# สมบัติโฟโตคะตะไลติกของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบด้วยวิธี รีแอคตีฟ ดีซี สปัตเตอริง

พึ่งบุญ ปานศิลา

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์
คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา
มีนาคม 2553
ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์และคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ได้พิจารณาวิทยานิพนธ์ของ พึ่งบุญ ปานศิลา ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมวิทยานิพนธ์

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุรสิงห์ ไชยคุณ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธาน
(รองศาสตราจารย์ ดร.ณสรรค์ ผลโภค)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุรสิงห์ ไชยคุณ)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ สำเภา จงจิตต์)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุปราณี แก้วภิรมย์)

คณะวิทยาศาสตร์อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ ของมหาวิทยาลัยบูรพา

..... คณบดีคณะวิทยาศาสตร์
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.อุยาวดี ตันติวรานุรักษ์)
วันที่.....เดือน.....พ.ศ. 2553

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

การวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนและส่งเสริมวิทยานิพนธ์
จากบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยบูรพา
ประจำภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2551
และ
ทุนการศึกษาและวิจัยจาก
ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์
สำนักพัฒนบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สบว.)
สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) กระทรวงศึกษาธิการ (ศธ.)

มหาวิทยาลัยบูรพา
Burapha University

# ประกาศคุณูปการ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงด้วยความกรุณาจากรองศาสตราจารย์ ดร. สุรสิงห์ ไชยคุณ อาจารย์ที่ปรึกษาที่ให้แนวคิดและคำแนะนำต่าง ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ ผู้วิจัยขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. ณสรรค์ ผลโภค ที่ให้ความกรุณามาเป็นประธานกรรมการสอบ และขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์สำเภา จงจิตต์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุปราณี แก้วภิรมย์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ขาดเสียมิได้ขอขอบคุณ
ผู้ช่วยศาสตราจารย์นิรันดร์ วิทิตอนันต์ ที่กรุณาให้คำปรึกษาแนะนำตลอดจนแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความถี่ถ้วนและเอาใจใส่ รวมถึงให้การสนับสนุนในทุก ๆ ด้านเสมอมา

ผู้วิจัยขอขอบคุณแหล่งทุนที่ให้การสนับสนุนวิทยานิพนธ์ ได้รับสนับสนุนทุนวิจัยบางส่วนจาก “ทุนอุดหนุนและส่งเสริมวิทยานิพนธ์” บัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยบูรพา ภาคเรียนที่ 1 ปีการศึกษา 2551 และขอขอบคุณศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์ สำนักพัฒนบัณฑิตศึกษาและวิจัยด้านวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี (สบว.) สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) กระทรวงศึกษาธิการ (ศธ.) สำหรับทุนการศึกษาและวิจัยในระดับบัณฑิตศึกษาแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เอกรัตน์ วงษ์แก้ว อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมเคมี ที่ให้คำแนะนำและอำนวยความสะดวกในด้านการทดสอบสมบัติโฟโตคะตะไลติก ผู้วิจัยรู้สึกทราบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงขอกราบขอบคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่และบุคลากรของห้องปฏิบัติการวิจัยพลาสมาสำหรับวิทยาศาสตร์พื้นผิวและห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีสุญญากาศและฟิล์มบาง ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยบูรพา ให้ความอนุเคราะห์ ช่วยเหลือในการทำวิจัยด้วยดี ขอบคุณนายอดิศร บูรณวงษ์ เพื่อนที่ดีคอยให้ความช่วยเหลือหลายประการในงานวิทยานิพนธ์นี้

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา มารดาและพี่น้อง ที่คอยให้ความช่วยเหลือเป็นกำลังใจตลอดเวลาเสมอมารวมถึง ผู้หวังดีและเพื่อนสนิททุก ๆ คน ที่คอยให้กำลังใจยามท้อแท้หมดกำลังใจ และขอขอบคุณท่านอื่น ๆ ที่มิได้เอ่ยนามในที่นี้ ที่คอยให้กำลังใจและให้ความช่วยเหลือในหลายด้าน ทำให้วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

