การเคลือบสวยงามของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมไนไตรด์ซึ่งเตรียมด้วยวิธีรีแอคตีฟดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริง

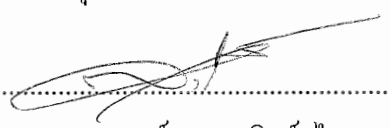
รุ่งทิวา อู่สุวรรณ

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
พฤษภาคม 2556
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของ รุ่งทิวา อู่สุวรรณ ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์



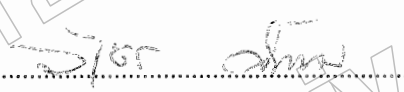
..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุรสิงห์ ไชยคุณ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

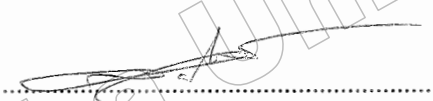
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิรันดร์ วิทิตอนันต์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



..... ประธาน

(ดร.วิเชียร ศิริพรม)

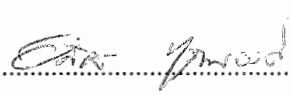


..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุรสิงห์ ไชยคุณ)

..... กรรมการ

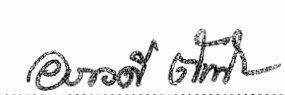
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิรันดร์ วิทิตอนันต์)



..... กรรมการ

(ดร.อดิศร บูรณวงศ์)

คณะวิทยาศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ ของมหาวิทยาลัยบูรพา



..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุษาวดี ตันติวรานุรักษ์)

วันที่ 27 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2556

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

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

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือสนับสนุนจากผู้เกี่ยวข้องหลายท่าน ผู้วิจัยขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุรสิงห์ ไชยคุณ ที่ให้ความกรุณารับเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิรันดร์ วิทิตอนันต์ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ขอขอบคุณ ดร. วิเชียร ศิริพรม ที่ให้ความกรุณามาเป็นประธานกรรมการสอบ และขอขอบคุณ ดร.อดิศร บูรณวงศ์ ตัวแทนฝ่ายวิจัยและบัณฑิตศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้ความอนุเคราะห์เป็นกรรมการสอบ ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณทุกท่านเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอขอบคุณแหล่งทุนสนับสนุนงานวิจัย วิทยานิพนธ์นี้ได้รับทุนสนับสนุนบางส่วนจาก ทุนอุดหนุนการวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา จากมหาวิทยาลัยบูรพา ปีการศึกษา 2555 และได้รับทุนสนับสนุนหลักจาก ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์ (ThEP) โครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สบว.) (PERDO) สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) กระทรวงศึกษาธิการ (ศธ.)

ขอบคุณบุคลากรของห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีสุญญากาศและฟิล์มบาง (VTTF) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา และ ห้องปฏิบัติการวิจัยพลาสมาสำหรับวิทยาศาสตร์พื้นผิว (PSS) ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์ (ThEP) ที่ให้ความอนุเคราะห์และช่วยเหลือในการทำวิจัยด้วยดี คุณภาษิณี สหายา สำหรับการประสานงานต่าง ๆ

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ นายประสิทธ์ อู่สุวรรณ (พ่อ) นางวารี แสนปราบ (แม่) ที่ให้ความช่วยเหลือเป็นกำลังใจ ทั้งทางด้านร่างกาย และจิตใจรวมถึง พี่ น้อง และเพื่อน ๆ ทุกคน ที่เป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือให้การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

รุ่งทิวา อู่สุวรรณ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

53910205: สาขาวิชา: ฟิสิกส์; วท.ม. (ฟิสิกส์)
คำสำคัญ: ฟิล์มบาง/ เซอร์โคเนียมไนไตรด์ / รีแอคตีฟดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริง

รุ่งทิวา อูสุวรรณ: การเคลือบสวยงามของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมไนไตรด์ ซึ่งเตรียมด้วยวิธีรีแอคตีฟดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริง (DECORATIVE COATINGS OF ZrN THIN FILMS PREPARED BY REACTIVE DC MAGNETRON SPUTTERING) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: สุรสิงห์ ไชยคุณ, Ph.D., นิรันดร์ วิทิตอนันต์, Ph.D. 128 หน้า. ปี พ.ศ. 2556.

