รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การสังเคราะห์โลหะโมลิบเดตและโลหะทังสเตทโครงสร้างนาโนเพื่อประยุกต์ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสง

Synthesis of nanostructured metal molybdate and metal tungstate used for photocatalyst

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนุกร ภู่เรืองรัตน์
ศาสตราจารย์ ดร. สมชาย ทองเต็ม

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากเงินงบประมาณแผ่นดิน
มหาวิทยาลัยมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ประจำปีงบประมาณ 2556 รหัสโครงการ SCI560002S

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

การสังเคราะห์โลหะโมลิบเดตและโลหะทังสเตทโครงสร้างนาโนเพื่อประยุกต์ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสง

Synthesis of nanostructured metal molybdate and metal tungstate used for photocatalyst

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อนุกร ภู่เรืองรัตน์
ศาสตราจารย์ ดร. สมชาย ทองเต็ม

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากเงินงบประมาณแผ่นดิน
มหาวิทยาลัยมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ประจำปีงบประมาณ 2556 รหัสโครงการ SCI560002S

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้า ผศ.ดร. อนุกร ภู่เรืองรัตน์ หัวหน้าโครงการวิจัย และคณะผู้วิจัย ขอขอบคุณอย่างสูงกับทางมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์และสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติอนุมัติทุนวิจัยงบประมาณแผ่นดิน ประเภททั่วไป ประจำปี 2555 เพื่อสนับสนุนการทำวิจัยโครงการเรื่อง การสังเคราะห์โลหะโมลิบเดตและโลหะทังสเตทโครงสร้างนาโนเพื่อประยุกต์ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสง (Synthesis of nanostructured metal molybdate and metal tungstate used for photocatalyst) อีกทั้งข้าพเจ้าขอบคุณอย่างยิ่งกับศาสตราจารย์ ดร. สมชาย ทองเต็ม และ รองศาสตราจารย์ ธิติพันธ์ ทองเต็ม อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่ให้ความอนุเคราะห์ความปรึกษาให้โครงการวิจัยนี้ประสบความสำเร็จตามวัตถุประสงค์ที่ตั้งไว้ ขอบคุณคุณ บุษบง กันทะลือ และเจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยและบริการจุลทรรศนศาสตร์อิเล็กตรอน คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ที่ช่วยอำนวยความสะดวกในการบริการกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและส่องผ่าน สุดท้ายขอบคุณนักศึกษาสาขาวัสดุศาสตร์คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ และน้อง ๆ ห้องวิจัยวัสดุ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่และทุกท่านที่ช่วยงานวิจัยในครั้งนี้

ผศ.ดร. อนุกร ภู่เรืองรัตน์

บทคัดย่อ

ในงานวิจัยนี้ทำการศึกษาการสังเคราะห์โลหะโมลิบเดตและโลหะทังสเตทโครงสร้างนาโนเพื่อประยุกต์ใช้เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสง โดยศึกษาผลของอุณหภูมิในการทำปฏิกิริยา ระยะเวลาและ pH ต่อโครงสร้าง สัณฐานวิทยาและสมบัติตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสงที่เตรียมโดยวิธีไฮโดรเทอรมอล ซึ่งสารที่สังเคราะห์ได้ถูกหาลักษณะเฉพาะด้วยเครื่องมือต่าง ๆ เช่น เครื่อง X-ray diffraction (XRD) เครื่อง Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR) เครื่อง Raman spectroscopy การหาพื้นที่ผิวของ BET เครื่อง scanning electron microscopy (SEM) และ เครื่อง transmission electron microscope นอกจากนี้สมบัติตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสงของโลหะโมลิบเดตและโลหะทังสเตทถูกประเมินโดยการย่อยสลายสีย้อมภายใต้แสงที่มองเห็นได้

Abstract

In this research was studied the effects of reaction temperature, reaction time and pH on phase, morphologies and photocatalytic properties of metal molybdate and metal tungstate by hydrothermal method. The as-synthesized products were characterized by X-ray diffraction (XRD), Fourier transform infrared spectroscopy (FTIR), Raman spectroscopy, BET surface area, scanning electron microscopy (SEM) and transmission electron microscope. The photocatalytic properties of metal molybdate and metal tungstate were evaluated by degradation of dry under visible radiation.

