

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1.1 โครงสร้างของ (a) ไดไฮโดรเจนฟอสเฟต ($H_2PO_4^-$) (b) ไฮโดรเจนฟอสเฟต (HPO_4^{2-}) (c) ฟอสเฟต (PO_4^{3-}) (d) ไพโรฟอสเฟต ($P_2O_7^{4-}$) และ (e) ไซโคลเตตระฟอสเฟต ($P_4O_{12}^{4-}$)	3
2.1 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของผลึกเชิงเดี่ยวของ (a) $KZn_2(PO_4)(HPO_4)$ และ (b) ZPAM ที่เตรียมด้วยเทคนิคไฮโดรเทอร์มอล	6
2.2 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่านของผลึก $Ca_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ ที่เตรียมด้วยเทคนิคการตกตะกอนโดยใช้วุ้นหางจรเข้เป็นตัวกลาง	7
2.3 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของ $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ โดยใช้สารตั้งต้นที่เป็นฟอสเฟตที่แตกต่างกัน คือ (a) Na_2HPO_4 (b) Na_3PO_4 (c) NaH_2PO_4 และ (d) K_2HPO_4	7
2.4 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของ (a) $\alpha-Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ และ $\alpha-Zn_3(PO_4)_2$ และ (b) $\beta-Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ และ $\beta-Zn_3(PO_4)_2$	11
2.5 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของ (a) $\alpha-Zn_3(PO_4)_2$, $\beta-Zn_3(PO_4)_2$ และ $\gamma-Zn_3(PO_4)_2$	12
2.6 แสดงรูปร่างโครงร่างสามมิติของครึ่งหน่วยเซลล์ของ (A) $\alpha-Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ และ (B) $\beta-Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$	12
2.7 สเปกตรัมการสั่นของ $\alpha-Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$	14
2.8 สเปกตรัมการสั่นของ $\beta-Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$	15
2.9 สเปกตรัมการสั่นของ $\alpha-Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$	15
2.10 สเปกตรัมการสั่นของ $\beta-Zn_3(PO_4)_2$ (c)	16
2.11 เทอร์โมแกรมของการสลายตัวทางความร้อนของ (a) $\alpha-Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$	17
2.12 เทอร์โมแกรมของการสลายตัวทางความร้อนของ (a) $\alpha-Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ และ (b) $\beta-Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$	17
2.13 สันฐานวิทยาของ $\alpha-Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ ที่เตรียมการตกตะกอนจากสารตั้งต้นต่างกัน คือ (a) $NH_4H_2PO_4-NaCl-Zn(NO_3)_2$	18
2.14 สันฐานวิทยาของ $\alpha-Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ ที่เตรียมโดยสารตั้งต้นต่างกัน คือ (a) $Na_2HPO_4-ZnCl_2$ (b) $Na_3PO_4-ZnCl_2$ (c) $NaH_2PO_4-ZnCl_2$ (d) $K_2HPO_4-ZnCl_2$	19
4.1 เทอร์โมแกรม TG/DTG ของสาร $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ ที่ถูกเตรียมด้วยระบบสารตั้งต้น $ZnCl_2 \cdot 4H_2O + K_2HPO_4$ ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ $10^\circ C \text{ min}^{-1}$ ในแก๊ส O_2	30

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า	
4.2	เทอร์โมแกรม TG/DTG ของสาร $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ ที่ถูกเตรียมด้วยระบบสารตั้งต้น $ZnCl_2 \cdot 4H_2O$ + Na_2HPO_4 ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ $10^\circ C \text{ min}^{-1}$ ในแก๊ส O_2	30
4.3	เทอร์โมแกรม TG/DTG ของสาร $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ ที่ถูกเตรียมด้วยระบบสารตั้งต้น $ZnCl_2 \cdot 4H_2O$ + $(NH_4)_2HPO_4$ ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ $10^\circ C \text{ min}^{-1}$ ในแก๊ส O_2	31
4.4	เทอร์โมแกรม TG/DTG ของสาร $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ ที่ถูกเตรียมด้วยระบบสารตั้งต้น $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ + K_2HPO_4 ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ $10^\circ C \text{ min}^{-1}$ ในแก๊ส O_2	31
