

โครงสร้างและสมบัติทางแสงของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์
ที่เคลือบด้วยวิธี รีแอคทีฟ ดีซี แมกนีตรอน สเปคเตอริง

ชัยฤกษ์ ตั้งเฮงเจริญ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาฟิสิกส์

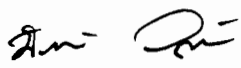
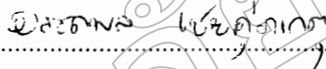
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา

พฤษภาคม 2555

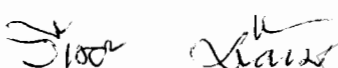
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

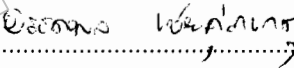
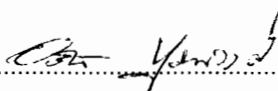
คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณา
วิทยานิพนธ์ของ ชัยฤกษ์ ตั้งเฮงเจริญ ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

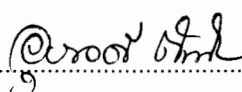

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิรันดร์ วิทอนันต์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ดร.อรรถพล เชยสุกเกต)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธาน
(ดร.วิเชียร สิริพรม)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิรันดร์ วิทอนันต์)

..... กรรมการ
(ดร.อรรถพล เชยสุกเกต)

..... กรรมการ
(ดร.อดิศร บุรณวงศ์)

คณะวิทยาศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ ของมหาวิทยาลัยบูรพา


..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุษาวดี ตันติวรานุกษ์)
วันที่ 15 เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2555

ทุนผู้ช่วยวิจัยจากศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์
สำนักพัฒนานวัตกรรมการศึกษาและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สว.)
สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) กระทรวงศึกษาธิการ (ศธ.)

ประกาศคุณูปการ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือสนับสนุนจากผู้เกี่ยวข้องหลายท่าน ผู้วิจัยขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุชัย ดนัยธัชมาวุฒ คณบดีคณะวิทยาศาสตร์ ศรีราชา มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา ที่สนับสนุนและให้โอกาสผู้วิจัยในการศึกษาต่อ ระดับบัณฑิตศึกษา ณ มหาวิทยาลัยบูรพา ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นิรันดร์ วิทิตอนันต์ อาจารย์ที่ปรึกษา และ ดร.อรรถพล เขยสุภเกตุ อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำ ตลอดเวลาการศึกษา ณ มหาวิทยาลัยบูรพา ขอขอบคุณ ดร.วิเชียร ศรีพรม ประธานกรรมการสอบ ดร.อดิสร บุรณวงศ์ ตัวแทนฝ่ายวิจัยและบัณฑิตศึกษา คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่ให้ความอนุเคราะห์เป็นกรรมการสอบ ผู้วิจัยขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.สุรสิงห์ ไชยคุณ หัวหน้าห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีสุญญากาศและฟิล์มบาง ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ที่กรุณาให้ความเห็น คำปรึกษาแนะนำเพิ่มเติม ตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ในวิทยานิพนธ์นี้ด้วยความละเอียดถี่ถ้วน

ผู้วิจัยขอขอบคุณ ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์ (ThEP) โครงการพัฒนาบัณฑิตศึกษา และวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สพว.) สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) กระทรวงศึกษาธิการ (ศธ.) สำหรับทุนผู้ช่วยวิจัย ระยะเวลา ณ มหาวิทยาลัยบูรพา

ขอขอบคุณบุคลากรทุกท่านของ ห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีสุญญากาศและฟิล์มบาง ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา และห้องปฏิบัติการวิจัยพลาสมาสำหรับ วิทยาศาสตร์พื้นผิว ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ช่วยเหลือตลอดการทำวิจัย เป็นอย่างดี

