สารบาญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ ง

บทคัดย่อภาษาไทย จ

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ฉ

สารบาญตาราง ฎ

สารบาญภาพ ฏ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 รุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง - 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา 3

1.3 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการศึกษา เชิงทฤษฎีและ/หรือเชิงประยุกต์ 3

บทที่ 2 ทฤษฎี 4

2.1 วิทยาศาสตร์นาโนและนาโนเทคโนโลยี 4

2.2 ลักษณะโครงสร้างทางกายภาพของวัสดุนาโน 4

2.2.1 บัลค์ (Bulk) 5

2.2.2 ควอนตัมเวลล์ (Quantum well) 5

2.2.3 ควอนตัมไวร์ (Quantum wire) 5

2.2.4 ควอนตัมดอท (Quantum dot) 6

2.3 สารกึ่งตัวนำ 6

2.3.1 การเจือสาร 7

2.4 ข้อมูลเบื้องต้นของซิงก์ออกไซด์ 7

2.4.1 โครงสร้างผลึกของซิงก์ออกไซด์ 7

2.4.2 ข้อเปรียบเทียบระหว่างซิงก์ออกไซด์กับนาโนซิงก์ออกไซด์ 8

2.5 ข้อมูลเบื้องต้นของท่อนาโนคาร์บอน 9

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.5.1 โครงสร้างและสมบัติพื้นฐานของท่อนาโนคาร์บอน (Carbon nanotubes) 9
2.6 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนโดยวิธีการสปาร์ก 11
2.7 สมบัติการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง (Photocatalytic property) 13
2.7.1 หลักการของการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง 13
2.7.2 ชนิดของการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง 13
2.7.3 ชนิดของตัวเร่งปฏิกิริยา 14
2.7.4 กระบวนการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง 14
2.8 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) 16
2.8.1 ส่วนประกอบของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด 16
2.8.2 หลักการทำงานของของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด 19
2.9 เครื่องวิเคราะห์ผิววัสดุ (X-ray Photoelectron Spectroscopy, XPS) 19
2.9.1 หลักการของเครื่องวิเคราะห์ผิววัสดุ 20
2.9.2 ส่วนประกอบหลักของเครื่องวิเคราะห์ผิววัสดุ 21
2.9.3 สเปกตรัม XPS และการวิเคราะห์ 22
2.10 เครื่อง UV-Visible Spectroscopy 24
2.10.1 หลักการของเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer 24
2.10.2 ส่วนประกอบของเครื่อง UV-VIS Spectrophotometer 26

บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ วิธีการทดลอง 27

3.1 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน 28
3.1.1 วัสดุ สารเคมี ที่ใช้ในการเตรียมชิ้นงานและในการทดลอง 28
3.2 ขั้นตอนการสังเคราะห์ชิ้นงาน 32
3.2.1 การสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ 32
3.2.2 การผสมอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์กับท่อนาโนคาร์บอน
ชนิดผนังหลายชั้น 32
3.2.3 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงาน 33
3.2.4 ขั้นตอนการขึ้นรูปชิ้นงาน 33
3.2.5 ขั้นตอนการอบชิ้นงาน 33

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.3 ขั้นตอนการตรวจสอบชิ้นงาน 34
3.3.1 การตรวจสอบสัณฐานวิทยาโดยใช้เครื่องกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) 34
3.3.2 การตรวจสอบพันธะของสารประกอบโดยใช้เครื่องวิเคราะห์ผิววัสดุ (X-ray Photoelectron Spectroscopy, XPS) 35
3.3.3 การตรวจสอบสมบัติเชิงแสงโดยใช้เครื่อง UV-Visible Spectroscopy 35
3.3.4 การตรวจสอบสมบัติการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสงโดยใช้เครื่อง UV-Visible Spectroscopy 36

