

i. ชื่อชุดโครงการ -

ii. ชื่อโครงการเดี่ยว

- 1) ภาษาไทย การสังเคราะห์ฟิล์มหลายหน้าที่ระดับนาโนสำหรับกระจกประหยัดพลังงาน
- 2) ภาษาอังกฤษ Synthesis of Multifunctional Nano- Films for Energy Saving Glass

iii. คณะนักวิจัย และหน่วยงานต้นสังกัด

- 1) รองศาสตราจารย์ ดร.เล็ก สีคง หัวหน้าโครงการวิจัย  
 ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ  
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
- 2) ดร.วิษณุ ราชเพ็ชร ผู้ร่วมวิจัย  
 ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ  
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

**หน่วยงานต้นสังกัด**

ภาควิชาวิศวกรรมเหมืองแร่และวัสดุ  
 คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์  
 ได้รับอนุมัติงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2555-2556  
 (รหัสข้อเสนอโครงการ 2555A11502064)  
 งบประมาณที่ได้รับ 619,800 บาท ระยะเวลาทำการวิจัย 2 ปี  
 เริ่มทำการวิจัยเมื่อ เดือน ตุลาคม พ.ศ. 2554 ถึง กันยายน พ.ศ. 2556

## สารบัญ

	หน้า
i. ชื่อชุดโครงการ	i
ii. ชื่อโครงการเดี่ยว	i
iii. คณะนักวิจัย และ หน่วยงานต้นสังกัด	i
iv. สารบัญ	ii
- รายการตาราง	iii
- รายการรูปภาพ	v
v. กิตติกรรมประกาศ	xii
vi. บทคัดย่อ	xiii
- บทคัดย่อภาษาไทย	xiii
- บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	xv
1. บทนำ	1
2. วัตถุประสงค์	3
3. ขอบเขตการวิจัย	3
4. การตรวจเอกสาร	4
5. วิธีวิจัย	26
6. ผลการวิจัยและวิจารณ์ผล	37
7. สรุปผล	96
8. เอกสารอ้างอิง	97
9. ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะสำหรับการวิจัยต่อไป	102
10. บทความที่ตีพิมพ์เผยแพร่	103

## รายการตาราง

ตารางที่	หน้า
1. มูลค่าการนำเข้าและส่งออกกระจกของประเทศไทย	2
2. ตัวอย่างของสารอนินทรีย์ที่มีสมบัติเทอร์โมโครมิก	13
3. การเปรียบเทียบระหว่างสีเทอร์โมโครมิกในระบบต่างๆ	14
4. ความแตกต่างของวาเนเดียมออกไซด์แต่ละชนิด	15
5. โครงสร้าง Nano- และ sub-micron ของวาเนเดียมออกไซด์ที่สังเคราะห์ผ่านกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลที่ 180 °C เป็นระยะเวลา 2 วัน	19
6. อัตราส่วนผสมระหว่างผงวาเนเดียมไดออกไซด์กับกรดออกซาลิก	33
7. อัตราส่วนผสมระหว่างผงวาเนเดียมไดออกไซด์กับกรดออกซาลิก	34
8. ผลอุณหภูมิกการเผาต่อขนาดเฉลี่ยของผลึกและปริมาณเฟสของผง P25 และ TiO <sub>2</sub> -AgCl	42
9. ค่าเฉลี่ยความขรุขระของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อุณหภูมิต่ำ	55
10. ค่าเฉลี่ยการย่อยสลายสีเมทิลีนบลูของกระจกและฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อุณหภูมิต่ำ	57
11. ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์การย่อยสลายสีเมทิลีนบลูของกระจกและฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์สังเคราะห์ที่อุณหภูมิต่ำ	58
12. ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของสีสำหรับฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อุณหภูมิต่ำหลังจากได้รับแสงยูวีที่เวลาต่างๆ	63
13. ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างของสีสำหรับฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อุณหภูมิต่ำหลังจากได้รับแสงยูวี 60 นาที แล้วนำมาเก็บในที่มืดที่เวลาต่างๆ	64
14. ค่าเฉลี่ยมุมสัมผัสของหยดน้ำกับผิวฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อุณหภูมิต่ำ	69
15. ค่าเฉลี่ยอัตราการมีชีวิตรอดและเปอร์เซ็นต์การการเสียชีวิตของเชื้อ <i>E.coli</i> หลังทดสอบด้วยฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เจือ AgCl, Cu <sup>2+</sup> และ Br <sup>-</sup> ที่อุณหภูมิต่ำ ภายใต้แสงยูวีที่เวลาต่างๆ	72
16. ผลการวิเคราะห์ผงโดยเติมสารเจือโมลิบดีนัม 7% อะตอม เติมกรดออกซาลิกการในสัดส่วน 2:2.8 เผาที่อุณหภูมิ 500, 600 และ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	77
17. ผลการวิเคราะห์ผงโดยเติมสารเจือโมลิบดีนัม 7% อะตอม เติมกรดออกซาลิกในสัดส่วนต่างๆ เผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	78
18. ผลการวิเคราะห์ผงโดยเติมสารเจือโมลิบดีนัม 7% อะตอม เติมกรดออกซาลิกในสัดส่วน 2:2.8 เผาที่อุณหภูมิ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	78
19. Lattice parameters และปริมาณเฟสของ VO <sub>2</sub> (M) ที่สังเคราะห์ 700 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อนที่ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ที่ปริมาณกรดฟอร์มิกต่างๆกัน	83
20. Lattice parameters และปริมาณเฟสของ VO <sub>2</sub> (M) ที่ปริมาณกรดฟอร์มิก 0.3 โมล สังเคราะห์ที่ 700 °C อัตราการให้ความร้อนที่ 5 และ 10 °C ต่อนาที	83
21. Lattice parameters ปริมาณเฟส VO <sub>2</sub> (M) ที่สังเคราะห์ระหว่าง 500 – 700 องศาเซลเซียส กับอัตราส่วนกรดออกซาลิกที่แตกต่างกัน	86
22. อุณหภูมิกการเกิดเทอร์โมโครมิกของผงวาเนเดียมไดออกไซด์ที่เจือด้วยโมลิบดีนัม	89

รายการตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
23. ผลของกรดออกซาลิกต่อปริมาณโครงสร้างของผงวาเนเดียมไดออกไซด์ที่เจือด้วยทั้งสแตน	90
24. อุณหภูมิการเกิดเทอร์โมโครมิกของผงวาเนเดียมไดออกไซด์ที่เจือด้วยทั้งสแตน	91
25. Lattice parameters และปริมาณเฟสของ VO <sub>2</sub> (M) เจือทั้งสแตน 0.25 และ 0.50 เปอร์เซ็นต์อะตอม ที่ปริมาณกรดฟอร์มิก 0.3 โมล สังกะสีที่ 700 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อนที่ 5 องศาเซลเซียสต่อนาที เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน	92
26. ค่ามุมสัมผัสของฟิล์ม TiO <sub>2</sub> - 0.25%at W-doped VO <sub>2</sub> (M) (4h, 110% Oxalic acid) ที่เวลาต่างๆ เมื่อได้รับแสงยูวี	94

## รายการรูปภาพ

รูปที่	หน้า
1. มุมสัมผัสของของแข็งตามสมการ Young: $\gamma_{sv} - \gamma_{sl} = \gamma_{lv} \cos(\theta)$ เมื่อ $\gamma$ คือ แรงตึงผิวระหว่างทั้งสามเฟส	5
2. ลักษณะหยดน้ำบนวัสดุฐานที่เคลือบด้วยฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์	5
3. แบบจำลองการทำความสะอาดตัวเองโดยอาศัยสมบัติการชอบน้ำ	6
4. ชนิดของโครงสร้างไทเทเนียมไดออกไซด์ อะนาเทส (ซ้าย) บรูคไคต์ (กลาง) และ รูไทล์ (ขวา)	6
5. กลไกการเกิดปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกของไทเทเนียมไดออกไซด์	7
6. ลักษณะการเคลือบฟิล์มซิลเวอร์คอลลอยด์	12
7. เฟสไดอะแกรมของวาเนเดียมออกไซด์แต่ละชนิด	15
8. ข้อมูลจาก DSC ของวาเนเดียมไดออกไซด์ ( $VO_2$ ) ที่มีการเจือทั้งสแตนที่ปริมาณแตกต่างกัน a) 0% b) 0.75% c) 1.79% และ d) 2.83 %	21
9. ผลกระทบของปริมาณสารเจือทั้งสแตนที่ส่งผลต่อค่าอุณหภูมิในการเปลี่ยนแปลง ( $T_c$ ) a, b) กราฟ DSC ของตัวอย่างที่ปริมาณสารเจือทั้งสแตนที่แตกต่างกัน c) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า $T_c$ กับปริมาณทั้งสแตน	21
10. อุณหภูมิแทรนซิชันและฮิสเทอรีซิสหุบของวาเนเดียมไดออกไซด์เจือด้วยไทเทเนียม	22
11. อุณหภูมิแทรนซิชันและฮิสเทอรีซิสหุบของวาเนเดียมไดออกไซด์เจือด้วยอะลูมิเนียม	22
12. อุณหภูมิแทรนซิชันและฮิสเทอรีซิสหุบของวาเนเดียมไดออกไซด์เจือด้วยโครเมียม	23
13. ฮิสเทอรีซิสหุบของฟิล์มวาเนเดียมไดออกไซด์ที่ไม่มีการเจือ เจือด้วยทั้งสแตน (W) และเจือด้วยฟลูออรีน (F)	23
14. สารเจือ (แมกนีเซียม) ที่ส่งผลต่อการส่องผ่านของแสง และอุณหภูมิแทรนซิชัน	24
15. ปริมาณสารเจือ (อะลูมิเนียม) ที่ส่งผลต่อการส่องผ่านของแสง และอุณหภูมิแทรนซิชัน	24
16. ปฏิกิริยาเทอร์โมโครมิกของวาเนเดียมที่เจือด้วยทั้งสแตน (W), เหล็ก (Fe) และการเจือร่วม (W/Fe)	25
17. ขั้นตอนการสังเคราะห์เฟส AgCl	27
18. ขั้นตอนการเตรียม Buffer Layer	28
19. ชิ้นงานก่อน และหลังเคลือบด้วย Buffer Layer	28
20. ขั้นตอนการเตรียมเฟสผสม $AgCl/xTiO_2$ ( $X=0, 5, 10, 15, 20, 25$ และ $30\%TiO_2$ )	29
21. ผลการทดสอบ XRD ของการสังเคราะห์เฟส AgCl จากสารตั้งต้นที่ต่างกัน	37
22. ผลการวิเคราะห์ด้วย XRD ที่อุณหภูมิ 400, 500 และ 600 องศาเซลเซียสของตัวอย่างสูตร B	37
23. การเปลี่ยนสีเมื่อได้รับแสง UV ของผงที่ปริมาณ Ag และ TCAA ต่างๆ โดย (a) ก่อนรับแสง และ (b) หลังรับแสง 10 นาที	38
24. ค่า Absorbance ของผงที่ปริมาณ Ag และ TCAA ต่างๆ	39

## รายการรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
25. ค่า Transmittance ของผงที่ปริมาณ Ag และ TCAA ต่างๆ เมื่อได้รับแสง UV ที่เวลาต่างๆ กัน (ทดสอบด้วยเครื่อง UV-Vis)	39
26. ตัวอย่างชิ้นงานทดสอบด้วยเครื่อง UV-Vis โดย (a) ก่อนได้รับแสง (b) หลังได้รับแสง และ (c) ลักษณะภายในชิ้นงานหลังได้รับแสง	40
27. ลักษณะของผง AgCl/TiO <sub>2</sub> ที่ภาวะต่างๆจากการตรวจสอบด้วยเครื่อง SEM	40
28. พีค XRD ของผง (a) P25 และ TiO <sub>2</sub> -AgCl เมื่อเตรียมที่ (b) 400, (c) 500 และ (d) 600 องศาเซลเซียส	41
29. FT-IR spectra ของผง P25 และ TiO <sub>2</sub> -AgCl	41
30. ภาพถ่าย SEM ของผง P25 และ TiO <sub>2</sub> -AgCl (magnification 40,000 x)	41
31. ปฏิกิริยาย่อยสลายเมทิลีนบลูของผง P25 และ TiO <sub>2</sub> -AgCl ภายใต้แสงยูวี	42
32. ปฏิกิริยาย่อยสลายเมทิลีนบลูของผง P25 และ TiO <sub>2</sub> -AgCl ภายใต้แสงที่มองเห็น	42
33. ลักษณะผิวของฟิล์ม AgCl/TiO <sub>2</sub> ที่ภาวะต่างๆจากการหมุนเหวี่ยง	43
34. การกระจายตัวของ Ag ในฟิล์มที่เคลือบบนกระจกแบบหมุนเหวี่ยง	44
35. การเปลี่ยนสีของฟิล์มเคลือบบนแผ่นกระจกด้วยกระบวนการแบบจุ่มเคลือบ โดย (a) ก่อนได้รับแสง UV และ (b) หลังได้รับแสง UV	44
36. ผล XRD ของ TiO <sub>2</sub> /10AgCl เมื่อเผาที่อุณหภูมิต่างๆ (a) 100 องศาเซลเซียส, (b) 300 องศาเซลเซียสและ (c) 500 องศาเซลเซียส	44
37. ผล XRD ของ TiO <sub>2</sub> /10AgCl/Cu <sup>2+</sup> เมื่อปริมาณ Cu <sup>2+</sup> ต่างๆ (a) 0, (b) 0.1, (c) 0.5 และ (d) 1% ของ TiO <sub>2</sub> และเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส	45
38. ภาพถ่าย SEM ของ (a) glass slide, และฟิล์ม (b) TiO <sub>2</sub> -AgCl และ (c) TiO <sub>2</sub> -AgCl/1%Cu <sup>2+</sup>	45
39. ค่าการส่งผ่านแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆของฟิล์มที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 100, 300 และ 500 องศาเซลเซียส	46
40. ค่าการส่งผ่านแสงที่ความยาวคลื่นต่างๆของฟิล์มที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส โดยเจือไอออนของทองแดงที่ปริมาณต่างๆ	46
41. ความสามารถในการส่งผ่านแสงของ TiO <sub>2</sub> -AgCl/1%Cu <sup>2+</sup> วัดก่อน (a) และหลัง (b) การได้รับแสงยูวี 20 นาที	47
42. ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนฟิล์ม TiO <sub>2</sub> -AgCl/1%Cu <sup>2+</sup> สังเคราะห์ที่ 100, 300 และ 500 องศาเซลเซียส วัดเมื่ออยู่ภายใต้แสงยูวี 0 และ 30 นาที	47
43. ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนฟิล์ม TiO <sub>2</sub> -AgCl/Cu <sup>2+</sup> สังเคราะห์ที่ 500 องศาเซลเซียส เทียบกับปริมาณของ Cu <sup>2+</sup> วัดเมื่ออยู่ภายใต้แสงยูวี 0 และ 30 นาที	48

## รายการรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
44. ภาพถ่ายของหยดน้ำบน (a) glass slide และ (b) ฟิล์ม $\text{TiO}_2\text{-AgCl/Cu}^{2+}$ วัดเมื่ออยู่ภายใต้แสงยูวี 30 นาที	48
45. ภาพถ่าย SEM ของ (a) Glass slide, และฟิล์ม (b) $\text{TiO}_2\text{-AgCl/TiO}_2\text{-1 Cu}^{2+}$ , (c) $\text{TiO}_2\text{-AgCl/TiO}_2\text{-3 Cu}^{2+}$ and (d) $\text{TiO}_2\text{-AgCl/TiO}_2\text{-5 Cu}^{2+}$	49
46. ภาพ AFM ของ (a) Glass slide, และฟิล์ม (b) $\text{TiO}_2\text{-AgCl/TiO}_2\text{-1 Cu}^{2+}$ , (c) $\text{TiO}_2\text{-AgCl/TiO}_2\text{-3 Cu}^{2+}$ และ (d) $\text{TiO}_2\text{-AgCl/TiO}_2\text{-5 Cu}^{2+}$	49
47. ค่าการส่งผ่านแสงของแสงของสไลด์และฟิล์ม $\text{TiO}_2\text{-AgCl/TiO}_2\text{-Cu}^{2+}$ เมื่อความยาวคลื่นของแสงเป็น (a) 250, (b) 300, (c) 350 and (d) 400 nm	50
48. ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนแผ่นสไลด์และฟิล์ม $\text{TiO}_2\text{-AgCl/TiO}_2\text{-Cu}^{2+}$ วัดเมื่อฉายแสงยูวี 10 นาที	50
49. ภาพถ่ายหยดน้ำบนสไลด์และฟิล์ม $\text{TiO}_2\text{-AgCl/TiO}_2\text{-3 Cu}^{2+}$ เมื่อฉายแสงยูวี 10 นาที	50
50. ผลการวิเคราะห์ XRD ของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อุณหภูมิต่ำของ P, T, T1A, T5A, T10A, T30A และ T50A	51
51. ผลการวิเคราะห์ XRD ของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อุณหภูมิต่ำของ T10A, T10A3C, T10A5C และ T10A7C	52
52. ผลการวิเคราะห์ XRD ของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อุณหภูมิต่ำของ T10A5C, T10A5C0.5B, T10A5C1B, T10A5C3B, T10A5C5B และ T10A5C7B	52
53. ภาพถ่าย SEM ของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อุณหภูมิต่ำ	53
54. การดูกลืนแสงของผงไทเทเนียมไดออกไซด์ที่เจือซิลเวอร์คลอไรด์ที่อุณหภูมิต่ำของ T, T1A, T5A, T10A, T30A และ T50A	55
55. การดูกลืนแสงของผงไทเทเนียมไดออกไซด์เจือ AgCl และ $\text{Cu}^{2+}$ ที่อุณหภูมิต่ำของ T10A, T10A3C, T10A5C และ T10A7C	56
56. การดูกลืนแสงของผงไทเทเนียมไดออกไซด์เจือ AgCl, $\text{Cu}^{2+}$ และ $\text{Br}^-$ ร่วมกันที่อุณหภูมิต่ำของ T10A, T10A5C, T10A5C0.5B, T10A5C1B, T10A5C3B, T10A5C5B และ T10A5C7B	56
57. การย่อยสลายสีเมทิลีนบลูของกระจกและฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อุณหภูมิต่ำของ T, T1A, T5A, T10A, T30A และ T50A หลังจากได้รับแสงยูวีที่เวลาต่างๆ	59
58. เปอร์เซ็นต์การย่อยสลายสีเมทิลีนบลูของกระจกและฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เจือ AgCl ที่อุณหภูมิต่ำของ T, T1A, T5A, T10A, T30A และ T50A หลังจากได้รับแสงยูวีที่เวลาต่างๆ	59
59. การย่อยสลายสีเมทิลีนบลูของกระจกและฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เจือ AgCl และ $\text{Cu}^{2+}$ ที่อุณหภูมิต่ำของ T, T10A, T10A3C, T10A5C และ T10A7C หลังจากได้รับแสงยูวีที่เวลาต่างๆ	60
60. การย่อยสลายสีเมทิลีนบลูของกระจกและฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เจือ AgCl และ $\text{Cu}^{2+}$ ที่อุณหภูมิต่ำของ T, T10A, T10A3C, T10A5C และ T10A7C หลังจากได้รับแสงยูวีที่เวลาต่างๆ	60

## รายการรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
61. การย่อยสลายสีเมทิลีนบลูของกระจกและฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เจือ AgCl, Cu <sup>2+</sup> และ Br <sup>-</sup> ที่อุณหภูมิต่ำของ T, T10A, T10A5C, T10A5C0.5B, T10A5C1B, T10A5C3B, T10A5C3B และ T10A5C7B หลังจากได้รับแสงยูวีที่เวลาต่างๆ	61
62. เปอร์เซ็นต์การย่อยสลายสีเมทิลีนบลูของกระจกและฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เจือ AgCl, Cu <sup>2+</sup> และ Br <sup>-</sup> ที่อุณหภูมิต่ำของ T, T10A, T10A5C, T10A5C0.5B, T10A5C1B, T10A5C3B, T10A5C3B และ T10A5C7B หลังจากได้รับแสงยูวีที่เวลาต่างๆ	62
63. เปอร์เซ็นต์ค่าความแตกต่างสีของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เจือ AgCl ที่อุณหภูมิต่ำของ T, T1A, T5A, T10A, T30A และ T50A เมื่อได้รับแสงยูวีที่เวลาต่างๆ	64
64. เปอร์เซ็นต์ค่าความแตกต่างสีของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เจือ AgCl ที่อุณหภูมิต่ำของ T, T1A, T5A, T10A, T30A และ T50A เมื่อเก็บในที่มืดที่เวลาต่างๆ	65
65. เปอร์เซ็นต์ค่าความแตกต่างสีของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เจือ AgCl และ Cu <sup>2+</sup> ที่อุณหภูมิต่ำของ T10A, T10A3C, T10A5C และ T10A7C เมื่อได้รับแสงยูวีที่เวลาต่างๆ	66
66. เปอร์เซ็นต์ค่าความแตกต่างสีของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เจือ AgCl และ Cu <sup>2+</sup> ที่อุณหภูมิต่ำของ T10A, T10A3C, T10A5C และ T10A7C เมื่อเก็บในที่มืดที่เวลาต่างๆ	66
67. เปอร์เซ็นต์ค่าความแตกต่างสีของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เจือ AgCl, Cu <sup>2+</sup> และ Br <sup>-</sup> ที่อุณหภูมิต่ำของ T10A, T10A5C, T10A5C0.5B, T10A5C1B, T10A5C3B, T10A5C5B และ T10A5C7B เมื่อได้รับแสงยูวีที่เวลาต่างๆ	67
68. เปอร์เซ็นต์ค่าความแตกต่างสีของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เจือ AgCl, Cu <sup>2+</sup> และ Br <sup>-</sup> ที่อุณหภูมิต่ำของ T10A, T10A5C, T10A5C0.5B, T10A5C1B, T10A5C3B, T10A5C5B และ T10A5C7B เมื่อเก็บในที่มืดที่เวลาต่างๆ	68
69. ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำกับผิวฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่อุณหภูมิต่ำของ T, T1A, T5A, T10A, T30A และ T50A ที่ผ่านการได้รับแสงยูวีที่เวลาต่างๆ	69
70. ลักษณะมุมสัมผัสหรือหยดน้ำที่เกิดขึ้นบนผิวฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อุณหภูมิต่ำของ T, T1A, T5A, T10A, T30A และ T50A	70
71. ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำกับผิวฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เจือ AgCl และ Cu <sup>2+</sup> ที่อุณหภูมิต่ำของ T10A, T10A3C, T10A5C และ T10A7C ที่ผ่านการได้รับแสงยูวีที่เวลาต่างๆ	70
72. ลักษณะมุมสัมผัสหรือหยดน้ำที่เกิดขึ้นบนผิวฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ที่อุณหภูมิต่ำของ T10A, T10A3C, T10A5C และ T10A7C	71
73. ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำกับผิวฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เจือ AgCl, Cu <sup>2+</sup> และ Br <sup>-</sup> ที่อุณหภูมิต่ำของ T10A, T10A5C, T10A5C0.5B, T10A5C1B, T10A5C3B, T10A5C5B และ T10A5C7B ที่ผ่านการได้รับแสงยูวีที่เวลาต่างๆ	71
74. ลักษณะมุมสัมผัสหรือหยดน้ำที่เกิดขึ้นบนผิวฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เจือ AgCl, Cu <sup>2+</sup> และ Br <sup>-</sup> ที่อุณหภูมิต่ำของ T10A, T10A5C, T10A5C0.5B, T10A5C1B, T10A5C3B, T10A5C5B และ T10A5C7B	72



## รายการรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
75. อัตราการรอดชีวิตของเชื้อ <i>E.coli</i> หลังทดสอบด้วยฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เจือ $AgCl$ , $Cu^{2+}$ และ $Br^-$ ที่อุณหภูมิต่ำ ภายใต้แสงยูวีที่เวลาต่างๆ	73
76. เปอร์เซ็นต์การเสียชีวิตของเชื้อ <i>E.coli</i> หลังทดสอบด้วยฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เจือ $AgCl$ , $Cu^{2+}$ และ $Br^-$ ที่อุณหภูมิต่ำ ภายใต้แสงยูวีที่เวลาต่างๆ	74
77. เปอร์เซ็นต์การเสียชีวิตของเชื้อ <i>E.coli</i> หลังทดสอบด้วยฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์เจือ $AgCl$ , $Cu^{2+}$ และ $Br^-$ ที่อุณหภูมิต่ำ ภายใต้แสงยูวีที่เวลาต่างๆ	74
78. ภาพถ่าย SEM ของเชื้อ <i>E.coli</i> ที่พ่นิงเซลล์ถูกทำลายจากอิทธิพลของฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์ ที่อุณหภูมิต่ำ (T10A5C) หลังจากได้รับแสงยูวีเป็นเวลา 1 ชั่วโมง	75
79. รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของผงโดยเติมสารเจือโพลีบดินัม 7% อะตอม เติมกรดออกซาลิก ในสัดส่วนต่างๆ (a) 2:2.5 (b) 2:2.7 (c) 2:2.8 (d) 2:2.8 (ไม่เติมสารเจือ) เเผาที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	76
80. รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของผงโดยเติมสารเจือโพลีบดินัม 7% อะตอม เติมกรดออกซาลิกใน สัดส่วน 2:2.8 เเผาที่อุณหภูมิ 500, 600 และ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	77
81. รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของผงโดยเติมสารเจือโพลีบดินัม 7% อะตอม เติมกรดออกซาลิกใน สัดส่วน 2:2.8 เปรียบเทียบการเผาครั้งเดียวและการเผาซ้ำ 2 ครั้ง	79
82. XRD patterns ของผงที่สังเคราะห์ได้จากกระบวนการไฮโดรเทอร์มอลที่ปริมาณกรดฟอร์มิก แตกต่างกัน	80
83. อิทธิพลของปริมาณกรดฟอร์มิกที่มีผลต่อปริมาณของผง $VO_2(B)$ ที่สังเคราะห์ได้	80
84. DTA patterns ของ $VO_2(B)$ ที่เตรียมจากกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล 48 ชั่วโมง กรดฟอร์มิก ปริมาณ 0.3 โมล ที่ช่วงอุณหภูมิ 50 – 800 องศาเซลเซียส อัตราการให้ความร้อนที่ 5 องศาเซลเซียส ต่อนาที	81
85. XRD patterns ของผงวาเนเดียมไดออกไซด์ที่เตรียมจากกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล 48 ชั่วโมง เมื่อใช้กรดฟอร์มิกที่ปริมาณต่างๆ และนำไปเผาที่ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ที่อัตรา การให้ความร้อน 10 องศาเซลเซียสต่อนาที ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน	82
86. XRD patterns ของผงที่มีการให้อัตราการให้ความร้อนที่แตกต่างกัน	83
87. XRD patterns ของผง $VO_2(B)$ และเฟสของผงที่ได้หลังจากกระบวนการเผาที่ 500, 600 และ 700 องศาเซลเซียส	84
88. XRD patterns ของผง $VO_2(B)$ ที่เตรียมจากกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล 48 ชั่วโมง เมื่อใช้ กรดฟอร์มิกปริมาณ 0.3 โมล หลังจากกระบวนการเผา ที่มีการเติมกรดออกซาลิกใน อัตราส่วนต่างๆ ที่อุณหภูมิ 500, 600 และ 700 องศาเซลเซียส	86

## รายการรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
89. ภาพถ่าย SEM ของผง $\text{VO}_2(\text{M})$ ที่สังเคราะห์ได้ a) $\text{VO}_2(\text{B})$ ของผง $\text{VO}_2(\text{B})$ ที่เตรียมจากกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล 48 ชั่วโมง เมื่อใช้กรดฟอร์มิกปริมาณ 0.3 โมล b) $\text{VO}_2(\text{M})$ ที่ 500 องศาเซลเซียส 75% กรดออกซาลิก c) $\text{VO}_2(\text{M})$ ที่ 600 องศาเซลเซียส 75% กรดออกซาลิก และ d) $\text{VO}_2(\text{M})$ ที่ 700 องศาเซลเซียส 50% กรดออกซาลิก ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน	87
90. ผลการวิเคราะห์อนุกรมวิธานในการเปลี่ยนเฟสจาก $\text{VO}_2(\text{M})$ สู่ $\text{VO}_2(\text{R})$ a) เผาที่ 500 องศาเซลเซียส โดยใช้กรดกรดออกซาลิก 75% โดยน้ำหนัก b) เผาที่ 700 องศาเซลเซียส โดยใช้กรดออกซาลิก 50% โดยน้ำหนัก	88
91. กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณการเจือโมลิบดีนัมกับอนุกรมวิธานการเกิดเทอร์โมโครมิก	89
92. รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของผงวานาเดียมออกไซด์ที่เจือด้วยทั้งสแตน (a) 0.025 (b) 0.05 (c) 0.10 (d) 0.30 (e) 0.35 % อะตอม	90
93. XRD patterns ของ $\text{VO}_2(\text{M})$ ที่เจือด้วยทั้งสแตนที่ปริมาตร 0.25 และ 0.50 เปอร์เซ็นต์อะตอม	92
94. ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค DSC แสดงอนุกรมวิธานในการเปลี่ยนเฟสจาก $\text{VO}_2(\text{M})$ สู่ $\text{VO}_2(\text{R})$ a) เจือทั้งสแตน 0.25% อะตอม และ b) เจือทั้งสแตน 0.50% อะตอม	93
95. DSC เปรียบเทียบของผงที่ไฮโดรเทอร์มอลเป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง a) ที่ไม่มีการเจือ b) มีการเจือทั้งสแตน 0.25 เปอร์เซ็นต์อะตอม	93
96. ภาพฟิล์มที่อนุกรมวิธานเผา 400 องศาเซลเซียส บนกระจกสไลด์ที่สังเคราะห์ได้ a) ไม่มีการเคลือบ b) $\text{TiO}_2$ 1 ชั้น c) $\text{TiO}_2$ -0.25%at W-doped $\text{VO}_2(\text{M})$ (4h, 110%Oxalic acid) 1 ชั้น d) $\text{TiO}_2$ - 0.25%at W-doped $\text{VO}_2(\text{M})$ (4h, 110%Oxalic acid) 2 ชั้น	94
97. ภาพจากการวัด มุมสัมผัส ของฟิล์ม $\text{TiO}_2$ - 0.25%at W-doped $\text{VO}_2(\text{M})$ (4h, 110%Oxalic acid) 1 ชั้น อนุกรมวิธานเผาที่ 400 องศาเซลเซียส ที่เวลาแตกต่างกัน ภายใต้แสงยูวี	95
98. ภาพจากการวัด มุมสัมผัส ของฟิล์ม $\text{TiO}_2$ - 0.25%at W-doped $\text{VO}_2(\text{M})$ (4h, 110%Oxalic acid) 1 ชั้น อนุกรมวิธานเผาที่ 500 องศาเซลเซียส ที่เวลาแตกต่างกัน ภายใต้แสงยูวี	95