ฟิล์มบางเซอร์โคเนียมไนไตรด์ (ZrN) ถูกเคลือบบนสเตนเลสและซิลิกอนเวเฟอร์ด้วยวิธีรีแอคตีฟดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริง ผลของเงื่อนไขการเคลือบได้แก่ อัตราไหลแก๊สไนโตรเจนและเวลาการเคลือบต่อโครงสร้างของฟิล์มได้ถูกศึกษา โครงสร้างผลึกของฟิล์มศึกษาด้วยเทคนิค XRD ความหนาและลักษณะพื้นผิวศึกษาด้วยเทคนิค AFM องค์ประกอบธาตุของฟิล์มศึกษาด้วยเทคนิค EDX และ วัดสีด้วยเครื่องสเปคโตรโฟโตมิเตอร์ใน หน่วย CIE L*a*b* ผลการศึกษาพบว่าโครงสร้างผลึก ความหนา ลักษณะพื้นผิว และองค์ประกอบธาตุของฟิล์ม ขึ้นกับอัตราไหลแก๊สไนโตรเจนและเวลาเคลือบ โดยฟิล์มที่เคลือบได้มีโครงสร้างผลึกแบบเฟซเซนเตอร์คิวบิค (fcc) ที่ระนาบ (1 1 1), (2 0 0), (2 2 0) และ (3 1 1) สีของฟิล์มที่เคลือบได้แปรค่าไปตามอัตราไหลแก๊สไนโตรเจนจาก สีน้ำตาลอ่อน เหลืองทอง ทอง น้ำตาล ม่วง และเขียว แต่ไม่เปลี่ยนเมื่อแปรค่าเวลาการเคลือบ

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

53910205: MAJOR: PHYSICS; M.Sc. (PHYSICS)

KEYWORDS: THIN FILM/ ZIRCONIUM NITRIDE / REACTIVE DC MAGNETRON SPUTTERING

RUNGTIWA AUSUWAN: DECORATIVE COATINGS OF ZrN THIN FILMS PREPARED BY REACTIVE DC MAGNETRON SPUTTERING. ADVISORY COMMITTEE: SURASINGH CHAIYACOUN, Ph. D., NIRUN WITIT-ANUN, Ph. D. 128 P. 2013.

Zirconium nitride (ZrN) thin films were deposited on stainless steel and silicon wafer by reactive DC magnetron sputtering method. The effect of the N_2 gas flow rates and deposition time on the structure of the as-deposited films was investigated. The crystal structure of the films was characterized by XRD technique, the film's thickness and surface morphology was characterized by AFM technique. The film's composition was characterized by EDX technique. The colors was measurement by spectrophotometer in CIE L*a*b* unit. The results show that the crystal structure, the film's thickness, surface morphology and composition depends on the N_2 gas flow rates and deposition time. The crystallite structure of the as-deposited films was face center cubic (fcc) with (1 1 1), (2 0 0), (2 2 0) and (3 1 1). the as-deposited film's color was varied with the N_2 gas flow rates from light brown, yellow gold, gold, brown, purple and green, but not change when vary the deposition times.

