สารบัญ

บทที่ หน้า

1 บทนำ 1

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

จุดมุ่งหมายของการวิจัย 12

ขอบเขตของการวิจัย 12

สมมุติฐานของการวิจัย 13

2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 15

เซอร์โคเนียมออกไซด์ที่เจือด้วยไอออนบวกสองหรือสาม 15

ผลของการใช้สารตัวเติมหรือสารแรเอิร์ธที่แตกต่างกัน 20

ผลของการใช้สารตัวหลักที่แตกต่างกัน 22

ผลของการใช้สารคีเลตติ้งที่แตกต่างกัน 25

ผลของการใช้ซิงค์ออกไซด์เป็นสารตัวหลัก 31

3 วิธีดำเนินการวิจัย 35

การเตรียมสารตัวอย่างโดยใช้วิธีโซล-เจล 35

การเตรียมสารตัวอย่างโดยใช้วิธีโซลโวเทอร์มอล 37

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย 39

4 ผลการวิจัย 44

ผลของการเจืออิทเทรียมต่อสมบัติทางโครงสร้างผลึกและสมบัติการคายแสงของสารฟอสฟอร์ สังเคราะห์โดยใช้วิธีโซล-เจล 47

ผลของสารคีเลตติ้งต่อการเกิดผลึกของ $Zr:Y_7:Sm_{0.25}$ สังเคราะห์โดยใช้วิธีโซล-เจล 52

ผลของสารคีเลตติ้งต่อการเกิดผลึกของ $Zr:Y_4:Eu_3$ สังเคราะห์โดยใช้วิธีโซล-เจล 75

ผลของสารคีเลตติ้งต่อคุณสมบัติต่างๆ ของซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยซามาเรียมหรือยูโรเปียม สังเคราะห์ด้วยวิธีโซล-เจล 98

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ **หน้า**

ผลของสารคีเลตติ้งต่อคุณสมบัติต่างๆ ของเซอร์โคเนียมออกไซด์ที่เจือด้วย
อิทเทรียม และซามาเรียมหรือยูโรเปียม โดยการสังเคราะห์ด้วย
วิธีโซลโวเทอร์มอล 110

5 บทสรุป 123
การเจืออิทเทรียมต่อสมบัติทางโครงสร้างผลึกและสมบัติการคายแสงของสาร
ฟอสฟอร์สังเคราะห์โดยใช้วิธีโซล-เจล 123
ผลกระทบของสารคีเลตติ้งต่อคุณสมบัติต่างๆ ของสารฟอสฟอร์ $Zr:Y_7:Sm_{0.25}$
สังเคราะห์โดยวิธีโซล-เจล 123
ผลกระทบของสารคีเลตติ้งต่อคุณสมบัติต่างๆ ของ $Zr:Y_4:Eu_3$ สังเคราะห์โดย
วิธีโซล-เจล 124
ผลกระทบของสารคีเลตติ้งที่มีต่อคุณสมบัติต่างๆ ของซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วย
ซามาเรียมหรือยูโรเปียม สังเคราะห์ด้วยวิธีโซล-เจล 124
ผลกระทบของสารคีเลตติ้งที่มีต่อคุณสมบัติต่างๆ ของเซอร์โคเนียมออกไซด์ที่เจือ
อิทเทรียม และซามาเรียมหรือยูโรเปียม สังเคราะห์ด้วยวิธีโซลโวเทอร์มอล 125

บรรณานุกรม 126

ภาคผนวก 135

อภิธานศัพท์ 162

ประวัติผู้วิจัย 164

สารบัญตาราง

ตาราง **หน้า**

1 แสดงค่าการแตกตัวของสารคีเลตติ้ง **14**

2 แสดงขนาดผลึกของสารตัวอย่างเซอร์โคเนียมออกไซด์ที่ไม่มีการเจือ และมีการเจือด้วย อิทเทรียม 7 mol% และซามาเรียม 0.25 mol% ที่อุณหภูมิ 900°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 49

3 แสดงขนาดผลึกของ $Zr:Y_7:Sm_{0.25}$ เมื่อใช้สารคีเลตติ้งต่างกันที่อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ 400 – 900°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 57

4 แสดงขนาดผลึกของสาร $Zr:Y_4:Eu_3$ เมื่อใช้สารคีเลตติ้งต่างกัน และใช้อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ 400 - 800°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 80