พึ่งบุญ ปานศิลา

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

48911001: สาขาวิชา: ฟิสิกส์; วท.ม. (ฟิสิกส์)
คำสำคัญ: ฟิล์มบาง/ไททาเนียมไดออกไซด์/ รีแอคตีฟ ดีซี สปัตเตอริง/ โฟโตคะตะไลติก

พึ่งบุญ ปานศิลา: สมบัติโฟโตคะตะไลติกของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบด้วยวิธี รีแอคตีฟ ดีซี สปัตเตอริง (PHOTOCATALYTIC PROPERTY OF $TiO_2$ THIN FILMS DEPOSITED BY REACTIVE DC SPUTTERING) คณะกรรมการควบคุมควบคุมวิทยานิพนธ์: สุรสิงห์ ไชยคุณ, Ph.D. 141 หน้า. ปี พ.ศ. 2553.

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการเคลือบฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยวิธี รีแอคตีฟ ดีซี สปัตเตอริง และศึกษาลักษณะเฉพาะของฟิล์มที่เคลือบได้ รวมถึงผลของอัตราไหลแก๊สในกระบวนการเคลือบและผลของความหนาฟิล์มที่มีต่อสมบัติโฟโตคะตะไลติกของฟิล์มอีกด้วย วัสดุรองรับที่ใช้ในการเคลือบฟิล์มครั้งนี้ คือ แผ่นกระจกสไลด์และแผ่นซิลิกอน โดยมีเงื่อนไขการเคลือบฟิล์มคือ แปรค่าตำแหน่งวางวัสดุรองรับในแนวรัศมีและแปรค่าอัตราไหลแก๊สในกระบวนการเคลือบ สำหรับฟิล์มที่เคลือบได้นำมาศึกษาโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิค XRD และศึกษาลักษณะพื้นผิว ความหนาของฟิล์มด้วยเทคนิค AFM สำหรับสมบัติโฟโตคะตะไลติกของฟิล์มจะพิจารณาจากความสามารถในการย่อยสลายสารเมทิลีนบลูของฟิล์มหลังสัมผัสแสงยูวี ผลการศึกษาพบว่าฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบได้มีโครงสร้างผลึกแบบอนาเทสและแบบผสมของอนาเทส/รูไทล์ ลักษณะพื้นผิวและความหนาของฟิล์มที่เคลือบได้จะเปลี่ยนแปลงไปตามเงื่อนไขในการเคลือบ ฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ทั้งหมดที่เคลือบได้สามารถแสดงสมบัติโฟโตคะตะไลติกได้ในทุกเงื่อนไขของการเคลือบ ทั้งนี้เมื่อพิจารณากรณีการเคลือบฟิล์มด้วยอัตราไหลแก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจนเท่ากับ 1:4 sccm พบว่าฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบได้มีความสามารถในการเกิดกระบวนการโฟโตคะตะไลติกได้ดีที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าฟิล์มบางไททาเนียมไดออออกไซด์ที่มีความหนาเพิ่มขึ้นจะมีความสามารถในการเกิดกระบวนการโฟโตคะตะไลติกได้ดียิ่งขึ้น

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

48911001: MAJOR: PHYSICS; M.Sc. (PHYSICS)

KEYWORDS: THIN FILM/ TITANIUM DIOXIDE/ REACTIVE DC SPUTTERING/ PHOTOCATALYTIC PROPERTY

PUNGBOON PANSILA: PHOTOCATALYTIC PROPERTY OF $TiO_2$ THIN FILMS DEPOSITED BY REACTIVE DC SPUTTERING. ADVISORY COMMITTEE: SURASING CHAIYAKUN, Ph.D. 141 P. 2010

The main objectives of this research were to study the deposition of titanium dioxide thin films by reactive DC sputtering. In addition, characterizations of the films, the effects of mixed gas flow rate in the coating process and thickness on the photocatalytic properties of the films were also revealed. In this study, the films were deposited on glass slide and silicon wafer under various radial positions of substrate and gas flow rate. The crystal structures of the films were characterized by XRD, while the surface morphologies and thicknesses were evaluated by AFM. The photocatalytic activity was evaluated by the measurement of the decomposition of methylene blue after UV irradiation. From the results, it was found that the films were composed of crystalline anatase structure and the mixture of anatase/rutile structure. The surface morphology and thickness of the films were changed the deposited conditions. The films show the photocatalytic properties obtained from all process conditions. In addition, it was found that the titanium dioxide thin film deposited using the flow rate ratio of argon:oxygen (1:4 sccm) exhibited the best photocatalytic property. Moreover, it was found that the photocatalytic activity increases with increasing film thickness.

