

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยบูรพา

ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี 20131

การเตรียมและศึกษาลักษณะเฉพาะของฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์

เคลือบด้วยวิธี ริเอกติฟ ดิซี แมกนีตรอน สเปคโตรริง

คมกฤษ สายเสรีภาพ

28 พ.ค. 2557

337436

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดำเนินการตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์

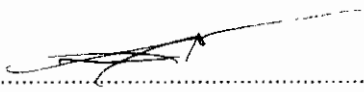
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

พฤศจิกายน 2556

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

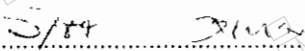
คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณา
วิทยานิพนธ์ของ คมกฤษ สายเสรีภาพ ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

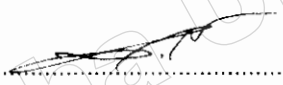
คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

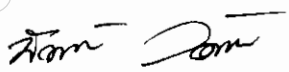

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุรสิงห์ ไชยคุณ)

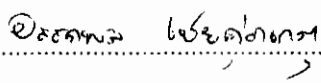

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิรันดร์ วิทิตอนันต์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

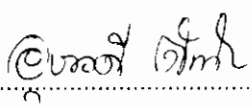

..... ประธาน
(ดร.วิเชียร ศิริพรม)


..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุรสิงห์ ไชยคุณ)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิรันดร์ วิทิตอนันต์)


..... กรรมการ
(ดร.อรรถพล ไชยคุณ)

คณะวิทยาศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ ของมหาวิทยาลัยบูรพา


..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุษาวดี ตันติวรานุรักษ์)

วันที่.....เดือน.....ปี.....พ.ศ. 2556

ทุนผู้ช่วยวิจัยจากศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์
สำนักพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สบว.)
สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) กระทรวงศึกษาธิการ (ศธ.)

ประกาศคุณูปการ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือสนับสนุนจากผู้เกี่ยวข้องหลายท่าน ผู้วิจัยขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุรสิงห์ ไชยคุณ ที่ให้ความกรุณารับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษา ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิรันดร์ วิทิตอนันต์ ที่กรุณารับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ตลอดจนรวมถึงให้คำปรึกษาแนะนำตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วนและเอาใจใส่ ด้วยดีเสมอมา ขอขอบคุณ ดร.วิเชียร ศิริพรหม ที่ให้ความกรุณามาเป็นประธานกรรมการสอบ และ ดร.อรรถพล เชยสุกเกตุ ตัวแทนฝ่ายวิจัยและบัณฑิตศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้ความอนุเคราะห์เป็นกรรมการสอบ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์ (ThEP) โครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษา และวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สบว.) สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) กระทรวงศึกษาธิการ (ศธ.) สำหรับทุนผู้วิจัย ตลอดระยะเวลาที่ผู้วิจัยศึกษา ณ มหาวิทยาลัยบูรพา ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่และบุคลากรทุกท่านของห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีสุญญากาศ และฟิล์มบาง ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา และห้องปฏิบัติการวิจัยพลาสมา สำหรับวิทยาศาสตร์พื้นผิว ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์ ที่ให้ความอนุเคราะห์และช่วยเหลือในการทำวิจัยด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ พ่อ แม่ ญาติพี่น้อง ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจกับข้าพเจ้า มาโดยตลอด รวมถึงเพื่อน ๆ ทุกคนและท่านอื่น ๆ ที่มีได้เอย่ยนามในที่นี้ ซึ่งเป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือให้การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

คมกฤษ สายเสรีภาพ

53910201: สาขาวิชา: ฟิสิกส์; วท.ม. (ฟิสิกส์)

คำสำคัญ: ฟิล์มบาง/ ไทเทเนียมไนไตรด์/รีแอคทีฟ ดีซี แมกนีตรอน สเปคโตรริง

คมกฤษ สายเสรีภาพ: การเตรียมและศึกษาลักษณะเฉพาะของฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์เคลือบด้วยวิธี รีแอคทีฟ ดีซี แมกนีตรอน สเปคโตรริง (PREPARATION AND CHARACTERIZATIONS OF TiN THIN FILMS DEPOSITED BY REACTIVE DC MAGNETRON SPUTTERING) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: สุรสิงห์ ไชยคุณ, Ph.D., นิรันดร์ วิทิตอนันต์, Ph.D. 113 หน้า. ปี พ.ศ. 2556.

ฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์ (TiN) เคลือบบนซิลิกอนและ สเตนเลสด้วยเทคนิค รีแอคทีฟดีซี แมกนีตรอน สเปคโตรริง เพื่อศึกษาผลของเงื่อนไขการเคลือบ ได้แก่ อัตราไหล่แก๊สไนโตรเจน กำลังสเปคโตรริง และเวลาเคลือบต่อโครงสร้างฟิล์ม โครงสร้างผลึกของฟิล์มศึกษาด้วยเทคนิค XRD ความหนา ลักษณะพื้นผิวศึกษาด้วยเทคนิค AFM ผลการศึกษาพบว่า ฟิล์มที่เคลือบได้มีโครงสร้างผลึกแบบเฟซเซนเตอร์คิวบิก (fcc) ระนาบ (111), (200) (220) และ (311) สำหรับทุกเงื่อนไขการเคลือบ เมื่ออัตราไหล่แก๊สไนโตรเจนเพิ่มขึ้น พบว่าขนาดผลึกเพิ่มขึ้นจาก 29 nm เป็น 42 nm ความหนาฟิล์มมีค่าประมาณ 1.4 um ความหยาบผิวเพิ่มจาก 4 nm เป็น 15 nm เมื่อกำลังสเปคโตรริงเพิ่มขึ้น พบว่า ขนาดผลึกมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 21 nm เป็น 39 nm ความหนาฟิล์มเพิ่มขึ้นจาก 331 nm เป็น 1113 nm ความหยาบผิวเพิ่มจาก 0.5 nm เป็น 21.5 nm เมื่อเวลาการเคลือบเพิ่มขึ้นพบว่า ขนาดผลึกมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 24 nm เป็น 44 nm ความหนาฟิล์มเพิ่มขึ้นจาก 0.55 um เป็น 1.45 um ความหยาบผิวเพิ่มจาก 6.4 nm เป็น 26.1 nm

53910201: MAJOR: PHYSICS; M.Sc. (PHYSICS)

KEYWORDS: THIN FILM/ TITANIUM NITRIDE/ REACTIVE MAGNETRON
SPUTTERING

KOMGRIT SAISRERRPAP: PREPARATION AND CHARACTERIZATIONS OF
TiN THIN FILMS DEPOSITED BY REACTIVE DC MAGNETRON SPUTTERING.

ADVISORY COMMITTEE: SURASING CHAIYAKUN, Ph.D., NIRUN WITIT-ANUN,
Ph.D. 113 P. 2013.

Titanium Nitride (TiN) thin films were deposited on silicon wafer and stainless substrates by reactive DC magnetron sputtering technique. The effect of the N_2 gas flow rate, the sputtering power and deposition time on the structure of the films was investigated. The crystal structure was characterized by XRD technique, the film's thickness and surface morphology were evaluated by AFM technique. The results show that the crystallite structure of the as-deposited films was face center cubic (fcc) with (111), (200), (220), and (311), plane for all deposition conditions. When the N_2 gas flow rate was increased it was found that crystal size were increased from 29 nm to 42 nm, the film's thickness were about 1.4 μm , while the roughness were increased from 4 nm to 15 nm. When the sputtering power was increased it was found that crystal size were increased from 21.9 nm to 39.8 nm, the film's thickness were increased from 331 nm to 1113 nm, while the roughness were increased from 0.5 nm to 21.5 nm. When the deposition time was increased it was found that crystal size were increased from 24 nm to 44 nm, the film's thickness were increased from 0.55 μm to 1.45 μm , while the roughness were increased from 6.4 nm to 26.1 nm.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	จ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ฎ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
ขอบเขตของการวิจัย	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
การเคลือบฟิล์มบาง.....	4
การก่อเกิดฟิล์มบาง.....	5
การเคลือบฟิล์มบางด้วยวิธีสปีดเทอริง	7
กระบวนการ โกลด์ดิสซาร์จ.....	15
ระบบเคลือบแบบดีซีสปีดเทอริง.....	20
ระบบเคลือบแบบดีซีแมกนีตรอนสปีดเทอริง.....	22
ระบบเคลือบแบบอับบาลานซ์แมกนีตรอนสปีดเทอริง.....	26
การเคลือบฟิล์มบางด้วยวิธีรีแอคทีฟสปีดเทอริง.....	29
การหาลักษณะเฉพาะของฟิล์มบาง	30
ไทเทเนียมไนไตรด์.....	39
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	41