4.5	เทอร์โมแกรม TG/DTG ของสาร $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ ที่ถูกเตรียมด้วยระบบสารตั้งต้น $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ + Na_2HPO_4 ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ $10^\circ C \text{ min}^{-1}$ ในแก๊ส O_2	32
4.6	เทอร์โมแกรม TG/DTG ของสาร $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ ที่ถูกเตรียมด้วยระบบสารตั้งต้น $ZnSO_4 \cdot 7H_2O$ + $(NH_4)_2HPO_4$ ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ $10^\circ C \text{ min}^{-1}$ ในแก๊ส O_2	32
4.7	เทอร์โมแกรม TG/DTG ของสาร $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ ที่ถูกเตรียมด้วยระบบสารตั้งต้น $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ + K_2HPO_4 ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ $10^\circ C \text{ min}^{-1}$ ในแก๊ส O_2	33
4.8	เทอร์โมแกรม TG/DTG ของสาร $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ ที่ถูกเตรียมด้วยระบบสารตั้งต้น $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ + Na_2HPO_4 ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ $10^\circ C \text{ min}^{-1}$ ในแก๊ส O_2	33
4.9	เทอร์โมแกรม TG/DTG ของสาร $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ ที่ถูกเตรียมด้วยระบบสารตั้งต้น $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ + $(NH_4)_2HPO_4$ ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ $10^\circ C \text{ min}^{-1}$ ในแก๊ส O_2	34
4.10	เทอร์โมแกรม TG/DTG ของสาร $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ ที่ถูกเตรียมด้วยระบบสารตั้งต้น $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ + K_2HPO_4 ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ $10^\circ C \text{ min}^{-1}$ ในแก๊ส O_2	34
4.11	เทอร์โมแกรม TG/DTG ของสาร $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ ที่ถูกเตรียมด้วยระบบสารตั้งต้น $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ + Na_2HPO_4 ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ $10^\circ C \text{ min}^{-1}$ ในแก๊ส O_2	35
4.12	เทอร์โมแกรม TG/DTG ของสาร $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ ที่ถูกเตรียมด้วยระบบสารตั้งต้น $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ + $(NH_4)_2HPO_4$ ที่อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ $10^\circ C \text{ min}^{-1}$ ในแก๊ส O_2	35
4.13	รูปแบบ XRD ของสาร $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ ที่ถูกเตรียมด้วยระบบสารตั้งต้น $ZnCl_2 \cdot 4H_2O$ + $K_2HPO_4(a)$, $ZnCl_2 \cdot 4H_2O$ + $K_2HPO_4(b)$, และ $ZnCl_2 \cdot 4H_2O$ + $K_2HPO_4(c)$	39

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
4.14 รูปแบบ XRD ของสาร $Zn_3(PO_4)_2$ ที่ได้จากการเผาที่ 200 °C 2 ชม. ของสาร $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ ถูกเตรียมด้วยระบบสารตั้งต้น $ZnCl_2 \cdot 4H_2O + K_2HPO_4$ (a), $ZnCl_2 \cdot 4H_2O + K_2HPO_4$ (b), และ $ZnCl_2 \cdot 4H_2O + K_2HPO_4$ (c)	39
4.15 รูปแบบ XRD ของสาร $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ ที่ถูกเตรียมด้วยระบบสารตั้งต้น $ZnSO_4 \cdot 7H_2O + K_2HPO_4$ (a), $ZnSO_4 \cdot 7H_2O + K_2HPO_4$ (b), และ $ZnSO_4 \cdot 7H_2O + K_2HPO_4$ (c)	40
4.16 รูปแบบ XRD ของสาร $Zn_3(PO_4)_2$ ที่ได้จากการเผาที่ 200 °C 2 ชม. ของสาร $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ ถูกเตรียมด้วยระบบสารตั้งต้น $ZnSO_4 \cdot 7H_2O + K_2HPO_4$ (a), $ZnSO_4 \cdot 7H_2O + K_2HPO_4$ (b), และ $ZnSO_4 \cdot 7H_2O + K_2HPO_4$ (c)	40
