การเตรียมและศึกษาลักษณะเฉพาะของฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ด้วยวิธีรีแอคตีฟแมกนีตรอนโคสปัตเตอริง

อารีรัตน์ สมหวังสกุล

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
มีนาคม 2556
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของ อารีรัตน์ สมหวังสกุล ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต 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.ธนัสถา รัตนะ)

คณะวิทยาศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ ของมหาวิทยาลัยบูรพา

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุษาวดี ตันติวรานุรักษ์)
วันที่ 29 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2556

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา
จากมหาวิทยาลัยบูรพา
ประจำภาคปลาย ปีการศึกษา 2555
และ
ทุนผู้ช่วยวิจัยจากศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์
สำนักพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สบว.)
สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) กระทรวงศึกษาธิการ (ศธ.)

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

ประกาศคุณูปการ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงด้วยความช่วยเหลือและกรุณาจากผู้เกี่ยวข้องหลายท่าน ผู้วิจัยขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สุรสิงห์ ไชยคุณ ที่ให้ความกรุณารับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลักวิทยานิพนธ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิรันดร์ วิทิตอนันต์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วมวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณ ดร.วิเชียร ศิริพรม ที่ให้ความกรุณามาเป็นประธานกรรมการสอบ และขอขอบคุณ ดร.ธนัสถา รัตนะ ตัวแทนฝ่ายวิจัยและบัณฑิตศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้ความอนุเคราะห์เป็นกรรมการสอบ ผู้วิจัยรู้สึกทราบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอขอบคุณแหล่งทุนที่ให้การสนับสนุนงานวิจัย วิทยานิพนธ์นี้ได้รับทุนสนับสนุนบางส่วนจาก ทุนอุดหนุนการวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา จากมหาวิทยาลัยบูรพา ประจำภาคปลาย ปีการศึกษา 2555 และได้รับทุนสนับสนุนหลักจาก ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์ ภายใต้การกำกับของโครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สบว.) (PERDO) สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) กระทรวงศึกษาธิการ (ศธ.)

ขอขอบคุณบุคลากรของห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีสุญญากาศและฟิล์มบาง (VTTF) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ห้องปฏิบัติการวิจัยพลาสมาสำหรับวิทยาศาสตร์พื้นผิว (PSS) ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์ (ThEP) สำหรับให้ความอนุเคราะห์และช่วยเหลือในการทำวิจัยด้วยดี คุณภาษิณี สหายา สำหรับการประสานงานต่าง ๆ

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ พ่อ แม่ ที่ให้ความช่วยเหลือเป็นกำลังใจ ทั้งทางด้านร่างกาย และจิตใจ กับข้าพเจ้าตลอด รวมถึง พี่ น้อง และหมู่ผองเพื่อนทุกคน รวมทั้งท่านอื่น ๆ ที่มิได้เอ่ยนามในที่นี้ ที่ให้กำลังใจและความช่วยเหลือ ซึ่งมีส่วนทำให้การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

อารีรัตน์ สมหวังสกุล

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

54910075: สาขาวิชา: ฟิสิกส์; วท.ม. (ฟิสิกส์)
คำสำคัญ: ฟิล์มบาง/ ไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ / รีแอคตีฟแมกนีตรอนโคสปัตเตอริง

อารีรัตน์ สมหวังสกุล: การเตรียมและศึกษาลักษณะเฉพาะของฟิล์มบางไทเทเนียมอลูเนียมไนไตรด์ ที่เคลือบด้วยวิธีรีแอคตีฟแมกนีตรอนโคสปัตเตอริง (PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF TiAlN THIN FILMS DEPOSITED BY REACTIVE MAGNETRON CO-SPUTTERING) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: สุรสิงห์ ไชยคุณ, Ph.D., นิรันดร์ วิทิตอนันต์, Ph.D. 113 หน้า. ปี พ.ศ. 2556.

