

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

แลนทานัมเฟอร์ไรท์ (LaFeO_3) เป็นสารประกอบของออกไซด์ที่มีโครงสร้างแบบเพอร์รอฟสไกต์ (ABO_3 ; A=rare earth, B=transition metal) และมีสภาพไวต่อก๊าซเอทานอลสูงกว่าก๊าซชนิดอื่น ๆ โดยเมื่อแลนทานัมเฟอร์ไรท์ได้รับก๊าซเอทานอลจะทำให้สภาพความต้านทานเปลี่ยนไป จึงนิยมนำไปประยุกต์เป็น อุปกรณ์รับรู้ก๊าซเอทานอล (ethanol sensor) อย่างไรก็ตามค่าความต้านทานของแลนทานัมเฟอร์ไรท์ (LaFeO_3) มีค่าสูงมาก ทำให้ต้องใช้เวลาในการตอบสนองต่อก๊าซเอทานอลเป็นเวลานาน จึงไม่เหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้ในเชิงอุตสาหกรรม ดังนั้นจึงนิยมเติมสารเจือ (dope) เพื่อลดค่าความต้านทานของแลนทานัมเฟอร์ไรท์ โดยการแทนไอออนของธาตุที่มีเวเลนซ์ต่ำกว่า เช่น Ca^{2+} , Sr^{2+} , Ba^{2+} , Mg^{2+} ลงที่ตำแหน่งบางส่วนของแลนทานัมไอออน (La^{3+}) (A-site) หรือแทน Co^{2+} , Ni^{2+} , Mg^{2+} ลงแทนที่ตำแหน่งบางส่วนของเฟอร์ไรท์ไอออน (Fe^{3+}) (B-site) พบว่าการเติมสารเจือแทนที่บางส่วนของ A-site และ B-site สามารถรับรู้และตอบสนองต่อก๊าซเอทานอลได้ดีที่สุดคือ Mg^{2+}

ที่ผ่านมามีผู้ทำการเตรียมสารแลนทานัมแมกนีเซียมเฟอร์ไรท์(LMF)ด้วยวิธีทางเคมี เช่น วิธี sol-gel [1], Citrate method [2] ซึ่งวิธีการเตรียมทางเคมีเหล่านี้ค่อนข้างยุ่งยากซับซ้อนและเตรียมสารได้ในปริมาณน้อย งานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะศึกษาการเตรียมผงผลึกแลนทานัมเฟอร์ไรท์ด้วยวิธีการเผาไหม้ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ซับซ้อนและเตรียมผงผลึกได้ในปริมาณมากแต่ได้ผงผลึกที่มีคุณภาพสูง

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาวิธีการเตรียมผงผลึกแลนทานัมแมกนีเซียมเฟอร์ไรท์ด้วยวิธีการเผาไหม้
- 1.2.2 เพื่อศึกษาอุณหภูมิแคลไซน์ที่เหมาะสมในการเตรียมผงผลึกแลนทานัมแมกนีเซียมเฟอร์ไรท์ด้วยวิธีการเผาไหม้
- 1.2.3 เพื่อศึกษาผลของอุณหภูมิแคลไซน์ต่อสมบัติต่างๆ เช่น โครงสร้างเฟส โครงสร้างผลึกของผงผลึกแลนทานัมแมกนีเซียมเฟอร์ไรท์ที่เตรียมได้

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.3.1 มีความรู้เข้าใจเทคนิคการเตรียมผงผลึกแลนทานัมเฟอร์ไรท์ด้วยวิธีการเผาไหม้
- 1.3.2 ทราบอุณหภูมิแคลไซน์ที่เหมาะสมในการเตรียมผงผลึกแลนทานัมแมกนีเซียมเฟอร์ไรท์ด้วยวิธีการเผาไหม้
- 1.3.3 เข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างโครงสร้างจุลภาค โครงสร้างผลึก ของผงผลึกแลนทานัมแมกนีเซียมเฟอร์ไรท์

1.4 ขอบเขตการวิจัย

- 1.4.1 เตรียมผงผลึกแลนทานัมแมกนีเซียมเฟอร์ไรต์ด้วยวิธีการเผาไหม้ โดยใช้อุณหภูมิในการแคลไซน์ 800-1000 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- 1.4.2 ศึกษาโครงสร้างผลึกโดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (XRD) ศึกษาโครงสร้างจุลภาคโดยจุลทรรศน์แบบส่องกราด (SEM)

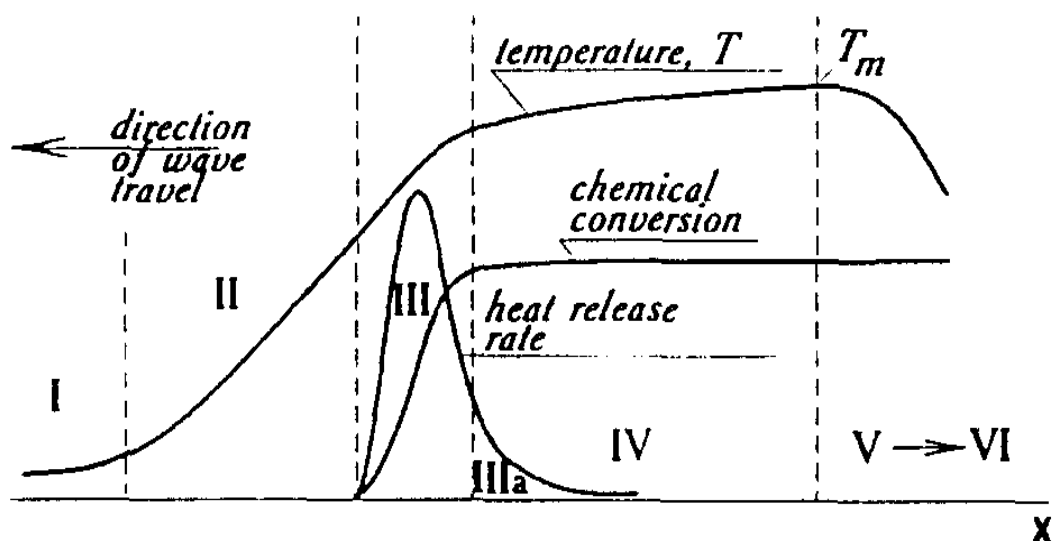
บทที่ 2

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 การเตรียมผงผลึกด้วยวิธีการเผาไหม้

การใช้ประโยชน์จากการปลดปล่อยพลังงานความร้อนที่ได้จากปฏิกิริยาเคมีในขั้นตอนการผลิต มีการใช้กันมานานแล้วตั้งแต่ศตวรรษที่ผ่านมา เมื่อ Beketov และ Goldshmidt ได้ค้นพบ self-sustaining thermite reaction ซึ่งต่อมาได้ใช้หลักการจุดระเบิดของปฏิกิริยาเคมีในกระบวนการผลิตอย่างมากมาย เช่น ในกระบวนการผลิตเตาหลอมเหล็ก การผลิตเฟอร์โรอัลลอย ฯลฯ อย่างไรก็ตามการพัฒนาทฤษฎีการเผาไหม้ (combustion) ยุคใหม่ไม่ได้มีรูปแบบอย่างที่เคยปฏิบัติมา (ในปี ค.ศ.1930-1940 สำหรับแก๊ส และปี ค.ศ.1950-1960 สำหรับของเหลว) ในปี ค.ศ.1967 ได้มีการค้นพบปรากฏการณ์จุดระเบิดของของแข็ง ซึ่งปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นจะได้ผลผลิตในสถานะของแข็ง และการพัฒนาวิธีการเผาไหม้บนพื้นฐานของ self-propagation high-temperature (SHS) ได้กระตุ้นให้เกิดการทดลองและการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการเผาไหม้ของสารประกอบอนินทรีย์และวัสดุอย่างกว้างขวาง ซึ่งผลของข้อมูลที่ได้จากการทดลองได้กลายเป็นพื้นฐานของเทคโนโลยีการเผาไหม้และการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรม

กระบวนการเผาไหม้มีการใช้งานกันอย่างกว้างขวาง สำหรับวัสดุขั้นสูงและกระบวนการผลิตเพื่อการประหยัดพลังงาน ในปัจจุบันการควบคุมความเร็วของการจุดระเบิด อุณหภูมิ สัดส่วน และโครงสร้างของผลผลิตทำได้โดยการประยุกต์แนวคิดแผนใหม่ของทฤษฎีการเผาไหม้และโครงสร้างจุลนาโนสตรัมพื้นภาค ของปฏิกิริยาเคมี ซึ่งสามารถอธิบายกระบวนการทั่วไปของการเผาไหม้ ได้ดังรูปที่ 2.1



