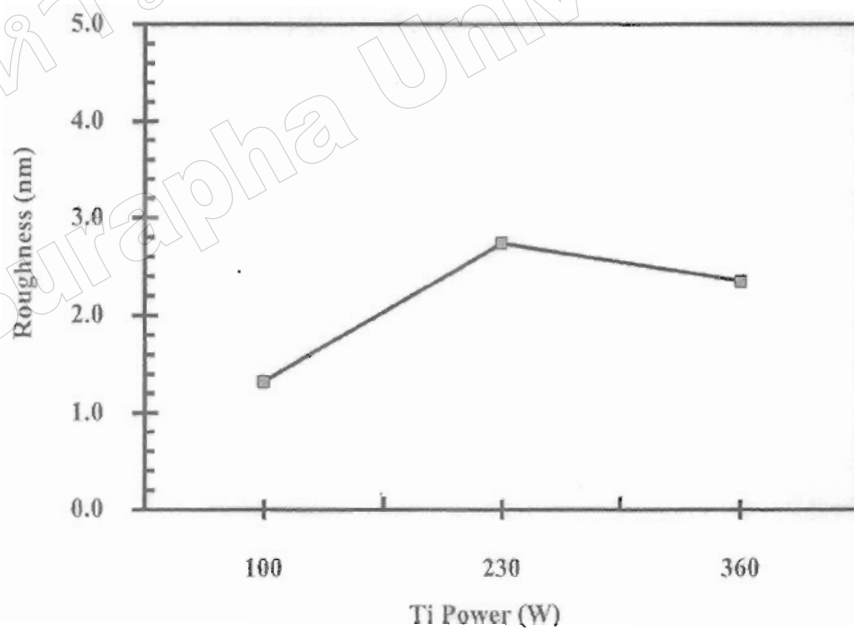
(a) 100 W

(b) 230 W

(c) 360 W



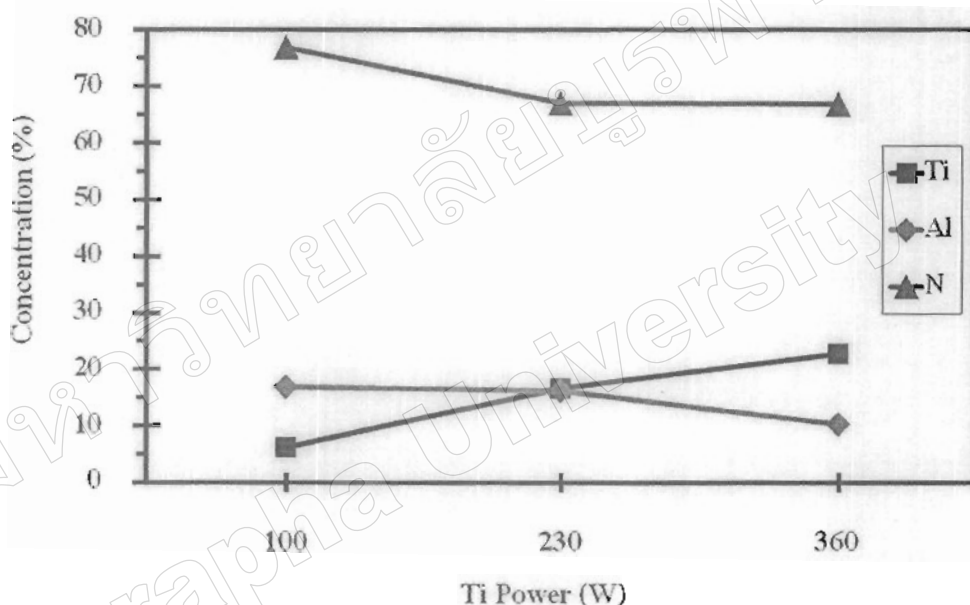
ภาพที่ 4-11 ความหนาของฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์
เมื่อแปรค่ากำลังไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียม



ภาพที่ 4-12 ความหยาบผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์
เมื่อแปรค่ากำลังไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียม

4. องค์ประกอบธาตุ

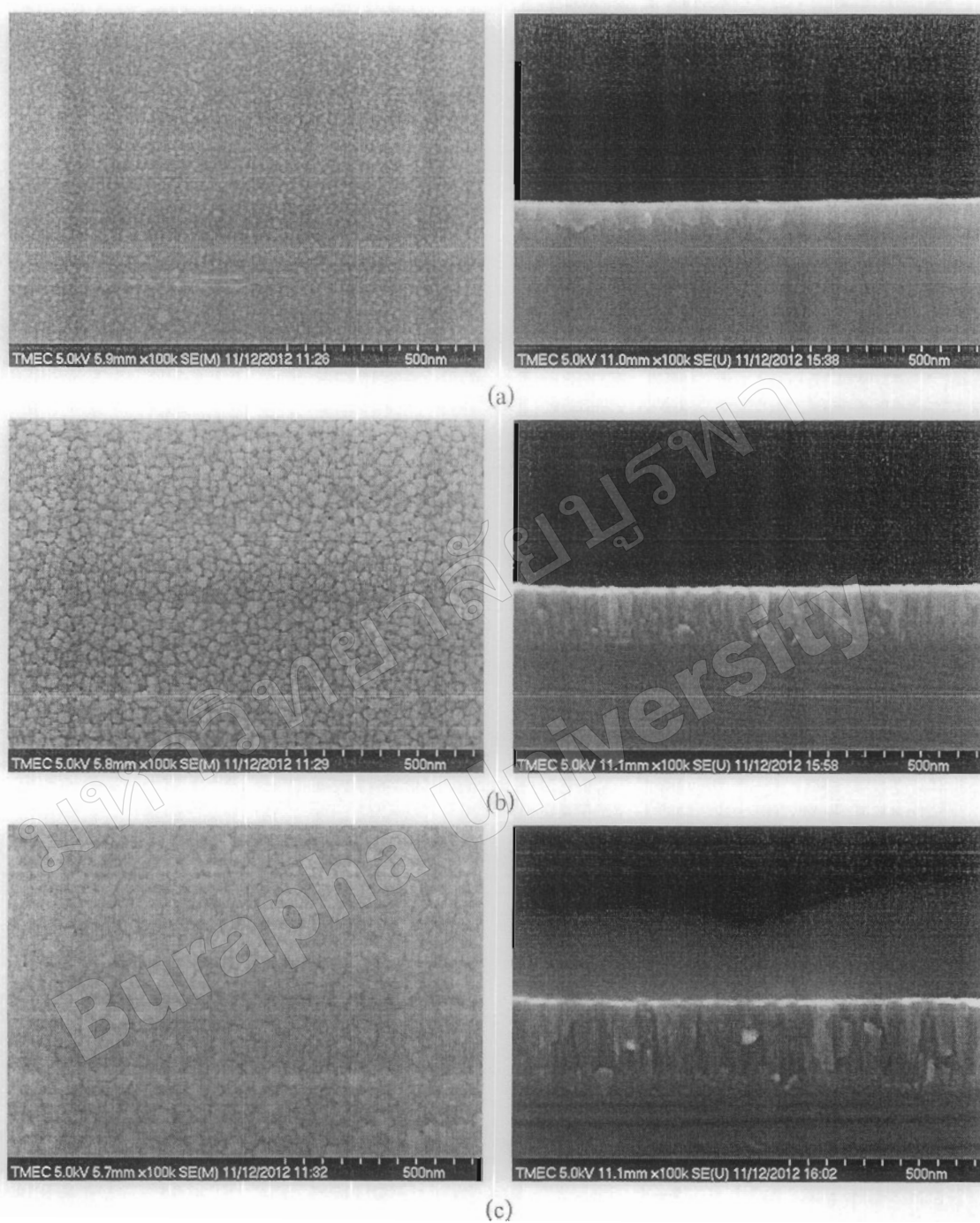
ภาพที่ 4-13 แสดงผลองค์ประกอบธาตุของฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ ที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDX พบว่าฟิล์มบางที่เคลือบได้ทั้งหมดมีไทเทเนียม (Ti) อะลูมิเนียม (Al) และไนโตรเจน (N) เป็นองค์ประกอบในสัดส่วนต่าง ๆ โดยพบว่าเมื่อกำลังไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียม เพิ่มขึ้นจาก 100 W เป็น 360 W องค์ประกอบธาตุของฟิล์มมีการเปลี่ยนแปลงดังนี้คือ ไทเทเนียมมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 6.27% เป็น 22.87% ส่วนอะลูมิเนียมลดลงจาก 16.82% เป็น 10.28% และไนโตรเจนที่มีค่าลดลงจาก 76.91% เป็น 66.85 %



ภาพที่ 4-13 องค์ประกอบธาตุของฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ เมื่อแปรค่ากำลังไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียม

5. โครงสร้างจุลภาคและลักษณะพื้นผิว

ภาพที่ 4-14 แสดงโครงสร้างจุลภาค และ ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ จากการศึกษาด้วยเทคนิค FE-SEM พบว่าที่ค่ากำลังไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมเท่ากับ 100 W พื้นผิวฟิล์มค่อนข้างเรียบ และเมื่อค่ากำลังไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมเพิ่มขึ้นเป็น 230 W มีความหยาบผิวเพิ่มขึ้น และความหยาบผิวลดลงเมื่อค่ากำลังไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมเท่ากับ 360 W ส่วนภาคตัดขวางของฟิล์มไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์ แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างของฟิล์มมีการจัดเรียงตัวแบบคอลัมน์าร์ โดยลักษณะคอลัมน์าร์เพิ่มขึ้นตามค่ากำลังไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมที่เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 4-14 ภาพตัดขวางและลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมอะลูมิเนียมไนไตรด์
เมื่อแปรค่ากำลังไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียม

(a) 100 W

(b) 230 W

(c) 360 W