5 แสดงขนาดผลึกของซิงค์ออกไซด์ที่ไม่ได้เติมสารเจือปน และซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยซามาเรียม 5 mol% เมื่อใช้สารคีเลตติ้งแตกต่างกัน 100

6 แสดงขนาดผลึกของซิงค์ออกไซด์ที่ถูกเจือด้วยซามาเรียม 1 - 5 mol% เมื่อใช้ EDTA เป็นสารคีเลตติ้ง ที่อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ 900°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 103

7 แสดงขนาดผลึกของซิงค์ออกไซด์และซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยยูโรเปียม 5 mol% เมื่อใช้สารคีเลตติ้งแตกต่างกัน ที่อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ 900°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 105

8 แสดงขนาดผลึกของซิงค์ออกไซด์ที่ถูกเจือด้วยยูโรเปียม 1 - 5 mol% เมื่อใช้ EDTA เป็นสารคีเลตติ้ง ที่อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ 900°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 109

9 แสดงขนาดผลึกของ $Zr:Y_7:Sm_{0.25}$ ที่อุณหภูมิ 200°C เมื่อใช้สารคีเลตติ้งที่แตกต่างกัน ... 113

10 แสดงขนาดผลึกของ $Zr:Y_4:Eu_3$ ที่อุณหภูมิ 200°C เมื่อใช้สารคีเลตติ้งชนิดต่างๆ 119

สารบัญภาพ

ภาพ หน้า

1 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้สารเรืองแสง 2
2 แผนภาพแสดงระดับพลังงาน Jablonski เกี่ยวกับการดูดกลืนและการแผ่รังสี....3
3 โครงสร้างของผลึกเซอร์โคเนียมออกไซด์....5
4 โครงสร้างของผลึกของซิงค์ออกไซด์....6
5 ตัวอย่างการคายแสงของสารตัวเติม....6
6 แสดงระดับพลังงานเมื่อถูกกระตุ้นของกลุ่มธาตุแลนทาไนด์ (Ln^{3+})....8
7 ตัวอย่างการส่งถ่ายพลังงานของเซอร์โคเนียมออกไซด์ไปยังซามาเรียม....9
8 การสังเคราะห์สารฟอสฟอร์ในสภาวะที่เป็นของแข็งหรือมิกซ์ออกไซด์....9
9 การสังเคราะห์สารฟอสฟอร์โดยใช้วิธีไฮโดรเทอร์มอลและวิธีโซลโวเทอร์มอล....10
10 การสังเคราะห์สารฟอสฟอร์โดยใช้วิธีโซล–เจล....11
11 โครงสร้างของสารคีเลตติ้ง....14
12 การจับกันระหว่างสารคีเลตติ้งกับโลหะ....14
13 (a) อิทเทียมที่เจืออยู่ในโครงสร้างเซอร์โคเนียม (Yttria-Stabilised Zirconia (YSZ)) และ (b) การขนส่งภายในช่องว่างของออกซิเจน (Vacancy transport in YSZ)....16
14 สเปกตราการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของสารตัวอย่างเซอร์โคเนียมออกไซด์ที่ถูกเจือด้วยอิทเทรียมที่มีความเข้มข้นแตกต่างกัน จาก 0 ถึง 4 mol%....16
15 สเปกตราการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของ ZrO_2 :Y_x โดยที่ x = 0 - 10 mol%....18
16 สเปกตราการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของสาร ZrO_2 :Mn,Cl ที่อุณหภูมิ (a) 300°C (b) 400°C และ (c) 500°C....19
17 สเปกตราการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของ ZrO_2:5%Ce ที่อุณหภูมิ 400 - 500°C....19
18 สเปกตราการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของสาร YAG ที่เติมด้วยซามาเรียม ซีเซียม หรือเทอร์เบียม....21
19 สเปกตราการกระตุ้นแสง และสเปกตราการคายแสงของสารตัวอย่าง YAG ที่เติมด้วยซามาเรียม ซีเซียมหรือเทอร์เบียม....21
20 สเปกตราการคายแสงของสารตัวอย่าง YAG ที่เจือด้วยยูโรเปียม โดยใช้อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ที่ 700°C (ซ้าย) และ 800°C (ขวา)....22