สารบัญ

หน้าที่

กิตติกรรมประกาศ ก

บทคัดย่อ ข

Abstract ค

สารบัญ ง

สารบัญรูป ซ

สารบัญตาราง ฎ

สารบัญแผนภาพ ฏ

สัญลักษณ์และอักษรย่อ ฐ

บทที่ 1บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย 1

1.2 ทฤษฎี สมมุติฐานและกรอบแนวความคิดของโครงการวิจัย 2

1.3 การทบทวนวรรณกรรม/สารสนเทศ (information) ที่เกี่ยวข้อง 3

1.4 การสืบค้นจากฐานข้อมูลสิทธิบัตร 9

1.5 เอกสารอ้างอิง 9

บทที่ 2 ผลของ pH ของสารละลาย อุณหภูมิทำปฏิกิริยาและเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อโครงสร้างผลึก สัณฐานวิทยาและสมบัติตัวเร่งปฏิกิริยาทางของบิสมัทโมลิบเดตที่เตรียมโดยโดยวิธีไฮโดรเทอร์มอล

2.1 ผลของ pH ของสารละลายต่อโครงสร้างผลึก สัณฐานวิทยาและสมบัติตัวเร่งปฏิกิริยาทางของบิสมัทโมลิบเดตโดยวิธีไฮโดรเทอร์มอล 11

2.1.1 วิธีการทดลอง 11

2.1.1.1 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสงบิสมัทโมลิบเดต 11

2.1.1.2 การทดลองตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสงบิสมัทโมบิสเดต 12

2.1.2 ผลการทดลองและอภิปราย 12

2.1.2.1 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction : XRD) 12

2.1.2.2 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopy : SEM) 15

2.1.2.3 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscopy : TEM) 17

2.1.2.4 การตรวจสอบหาชนิดและโครงสร้างของสารประกอบด้วย (Fourier Transform Infrared Spectroscopy : FTIR) 18

2.1.2.5 การวิเคราะห์ด้วยรามานสเปกโทรสโคปี (Raman Spectroscopy) 19

หน้าที่

2.1.2.6 กิจกรรมตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสง 20
2.1.3 สรุปผลการทดลอง 22
2.1.4 เอกสารอ้างอิง 22
2.2 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการสังเคราะห์ต่อโครงสร้างผลึก สัณฐานวิทยาและสมบัติตัวเร่งปฏิกิริยาทางของบิสมัทโมลิบเดตโดยวิธีไฮโดรเทอร์มอล 23
2.2.1 วิธีการทดลอง 23
2.2.1.1 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสงบิสมัทโมลิบเดต 23
2.2.1.2 การทดลองตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสงบิสมัทโมดิบเดต 24
2.2.2 ผลการทดลองและอภิปราย 25
2.2.2.1 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction : XRD) 25
2.2.2.2 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopy : SEM) 30
2.2.2.3 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscopy : TEM) 33
2.2.2.4 การตรวจสอบหาชนิดและโครงสร้างของสารประกอบด้วย (Fourier Transform Infrared Spectroscopy : FTIR) 36
2.2.2.5 การวิเคราะห์ด้วยรามานสเปกโทรสโคปี (Raman Spectroscopy) 40
2.2.2.6 กิจกรรมตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสง 42
2.2.3 สรุปผลการทดลอง 44
2.2.4 เอกสารอ้างอิง 45

บทที่ 3 ผลของ pH ของสารละลาย อุณหภูมิทำปฏิกิริยาและเวลาในการทำปฏิกิริยาต่อโครงสร้างผลึก สัณฐานวิทยาและสมบัติตัวเร่งปฏิกิริยาทางของบิสมัททังสเตตที่เตรียมโดยโดยวิธีไฮโดรเทอร์มอล
3.1 ผลของ pH ต่อโครงสร้างผลึก สัณฐานวิทยาและสมบัติตัวเร่งปฏิกิริยาทางของบิสมัททังสเตตโดยวิธีไฮโดรเทอร์มอล 46
3.1.1 วิธีการทดลอง 46
3.1.1.1 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสงบิสมัททังสเตต 46
3.1.1.2 การทดลองตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสงบิสมัททังสเตต 47
3.1.2 ผลการทดลองและอภิปราย 47
3.1.2.1 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction : XRD) 47