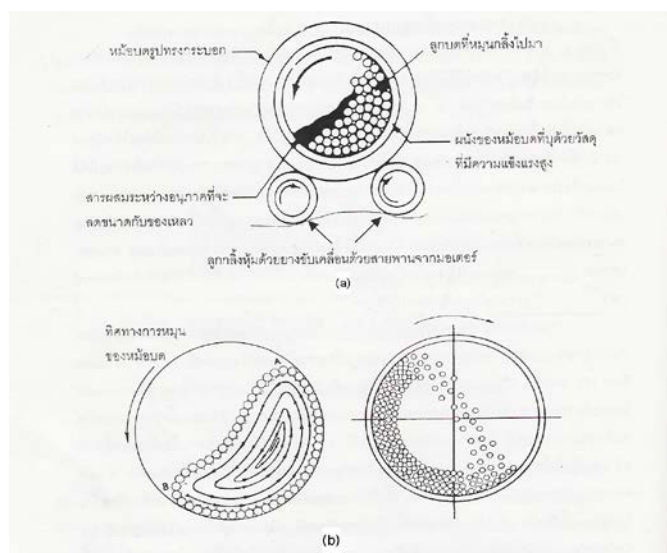
ภาพที่ 2.1 การเปลี่ยนแปลงของกระบวนการการเผาไหม้

ช่วงที่หนึ่ง เป็นช่วงเริ่มต้นของปฏิกิริยา ช่วงที่สอง เป็นช่วงก่อนที่จะเกิดปฏิกิริยา ซึ่งช่วงนี้ จะยังไม่มีปฏิกิริยาเกิดขึ้น แต่จะมีการถ่ายเทความร้อนเพิ่มมากขึ้น ช่วงที่สาม เป็นช่วงที่มีความสำคัญ ต่อโครงสร้างของวัสดุ โดยจะมีการปลดปล่อยพลังงานความร้อนออกมาเมื่อเกิด การจุลระเบิด และความร้อนที่ปลดปล่อยออกมานี้จะแพร่ไปสู่ช่วงต้นของช่วงที่สี่ คือ ช่วงการ เปลี่ยนแปลงทางเคมี (chemical conversion) ส่วนที่กว้างที่สุดของช่วงนี้ คือ ส่วนที่มีการ เปลี่ยนแปลงเฟสและโครงสร้างของวัสดุ ซึ่งขั้นตอนนี้จะเป็นตัวกำหนดโครงสร้างสุดท้ายและมีบทบาท สำคัญต่อสมบัติของวัสดุ ในช่วงที่ห้าของกระบวนการ เป็นช่วงที่วัสดุเกิดการเย็นตัว และในช่วงนี้อาจ มีผลกระทบต่อโครงสร้างของวัสดุ ถ้าการเย็นตัวเกิดขึ้นอย่างช้าๆจะทำให้ได้โครงสร้างของวัสดุที่ สมดุล ดังนั้นในกระบวนการเผาไหม้ อัตราการให้ความร้อนจะเป็นตัวกำหนดรูปแบบของการ ปลดปล่อยความร้อนและถ่ายเทความร้อนไปสู่ช่วงการเปลี่ยนแปลงทางเคมี ส่วนคุณลักษณะของวัสดุ ที่ได้จะขึ้นอยู่กับเฟส โครงสร้าง เหนือ และอัตราการเย็นตัวของวัสดุ

2.2 การบดย่อยด้วยลูกบอล (Ball milling)

เป็นกระบวนการบดย่อยอนุภาคของวัสดุดิบที่อาศัยการหมุนหม้อบด ซึ่งเป็นแท่งกลวง ทรงกระบอกที่มีฝาปิด-เปิดได้อยู่ที่ปลายด้านหนึ่ง ในแนวนอน หม้อบดส่วนใหญ่ที่นิยมใช้งานกันใน ระดับห้องปฏิบัติการ มักจะทำด้วยกระเบื้องพลาสติกแบบง่าย ๆ ที่มาสารถก้าจัดเศษพลาสติกที่ ปนเปื้อนมากับการบดย่อยได้ด้วยการเผาที่อุณหภูมิต่ำ หรือในบางกรณีก็จะใช้หม้อบดเซรามิกที่ทำ ด้วยพอร์ซเลน

ก่อนที่จะทำการหมุนหม้อบดจะต้องมีการใส่วัตถุดิบที่ต้องการจะลดขนาด หรือที่เรียกกัน ว่า ประจุ (charge) พร้อมกับลูกบอล (ball) หรือลูกบด (grinding media) และสารเติมแต่งอื่น ๆ เช่น สารเจือ หรือสารช่วยหล่อลื่น เป็นต้น ลงไปในปริมาณที่เหมาะสมกับขนาดของหม้อบดโดย จะต้องพยายามปรับอัตราส่วนขององค์ประกอบเหล่านี้ในหม้อบด ให้ระบบทั้งชุดสามารถเกิด พฤติกรรมการบดย่อย กล่าวคือ ลูกบดจะต้องมีการเคลื่อนที่คล้าย ๆ กับตัวอักษร D โดยมีการ เคลื่อนที่ไล่เลียงกันจากตำแหน่ง B ขึ้นไปจนถึงตำแหน่ง A แล้วตกลงมากระแทกกับวัสดุด้านล่าง จากนั้นก็มีการหมุนเบียดเสียดกัน และมีการเลื่อนไหลเป็นวัฏจักรเช่นนี้เรื่อยไป ทำให้อนุภาคของ วัตถุดิบมีขนาดลดลง เนื่องจากถูกกระแทกด้วยลูกบด ถูกขัดสีระหว่างลูกบด และระหว่างลูกบดกับ ผนังของหม้อบด ในขณะที่พฤติกรรมต่าง ๆ เหล่านี้สามารถช่วยทำให้ขนาดของอนุภาคลดลง การเกิดสิ่งเจือปนก็อาจจะเพิ่มขึ้นในขั้นตอนเหล่านี้เช่นกันไม่ว่าจะเป็นชิ้นส่วนของลูกบด หรือผนังของ หม้อบดที่สึกกร่อนหลุดปะปนเข้ามาด้วย



ภาพ 2.2 (a) ภาพตัดขวางแสดงองค์ประกอบหลักของการบดย่อยด้วยลูกบอล (ball-milling)
(b) แสดงลักษณะพฤติกรรมของการบดย่อยแบบเลื่อนหล่นกันไป (cascading)

2.3 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope)

เนื่องจากกล้องจุลทรรศน์เลนส์ประกอบทั้งแบบใช้แสงธรรมดาและใช้รังสีแบบอื่น ๆ มีข้อจำกัดในการขยายภาพ เพราะกำลังขยายและกำลังแยกนอกจากจะขึ้นกับลักษณะของเลนส์แล้วยังขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นของแสงที่ใช้อีกด้วย กล้องจุลทรรศน์เลนส์ประกอบสามารถมีกำลังแยกขณะขณะส่องดูวัตถุขนาดเล็กสุดได้เพียง 0.2 ไมโครเมตรเท่านั้น ส่วนกำลังขยายรวมก็ไม่เกิน 2,000 เท่า จึงยังมองเห็นวัตถุภายในเซลล์ที่มีขนาดเล็กเป็นจุด ไม่สามารถแยกรายละเอียดได้ว่าส่วนนั้นเป็นอะไร ต่อมาได้มีการนำเอาอิเล็กตรอนซึ่งมีช่วงคลื่นสั้นกว่าคลื่นของแสงมาก เข้ามาใช้ในการกล้องจุลทรรศน์แทนคลื่นแสง และใช้เลนส์แม่เหล็กแทนเลนส์กระจก เรียกกล้องดังกล่าวว่า กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอน

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเป็นกล้องที่ใช้ศึกษาโครงสร้างหรือองค์ประกอบพื้นผิวของเซลล์เนื้อเยื่อและวัตถุได้ โดยทำให้องค์ประกอบต่าง ๆ ของเซลล์หรือวัตถุให้มีความเข้มของเงาแตกต่างกัน

หลักการเกิดภาพของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

อิเล็กตรอนปฐมภูมิ (primary electron) จากแหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน (electron gun) จะถูกเร่งด้วยศักย์ไฟฟ้าสูง (1,000 ถึง 3,000 อิเล็กตรอนโวลต์ หรือมากกว่า) ที่สามารถปรับค่าได้ จากนั้นจึงถูกดึงดูดลงสู่เบี่ยงล่างโดยแผ่นแอโนด (anode plate) ภายใต้ภาวะความดันสุญญากาศ $10^{-5} - 10^{-7}$ ทอร์ และมีชุดคอนเดนเซอร์เลนส์ที่จะปรับลำอิเล็กตรอน (electron beam) ให้มีขนาดเล็กลงเพื่อเป็นการเพิ่มความเข้มของลำอิเล็กตรอน จากนั้นลำอิเล็กตรอนจะวิ่งลงสู่เบี่ยงล่างผ่านเลนส์วัตถุ ซึ่งทำหน้าที่ในการปรับลำอิเล็กตรอนปฐมภูมิให้มีจุดโฟกัสบนผิวตัวอย่างพอดี และลำอิเล็กตรอนที่ตกกระทบผิววัตถุ หรือตัวอย่างจะมีขนาดในช่วง 5 ถึง 200 นาโนเมตร โดยมีชุดหลอดควบคุมการส่องกราด (scan coil) ของลำอิเล็กตรอนทำหน้าที่ในการควบคุมทิศทางการ