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ หน้า

21 สเปกตราการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของ $LaPO_4$:Eu^{3+} 23
22 สเปกตราการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของ CeO_2:Eu^{3+} 23
23 สเปกตราการกระตุ้นแสง (a) และสเปกตราการคายแสง (b) ของ $LaPO_4$:Eu^{3+} 24
24 สเปกตราการกระตุ้นแสง (a) และ สเปกตราการคายแสง (b) ของ CeO_2:Eu^{3+} 24
25 สเปกตราการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของ ZrO_2 :Eu ที่อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ (a) 500°C (b) 800°C (c) 1000°C 25
26 สเปกตราการคายแสงของ ZrO_2:Eu โดยใช้อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ที่ (a) 500°C (b) 800°C (c) 1000°C 26
27 สเปกตราการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของ YSZ:Eu ที่มีความเข้มข้นของยูโรเปียมในช่วง 0.5 ถึง 10 at% 27
28 พื้นที่สัมพัทธ์สเปกตราการคายแสงของ YSZ:0.5-10 mol% Eu^{3+} 27
29 สเปกตราการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของ Y_2O_3:Eu ที่อุณหภูมิ 500-1250°C 28
30 สเปกตราการกระตุ้นแสง (ซ้าย) และสเปกตราคายแสง (ขวา) ของสารฟอสฟอร์ Y_2O_3:Eu ที่อุณหภูมิ 500-1250°C 28
31 พื้นที่สัมพัทธ์สเปกตราการคายแสงของ Y_2O_3:Eu ที่อุณหภูมิ 500-1250°C 29
32 สเปกตราการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของ Y_2O_3:Eu ภายหลังจากทำการเตรียมสารตัวอย่างเป็นเวลา 12 ชั่วโมง โดยใช้อุณหภูมิ (a) 80°C (b) 160°C (c) 200°C และ (d) หลังจาก ให้ความร้อนตัวอย่าง c ที่ 700°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง 30
33 สเปกตราการคายแสงของ Y_2O_3:Eu^{3+} (5%) 30
34 สเปกตราการคายแสงของ SAO-ED และ SAO-ED ที่ใช้สารคีเลตติ้งต่างกัน 31
35 สเปกตราการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของ ZnO:1.5-10 mol% Eu^{3+} ที่ 1000°C 32
36 สเปกตราการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของ ZnO:5 mol% Eu^{3+} ที่อุณหภูมิต่างกัน 33
37 พื้นที่สัมพัทธ์สเปกตราการคายแสงของ ZnO:1.5-10 mol% Eu^{3+} 33
38 สเปกตราการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของ ZnO:0 - 20 wt% Eu^{3+} 34
39 สเปกตราการคายแสงของ ZnO:0 - 20 wt% Eu^{3+} 34
40 แผนภาพกระบวนการสังเคราะห์ $Zr:Y_7:Sm_{0.25}$ และ $Zr:Y_4:Eu_3$ โดยวิธีโซล-เจล 36

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ **หน้า**

41 แผนภาพแสดงกระบวนการสังเคราะห์ Zn:Sm หรือ Zn:Eu โดยวิธีโซล–เจล.....38

42 แผนภาพกระบวนการสังเคราะห์ Zr :Y_7 :$Sm_{0.25}$ และ Zr :Y_4 :Eu_3 โดยใช้วิธี
โซลโวเทอร์มอล 38

43 กฎของแบรกก์สามารถหาได้จากค่าการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์โดยระนาบของอะตอม 40

44 แผนผังแสดงการกระตุ้นแสงและการคายแสงของเครื่องสเปกโตรมิเตอร์ 41

45 กระบวนการเตรียมสารตัวอย่างเพื่อทำการวิเคราะห์สมบัติทางแสง 42

46 กระบวนการเตรียมสารตัวอย่างเพื่อทำการวิเคราะห์โดยใช้ SEM.....43

47 สเปกตราการคายแสงของสาร Zr:Y_x:$Sm_{0.25}$ (x = 1, 3, 5, 7) โดยที่ใช้อุณหภูมิการเผา
แคลไซน์ที่ 900^{o}C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 45

48 พื้นที่สัมพัทธ์จากสเปกตราการคายแสงในช่วงความยาวคลื่น 550-750 นาโนเมตร ของ
Zr:Y_x:$Sm_{0.25}$ (x = 1, 3, 5, 7) ที่อุณหภูมิ 900^{o}C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง.....45

49 สเปกตราการคายแสงของ Zr:Y_x:Eu_3 (x = 1 - 7) โดยใช้อุณหภูมิ 800^{o}C
เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 46