หน้าที่

3.1.2.2 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopy : SEM) 51

3.1.2.3 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscopy : TEM) 53

3.1.2.4 การตรวจสอบหาชนิดและโครงสร้างของสารประกอบด้วย (Fourier Transform Infrared Spectroscopy : FTIR) 56

3.1.2.5 การวิเคราะห์ด้วยรามานสเปกโทรสโคปี (Raman Spectroscopy) 57

3.1.2.6 กิจกรรมตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสง 59

3.1.3 สรุปผลการทดลอง 60

3.1.4 เอกสารอ้างอิง 60

3.2 ผลของอุณหภูมิและเวลาในการสังเคราะห์ต่อโครงสร้างผลึก สัณฐานวิทยาและสมบัติตัวเร่งปฏิกิริยาทางของบิสมัททังสเตตโดยวิธีไฮโดรเทอร์มอล

3.2.1 วิธีการทดลอง 62

3.2.1.1 การเตรียมตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสงบิสมัททังสเตต 62

3.2.1.2 การทดลองตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสงบิสมัททังสเตต 62

3.2.2 ผลการทดลองและอภิปราย 63

3.2.2.1 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray Diffraction : XRD) 63

3.2.2.2 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยเทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning electron microscopy : SEM) 65

3.2.2.3 การวิเคราะห์สัณฐานวิทยาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission electron microscopy : TEM) 65

3.2.2.4 การตรวจสอบหาชนิดและโครงสร้างของสารประกอบด้วย (Fourier Transform Infrared Spectroscopy : FTIR) 67