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ พ่อ แม่ ที่ให้ความช่วยเหลือเป็นกำลังใจ ทั้งด้านร่างกายและจิตใจ รวมทั้งท่านอื่น ๆ ที่มีได้เอื้อนามในที่นี้ ซึ่งเป็นกำลังใจและให้ความช่วยเหลือให้การทำวิทยานิพนธ์ ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ชัชฤกษ์ ตั้งเฮงเจริญ

53910202: สาขาวิชา: ฟิสิกส์; วท.ม. (ฟิสิกส์)

คำสำคัญ: ฟิล์มบาง/ อลูมิเนียมไนไตรด์/รีแอคทีฟ ดีซี แมกนีตรอน สปีดเตอริง/

ค่าคงที่ทางแสง / วิธี Swanepoel

ชัชฎกัญ ตั้งเฮงเจริญ: โครงสร้างและสมบัติทางแสงของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่เคลือบด้วยวิธี รีแอคทีฟ ดีซี แมกนีตรอน สปีดเตอริง (STRUCTURAL AND OPTICAL PROPERTIES OF AlN THIN FILMS DEPOSITED BY REACTIVE DC MAGNETRON SPUTTERING) คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์: นิรันดร์ วิตอนันต์, Ph.D., อรรถพล เชยสุกเกตุ, Ph.D. 117 หน้า. ปี พ.ศ. 2555.

ฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ (AlN) ถูกเคลือบบนกระจกสไลด์ และแผ่นซิลิกอนด้วยวิธี รีแอคทีฟ ดีซี แมกนีตรอน สปีดเตอริง ผลของเงื่อนไขการเคลือบ ได้แก่ อัตราไหล่ออกไนโตรเจน และความหนาของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ได้ถูกศึกษา ทั้งนี้สมบัติของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่เคลือบได้ ได้แก่ โครงสร้างผลึก ลักษณะพื้นผิว ความหนาและค่าการส่งผ่านแสง ถูกตรวจสอบด้วย X-ray diffraction (XRD), Atomic Force Microscopy (AFM) และสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ตามลำดับ ค่าคงที่ทางแสงและแถบพลังงานของฟิล์มที่เคลือบได้คำนวณจากสเปกตรัมการส่งผ่านแสง ผลการศึกษาพบว่าสามารถเคลือบฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่มีโครงสร้างผลึกแบบเฮกซะโกนอลบนวัสดุรองรับได้ โดยอัตราไหล่ออกไนโตรเจนและความหนา มีผลต่อโครงสร้างและลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม สำหรับค่าคงที่ทางแสงที่ความยาวคลื่นแสง 600 nm พบว่ามีดัชนีหักเห (n) และสัมประสิทธิ์การดับสูญ (k) เท่ากับ 1.97 และ 0.007 ตามลำดับ และแถบพลังงาน (E_g) มีค่าประมาณ 4.24 eV

53910202: MAJOR: PHYSICS; M.Sc. (PHYSICS)

KEYWORDS: THIN FILM/ ALUMINIUM NITRIDE / REACTIVE DC MAGNETRON
SPUTTERING/ OPTICAL CONSTANT / SWANEPOEL METHOD

CHAILOEK TANGHENGJAROEN: STRUCTURAL AND OPTICAL PROPERTIES
OF AlN THIN FILMS DEPOSITED BY REACTIVE DC MAGNETRON SPUTTERING.

ADVISORY COMMITTEE: NIRUN WITIT-ANUN, Ph. D., ATTAPOL CHOEYSUPPAKET,
Ph. D. 117 P. 2012.