เคลื่อนที่ของลำอิเล็กตรอนบนผิวตัวอย่าง ซึ่งผู้ใช้สามารถกำหนดได้โดยผ่านทางชุดควบคุม (control unit) ขณะที่ลำอิเล็กตรอนกระทบผิวตัวอย่างจะเกิดอันตรกิริยา (interaction) ระหว่างอิเล็กตรอนปฐมภูมิกับอะตอมธาตุในวัตถุหรือตัวอย่างและเกิดการถ่ายโอนพลังงานที่ขึ้นความลึกจากพื้นผิวที่ระดับต่าง ๆ ทำให้เกิดการปลดปล่อยสัญญาณอิเล็กตรอน (electron signal) ชนิดต่าง ๆ ออกมา ซึ่งใช้ประโยชน์ในการศึกษาลักษณะผิวของตัวอย่างและวิเคราะห์ธาตุที่มีในตัวอย่างได้ตามลักษณะสัญญาณภาพที่ได้จากสัญญาณอิเล็กตรอนชนิดต่าง ๆ ที่เกิดขึ้น คือ

1. สัญญาณภาพจากอิเล็กตรอนทุติยภูมิ (Secondary Electron Image, SEI) หรือเป็นอิเล็กตรอนพลังงานต่ำ 3-5 อิเล็กตรอนโวลต์ เกิดที่พื้นผิวระดับไมลิก (ไม่เกิน 10 นาโนเมตร) โดยเกิดกับธาตุที่มีแรงยึดเหนี่ยวอิเล็กตรอนที่ผิวต่ำ
2. สัญญาณภาพจากอิเล็กตรอนกระเจิงกลับ (Backscattered Electron Image, BEI) หรือเป็นกลุ่มอิเล็กตรอนที่สูญเสียพลังงานให้กับอะตอมในชิ้นงานเพียงบางส่วนและกระเจิงกลับออกมา ซึ่งมีพลังงานสูงกว่าอิเล็กตรอนทุติยภูมิ เกิดที่พื้นผิวระดับลึกกว่า 10 นาโนเมตร โดยเกิดได้ดีกับธาตุที่มีเลขอะตอมสูง
3. สัญญาณภาพจากรังสีเอกซ์ (X-Ray Image, XRI) ชนิดที่เป็นรังสีเอกซ์เฉพาะตัวเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่เกิดจากอิเล็กตรอนในระดับชั้นโคจรต่าง ๆ (K, L, M,...) ถูกกระตุ้น (excited) หรือได้รับพลังงานมากพอจนหลุดออกจากวงโคจรรอบมา ทำให้อะตอมต้องรักษาสสมดุลของโครงสร้างรวมภายในอะตอม โดยการดึงอิเล็กตรอนจากชั้นวงโคจรถัดไปเข้ามาแทนที่และต้องลดพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อทำให้ตัวเองมีพลังงานเท่ากับชั้นโคจรที่แทนที่ ซึ่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้านี้มีความยาวคลื่นเฉพาะในแต่ละธาตุตามระดับพลังงานของตัวอย่างได้ทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพ

สัญญาณภาพจากอิเล็กตรอนเหล่านี้จะถูกเปลี่ยนมาเป็น สัญญาณภาพปรากฏบนจอรับภาพได้โดยต้องเลือกใช้อุปกรณ์ในการวัดให้เหมาะสมกับสัญญาณแต่ละชนิด โดยทั่วไปสัญญาณอิเล็กตรอนทุติยภูมิใช้ตัวตรวจวัดชนิดพลาสติกเรืองแสง (Plastic scintillation detector) สัญญาณภาพจากอิเล็กตรอนกระเจิงกลับจะใช้ตัวตรวจวัดที่เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดรอยต่อพีเอ็น (PN junction detector) หรือตัวตรวจวัดชนิดโรบินสัน (Robinson detector) และในสัญญาณภาพจากรังสีเอกซ์จะใช้หัววัดรังสีชนิดสารกึ่งตัวนำประเภทซิลิคอนลิเทียม (lithium drifted silicon, Si(Li)) ทำงานร่วมกับอุปกรณ์ในการวิเคราะห์พลังงานของรังสีเอกซ์เฉพาะตัว ซึ่งอุปกรณ์วิเคราะห์นั้นก็มีทั้งแบบช่องเดี่ยว (Single Channel Analyzer, SCA) และอุปกรณ์วิเคราะห์แบบหลายช่อง (Multi Channel Analyzer, MCA)

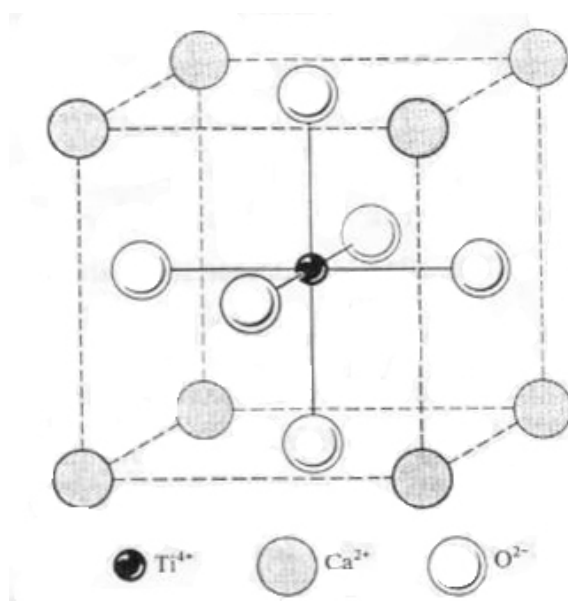
2.4 โครงสร้างเพอโรฟสไกต์ (perovskite structure)

โครงสร้างแบบเพอโรฟสไกต์ (Perovskite Structure) โครงสร้างออกไซด์ต่าง ๆ ที่กล่าวมาแล้ว พื้นฐานส่วนใหญ่ เกิดจากอนุมูลลบอัดตัวกันแน่นหนาแต่เพอโรฟสไกต์ (CaTiO_3) มีโครงสร้างแตกต่างออกไปคือ อนุมูลบวกสามารถจัดเรียงตัว อัดกันแน่นหนา ร่วมกันไปกับอนุมูลของออกซิเจน คือ Ca^{+2} และ O^{-2} อยู่กันเป็นโครงสร้างที่หนาแน่น และมี Ti^{+4} ซึ่งมีขนาดเล็ก แต่มีประจุมากแทรกอยู่ในช่องว่างออกตะฮีดรอล O^{-2} แต่ละตัวจะมี Ca^{+2} 4 ตัวและ O^{-2} 8 ตัวล้อมอยู่รอบ

Ca^{+2} แต่ละตัวจะมี O^{-2} 12 ตัวล้อมรอบที่ศูนย์กลางของ FCC จะมี Ti^{+4} บรรจุอยู่และมี O^{-2} 6 ตัวเรียงตัวอยู่โดยรอบในรูปออกตะฮีดรอล

ตามกฎของ Pauling ความแข็งแรงของพันธะระหว่าง Ti^{+4} มีค่า $4/6$ หรือ $2/3$, $\text{Ca}^{+2} = 2/12 = 1/6$ O^{-2} แต่ละตัวจะจับกับ 2 Ti^{+4} และ 4 Ca^{+2} เพราะฉะนั้นความแข็งแรงของพันธะ $2(2/3) + 4(1/6) = 2$ ซึ่งเท่ากับวาเลนซ์ของ O^{2-}

สารประกอบที่มีโครงสร้างเช่นนี้ ได้แก่ CaTiO_3 , BaTiO_3 , SrTiO_3 , SrSnO_3 , CaZrO_3 , KNbO_3 , LaAlO_3 , YAlO_3 , KMgF_3 และ NaNbO_3