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

# สารบัญ


หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... จ

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ญ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่

1 บทนำ ..... 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ..... 1

วัตถุประสงค์ของการวิจัย ..... 4

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการวิจัย ..... 4

ขอบเขตของการวิจัย ..... 4

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ..... 5

กระบวนการเคลือบฟิล์มบาง ..... 5

การก่อเกิดฟิล์มบาง ..... 6

โครงสร้างของฟิล์มบาง ..... 8

การเคลือบฟิล์มบางด้วยวิธีสปัตเตอริง ..... 10

กระบวนการโกล์วดิสชาร์จ ..... 17

ระบบเคลือบแบบ ดีซี สปัตเตอริง ..... 22

ระบบเคลือบแบบ ดีซี แมกนีตรอน สปัตเตอริง ..... 24

ระบบเคลือบแบบ อันบาลานซ์ แมกนีตรอน สปัตเตอริง ..... 28

การเคลือบฟิล์มบางด้วยวิธี รีแอคตีฟ สปัตเตอริง ..... 31

ไททาเนียมไดออกไซด์ ..... 33

ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสต์ ..... 37

การหาลักษณะเฉพาะของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ ..... 45

การทดสอบสมบัติโฟโตคะตะไลติกของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ ..... 53


มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

# สารบัญ (ต่อ)


| บทที่ | | หน้า |
|---|---|---|
| | งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 62 |
| 3 | วิธีดำเนินการวิจัย | 73 |
| | กรอบแนวคิดของงานวิจัย | 73 |
| | เครื่องมือและวัสดุที่ใช้ในการทดลอง | 74 |
| | เครื่องเคลือบฟิล์มบางระบบรีแอคตีฟ ดีซี สปัตเตอริง | 77 |
| | การสร้างสภาวะสุญญากาศ | 79 |
| | ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานสำหรับการเคลือบฟิล์มบาง | 81 |
| | ขั้นตอนการเคลือบฟิล์มบาง | 82 |
| | การหาลักษณะเฉพาะของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ | 83 |
| | การเตรียมสารละลายเมทิลีนบลูสำหรับทดสอบสมบัติโฟโตคะตะไลติก | 83 |
| | การทดสอบสมบัติโฟโตคะตะไลติกของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ | 88 |
| | การเคลือบฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ | 90 |
| 4 | ผลการวิจัย | 99 |
| | การเตรียมฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์โครงสร้างผลึกแบบอนาเทส | 99 |
| | สมบัติโฟโตคะตะไลติกของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ | 108 |
| 5 | อภิปรายและสรุปผล | 120 |
| | อภิปราย | 120 |
| | สรุปผล | 129 |
| บรรณานุกรม | | 130 |
| ภาคผนวก | | 136 |
| | ภาคผนวก ก ตารางแสดงค่าต่าง ๆ ที่ได้จากการทดสอบสมบัติโฟโตคะตะไลติกของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ | 137 |
| ประวัติย่อของผู้วิจัย | | 141 |


มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

# สารบัญตาราง


ตารางที่ หน้า

2-1 พลังงานขีดเริ่มของเป้าสารเคลือบชนิดต่าง ๆ ..... 14

2-2 ข้อมูลการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของผลึกไททาเนียมไดออกไซด์เฟสอนาเทส 35

2-3 ข้อมูลการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของผลึกไททาเนียมไดออกไซด์เฟสรูไทล์ 36

3-1 เงื่อนไขการเคลือบฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์แปรค่าตำแหน่ง $d_x$ ..... 92

3-2 เงื่อนไขการเคลือบฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่อัตราไหล
แก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจนต่าง ๆ กัน ..... 93

3-3 เงื่อนไขการเคลือบฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์บนกระจกสไลด์
ที่อัตราไหลแก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจนต่าง ๆ กัน ..... 95