#### v. กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (รหัสข้อเสนอโครงการ 2555A11502064) ที่สนับสนุนงบประมาณในการทำวิจัยครั้งนี้ ขอขอบคุณศูนย์ความเป็นเลิศทางด้านเทคโนโลยีเพื่อพลังงาน (CENE) และสถานวิจัยวิศวกรรมวัสดุ (ปัจจุบัน เปลี่ยนเป็นศูนย์วิจัยวิศวกรรมวัสดุ) มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ ที่ให้งบประมาณอุดหนุนบางส่วนในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์และขอขอบคุณผู้ช่วยวิจัย ดังนี้ ดร.วิระชัย แสงฉาย (ปัจจุบัน เป็นผู้ช่วยศาสตราจารย์ สังกัดมหาวิทยาลัยราชภัฏสงขลา) นางสาวพัชรี เพิ่มพูน และนายพงษ์ธร คำบัว ที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จ

คณะผู้วิจัย

## vi. บทคัดย่อ

จุดประสงค์ของการศึกษางานวิจัยในครั้งนี้ คือ การศึกษาและเตรียมฟิล์มหลายหน้าที่ระดับนาโนสำหรับกระจกพลังงาน โดยอาศัยสมบัติโฟโตโครมิกและเทอร์โมโครมิกของฟิล์ม สำหรับฟิล์มโฟโตโครมิกจะสังเคราะห์ไทเทเนียมไดออกไซด์เจือ AgCl เพื่อให้มีสมบัติโฟโตโครมิกและสมบัติการทำความสะอาดตัวเองด้วยวิธีโซล-เจล ศึกษาอิทธิพลของอุณหภูมิในการสังเคราะห์ ชนิดและปริมาณสารเจือ เช่น CuCl และ Br<sup>-</sup> ที่มีผลต่อสมบัติดังกล่าว สมบัติการฆ่าเชื้อโรค และปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติกในการย่อยสลายสีเมทิลีนบลู สมบัติการทำความสะอาดตัวเองจะอาศัยหลักการซูเปอร์ไฮโดรฟิลิกของผิวสัมผัส (ค่ามุมสัมผัสเข้าใกล้ศูนย์) และสมบัติการเปลี่ยนสีอาศัยหลักการโฟโตโครมิกเมื่อได้รับความเข้มแสงที่แตกต่างกัน เช่น แสงยูวี เป็นต้น ในการศึกษาได้สังเคราะห์ฟิล์มโดยใช้อุณหภูมิสูงและอุณหภูมิต่ำ ฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์สังเคราะห์ที่อุณหภูมิสูง เตรียมด้วยวิธีการโซล-เจล และนำไปเคลือบบนกระจกด้วยวิธีแบบจุ่มเคลือบ ฟิล์มถูกเตรียมเป็น 2 ชั้น ชั้นที่ 1 เป็นชั้นของไทเทเนียมไดออกไซด์เจือด้วย AgCl เท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์โมล และชั้นที่ 2 เป็นชั้นของไทเทเนียมไดออกไซด์เจือด้วย Cu<sup>2+</sup> (ปริมาณ Cu<sup>2+</sup> เท่ากับ 0, 1, 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์โมล) หลังจากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ด้วยอัตราการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิเท่ากับ 10 องศาเซลเซียสต่อนาที และแช่ไว้ ณ อุณหภูมิดังกล่าว 2 ชั่วโมง นำฟิล์มที่ได้ไปศึกษาคุณลักษณะด้วยเทคนิค XRD, SEM, AFM และ UV-Vis และสมบัติต่างๆ การทำความสะอาดตัวเองในเทอมของความเป็นไฮโดรฟิลิก (ค่ามุมสัมผัสของหยดน้ำบนฟิล์มเข้าใกล้ศูนย์องศา) และสมบัติโฟโตโครมิกของฟิล์มที่สังเคราะห์โดยเมื่อได้รับแสงที่มีความเข้มสูงฟิล์มจะเปลี่ยนเป็นสีทึบและจะเปลี่ยนกลับมาใสเหมือนเดิมเมื่อความเข้มแสงลดลง เนื่องจากการเปลี่ยนสีของ AgCl (ใส) เป็น Ag<sup>0</sup> (เข้ม) ผลการทดลองสรุปได้ว่า อุณหภูมิในการสังเคราะห์ที่ 400 องศาเซลเซียส ส่งผลให้เกิดเฟส TiO<sub>2</sub> (อะนาเทส) AgCl และเฟส CuO และการเจือ CuO ส่งผลให้สมบัติต่างๆ ของฟิล์มมีค่าเพิ่มขึ้น เช่น สมบัติโฟโตโครมิกหรือสมบัติการเปลี่ยนสี สมบัติการทำความสะอาดตัวเอง ประสิทธิภาพของปฏิกิริยาโฟโตแคตะไลติก และสมบัติการฆ่าเชื้อ *E.coli* โดยฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์สังเคราะห์ที่อุณหภูมิสูงเจือด้วย AgCl และ CuO เท่ากับ 10 และ 5 เปอร์เซ็นต์โมล ตามลำดับ จะให้สมบัติต่างๆ ดีที่สุด ได้แก่ สมบัติการทำความสะอาดตัวเองโดยมุมสัมผัสเท่ากับ 6.4 องศา และสมบัติโฟโตโครมิก โดยความไวในการเปลี่ยนสีเพิ่มขึ้น 91 เปอร์เซ็นต์ และบดบังแสงได้ 46 เปอร์เซ็นต์ สามารถกันรังสียูวีที่ความยาวคลื่น 300 และ 350 นาโนเมตร ฟิล์มขนาดพื้นที่ 26x30 ตารางมิลลิเมตร อย่างไรก็ตามพบว่าฟิล์มแสดงสมบัติโฟโตโครมิกได้ไม่ดี เนื่องมาจากการย้อนกลับของสีต้องใช้เวลาานาน ถึงแม้ว่าเก็บไว้ในกล่องดำ เพราะอุณหภูมิที่ใช้ในการสังเคราะห์จะไปส่งเสริมให้เกิดเฟส CuO แทนที่จะเกิดเฟส CuCl ตามต้องการ จึงได้ปรับเปลี่ยนมาใช้ในการสังเคราะห์ฟิล์มที่อุณหภูมิต่ำแทน

ฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์สังเคราะห์ที่อุณหภูมิต่ำ สามารถดำเนินการเตรียมด้วยวิธีการโซล-เจล และนำไปเคลือบบนกระจกด้วยวิธีการจุ่มเคลือบเช่นเดียวกัน โดยเริ่มต้นนำโซลของไทเทเนียมไดออกไซด์ผสมด้วยไคโตซาน (ปริมาณไคโตซานเท่ากับ 0.15 กรัม) ที่เตรียมด้วยวิธีฟลักซ์ด้วยไมโครเวฟ และ AgCl ที่ปริมาณต่างๆ (1, 5, 10, 30 และ 50 เปอร์เซ็นต์โมล) ซึ่งเตรียมจากการรีดักชันด้วยกรดเกลือ นำโซลที่ได้ไปเคลือบบนแผ่นกระจกและอบด้วยไมโครเวฟที่ 180 วัตต์ เป็นเวลา 1 ชั่วโมง แล้วนำไปศึกษาสมบัติโฟโตโครมิกและสมบัติการทำความสะอาดตัวเอง โดยได้ศึกษาอิทธิพลของสารเจือ CuCl และ Br<sup>-</sup> พบว่าอุณหภูมิในการ

สังเคราะห์ประมาณ 80 องศาเซลเซียส มีผลให้ไทเทเนียมไดออกไซด์ไม่เกิดเฟสอะนาทาส แต่เกิดเพียงเฟสอะมอร์ฟัสแทน ส่วนเฟส AgCl และ CuCl เกิดขึ้น ที่อุณหภูมิดังกล่าว และปริมาณสารเจือ AgCl และ CuCl มีผลต่อสมบัติต่างๆ ของฟิล์ม โดยฟิล์มไทเทเนียมไดออกไซด์สังเคราะห์ที่อุณหภูมิต่ำเจือด้วย AgCl และ CuCl เท่ากับ 10 และ 5 เปอร์เซ็นต์โมล ตามลำดับ จะให้สมบัติต่างๆ ที่ดีที่สุด ได้แก่ สมบัติการทำความสะอาดตัวเองที่ดีมาก โดยมุมสัมผัสเท่ากับ 6 องศา ส่วนสมบัติโฟโตโครมิคพบว่า ฟิล์มจะเปลี่ยนสีหลังจากได้รับแสงยูวีในเวลา 10 นาที และเปลี่ยนสีกลับเมื่อนำมาเก็บในที่มืดประมาณ 4 ชั่วโมง นอกจากนั้นฟิล์มยังมีสมบัติการฆ่าเชื้อแบคทีเรียและสมบัติโฟโตแคตะไลติก

สำหรับวัสดุเทอร์โมโครมิคจะสังเคราะห์วาเนเดียมไดออกไซด์เฟสโมนอคลินิกเป็นผงและเป็นฟิล์มด้วยวิธีทางเคมีและวิธีไฮโดรเทอร์มอล และได้ศึกษาอิทธิพลของสารเจือ  $\text{MoO}_3$ ,  $\text{WO}_3$  และ  $\text{TiO}_2$  ต่อสมบัติเทอร์โมโครมิคของวาเนเดียมไดออกไซด์ในเทอมของการลดลงของอุณหภูมิแทรนซิชัน จากการสังเคราะห์ด้วยวิธีแรก พบว่าการใช้ไมโครเวฟช่วยในการสังเคราะห์สาร สามารถผลิตวาเนเดียมไดออกไซด์เฟสโมนอคลินิกได้สำเร็จ โดยมีอุณหภูมิแทรนซิชันได้ ( $T_c$ ) 67 องศาเซลเซียส และพบว่าเมื่อเจือโมลิบดีนัม 12 เปอร์เซ็นต์อะตอมและแคลไซต์ที่ 700 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจน โดยมีปริมาณกรดออกซาลิกปริมาณที่เหมาะสม สามารถสังเคราะห์วาเนเดียมไดออกไซด์เฟสโมนอคลินิกที่มีอุณหภูมิแทรนซิชัน 43 องศาเซลเซียส แต่เมื่อเจือทั้งสแตนร่วม พบว่าได้วาเนเดียมไดออกไซด์เฟสเตตระโกนาลซึ่งเป็นเฟสที่เสถียรไม่มีสมบัติเป็นเทอร์โมโครมิค การเตรียมวาเนเดียมไดออกไซด์เฟสโมนอคลินิกด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอลจะสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส โดยใช้กรดฟอร์มิก 0.3 โมล เวลาสังเคราะห์ 48 ชั่วโมง และ 4 ชั่วโมงและตามด้วยการแคลไซต์ที่ 700 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ภายใต้บรรยากาศไนโตรเจนพบว่าที่เวลาสังเคราะห์ 48 ชั่วโมง สามารถผลิตวาเนเดียมไดออกไซด์เฟสโมนอคลินิกได้สำเร็จ โดยมีอุณหภูมิวิกฤต 67 องศาเซลเซียส และเมื่อเจือทั้งสแตนประมาณ 0.25 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก ได้วาเนเดียมไดออกไซด์เฟสโมนอคลินิกที่มีอุณหภูมิแทรนซิชัน 50 องศาเซลเซียส และที่เวลาสังเคราะห์ 4 ชั่วโมงมีอุณหภูมิแทรนซิชันลดลงเป็น 47.5 องศาเซลเซียส การขึ้นรูปฟิล์มบนกระจกโดยใช้ผงวาเนเดียมไดออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ร่วมกับ  $\text{TiO}_2$  พบว่า มุมสัมผัสของหยดน้ำบนฟิล์ม มีค่าเท่ากับ 62 องศา ซึ่งมีสมบัติการทำความสะอาดตัวเองระดับปานกลาง