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3	44
วิธีดำเนินการวิจัย.....	44
กรอบแนวคิดของงานวิจัย.....	44
เครื่องมือและวัสดุที่ใช้ในการทดลอง.....	45
เครื่องเคลือบฟิล์มบางระบบรีแอคทีฟดีซีแมกนีตรอนสเปคโตริง.....	47
การสร้างสถานะสุญญากาศ.....	49
การเตรียมวัสดุรองรับสำหรับการเคลือบฟิล์ม.....	51
การเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์.....	52
การวิเคราะห์ฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์.....	54
แนวทางการทดลอง.....	58
4	61
ผลการวิจัย.....	61
ผลของอัตราไหลแก๊สไนโตรเจน.....	61
ผลของกำลังไฟฟ้า.....	67
ผลของเวลาเคลือบ.....	72
5	78
อภิปรายและสรุปผล.....	78
อภิปราย.....	78
สรุปผล.....	92
บรรณานุกรม.....	88
ภาคผนวก.....	93
ภาคผนวก ก.....	94
ภาคผนวก ข.....	103
ประวัติย่อของผู้วิจัย.....	113

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 พลังงานขีดเริ่มของเป้าสารเคลือบชนิดต่าง ๆ.....	12
2-2 สมบัติของ TiN และ Ti ที่อุณหภูมิห้อง	40
3-1 เงื่อนไขการเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมในไตรด์ที่อัตราไหลแก๊สในโตรเจน ต่าง ๆ	58
3-2 เงื่อนไขการเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมในไตรด์ที่กำลังไฟฟ้าต่าง ๆ.....	59
3-3 เงื่อนไขการเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมในไตรด์ที่เวลาเคลือบต่าง ๆ	60
4-1 สีของฟิล์มบางไทเทเนียมในไตรด์ที่เคลือบบนแผ่นสแตนเลสเมื่อใช้ อัตราไหลแก๊สในโตรเจนต่าง ๆ.....	62
4-2 Texture coefficient ของฟิล์มบางไทเทเนียมในไตรด์เมื่อใช้อัตราไหลแก๊ส ในโตรเจนต่าง ๆ.....	63
4-3 ค่าคงที่แลตทิซและขนาดผลึกของฟิล์มบางไทเทเนียมในไตรด์เมื่อใช้ อัตราไหลแก๊สในโตรเจนต่าง ๆ.....	64
4-4 ความหนาและความหยาบผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมในไตรด์เมื่อใช้ อัตราไหลแก๊สในโตรเจนต่าง ๆ.....	66
4-5 สีของฟิล์มบางไทเทเนียมในไตรด์ที่เคลือบบนแผ่นสแตนเลสเมื่อใช้ กำลังไฟฟ้าต่าง ๆ.....	67
4-6 Texture coefficient ของฟิล์มบางไทเทเนียมในไตรด์เมื่อใช้กำลังไฟฟ้าต่าง ๆ.....	69
4-7 ค่าคงที่แลตทิซและขนาดผลึกของฟิล์มบางไทเทเนียมในไตรด์เมื่อใช้ กำลังไฟฟ้าต่าง ๆ.....	69
4-8 ความหนาและความหยาบผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมในไตรด์เมื่อใช้ กำลังไฟฟ้าต่าง ๆ.....	71
4-9 สีของฟิล์มบางไทเทเนียมในไตรด์ที่เคลือบบนแผ่นสแตนเลสเมื่อใช้ เวลาเคลือบต่าง ๆ	72