3-4 เงื่อนไขการเคลือบฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์บนกระจกสไลด์
ที่เวลาการเคลือบฟิล์มต่าง ๆ กัน ..... 98

4-1 ความหนาและความหยาบผิวของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์
เคลือบโดยแปรค่า $d_x$ ..... 102

4-2 ความหนาและความหยาบผิวของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์
เคลือบโดยแปรค่าอัตราไหลแก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจน ..... 105

4-3 ความหนาและความหยาบผิวของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์
เคลือบบนกระจกโดยแปรค่าอัตราไหลแก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจน ..... 109

4-4 ความหนาและความหยาบผิวของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์
เมื่อใช้เวลาการเคลือบฟิล์มต่าง ๆ กัน ..... 114

ก-1 ค่าแอบซอร์แบนซ์ของสารเมทีลีนบลูบนฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่
เคลือบด้วยอัตราไหลแก๊สอาร์กอนต่อแก๊สออกซิเจนต่างกัน ..... 138

ก-2 ค่าแอบซอร์แบนซ์ของสารเมทีลีนบลูบนฟิล์มที่มีความหนาต่างกัน ..... 138

ก-3 ผลต่างค่าการส่งผ่านแสงของฟิล์มที่เคลือบด้วยอัตราไหลแก๊สอาร์กอน
ต่อแก๊สออกซิเจต่างกัน หลังจากฉายยูวีเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ..... 139

ก-4 ผลต่างค่าการส่งผ่านแสงของฟิล์มที่มีความหนาต่างกัน
หลังจากฉายยูวีเป็นเวลา 6 ชั่วโมง ..... 140


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), โมลิบดินัม (Mo) , ทังสเตน (W) และทองคำขาว (Pt) ที่มุมการตกกระทบค่าต่าง ๆ (วัดเทียบกับแนวชนตั้งฉากบนเป้า) ..... 16

2-8 ความสัมพันธ์ของความหนาแน่นกระแสและแรงดันไฟฟ้าระหว่างขั้วอิเล็กโตรดของกระบวนการเกิด ดีซี โกลว์ดิสชาร์จ ในหลอดสุญญากาศบรรจุแก๊สนีออน ..... 18

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

2-10 โกลว์ดิสชาร์จของหลอดนีออนยาว 50 cm. ที่ความดัน 1.33 mbar ..... 20

2-11 ระบบสปัตเตอริงแบบ ดีซี สปัตเตอริง ..... 22

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

2-13 การเคลื่อนที่ของอนุภาคอิเล็กตรอนในสนามแม่เหล็ก ..... 24

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

2-15 การจัดสนามแม่เหล็กและแนวการกัดกร่อนของเป้าสารเคลือบในระบบพลานาร์แมกนีตรอน สปัตเตอริง ..... 27

2-16 ลักษณะเส้นแรงแม่เหล็กของระบบอันบาลานซ์ แมกนีตรอน สปัตเตอริง ..... 29

2-17 ลักษณะพลาสมาของระบบสปัตเตอริง ..... 31


มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

# สารบัญภาพ (ต่อ)


ภาพที่ หน้า

2-18 การเกิดปฏิกิริยารวมตัวกันเป็นสารประกอบระหว่างแก๊สไวปฏิกิริยากับอะตอมเป้าสารเคลือบในบริเวณต่างๆ ..... 32

2-19 เฟสของไททาเนียมไดออกไซด์..... 34

2-20 ปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสที่สร้างขึ้นด้วยไททาเนียมไดออกไซด์และปฏิกิริยาโฟโตคะตะไลซิสต์ในธรรมชาติ ..... 38

2-21 เปรียบเทียบปฏิกิริยาเมื่อไม่ใส่ตัวเร่งกิริยาและใส่ตัวเร่งปฏิกิริยา ..... 38

2-22 สเปกตรัมของคลื่นแสงย่านรังสียูวี..... 39

2-23 กลไกการเกิดโฟโตคะตะไลซิสต์ของไททาเนียมไดออกไซด์..... 41

2-24 โครงสร้างของอิเล็กตรอนในไททาเนียมไดออกไซด์..... 42

2-25 แสดงกลไกลปฏิกิริยาออกซิเดชั่น ..... 43

2-26 แสดงกลไกปฏิกิริยารีดักชั่น..... 43

2-27 แบบจำลองการเรียงตัวของอะตอม ..... 46

2-28 ความเข้มของพีคที่แสดงถึงระนาบผลึกของวัสดุในตำแหน่งที่มีการสะท้อนรังสี ..... 48

