ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
246377

MRG5180113 ผศ.ดร. วันดี อ่อนเรียบร้อย

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการการเตรียมสตรอนเทียมเฟอร์ไรท์โดยการเจือด้วยแลนทานัมออกไซด์และโคบอลท์ออกไซด์

Preparation of Strontium Ferrites Doped with Cobalt Oxide and Lanthanum Oxide

โดย ผศ. ดร. วันดี อ่อนเรียบร้อย
นายโกเมน ปาปะโถ
ศ. ดร. ทวี ตันฑศิริ

พฤษภาคม 2553

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
246377

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการการเตรียมสตรอนเทียมเฟอร์ไรท์โดยการเจือด้วยแลนทานัมออกไซด์และโคบอลท์ออกไซด์

Preparation of Strontium Ferrites Doped with Cobalt Oxide and Lanthanum Oxide

โดย ผศ. ดร. วันดี อ่อนเรียบร้อย
นายโกเมน ปาปะโถ
ศ. ดร. ทวี ตันฆศิริ

พฤษภาคม 2553

bcc251186 246399

สัญญาเลขที่ MRG5180113

รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์

โครงการการเตรียมสตรอนเทียมเฟอร์ไรท์โดยการเจือด้วย แลนทานัมออกไซด์และโคบอลท์ออกไซด์

Preparation of Strontium Ferrites Doped with Cobalt Oxide and Lanthanum Oxide

	ผู้วิจัย	สังกัด
ผศ. ดร. วันดี	อ่อนเรียบร้อย	ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
นายโกเมน	ปาปะโถ	ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
ศ. ดร. ทวี	ตันฆศิริ	ภาควิชาฟิสิกส์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

สนับสนุนโดยสำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา
และสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย

(ความเห็นในรายงานนี้เป็นของผู้วิจัย สกอ. และ สกว. ไม่จำเป็นต้องเห็นด้วยเสมอไป)

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) และ สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา (สกอ.) เป็นอย่างสูงที่ให้การสนับสนุนเงินวิจัยในครั้งนี้ ขอขอบคุณ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ได้สนับสนุนงานวิจัยและพัฒนาครั้งนี้มาโดยตลอด ขอขอบคุณภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ที่ได้ให้ใช้สถานที่และเครื่องมือต่างๆ

ขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์เกียรติคุณ ดร. ทวี ตันฆศิริ ที่ได้ให้คำชี้แนะ และการสนับสนุนอย่างต่อเนื่องจนงานวิจัยสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ คุณครู อาจารย์ บิดามารดา และครอบครัว ที่มีส่วนส่งเสริมสนับสนุนและเป็นกำลังใจตลอดมา และหากมีสิ่งใดขาดตกบกพร่อง หัวหน้าโครงการต้องขออภัยเป็นอย่างสูง และหวังว่ารายงานฉบับสมบูรณ์นี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้ที่สนใจในงานด้านนี้ต่อไปไม่มากก็น้อย

ผศ. ดร. วันดี อ่อนเรียบร้อย
(หัวหน้าโครงการ)

บทคัดย่อ

รหัสโครงการ: MRG5180113

ชื่อโครงการ: การเตรียมสตรอนเทียมเฟอร์ไรท์โดยการเจือด้วยแลนทานัมออกไซด์และโคบอลท์ออกไซด์

ชื่อนักวิจัย: ผศ. ดร. วันดี อ่อนเรียบร้อย/นายโกเมน ปาปะโถ/ ศ. ดร. ทวี ตันฑศิริ

E-mail Address: wandeeon@yahoo.com

ระยะเวลาโครงการ: 2 ปี

บทคัดย่อ:

246377

$Sr_{1-x}La_xFe_{12-y}Co_yO_{19}$ เฟอร์ไรท์เตรียมด้วยขบวนการทางเซรามิคแบบดั้งเดิม สารประกอบถูกเตรียมจากผงของ $SrCO_3$ La_2O_3 Fe_2O_3 และ CoO และนำไปเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิ 1,100 องศาเซลเซียส ในการศึกษานี้ได้ศึกษาผลของการเติมโคบอลต์และแลนทานัมที่มีต่อโครงสร้างทางจุลภาคและสมบัติทางแม่เหล็กของตัวอย่าง $SrFe_{12}O_{19}$ และ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{12-y}Co_yO_{19}$ เมื่อ x = 0.2 และ y เท่ากับ 0.0 ถึง 1.0 โครงสร้างทางจุลภาคของตัวอย่าง $SrFe_{12}O_{19}$ และ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{12-y}Co_yO_{19}$ที่เผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิต่างๆศึกษาด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ขนาดเกรนเฉลี่ยของสตรอนเทียมเฟอร์ไรท์เพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณโคบอลต์ (y) เพิ่มขึ้น และอุณหภูมิการเผาซินเตอร์เพิ่มขึ้นจาก 1,150 ถึง 1,300 องศาเซลเซียส ผลจากเครื่องวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) พบสตรอนเทียมเฮกซะเฟอร์ไรท์บริสุทธิกับตัวอย่าง $SrFe_{12}O_{19}$ และ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{12-y}Co_yO_{19}$ เมื่อเผาซินเตอร์ที่ 1,250 องศาเซลเซียส สำหรับ $y \leq 0.2$ พบเฟสใหม่เกิดขึ้นกับตัวอย่าง $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{12-y}Co_yO_{19}$ ซึ่งประกอบด้วย $LaFeO_3$ $CoFe_2O_4$ และเฟสที่ไม่ทราบสำหรับ $y > 0.2$ จากการศึกษาสมบัติทางเหล็กของตัวอย่าง $SrFe_{12}O_{19}$ และ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{12-y}Co_yO_{19}$ ที่เตรียมด้วยการเติมโคบอลต์ปริมาณต่างๆ และที่อุณหภูมิการเผาซินเตอร์ต่างๆ กัน ด้วยเครื่องวัดสมบัติแม่เหล็กแบบตัวอย่างสั่น (VSM) พบว่าค่าสภาพลบล้างแม่เหล็ก (H_C) มีค่าลดลงตามอุณหภูมิการเผาซินเตอร์เพิ่มขึ้นหรือการเติมโคบอลต์ที่เพิ่มขึ้น ตัวอย่างสตรอนเทียมเฟอร์ไรท์ที่ไม่ถูกเจือ ($SrFe_{12}O_{19}$) เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1,150 องศาเซลเซียสมีค่าสภาพลบล้างแม่เหล็กที่สูง 4,850 Oe ส่วนค่าสภาพแม่เหล็กคงค้างของตัวอย่าง

246377

$Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{12}O_{19}$ เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1,200 องศาเซลเซียสมีค่าสูงสุด 60 emu/g สำหรับตัวอย่าง $Sr_{1-x}La_xFe_{12-y}Co_yO_{19}$ ที่มีค่า x = 0.2 และ y = 1.0 เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1,300 องศาเซลเซียสได้ค่าแมกเนไตเซชันอิ่มตัวสูงสุด (M_S) ประมาณ 127 emu/g และมีความสูญเสียเนื่องจากวงฮิสเทอร์รีซิสต่ำสุด ในการเตรียมสตรอนเทียมเฟอร์ไรท์ที่มีค่าแมกเนไตเซชันอิ่มตัวสูง มีความเป็นไปได้ที่จะเพิ่มปริมาณการเติมโคบอลต์ (y > 1.0) หรือการเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิสูงกว่า 1,300 องศาเซลเซียส

คำสำคัญ: สตรอนเทียมเฮกซะเฟอร์ไรท์/ อุณหภูมิการเผาซินเตอร์/ สภาพลบล้างแม่เหล็ก/ สภาพแม่เหล็กคงค้าง

Abstract

Project Code: MRG5180113

Project Title: Preparation of Strontium Ferrites Doped with Cobalt Oxide and Lanthanum Oxide

Investigator: Asst. Prof. Dr. Wandee Onreabroy/ Mr.Komane Papato/ Prof. Dr. Tawee Tunkasiri

E-mail Address: wandeeon@yahoo.com

Project Period: 2 years

Abstract:

246377

The $Sr_{1-x}La_xFe_{12-y}Co_yO_{19}$ ferrites were fabricated by the conventional ceramic process. The compounds were prepared from $SrCO_3$, La_2O_3, Fe_2O_3, and CoO powders, and then calcined at 1,100°C. In this study, the effects of cobalt and lanthanum addition on microstructures and magnetic properties of $SrFe_{12}O_{19}$ and $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{12-y}Co_yO_{19}$ samples with x= 0.2 and y = 0.0 to 1.0 were investigated. The microstructures of the $SrFe_{12}O_{19}$ and $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{12-y}Co_yO_{19}$ specimens, sintered at different temperatures, were studied using the scanning electron microscopy (SEM). The average grain size of strontium ferrite increases when cobalt additive (y) increases and sintering temperature is increased from 1,150°C to 1,300°C. The X-ray diffraction (XRD) results showed that the pure strontium hexaferrite phase could be observed for $SrFe_{12}O_{19}$ and $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{12-y}Co_yO_{19}$ samples sintered at 1,250°C for $y \leq 0.2$. The second phase for as-sintered $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{12-y}Co_yO_{19}$ sample was found to consist of $LaFeO_3$, $CoFe_2O_4$ and unknown phases for $y > 0.2$. The magnetic properties of $SrFe_{12}O_{19}$ and $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{12-y}Co_yO_{19}$ specimens prepared with different cobalt additives and sintering temperatures were studied using the vibrating sample magnetometer (VSM). Coercivity (H_C) was observed to decrease with increasing sintering temperatures or cobalt additives. The undoped strontium ferrite sample ($SrFe_{12}O_{19}$) sintered at 1,150°C has a high coercivity of 4,850 Oe. The