50 พื้นที่สัมพัทธ์จากสเปกตราการคายแสงในช่วงความยาวคลื่น 550-750 นาโนเมตร
ของ Zr:Y_x:Eu_3 (x = 1 - 7) ที่อุณหภูมิ 800^{o}C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง.....46

51 สเปกตราการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของสารตัวอย่าง (a) เซอร์โคเนียมออกไซด์
(b) เซอร์โคเนียมออกไซด์เจือด้วยซามาเรียม 0.25 mol% และ (c) เซอร์โคเนียม-
ออกไซด์เจือด้วยอิทเทรียม 7 mol% และซามาเรียม 0.25 mol% ที่อุณหภูมิ 900^{o}C
เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 48

52 สเปกตราการกระตุ้นแสงของสาร (a) เซอร์โคเนียมออกไซด์ (b) เซอร์โคเนียมออกไซด์
เจือด้วยซามาเรียม 0.25 mol% และ (c) เซอร์โคเนียมออกไซด์เจือด้วยอิทเทรียม
7 mol% และซามาเรียม 0.25 mol% ที่อุณหภูมิ 900^{o}C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 49

53 สเปกตราการคายแสงของ (a) เซอร์โคเนียมออกไซด์ (b) เซอร์โคเนียมออกไซด์เจือด้วย
ซามาเรียม 0.25 mol% และ (c) เซอร์โคเนียมออกไซด์เจือด้วยอิทเทรียม 7 mol%
และซามาเรียม 0.25 mol% ที่อุณหภูมิ 900^{o}C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 50

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ หน้า

54 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของสารฟอสฟอร์ตัวอย่าง (a) เซอร์โคเนียมออกไซด์ (b) เซอร์โคเนียมออกไซด์ที่เจือด้วยซามาเรียม 0.25 mol% และ (c) เซอร์โคเนียมออกไซด์ที่เจือด้วยอิทเทรียม 7 mol% และซามาเรียม 0.25 mol% โดยใช้อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ที่ 900°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 51

55 สเปกตราการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของสารตัวอย่าง $Zr:Y_7:Sm_{0.25}$ โดยที่ใช้กรดซิตริกเป็นสารคีเลตติ้ง ใช้อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ที่ (a) 400°C (b) 500°C (c) 600°C (d) 700°C (e) 800°C และ (f) 900°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 55

56 สเปกตราการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของ $Zr:Y_7:Sm_{0.25}$ ที่ใช้ EDTA เป็นสารคีเลตติ้งที่อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ (a) 400°C (b) 500°C (c) 600°C (d) 700°C (e) 800°C และ (f) 900°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 55

57 สเปกตราการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของสารตัวอย่าง $Zr:Y_7:Sm_{0.25}$ โดยที่ใช้กรดมาลิกเป็นสารคีเลตติ้ง ใช้อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ที่ (a) 400°C (b) 500°C (c) 600°C (d) 700°C (e) 800°C และ (f) 900°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 56

58 สเปกตราการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของ $Zr:Y_7:Sm_{0.25}$ โดยที่ใช้กรดออกซาลิกเป็นสารคีเลตติ้ง โดยใช้อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ที่ (a) 400°C (b) 500°C (c) 600°C (d) 700°C (e) 800°C และ (f) 900°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 56

59 สเปกตราการคายแสงของสาร $Zr:Y_7:Sm_{0.25}$ โดยที่ใช้กรดซิตริกเป็นสารคีเลตติ้งที่อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ (a) 400°C (b) 500°C (c) 600°C (d) 700°C (e) 800°C และ (f) 900°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 59

60 พื้นที่สัมพัทธ์จากสเปกตราการคายแสงในช่วงความยาวคลื่น 550-750 นาโนเมตร ของ $Zr:Y_7:Sm_{0.25}$ เมื่อใช้กรดซิตริกเป็นสารคีเลตติ้ง ที่อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ 400 - 900°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง.....60

61 สเปกตราการคายแสงของ $Zr:Y_7:Sm_{0.25}$ เมื่อใช้ EDTA เป็นสารคีเลตติ้งที่อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ (a) 400°C (b) 500°C (c) 600°C (d) 700°C (e) 800°C และ (f) 900°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง.....60