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... จ

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ญ

บทที่

1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย 4

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย 4

ขอบเขตของการวิจัย 4

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

กระบวนการเคลือบฟิล์มบาง 5

การก่อเกิดฟิล์มบาง 6

โครงสร้างของฟิล์มบาง 8

การเคลือบฟิล์มบางด้วยวิธีสปัตเตอริง 10

กระบวนการ โกล์วดิสชาร์จ 17

ระบบเคลือบแบบดีซีสปัตเตอริง 22

ระบบเคลือบแบบดีซีแมกนีตรอนสปัตเตอริง 24

ระบบเคลือบแบบอันบาลานซ์แมกนีตรอนสปัตเตอริง 28

การเคลือบฟิล์มบางด้วยวิธีรีแอคตีฟสปัตเตอริง 31

การหาลักษณะเฉพาะของฟิล์มบาง 33

ฟิล์มเซอร์โคเนียมไนไตรด์ 46

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 48

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3 วิธีดำเนินการวิจัย	52
กรอบแนวคิดของงานวิจัย	52
เครื่องมือและวัสดุที่ใช้ในการทดลอง	54
เครื่องเคลือบฟิล์มบางระบบรีแอคตีฟดีซีสปัตเตอริง	57
การสร้างสภาวะสุญญากาศ	58
การเตรียมวัสดุรองรับสำหรับการเคลือบฟิล์มบางเซอร์โคเนียมไนไตรด์	60
การเคลือบฟิล์มบางเซอร์โคเนียมไนไตรด์	61
การวิเคราะห์ฟิล์มบางเซอร์โคเนียมไนไตรด์	63
แนวทางการทดลอง	66
4 ผลการวิจัย	68
ผลของอัตราไหลแก๊สไนโตรเจน	68
ผลของเวลาเคลือบ	80
5 อภิปรายและสรุปผล	90
อภิปรายผล	90
สรุปผลการทดลอง	99
บรรณานุกรม	100
ภาคผนวก	106
ภาคผนวก ก	107
ภาคผนวก ข	116
ประวัติย่อของผู้วิจัย	128

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2-1 พลังงานขีดเริ่มของเป้าสารเคลือบชนิดต่าง ๆ 14

3-1 เงื่อนไขการเคลือบฟิล์มบางเซอร์โคเนียมไนไตรด์ที่อัตราไหลแก๊สไนโตรเจนต่างๆ 66

3-2 เงื่อนไขการเคลือบฟิล์มบางเซอร์โคเนียมไนไตรด์ที่เวลาการเคลือบต่าง ๆ 67

4-1 สีของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมไนไตรด์ที่อัตราไหลแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ 69

4-2 Texture coefficient ของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมไนไตรด์ระนาบต่าง ๆ เมื่อแปรค่าอัตราไหลแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ 71

4-3 ค่าคงที่แลตทิซและขนาดผลึกของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมไนไตรด์ที่อัตราไหลแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ 72

4-4 ความหนาและความหยาบผิวของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมไนไตรด์ที่อัตราไหลแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ 76

4-5 องค์ประกอบธาตุทางเคมีและอัตราส่วนของ N:Zr ของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมไนไตรด์ที่อัตราไหลแก๊สไนโตรเจนต่างๆ 77

4-6 สีของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมไนไตรด์ที่อัตราไหลแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ 79

4-7 Texture coefficient ของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมไนไตรด์ระนาบต่าง ๆ เมื่อแปรค่าเวลาเคลือบ 82

4-8 ค่าคงที่แลตทิซและขนาดผลึกของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมไนไตรด์ที่เวลาเคลือบต่าง ๆ 83

4-9 ความหนาและความหยาบผิวของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมไนไตรด์ที่เวลาเคลือบต่าง ๆ 86

4-10 องค์ประกอบทางเคมีและอัตราส่วนของ N:Zr ของฟิล์มบางของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมไนไตรด์ที่เวลาเคลือบต่าง ๆ 87

4-11 สีของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมไนไตรด์ที่เวลาต่าง ๆ 89

ก-1 ระบบผลึกและค่าคงที่แลตทิซ 109

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า

2-1 การก่อเกิดฟิล์มบาง 7

2-2 โครงสร้างของการเกิดฟิล์มในรูปแบบต่าง ๆ 9

2-3 อันตรกิริยาระหว่างไอออนกับพื้นผิววัสดุ 11

2-4 ลักษณะของเครื่องเคลือบสุญญากาศด้วยวิธีสปัตเตอริง 12

2-5 ยีลด์ของทองแดงที่ถูกชนด้วยไอออนจากแก๊สอาร์กอนที่พลังงานต่าง ๆ 14

2-6 การเปลี่ยนแปลงค่ายีลด์ของเป้าทองแดง (Cu) , เงิน (Ag) และแทนทาลัม (Ta) เมื่อใช้ไอออนพลังงาน 45 keV จากธาตุที่มีเลขอะตอมค่าต่าง ๆ 16