Aluminium nitride (AlN) 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 gas flow rate and thickness have been investigated. The properties of the as-deposited AlN thin film such as crystal structure, surface morphology, thickness and transmittance were characterized by X-ray diffraction (XRD), Atomic Force Microscopy (AFM), and spectrophotometer, respectively. Optical constant and energy band gap of the as-deposited films were calculated from transmission spectra. The results showed that AlN thin films with hexagonal phase were successfully deposited on substrates. The N_2 flow rate and thickness were effected on the crystal structure and surface morphology of films. The refractive index (n) and extinction coefficient (k) at wavelength 600 nm were 1.97 and 0.007, respectively, while energy band gap (E_g) was approximately 4.24 eV.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	จ
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฌ
สารบัญภาพ.....	ญ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับการจากการวิจัย.....	3
ขอบเขตของการวิจัย	3
2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
กระบวนการเคลือบฟิล์มบาง	4
การก่อเกิดฟิล์มบาง.....	5
การเคลือบฟิล์มบางด้วยวิธีสปีดเทอริง	7
กระบวนการโกลด์ดิสซาร์จ	15
ระบบเคลือบแบบ ดีซี สปีดเทอริง	19
ระบบเคลือบแบบ ดีซี แมกนีตรอน สปีดเทอริง	21
ระบบเคลือบแบบ อันบาลานซ์ แมกนีตรอน สปีดเทอริง	26
การเคลือบฟิล์มบางด้วยวิธี รีแอคทีฟ สปีดเทอริง	29
สมบัติเชิงรังสีของวัสดุ	31
การหาลักษณะเฉพาะของฟิล์มบาง	44
อคูมิเนียมไนไตรด์	53
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	55

สารบัญ (ต่อ)

บทที่	หน้า
3 วิธีดำเนินการวิจัย	59
กรอบแนวคิดของงานวิจัย	59
เครื่องมือและวัสดุที่ใช้ในการทดลอง	61
เครื่องเคลือบฟิล์มบางระบบ รีแอกทีฟ ดีซี สเป็คเตอรिंग	64
การสร้างสภาวะสุญญากาศ	65
การเตรียมวัสดุรองรับสำหรับการเคลือบฟิล์ม	67
การเคลือบฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์	68
การวิเคราะห์ฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์	70
แนวทางการทดลอง	74
1. การศึกษาผลของอัตราไหลแก๊สไนโตรเจน	74
2. การศึกษาผลของความหนา	75
3. การศึกษาสมบัติทางแสงของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์	75
4 ผลการวิจัย	76
ผลของอัตราไหลแก๊สไนโตรเจนต่อโครงสร้างฟิล์ม	76
ผลของความหนาต่อโครงสร้างฟิล์ม	82
สมบัติทางแสงและแถบพลังงานฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์	88
5 อภิปรายและสรุปผล	91
อภิปราย	91
สรุปผล	96
บรรณานุกรม	97
ภาคผนวก	101
ภาคผนวก ก	102
ภาคผนวก ข	110
ประวัติย่อของผู้วิจัย	117

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2-1 พลังงานขีดเริ่มของเป่าสารเคลือบชนิดต่าง ๆ.....	12
3-1 เงื่อนไขการเคลือบฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ ที่อัตราไหลแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ.....	74
3-2 เงื่อนไขการเคลือบฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่เวลาเคลือบต่าง ๆ.....	75
4-1 ค่าคงที่แลตทิซของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ ที่อัตราไหลแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ.....	78
4-2 ขนาดผลึกของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่อัตราไหลแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ.....	78
4-3 ความหนาและความหยาบผิวของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ ที่อัตราไหลแก๊สไนโตรเจนต่าง ๆ.....	80
4-4 ค่าคงที่แลตทิซของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่เวลาเคลือบต่าง ๆ.....	84
4-5 ขนาดผลึกของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่เวลาเคลือบต่าง ๆ.....	85
4-6 ความหนาและความหยาบผิวของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ ที่เวลาเคลือบต่าง ๆ.....	87
ก-1 ระบบผลึกและค่าคงที่แลตทิซ.....	104