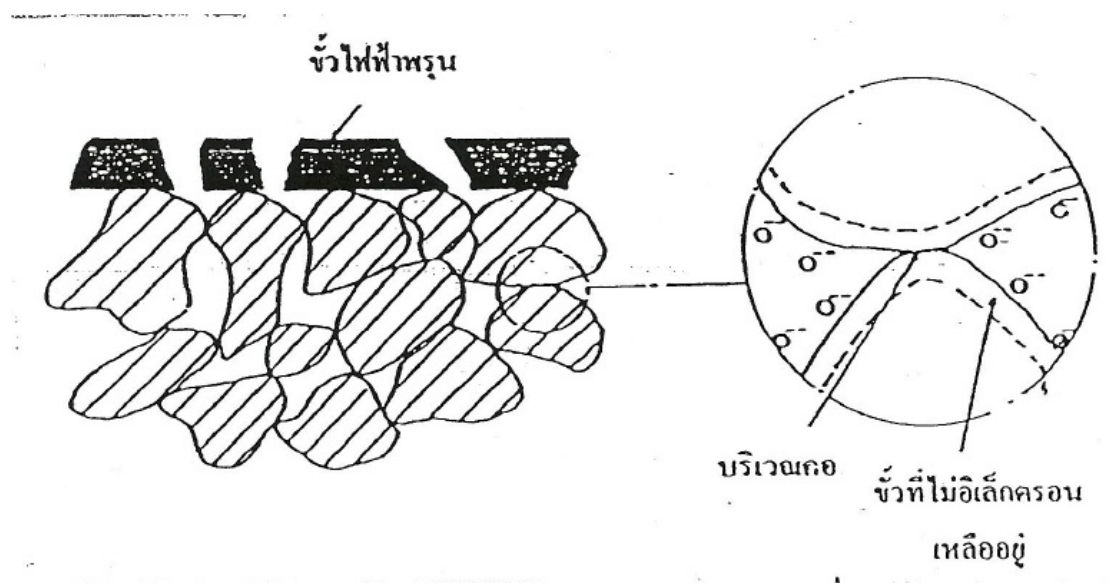
ภาพ 2.3 แสดง Perovskite Structure (Idealized)

2.5 อุปกรณ์ตรวจจักษ์ก๊าซ (Gas Sensors)

สารออกไซด์กึ่งตัวนำจำนวนมากจะแสดงลักษณะการเปลี่ยนแปลงของสภาพต้านทานไฟฟ้าในสถานะที่มีความเข้มข้นเพียงเล็กน้อยของก๊าซบางประเภท ยกตัวอย่างเช่น สารชนิดเอ็นของ SnO_2 , ZnO , $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ และ Ag_2O ซึ่งถูกใช้ประโยชน์อย่างมากในการเป็นตัวตรวจจักษ์ก๊าซ นอกจากนี้เนื่องจากสารเหล่านี้มีความไวต่อไอน้ำ ซึ่งต้องถูกใช้งานที่อุณหภูมิสูงกว่า 350 องศาเซลเซียส ซึ่งการดูดซับไอน้ำที่น้อยมาก

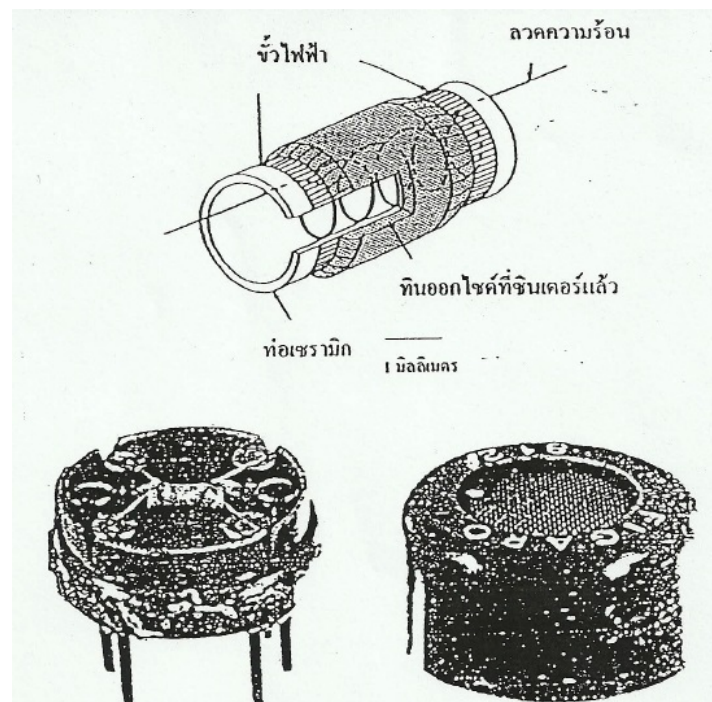
พฤติกรรมการตรวจวัดของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นดูเหมือนจะถูกควบคุมโดยการดูดซับออกซิเจนที่บริเวณคอ (neck region) ระหว่างเกรน ดังแสดงในภาพ 2.9 เมื่อการดูดซับเกิดขึ้นประจุ

อากาศที่เป็นบวกก็จะเกิดขึ้นในออกไซด์เมื่ออิเล็กตรอนเคลื่อนย้ายจากแถบนำไฟฟ้าหรือจากสารเจือตัวให้ไปยังออกซิเจนที่ถูกดูดซับไว้ ซึ่งส่งผลให้เกิดประจุลบจำนวนที่เท่ากันสะสมบนพื้นผิว สนามไฟฟ้าสถิตที่เกิดขึ้นในบริเวณพื้นผิวของตัวดูดซับจะต่อต้านกระบวนการย้ายประจุนี้ ซึ่งทำให้สุดท้ายแล้วกระบวนการจะหยุดลง ซึ่งถูกประมาณการว่าแรงไฟฟ้าสถิตจะมีอิทธิพลต่อกระบวนการย้ายประจุในชั้นผิวที่หนาประมาณ 1 ไมโครเมตร ในขณะที่ลึกลงกว่านั้นแรงนี้จะไม่มีความสำคัญต่อการแจกแจงของอิเล็กตรอนในออกไซด์ ถ้าก๊าซรีดิวส์ถูกดูดซับ ไอออน O^{2-} จะถูกย้ายจากผิวส่งผลให้เกิดการปลดปล่อยอิเล็กตรอนที่นำไปสู่การนำไฟฟ้าได้ ลักษณะดังกล่าวเป็นสภาวะสมดุลพลวัตซึ่งออกซิเจนจากสิ่งแวดล้อมจะเข้ามาแทนที่ไอออนที่สูญเสียไปและความเข้มข้นของอิเล็กตรอนในบริเวณพื้นผิวจะสัมพันธ์กับความเข้มข้นของก๊าซรีดิวส์

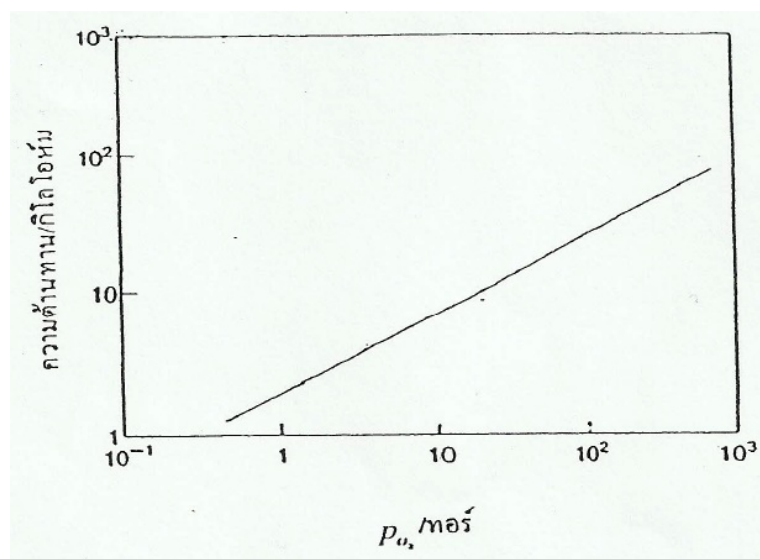


ภาพ 2.4 (ก) แสดง SnO_2 แบบพรุนที่มีขี้ไฟฟ้าแบบพรุนด้วย และ (ข) แสดงรายละเอียดบริเวณคอที่อยู่ระหว่างเกรนซึ่งแสดงอิทธิพลของออกซิเจนที่ถูกดูดซับไว้

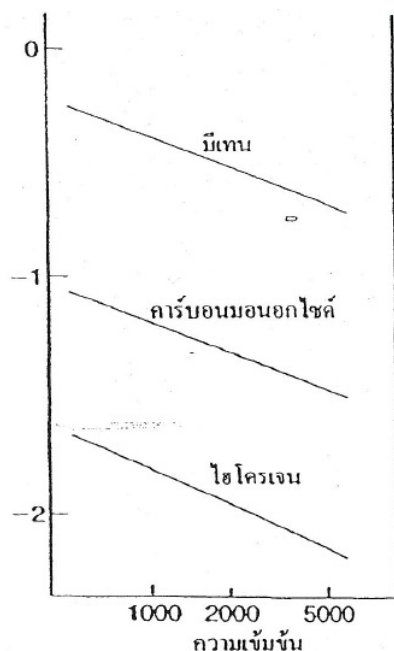
อุปกรณ์ตรวจจับก๊าซทางการค้าซึ่งทำจาก SnO_2 ประกอบด้วยชั้นบางของเซรามิก SnO_2 ซึ่งพรุนติดอยู่ที่อะลูมินาขนาดเล็ก (เส้นผ่านศูนย์กลางภายนอก 1.0 มิลลิเมตร $\times$ เส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 0.5 มิลลิเมตร $\times$ ยาว 4 มิลลิเมตร) ขี้ไฟฟ้าทั้งสองชั้นถูกวางลงในลักษณะที่เป็นแถบเพื่อให้เกิดผิวสัมผัสกับ SnO_2 ขดลวดความร้อนภายในท่อจะถูกใช้ในการเพิ่มอุณหภูมิของชั้น SnO_2 ให้อยู่ในช่วง 300-400 องศาเซลเซียส นอกจาก SnO_2 แล้วสารออกไซด์กึ่งตัวนำอื่นๆ เช่น $\gamma-Fe_2O_3$, TiO_2 และ ZnO ก็สามารถนำมาใช้ในอุปกรณ์ตรวจจับก๊าซโดยใช้หลักการเดียวกันกับที่ได้อธิบายมาแล้วข้างต้น