3.2.2.5 การวิเคราะห์ด้วยรามานสเปกโทรสโคปี (Raman Spectroscopy) 67

3.2.2.6 กิจกรรมตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสง 68

3.2.3 สรุปผลการทดลอง 69

3.2.4 เอกสารอ้างอิง 70

บทที่ 4 สรุปผลงานวิจัย

4.1 สรุปผลงานวิจัย 72

4.2 ผลสัมฤทธิ์โครงการวิจัย 72

4.2.1 ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ 72

หน้าที่

4.2.2 ผลงานนำเสนอในที่ประชุมวิชาการระดับนานาชาติ 73

สารบัญรูป

รูป		หน้าที่
1.1	หลักการการทำงานของปฏิกิริยาโฟโตแคตาไลซิส	2
1.2	การย่อยสลายของ RhB ภายใต้แสงยูวี (λ = 365 นาโนเมตร)	4
1.3	ภาพประกอบเป็นแผนผังของการสร้างไมโครส $ZnMoO_4$ กลวง	5
1.4	กลไกของการย่อยสลายฟีนอลโดย Bi_2WO_6 ที่เจือด้วย Er^{3+} ไอออน	7
2.1	การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของสารผลิตภัณฑ์ (a) สารผลิตภัณฑ์ pH 2 (b) สารผลิตภัณฑ์ pH 4 (c) สารผลิตภัณฑ์ pH 6 (d) สารผลิตภัณฑ์ pH 8 (e) สารผลิตภัณฑ์ pH 10 และ (f) สารผลิตภัณฑ์ pH 12	14
2.2	ภาพ SEM ของสารผลิตภัณฑ์ โดยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล	16
2.3	ภาพ TEM ของสารผลิตภัณฑ์ Bi_2MoO_6 ที่ pH 4 ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล (a) ที่กำลังขยาย 50,000เท่า, (b) ที่กำลังขยาย 120,000 เท่า และ (c) รูปแบบการเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอนในบริเวณที่ถูกเลือก (SAED pattern) ของรูป (b)	17
2.4	ภาพ TEM ของสารผลิตภัณฑ์ Bi_2MoO_6 ที่ pH 6 ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล (a) ที่กำลังขยาย 40,000เท่า, (b) ที่กำลังขยาย 80,000 เท่า และ (c) รูปแบบการเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอนในบริเวณที่ถูกเลือก (SAED pattern) ของรูป (b)	17
2.5	สเปกตรัมของ FT-IR ของสารผลิตภัณฑ์ที่ pH 4 และpH 6	18
2.6	สเปกตรัม Raman ของผง Bi_2MoO_6 โดยการสังเคราะห์วิธีไฮโดรเทอร์มอลที่ 180 องศาเซลเซียส 20 ชั่วโมง	19
2.7	กราฟการดูดกลืนแสง UV-Visible ของสารละลาย RhB ที่ผ่านการฉายแสง Xe เมื่อเวลา 0-180 นาที โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา Bi2MoO6 ที่ (a) pH 4 และ (b) pH 6	20
2.8	ประสิทธิภาพการเสื่อมสลายของของสารละลาย RhB ที่ผ่านการฉายแสง Xe เมื่อเวลา 0-180 นาที โดยไม่มีและมีตัวเร่งปฏิกิริยา Bi_2MoO_6	21
2.9	การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของสารผลิตภัณฑ์ โดยเตรียมที่ pH 6 (a) 100 ºC (b) 120 ºC (c) 140 ºC (d) 160 ºC และ (e) 180 ºC เป็นเวลา 20 ชั่วโมง	26
2.10	การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของสารผลิตภัณฑ์ โดยเตรียมที่ pH 6 (a) 0 ชั่วโมง (b) 5 ชั่วโมง (c) 10 ชั่วโมง และ (d) 15 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 180 ºC	29
2.11	ภาพ SEM ของผลิตภัณฑ์ ด้วยกระบวนการไฮโดเทอร์มอล โดยเตรียมที่ pH 6 (a) 100 ºC (b) 120 ºC (c) 140 ºC (d) 160 ºC และ (e) 180 ºC เป็นเวลา 20 ชั่วโมง	31
2.12	ภาพ SEM ของผลิตภัณฑ์ ด้วยกระบวนการไฮโดเทอร์มอล โดยเตรียมที่ pH 6 (a) 0 ชั่วโมง (b) 5 ชั่วโมง (c) 10 ชั่วโมง และ (d) 15 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 180 ºC	32
2.13	ภาพ TEM ของสารผลิตภัณฑ์ Bi_2MoO_6 ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล โดยเตรียมที่ pH 6 (a) 120 ºC (b) 140 ºC (c) 160 ºC และ (d) 180 ºC เป็นเวลา 20 ชั่วโมง	39

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป		หน้าที่
2.14	ภาพ TEM ของสารผลิตภัณฑ์ Bi_2MoO_6 ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล โดยเตรียมที่ pH 6 (a) 5 ชั่วโมง (b) 10 ชั่วโมง (c) 15 ชั่วโมง และ (d) 20 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 180 ºC	36
2.15	สเปกตรัมของ FT-IR ของสารผลิตภัณฑ์ Bi_2MoO_6 ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล โดยเตรียมที่ pH 6 (a) 100 ºC (b) 120 ºC (c) 140 ºC (d) 160 ºC และ (e) 180 ºC เป็นเวลา 20 ชั่วโมง	37
2.16	สเปกตรัมของ FT-IR ของสารผลิตภัณฑ์ Bi_2MoO_6 โดยเตรียมที่ pH 6 (a) 0 ชั่วโมง (b) 5 ชั่วโมง (c) 10 ชั่วโมง และ (d) 15 ชั่วโมง และ (e) 20 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 180 ºC	38
2.17	กราฟผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Raman Spectroscopy ของผง Bi_2MoO_6 ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล โดยเตรียมที่ pH 6 (a) 120 ºC (b) 140 ºC (c) 160 ºC และ (d) 180 ºC เป็นเวลา 20 ชั่วโมง	40
2.18	กราฟผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Raman Spectroscopy ของผง Bi_2MoO_6 ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล โดยเตรียมที่ pH 6 (a) 5 ชั่วโมง (b) 10 ชั่วโมง (c) 15 ชั่วโมง และ (d) 20 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 180 ºC	41
2.19	สเปกตรัมการดูดกลืนแสงของสารละลาย RhB เมื่อเติมตัวเร่งปฏิกิริยา Bi_2MoO_6 และฉายแสงที่มองเห็นได้	42
2.20	ปฏิกิริยา de-ethylation ของสารละลาย RhB	43
2.21	กราฟการดูดกลืนแสง UV-Visible ของสารละลาย RhB ที่ผ่านการฉายแสง Xe เมื่อเวลา 0-180 นาที โดยมีตัวเร่งปฏิกิริยา Bi_2MoO_6 ที่อุณหภูมิและเวลาในการสังเคราะห์ต่าง ๆ	43
3.1	การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของสารผลิตภัณฑ์ที่ pH (a) 2, (b) 4, (c) 6, (d) 8, (e) 10 และ (f) 12 ตามลำดับ	48
3.2	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของสารผลิตภัณฑ์โดยสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 180°C เป็นเวลา 20 ชั่วโมง ที่ pH 2, 4, 6, 8 และ 10 ตามลำดับ	52
3.3	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของสารผลิตภัณฑ์ที่สังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 180 °C เป็นเวลา 20 ชั่วโมง และแสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของอิเล็กตรอนจากบริเวณที่เลือกไว้ (SAED pattern)	55
3.5	กราฟผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค FT-IR ของสารผลิตภัณฑ์ที่เตรียมด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล โดยสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 180 °C เป็นเวลา 20 ชั่วโมง	57