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2-1 การก่อเกิดฟิล์มบาง.....	6
2-2 อันตรกิริยาระหว่างไอออนกับพื้นผิววัสดุ	8
2-3 ลักษณะของเครื่องเคลือบสุญญากาศด้วยวิธีสปัตเตอริง	10
2-4 ยิลด์ของทองแดงที่ถูกชนด้วยไอออนจากแก๊สอาร์กอนที่พลังงานต่าง ๆ	12
2-5 การเปลี่ยนแปลงค่ายิลด์ของเป้าทองแดง (Cu), เงิน (Ag) และแทนทาลัม (Ta) เมื่อใช้ไอออนพลังงาน 45 keV จากธาตุที่มีเลขอะตอมค่าต่าง ๆ	14
2-6 การเปลี่ยนแปลงของยิลด์เมื่อใช้ไอออนของปรอทพลังงาน 200 eV ชนเป้าหมายนิเกิล (Ni), โมลิบดีนัม (Mo), ทังสเตน (W) และทองคำขาว (Pt) ที่มุมการตกกระทบค่าต่าง ๆ (วัดเทียบกับแนวชนตั้งฉากบนเป้า)	14
2-7 ความสัมพันธ์ของความหนาแน่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้วอิเล็กโตรด ของกระบวนการเกิด ดีซี โกลว์ดีสชาร์จ ในหลอดสุญญากาศบรรจุแก๊สไนออน	16
2-8 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าทะลุและผลคูณระหว่างความดัน (P) และระยะระหว่างอิเล็กโตรด (d)	17
2-9 โกลว์ดีสชาร์จของหลอดนีออนยาว 50 cm ที่ความดัน 1.33 mbar	17
2-10 ระบบสปัตเตอริงแบบ ดีซี สปัตเตอริง.....	20
2-11 ผลของความดันในระบบที่มีผลต่ออัตราเคลือบ ค่ายิลด์และกระแสไฟฟ้าใน ระบบสปัตเตอริงของนิเกิลที่ใช้แรงดันไฟฟ้า 3,000 V ระหว่างขั้วอิเล็กโตรด ที่วางห่างกัน 4.5 cm	20
2-12 การเคลื่อนที่ของอนุภาคอิเล็กตรอนในสนามแม่เหล็ก.....	22
2-13 การเคลื่อนที่ของอนุภาคในสนามต่าง ๆ โดยที่ a, b, c เป็นการเคลื่อนที่ของ อนุภาคประจุในสนามแม่เหล็กอย่างเดียว ส่วน d และ e เป็นการเคลื่อนที่ของ อนุภาคประจุในสนามแม่เหล็กและสนามไฟฟ้าร่วมกันในลักษณะต่าง ๆ	23
2-14 การจัดสนามแม่เหล็กและแนวการกักตัวของเป้าสารเคลือบในระบบพลาสมา แมกนีตรอน สปัตเตอริง.....	25
2-15 ลักษณะเส้นแรงแม่เหล็กของระบบอัมบาแลนซ์ แมกนีตรอน สปัตเตอริง	27
2-16 ลักษณะพลาสมาของระบบสปัตเตอริง.....	28