246377

remanence of $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{12}O_{19}$ sample sintered at 1,200°C has the highest value of 60 emu/g. For the $Sr_{1-x}La_xFe_{12-y}Co_yO_{19}$ sample with x = 0.2 and y = 1.0 sintered at 1,300°C, the highest magnetization saturation (M_S) of about 127 emu/g and the lowest hysteresis loss were obtained. In order to prepare the strontium ferrite with higher magnetization saturation, it might be possible to increase the amount of cobalt (y > 1.0) or sintered at a temperature higher than 1,300°C.

Keywords: Strontium Hexaferrite/ Sintering Temperature/ Coercivity/ Remanence

สารบาญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบาญ	ซ
สารบาญตาราง	ฎ
สารบาญรูป	ฐ
สัญลักษณ์	ถ
ประมวลศัพท์และคำย่อ	ธ
บทที่	
1 Excusive Summary	**1**
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ระเบียบวิธีวิจัย	2
1.4 แผนการดำเนินงานวิจัยตลอดโครงการ	3
1.5 ผลงานที่คาดว่าจะตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติในแต่ละปี	4
1.6 งบประมาณโครงการ	5
2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	**6**
3 การดำเนินการทดลอง	**11**
3.1 สารเคมี	11
3.2 เครื่องมือ และอุปกรณ์ในการทดลอง	11
3.3 วิธีการทดลอง	12
3.4 การเตรียมสาร	13
3.4.1 การเผาแคลไซน์ (Calcination)	15
3.4.2 การอัดขึ้นรูป	16
3.4.3 การเผาซินเตอร์	17
3.5 การทดสอบตัวอย่าง	18

3.5.1 การวัดความหนาแน่น 18
3.5.2 การศึกษาโครงสร้างด้วยการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ 20
3.5.3 การหาขนาดเกรนด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด 21
3.5.4 การศึกษาสมบัติแม่เหล็กด้วยเครื่องวัดสมบัติแม่เหล็กแบบตัวอย่างสั่น (VSM) 22

4 ผลการทดลอง 23
4.1 ผลการทดลองสตรอนเทียมเฟอร์ไรท์เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิต่างๆ 23
4.1.1 ผลการทดสอบโครงสร้างจาก XRD 23
4.1.2 ผลการวัดขนาดเกรน 24
4.1.3 ผลการวัดความหนาแน่น 25
4.1.4 ผลการวัดสภาพแม่เหล็ก 25
4.2 ผลการทดลองสตรอนเทียมเฟอร์ไรท์ที่เจือแลนทานัมที่อุณหภูมิการเผาซินเตอร์ต่างกัน 27
4.2.1 ผลการตรวจสอบโครงสร้างจาก XRD 27
4.2.2 ผลการวัดขนาดเกรน 28
4.2.3 ผลการวัดความหนาแน่น 28
4.2.4 ผลการวัดสภาพแม่เหล็ก 29
4.3 ผลการทดลองสตรอนเทียมเฟอร์ไรท์ที่เจือแลนทานัมและโคบอลต์ 30
4.3.1 ผลการตรวจสอบโครงสร้างจาก XRD 30
4.3.2 ผลการวัดขนาดเกรน 31
4.3.3 ผลการวัดความหนาแน่น 32
4.3.4 ผลการวัดสภาพแม่เหล็ก 33
4.4 ผลการทดลองสตรอนเทียมเฟอร์ไรท์ที่เจือแลนทานัมและโคบอลต์ที่อุณหภูมิการเผาซินเตอร์ต่างกัน 34
4.4.1 ผลการตรวจสอบโครงสร้างจาก XRD 34
4.4.2 ผลการวัดขนาดเกรน 36
4.4.3 ผลการวัดความหนาแน่น 39
4.4.4 ผลการวัดสภาพแม่เหล็ก 40