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป		หน้าที่
3.6	กราฟผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Raman ของสารผลิตภัณฑ์ที่เตรียมด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล โดยสังเคราะห์ที่อุณหภูมิ 180 °C เป็นเวลา 20 ชั่วโมง	58
3.7	(a) ประสิทธิภาพการเสื่อมสลายและ (b) อัตราคงที่การเสื่อมสลายของสาระลาย RhB ที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Bi_2WO_6 nanoplates ภายใต้การฉายแสงจากหลอดไฟ Xe	59
3.8	การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของสารผลิตภัณฑ์ Bi_2WO_6 (a) ที่อุณหภูมิ 100-200 °C เป็นเวลา 20 ชั่วโมง (b) อุณหภูมิ 180 °C เป็นเวลา 0-20 ชั่วโมง	64
3.9	ภาพ SEM ของสารผลิตภัณฑ์ Bi_2WO_6 โดยกระบวนการไฮรโดเทอร์มอล ที่อุณหภูมิ 180 °C เป็นเวลา (a-b) 15 และ (c-d) 20 ชั่วโมง	65
3.10	ภาพ TEM และ SAED ของสารผลิตภัณฑ์ Bi_2WO_6 โดยกระบวนการไฮโดรเทอร์มอล ที่อุณหภูมิ 180 °C เป็นเวลา (a) 15 และ (b-d) 20 ชั่วโมง	66
3.11	สเปกตรัมของ FT-IR ของสารผลิตภัณฑ์ที่ Bi_2WO_6	67
3.12	กราฟผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิค Raman spectra ของผง Bi_2WO_6	67
3.13	การดูดกลืนแสงของสารละลาย RhB ที่มีตัวเร่งปฏิกิริยาทางแสงของ Bi_2WO_6 ที่สังเคราะห์โดยวิธีไฮโดรเทอร์มอลที่อุณหภูมิ 180 °C เป็นเวลา 20 ชั่วโมง	68
3.14	ประสิทธิภาพการเสื่อมสลาย RhB ที่ใช้ตัวเร่งปฏิกิริยา Bi_2WO_6 เมื่อฉายแสงที่มองเห็นได้ในเวลา 100 นาที	69