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
2-17 การเกิดปฏิกิริยารวมตัวกันเป็นสารประกอบระหว่างแก๊สไวปฏิกิริยากับอะตอม เป้าสารเคลือบในบริเวณต่าง ๆ.....	29
2-18 เส้นทางของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ผ่านรอยต่อของวัสดุ 2 ชนิดที่มี ดัชนีหักเหต่างกัน	34
2-19 การส่งผ่านแสงและการสะท้อน	37
2-20 ตัวอย่างของคลุ่มสเปกตรัมการส่งผ่านแสงสำหรับการคำนวณดัชนีหักเห สัมประสิทธิ์การดับสูญ โดยลากเส้นผ่านค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของสเปกตรัม	41
2-21 ตัวอย่างเส้นตั้งฉากสเปกตรัมการส่งผ่านแสงสำหรับการคำนวณดัชนีหักเห และสัมประสิทธิ์การดับสูญ ที่ความยาวคลื่นที่สนใจ	42
2-22 แบบจำลองการเรียงตัวของอะตอม	45
2-23 ความเข้มของฟลักที่แสดงถึงระนาบผลึกของวัสดุในตำแหน่งที่มีการสะท้อนรังสี.....	47
2-24 องค์ประกอบหลักของเครื่องมือ Scanning Probe Microscope	48
2-25 ลักษณะของแรงกระทำระหว่างอะตอมที่เกิดขึ้นในระยะห่างระหว่างวัตถุต่าง ๆ	49
2-26 เครื่อง AFM แบบ Multimode	50
2-27 ลักษณะการสั่นของคานที่มีเข็มติด	51
2-28 ลักษณะโครงสร้างผลึกของอลูมิเนียมไนไตรด์	54
3-1 กรอบแนวความคิดของการวิจัย	60
3-2 เครื่องเคลือบสุญญากาศระบบ รีแอกทีฟ ดีซี แมกนีตรอน สปีดเทอริง ที่ใช้ในงานวิจัย.....	62
3-3 เครื่อง X-Ray Diffractometer	62
3-4 เครื่อง Atomic Force Microscope	63
3-5 เครื่อง Spectrophotometer	63
3-6 ไดอะแกรมของเครื่องเคลือบ	64
3-7 ไดอะแกรมระบบเครื่องสุบสุญญากาศ ของระบบเครื่องเคลือบ	66
3-8 การล้างวัสดุรองรับ	67
3-9 การเคลือบฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์.....	69
3-10 การวิเคราะห์ฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์	70

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3-11 ตัวอย่างซอง (Envelope) และการกำหนดค่าความยาวคลื่นของกรอบสเปคตรัม การส่งผ่านแสงสำหรับใช้ในการคำนวณหาดัชนีหักเห สัมประสิทธิ์การดับสูญ.....	73
4-1 ลักษณะของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่เคลือบบนกระจกสไลด์ ที่อัตราไหลแก๊สใน โครเจนต่าง ๆ.....	76
4-2 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ ที่อัตราไหลแก๊สใน โครเจนต่าง ๆ.....	77
4-3 ลักษณะพื้นผิวแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ ที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค AFM ที่อัตราไหลแก๊สใน โครเจนต่าง ๆ	79
4-4 ความหนาและความหยาบผิวของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ ที่อัตราไหลแก๊สใน โครเจนต่าง ๆ.....	81
4-5 ลักษณะของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่เคลือบบนกระจกสไลด์ ที่เวลาเคลือบต่าง ๆ	82
4-6 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่เวลาเคลือบต่าง ๆ..	83
4-7 ลักษณะพื้นผิวแบบ 2 มิติ และ 3 มิติ ของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ ที่วิเคราะห์ด้วยเทคนิค AFM ที่เวลาเคลือบต่าง ๆ.....	85
4-8 ความหนาและความหยาบผิวของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่เวลาเคลือบต่าง ๆ.....	87
4-9 เปรอ์เซ็นต์การส่งผ่านแสงของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่เวลาเคลือบต่าง ๆ	88
4-10 ดัชนีหักเหของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์เคลือบที่เวลาเคลือบต่าง ๆ	89
4-11 สัมประสิทธิ์การดับสูญของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่เวลาเคลือบต่าง ๆ.....	90
4-12 แถบพลังงานของฟิล์มบางอลูมิเนียมไนไตรด์ที่เวลาเคลือบต่าง ๆ.....	90
ก-1 หน่วยเซลล์แบบต่าง ๆ.....	103
ก-2 ค่าคงที่แลตทิซของหน่วยเซลล์.....	103
ก-3 หน่วยเซลล์ 14 แบบในแลตทิซบราเวส์.....	105
ก-4 แบบจำลองการเรียงตัวของอะตอม.....	107
ก-5 Effect of crystallite size on diffraction curves (schematic)	110
ก-6 การหาความกว้างครึ่งหนึ่งของพีคที่มีค่าความเข้มสูงสุด.....	111