ฟิล์มบางของสารประกอบสามชนิดไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ (TiAlN) เคลือบด้วยเทคนิครีแอคตีฟแมกนีตรอนโคสปัตเตอริง โดยแปรค่ากระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียม (I_{Ti}) ในช่วง 300 mA ถึง 900 mA และแปรค่าอัตราไหลแก๊สไนโตรเจนในช่วง 4 sccm ถึง 8 sccm ฟิล์มที่เคลือบได้นำไปวิเคราะห์ด้วยเทคนิค X-ray diffraction (XRD), Atomic Force Microscope (AFM), Energy Dispersive X-ray spectroscopy (EDX) และ Field Emission Scanning Electron Microscopy (FE-SEM) ผลจากการศึกษาพบว่า โครงสร้างผลึก ลักษณะพื้นผิวและองค์ประกอบธาตุของฟิล์ม ขึ้นกับกระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมและอัตราไหลแก๊สไนโตรเจน โดยฟิล์มที่เคลือบได้มีโครงสร้างผลึกของไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ ระนาบ (111) (200) และ (220) ความเป็นผลึกของฟิล์ม เปลี่ยนไปตามเงื่อนไขการเคลือบ ผลการวิเคราะห์ด้วย AFM พบว่าความหยาบและการรวมกลุ่มเกรนของฟิล์ม ไม่เพียงแต่เพิ่มค่าความหยาบผิวเท่านั้น แต่ยังเพิ่มความหนาเฉลี่ยของฟิล์มอีกด้วย ผลจากการวิเคราะห์ด้วย EDX พบว่าองค์ประกอบธาตุของฟิล์ม ขึ้นกับกระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียม แต่ไม่ขึ้นกับอัตราไหลแก๊สไนโตรเจนที่ใช้ในการเคลือบ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

54910075: MAJOR: PHYSICS; M.Sc. (PHYSICS)

KEYWORDS: THIN FILM/ TITANIUM ALUMINIUM NITRIDE / REACTIVE MAGNETRON CO- SPUTTERING

AREERAT SOMWANGSAKUN: PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF TiAlN THIN FILMS DEPOSITED BY REACTIVE MAGNETRON CO-SPUTTERING. ADVISORY COMMITTEE: SURASINGH CHAIYACOUN, Ph. D., NIRUN WITIT-ANUN, Ph. D. 113 P. 2013.

The ternary nitride titanium aluminium nitride (TiAlN) thin fims were deposited by reactive magnetron co-sputtering technique with different titanium sputtering current (I_{Ti}) ranging from 300 mA to 900 mA, and N_2 gas flow rate ranging from 4 sccn to 8 sccm. The as-deposited films were investigated by X-ray diffraction (XRD), Atomic Force Microscope (AFM) , Dispersive X-ray spectroscopy (EDX) and Field Emission Scanning Electron Microscopy (FE-SEM). The results show that the crystal structure, surface morphologies and composition of the films are strongly dependent on the titanium sputtering current (I_{Ti}) and N_2 gas flow rate. All the films are composed of TiAlN crystal structure (111), (200) and (220) planes. The crystallinity of the films changed as a function of deposition parameters. The AFM measurement indicated that the coarse and congregate grain with not only enhanced roughness but also, continuous increases in average thickness. The EDX measurement indicated that the composition of the film is strongly dependent on the titanium sputtering current (I_{Ti}) but independent on N_2 gas flow rate.

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ซ
สารบัญภาพ	ฌ
บทที่	
1 บทนำ	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
ขอบเขตของการวิจัย	4
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	5
กระบวนการเคลือบฟิล์มบาง	5
โครงสร้างของฟิล์มบาง	6
กระบวนการโกลว์ดิสชาร์จ	8
การเคลือบฟิล์มบางด้วยวิธีสปัตเตอริง	12
เครื่องเคลือบฟิล์มบางแบบดีซีสปัตเตอริง	20
เครื่องเคลือบฟิล์มบางแบบดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริง	22
เครื่องเคลือบฟิล์มบางแบบอันบาลานซ์แมกนีตรอนสปัตเตอริง	27
เครื่องเคลือบฟิล์มบางด้วยกระบวนการรีแอคตีฟสปัตเตอริง	28
การหาลักษณะเฉพาะของฟิล์มบาง	30
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	44

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญ (ต่อ)

บทที่

3 วิธีดำเนินการวิจัย 48
กรอบแนวคิดของงานวิจัย 48
เครื่องมือและวัสดุที่ใช้ในการทดลอง 50
เครื่องเคลือบฟิล์มบางระบบรีแอคตีฟโคสปัตเตอริง 54
การสร้างสภาวะสุญญากาศ 56
การเตรียมวัสดุรองรับสำหรับการเคลือบฟิล์ม 58
การเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ 59
การศึกษาลักษณะเฉพาะของฟิล์มบาง 61
แนวทางการทดลอง 66
4 ผลการวิจัย 68
ผลของกระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียม 68
ผลของอัตราไหลแก๊สไนโตรเจน 76
5 อภิปรายและสรุปผล 84
อภิปราย 84
สรุปผลการทดลอง 89
บรรณานุกรม 90
ภาคผนวก 93
ภาคผนวก ก 94
ภาคผนวก ข 102
ประวัติย่อของผู้วิจัย 113