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้าที่
2.1	ค่าคงที่ของยูนิตเซลล์ของ Bi_2MoO_6 ที่ pH 4	13
2.2	ค่าคงที่ของยูนิตเซลล์ของ Bi_2MoO_6 ที่ pH 6	13
2.3	การดูดกลืนและรูปแบบการสั่นของ Bi_2MoO_6	19
2.4	เลขคลื่นและรูปแบบการสั่นของ Bi_2MoO_6[7]	20
2.5	ค่าคงที่ยูนิตเซลล์ของ Bi_2MoO_6 ที่ 100 ºC เป็นเวลา 20 ชั่วโมง	26
2.6	ค่าคงที่ยูนิตเซลล์ของ Bi_2MoO_6 ที่ 120 ºC เป็นเวลา 20 ชั่วโมง	27
2.7	ค่าคงที่ยูนิตเซลล์ของ Bi_2MoO_6 ที่ 140 ºC เป็นเวลา 20 ชั่วโมง	27
2.8	ค่าคงที่ยูนิตเซลล์ของ Bi_2MoO_6 ที่ 160 ºC เป็นเวลา 20 ชั่วโมง	27
2.9	ค่าคงที่ยูนิตเซลล์ของ Bi_2MoO_6 ที่ 180 ºC เป็นเวลา 20 ชั่วโมง	28
2.10	ค่าคงที่ยูนิตเซลล์ของ Bi_2MoO_6 ที่ 180 ºC เป็นเวลา 5 ชั่วโมง	29
2.11	ค่าคงที่ยูนิตเซลล์ของ Bi_2MoO_6 ที่ 180 ºC เป็นเวลา 10 ชั่วโมง	30
2.12	ค่าคงที่ยูนิตเซลล์ของ Bi_2MoO_6 ที่ 180 ºC เป็นเวลา 15 ชั่วโมง	30
2.13	ค่าคงที่ยูนิตเซลล์ของ Bi_2MoO_6 ที่ 180 ºC เป็นเวลา 20 ชั่วโมง	30
2.14	การดูดกลืน และรูปแบบการสั่นของ Bi_2MoO_6 pH6 เป็นเวลา 20 ชั่วโมง	39
2.15	การดูดกลืนและรูปแบบการสั่นของ Bi_2MoO_6 pH6 ที่อุณหภูมิ 180 ºC	39
2.16	การดูดกลืนและรูปแบบการสั่นของ Bi_2MoO_6 ที่ pH 6 ที่เวลา 20 ชั่วโมง	41
2.17	การดูดกลืนและรูปแบบการสั่นของ Bi_2MoO_6 ที่ pH 6 ที่อุณหภูมิ 180 ºC	42
3.1	ค่าคงที่ยูนิตเซลล์ของ Bi_2WO_6 ที่ pH 2	49
3.2	ค่าคงที่ยูนิตเซลล์ของ Bi_2WO_6 ที่ pH 4	49
3.3	ค่าคงที่ยูนิตเซลล์ของ Bi_2WO_6 ที่ pH 6	50
3.4	ค่าคงที่ยูนิตเซลล์ของ Bi_2WO_6 ที่ pH 8	50
3.5	ค่าคงที่ยูนิตเซลล์ของ Bi_2WO_6 ที่ pH 10	50
3.6	ผลการวิเคราะห์พื้นที่ผิวของ Bi_2WO_6 ที่อุณหภูมิ 180 °C เป็นเวลา 20 ชั่วโมง	53
3.7	เลขคลื่นและรูปแบบการสั่นของ Bi_2WO_6 ที่ 180 °C เป็นเวลา 20 ชั่วโมง	59
3.8	ค่าคงที่ของยูนิตเซลล์ของ Bi_2WO_6 ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอลที่อุณหภูมิ 200 °C เป็นเวลา 15 ชั่วโมง	64
3.9	ค่าคงที่ของยูนิตเซลล์ของ Bi_2WO_6 ที่สังเคราะห์ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอลที่อุณหภูมิ 200 °C เป็นเวลา 20 ชั่วโมง	64

สารบัญแผนภาพ

แผนภาพ		หน้าที่
2.1	การเตรียมโครงสร้างนาโน Bi_2MoO_6 ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล ณ pH ต่าง ๆ	11
2.2	การเตรียมโครงสร้างนาโน Bi_2MoO_6 ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล	24
3.1	การเตรียมโครงสร้างนาโน Bi_2WO_6 ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล ณ pH ต่าง ๆ	46
3.2	การเตรียมโครงสร้างนาโน Bi_2WO_6 ด้วยวิธีไฮโดรเทอร์มอล	62

สัญลักษณ์และอักษรย่อ

XRD	=	X-ray diffraction
SEM	=	Scanning electron microscope
TEM	=	Transmission electron microscopy
HRTEM	=	High resolution transmission electron microscopy
SAED	=	Selected area electron diffraction
^{o}C	=	องศาเซลเซียส
nm	=	Nanometer
ml	=	มิลลิลิตร