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4-10 Texture coefficient ของฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์เมื่อใช้เวลาคือต่างกันต่าง ๆ	74
4-11 ค่าคงที่แลตทิซและขนาดผลึกของฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์เมื่อใช้ เวลาคือต่างกันต่าง ๆ	74
4-12 ความหนาและความหยาบผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์เมื่อใช้ เวลาคือต่างกันต่าง ๆ	76
ก - 1 ระบบผลึกและค่าคงที่แลตทิซ	96

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1 การก่อเกิดฟิล์มบาง.....	6
2-2 อันตรกิริยาระหว่างไอออนกับพื้นผิววัสดุ	8
2-3 ลักษณะของเครื่องเคลือบสุญญากาศด้วยวิธีสปัตเตอริง	10
2-4 ยีลต์ของทองแดงที่ถูกรุนด้วย ไอออนจากแก๊สอาร์กอนที่พลังงานต่าง ๆ.....	12
2-5 การเปลี่ยนแปลงค่ายีลต์ของเป้าทองแดง (Cu) , เงิน (Ag) และแทนทาลัม (Ta) เมื่อใช้ไอออนพลังงาน 45 keV จากธาตุที่มีเลขอะตอมค่าต่าง ๆ.....	14
2-6 การเปลี่ยนแปลงของยีลต์เมื่อใช้ไอออนของปรอทพลังงาน 200 eV ชนเป้านิกเกิล (Ni), โมลิบดีนัม (Mo), ทังสเตน (W) และทองคำขาว (Pt) ที่มุมการตกกระทบค่า ต่าง ๆ (วัดเทียบกับแนวชนตั้งฉากบนเป้า)	14
2-7 ความสัมพันธ์ของความหนาแน่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้วอิเล็กโตรด ของกระบวนการเกิด ดีซี โกลว์ดีสชาร์จ ในหลอดสุญญากาศบรรจุแก๊สไนออน.....	16
2-8 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าทะเลาะและผลคูณระหว่างความดัน (P) และระยะระหว่างอิเล็กโตรด (d)	17
2-9 โกลว์ดีสชาร์จของหลอดไนออนยาว 50 cm ที่ความดัน 1.33 mbar	18
2-10 ระบบสปัตเตอริงแบบดีซีสปัตเตอริง.....	20
2-11 ผลของความดันในระบบที่มีผลต่ออัตราเคลือบ ค่ายีลต์และกระแสไฟฟ้าใน ระบบสปัตเตอริงของนิกเกิลที่ใช้แรงดันไฟฟ้า 3,000 V ระหว่างขั้วอิเล็กโตรด ที่วางห่างกัน 4.5 cm.....	21
2-12 การเคลื่อนที่ของอนุภาคอิเล็กตรอนในสนามแม่เหล็ก.....	22
2-13 การเคลื่อนที่ของอนุภาคในสนามต่าง ๆ โดยที่ a, b, c เป็นการเคลื่อนที่ของ อนุภาคประจุในสนามแม่เหล็กอย่างเดียวกัน d และ e เป็นการเคลื่อนที่ของ อนุภาคประจุในสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าร่วมกันในลักษณะต่าง ๆ	24
2-14 การจัดสนามแม่เหล็กและแนวการกักกร่อนของเป้าสารเคลือบในระบบพลาสมา แมกนีตรอน สปัตเตอริง.....	25
2-15 ลักษณะเส้นแรงแม่เหล็กของระบบอัมบาลานซ์ แมกนีตรอน สปัตเตอริง.....	27
2-16 ลักษณะพลาสมาของระบบสปัตเตอริง	28