บทที่ 4 ผลการทดลอง และการวิเคราะห์ผลการทดลอง 37

4.1 ผลการตรวจสอบปริมาณอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์จากวิธีการสปาร์ก 37
4.2 ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) 38
4.3 ผลการวิเคราะห์พันธะของชิ้นงานด้วยเครื่องวิเคราะห์ผิววัสดุ (X-ray Photoelectron Spectroscopy, XPS) 45
4.4 ผลการวิเคราะห์ด้วยเครื่อง UV-Visible Spectroscopy 49
4.5 ผลการวิเคราะห์สมบัติการเร่งปฏิกิริยาเชิงแสง 52
4.5.1 ผลการวิเคราะห์การย่อยสลายของเมทิลีนบลู จากกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงภายใต้แสงยูวีของชิ้นงาน ที่เวลาต่างๆ 52
4.5.2 ผลการวิเคราะห์อัตราการย่อยสลายของเมทิลีนบลูจากกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงภายใต้แสงยูวีของชิ้นงานที่ถูกอบ ณ อุณหภูมิต่างๆ ภายใต้บรรยากาศของอาร์กอน 54

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 58

5.1 สรุปผลการทดลอง 58
5.2 ข้อเสนอแนะ 59

บรรณานุกรม 60

ภาคผนวก 65

ภาคผนวก ก 65

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ข 80

ประวัติผู้เขียน 85

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3.1 วัสดุที่ใช้ในการเตรียมชิ้นงาน 28
ตารางที่ 3.2 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง 31

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบาญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1	โครงสร้างของวัสดุจากแนวคิดปรากฏการณ์การกักกันทางควอนตัม (quantum confinement effect) (a) บัลค์ (b) ควอนตัมเวลล์ (c) ควอนตัมไวร์ (d) ควอนตัมดอท	5
ภาพที่ 2.2	ลักษณะของแถบช่องว่างพลังงานของวัสดุ (a) โลหะ (b) สารกึ่งโลหะ (c) ฉนวน	6
ภาพที่ 2.3	ลักษณะโครงสร้างของซิงก์ออกไซด์	7
ภาพที่ 2.4	ลักษณะโครงสร้างของท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังชั้นเดียวและผนังหลายชั้น	9
ภาพที่ 2.5	ลักษณะการจัดเรียงตัวของอะตอมคาร์บอนบนท่อนาโนคาร์บอน (a) Armchair structure (b) Zig-zag structure (d) Chiral structure	10
ภาพที่ 2.6	รูปแบบการจัดเรียงตัวของอะตอมคาร์บอนบนท่อนาโนคาร์บอน	10
ภาพที่ 2.7	แสดงหลักการทำงานของกระบวนการสปาร์ก เพื่อสังเคราะห์อนุภาคนาโน (a) การสังเคราะห์อนุภาคนาโนของโลหะออกไซด์เพื่อเตรียมเป็นฟิล์มบาง ขนาดนาโน (b) สังเคราะห์อนุภาคนาโนลงในสารละลาย	11
ภาพที่ 2.8	กลไกการหลุดของอนุภาคโลหะบริเวณปลายเส้นลวดของกระบวนการสปาร์ก	12
ภาพที่ 2.9	กลไกของการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงของสารกึ่งตัวนำซิงก์ออกไซด์	15
ภาพที่ 2.10	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)	16
ภาพที่ 2.11	ส่วนประกอบของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)	16
ภาพที่ 2.12	แผนผังหลักการทำงานของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	19
ภาพที่ 2.13	เครื่องวิเคราะห์ผิววัสดุ (X-ray Photoelectron Spectroscopy, XPS)	20
ภาพที่ 2.14	ส่วนประกอบหลักของเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาด้วยเทคนิค XPS	21
ภาพที่ 2.15	สเปกตรัม XPS ของคาร์บอน จาก spin-cast and sheet polyethylene terephthalate (PET)	22
ภาพที่ 2.16	เครื่อง UV-Visible Spectroscopy	24
ภาพที่ 2.17	แสดงการเปลี่ยนแปลงความเข้มของแสงเมื่อผ่านของเหลว	25