## Abstract

In this study, the aim is to study and prepare multifunctional films applied for energy saving glasses via photochromic and thermochromic properties of the films. For photochromic films, TiO<sub>2</sub> incorporated with AgCl films were synthesized to enhance photochromic and self-cleaning properties by using sol-gel method. The effect of temperature synthesis and doping agent such as CuCl and Br<sup>-</sup> on *E. coli* disinfection, photocatalytic degradation of methylene blue, self-cleaning and photochromic properties were investigated. In study, photochromic films were synthesized using high and low temperature routes via sol-gel and dip coating methods. Prepared films having 2 layers, the first one was TiO<sub>2</sub>-AgCl and the top one was TiO<sub>2</sub> doped with Cu<sup>2+</sup> (0, 1, 3 and 5 mol%) were calcined at 400 °C holding for 2 hours at a heating rate of 10 °C/min. The synthesized films were characterized by XRD, SEM, AFM and UV-Vis and determined the self-cleaning property by means of super hydrophilic surface which water droplet contact angles approaching to zero degree) and the color changes were ascribed photochromic according to different intensities of light such as UV light. The bright films were darkened and reversed to bright films with decreased intensities of light due to the reverse mechanism of AgCl (bright) to Ag<sup>0</sup> (dark tint). The results show that at 400°C synthesis, an anatase (TiO<sub>2</sub>), AgCl and CuO phases were formed. CuO doping can enhance photochromic and self-cleaning properties. The TiO<sub>2</sub>-10%molAgCl film doped with CuO of 5 %mol exhibits a good self-cleaning property with contact angle of about 6.4° and a moderate photochromic effect. The sensitivity of color change improved 91 % and the transmission of visible light was about 54%, while UV light at wavelength 300 nm and 350 nm were blocked. However, the reverse of color, it took a long time even though keeping in a dark box due to CuO formed instead of CuCl.

Low temperature films preparation were considered by using sol-gel process and coating on soda lime slide glasses by dip-coating process. TiO<sub>2</sub> sol was mixed with 0.15 g chitosan and refluxed by the microwave assisted method with 180W and it was around 80°C for 1 h. The experimental results show that AgCl-doped film with 10 %mol exhibits a good photochromic property. The films were improved by CuCl doped with dosage of 3, 5 and 7 %mol and Br<sup>-</sup> doped with dosage of 0.5, 1, 3, 5 and 7 %mol. The results show that synthesis temperature of 80 °C, an anatase amorphous phase was formed. In addition to AgCl, CuCl phase was formed at this temperature. By studying the low temperature films preparation, it was found that TiO<sub>2</sub> films doped with AgCl 10 %mol and CuCl 5 %mol show a good self-

cleaning with contact angle about  $6^\circ$  and the films were changing the color under UV exposure for about 10 min. The film will reverse color when keep in dark condition for 4 h. Furthermore, the synthesized films have disinfection effect and photocatalytic property as well.

For thermochromic materials, the monoclinic  $\text{VO}_2$  was synthesized in powder and film forms by means of chemical and hydrothermal processes. The effect of doping agents such as  $\text{MoO}_3$ ,  $\text{WO}_3$  and  $\text{TiO}_2$  on thermochromic property of vanadium dioxide in terms of the transition temperature reduction was investigated. From the first synthesizing method, the pure  $\text{VO}_2$  (M) was obtained using microwave-assisted for 30 minutes and calcination with certain amount of oxalic acid at  $700^\circ\text{C}$  for 1 hour in nitrogen atmosphere. The transition temperature of as-prepared  $\text{VO}_2$  was at  $67^\circ\text{C}$  and that of 12 at% Mo-doped  $\text{VO}_2$  was  $43^\circ\text{C}$ . However,  $\text{VO}_2$  co-doped with Mo and W was found in rutile phase at room temperature that has no thermochromic effect at the service temperature near  $35\text{-}40^\circ\text{C}$ . This is due to the effect of W doping. For preparation of  $\text{VO}_2$  (M) via hydrothermal process was performed at  $180^\circ\text{C}$  using 0.3 mole of formic acid for 48 and 4 hours before submitted to calcination with certain amount of oxalic acid at  $700^\circ\text{C}$  for 1 hour in nitrogen atmosphere. It was found that pure monoclinic phase of  $\text{VO}_2$  was formed at the absence and presence of W doping. Tungsten doped about 0.25 wt% can reduce the transition temperature of  $\text{VO}_2$  from  $67^\circ\text{C}$  be about 50 and  $47.4^\circ\text{C}$  when the hydrothermal time were 48 and 4 hours, respectively. Photochromic films were performed by coating the synthesized W-doped  $\text{VO}_2$  powders in conjunction with  $\text{TiO}_2$ . It was seen that contact angle of water droplet on the film was  $62^\circ$  which indicates self-cleaning effect moderately.