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2-17 การเกิดปฏิกิริยารวมตัวกันเป็นสารประกอบระหว่างแก๊สไนโตรเจนกับอะตอม เป้าสารเคลือบในบริเวณต่าง ๆ.....	30
2-18 แบบจำลองการเรียงตัวของอะตอม.....	32
2-19 ความเข้มของพีคที่แสดงถึงระนาบผลึกของวัสดุในตำแหน่งที่มีการสะท้อนรังสี....	33
2-20 องค์ประกอบหลักของเครื่องมือ Scanning Probe Microscope.....	34
2-21 ลักษณะของแรงกระทำระหว่างอะตอมที่เกิดขึ้นในระยะห่างระหว่างวัตถุต่าง ๆ	35
2-22 เครื่อง AFM แบบ Multimode.....	36
2-23 ลักษณะการสั่นของคานที่มีเข็มติด.....	37
2-24 เฟสไดอะแกรมของสารประกอบไทเทเนียมไนไตรด์.....	40
3-1 กรอบแนวความคิดของการวิจัย.....	45
3-2 เครื่องเคลือบสุญญากาศระบบรีแอคทีฟ ดีซี แมกนีตรอน สปีดเตอริงที่ใช้ใน งานวิจัย.....	46
3-3 เครื่อง X-Ray Diffractometer.....	47
3-4 เครื่อง Atomic Force Microscope.....	47
3-5 ไดอะแกรมของเครื่องเคลือบ.....	48
3-6 ไดอะแกรมระบบเครื่องสุญญากาศของระบบเคลือบสปีดเตอริง.....	50
3-7 การล้างวัสดุรองรับ.....	52
3-8 การเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์.....	53
3-9 ตัวอย่างผลการตรวจวัดความหนาฟิล์มด้วยเทคนิค AFM.....	56
3-10 ตัวอย่างผลการหาความหยาบผิวเฉลี่ย.....	57
3-11 ตัวอย่างผลการตรวจวัดลักษณะพื้นผิวฟิล์มด้วยเทคนิค AFM.....	59
4-1 ลักษณะและสีของฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์ ที่เคลือบบนแผ่นสแตนเลส เมื่อใช้อัตราไหลแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ.....	61
4-2 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์เมื่อใช้ อัตราไหลแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ.....	62

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-3 ลักษณะพื้นผิวแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ของฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์ เมื่อใช้อัตราไหลแก๊สใน โตรเจนต่าง ๆ ที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค AFM.....	65
4-4 ความหนาและความหยาบผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์เมื่อใช้อัตราไหลแก๊สใน โตรเจนต่าง ๆ.....	66
4-5 ลักษณะและสีของฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์ ที่เคลือบบนแผ่นสแตนเลสเมื่อใช้กำลังไฟฟ้าต่าง ๆ	67
4-6 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์เมื่อใช้กำลังไฟฟ้าต่าง ๆ.....	68
4-7 ลักษณะพื้นผิวแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ของฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์ เมื่อใช้กำลังไฟฟ้าต่าง ๆ ที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค AFM.....	70
4-8 ความหนาและความหยาบผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์เมื่อใช้กำลังไฟฟ้าต่าง ๆ.....	71
4-9 ลักษณะและสีของฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์ ที่เคลือบบนแผ่นสแตนเลสเมื่อใช้เวลาเคลือบต่าง ๆ.....	72
4-10 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์เมื่อใช้เวลาเคลือบต่าง ๆ	73
4-11 ลักษณะพื้นผิวแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ของฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์ เมื่อใช้เวลาเคลือบต่าง ๆ ที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค AFM	75
4-12 ความหนาและความหยาบผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์เมื่อใช้เวลาเคลือบต่าง ๆ	76
5-1 Texture Coefficient ของระนาบ (111) และ (200) ของฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์ เมื่อใช้อัตราไหลแก๊สใน โตรเจนต่าง ๆ.....	79
5-2 Texture Coefficient ของระนาบ (111) และ (200) ของฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์ เมื่อใช้กำลังไฟฟ้าต่าง ๆ	82
5-3 Texture Coefficient ของระนาบ (111) และ (200) ของฟิล์มบางไทเทเนียมไนไตรด์ เมื่อใช้เวลาเคลือบต่าง ๆ.....	85

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ก - 1 หน่วยเซลล์แบบต่าง ๆ.....	95
ก - 2 ค่าคงที่แลตทิซของหน่วยเซลล์.....	95
ก - 3 หน่วยเซลล์ 14 แบบในแลตทิซบราวเวส์.....	97
ก - 4 แบบจำลองการเรียงตัวของอะตอม.....	99
ก - 5 Effect of crystallite size on diffraction curves (schematic).....	101
ก - 6 การหาความกว้างครึ่งหนึ่งของพีคที่มีค่าความเข้มสูงสุด.....	102

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University