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 3.1 แผนผังแสดงวิธีการทดลองในการสังเคราะห์อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ เพื่อนำไปผสมกับท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น และขั้นตอนการตรวจสอบชิ้นงานตัวอย่าง 27
ภาพที่ 3.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) 34
ภาพที่ 3.3 เครื่องวิเคราะห์ผิววัสดุ (X-ray Photoelectron Spectroscopy, XPS) 35
ภาพที่ 3.4 เครื่อง UV-Visible Spectroscopy 35
ภาพที่ 3.5 ภาพแสดงลักษณะการวางตัวชิ้นงานในสารละลายเมทิลีนบลู ที่บรรจุในคิวเวทท์ 36
ภาพที่ 4.1 ผลการตรวจสอบหาปริมาณอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ขึ้นได้จากวิธีการสปาร์ก ณ เวลาต่างๆ 37
ภาพที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของชิ้นงานที่อบ ณ อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน ที่กำลังขยาย 10000 เท่า (a) อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ (ZnO), (b) อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 1 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/1), (c) อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 4 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/4), (d) อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 12 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/12) 38
ภาพที่ 4.3 ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของชิ้นงานที่อบ ณ อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน ที่กำลังขยาย 10000 เท่า (a) อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ (ZnO), (b) อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 1 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/1), (c) อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 4 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/4), (d) อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 12 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/12) 39

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของชิ้นงานที่อบ ณ อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน ที่กำลังขยาย 10000 เท่า (a) อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ (ZnO), (b) อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 1 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/1), (c) อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 4 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/4), (d) อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 12 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/12) 40

ภาพที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของชิ้นงานที่อบ ณ อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน ที่กำลังขยาย 50000 เท่า (a) อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ (ZnO), (b) อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 1 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/1), (c) อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 4 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/4), (d) อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 12 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/12) 41

ภาพที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของชิ้นงานที่อบ ณ อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน ที่กำลังขยาย 50000 เท่า (a) อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ (ZnO), (b) อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 1 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/1), (c) อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 4 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/4), (d) อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 12 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/12) 42

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของชิ้นงานที่อบ ณ อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน ที่กำลังขยาย 50000 เท่า (a) อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ (ZnO), (b) อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 1 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/1), (c) อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 4 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/4), (d) อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 12 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/12) 43

ภาพที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ชิ้นงานตัวอย่างด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ผิววัสดุ ของธาตุสังกะสี ในเงื่อนไข อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ (ZnO) ถูกอบที่ 400 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน 45

ภาพที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ชิ้นงานตัวอย่างด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ผิววัสดุ ของธาตุออกซิเจน ในเงื่อนไข อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ (ZnO) ถูกอบที่ 400 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน 46

ภาพที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ชิ้นงานตัวอย่างด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ผิววัสดุ ของธาตุสังกะสี ในเงื่อนไข อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 1 มิลลิกรัม(ZnO/MWCNTs 4/1) ถูกอบที่ 400 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน 47

ภาพที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ชิ้นงานตัวอย่างด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ผิววัสดุ ของธาตุออกซิเจน ในเงื่อนไข อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 1 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/1) ถูกอบที่ 400 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน 47

ภาพที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์ชิ้นงานตัวอย่างด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ผิววัสดุ ของธาตุคาร์บอน ในเงื่อนไข อนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 1 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/1) ถูกอบที่ 400 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน 48

ภาพที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์การดูดกลืนแสงของชิ้นงานตัวอย่างระหว่าง ซิงก์ออกไซด์ กับ ซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น ณ อุณหภูมิการอบ 400 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน 49

