249694
ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
249694

อิทธิพลของอุณหภูมิการอบอ่อนที่มีต่อสมบัติกันแสงสะท้อนของฟิล์มบางนาโนอะลูมิเนียมออกไซด์บนกระจกสไลด์ที่ถูกเตรียมโดยกระบวนการสปาร์ค

กัลยกร คำนวณผล

วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวัสดุศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
กันยายน 2554

b00254292

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
249694

อิทธิพลของอุณหภูมิการอบอ่อนที่มีต่อสมบัติกันแสงสะท้อนของฟิล์มบางนาโนอะลูมิเนียมออกไซด์บนกระจกสไลด์ที่ถูกเตรียมโดยกระบวนการสปาร์ค

กัลยกร คำนวณผล

วิทยานิพนธ์นี้เสนอต่อบัณฑิตวิทยาลัยเพื่อเป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวัสดุศาสตร์

บัณฑิตวิทยาลัย
มหาวิยาลัยเชียงใหม่
กันยายน 2554

อิทธิพลของอุณหภูมิการอบอ่อนที่มีต่อสมบัติกันแสงสะท้อนของฟิล์มบางนาโนอะลูมิเนียมออกไซด์บนกระจกสไลด์ที่ถูกเตรียมโดยกระบวนการสปาร์ค

กัลยกร คำนวณผล

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวัสดุศาสตร์

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
รองศาสตราจารย์ ดร.จีระพงษ์ ตันตระกูล

.....กรรมการ
รองศาสตราจารย์ ดร. พิศิษฐ์ สิงห์ใจ

.....กรรมการ
รองศาสตราจารย์ ดร.นรินทร์ สิริกุลรัตน์

.....กรรมการ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภาพ ชูพันธ์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

.....
รองศาสตราจารย์ ดร. พิศิษฐ์ สิงห์ใจ

2 กันยายน 2554

© ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์นี้สำเร็จลงได้โดยได้รับความกรุณาจาก รองศาสตราจารย์ ดร.พิศิษฐ์ สิงห์-ใจ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำปรึกษา แนะนำ ช่วยเหลือในด้านต่างๆ อีกทั้งให้อิสระทางความคิดและเพิ่มทักษะพัฒนาทางการทดลอง ตลอดจนตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนเสร็จสมบูรณ์ ผู้เขียน ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.จีระพงษ์ ตันตระกูล รองศาสตรจารย์ ดร. นรินทร์ สิริกุลรัตน์ และ ผู้ช่วยศาสตรจารย์ ดร.สุภาพ ชูพันธ์ ที่กรุณารับเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และให้คำแนะนำเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณสมาชิกหน่วยวิจัยนาโนวัสดุ ภาควิชาฟิสิกส์และวัสดุศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจ ตลอดระยะเวลาการทำวิทยานิพนธ์

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อและพี่สาวทั้งสี่ รวมไปถึงคุณแม่บนสรวงสวรรค์ที่คอยให้กำลังใจ ส่งเสริมและสนับสนุนด้านการศึกษาของผู้เขียนเสมอมา

ท้ายสุดนี้ หากมีสิ่งขาดตกบกพร่องหรือผิดพลาดประการใดผู้เขียนขออภัยไว้ ณ โอกาสนี้และหวังว่าวิทยานิพนธ์เล่มนี้ คงมีประโยชน์สำหรับผู้ที่มีความสนใจงานทางด้านนาโนเทคโนโลยี และสามารถนำไปพัฒนางานวิจัยต่อไป

กัลยกร คำนวณผล

ชื่อเรื่องวิทยานิพนธ์	อิทธิพลของอุณหภูมิการอบอ่อนที่มีต่อสมบัติกันแสงสะท้อนของฟิล์มบางนาโนอะลูมิเนียมออกไซด์บนกระจกสไลด์ที่ถูกเตรียมโดยกระบวนการสปาร์ค
ผู้เขียน	นางสาวกัลยกร คำนวณผล
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (วัสดุศาสตร์)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รองศาสตราจารย์ ดร. พิศิษฐ์ สิงห์ใจ

บทคัดย่อ

249694

ในงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์หลักเพื่อศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิและเวลาในการอบอ่อนต่อฟิล์มบางนาโนอะลูมิเนียมออกไซด์บนกระจกสไลด์ เพื่อใช้เป็นฟิล์มป้องกันแสงสะท้อนซึ่งผลิตโดยกระบวนการสปาร์ค ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าสภาวะที่เหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์ฟิล์มบางนาโนอะลูมิเนียมออกไซด์ป้องกันแสงสะท้อน คือ การนำฟิล์มบางไปทำการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 550 องศาเซลเซียส โดยมีค่าการส่งผ่านแสงที่ช่วงของแสงขาวอยู่ที่ 80% โดยเฉลี่ย อีกทั้งเมื่อทำการวัดค่าการสะท้อนแสงจะพบว่าฟิล์มบางที่ผ่านการอบอ่อนที่อุณหภูมินี้จะให้ค่าการสะท้อนแสงลดลงเหลือเพียง 2.87% หลังจากทำการตรวจวัดความหนาของฟิล์มบางนาโนที่ผลิตได้จากกระบวนการสปาร์คนี้จะพบว่า ความหนาที่ได้นั้นจะมีความสัมพันธ์เชิงเส้นกับจำนวนรอบของการสปาร์ค โดย 1 รอบการสปาร์คฟิล์มบางจะมีความหนาอยู่ที่ประมาณ 40 นาโนเมตร และเมื่อนำฟิล์มบางนาโนวิเคราะห์โครงสร้างทางจุลภาค องค์ประกอบทางเคมีและความต่างเฟส พบว่าฟิล์มบางนาโนที่ได้จะหนาแน่นขึ้นและมีการเกาะตัวกันเป็นอนุภาคทุติยภูมิของฟิล์มบางนาโนอะลูมิเนียมออกไซด์เพิ่มขึ้น เนื่องจากการอบอ่อนที่อุณหภูมิสูงขึ้นหรือใช้เวลาในการอบอ่อนที่นานขึ้นช่วยให้มีการเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันที่ดีขึ้น

Thesis Title	Influence of Annealing Temperature on Antireflective Property of Aluminium Oxide Nano-thin Films on Sliding Glass Prepared by Sparking Process
Author	Miss Kanyakorn Kamnuanpol
Degree	Master of Science (Materials Science)
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Pisith Singjai

ABSTRACT

249694

This research aimed to study influences of temperature and time of annealing on aluminium oxide nano-thin films on sliding glass, prepared by a sparking process for use as antireflective coatings. The samples annealed at the optimum temperature of 550°C showed transmittance of 80% and reflectance of 2.87%. Linear relationship between the film thickness and the number sparking was found; a thickness approximately of 40 nm was obtained at one-time sparking. Moreover, microstructures of nano-thin films were denser and secondary particles increased after annealing. It was believed that annealing treatment at higher temperature or longer time enhanced oxidation reaction and increased aggregation of the secondary particles.

สารบาญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบาญ	ฉ
สารบาญตาราง	ฌ
สารบาญภาพ	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับผิวเคลือบกันแสงสะท้อน	3
2.1.1 ความหนา (d_1)	3
2.1.2 ดัชนีหักเหแสง (n_1)	4
2.2 ความรู้เบื้องต้นเรื่องอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3)	5
2.3 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับนาโนเทคโนโลยี	5
2.4 ลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของวัสดุนาโน	6
2.5 ผลของขนาดที่เกี่ยวข้องกับสมบัติของวัสดุนาโน	7
2.5.1 Size effects	8
2.5.2 Conduction Electrons and Dimensionality	9
2.5.3 Fermi Gas and Density of States	9
2.6 ประเภทของวัสดุนาโนและเทคนิคการสังเคราะห์	10
2.6.1 วัสดุนาโนประเภทฟิล์มบาง (nano thin films)	10
2.6.1.1 Arc Spray Technique	10
2.6.1.2 Sputtering Technique	12
2.6.2 วัสดุนาโนประเภทอนุภาค (nano dots)	14
2.6.2.1 Lithography Technique	14
2.6.2.2 STM-Based Fabrication Technique	16
2.6.2.3 Iron Sputtering Technique	17
2.7 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง	18

บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง 20

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 21

3.2 เครื่องมือ อุปกรณ์ ที่ใช้ในการทดลอง 21

3.3 ขั้นตอนการทดลอง 22

3.4 วิธีการทดลอง 24

3.4.1 วิธีการทดลองเพื่อหาวัสดที่เหมาะสม 24

3.4.2 วิธีการทดลองเพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการผลิตฟิล์มบางอะลูมิเนียมออกไซด์เพื่อใช้ในการนำไปทำเป็นผิวเคลือบกันแสงสะท้อน 25

3.5 ศึกษาการส่องผ่านและการสะท้อนแสง 26

3.5.1 UV-Visible Spectrophotometer 26

3.6 ศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคและองค์ประกอบทางเคมี 27

3.6.1 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด 27

3.6.2 การกระจายพลังงานของรังสีเอกซ์ 27

3.7 การหาค่าร้อยละความต่างเฟส 28

3.8 ศึกษาความหนาของฟิล์มบาง 28

3.8.1 กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม 28

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง 30

4.1 การวิเคราะสมบัติการส่งผ่านแสงในวัสดุต่างๆ 30

4.2 การวิเคราะห์สมบัติการส่งผ่านและการสะท้อนแสงของ Al_2O_3 34

4.2.1 การวิเคราะห์การส่งผ่านแสง 34

4.2.2 การวิเคราะห์การสะท้อนแสง 40

4.3 การวิเคราะห์ความหนาของฟิล์มบาง Al_2O_3 46

4.4 การวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคของฟิล์มบาง Al_2O_3 48

4.5 การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของฟิล์บาง Al_2O_3 54

4.6 การวิเคราะห์เฟสของฟิล์มบาง Al_2O_3 56

4.7 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างเฟสที่สองกับการส่งผ่านและการสะท้อนแสงของฟิล์มบาง Al_2O_3 59

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 63

5.1 วัสดุที่เหมาะสมในการผลิตฟิล์มบางกันแสงสะท้อนโดยวิธีการสปาร์ค 63

5.2 สมบัติเชิงแสง 63

5.3 ความหนาของฟิล์มบางนาโนอะลูมิเนียมออกไซด์ 63
5.4 โครงสร้างทางจุลภาค, องค์ประกอบทางเคมีและ 64
เฟสของฟิล์มบางนาโนอะลูมิเนียมออกไซด์
5.5 ความสัมพันธ์ของเฟสที่สองกับการส่งผ่านและการสะท้อนแสง 64
ของฟิล์มบางนาโนอะลูมิเนียมออกไซด์

เอกสารอ้างอิง 65
ภาคผนวก 69
ภาคผนวก ก 70
ภาคผนวก ข 84
ประวัติผู้เขียน 99

สารบาญตาราง

ตาราง		หน้า
4.1	ตารางแสดงค่าดัชนีหักเหของวัสดุ	33
4.2	ตารางแสดงค่าความหนาเฉลี่ยของแต่ละเงื่อนไข	47
4.3	ตารางแสดงองค์ประกอบทางเคมีของฟิล์มบาง Al_2O_3 ที่สังเคราะห์	56
4.4	ตารางแสดงร้อยละ secondary phase ของฟิล์มบาง Al_2O_3 ที่เงื่อนไขต่างๆ	57
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละเฟสที่สองกับค่าเฉลี่ยการส่งผ่านแสงในช่วงของแสงขาว	59
4.6	ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละเฟสที่สองกับค่าเฉลี่ยการสะท้อนแสงในช่วงของแสงขาว	60
ก.1	ค่าการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางนาโนอะลูมิเนียมออกไซด์ที่ไม่ผ่านการอบอ่อน	67
ก.2	ค่าการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางนาโนอะลูมิเนียมออกไซด์ที่ผ่านการอบอ่อนที่ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง	69
ก.3	ค่าการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางนาโนอะลูมิเนียมออกไซด์ที่ผ่านการอบอ่อนที่ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง	71
ก.4	ค่าการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางนาโนอะลูมิเนียมออกไซด์ที่ผ่านการอบอ่อนที่ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 ชั่วโมง	73
ก.5	ค่าการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางนาโนอะลูมิเนียมออกไซด์ที่ผ่านการอบอ่อนที่ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง	75
ก.6	ค่าการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางนาโนอะลูมิเนียมออกไซด์ที่ผ่านการอบอ่อนที่ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง	77
ก.7	ค่าการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางนาโนอะลูมิเนียมออกไซด์ที่ผ่านการอบอ่อนที่ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 ชั่วโมง	79
ข.1	ค่าการสะท้อนแสงของฟิล์มบางนาโนอะลูมิเนียมออกไซด์ที่ไม่ผ่านการอบอ่อน	81

ข.2 ค่าการสะท้อนแสงของฟิล์มบางนาโนอะลูมิเนียมออกไซด์ที่ผ่านการอบอ่อนที่ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง 83

ข.3 ค่าการสะท้อนแสงของฟิล์มบางนาโนอะลูมิเนียมออกไซด์ที่ผ่านการอบอ่อนที่ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง 85

ข.4 ค่าการสะท้อนแสงของฟิล์มบางนาโนอะลูมิเนียมออกไซด์ที่ผ่านการอบอ่อนที่ 450 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 ชั่วโมง 87

ข.5 ค่าการสะท้อนแสงของฟิล์มบางนาโนอะลูมิเนียมออกไซด์ที่ผ่านการอบอ่อนที่ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง 89

ข.6 ค่าการสะท้อนแสงของฟิล์มบางนาโนอะลูมิเนียมออกไซด์ที่ผ่านการอบอ่อนที่ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 6 ชั่วโมง 91

ข.7 ค่าการสะท้อนแสงของฟิล์มบางนาโนอะลูมิเนียมออกไซด์ที่ผ่านการอบอ่อนที่ 550 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 7 ชั่วโมง 93

สารบาญภาพ

รูป		หน้า
2.1	ปรากฏการณ์การแทรกสอดของแสงที่เกิดขึ้นในชั้นผิวเคลือบกันแสงสะท้อนที่มีความหนาเท่ากับ ¼ ของความยาวคลื่นแสง	4
2.2	โครงสร้างผลึกของอะลูมิเนียมออกไซด์	5
2.3	แสดงโครงสร้างในระดับนาโนที่มีรูปร่างแบบ rectangular	7
2.4	แสดงโครงสร้างในระดับนาโนที่มีรูปร่างแบบ curvilinear	7
2.5	อะตอมของอากาศในสภาวะปกติ	11
2.6	อะตอมของอากาศเมื่อได้รับพลังงานสูงทำให้อิเล็กตรอนหลุดจากอะตอม	11
2.7	เทคนิคของ two-wire arc spray gun	12
2.8	หลักการเกิด ionization ระหว่างขั้วแอโนดกับขั้วแคโทดของแก๊ส	12
2.9	ลักษณะการชนกันของอะตอม	13
2.10	กระบวนการ Lithography	15
2.11	กระบวนการ tip material transfer mechanism ของเงินลงบน n-Si (111) โดยการให้พัลส์ของความต่างศักย์ซึ่งกระบวนการนี้ทำในระบบ ultra high vacuum (UHV) เรียงกระแส (rectifying contact) ที่เป็นโลหะ-สารกึ่งตัวนำ	16
2.12	หลักการเกิดควอนตัมดอทโดยอาศัยหลักการ Iron Spttering	18
3.1	แสดงหลักการเตรียมฟิล์มบางด้วยเทคนิคสปัตเตอริงด้วยการสปาร์ค	20
3.2	แผนผังขั้นตอนการทดลองในการหาวัสดุที่เหมาะสม	22
3.3	แผนผังขั้นตอนการทดลองในการหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการผลิตฟิล์มบางนาโนอะลูมิเนียมออกไซด์เพื่อใช้เป็นผิวเคลือบกันแสงสะท้อน	23
3.4	เครื่อง UV-Visible Spectrophotometer VARIAN รุ่น Cary 50 Conc	26
3.5	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) JEOL รุ่น JSM 5910LV	27

3.6	กล้องจุลทรรศน์แรงอะตอม (AFM) Veeco Digital Instruments รุ่น Nano Scope ® IIIa	28
3.7	แสดงเครื่องสปาร์คที่ต่อเข้ากับหม้อแปลงไฟฟ้ากำลังไฟสูง	29
4.1	สเปกตรัมการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง TiO_2 ที่ผ่านการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 300°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เทียบกับที่ไม่ได้ผ่านการอบอ่อน	30
4.2	สเปกตรัมการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง Al_2O_3 ที่ผ่านการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 600°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง 40 นาทีเทียบกับที่ไม่ได้ผ่านการอบอ่อน	31
4.3	สเปกตรัมการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง SnO_2 ที่ผ่านการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 550°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมงเทียบกับที่ไม่ได้ผ่านการอบอ่อน	31
4.4	สเปกตรัมการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง V_2O_3 ที่ผ่านการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 450°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมงเทียบกับที่ไม่ได้ผ่านการอบอ่อน	32
4.5	แสดงกระจกที่ถูกเคลือบด้วยฟิล์มบางอะลูมิเนียมออกไซด์หลังจากทำการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 650°C	34
4.6	สเปกตรัมการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง Al_2O_3 ที่ไม่ผ่านการอบอ่อนเทียบกับกระจกที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบฟิล์มบาง	35
4.7	สเปกตรัมการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง Al_2O_3 ที่ผ่านการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 450°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง เทียบกับกระจกที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบฟิล์มบาง	35
4.8	สเปกตรัมการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง Al_2O_3 ที่ผ่านการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 450°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เทียบกับกระจกที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบฟิล์มบาง	36
4.9	สเปกตรัมการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง Al_2O_3 ที่ผ่านการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 450°C เป็นเวลา 7 ชั่วโมง เทียบกับกระจกที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบฟิล์มบาง	36
4.10	สเปกตรัมการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง Al_2O_3 ที่ผ่านการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 550°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง เทียบกับกระจกที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบฟิล์มบาง	37
4.11	สเปกตรัมการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง Al_2O_3 ที่ผ่านการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 550°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เทียบกับกระจกที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบฟิล์มบาง	37

4.12 สเปกตรัมการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง Al_2O_3 ที่ผ่านการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 550°C เป็นเวลา 7 ชั่วโมง เทียบกับกระจกที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบฟิล์มบาง 38

4.13 สเปกตรัมเปรียบเทียบการส่งผ่านแสงที่ดีที่สุดของฟิล์มบาง Al_2O_3 ที่ผ่านการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 450°C ในแต่ละเงื่อนไขเทียบกับกระจกที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบฟิล์มบาง 38

4.14 สเปกตรัมเปรียบเทียบการส่งผ่านแสงที่ดีที่สุดของฟิล์มบาง Al_2O_3 ที่ไม่ผ่านการอบอ่อนและผ่านการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 550°C ในแต่ละเงื่อนไขเทียบกับกระจกที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบฟิล์มบาง 39

4.15 สเปกตรัมเปรียบเทียบการส่งผ่านแสงที่ดีที่สุดของฟิล์มบาง Al_2O_3 ในแต่ละเงื่อนไข 39

4.16 สเปกตรัมการสะท้อนแสงของฟิล์มบาง Al_2O_3 ที่ไม่ผ่านการอบอ่อนเทียบกับกระจกที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบฟิล์มบาง 40

4.17 สเปกตรัมการสะท้อนแสงของฟิล์มบาง Al_2O_3 ที่ผ่านการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 450°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง เทียบกับกระจกที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบฟิล์มบาง 41

4.18 สเปกตรัมการสะท้อนแสงของฟิล์มบาง Al_2O_3 ที่ผ่านการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 450°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เทียบกับกระจกที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบฟิล์มบาง 41

4.19 สเปกตรัมการสะท้อนแสงของฟิล์มบาง Al_2O_3 ที่ผ่านการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 450°C เป็นเวลา 7 ชั่วโมง เทียบกับกระจกที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบฟิล์มบาง 42

4.20 สเปกตรัมการสะท้อนแสงของฟิล์มบาง Al_2O_3 ที่ผ่านการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 550°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง เทียบกับกระจกที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบฟิล์มบาง 42

4.21 สเปกตรัมการสะท้อนแสงของฟิล์มบาง Al_2O_3 ที่ผ่านการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 550°C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง เทียบกับกระจกที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบฟิล์มบาง 43

4.22 สเปกตรัมการสะท้อนแสงของฟิล์มบาง Al_2O_3 ที่ผ่านการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 550°C เป็นเวลา 7 ชั่วโมง เทียบกับกระจกที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบฟิล์มบาง 43

4.23 สเปกตรัมเปรียบเทียบการสะท้อนแสงที่ดีที่สุดของฟิล์มบาง Al_2O_3 ที่ผ่านการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 450°C ในแต่ละเงื่อนไขเทียบกับกระจกที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบฟิล์มบาง 44

4.24	สเปกตรัมเปรียบเทียบการสะท้อนแสงที่ดีที่สุดของฟิล์มบาง Al_2O_3 ที่ผ่านการอบอ่อนที่อุณหภูมิ 550°C ในแต่ละเงื่อนไขเทียบกับกระจกที่ไม่ได้ผ่านการเคลือบฟิล์มบาง	44
4.25	สเปกตรัมเปรียบเทียบการสะท้อนแสงที่ดีที่สุดของฟิล์มบาง Al_2O_3 ในแต่ละเงื่อนไข	45
4.26	ภาพ AFM จากการใช้ฟังก์ชัน Section Analysis เพื่อทำการวัดความหนาของฟิล์มบาง Al2O3 ที่ผ่านการสปาร์คเป็นจำนวน 1 รอบซึ่งไม่ได้ผ่านการอบอ่อนใดๆ	46
4.27	กราฟแสดงการตกสะสมของฟิล์มบาง Al_2O_3 โดยเฉลี่ยทั้งหมด	47
4.28	โครงสร้างทางจุลภาคของฟิล์มบาง Al_2O_3 ที่ผ่านการสปาร์คเป็นจำนวน 1 รอบ	49
4.29	โครงสร้างทางจุลภาคของฟิล์มบาง Al_2O_3 ที่ผ่านการสปาร์คเป็นจำนวน 2 รอบ	50
4.30	โครงสร้างทางจุลภาคของฟิล์มบาง Al_2O_3 ที่ผ่านการสปาร์คเป็นจำนวน 3 รอบ	51
4.31	โครงสร้างทางจุลภาคของฟิล์มบาง Al_2O_3 ที่ผ่านการสปาร์คเป็นจำนวน 4 รอบ	52
4.32	โครงสร้างทางจุลภาคของฟิล์มบาง Al_2O_3 ที่ผ่านการสปาร์คเป็นจำนวน 5 รอบ	53
4.33	องค์ประกอบทางเคมีของฟิล์มบาง Al_2O_3	55
4.34	องค์ประกอบทางเคมีของฟิล์มบาง Al_2O_3	55
4.35	ภาพถ่ายทางจุลภาคของฟิล์มบาง Al_2O_3	57
4.36	กราฟแสดงร้อยละ secondary phase ของฟิล์มบาง Al_2O_3 ที่ไม่ผ่านการอบอ่อนและอบอ่อนที่อุณหภูมิ 450°C เป็นเวลา 5, 6 และ 7 ชั่วโมง ตามลำดับ	58
4.37	กราฟแสดงร้อยละ secondary phase ของฟิล์มบางAl_2O_3 ที่ไม่ผ่านการอบอ่อนและอบอ่อนที่อุณหภูมิ 550°C เป็นเวลา 5, 6 และ 7 ชั่วโมง ตามลำดับ	58
4.38	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละเฟสที่สองกับการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง Al_2O_3	60
4.39	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละเฟสที่สองกับการสะท้อนแสงของฟิล์มบาง Al_2O_3	61