ภาพ 2.5 อุปกรณ์ตรวจจับก๊าซประเภทออกไซด์ที่มีการผลิตทางการค้า



ภาพ 2.6 ผลของ p_{O_2} ต่อความต้านทานของอุปกรณ์ตรวจจับก๊าซที่ผลิตจาก SnO_2



ภาพ 2.7 ความต้านทานของอุปกรณ์ตรวจจับก๊าซที่ผลิตจาก SnO_2 ที่ 400 องศาเซลเซียส ใน ส่วนผสมของก๊าซในอากาศเมื่อเปรียบเทียบกับความต้านทานในอากาศ

ถึงแม้ว่าอุปกรณ์ตรวจจับก๊าซจะดูง่ายในแง่ของหลักการสร้างและหลักการทำงาน แต่ก็คือความต้องการในการพัฒนาอีกหลายจุด เช่น ความสามารถในการเลือกกระหว่างก๊าซไวไฟธรรมชาติ เช่น มีเทน และไฮโดรเจน และก๊าซพิษอย่าง CO และ H_2S การเพิ่มเสถียรภาพระยะยาวของการทำงาน การเลือกประเภทของขั้วไฟฟ้าต้องอาศัยการพิจารณาเป็นพิเศษ โดยที่ขั้วไฟฟ้าจะต้องพอและเสถียรและยังต้องยึดติดกับเซรามิกที่พูนและสร้างสัมผัสไอห้มมิก ทั้งนี้เนื่องจากปรากฏการณ์ที่ไม่เป็นไอห้มมิกที่บริเวณรอยต่อระหว่างเซรามิกและขั้วไฟฟ้าอาจลดการตอบสนองของอุปกรณ์ตรวจจับ

การประยุกต์ใช้งานของอุปกรณ์ตรวจจับก๊าซนั้นมีหลากหลาย ทั้งที่ใช้อย่างแพร่หลายและหรือที่มีศักยภาพในการพัฒนา การตรวจวัด CO ถือว่ามีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งเนื่องจากความเป็นพิษอย่างรุนแรงของ CO เองและยังเป็นก๊าซซึ่งถูกปลดปล่อยออกมาในช่วงเริ่มต้นของไฟไหม้ ดังนั้นการตรวจวัด CO สามารถเป็นสัญญาณเตือนไฟไหม้ในพื้นที่ที่มีคอมพิวเตอร์ โทรศัพท์ และสายไฟที่ร้อนในอุปกรณ์ไฟฟ้าโดยทั่วไป

ในประเทศญี่ปุ่นมีการบังคับให้ติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับก๊าซในทุกบ้านเพื่อเตือนการรั่วของก๊าซซึ่งนำไปสู่การระเบิดได้ ในประเทศสหรัฐอเมริกาได้เริ่มมีการใช้อุปกรณ์ตรวจจับก๊าซมากขึ้น โดยเฉพาะเมื่อมีถังก๊าซถูกเก็บไว้ในเรือ อุปกรณ์ตรวจจับก๊าซอาจใช้ในการควบคุมพัดลมระบายอากาศโดยการตอบสนองต่อควันในบริเวณทำอาหาร ที่จอดรถ ห้องปฏิบัติการหรือที่อื่นๆ ในทางอุตสาหกรรม อุปกรณ์ตรวจจับก๊าซสามารถใช้ติดตามความเข้มข้นของก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ แอมโมเนีย ไอของสารทำลายลาย ก๊าซไฮโดรคาร์บอน และอื่นๆได้และเนื่องจากทางภาคอุตสาหกรรมได้หันมาให้ความสนใจกับสิ่งแวดล้อมมากขึ้น รวมทั้งเรื่องของความปลอดภัยในกระบวนการอุตสาหกรรม จะทำให้การใช้งานของอุปกรณ์ตรวจจับก๊าซมีความต้องการมากขึ้นเป็นทวีคูณ

2.6 เครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffractometer)

เป็นเครื่องมือวิเคราะห์วัสดุพื้นฐานแบบไม่ทำลาย (Non-destructive analysis) เพื่อศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างผลึก การจัดเรียงตัวของอะตอมในโมเลกุลของสารประกอบต่างๆ ทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณ โดยอาศัยหลักการเลี้ยวเบนและการกระเจิงของรังสีเอกซ์และความรู้เกี่ยวกับวิหาระบบโครงสร้างผลึก

รังสีเอกซ์เป็นคลื่นแม่เหล็กแม่เหล็กไฟฟ้าซึ่งมีอำนาจการทะลุทะลวงสูง มีความยาวคลื่นสั้นอยู่ในช่วงระหว่าง 0.1–100 อังสตรอม การเกิดอันตรกิริยาของรังสีเอกซ์กับสสารนั้นก่อให้เกิดปรากฏการณ์ต่างๆ โดยปรากฏการณ์ดังกล่าวล้วนเป็นลักษณะเฉพาะของสารแต่ละชนิด ซึ่งหลักการดังกล่าวเหล่านี้เราจึงสามารถนำมาใช้วิเคราะห์สารได้ดังนี้

1. ใช้วิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุต่าง ๆ ในสารทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ
2. ใช้ศึกษาหาโครงสร้างอิเล็กทรอนิกส์ ซึ่งสามารถให้ข้อมูลเกี่ยวกับการเกิดพันธะเคมี
3. ใช้ศึกษาเกี่ยวกับโครงสร้างผลึก หรือโมเลกุลของสารด้วยการใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์

รังสีเอกซ์มีทั้งที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติจากการสลายตัวของนิวเคลียสธาตุกัมมันตรังสีและที่มนุษย์ผลิตขึ้นจากกลไกทางอิเล็กทรอนิกส์ กล่าวคือ เมื่ออะตอมได้รับการกระตุ้นด้วยอิเล็กตรอนที่มีพลังงานสูงวิ่งชนอะตอม ทำให้เกิดอันตรกิริยา ระดับพลังงานของอิเล็กตรอนชั้นวงโคจรต่าง ๆ ของอะตอมมีค่าสูงขึ้นเกิดภาวะเข้าสู่ปกติ โดยมวลของอะตอมไม่เปลี่ยนแปลงปรากฏการณ์ดังกล่าวเป็นกระบวนการปลดปล่อยพลังงานส่วนเกิน ในรูปคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าหรือโฟตอนออกมาในลักษณะพัลส์ (pulse) จากอะตอมทุกครั้งที่ได้รับการกระตุ้น คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ปลดปล่อยออกมานี้เรียกว่า “รังสีเอกซ์” ซึ่งแบ่งได้ 2 ชนิด ตามกระบวนการของการปลดปล่อยพลังงานส่วนเกินจากอะตอมบริเวณชั้นโคจรอิเล็กตรอน คือ

รังสีเอกซ์เฉพาะตัว มีลักษณะเป็นรังสีเอกซ์ที่มีพลังงานเดียว (monochromatic X-ray) เพราะเกิดจากการลดระดับพลังงานที่แน่นอน ปรากฏการณ์ของการเกิดรังสีเอกซ์ชนิดนี้เกิดขึ้นเมื่ออิเล็กตรอนหรืออนุภาคที่มีประจุชนิดอื่นๆ หรือโฟตอนพลังงานสูงเคลื่อนที่เข้าชนอิเล็กตรอนในวงโคจรชั้นในของอะตอม แล้วถ่ายโอนพลังงานให้อิเล็กตรอน อิเล็กตรอนชั้นในวงโคจรได้รับพลังงานเพิ่มสูงขึ้นกว่าพลังงานยึดเหนี่ยวของชั้นวงโคจร ทำให้หลุดจากวงโคจรเกิดที่ว่างของอิเล็กตรอนในชั้นวงโคจรชั้นใน ทำให้อะตอมอยู่ในภาวะที่ถูกกระตุ้นและจะลดระดับพลังงานลงสู่ภาวะปกติในช่วงระยะเวลาอันสั้นโดยอิเล็กตรอนของวงโคจรในชั้นถัดไปจะลดระดับพลังงานลงมาให้เท่ากับพลังงานยึดเหนี่ยวของวงโคจรชั้นในด้วยการปลดปล่อยพลังงานส่วนเกินออกมาในรูปรังสีเอกซ์ แล้วเข้ามาแทนที่ช่องว่างของวงโคจรชั้นใน พลังงานส่วนเกินนี้จะมีค่าเท่ากับความต่างระดับพลังงานยึดเหนี่ยวเฉพาะวงโคจรของอิเล็กตรอน และชนิดของธาตุนั้นๆ จึงมีพลังงานเฉพาะค่า

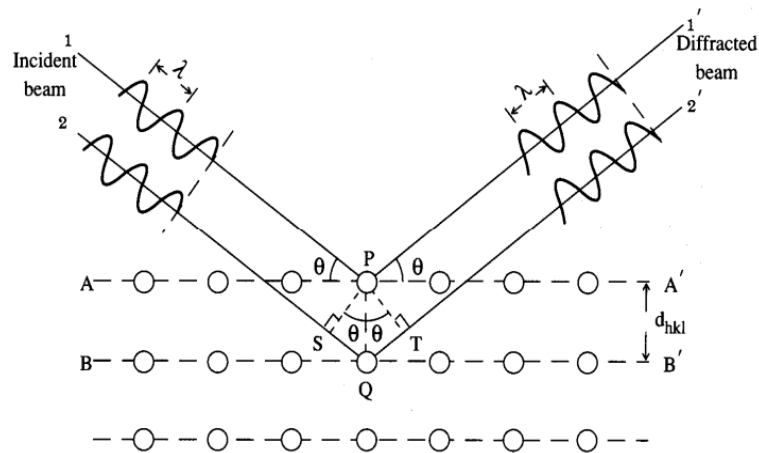
รังสีแบบต่อเนื่องมีลักษณะเป็นรังสีเอกซ์ที่มีพลังงานต่อเนื่องกระจายจากค่าต่ำสุดถึงสูงสุด ปรากฏการณ์ของการเกิดรังสีเอกซ์ต่อเนื่องเกิดจากอิเล็กตรอนพลังงานสูงเคลื่อนเข้าสู่สนามคูลอมบ์ (coulomb field) บริเวณใกล้นิวเคลียส ความหนาแน่นของสนามไฟฟ้าสถิตย์บริเวณดังกล่าวทำให้อิเล็กตรอนสูญเสียพลังงานอย่างรวดเร็วและปล่อยรังสีเอกซ์ออกมา

ก่อนที่อิเล็กตรอนปฐมภูมิจะทำอันตรกิริยากับสนามไฟฟ้าบริเวณใกล้นิวเคลียสที่เกิดจากประจุของอะตอม อิเล็กตรอนจะสูญเสียพลังงานบางส่วน อันเนื่องจากการกระเจิงของอิเล็กตรอน ดังนั้นพลังงานของรังสีเอกซ์ที่เกิดขึ้น จึงมีค่ากระจายต่อเนื่องจากพลังงานต่ำสุดถึงสูงสุดของ

อิเล็กตรอนปฐมภูมิ ถ้าอิเล็กตรอนปฐมภูมิมีพลังงานสูงพอที่จะกระตุ้นให้อิเล็กตรอนในวงโคจรชั้นในของอะตอมหลุดออกได้ก็จะเกิดรังสีเอกซ์เฉพาะค่าปะปนซ้อนอยู่กับสเปกตรัมของรังสีเอกซ์ต่อเนื่องด้วยเสมอ

การปลดปล่อยรังสีเอกซ์ออกมาที่ความยาวคลื่นใดๆ ขึ้นอยู่กับระดับพลังงานที่คายออกมา ซึ่งความยาวคลื่นที่สั้นที่สุดเกิดจากการที่อิเล็กตรอนคายพลังงานที่ได้รับมาทั้งหมดจากแหล่งกำเนิดโดยไม่ขึ้นกับชนิดของเป้าหมายที่ใช้

เมื่อรังสีเอกซ์ตกกระทบผิวหน้าของผลึกโดยทำมุม θ บางส่วนของรังสีเอกซ์จะเกิดการกระเจิงด้วยชั้นของอะตอมที่ผิวหน้า อีกส่วนหนึ่งของลำรังสีเอกซ์จะผ่านไปยังชั้นที่ 2 ของอะตอม ซึ่งบางส่วนจะกระเจิงและส่วนที่เหลือก็จะผ่านเข้าไปยังชั้นที่ 3 ของอะตอมดังภาพ 2.8



ภาพ 2.8 แบบจำลองสำหรับการพิสูจน์กฎของแบรกก์

บทที่ 3

อุปกรณ์และวิธีการทดลอง

3.1 สารเคมีที่ใช้ในการทดลอง

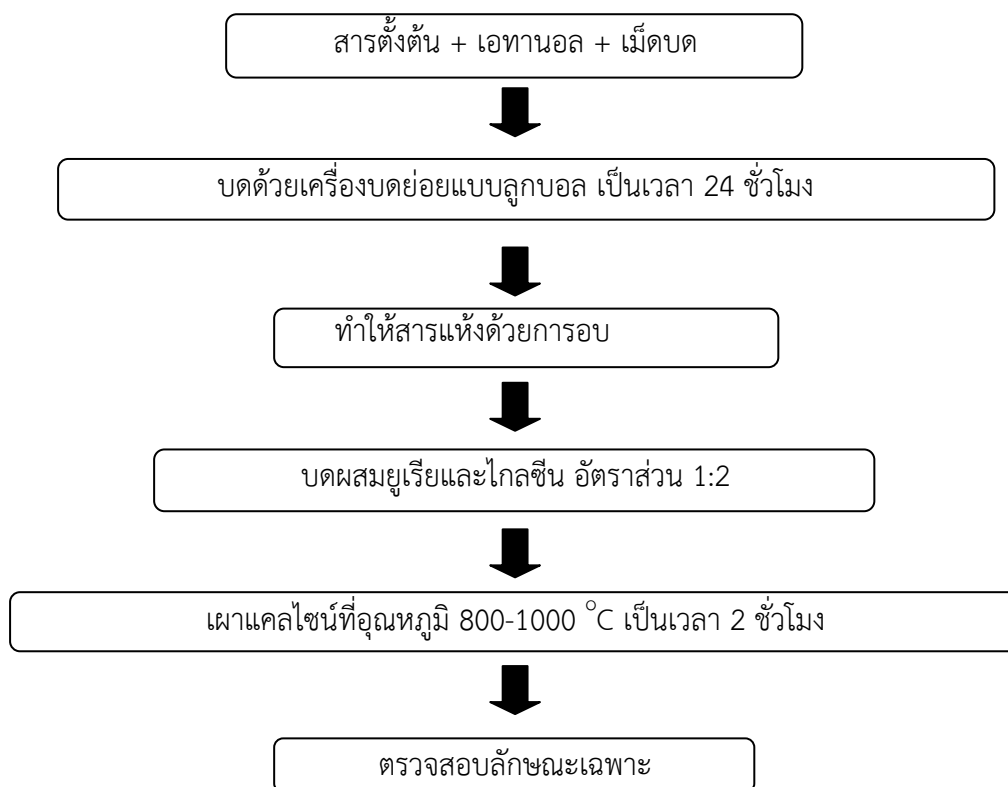
- 3.1.1 แลนทานัมออกไซด์ (La_2O_3) ความบริสุทธิ์ 99%
- 3.1.2 แมกนีเซียมคาร์บอเนต (MgCO_3) ความบริสุทธิ์ 99%
- 3.1.3 ไอรอน (III) ออกไซด์ (Fe_2O_3) ความบริสุทธิ์ 99%
- 3.1.4 สารละลายเอทานอล (Ethanol absolute) ความบริสุทธิ์ 99.7%

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมสาร

- 3.2.1 เครื่องชั่งสารแบบละเอียด
- 3.2.2 กระดาษฟอยล์ (Foil)
- 3.2.3 ช้อนตักสาร
- 3.2.4 กระจกพลาสติกที่ใช้ผสมสาร ทำด้วยพอลิเมอร์มีฝา บริสุทธิ์ 99.7%
- 3.2.5 ลูกบิด (ZrO_2) รูปทรงกลมที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 5 มิลลิเมตร
- 3.2.6 เทปกาวยพลาสติก
- 3.2.7 เครื่องบดสารแบบบดย่อยแบบลูกบอล (Ball milling)
- 3.2.8 ปีกเกอร์ขนาด 1000 ซีซี
- 3.2.9 ตู้อบสาร อุณหภูมิที่สูงสุดที่ใช้ในการอบสาร $130\text{ }^{\circ}\text{C}$
- 3.2.10 ครกหยกบดสารทำด้วย Agate
- 3.2.11 ถ้วย Alumina Crucible พร้อมฝาปิด
- 3.2.12 เตาเผาสาร
- 3.2.13 Hot plate
- 3.2.14 ตะแกรงลวดมีเส้นผ่าศูนย์กลาง เซนติเมตร
- 3.2.15 Magnetic stirrer สำหรับคนสารให้เข้ากัน
- 3.2.16 เครื่องกำเนิดรังสีเอ็กซ์ (X-rays diffractometer)
- 3.2.17 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)
- 3.2.18 ถ้วย Alumina crucible พร้อมฝาปิด

3.3 วิธีการทดลองการเตรียมผงผลึกแลนทานัมแมกนีเซียมเฟอร์ไรต์

- 3.3.1 นำผงผลึกแลนทานัมแมกนีเซียมเฟอร์ไรต์ที่ได้มาใส่ในกระป๋องพลาสติกที่มีลูกบิด (ZrO_2) รูปทรง กลมที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 12.1 มิลลิเมตรใช้จำนวน 300 เม็ด โดยเติมเอทานอลให้ท่วมสาร จากนั้นจึงนำกระป๋องพลาสติกวางบนเครื่องบดย่อยแบบ ลูกบอลเป็นเวลา 24 ชั่วโมง
- 3.3.2 เมื่อครบ 24 ชั่วโมงแล้วเทสารลงบนตะแกรงลวดที่วางอยู่บนปีกเกอร์เพื่อล้างแยกของ ผสมออกจากเม็ดบด แล้วจึงนำไปใส่ในเครื่องไมโครเวฟเพื่อทำการระเหยเอทานอลโดยใช้อุณหภูมิระดับปานกลาง เป็นเวลา 30 นาที หรือจนกว่าสารจะแห้ง
- 3.3.3 นำสารที่แห้งแล้วมาทำการบดโดยใช้ครกหยกบดสารทำด้วย Agate จากนั้นนำผงสารที่ได้มาทำการคัดขนาด (sieving) ด้วยตะแกรงลวด สำหรับร่อนสารเพื่อให้ได้ขนาดอนุภาคที่มีความสม่ำเสมอ
- 3.3.4 นำสาร ในข้อ 3 มาทำการบดผสมกับไกลซีนและยูเรีย โดยใช้อัตราส่วน 1:2 จากนั้นนำผงที่ได้มาทำการคัดขนาดอีกครั้ง
- 3.3.5 นำสารที่ได้ในข้อ 4 มาใส่ในถ้วยอะลูมินา แล้วนำไปเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิต่างๆตั้งแต่ 800-1000 องศาเซลเซียส โดยใช้อัตราการขึ้น-ลงของอุณหภูมิ เป็น 5 องศาเซลเซียส ต่อนาที หลังจากนั้นเผาแช่ที่อุณหภูมิดังกล่าว เป็นเวลา 2 ชั่วโมง
- 3.3.6 หลังจากการเผาแคลไซน์แล้ว นำผงผลึกที่ได้ไปทำการตรวจวิเคราะห์ผลโดยใช้เทคนิค เครื่องกำเนิดรังสีเอกซ์ (X-rays diffractometer) และกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบ ส่องกราด (SEM)



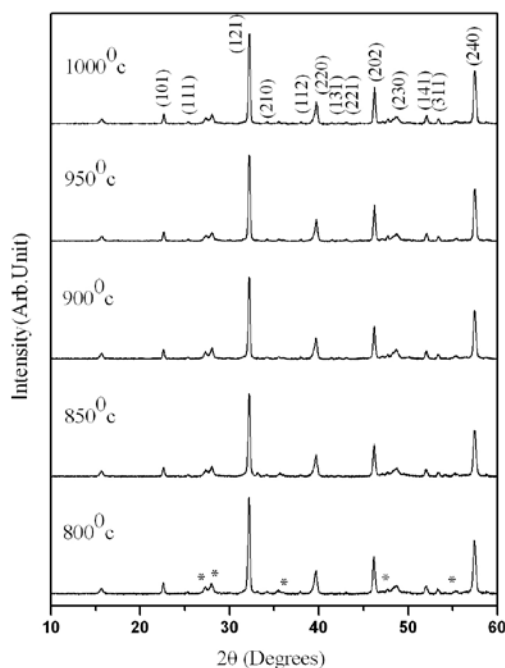
ภาพ 3.1 แผนผังขั้นตอนการเตรียมผงผลึกแลนทานัมแมกนีเซียมเฟอร์ไรต์

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.1 ผลการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ (X-ray diffractometer : XRD) ของผงผลึกแลนทานัมแมกนีเซียมเฟอร์ไรต์ (LMF)

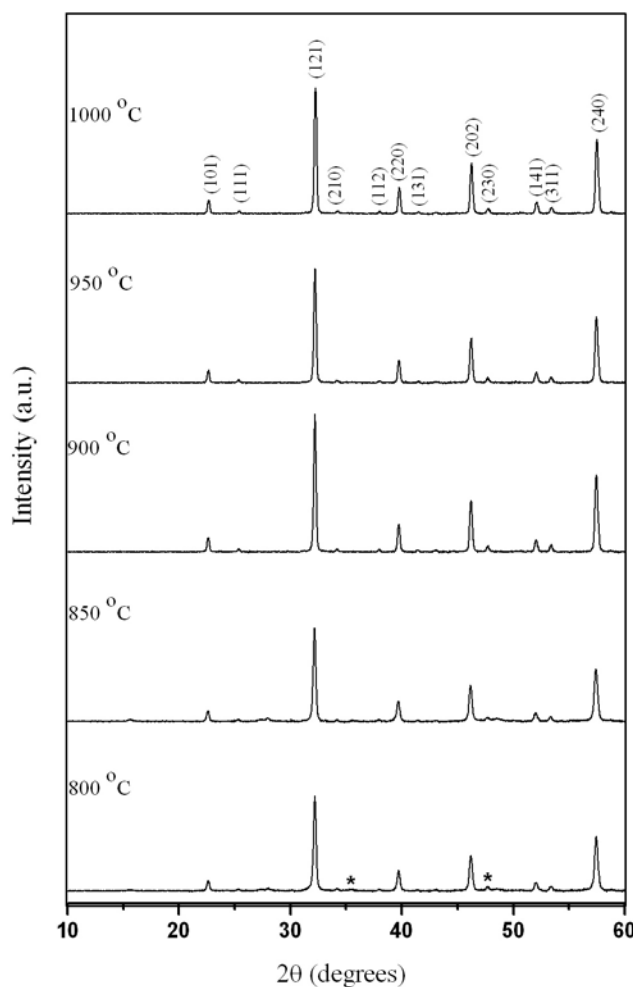
ภาพ 4.1 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของผงผลึก LMF ที่ผสมยูเรียและไกลซีน ในสัดส่วนของสาร 1:2 โดยใช้อุณหภูมิในการแคลไซน์ 800, 850, 900, 950, 1000, 850, 900 และ 1000 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 4.1 พบว่าผงผลึกของ LMF ที่ผสมกับยูเรียสารไม่มีความบริสุทธิ์ โดยที่โครงสร้างของเฟสมีโครงสร้างแบบอโรธอมบิก ที่มีความบริสุทธิ์สูงสุดที่ 79.8% ยังเกิดพีคส่วนเกินของสารตั้งต้น MgCO_3 หลงเหลืออยู่



ภาพ 4.1 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของผงผลึก LMF ผสมกับยูเรียในสัดส่วน 1:2 โดยการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 800-1000 °C (*) MgCO_3

ภาพ 4.2 แสดงรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของผงผลึก LMF ที่ผสมไกลซีน ในสัดส่วนของสาร 1:2 โดยใช้อุณหภูมิในการแคลไซน์ 800, 850, 900, 950 และ 1000 องศาเซลเซียส พบว่าผงผลึกของ LMF ที่ผสมกับไกลซีนที่อุณหภูมิ 900-1000 องศาเซลเซียส มีโครงสร้างแบบอโรธอมบิก

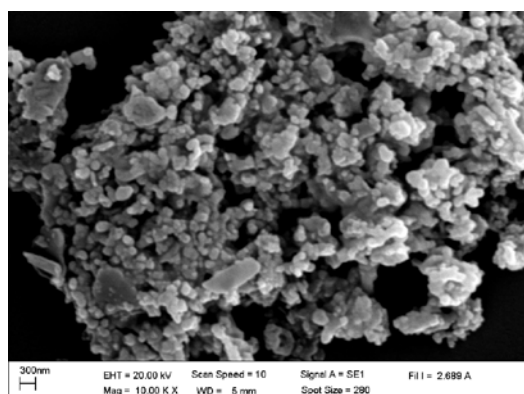
บิก มีเฟสที่บริสุทธิ์สูงสุดที่ 100% และที่ผงผลึกที่ได้จากการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 900 องศาเซลเซียส ยังเป็นโครงสร้างแบบอโรธอมบิกที่ไม่สมบูรณ์เนื่องจาก ยังเกิดฟิคส่วนเกินของสารตั้งต้น คือ MgCO_3 หลงเหลืออยู่



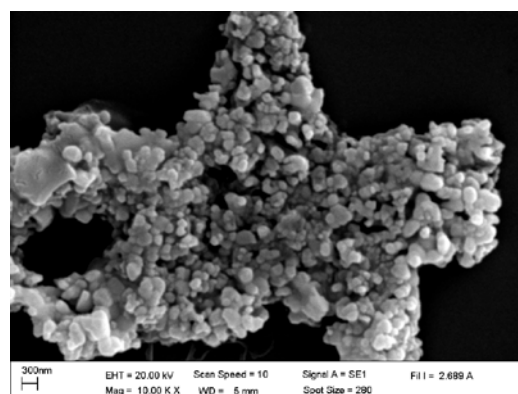
ภาพ 4.2 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของผงผลึก LMF ผสมกับไกลซีนในสัดส่วน 1:2 โดยการเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 800- 1000 °C; (*) MgCO_3

4.2 ผลการวิเคราะห์ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope : SEM) ของผงผลึกแลนทานัมแมกนีเซียมเฟอร์ไรต์ (LMF)

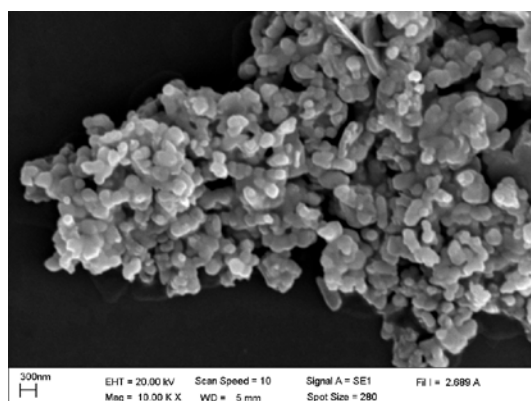
ภาพแสดงรูปถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของผงผลึกแลนทานัมแมกนีเซียมเฟอร์ไรต์ที่มีการผสมไกลซีนเป็นเชื้อเพลิง พบว่าขนาดอนุภาคของผงผลึกแลนทานัมแมกนีเซียมเฟอร์ไรต์ มีลักษณะการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ ค่อนข้างกลม และมีขนาดเพิ่มขึ้นจาก 133 ถึง 227 นาโนเมตร เมื่ออุณหภูมิที่ใช้ในการเผาแคลไซน์สูงขึ้นจาก 800 ถึง 1000 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 2 ชั่วโมง



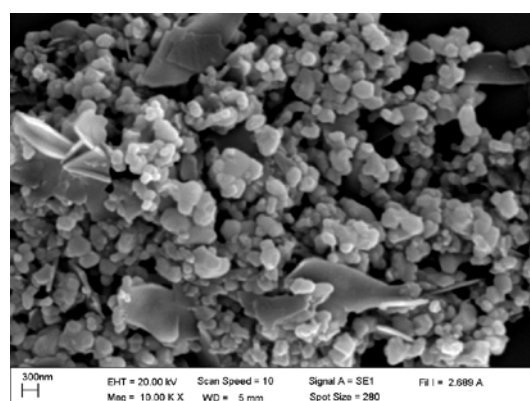
(ก)



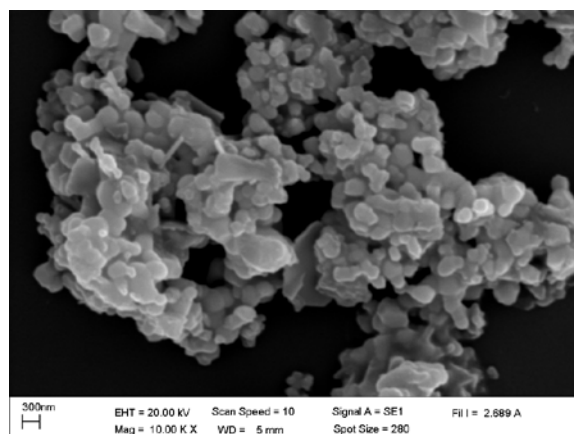
(ข)



(ค)



(ง)



(จ)

ภาพ 4.3 รูปถ่ายด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของผงสีกแลนทานัมแมกนีเซียมเฟอไรท์ (LMF) ที่อุณหภูมิต่างๆ ; (ก) 800, (ข) 850, (ค) 900, (ง) 950 และ (จ) 1000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

บทที่ 5

บทสรุป

สรุปผลการตรวจสอบผงผลึกแลนทานัมแมกนีเซียมเฟอร์ไรท์ที่เตรียมได้

สามารถเตรียมผงผลึกแลนทานัมแมกนีเซียมเฟอร์ไรท์ $\text{La}_{0.92}\text{Mg}_{0.18}\text{Fe}_{0.9}\text{O}_3$; LMF ด้วยวิธีการเผาไหม้ ที่อุณหภูมิในการเผาแคลไซน์ 900 องศาเซลเซียส เป็นต้นไป เป็นเวลา 2 ชั่วโมง โดยใช้ไกลซีนเป็นเชื้อเพลิง ในขณะที่ใช้ยูเรียเป็นเชื้อเพลิงพบว่ายังพบฟิสิกที่เกินของสารตั้งต้นเหลืออยู่ ดังนั้นไกลซีนจึงเป็นเชื้อเพลิงที่เหมาะสมกว่ายูเรียในการนำมาเตรียมผงผลึก LMF และอุณหภูมิในการเผาแคลไซน์มีผลต่อขนาดอนุภาคและโครงสร้างเฟส อนุภาคของผงผลึกแลนทานัมแมกนีเซียมเฟอร์ไรท์ มีการกระจายตัวไม่สม่ำเสมอ ค่อนข้างกลม และมีขนาดเพิ่มจาก 133-227 นาโนเมตร เมื่ออุณหภูมิในการแคลไซน์เพิ่มขึ้นจาก 800-1000 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง

บรรณานุกรม

- [1] Xing Liua, Bin Chenga, Jifan Hu, Hongwei Qina and Minhua Jiang Sensors and Actuators B: Chemical Volume 129, Issue (2008), 53-58
- [2] P. Ciambellia, S. Cimino b, S. Russo b. AFeO_3 (A=La, Nd, Sn) and $\text{LaFe}_{1-x}\text{Mg}_x\text{O}_3$ De Rossic, L. Lisid, G. Minellic, P. Porta c, G. perovmethane combustion and CO oxidation catalystructural, redox and catalytic properties.. APP.CATALB-ENVIRON. (2001) 239-250
- [3] Powder Diffraction File, Inorganic Volume, American Society for Testing Materials, Philadelphia, PA, 1967.
- [4] สุกานดา เจียรศิริสมบุรณ์. กระบวนการผลิตเซรามิกขั้นสูง, เอกสารประกอบการเรียนการสอน รายวิชา ว. วศ. 210433. ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
- [5] Moulson, A.J. and Herbert, J.M. (2003). Electro ceramics. (Seconf Edittion).
- [6] Haertling, G.H. (1999). Ferroelectric ceramics: history and technology. Journal American Ceramic Socities, 82, 797-799.
- [7] Moulson, A.J. and Herbert, J.M. (2003). Electroceramics: materials, properties, app;ications. England: West Sussex PO19 8SQ.
- [8] Merzhanov, A.G. (1990). Combustion and Plasma Synthesis of High-Temperature Materials, New York: VCH Publ.
- [9] สุรินทร์ ลิ้มปนาท และ ศรีไฉล ขุนทน. (2543). เครื่องเอกซ์เรย์ดิฟแฟรกชัน, เครื่องมือวิจัยทาง วัสดุศาสตร์: ทฤษฎีและการทำงานเบื้องต้น. (309-322). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์ มหาวิทยาลัย.
- [10] บัญชา ธนบุญสมบัติ. (2544). การศึกษาวัสดุโดยเทคนิคดิฟแฟรกชัน, (19-26). กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี.
- [11] Merzhanov, A.G. (1992). The Third International Stein Conference Advanced Materials: Synthesis to Applications 19-21 October. n.p.: Philadeiphia.
- [12] กฤษณา ศิวเลิศมุกด. (2545). กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดและอุปกรณ์วิเคราะห์ ธาตุรังสีเอกซ์, เครื่องมือวิจัยทางวัสดุศาสตร์: ทฤษฎีและการทำงานเบื้องต้น, (289-305). กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [13] Merzhanov, A.G., Borovinskaya, I.P. (1985). Combust. Sci. Technol., 43, pp. 127-195.
- [14] <http://th.wikipedia.org/wiki/>
- [15] ปราณี รัตนวลิตโรจน์. (2543). การหาความหนาแน่นด้วยเครื่องชั่งไฟฟ้า, เครื่องมือวิจัยทางวัสดุ ศาสตร์: ทฤษฎีและการทำงานเบื้องต้น. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [16] วีระศักดิ์ อุดมกินเดชา. (2543). เครื่องมือวิจัยทางวัสดุศาสตร์: ทฤษฎีและการทำงานเบื้องต้น. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
- [17] Ahmad, T. and Ganguli, A.K. (2006). Materials letters, 60, pp. 3660-3663.

- [18] Azad, A.M., Subramaniam, S. and Dung, T.W. (2002). Journal of Alloys and Compounds, 334, pp. 118-130.