2-29 องค์ประกอบหลักของเครื่องมือ Scanning Probe Microscope..... 49

2-30 ลักษณะของแรงกระทำระหว่างอะตอมที่เกิดขึ้นในระยะห่างระหว่างวัตถุต่าง ๆ..... 49

2-31 เครื่อง AFM แบบ Multimode ..... 50

2-32 ลักษณะการสั่นของคานที่มีเข็มติด..... 52

2-33 เปอร์เซ็นต์การส่งผ่านแสงของสารละลาย Methyl blue สำหรับฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบที่ความดันรวมขณะเคลือบต่าง ๆ กัน ..... 54

2-34 $\Delta ABS/\Delta ABS_{max}$ ในการสลายสารเมทีลีนบลู ..... 55

2-35 การย่อยสลายสารเมทีลีนบลูในสารละลายบนฟิล์มที่เคลือบด้วยวิธีอาร์ เอฟ สปัตเตอริง..... 56

2-36 ชุดทดสอบสมบัติโฟโตคะตะไลติกโดยการวัดปริมาณความเข้มข้นของแก๊ส..... 57

2-37 ความเข้มข้นของ Acetaldehyde ที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาในการฉายUVของฟิล์มบางที่เคลือบด้วยเทคนิค Sol-gel และ สปัตเตอริง ..... 58

2-38 ความเข้มข้นของ Acetaldehyde ที่ลดลงตามเวลาการฉายแสงยูวี ของฟิล์มบางเคลือบด้วยศักย์ไบแอสต่าง ๆ ที่ความดันรวมเท่ากับ 1.0 Pa ..... 58


มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

# สารบัญภาพ (ต่อ)

2-39 การย่อยสลายทางแสงของสารละลาย Rhodamine B ณ อุณหภูมิอบอ่อนต่าง ๆ ..... 60
2-40 ค่า ln (Co/C) เมื่อฉายแสงยูวีที่อุณหภูมิของปฏิกิริยาเท่ากับ 298 K ..... 60
2-41 ชุดทดสอบ Gas chromatograph ..... 61
2-42 ปริมาณความเข้มข้นของแก๊สคาร์บอนไดออกไซด์เพิ่มขึ้นเทียบกับเวลา
ในฉายแสงยูวีจากการย่อยสลายด้วยแสงของแก๊ส Acetaldehyde
จากกระบวนการโฟโตคะตะไลติก ..... 61
3-1 กรอบแนวความคิดของการวิจัย ..... 73
3-2 เครื่อง X-Ray Diffractrometer ..... 75
3-3 เครื่อง Spectroprotometer for Color ..... 76
3-4 เครื่อง Atomic Force Microscope ..... 76
3-5 ส่วนประกอบหลักของระบบการเคลือบของเครื่องเคลือบ ..... 77
3-6 เครื่องเคลือบในสุญญากาศที่ใช้ในงานวิจัย ..... 78
3-7 ไดอะแกรมระบบเครื่องสูบสุญญากาศ ของระบบเคลือบสปัตเตอริง ..... 80
3-8 ขั้นตอนการล้างวัสดุรองรับ ..... 81
3-9 ขั้นตอนการเตรียมสารละลายเมทิลีนบลู ..... 84
3-10 ตัวอย่างสารละลายเมทิลีนบลูที่เตรียมได้ ..... 85
3-11 การแช่กระจกเคลือบฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์ในสารละลายเมทิลีนบลู ..... 86
3-12 เมทิลีนบลูแห้งบนกระจกเคลือบฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์
ที่ความเข้มข้นต่าง ๆ ..... 86
3-13 ค่าแอบซอร์แบนด์ของสารเมทิลีนบลูความเข้มข้นต่าง ๆ
บนฟิล์มชุดทดสอบ เมื่อฉายแสงยูวี 5 ชั่วโมง ..... 87
3-14 การแช่ฟิล์มในสารละลายเมทิลีนบลูความเข้มข้น 1 mmol
และกล่องสำหรับฉายแสงยูวี ..... 89
3-15 การวางฟิล์มในกล่องฉายแสงยูวี ..... 89
3-16 แผนผังการวางแผ่นซิลิกอนในภาชนะสุญญากาศ
ที่ตำแหน่งแนวรัศมี ( $d_x$ ) ต่าง ๆ ..... 90
3-17 ขั้นตอนการเคลือบฟิล์มบางไททาเนียมไดอกไซด์โดยแปรค่า $d_x$ ..... 91
3-18 แผนผังการวางแผ่นซิลิกอนในภาชนะสุญญากาศที่ตำแหน่ง $d_x$= 4 cm ..... 93