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์การดูดกลืนแสงของชิ้นงานตัวอย่างระหว่าง ซิงก์ออกไซด์ กับ ซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น ณ อุณหภูมิการอบ 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน 50
ภาพที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์การดูดกลืนแสงของชิ้นงานตัวอย่างระหว่าง ซิงก์ออกไซด์ กับ ซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น ณ อุณหภูมิการอบ 600 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน 50
ภาพที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์ค่าช่องว่างแถบพลังงานของชิ้นงานตัวอย่างซิงก์ออกไซด์ 51
ภาพที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์ค่าช่องว่างแถบพลังงานของชิ้นงานตัวอย่างซิงก์ออกไซด์ 51
ภาพที่ 4.18 ตัวแทนของผลการตรวจสอบการย่อยสลายของเมทิลีนบลูจากกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงภายใต้แสงยูวีของอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ที่ถูกอบ ณ อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของอาร์กอน ที่เวลาต่างๆ 52
ภาพที่ 4.19 ตัวแทนของผลการตรวจสอบการย่อยสลายของเมทิลีนบลูจากกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงภายใต้แสงยูวีของอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 1 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/1) ที่ถูกอบ ณ อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของอาร์กอน ที่เวลาต่างๆ 52
ภาพที่ 4.20 ตัวแทนของผลการตรวจสอบการย่อยสลายของเมทิลีนบลูจากกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงภายใต้แสงยูวีของอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 4 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/4) ที่ถูกอบ ณ อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของอาร์กอน ที่เวลาต่างๆ 53
ภาพที่ 4.21 ตัวแทนของผลการตรวจสอบการย่อยสลายของเมทิลีนบลูจากกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงภายใต้แสงยูวีของอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 12 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/12) ที่ถูกอบ ณ อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของอาร์กอน ที่เวลาต่างๆ 53
ภาพที่ 4.22 ตัวแทนของผลการวิเคราะห์อัตราการย่อยสลายของเมทิลีนบลูจากกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงภายใต้แสงยูวีของชิ้นงานที่ถูกอบ ณ อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของอาร์กอน 54
ภาพที่ 4.23 ตัวแทนของผลการวิเคราะห์อัตราการย่อยสลายของเมทิลีนบลูจากกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงภายใต้แสงยูวีของชิ้นงานที่ถูกอบ ณ อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสภายใต้บรรยากาศ ของอาร์กอน 55

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 4.24 ตัวแทนของผลการวิเคราะห์อัตราการย่อยสลายของเมทิลีนบลูจากกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงภายใต้แสงยูวีของชิ้นงานที่ถูกอบ ณ อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียสภายใต้บรรยากาศ ของอาร์กอน 56
ภาพที่ ก1 ผลการวิเคราะห์ชิ้นงานตัวอย่างด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ผิววัสดุ ของธาตุสังกะสีในเงื่อนไขอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ (ZnO) ถูกอบที่ 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน 65
ภาพที่ ก2 ผลการวิเคราะห์ชิ้นงานตัวอย่างด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ผิววัสดุ ของธาตุออกซิเจนในเงื่อนไขอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ (ZnO) ถูกอบที่ 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน 66
ภาพที่ ก3 ผลการวิเคราะห์ชิ้นงานตัวอย่างด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ผิววัสดุ ของธาตุสังกะสีในเงื่อนไขอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ (ZnO) ถูกอบที่ 600 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน 66
ภาพที่ ก4 ผลการวิเคราะห์ชิ้นงานตัวอย่างด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ผิววัสดุ ของธาตุออกซิเจนในเงื่อนไขอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ (ZnO) ถูกอบที่ 600 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน 67
ภาพที่ ก5 ผลการวิเคราะห์ชิ้นงานตัวอย่างด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ผิววัสดุ ของธาตุสังกะสีในเงื่อนไขอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 1 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/1) ถูกอบที่ 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน 67
ภาพที่ ก6 ผลการวิเคราะห์ชิ้นงานตัวอย่างด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ผิววัสดุ ของธาตุออกซิเจนในเงื่อนไขอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 1 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/1) ถูกอบที่ 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน 68
ภาพที่ ก7 ผลการวิเคราะห์ชิ้นงานตัวอย่างด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ผิววัสดุ ของธาตุคาร์บอนในเงื่อนไขอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 1 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/1) ถูกอบที่ 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน 68