4.17 รูปแบบ XRD ของสาร $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ ที่ถูกเตรียมด้วยระบบสารตั้งต้น $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O + K_2HPO_4$ (a), $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O + K_2HPO_4$ (b), และ $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O + K_2HPO_4$ (c)	41
4.18 รูปแบบ XRD ของสาร $Zn_3(PO_4)_2$ ที่ได้จากการเผาที่ 200 °C 2 ชม. ของสาร $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ ถูกเตรียมด้วยระบบสารตั้งต้น $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O + K_2HPO_4$ (a), $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O + K_2HPO_4$ (b), และ $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O + K_2HPO_4$ (c)	41
4.19 รูปแบบ XRD ของสาร $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ ที่ถูกเตรียมด้วยระบบสารตั้งต้น $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O + K_2HPO_4$ (a), $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O + K_2HPO_4$ (b) และ $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O + K_2HPO_4$ (c)	42
4.20 รูปแบบ XRD ของสาร $Zn_3(PO_4)_2$ ที่ได้จากการเผาที่ 200 °C 2 ชม. ของสาร $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ ถูกเตรียมด้วยระบบสารตั้งต้น $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O + K_2HPO_4$ (a), $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O + K_2HPO_4$ (b), และ $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O + K_2HPO_4$ (c)	42
4.21 FTIR สเปกตราของสาร $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ ที่ถูกเตรียมด้วยระบบสารตั้งต้น $ZnCl_2 \cdot 4H_2O + K_2HPO_4$ (a), $ZnCl_2 \cdot 4H_2O + K_2HPO_4$ (b), และ $ZnCl_2 \cdot 4H_2O + K_2HPO_4$ (c)	47
4.22 FTIR สเปกตราของสาร $Zn_3(PO_4)_2$ ที่ได้จากการเผาที่ 200 °C 2 ชม. ของสาร $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ ถูกเตรียมด้วยระบบสารตั้งต้น $ZnCl_2 \cdot 4H_2O + K_2HPO_4$ (a), $ZnCl_2 \cdot 4H_2O + K_2HPO_4$ (b), และ $ZnCl_2 \cdot 4H_2O + K_2HPO_4$ (c)	47

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
4.23	FTIR สเปกตร้าของสาร $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ ที่ถูกเตรียมด้วยระบบสารตั้งต้น $ZnSO_4 \cdot 7H_2O + K_2HPO_4$ (a), $ZnSO_4 \cdot 7H_2O + K_2HPO_4$ (b), และ $ZnSO_4 \cdot 7H_2O + K_2HPO_4$ (c)	48
4.24	FTIR สเปกตร้าของสาร $Zn_3(PO_4)_2$ ที่ได้จากการเผาที่ $200\text{ }^{\circ}C$ 2 ชม. ของสาร $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ ถูกเตรียมด้วยระบบสารตั้งต้น $ZnSO_4 \cdot 7H_2O + K_2HPO_4$ (a), $ZnSO_4 \cdot 7H_2O + K_2HPO_4$ (b), และ $ZnSO_4 \cdot 7H_2O + K_2HPO_4$ (c)	48
4.25	FTIR สเปกตร้าของสาร $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ ที่ถูกเตรียมด้วยระบบสารตั้งต้น $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O + K_2HPO_4$ (a), $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O + K_2HPO_4$ (b), และ $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O + K_2HPO_4$ (c)	49
4.26	FTIR สเปกตร้าของสาร $Zn_3(PO_4)_2$ ที่ได้จากการเผาที่ $200\text{ }^{\circ}C$ 2 ชม. ของสาร $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ ถูกเตรียมด้วยระบบสารตั้งต้น $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O + K_2HPO_4$ (a), $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O + K_2HPO_4$ (b), และ $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O + K_2HPO_4$ (c)	49