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ หน้า

62 พื้นที่สัมพัทธ์จากสเปกตราการคายแสงในช่วงความยาวคลื่น 550-750 นาโนเมตร ของ $Zr:Y_7:Sm_{0.25}$ เมื่อใช้กรด EDTA เป็นสารคีเลตติ้ง ที่อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ 400 - 900°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 61

63 สเปกตราการคายแสงของสาร $Zr:Y_7:Sm_{0.25}$ เมื่อใช้กรดมาลิกเป็นสารคีเลตติ้ง ที่อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ (a) 400°C (b) 500°C (c) 600°C (d) 700°C (e) 800°C และ (f) 900°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 61

64 พื้นที่สัมพัทธ์จากสเปกตราการคายแสงในช่วงความยาวคลื่น 550-750 นาโนเมตร ของ $Zr:Y_7:Sm_{0.25}$ เมื่อใช้กรดมาลิกเป็นสารคีเลตติ้ง ที่อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ 400 - 900°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 62

65 สเปกตราการคายแสงของ $Zr:Y_7:Sm_{0.25}$ เมื่อใช้กรดออกซาลิกเป็นสารคีเลตติ้ง ที่อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ (a) 400°C (b) 500°C (c) 600°C (d) 700°C (e) 800°C และ (f) 900°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 62

66 พื้นที่สัมพัทธ์จากสเปกตราการคายแสงในช่วงความยาวคลื่น 550-750 นาโนเมตร ของสาร $Zr:Y_7:Sm_{0.25}$ เมื่อใช้กรดออกซาลิกเป็นสารคีเลตติ้ง ที่อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ 400 – 900°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 63

67 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของสาร $Zr:Y_7:Sm_{0.25}$ เมื่อใช้กรดซิตริกเป็นสารคีเลตติ้ง ที่อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ (a) 400°C (b) 500°C (c) 600°C (d) 700°C (e) 800°C และ (f) 900°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 65

68 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของสาร $Zr:Y_7:Sm_{0.25}$ เมื่อใช้ EDTA เป็นสารคีเลตติ้ง ที่อุณหภูมิในการเผาแคลไซน์ (a) 400°C (b) 500°C (c) 600°C (d) 700°C (e) 800°C และ (f) 900°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 66

69 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของสาร $Zr:Y_7:Sm_{0.25}$ เมื่อใช้กรดมาลิกเป็นสารคีเลตติ้ง ที่อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ (a) 400°C (b) 500°C (c) 600°C (d) 700°C (e) 800°C และ (f) 900°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 67

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ **หน้า**

70 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของ $Zr:Y_7:Sm_{0.25}$ เมื่อใช้กรดออกซาลิกเป็นสารคีเลตติ้ง ที่อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ (a) 400°C (b) 500°C (c) 600°C (d) 700°C (e) 800°C และ (f) 900°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 68

71 ความสัมพันธ์ของขนาดผลึกต่ออุณหภูมิการเผาแคลไซน์ในช่วง 400-900°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ของ $Zr:Y_7:Sm_{0.25}$ เมื่อใช้ (a) กรดซิตริก (b) EDTA (c) กรดมาลิก (d) กรดออกซาลิก เป็นสารคีเลตติ้ง 70

72 ความสัมพันธ์ของพื้นที่สัมพัทธ์จากสเปกตราการคายแสงของสารตัวอย่างในช่วงความยาวคลื่น 550 - 750 นาโนเมตร ต่ออุณหภูมิการเผาแคลไซน์ในช่วง 400 - 900°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง ของสารฟอสฟอร์ $Zr:Y_7:Sm_{0.25}$ เมื่อใช้ (a) กรดซิตริก (b) EDTA (c) กรดมาลิก (d) กรดออกซาลิก เป็นสารคีเลตติ้ง 72

73 ความสัมพันธ์ของพื้นที่สัมพัทธ์จากสเปกตราการคายแสงของสารตัวอย่างในช่วงความยาวคลื่น 550 - 750 นาโนเมตร ต่อขนาดผลึกของ $Zr:Y_7:Sm_{0.25}$ ที่อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ 400 - 900°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง เมื่อใช้ (a) กรดซิตริก (b) EDTA (c) กรดมาลิก (d) กรดออกซาลิก เป็นสารคีเลตติ้ง 75

74 สเปกตราการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของสาร $Zr:Y_4:Eu_3$ โดยที่ใช้กรดซิตริก เป็นสารคีเลตติ้ง ที่อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ (a) 400°C (b) 500°C (c) 600°C (d) 700°C และ (e) 800°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง.....78