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2-1 พลังงานขีดเริ่มของเป้าสารเคลือบชนิดต่าง ๆ 17

3-1 เงื่อนไขการเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ที่กระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมต่าง ๆ 66

3-2 เงื่อนไขการเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ที่อัตราไหลแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ 67

4-1 ค่าคงที่แลตทิซของฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์(200) ที่กระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมต่าง ๆ 71

4-2 ขนาดผลึกของฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ที่กระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมต่าง ๆ 71

4-3 ความหนาและความหยาบผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ที่กระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมต่าง ๆ 73

4-4 ค่าคงที่แลตทิซของฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์(200) ที่อัตราไหลแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ 79

4-5 ขนาดผลึกของฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์(200) ที่อัตราไหลแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ 79

4-6 ความหนาและความหยาบผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ที่อัตราไหลแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ 81

ก-1 โครงสร้างระบบผลึก 96

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2-1 ประเภทของกระบวนการเคลือบฟิล์มบางในสุญญากาศ 6

2-2 ความสัมพันธ์ของความหนาแน่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้วอิเล็กโตรดของกระบวนการเกิดดีซีโกลว์ดิสชาร์จในหลอดสุญญากากศบรรจุแก๊สอาร์กอน 9

2-3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าทะลายและผลคูณระหว่างความดัน (P) และขั้และระยะระหว่างอิเล็กโตรด (d) 10

2-4 โกลว์ดิสชาร์จของหลอดนีออนยาว 50 cm ที่ความดัน 1.33 mbar 10

2-5 อันตรกิริยาระหว่างไอออนกับพื้นผิววัสดุ 13

2-6 ลักษณะของเครื่องเคลือบสุญญากาศด้วยวิธีสปัตเตอริง 15

2-7 ยีลด์ของทองแดงที่ถูกชนด้วยไอออนจากแก๊สอาร์กอนที่พลังงานต่าง ๆ 17

2-8 การเปลี่ยนแปลงค่ายีลด์ของเป้าทองแดง (Cu) , เงิน (Ag) และแทนทาลัม (Ta) เมื่อใช้ไอออนพลังงาน 45 keV จากธาตุที่มีเลขอะตอมค่าต่าง ๆ 19

2-9 การเปลี่ยนแปลงของยีลด์เมื่อใช้ไอออนของปรอทพลังงาน 200 eV ชนเป้านิเกิล (Ni), โมลิบดินัม (Mo) , ทังสเตน (W) และทองคำขาว (Pt) ที่มุมการตกกระทบค่าต่าง ๆ (วัดเทียบกับแนวชนตั้งฉากบนเป้า) 19

2-10 ระบบสปัตเตอริงแบบ ดีซี สปัตเตอริง 20

2-11 ผลของความดันที่มีต่ออัตราเคลือบ ค่ายีลด์และกระแสไฟฟ้าในระบบสปัตเตอริงของนิเกิลที่ใช้ศักย์ไฟฟ้า 3,000 V ระหว่างขั้วอิเล็กโตรดที่วางห่างกัน 4.5 cm 21

2-12 การเคลื่อนที่ของอนุภาคอิเล็กตรอนในสนามแม่เหล็ก 22

2-13 การเคลื่อนที่ของอนุภาคในสนามต่าง ๆ โดยที่ a , b , c เป็นการเคลื่อนที่ของอนุภาคประจุในสนามแม่เหล็กอย่างเดียวส่วน d และ e เป็นการเคลื่อนที่ของอนุภาคประจุในสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าร่วมกันในลักษณะต่าง ๆ 24

2-14 การจัดสนามแม่เหล็กและแนวการกัดกร่อนของเป้าสารเคลือบในระบบพลานาร์แมกนีตรอน สปัตเตอริง 26

2-15 ลักษณะเส้นแรงแม่เหล็กของระบบอันบาลานซ์ แมกนีตรอน สปัตเตอริง 27

2-16 การเกิดปฏิกิริยารวมตัวกันเป็นสารประกอบระหว่างแก๊สไวปฏิกิริยากับอะตอมเป้าสารเคลือบในบิเวณต่าง ๆ 29