4.27	FTIR สเปกตร้าของสาร $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ ที่ถูกเตรียมด้วยระบบสารตั้งต้น $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O + K_2HPO_4$ (a), $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O + K_2HPO_4$ (b) และ $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O + K_2HPO_4$ (c)	50
4.28	FTIR สเปกตร้าของสาร $Zn_3(PO_4)_2$ ที่ได้จากการเผาที่ $200\text{ }^{\circ}C$ 2 ชม. ของสาร $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ ถูกเตรียมด้วยระบบสารตั้งต้น $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O + K_2HPO_4$ (a), $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O + K_2HPO_4$ (b), และ $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O + K_2HPO_4$ (c)	50
4.29	สัณฐานวิทยา SEM ของสาร $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ ที่ถูกเตรียมด้วยระบบสารตั้งต้น $ZnCl_2 \cdot 4H_2O + K_2HPO_4$ (a), $ZnCl_2 \cdot 4H_2O + K_2HPO_4$ (b), และ $ZnCl_2 \cdot 4H_2O + K_2HPO_4$ (c)	51
4.30	สัณฐานวิทยา SEM ของสาร $Zn_3(PO_4)_2$ ที่ได้จากการเผาที่ $200\text{ }^{\circ}C$ 2 ชม. ของสาร $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ ถูกเตรียมด้วยระบบสารตั้งต้น $ZnCl_2 \cdot 4H_2O + K_2HPO_4$ (a), $ZnCl_2 \cdot 4H_2O + K_2HPO_4$ (b), และ $ZnCl_2 \cdot 4H_2O + K_2HPO_4$ (c)	52
4.31	สัณฐานวิทยา SEM ของสาร $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ ที่ถูกเตรียมด้วยระบบสารตั้งต้น $ZnSO_4 \cdot 7H_2O + K_2HPO_4$ (a), $ZnSO_4 \cdot 7H_2O + K_2HPO_4$ (b), และ $ZnSO_4 \cdot 7H_2O + K_2HPO_4$ (c)	53
4.32	สัณฐานวิทยา SEM ของสาร $Zn_3(PO_4)_2$ ที่ได้จากการเผาที่ $200\text{ }^{\circ}C$ 2 ชม. ของสาร $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ ถูกเตรียมด้วยระบบสารตั้งต้น $ZnSO_4 \cdot 7H_2O + K_2HPO_4$ (a), $ZnSO_4 \cdot 7H_2O + K_2HPO_4$ (b), และ $ZnSO_4 \cdot 7H_2O + K_2HPO_4$ (c)	54

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
4.33	55
สัณฐานวิทยา SEM ของสาร $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ ที่ถูกเตรียมด้วยระบบสารตั้งต้น $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ $+ K_2HPO_4$ (a), $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O + K_2HPO_4$ (b), และ $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O + K_2HPO_4$ (c)	
4.34	56
สัณฐานวิทยา SEM ของสาร $Zn_3(PO_4)_2$ ที่ได้จากการเผาที่ $200\text{ }^{\circ}C$ 2 ชม. ของสาร $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ ถูกเตรียมด้วยระบบสารตั้งต้น $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O + K_2HPO_4$ (a), $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O$ $+ K_2HPO_4$ (b), และ $Zn(NO_3)_2 \cdot 6H_2O + K_2HPO_4$ (c)	
4.35	57
สัณฐานวิทยา SEM ของสาร $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ ที่ถูกเตรียมด้วยระบบสารตั้งต้น $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O + K_2HPO_4$ (a), $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O + K_2HPO_4$ (b), และ $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O$ $+ K_2HPO_4$ (c)	
4.36	58
สัณฐานวิทยา SEM ของสาร $Zn_3(PO_4)_2$ ที่ได้จากการเผาที่ $200\text{ }^{\circ}C$ 2 ชม. ของสาร $Zn_3(PO_4)_2 \cdot 4H_2O$ ถูกเตรียมด้วยระบบสารตั้งต้น $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O + K_2HPO_4$ (a), $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O + K_2HPO_4$ (b), และ $Zn(CH_3COO)_2 \cdot 2H_2O + K_2HPO_4$ (c)	