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ ก8 ผลการวิเคราะห์ชิ้นงานตัวอย่างด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ผิววัสดุ ของธาตุสังกะสี ในเงื่อนไขอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 1 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/1) ถูกอบที่ 600 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน 69
ภาพที่ ก9 ผลการวิเคราะห์ชิ้นงานตัวอย่างด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ผิววัสดุ ของธาตุออกซิเจน ในเงื่อนไขอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 1 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/1) ถูกอบที่ 600 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน 69
ภาพที่ ก10 ผลการวิเคราะห์ชิ้นงานตัวอย่างด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ผิววัสดุ ของธาตุคาร์บอน ในเงื่อนไขอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 1 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/1) ถูกอบที่ 600 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน 70
ภาพที่ ก11 ผลการวิเคราะห์ชิ้นงานตัวอย่างด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ผิววัสดุ ของธาตุสังกะสี ในเงื่อนไขอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 4 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/4) ถูกอบที่ 400 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน 70
ภาพที่ ก12 ผลการวิเคราะห์ชิ้นงานตัวอย่างด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ผิววัสดุ ของธาตุออกซิเจน ในเงื่อนไขอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 4 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/4) ถูกอบที่ 400 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน 71
ภาพที่ ก13 ผลการวิเคราะห์ชิ้นงานตัวอย่างด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ผิววัสดุ ของธาตุคาร์บอน ในเงื่อนไขอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 4 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/4) ถูกอบที่ 400 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน 71
ภาพที่ ก14 ผลการวิเคราะห์ชิ้นงานตัวอย่างด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ผิววัสดุ ของธาตุสังกะสี ในเงื่อนไขอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 4 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/4) ถูกอบที่ 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน 72

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ ก15 ผลการวิเคราะห์ชิ้นงานตัวอย่างด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ผิววัสดุ ของธาตุออกซิเจน ในเงื่อนไขอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 4 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/4) ถูกอบที่ 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน 72
ภาพที่ ก16 ผลการวิเคราะห์ชิ้นงานตัวอย่างด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ผิววัสดุ ของธาตุคาร์บอน ในเงื่อนไขอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 4 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/4) ถูกอบที่ 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน 73
ภาพที่ ก17 ผลการวิเคราะห์ชิ้นงานตัวอย่างด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ผิววัสดุ ของธาตุสังกะสี ในเงื่อนไขอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 4 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/4) ถูกอบที่ 600 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน 73
ภาพที่ ก18 ผลการวิเคราะห์ชิ้นงานตัวอย่างด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ผิววัสดุ ของธาตุออกซิเจน ในเงื่อนไขอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 4 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/4) ถูกอบที่ 600 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน 74
ภาพที่ ก19 ผลการวิเคราะห์ชิ้นงานตัวอย่างด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ผิววัสดุ ของธาตุคาร์บอน ในเงื่อนไขอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 4 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/4) ถูกอบที่ 600 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน 74
ภาพที่ ก20 ผลการวิเคราะห์ชิ้นงานตัวอย่างด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ผิววัสดุ ของธาตุสังกะสี ในเงื่อนไขอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 12 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/12) ถูกอบที่ 400 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน 75
ภาพที่ ก21 ผลการวิเคราะห์ชิ้นงานตัวอย่างด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ผิววัสดุ ของธาตุออกซิเจน ในเงื่อนไขอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 12 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/12) ถูกอบที่ 400 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน 75