2-17 แบบจำลองการเรียงตัวของอะตอม 31

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
2-18	องค์ประกอบหลักของเครื่องมือ Scanning Probe Microscope	33
2-19	ลักษณะของแรงกระทำระหว่างอะตอมที่เกิดขึ้นในระยะห่างระหว่างวัตถุต่าง ๆ	34
2-20	เครื่อง AFM แบบ Multimode	34
2-21	ลักษณะการสั่นของคานที่มีเข็มติด	36
2-22	องค์ประกอบหลักของเครื่องมือ Scanning Electron Microscope	38
2-23	การเกิดอันตรกิริยาระหว่างอิเล็กตรอนปฐมภูมิกับอะตอมตัวอย่าง	40
2-24	การเกิดอันตรกิริยาระหว่างอิเล็กตรอนปฐมภูมิกับตัวอย่างที่ระดับชั้นความลึกต่าง ๆ	40
2-25	การกระตุ้นให้เกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัวโดยใช้ลำอิเล็กตรอน	42
2-26	การเกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัวที่ระดับพลังงานของชั้นโคจรต่าง ๆ	42
2-27	องค์ประกอบหลักของเครื่องมือ Energy Dispersive X-ray spectroscopy (EDX)	43
2-28	ตัวอย่างการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุทางเคมีด้วยเทคนิค EDX	43
3-1	กรอบแนวความคิดของการวิจัย	49
3-2	เครื่องเคลือบสุญญากาศระบบรีแอคตีฟโคสปัตเตอริง ที่ใช้ในงานวิจัย	51
3-3	เครื่อง X-Ray Diffractrometer (XRD)	52
3-4	เครื่อง Atomic Force Microscope (AFM)	52
3-5	เครื่อง Field Emission Scanning Electron Microscope (FE-SEM)	53
3-6	เครื่อง Energy Dispersive X-ray spectroscopy (EDX)	53
3-7	ผังระบบสุญญากาศของเครื่องเคลือบที่ใช้ในงานวิจัย	54
3-8	ลักษณะของเครื่องเคลือบที่ใช้ในงานวิจัยเมื่อมองจากด้านบน (Top View)	55
3-9	ลักษณะ/ตำแหน่งของคาโทดทั้งสองชุดที่ใช้ในกระบวนการเคลือบ	55
3-10	ไดอะแกรมระบบเครื่องสูบสุญญากาศ ของระบบเคลือบสปัตเตอริง	57
3-11	การล้างวัสดุรองรับ	58
3-12	การเคลือบฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์	60
3-13	ระบบผลึกแบบเฟซ เซ็นเตอร์ คิวบิก	62
3-14	ตัวอย่างผลการตรวจวัดความหนาฟิล์มด้วยเทคนิค AFM	63
3-15	ตัวอย่างการหาความหยาบผิวเฉลี่ย	64

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
3-16	ตัวอย่างผลการตรวจวัดลักษณะพื้นผิวฟิล์มด้วยเทคนิค AFM	65
3-17	ตัวอย่างผลการตรวจวัดองค์ประกอบธาตุของฟิล์มด้วยเทคนิค EDX	65
4-1	ลักษณะและสีของฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ ที่เคลือบบนกระจกสไลด์ ด้วยกระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมต่าง ๆ	68
4-2	รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ที่กระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมต่าง ๆ	69
4-3	กราฟเปรียบเทียบค่าคงที่แลตทิซของฟิล์มที่เคลือบได้กับค่ามาตรฐาน	70
4-4	ลักษณะพื้นผิวแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ของฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค AFM ที่กระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมต่าง ๆ	72
4-5	ความหนาและความหยาบผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ที่กระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมต่าง ๆ	73
4-6	องค์ประกอบธาตุของฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ ที่กระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมต่าง ๆ	74
4-7	ภาคตัดขวางและลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ที่กระแสไฟฟ้าของเป้าไทเทเนียมต่าง ๆ	75
4-8	ลักษณะและสีของฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ ที่เคลือบบนกระจกสไลด์ ที่อัตราไหลแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ	76
4-9	รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์เคลือบที่อัตราไหลแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ	77
4-10	กราฟเปรียบเทียบค่าคงที่แลตทิซของฟิล์มที่เคลือบได้กับค่ามาตรฐาน	78
4-11	ลักษณะพื้นผิวแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ของฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค AFM โดยเคลือบที่อัตราไหลแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ	80
4-12	ความหนาและความหยาบผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์เคลือบที่อัตราไหลแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ	81

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4-13 องค์ประกอบธาตุของฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ เคลือบที่อัตราไหลแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ 82

4-14 ภาคตัดขวางและลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางไทเทเนียมอลูมิเนียมไนไตรด์ ที่เคลือบด้วยอัตราไหลแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ 83

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University