75 สเปกตราการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของสารฟอสฟอร์ $Zr:Y_4:Eu_3$ โดยที่ใช้ EDTA เป็นสารคีเลตติ้ง ที่อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ (a) 400°C (b) 500°C (c) 600°C (d) 700°C และ (e) 800°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 78

76 สเปกตราการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของสาร $Zr:Y_4:Eu_3$ โดยที่ใช้กรดมาลิก เป็นสารคีเลตติ้ง โดยใช้อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ที่ (a) 400°C (b) 500°C (c) 600°C (d) 700°C และ (e) 800°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 79

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ **หน้า**

77 สเปกตราการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของสาร $Zr:Y_4:Eu_3$ เมื่อใช้กรดออกซาลิกเป็นสารคีเลตติ้ง โดยใช้อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ (a) 400°C (b) 500°C (c) 600°C (d) 700°C และ (e) 800°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 79

78 สเปกตราการกระตุ้นแสงของ $Zr:Y_4:Eu_3$ ที่อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ 800 °C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 81

79 สเปกตราการคายแสงของ $Zr:Y_4:Eu_3$ เมื่อใช้กรดซิตริกเป็นสารคีเลตติ้ง ที่อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ (a) 400°C (b) 500°C (c) 600°C (d) 700°C และ (e) 800°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 84

80 พื้นที่สัมพัทธ์จากสเปกตราการคายแสงในช่วงความยาวคลื่น 550-750 นาโนเมตร ของ $Zr:Y_4:Eu_3$ เมื่อใช้กรดซิตริกเป็นสารคีเลตติ้ง ที่อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ 400–800°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 84

81 สเปกตราการคายแสงของ $Zr:Y_4:Eu_3$ เมื่อใช้ EDTA เป็นสารคีเลตติ้ง ที่อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ (a) 400°C (b) 500°C (c) 600°C (d) 700°C และ (e) 800°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 85

82 พื้นที่สัมพัทธ์จากสเปกตราการคายแสงในช่วงความยาวคลื่น 550-750 นาโนเมตร ของ $Zr:Y_4:Eu_3$ เมื่อใช้ EDTA เป็นสารคีเลตติ้ง ที่อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ 400–800°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 85

83 สเปกตราการคายแสงของ $Zr:Y_4:Eu_3$ เมื่อใช้กรดมาลิกเป็นสารคีเลตติ้ง ที่อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ (a) 400°C (b) 500°C (c) 600°C (d) 700°C และ (e) 800°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 86

84 พื้นที่สัมพัทธ์จากสเปกตราการคายแสงในช่วงความยาวคลื่น 550-750 นาโนเมตร ของ $Zr:Y_4:Eu_3$ เมื่อใช้กรดมาลิกเป็นสารคีเลตติ้ง ที่อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ 400–800°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 86

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ **หน้า**

85 สเปกตราการคายแสงของสาร $Zr:Y_4:Eu_3$ เมื่อใช้กรดออกซาลิกเป็นสารคีเลตติ้ง ที่อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ (a) 400°C (b) 500°C (c) 600°C (d) 700°C และ (e) 800°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 87

86 พื้นที่สัมพัทธ์จากสเปกตราการคายแสงในช่วงความยาวคลื่น 550-750 นาโนเมตร ของ $Zr:Y_4:Eu_3$ เมื่อใช้กรดออกซาลิกเป็นสารคีเลตติ้ง ที่อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ 400–800°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 87

87 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของ $Zr:Y_4:Eu_3$ เมื่อใช้กรดซิตริก เป็นสารคีเลตติ้ง โดยใช้อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ที่ (a) 400°C (b) 500°C (c) 600°C (d) 700°C และ (e) 800°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 89

88 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของสาร $Zr:Y_4:Eu_3$ เมื่อใช้ EDTA เป็นสารคีเลตติ้ง โดยใช้อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ที่ (a) 400°C (b) 500°C (c) 600°C (d) 700°C และ (e) 800°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 90

89 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของ $Zr:Y_4:Eu_3$ เมื่อใช้กรดมาลิก เป็นสารคีเลตติ้ง โดยใช้อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ที่ (a) 400°C (b) 500°C (c) 600°C (d) 700°C และ (e) 800°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 91

90 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของ $Zr:Y_4:Eu_3$ เมื่อใช้กรดออกซาลิกเป็นสารคีเลตติ้ง ที่อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ (a) 400°C (b) 500°C (c) 600°C (d) 700°C และ (e) 800°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 92

91 ความสัมพันธ์ของขนาดผลึกต่ออุณหภูมิการเผาแคลไซน์ในช่วง 400-800°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ของ $Zr:Y_4:Eu_3$ เมื่อใช้ (a) กรดซิตริก (b) EDTA (c) กรดมาลิก และ (d) กรดออกซาลิก เป็นสารคีเลตติ้ง 94

92 ความสัมพันธ์ของพื้นที่สัมพัทธ์จากสเปกตราการคายแสงของสารตัวอย่างในช่วงความยาวคลื่น 550 - 750 นาโนเมตร ต่ออุณหภูมิการเผาแคลไซน์ในช่วง 400 - 800°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ของ $Zr:Y_4:Eu_3$ เมื่อใช้ (a) กรดซิตริก (b) EDTA (c) กรดมาลิก และ (d) กรดออกซาลิก เป็นสารคีเลตติ้ง 96

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ หน้า

93 ความสัมพันธ์ของพื้นที่สัมพัทธ์จากสเปกตราการคายแสงของสารตัวอย่างในช่วงความยาวคลื่น 550 - 750 นาโนเมตร ต่อขนาดผลึกของสารตัวอย่าง $Zr:Y_4:Eu_3$ ที่อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ในช่วง 400 - 800°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อใช้ (a) กรดซิตริก (b) EDTA (c) กรดมาลิก (d) กรดออกซาลิก เป็นสารคีเลตติ้ง 98

94 สเปกตราการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์ของสารตัวอย่าง (a) ซิงค์ออกไซด์ (b) ซามาเรียมออกไซด์ และซิงค์ออกไซด์ที่มีการเจือซามาเรียม 5 mol% เมื่อใช้ (c) กรดซิตริก (d) EDTA (e) กรดมาลิก (f) กรดออกซาลิก เป็นสารคีเลตติ้ง ที่อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ 900°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 99

95 สเปกตราการกระตุ้นแสงของซิงค์ออกไซด์ และซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยซามาเรียม 5 mol% เมื่อใช้ EDTA เป็นสารคีเลตติ้ง ที่อุณหภูมิ 900°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 101

96 สเปกตราการคายแสงของ (a) ซิงค์ออกไซด์ และซิงค์ออกไซด์ที่ทำการเจือด้วยซามาเรียม 5 mol% เมื่อมีการใช้ (b) กรดซิตริก (c) EDTA (d) กรดมาลิก (e) กรดออกซาลิก เป็นสารคีเลตติ้ง ที่อุณหภูมิ 900°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 102

97 สเปกตราการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของซิงค์ออกไซด์ที่ถูกเจือซามาเรียม (a) 1 mol% (b) 3 mol% และ (c) 5 mol% เมื่อใช้ EDTA เป็นสารคีเลตติ้ง ที่อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ 900°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 103

98 สเปกตราการคายแสงของซิงค์ออกไซด์ที่เจือซามาเรียม (a) 1 mol% (b) 3 mol% และ (c) 5 mol% เมื่อใช้ EDTA เป็นสารคีเลตติ้ง ที่อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ 900°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 104

99 สเปกตราการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของ (a) ซิงค์ออกไซด์ (b) ยูโรเปียมออกไซด์และซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยยูโรเปียม 5 mol% เมื่อใช้ (c) กรดซิตริก (d) EDTA (e) กรดมาลิก และ (f) กรดออกซาลิก เป็นสารคีเลตติ้ง ที่อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ 900°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 105

100 สเปกตราการกระตุ้นแสงของซิงค์ออกไซด์ที่เจือยูโรเปียม 5 mol% เมื่อใช้ EDTA เป็นสารคีเลตติ้ง ที่อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ที่ 900°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 107

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ หน้า

101 สเปกตราการคายแสงของ (a) ซิงค์ออกไซด์ และซิงค์ออกไซด์ที่เจือยูโรเปียม 5 mol% เมื่อใช้ (b) กรดซิตริก (c) EDTA (d) กรดมาลิก และ (e) กรดออกซาลิก เป็นสารคีเลตติ้ง ที่อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ 900°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 107

102 สเปกตราการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของซิงค์ออกไซด์ที่ถูกเจือยูโรเปียม (a) 1 mol% (b) 3 mol% และ (c) 5 mol% เมื่อใช้ EDTA เป็นสารคีเลตติ้ง ที่อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ 900°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 108

103 สเปกตราการคายแสงของสารซิงค์ออกไซด์ที่ถูกเจือด้วยยูโรเปียม (a) 1 mol% (b) 3 mol% และ (c) 5 mol% เมื่อใช้ EDTA เป็นสารคีเลตติ้ง ที่อุณหภูมิการเผาแคลไซน์ 900°C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง 109

104 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของซิงค์ออกไซด์ที่เจือ (a) ซามาเรียม 5 mol% และ (b) ยูโรเปียม 5 mol% เมื่อใช้ EDTA สารคีเลตติ้ง..... 110

105 สเปกตราการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของ $Zr:Y_7:Sm_{0.25}$ เมื่อใช้กรดซิตริก เป็นสารคีเลตติ้ง ที่อุณหภูมิ (a) 160°C (b)180°C และ (c) 200°C 111

106 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของ $Zr:Y_7:Sm_{0.25}$ ใช้กรดซิตริก เป็นสารคีเลตติ้ง ที่อุณหภูมิ (a) 160°C (b) 180°C และ (c) 200°C 112

107 สเปกตราการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของ $Zr:Y_7:Sm_{0.25}$ เมื่อใช้ (a) กรดซิตริก (b) กรดมาลิก และ (c) กรดออกซาลิก เป็นสารคีเลตติ้ง ที่อุณหภูมิ 200°C 113

108 อินฟราเรดสเปกตราของผลึก $Zr:Y_7:Sm_{0.25}$ ที่อุณหภูมิ 200°C โดยมีการใช้กรดออกซาลิกเป็นสารคีเลตติ้ง 114

109 สเปกตราการกระตุ้นแสงของ $Zr:Y_7:Sm_{0.25}$ ที่อุณหภูมิ 200°C..... 116

110 สเปกตราการคายแสงของ $Zr:Y_7:Sm_{0.25}$ เมื่อใช้ (a) กรดซิตริก (b) กรดมาลิก และ (c) กรดออกซาลิก เป็นสารคีเลตติ้ง ที่อุณหภูมิ 200°C 116

111 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของ $Zr:Y_7:Sm_{0.25}$ เมื่อใช้ (a) กรดซิตริก (b) กรดมาลิก (c) กรดออกซาลิก เป็นสารคีเลตติ้ง ที่อุณหภูมิ 200°C 117

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพ **หน้า**

112 สเปกตราการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของสาร $Zr:Y_4:Eu_3$ เมื่อใช้ (a) กรดซิตริก (b) กรดมาลิก และ (c) กรดออกซาลิก เป็นสารคีเลตติ้ง ที่อุณหภูมิ 200°C 118

113 อินฟราเรดสเปกตราของผลึก $Zr:Y_4:Eu_3$ ที่อุณหภูมิ 200°C โดยใช้กรดออกซาลิกเป็นสารคีเลตติ้ง 120

114 สเปกตราการกระตุ้นแสงของ $Zr:Y_4:Eu_3$ ที่อุณหภูมิ 200°C 121

115 สเปกตราการคายแสงของ $Zr:Y_4:Eu_3$ เมื่อใช้ (a) กรดซิตริก (b) กรดมาลิก และ (c) กรดออกซาลิก เป็นสารคีเลตติ้ง ที่อุณหภูมิ 200°C 122

116 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของ $Zr:Y_4:Eu_3$ เมื่อใช้ (a) กรดซิตริก (b) กรดมาลิก และ (c) กรดออกซาลิก เป็นสารคีเลตติ้ง ที่อุณหภูมิ 200°C 122

อักษรย่อ

pH	=	power of hydrogen ion concentration
EDTA	=	Ethylenediaminetetraacetic acid
XRD	=	X-ray diffraction Spectroscopy
SEM	=	Scanning Electron Microscopy
PL	=	Photoluminescence
PLE	=	Photoluminescence Excitation
nm	=	nanometer
μm	=	micrometer
^{o}C	=	degree Celsius
ml	=	milliliter
mol/l	=	Mol per litre
a.u.	=	arbitary unit
at.	=	atomic
wt	=	weight
eV	=	electron volts