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ ก22 ผลการวิเคราะห์ชิ้นงานตัวอย่างด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ผิววัสดุ ของธาตุคาร์บอน ในเงื่อนไขอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 12 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/12) ถูกอบที่ 400 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน 76
ภาพที่ ก23 ผลการวิเคราะห์ชิ้นงานตัวอย่างด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ผิววัสดุ ของธาตุสังกะสี ในเงื่อนไขอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 12 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/12) ถูกอบที่ 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน 76
ภาพที่ ก24 ผลการวิเคราะห์ชิ้นงานตัวอย่างด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ผิววัสดุ ของธาตุออกซิเจน ในเงื่อนไขอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 12 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/12) ถูกอบที่ 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน 77
ภาพที่ ก25 ผลการวิเคราะห์ชิ้นงานตัวอย่างด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ผิววัสดุ ของธาตุคาร์บอน ในเงื่อนไขอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 12 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/12) ถูกอบที่ 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน 77
ภาพที่ ก26 ผลการวิเคราะห์ชิ้นงานตัวอย่างด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ผิววัสดุ ของธาตุสังกะสี ในเงื่อนไขอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 12 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/12) ถูกอบที่ 600 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน 78
ภาพที่ ก27 ผลการวิเคราะห์ชิ้นงานตัวอย่างด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ผิววัสดุ ของธาตุออกซิเจน ในเงื่อนไขอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 12 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/12) ถูกอบที่ 600 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน 78
ภาพที่ ก28 ผลการวิเคราะห์ชิ้นงานตัวอย่างด้วยเครื่องมือวิเคราะห์ผิววัสดุ ของธาตุคาร์บอน ในเงื่อนไขอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 12 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/12) ถูกอบที่ 600 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศอาร์กอน 79

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ ข1 ตัวแทนของผลการตรวจสอบการย่อยสลายของเมทิลีนบลูจากกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงภายใต้แสงยูวีของอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ที่ถูกอบ ณ อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของอาร์กอน ที่เวลาต่างๆ 80
ภาพที่ ข2 ตัวแทนของผลการตรวจสอบการย่อยสลายของเมทิลีนบลูจากกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงภายใต้แสงยูวีของอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 1 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/1) ที่ถูกอบ ณ อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของอาร์กอน ที่เวลาต่างๆ 81
ภาพที่ ข3 ตัวแทนของผลการตรวจสอบการย่อยสลายของเมทิลีนบลูจากกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงภายใต้แสงยูวีของอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 4 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/4) ที่ถูกอบ ณ อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของอาร์กอน ที่เวลาต่างๆ 81
ภาพที่ ข4 ตัวแทนของผลการตรวจสอบการย่อยสลายของเมทิลีนบลูจากกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงภายใต้แสงยูวีของอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 12 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/12) ที่ถูกอบ ณ อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของอาร์กอน ที่เวลาต่างๆ 82
ภาพที่ ข5 ตัวแทนของผลการตรวจสอบการย่อยสลายของเมทิลีนบลูจากกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงภายใต้แสงยูวีของอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์ ที่ถูกอบ ณ อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของอาร์กอน ที่เวลาต่างๆ 82.
ภาพที่ ข6 ตัวแทนของผลการตรวจสอบการย่อยสลายของเมทิลีนบลูจากกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงภายใต้แสงยูวีของอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 1 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/1) ที่ถูกอบ ณ อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของอาร์กอน ที่เวลาต่างๆ 83

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ ข7 ตัวแทนของผลการตรวจสอบการย่อยสลายของเมทิลีนบลูจากกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงภายใต้แสงยูวีของอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 4 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/4) ที่ถูกอบ ณ อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของอาร์กอนที่เวลาต่างๆ 83

ภาพที่ ข8 ตัวแทนของผลการตรวจสอบการย่อยสลายของเมทิลีนบลูจากกระบวนการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสงภายใต้แสงยูวีของอนุภาคนาโนซิงก์ออกไซด์/ท่อนาโนคาร์บอนชนิดผนังหลายชั้น 12 มิลลิกรัม (ZnO/MWCNTs 4/12) ที่ถูกอบ ณ อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของอาร์กอนที่เวลาต่างๆ 84

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved