สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ ก

บทคัดย่อ ข

Abstract ค

Executive summary ง

สารบัญ ช

สารบัญภาพ ญ

สารบัญตาราง ฌ

บทที่ 1 บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ 1

1.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 2

1.3 วัตถุประสงค์ 5

1.4 ระเบียบวิธีวิจัย 5

1.5 ขอบเขตของการวิจัย 8

บทที่ 2 ทฤษฎี

2.1 การจำแนกวัสดุนาโน 10

2.1.1 ระบบศูนย์มิติ 10

2.1.2 ระบบหนึ่งมิติ 10

2.1.3 ระบบสองมิติ 11

2.2 เทคโนโลยีการผลิตระดับนาโน 11

2.2.1 กระบวนการจากบนลงล่าง 12

2.2.2 กระบวนการจากล่างขึ้นบน 12

2.3 กระบวนการตกตะกอน 12

2.3.1 การเกิดนิวเคลียส 13

2.3.2 การโตของนิวเคลียส 18

บทที่ 3 สารเคมี อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 สารเคมี 20

3.2 วัสดุ อุปกรณ์และเครื่องมือ 20

3.3 วิธีการทดลอง 22

3.1.1 อิทธิพลของสารตกตะกอน 22

3.1.2 อิทธิพลของสารแคป 23

3.1.3 การทดสอบการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง 24

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 การหาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับเผาแคลไซน์ 25

4.2 สมบัติทางโครงสร้าง 26

4.2.1 กรณีใช้ $Zn(CH_3COO)_2.2H_2O$ เป็นสารตั้งต้น 26

4.2.2 กรณีใช้ $Zn(NO_3)_2.6H_2O$ เป็นสารตั้งต้น 32

4.2.3 กรณีใช้ $ZnCl_2$ เป็นสารตั้งต้น 37

4.3 อิทธิพลของสารแคปต่อสมบัติทางโครงสร้าง 43

4.3.1 อิทธิพลของความเข้มข้นของ CTAB 44

4.3.2 อิทธิพลของความเข้มข้นของ TOA 56

4.4. อิทธิพลของเวลาต่อสมบัติทางโครงสร้าง 65

4.4.1 กรณีที่ใช้ $Zn(CH_3COO_2)_2.2H_2O$ เป็นสารตั้งต้น 66

4.4.2 กรณีที่ใช้ $Zn(NO_3)_2.6H_2O$ เป็นสารตั้งต้น 71

4.4.3 กรณีที่ใช้ $ZnCl_2$ เป็นสารตั้งต้น 74

4.5 สมบัติทางแสง 78

4.5.1 การดูดกลืนแสง 78

4.5.2 การเปล่งแสง 91

4.6 สมบัติการเร่งปฏิกิริยาด้วยแสง 96

4..6.1 ผลของรูปร่างอนุภาค 96

4..6.2 ผลของขนาดอนุภาค 99

บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง 102

5.2 ข้อเสนอแนะ 103

เอกสารอ้างอิง 104

Output 107

ภาคผนวก 108

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 สัณฐานของอนุภาคสังกะสีออกไซด์ที่เจือด้วยอลูมิเนียมชนิด 0 มิติ 10
รูปที่ 2.2 แท่งนาโนของอนุภาคสังกะสีออกไซด์ ที่เจือด้วยอลูมิเนียม 11
รูปที่ 2.3 ฟิล์มบางนาโนสังกะสีออกไซด์ ที่เจือด้วยอลูมิเนียม 11
รูปที่ 2.4 การลดพลังงานอิสระของกิ๊บส์ทั้งหมดของสารละลายอิ่มตัวยวดยิ่ง
โดยการเกิดเฟสของแข็งและรักษาความเข้มข้นที่สมดุลของสารละลาย 13
รูปที่ 2.5 แสดงการเปลี่ยนแปลงพลังงานอิสระเชิงปริมาตร ($\Delta\mu_v$) พลังงานที่ผิว
($\Delta\mu_s$) และพลังงานอิสระทั้งหมด (ΔG) ที่เป็นฟังก์ชันกับรัศมีของนิวเคลียส 15
รูปที่ 2.6 การเกิดนิวเคลียสแบบวิวิธพันธ์ 16
รูปที่ 2.7 การเกิดนิวเคลียสและการโตของอนุภาค 18
รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเกิดนิวเคลียสและอัตราการโตของอนุภาคกับ
ความเข้มข้นของอนุมูลที่จะโต 19
รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการเตรียม ZnO จากสารตั้งต้น $Zn(CH_3COO)_2.2H_2O$
หรือ $Zn(NO_3)_2.6H_2O$ หรือ $ZnCl_2$ ด้วยตัวตกตะกอน NaOH หรือ HMTA หรือ NH_4OH 22
รูปที่ 3.2 แสดงขั้นตอนการเตรียม ZnO ที่สเตบิไลซ์ด้วย CTAB หรือ TOA
จากสารตั้งต้น $Zn(CH_3COO)_2.2H_2O$ หรือ $Zn(NO_3)_2.6H_2O$ หรือ $ZnCl_2$ ด้วยตัวตกตะกอน
NaOH หรือ HMTA หรือ NH_4OH 23
รูปที่ 4.1 กราฟ TGA แสดงผลการวิเคราะห์การสูญเสียน้ำหนักของสารตัวอย่าง 25
รูปที่ 4.2 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของอนุภาค ZnO ที่เตรียมจากสารละลาย
NaOH ปริมาณต่างๆ 26
รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะรูปร่างและขนาดของอนุภาค ZnO ที่เตรียมจากสารละลาย
NaOH ปริมาณ ที่แตกต่างกัน (a) 0.04 โมล (b) 0.08 โมล และ (c) 0.16 โมล 28
รูปที่ 4.4 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของอนุภาค ZnO ที่เตรียมจาก HMTA
ปริมาณต่างๆ 29
รูปที่ 4.5 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของอนุภาค ZnO ที่เตรียมจาก 25%NH_4OH
ปริมาณต่างๆ 31
รูปที่ 4.6 แสดงลักษณะรูปร่างและขนาดของอนุภาค ZnO ที่เตรียมจากสารละลาย
25%NH_4OH ปริมาณที่แตกต่างกัน (a) 0.04 โมล และ (b) 0.08 โมล 32
รูปที่ 4.7 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของอนุภาค ZnO ที่เตรียมจาก NaOH

ปริมาณต่างๆ 33
รูปที่ 4.8 แสดงลักษณะรูปร่างและขนาดของอนุภาค ZnO ที่เตรียมจากสารละลาย NaOH ปริมาณที่แตกต่างกัน (a) 0.04 โมล (b) 0.08 โมล และ (c) 0.16 โมล 34
รูปที่ 4.9 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของอนุภาค ZnO ที่เตรียมจาก HMTA ปริมาณต่างๆ 34
รูปที่ 4.10 แสดงลักษณะรูปร่างและขนาดของอนุภาค ZnO ที่เตรียมจากสารละลาย HMTA ปริมาณที่แตกต่างกัน (a) 0.04 โมล (b) 0.08 โมล และ (c) 0.16 โมล 35
รูปที่ 4.11 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของอนุภาค ZnO ที่เตรียมจาก 25%NH_4OH ปริมาณต่างๆ 36
รูปที่ 4.12 แสดงลักษณะรูปร่างและขนาดของอนุภาค ZnO ที่เตรียมจากสารละลาย 25%NH_4OH ปริมาณที่แตกต่างกัน (a) 0.04 โมล และ (b) 0.08 โมล 37
รูปที่ 4.13 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของอนุภาค ZnO ที่เตรียมจาก NaOH ปริมาณต่างๆ 38
รูปที่ 4.14 แสดงลักษณะรูปร่างและขนาดของอนุภาค ZnO ที่เตรียมจากสารละลาย NaOH ปริมาณที่แตกต่างกัน (a) 0.04 โมล (b) 0.08 โมล และ (c) 0.16 โมล 39
รูปที่ 4.15 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของอนุภาค ZnO ที่เตรียมจาก HMTA ปริมาณต่างๆ 40
รูปที่ 4.16 แสดงลักษณะรูปร่างและขนาดของอนุภาค ZnO ที่เตรียมจากสารละลาย HMTA ปริมาณที่แตกต่างกัน (a) 0.04 โมล (b) 0.08 โมล และ (c) 0.16 โมล 41
รูปที่ 4.17 แสดงลักษณะรูปร่างและขนาดของอนุภาค ZnO ที่เตรียมจากสารละลาย 25%NH_4OH ปริมาณต่างๆ 42
รูปที่ 4.18 แสดงลักษณะรูปร่างและขนาดของอนุภาค ZnO ที่เตรียมจากสารละลาย 25%NH_4OH ปริมาณที่แตกต่างกัน (a) 0.04 โมล และ (b) 0.08 โมล 43
รูปที่ 4.19 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของสารตัวอย่างเมื่อเตรียมจากเงื่อนไขที่มีการใช้ CTAB ในปริมาณที่ต่างกันและตกตะกอนด้วย (a) NaOH, (b) HMTA และ (c) NH_4OH 45
รูปที่ 4.20 แสดงลักษณะทางสัณฐานของอนุภาค ZnO ที่เตรียมจากสารตั้งต้น $Zn(CH_3COO)_2.2H_2O$ และตัวตกตะกอนที่แตกต่างกัน (a) NaOH, (b) HMTA และ (c) NH_4OH 48
รูปที่ 4.21 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของสารตัวอย่างเมื่อเตรียมจากเงื่อนไขที่มีการใช้ CTABในปริมาณที่ต่างกันและตกตะกอนด้วย (a) NaOH, (b) HMTA และ

(c) NH_4OH 50

รูปที่ 4.22 แสดงลักษณะทางสัณฐานของอนุภาค ZnO ที่เตรียมจากสารตั้งต้น $Zn(NO_3)_2.6H_2O$ และตัวตกตะกอนที่แตกต่างกัน (a) NaOH, (b) HMTA และ (c) NH_4OH 52

รูปที่ 4.23 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของสารตัวอย่างเมื่อเตรียมจากเงื่อนไขที่มีการใช้ CTAB ในปริมาณที่ต่างกันและตกตะกอนด้วย (a) NaOH, (b) HMTA และ (c) NH_4OH 54

รูปที่ 4.24 แสดงลักษณะทางสัณฐานของอนุภาค ZnO ที่เตรียมจากสารตั้งต้น $ZnCl_2$ และตัวตกตะกอนที่แตกต่างกัน (a) NaOH, (b) HMTA และ (c) NH_4OH 55

รูปที่ 4.25 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของสารตัวอย่างเมื่อเตรียมจากเงื่อนไขที่มีการใช้ TOA ในปริมาณที่ต่างกันและตกตะกอนด้วย (a) NaOH และ (b) NH_4OH 57

รูปที่ 4.26 แสดงลักษณะทางสัณฐานของอนุภาค ZnO ที่เตรียมจากสารตั้งต้น $Zn(CH_3COO)_2.2H_2O$ และตัวตกตะกอนที่แตกต่างกัน (a) NaOH และ (b) NH_4OH 59

รูปที่ 4.27 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของสารตัวอย่างเมื่อเตรียมจากเงื่อนไขที่มีการใช้ TOA ในปริมาณที่ต่างกันและตกตะกอนด้วย (a) NaOH และ (b) NH_4OH 60

รูปที่ 4.28 แสดงลักษณะทางสัณฐานของอนุภาค ZnO ที่เตรียมจากสารตั้งต้น $Zn(NO_3)_2.6H_2O$ และตัวตกตะกอนที่แตกต่างกัน (a) NaOH และ (b) NH_4OH 62

รูปที่ 4.29 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของสารตัวอย่างเมื่อเตรียมจากเงื่อนไขที่มีการใช้ TOA ในปริมาณที่ต่างกันและตกตะกอนด้วย (a) NaOH และ (b) NH_4OH 63

รูปที่ 4.30 แสดงลักษณะทางสัณฐานของอนุภาค ZnO ที่เตรียมจากสารตั้งต้น $ZnCl_2$ และตัวตกตะกอนที่แตกต่างกัน (a) NaOH และ (b) NH_4OH 65

รูปที่ 4.31 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของตัวอย่างที่เตรียมจากการใช้ $Zn(CH_3COO)_2.6H_2O$ เป็นสารตั้งต้นและใช้เวลาทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง เมื่อใช้ตัวตกตะกอนที่แตกต่างกัน (a) NaOH, (b) HMTA และ (c) NH_4OH 67

รูปที่ 4.32 แสดงลักษณะทางสัณฐานของอนุภาค ZnO ที่เตรียมจากสารตั้งต้น $Zn(CH_3COO)_2.2H_2O$ และใช้เวลาทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง ด้วยตัวตกตะกอนที่แตกต่างกัน (a) NaOH และ (b) HMTA และ (c) NH_4OH 69

รูปที่ 4.33 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของตัวอย่างที่เตรียมจากการใช้ $Zn(NO_3)_2.6H_2O$ เป็นสารตั้งต้นและใช้เวลาทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง เมื่อใช้ตัวตกตะกอนที่แตกต่างกัน (a) NaOH, (b) HMTA และ (c) NH_4OH 71

รูปที่ 4.34 แสดงลักษณะทางสัณฐานของอนุภาค ZnO ที่เตรียมจากสารตั้งต้น

$Zn(NO_3)_2.6H_2O$ และใช้เวลาทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง ด้วยตัวตกตะกอนที่แตกต่างกัน (a) NaOH และ (b) HMTA และ (c) NH_4OH 73

รูปที่ 4.35 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของตัวอย่างที่เตรียมจากการใช้ $ZnCl_2$ เป็นสารตั้งต้นและใช้เวลาทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง เมื่อใช้ตัวตกตะกอนที่แตกต่างกัน (a) NaOH, (b) HMTA และ (c) NH_4OH 75

รูปที่ 4.36 แสดงลักษณะทางสัณฐานของอนุภาค ZnO ที่เตรียมจากสารตั้งต้น $ZnCl_2$ และใช้เวลาทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง ด้วยตัวตกตะกอนที่แตกต่างกัน (a) NaOH และ (b) HMTA และ (c) NH_4OH 77

รูปที่ 4.37 แสดงสเปคตรัมการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง ZnO ที่เตรียมจากการใช้ $Zn(CH_3COO)_2.2H_2O$ เป็นสารตั้งต้น และใช้สารแคปปริมาณต่างๆ และตัวตกตะกอนชนิดต่างๆ (a) NaOH, (b) HMTA และ (c) NH_4OH 79

รูปที่ 4.38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $(\alpha E)^2$ กับ E ของตัวอย่าง ZnO ที่เตรียมจากการใช้ $Zn(CH_3COO)_2.2H_2O$ เป็นสารตั้งต้น และใช้สารแคปปริมาณต่างๆ และตัวตกตะกอนชนิดต่างๆ (a) NaOH, (b) HMTA และ (c) NH_4OH 81

รูปที่ 4.39 แสดงสเปคตรัมการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง ZnO ที่เตรียมจากการใช้ $Zn(NO_3)_2.6H_2O$ เป็นสารตั้งต้น และใช้สารแคปปริมาณต่างๆ และตัวตกตะกอนชนิดต่างๆ (a) NaOH, (b) HMTA และ (c) NH_4OH 83

รูปที่ 4.40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $(\alpha E)^2$ กับ E ของตัวอย่าง ZnO ที่เตรียมจากการใช้ $Zn(NO_3)_2.6H_2O$ เป็นสารตั้งต้น และใช้สารแคปปริมาณต่างๆ และตัวตกตะกอนชนิดต่างๆ (a) NaOH, (b) HMTA และ (c) NH_4OH 85

รูปที่ 4.41 แสดงสเปคตรัมการดูดกลืนแสงของตัวอย่าง ZnO ที่เตรียมจากการใช้ $ZnCl_2$ เป็นสารตั้งต้น และใช้สารแคปปริมาณต่างๆ และตัวตกตะกอนชนิดต่างๆ (a) NaOH, (b) HMTA และ (c) NH_4OH 87

รูปที่ 4.42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $(\alpha E)^2$ กับ E ของตัวอย่าง ZnO ที่เตรียมจากการใช้ $ZnCl_2$ เป็นสารตั้งต้น และใช้สารแคปปริมาณต่างๆ และตัวตกตะกอนชนิดต่างๆ (a) NaOH, (b) HMTA และ (c) NH_4OH 89

รูปที่ 4.43 สเปกตราการเปล่งแสงของตัวอย่าง ZnO ที่เตรียมจากการใช้ $Zn(CH_3COO)_2.2H_2O$ เป็นสารตั้งต้น และใช้สารแคปปริมาณต่างๆ และตัวตกตะกอนชนิดต่างๆ (a) NaOH, (b) HMTA และ (c) NH_4OH 92

รูปที่ 4.44 สเปกตราการเปล่งแสงของตัวอย่าง ZnO ที่เตรียมจากการใช้ $Zn(NO_3)_2.2H_2O$ เป็นสารตั้งต้น และใช้สารแคปปริมาณต่างๆ และตัวตกตะกอน

ชนิดต่างๆ (a) NaOH, (b) HMTA และ (c) NH_4OH 94

รูปที่ 4.45 สเปกตราการเปล่งแสงของตัวอย่าง ZnO ที่เตรียมจากการใช้ $ZnCl_2$ เป็นสารตั้งต้นและใช้สารแคปปริมาณต่างๆ และตัวตกตะกอนชนิดต่างๆ (a) NaOH, (b) HMTA และ (c) NH_4OH 95

รูปที่ 4.46 การดูดกลืนแสงเทียบกับเวลาของ ZnO ที่มีรูปร่างต่างๆ (a) รูปแท่ง และ (b) ทรงกลม 97

รูปที่ 4.47 ประสิทธิภาพของการสลายสีย้อมของอนุภาค ZnO ที่มีรูปร่างแบบต่างๆ 98

รูปที่ 4.47 การดูดกลืนแสงเทียบกับเวลาของ ZnO ที่มีขนาดต่างๆ (a) 46.41 nm, (b) 43.46 nm และ (c) 41.34 nm 100

รูปที่ 4.48 ประสิทธิภาพของการสลายสีย้อมของอนุภาค ZnO ที่มีรูปร่างแบบต่างๆ (a) 46.41 nm, (b) 43.46 nm และ (c) 41.34 nm 101

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1 แสดงขนาดผลึกเฉลี่ยและค่าคงที่แลตทิชของ ZnO ที่เตรียมจากการตกตะกอนด้วยสารละลาย NaOH ความเข้มข้นต่างๆ 28

ตารางที่ 4.2 แสดงขนาดผลึกเฉลี่ยและค่าคงที่แลตทิชของ ZnO ที่เตรียมจากการตกตะกอนด้วยสารละลาย HMTA ความเข้มข้นต่างๆ 30

ตารางที่ 4.3 แสดงขนาดผลึกเฉลี่ยและค่าคงที่แลตทิชของ ZnO ที่เตรียมจากการตกตะกอนด้วยสารละลาย NH_4OH ความเข้มข้นต่างๆ 31

ตารางที่ 4.4 แสดงขนาดผลึกเฉลี่ยและค่าคงที่แลตทิชของ ZnO ที่เตรียมจากการตกตะกอนด้วยสารละลาย NaOH ความเข้มข้นต่างๆ 33

ตารางที่ 4.5 แสดงขนาดผลึกเฉลี่ยและค่าคงที่แลตทิชของ ZnO ที่เตรียมจากการตกตะกอนด้วยสารละลาย HMTA ความเข้มข้นต่างๆ 35

ตารางที่ 4.6 แสดงขนาดผลึกเฉลี่ยและค่าคงที่แลตทิชของ ZnO ที่เตรียมจากการตกตะกอนด้วยสารละลาย NH_4OH ความเข้มข้นต่างๆ 37

ตารางที่ 4.7 แสดงขนาดผลึกเฉลี่ยและค่าคงที่แลตทิชของ ZnO ที่เตรียมจากการตกตะกอนด้วยสารละลาย NaOH ความเข้มข้นต่างๆ 39

ตารางที่ 4.8 แสดงขนาดผลึกเฉลี่ยและค่าคงที่แลตทิชของ ZnO ที่เตรียมจากการตกตะกอนด้วยสารละลาย HMTA ความเข้มข้นต่างๆ 40

ตารางที่ 4.9 แสดงขนาดผลึกเฉลี่ยและค่าคงที่แลตทิชของ ZnO ที่เตรียมจากการตกตะกอนด้วยสารละลาย NH_4OH ความเข้มข้นต่างๆ 42

ตารางที่ 4.10 แสดงขนาดผลึกเฉลี่ยและค่าคงที่แลตทิชของ ZnO ที่เตรียมจากสารตั้งต้น $Zn(CH_3COO)_2.2H_2O$ และตัวตกตะกอนที่แตกต่างกันจากเงื่อนไขที่มีการเติม CTAB 46

ตารางที่ 4.11 แสดงขนาดผลึกเฉลี่ยและค่าคงที่แลตทิชของ ZnO ที่เตรียมจากสารตั้งต้น $Zn(NO_3)_2.6H_2O$ และตัวตกตะกอนที่แตกต่างกันจากเงื่อนไขที่มีการเติม CTAB 51

ตารางที่ 4.12 แสดงขนาดผลึกเฉลี่ยและค่าคงที่แลตทิชของ ZnO ที่เตรียมจากสารตั้งต้น $ZnCl_2$ และตัวตกตะกอนที่แตกต่างกัน จากเงื่อนไขที่มีการเติม CTAB 54

ตารางที่ 4.13 แสดงขนาดผลึกเฉลี่ยและค่าคงที่แลตทิชของ ZnO ที่เตรียมจากสารตั้งต้น $Zn(CH_3COO)_2.2H_2O$ และตัวตกตะกอนที่แตกต่างกัน จากเงื่อนไข

ที่มีการเติม TOA 58
ตารางที่ 4.14 แสดงขนาดผลึกเฉลี่ยและค่าคงที่แลตทิชของ ZnO ที่เตรียมจาก
สารตั้งต้น $Zn(NO_3)_2.6H_2O$ และตัวตกตะกอนที่แตกต่างกัน จากเงื่อนไข
ที่มีการเติม TOA 61
ตารางที่ 4.15 แสดงขนาดผลึกเฉลี่ยและค่าคงที่แลตทิชของ ZnO ที่เตรียมจากสารตั้งต้น
$ZnCl_2$ และตัวตกตะกอนที่แตกต่างกัน จากเงื่อนไขที่มีการเติม TOA 64
ตารางที่ 4.16 แสดงขนาดผลึกเฉลี่ยและค่าคงที่แลตทิชของ ZnO ที่เตรียมจาก
สารตั้งต้น $Zn(CH_3COO)_2.2H_2O$ เมื่อใช้เวลาทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง และตัวตกตะกอน
ที่แตกต่างกัน 68
ตารางที่ 4.17 แสดงขนาดผลึกเฉลี่ยและค่าคงที่แลตทิชของ ZnO ที่เตรียมจาก
สารตั้งต้น $Zn(NO_3)_2.6H_2O$ เมื่อใช้เวลาทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง และตัวตกตะกอน
ที่แตกต่างกัน 72
ตารางที่ 4.18 แสดงขนาดผลึกเฉลี่ยและค่าคงที่แลตทิชของ ZnO ที่เตรียมจาก
สารตั้งต้น $ZnCl_2$ เมื่อใช้เวลาทำปฏิกิริยา 3 ชั่วโมง และตัวตกตะกอนที่แตกต่างกัน 76
ตารางที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดผลึกและช่องว่างพลังงานของ
สารตัวอย่าง ZnO ที่เตรียมจากการใช้ $Zn(CH_3COO)_2.2H_2O$ เป็นสารตั้งต้น และ
ใช้สารแคปปริมาณต่างๆ และตัวตกตะกอนชนิดต่างๆ 82
ตารางที่ 4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดผลึกและช่องว่างพลังงานของ
สารตัวอย่าง ZnO ที่เตรียมจากการใช้ $Zn(NO_3)_2.6H_2O$ เป็นสารตั้งต้น และ
ใช้สารแคปปริมาณต่างๆ และตัวตกตะกอนชนิดต่างๆ 86
ตารางที่ 4.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดผลึกและช่องว่างพลังงาน
ของสารตัวอย่าง ZnO ที่เตรียมจากการใช้ $ZnCl_2$ เป็นสารตั้งต้น และ
ใช้สารแคปปริมาณต่างๆ และตัวตกตะกอนชนิดต่างๆ 90
ตารางที่ 4.22 สมบัติเฉพาะตัวของตัวอย่าง ZnO ที่นำมาทดสอบ 96
ตารางที่ 4.23 สมบัติเฉพาะตัวของตัวอย่าง ZnO ที่นำมาทดสอบ 99