2-7 การเปลี่ยนแปลงของยีลด์เมื่อใช้ไอออนของปรอทพลังงาน 200 eV ชนเป้านิเกิล (Ni), โมลิบดีนัม (Mo) , ทังสเตน (W) และทองคำขาว (Pt) ที่มุมการตกกระทบค่าต่าง ๆ (วัดเทียบกับแนวชนตั้งฉากบนเป้า) 16

2-8 ความสัมพันธ์ของความหนาแน่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้วอิเล็กโตรด ของกระบวนการเกิด ดีซี โกลว์ดิสชาร์จ ในหลอดสุญญากาศบรรจุแก๊สนีออน 18

2-9 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าทะลายและผลคูณระหว่างความดัน (P) และระยะระหว่างอิเล็กโตรด (d) 19

2-10 โกลว์ดิสชาร์จของหลอดนีออนยาว 50 cm ที่ความดัน 1.33 mbar 20

2-11 ระบบสปัตเตอริงแบบดีซีสปัตเตอริง 22

2-12 ผลของความดันในระบบที่มีผลต่ออัตราเคลือบ ค่ายีลด์และกระแสไฟฟ้าในระบบสปัตเตอริงของนิเกิลที่ใช้แรงดันไฟฟ้า 3,000 V ระหว่างขั้วอิเล็กโตรดที่วางห่างกัน 4.5 cm 23

2-13 การเคลื่อนที่ของอนุภาคอิเล็กตรอนในสนามแม่เหล็ก 24

2-14 การเคลื่อนที่ของอนุภาคในสนามต่าง ๆ โดยที่ a , b , c เป็นการเคลื่อนที่ของอนุภาคประจุในสนามแม่เหล็กอย่างเดียวส่วน d และ e เป็นการเคลื่อนที่ของอนุภาคประจุในสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าร่วมกันในลักษณะต่าง ๆ 26

2-15 การจัดสนามแม่เหล็กและแนวการกัดกร่อนของเป้าสารเคลือบในระบบพลานาร์แมกนีตรอน สปัตเตอริง 27

2-16 ลักษณะเส้นแรงแม่เหล็กของระบบอันบาลานซ์แมกนีตรอนสปัตเตอริง 29

2-17 ลักษณะพลาสมาของระบบสปัตเตอริง 30

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

2-18 การเกิดปฏิกิริยารวมตัวกันเป็นสารประกอบระหว่างแก๊สไวปฏิกิริยากับอะตอมเป้าสารเคลือบในบริเวณต่าง ๆ 31

2-19 แบบจำลองการเรียงตัวของอะตอม 34

2-20 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของวัสดุที่มีความเข้มผลึก 36

2-21 เครื่อง X-ray Diffractometer 36

2-22 องค์ประกอบหลักของเครื่องมือ Scanning Probe Microscope 37

2-23 ลักษณะของแรงกระทำระหว่างอะตอมที่เกิดขึ้นในระยะห่างระหว่างวัตถุต่างๆ 38

2-24 เครื่อง AFM แบบ Multimode 38

2-25 ลักษณะการสั่นของคานที่มีเข็มติด 40

2-26 การกระตุ้นให้เกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัวโดยใช้ลำอิเล็กตรอน 42

2-27 การเกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัวที่ระดับพลังงานของชั้นโคจรต่าง ๆ 43

2-28 องค์ประกอบหลักของเครื่องมือ Energy Dispersive X-ray spectroscopy (EDX) 43

2-29 ตัวอย่างการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุทางเคมีด้วยเทคนิค EDX 43

2-30 CIELAB color space L*a*b* 45

2-31 เครื่อง Spectrophotometer Untra scan XE 45

2-32 ไดอะแกรมของเฟสเซอร์โคเนียมไนไตรด์ 47

3-1 กรอบแนวความคิดของการวิจัย 53

3-2 เครื่องเคลือบสุญญากาศระบบ รีแอคตีฟ ดีซี แมกนีตรอน สปัตเตอริง 55

3-3 เครื่อง X-Ray Diffractrometer (XRD) 55

3-4 เครื่อง Atomic Force Microscope (AFM) 56

3-5 เครื่อง Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDX) 56

3-6 เครื่อง Spectrophometer 56

3-7 ไดอะแกรมของเครื่องเคลือบ 57

3-8 ไดอะแกรมระบบเครื่องสูบสุญญากาศ ของระบบเคลือบสปัตเตอริง 59

3-9 การล้างวัสดุรองรับ 60

3-10 การเคลือบฟิล์มบางเซอร์โคเนียมไนไตรด์ 61

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4-1 ลักษณะและสีของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมไนไตรด์ ที่อัตราไหลแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ 68

4-2 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมไนไตรด์ที่อัตราไหลแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ 69

4-3 Texture coefficient ของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมไนไตรด์ ที่อัตราไหลแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ 72

4-4 ลักษณะพื้นผิวแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมไนไตรด์ที่อัตราไหลแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ ที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค AFM 74

4-5 ความหนาและความหยาบผิวของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมไนไตรด์ที่อัตราไหลแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ 76

4-6 ตัวอย่างผล EDX ของฟิล์มเซอร์โคเนียมไนไตรด์เคลือบที่อัตราไหลแก๊สเท่ากับ 3 sccm 77

4-7 อัตราส่วน N : Zr ของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมไนไตรด์ที่อัตราไหลแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ ที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDX 78

4-8 สีของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมไนไตรด์ที่อัตราไหลแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ ในระบบ CIE L*a*b* เปรียบเทียบกับสีของทอง 24 กะรัต 79

4-9 ลักษณะและสีของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมไนไตรด์ ที่เวลาเคลือบต่าง ๆ 80

4-10 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมไนไตรด์ที่เวลาเคลือบต่าง ๆ 81

4-11 Texture coefficient ของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมไนไตรด์ที่เวลาเคลือบต่าง ๆ 83

4-12 ลักษณะพื้นผิวแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมไนไตรด์ที่เวลาเคลือบต่าง ๆ ที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค AFM 84

4-13 ความหนาและความหยาบผิวของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมไนไตรด์ที่เวลาเคลือบต่าง ๆ 86

4-14 ตัวอย่างผล EDX ของฟิล์มเซอร์โคเนียมไนไตรด์เคลือบที่เวลา 150 นาที 87

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ หน้า

4-15 อัตราส่วน N : Zr ของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมไนไตรด์ที่เวลาเคลือบต่าง ๆ วิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDX 88

4-16 สีของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมไนไตรด์ที่เวลาเคลือบต่าง ๆ ในระบบ CIE L*a*b* เปรียบเทียบกับสีของทอง 24 กะรัต 89

5-1 Texture coefficient ระนาบ (200) และขนาดผลึกของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมไนไตรด์ที่อัตราไหลแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ 91

5-2 เปรียบเทียบค่า a* และ b* ของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมไนไตรด์ที่อัตราไหลแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ กับค่า a* และ b* ของทอง 24 กะรัต 94

5-3 Texture coefficient ระนาบ (200) และขนาดผลึกของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมไนไตรด์ที่เวลาเคลือบต่าง ๆ 96

5-4 กราฟเปรียบเทียบค่า L* และอัตราส่วน N:Zr ของฟิล์มบางเซอร์โคเนียมไนไตรด์ที่เวลาเคลือบต่างๆ 98

ก-1 หน่วยเซลล์แบบต่าง ๆ 108

ก-2 ค่าคงที่แลตทิซของหน่วยเซลล์ 108

ก-3 หน่วยเซลล์ 14 แบบในแลตทิซบราเวส์ 110

ก-4 แบบจำลองการเรียงตัวของอะตอม 112

ก-5 Effect of crystallite size on diffraction curves (schematic) 114

ก-6 การหาความกว้างครึ่งหนึ่งของพีคที่มีค่าความเข้มสูงสุด 115

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University