

การเตรียมและศึกษาลักษณะเฉพาะของฟิล์มบางโครเมียมในไตรด์
ที่เคลือบด้วยเทคนิค รีแอคทีฟ ดีซี แมกนีตรอน สปีดเตอริง

กรรณิการ์ วรรณทวี

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์

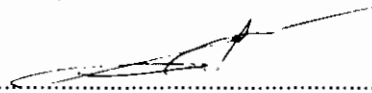
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

พฤษภาคม 2554

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณา
วิทยานิพนธ์ของ กรรมการ วรรณทวี ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์



อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

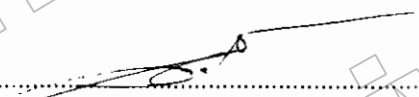
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุรสิงห์ ไชยคุณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



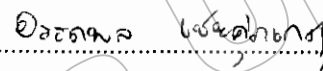
ประธาน

(ดร.วิเชียร ศิริพรหม)



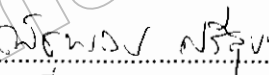
กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุรสิงห์ ไชยคุณ)



กรรมการ

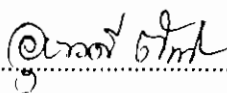
(ดร.อรรถพล เชยสุกเกตุ)



กรรมการ

(ดร. ณัฐพงษ์ ศรีสุข)

คณะวิทยาศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ ของมหาวิทยาลัยบูรพา



คณบดีคณะวิทยาศาสตร์

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุษาวดี ดันติวรานุกัณฑ์)

วันที่ ๕๓ เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2554

ทุนผู้ช่วยวิจัยจากศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์

สำนักพัฒนาบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สบว.)

สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) กระทรวงศึกษาธิการ (ศธ.)

ประกาศคุณูปการ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงด้วยความกรุณาจาก รองศาสตราจารย์ ดร. สุรสิงห์ ไชยคุณ อาจารย์ที่ปรึกษา ขอขอบคุณ ดร.วิเชียร ศิริพรหม ที่ให้ความกรุณาเป็นประธานกรรมการสอบ ขอขอบคุณ ดร.อรรถพล เชยสุภเกตุ ที่ให้ความกรุณาเป็นกรรมการสอบ และดร.ณัฐพงษ์ ศรีสุข ตัวแทนฝ่ายวิจัยและบัณฑิตศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้ความอนุเคราะห์เป็นกรรมการสอบ รวมถึง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ นิรันดร์ วิทิตอนันต์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความละเอียดถี่ถ้วน และเอาใจใส่ด้วยดีเสมอมา ผู้วิจัยรู้สึก ทราบซึ่งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ณ โอกาสนี้

ผู้วิจัยขอขอบคุณแหล่งทุนที่ให้การสนับสนุนงานวิจัยนี้ โดยวิทยานิพนธ์นี้ได้รับทุนสนับสนุนหลักจาก ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์ ภายใต้การกำกับของโครงการพัฒนานักศึกษาด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สพว.) สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) กระทรวงศึกษาธิการ (ศธ.)

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่และบุคลากรของห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีสุญญากาศและฟิล์มบาง (VTTF) และห้องปฏิบัติการวิจัยพลาสมาสำหรับวิทยาศาสตร์พื้นผิว (PSS) ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้ความอนุเคราะห์และช่วยเหลือในการทำวิจัยด้วยดี นายอดิสร บุณยวงศ์ ที่ให้ความช่วยเหลือเกี่ยวกับการวิเคราะห์ตัวอย่างในวิทยานิพนธ์นี้

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ พ่อ แม่ ที่คอยให้ความช่วยเหลือเป็นกำลังใจ ทั้งทางด้านร่างกาย และจิตใจ คับข้าวปลาอาหารตลอด รวมถึง พี่ น้อง และหมู่ผองเพื่อนทุกคน รวมทั้งท่านอื่น ๆ ที่มิได้เอ่ยนามในที่นี้ ที่คอยให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือ ซึ่งมีส่วนทำให้การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

กรรณิการ์ วรรณทวี

52910040: สาขาวิชา: ฟิสิกส์; วท.ม. (ฟิสิกส์)

คำสำคัญ: ฟิล์มบาง/ โครเมียมไนไตรด์/รีแอคทีฟ ดีซี แมกนีตรอน สปีดเตอริง

กรรมการ วรณทวิ: การเตรียมและศึกษาลักษณะเฉพาะของฟิล์มบาง โครเมียมไนไตรด์ ที่เคลือบด้วยเทคนิค รีแอคทีฟ ดีซี แมกนีตรอน สปีดเตอริง (PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF CrN THIN FILMS DEPOSITED BY REACTIVE DC MAGNETRON SPUTTERING) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: สุรสิงห์ ไชยคุณ, Ph.D. 124 หน้า. ปี พ.ศ. 2554.

ฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ (CrN) ถูกเคลือบบนกระจกสไลด์ และแผ่นซิลิกอน ด้วยวิธี รีแอคทีฟ ดีซี แมกนีตรอน สปีดเตอริง ผลของเงื่อนไขการเคลือบได้แก่ ความดันย่อยแก๊ส ไนโตรเจน ความหนา และกำลังไฟฟ้าของโครเมียมไนไตรด์ ได้ถูกศึกษา ทั้งนี้สมบัติของฟิล์มบาง โครเมียมไนไตรด์ที่เคลือบได้ เช่น โครงสร้างผลึก ลักษณะพื้นผิว ความหนา และองค์ประกอบของ ธาตุทางเคมี ถูกตรวจสอบด้วย X-ray diffraction (XRD) atomic force microscopy (AFM) และ Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDX) ตามลำดับ ผลการศึกษาพบว่าสามารถเคลือบฟิล์ม โครเมียมไนไตรด์ที่มีโครงสร้างผลึกแบบคิวบิกบนวัสดุรองรับได้ โดยความดันย่อยแก๊สไนโตรเจน และกำลังไฟฟ้ามีผลต่อโครงสร้างและลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม ขณะที่ความหนาไม่มีผลต่อ โครงสร้างและลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม

52910040: MAJOR: PHYSICS; M.Sc. (PHYSICS)

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

KANNIKA WANTAVEE: PREPARATION AND CHARACTERIZATION OF CrN
THIN FILMS DEPOSITED BY REACTIVE DC MAGNETRON SPUTTERING. ADVISORY
COMMITTEE: SURASINGH CHAIYACOUN, Ph. D. 124 P. 2011.

Chromium nitride (CrN) thin films were deposited on glass slides and silicon wafers by reactive DC magnetron sputtering method. The effects of deposition parameter such as N_2 partial pressure, thickness and power have been investigated. The properties of the as-deposited CrN thin film such as crystal structure, surface morphology, thickness and transmittance were characterized by X-ray diffraction (XRD), atomic force microscopy (AFM), and Energy Dispersive X-ray Spectroscopy (EDX), respectively. The results showed that CrN thin films with monoclinic phase were successfully deposited on substrates. The N_2 partial pressure and power were effect on the crystal structure and surface morphology of films, whereas thickness was not effected on the crystal structure and surface morphology of films.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
สารบัญ.....	ค
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย.....	3
ขอบเขตของการวิจัย	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
กระบวนการเคลือบฟิล์มบาง	4
การก่อเกิดฟิล์มบาง.....	5
โครงสร้างของฟิล์มบาง.....	7
การเคลือบฟิล์มบางด้วยวิธีสปีดเทอริง	9
กระบวนการโกถ้วดิสซาร์จ	16
ระบบเคลือบแบบ ดีซี สปีดเทอริง	21
ระบบเคลือบแบบ ดีซี แมกนีตรอน สปีดเทอริง	23
ระบบเคลือบแบบ อันบาตานซ์ แมกนีตรอน สปีดเทอริง	27
การเคลือบฟิล์มบางด้วยวิธี รีแอคทีฟ สปีดเทอริง	30
ฟิล์ม โครเมียมไนไตรด์.....	44
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	50

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3 วิธีดำเนินการวิจัย	55
กรอบแนวคิดของงานวิจัย.....	55
เครื่องมือและวัสดุที่ใช้ในการทดลอง	57
เครื่องเคลือบฟิล์มบางระบบรีแอคทีฟ ดีซี สเป็คเตอรिंग	60
การสร้างสภาวะสุญญากาศ.....	61
การเตรียมวัสดุรองรับสำหรับการเคลือบฟิล์มบาง	63
การเคลือบฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์.....	64
การหาลักษณะเฉพาะของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์	65
แนวทางการทดลอง.....	67
1. การศึกษาผลของความดันย่อยแก๊สไนโตรเจน.....	67
2. การศึกษาผลของความหนาของฟิล์ม	68
3. การศึกษาผลของกำลังไฟฟ้าในกระบวนการเคลือบ	69
4 ผลการวิจัย.....	70
ผลของความดันย่อยแก๊สไนโตรเจน	70
ผลของความหนา	77
ผลของกำลังไฟฟ้า.....	84
5 อภิปรายและสรุปผล	91
อภิปราย	91
สรุปผล.....	97

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
บรรณานุกรม.....	98
ภาคผนวก.....	102
ภาคผนวก ก องค์ประกอบของธาตุทางเคมีของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ การคำนวณหาค่าคงที่แลตทิซ (Lattice constants) และ ขนาดผลึก (Crystallite size).....	103
ภาคผนวก ข ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่.....	114
ประวัติย่อของผู้วิจัย.....	124

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 พลังงานจลน์เริ่มของเป้าสารเคลือบชนิดต่าง ๆ	13
2-2 ระบบผลึกของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์	44
2-3 ข้อมูลการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของผลึกโครเมียมไนไตรด์เฟสออร์โธโรมบิก	43
2-4 ข้อมูลการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของผลึกโครเมียมไนไตรด์เฟสคิวบิก	48
3-1 เงื่อนไขการเคลือบฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ เมื่อเคลือบด้วยความดันย่อยแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ	67
3-2 เงื่อนไขการเคลือบฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์เมื่อเคลือบด้วยเวลาต่าง ๆ	68
3-3 เงื่อนไขการเคลือบฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์เมื่อเคลือบด้วยกำลังไฟฟ้าต่าง ๆ	69
4-1 ค่าคงที่แสดงพิษของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ เมื่อเคลือบด้วยความดันย่อยแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ	72
4-2 ขนาดผลึกของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ เมื่อเคลือบด้วยความดันย่อยแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ	72
4-3 ความหนาและความหยาบผิวของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ เมื่อเคลือบด้วยความดันย่อยแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ	75
4-4 ค่าคงที่แสดงพิษของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์เมื่อเคลือบด้วยเวลาต่าง ๆ	79
4-5 ขนาดผลึกของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์เมื่อเคลือบด้วยเวลาต่าง ๆ	79
4-6 ความหนาและความหยาบผิวของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ เมื่อเคลือบด้วยเวลาต่าง ๆ	82
4-7 ค่าคงที่แสดงพิษของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์เมื่อเคลือบด้วยกำลังไฟฟ้าต่าง ๆ	86
4-8 ขนาดผลึกของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์เมื่อเคลือบด้วยกำลังไฟฟ้าต่าง ๆ	86
4-9 ความหนาและความหยาบผิวของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ เมื่อเคลือบด้วยกำลังไฟฟ้าต่าง ๆ	88
ก-1 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์	110

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1 การก่อเกิดฟิล์มบาง.....	6
2-2 โครงสร้างของการเกิดฟิล์มในรูปแบบต่าง ๆ.....	8
2-3 อันตรกิริยาระหว่างไอออนกับพื้นผิววัสดุ.....	10
2-4 ลักษณะของเครื่องเคลือบสุญญากาศด้วยวิธีสปัตเตอริง.....	11
2-5 ยึดตัวของทองแดงที่ถูกชนด้วยไอออนจากแก๊สอาร์กอนที่พลังงานต่าง ๆ.....	13
2-6 การเปลี่ยนแปลงค่ายึดของเป้าทองแดง (Cu), เงิน (Ag) และแทนทาลัม (Ta) เมื่อใช้ไอออนพลังงาน 45 keV จากธาตุที่มีเลขอะตอมค่าต่าง ๆ.....	15
2-7 การเปลี่ยนแปลงของยึดเมื่อใช้ไอออนของปรอทพลังงาน 200 eV ชนเป้าหมายนิเกิล (Ni), โมลิบดีนัม (Mo), ทังสเตน (W) และทองคำขาว (Pt) ที่มุมการตกกระทบค่าต่าง ๆ (วัดเทียบกับแนวระนาบตั้งฉากบนเป้า).....	15
2-8 ความสัมพันธ์ของความหนาแน่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้วอิเล็กโตรด ของกระบวนการเกิด ดีซี โกลว์ดีสชาร์จ ในหลอดสุญญากาศบรรจุแก๊สไนออน.....	17
2-9 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าทะลุและผลคูณระหว่างความดัน (P) และระยะระหว่างอิเล็กโตรด (d).....	18
2-10 โกลว์ดีสชาร์จของหลอดไนออนยาว 50 cm ที่ความดัน 1.33 mbar.....	19
2-11 ระบบสปัตเตอริงแบบ ดีซี สปัตเตอริง.....	21
2-12 ผลของความดันในระบบที่มีผลต่ออัตราเคลือบ ค่ายึดและกระแสไฟฟ้าใน ระบบสปัตเตอริงของนิเกิลที่ใช้แรงดันไฟฟ้า 3,000 V ระหว่างขั้วอิเล็กโตรด ที่วางห่างกัน 4.5 cm.....	22
2-13 การเคลื่อนที่ของอนุภาคอิเล็กตรอนในสนามแม่เหล็ก.....	23
2-14 การเคลื่อนที่ของอนุภาคในสนามต่าง ๆ โดยที่ a, b, c เป็นการเคลื่อนที่ของ อนุภาคประจุในสนามแม่เหล็กอย่างเดียว ส่วน d และ e เป็นการเคลื่อนที่ของ อนุภาคประจุในสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าร่วมกันในลักษณะต่าง ๆ.....	25
2-15 การจัดสนามแม่เหล็กและแนวการกักตร้อนของเป้าสารเคลือบในระบบพลาสมา แมกนีตรอน สปัตเตอริง.....	26
2-16 ลักษณะเส้นแรงแม่เหล็กของระบบอัมบาแลนซ์ แมกนีตรอน สปัตเตอริง.....	28
2-17 ลักษณะพลาสมาของระบบสปัตเตอริง.....	29

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2-18 การเกิดปฏิกิริยารวมตัวกันเป็นสารประกอบระหว่างแก๊สไวปฏิกิริยากับอะตอม เป่าสารเคลือบในบริเวณต่าง ๆ.....	30
2-19 แบบจำลองการเรียงตัวของอะตอม.....	33
2-20 ความเข้มของฟลักที่แสดงถึงระนาบผลึกของวัสดุในตำแหน่งที่มีการสะท้อนรังสี.....	35
2-21 องค์ประกอบหลักของเครื่องมือ Scanning Probe Microscope.....	36
2-22 ลักษณะของแรงกระทำระหว่างอะตอมที่เกิดขึ้นในระยะห่างระหว่างวัตถุต่างๆ.....	37
2-23 เครื่อง AFM แบบ Multimode.....	38
2-24 ลักษณะการสั่นของคานที่มีเข็มติด.....	39
2-25 การกระตุ้นให้เกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัวโดยใช้ลำอิเล็กตรอน.....	41
2-26 การเกิดรังสีเอกซ์เฉพาะตัวที่ระดับพลังงานของชั้นโคจรต่าง ๆ.....	42
2-27 องค์ประกอบหลักของเครื่องมือ Energy Dispersive X-ray spectroscopy (EDX).....	42
2-28 ตัวอย่างการวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุทางเคมีด้วยเทคนิค EDX.....	43
2-29 เฟสของโครเมียมไนไตรด์.....	44
3-1 กรอบแนวความคิดของการวิจัย.....	56
3-2 เครื่องเคลือบสุญญากาศระบบ รีแอกทีฟ ดีซี แมกนีตรอน สปีดเตอร์ริง ที่ใช้ในงานวิจัย.....	58
3-3 เครื่อง X-Ray Diffractometer (XRD).....	58
3-4 เครื่อง Atomic Force Microscope (AFM).....	59
3-5 เครื่อง Scanning Electron Microscopy (SEM).....	59
3-6 ไดอะแกรมของเครื่องเคลือบ.....	60
3-7 ไดอะแกรมระบบเครื่องสุบสุญญากาศ ของระบบเคลือบสปีดเตอร์ริง.....	62
3-8 การล้างวัสดุรองรับ.....	63
3-9 การหาลักษณะเฉพาะของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์.....	66
4-1 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ เมื่อเคลือบด้วยความดันย่อยแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ.....	71
4-2 ลักษณะพื้นผิวแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ ที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค AFM เมื่อเคลือบด้วยความดันย่อยแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ.....	73

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
4-3 ความหนาและความหยาบผิวของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ เมื่อเคลือบด้วยความดันย่อยแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ.....	75
4-4 อัตราส่วน Cr : N ของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ เมื่อเคลือบด้วยความดันย่อยแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ.....	76
4-5 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ เมื่อเคลือบด้วยเวลาต่าง ๆ.....	78
4-6 ลักษณะพื้นผิวแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ ที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค AFM เมื่อเคลือบด้วยเวลาต่าง ๆ.....	80
4-7 ความหนาและความหยาบผิวของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ เมื่อเคลือบด้วยเวลาต่าง ๆ.....	82
4-8 อัตราส่วน Cr : N ของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ เมื่อเคลือบด้วยเวลาต่าง ๆ.....	83
4-9 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ เมื่อเคลือบด้วยกำลังไฟฟ้าต่าง ๆ.....	85
4-10 ลักษณะพื้นผิวแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ ที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค AFM เมื่อเคลือบด้วยกำลังไฟฟ้าต่าง ๆ.....	87
4-11 ความหนาและความหยาบผิวของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ เมื่อเคลือบด้วยกำลังไฟฟ้าต่าง ๆ.....	89
4-12 อัตราส่วน Cr : N ของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์ เมื่อเคลือบด้วยกำลังไฟฟ้าต่าง ๆ.....	90
ก-1 องค์ประกอบของธาตุทางเคมีที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDX ของ ฟิล์มโครเมียมไนไตรด์เมื่อเคลือบด้วยความดันย่อยแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ.....	104
ก-2 องค์ประกอบของธาตุทางเคมีที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDX ของ ฟิล์มโครเมียมไนไตรด์เมื่อเคลือบด้วยเวลาต่าง ๆ.....	105
ก-3 องค์ประกอบของธาตุทางเคมีที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค EDX ของ ฟิล์มโครเมียมไนไตรด์เมื่อเคลือบด้วยกำลังไฟฟ้าต่าง ๆ.....	106

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
ก-4 แกนสมมุติและมุมขึ้นภายในรูปผลึก.....	107
ก-5 แบบจำลองการเรียงตัวของอะตอม.....	109
ก-6 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางโครเมียมไนไตรด์.....	110
ก-7 Effect of crystallite size on diffraction curves (schematic)	112
ก-8 การหาความกว้างครึ่งหนึ่งของพีคที่มีค่าความเข้มสูงสุด.....	113