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

# สารบัญภาพ (ต่อ)

3-19 ขั้นตอนการเคลือบฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ด้วยอัตราไหลแก๊สอาร์กอน ..... 94
3-20 แผนผังการวางแผ่นกระจกสไลด์และแผ่นซิลิกอนในภาชนะสุญญากาศ ..... 96
3-21 ขั้นตอนการเคลือบฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่มีความหนาต่างกัน ..... 97
4-1 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบได้ เมื่อแปรค่า $d_x$ ..... 100
4-2 ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบได้ เมื่อแปรค่า $d_x$ ..... 101
4-3 เปรียบเทียบความหนาของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์เคลือบที่ได้ เมื่อแปรค่า $d_x$ ต่างกัน ..... 103
4-4 เปรียบเทียบความหยาบผิวของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบได้ เมื่อแปรค่า $d_x$ ..... 103
4-5 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ เคลือบที่ $d_x$ = 4 cm เมื่อแปรค่าอัตราไหลแก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจน ..... 104
4-6 ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ เมื่อแปรค่าอัตราไหลแก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจน ..... 106
4-7 เปรียบเทียบความหนาของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์เคลือบที่ $d_x$ = 4 cm เมื่อแปรค่าอัตราไหลแก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจน ..... 107
4-8 เปรียบเทียบความหยาบผิวของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์เคลือบที่ $d_x$ = 4 cm เมื่อแปรค่าอัตราไหลแก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจน ..... 107
4-9 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบได้ เมื่อแปรค่าอัตราไหลแก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจน ..... 109
4-10 ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มเคลือบเมื่อแปรค่าอัตราไหลแก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจน ..... 110
4-11 ค่าแอบซอร์แบนซ์ของสารเมทิลีนบลูจากการทดสอบสมบัติโฟโตคะตะไลติกของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์ที่เคลือบเมื่อแปรค่าอัตราไหลแก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจน ..... 112
4-12 การส่งผ่านแสงที่เพิ่มขึ้นหลังฉายแสงยูวี 6 ชั่วโมงจากการทดสอบสมบัติโฟโตคะตะไลติกของฟิล์มที่เคลือบด้วยอัตราไหลแก๊สอาร์กอนต่อออกซิเจนต่างกัน ..... 112

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University

# สารบัญภาพ (ต่อ)

4-13 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางไททาเนียมไดออกไซด์
ที่เคลือบเวลาต่าง ๆ ..... 113
4-14 ลักษณะพื้นผิวและความหนาของฟิล์มที่เคลือบด้วยเวลาเวลาการเคลือบต่างๆ กัน ..... 115
4-15 ค่าแอบซอร์แบนซ์ของสารเมทิลีนบลูจากการทดสอบสมบัติโฟโตคะตะไลติก
ของฟิล์มที่มีความหนาต่างกัน ..... 118
4-16 ค่าการส่งผ่านแสงของฟิล์มที่ย้อมเมทิลีนบลู เมื่อสัมผัสแสงยูวีเป็นเวลา 6 ชั่วโมง
หลังการทดสอบสมบัติโฟโตคะตะไลติกของฟิล์มไททาเนียมไดออกไซด์
ที่มีความหนาต่างกัน ..... 119

มหาวิทยาลัยบูรพา Burapha University