5 การวิเคราะห์ผลการทดลอง **43**

5.1 ผลของอุณหภูมิการเผาซินเตอร์ของสารสตรอนเทียมเฟอร์ไรท์ 43

5.1.1 ผลการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ ที่อุณหภูมิการเผาซินเตอร์ต่างๆ 43

5.1.2 ผลการวิเคราะห์อิทธิพลของอุณหภูมิการเผาซินเตอร์ที่มีต่อขนาดเกรน 46

5.1.3 ผลการวิเคราะห์อิทธิพลของอุณหภูมิการเผาซินเตอร์ที่มีต่อสมบัติแม่เหล็กของสารแม่เหล็กสตรอนเทียมเฟอร์ไรท์ 48

5.2 ผลของปริมาณการเจือแลนทานัมและโคบอลต์ลงในสตรอนเทียมเฟอร์ไรท์ 54

5.2.1 ผลการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{12-y}Co_yO_{19}$ 54

5.2.2 ผลการเจือแลนทานัมและโคบอลต์ลงในสตรอนเทียมเฟอร์ไรท์ที่มีผลต่อเกรน 56

5.2.3 ผลการเจือแลนทานัมและโคบอลต์ลงในสตรอนเทียมเฟอร์ไรท์ที่มีผลต่อสมบัติแม่เหล็ก 58

5.3 ผลของอุณหภูมิการเผาซินเตอร์ของสารสตรอนเทียมเฟอร์ไรท์ที่เจือแลนทานัมและโคบอลต์ 64

5.3.1 ผลการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ที่อุณหภูมิการเผาซินเตอร์ของ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11.8}Co_{0.2}O_{19}$ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11.5}Co_{0.5}O_{19}$ และ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11}CoO_{19}$ 64

5.3.2 ผลการวิเคราะห์ขนาดเกรนของ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11.8}Co_{0.2}O_{19}$ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11.5}Co_{0.5}O_{19}$ และ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11}CoO_{19}$ เมื่ออุณหภูมิการเผาซินเตอร์ต่างกัน 68

5.3.3 ผลการวิเคราะห์สมบัติแม่เหล็กของ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11.8}Co_{0.2}O_{19}$ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11.5}Co_{0.5}O_{19}$ และ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11}CoO_{19}$ เมื่ออุณหภูมิการเผาซินเตอร์ต่างกัน 69

6 สรุปผลและข้อเสนอแนะ **76**

6.1 สรุปผลการวิจัย 76

6.1.1 ผลของอุณหภูมิของการเผาซินแตอร์ของ $SrFe_{12}O_{19}$ และ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{12}O_{19}$ 76

6.1.2 ผลปริมาณการเจือแลนทานัมและโคบอลต์ลงใน $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{12-y}Co_yO_{19}$ 76

6.1.3 ผลของอุณหภูมิการเผาซินเตอร์ของ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11.8}Co_{0.2}O_{19}$ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11.5}Co_{0.5}O_{19}$ และ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11}CoO_{19}$ 77

6.1.4 สมบัติแม่เหล็กของสตรอนเทียมเฟอร์ไรท์ที่เตรียมได้ 78
6.2 ข้อเสนอแนะ 78

7 ผลลัพธ์จากโครงการวิจัย 79
7.1 รางวัลนวัตกรรมด้านวิทยาศาสตร์การกีฬา 79
7.2 The AGI Award for Young Scientists 2008 79
7.3 รางวัลประกวดโครงงานในระดับภาควิชา 79
7.4 การนำเสนอผลงาน 80
7.5 เครื่องต้นแบบ 80
7.6 อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานในระดับปริญญาตรีที่เกี่ยวข้องกับโครงการวิจัย 81
7.7 งานวิจัยในปัจจุบันที่ต่อยอด 81

เอกสารอ้างอิง 82

สารบาญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	สมบัติแม่เหล็กในงานวิจัยที่ผ่านมาของสารสตรอนเทียมเฟอร์ไรท์	10
3.1	ปริมาณส่วนผสมของสารที่ใช้เตรียมสตรอนเทียมเฟอร์ไรท์ในอัตราส่วนต่างๆ	14
4.1	เปอร์เซ็นต์การหดตัวและความหนาแน่นของ $SrFe_{12}O_{19}$ เผาซินเตอร์ที่ 1,150°C 1,200°C 1,250°C และ 1,300°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	25
4.2	เปอร์เซ็นต์การหดตัวและความหนาแน่นของ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{12}O_{19}$ เผาซินเตอร์ที่ 1,150°C 1,200°C 1,250°C และ 1,300°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	29
4.3	เปอร์เซ็นต์การหดตัวและความหนาแน่นของ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{12-y}Co_yO_{19}$ เมื่อเผาซินเตอร์เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	32
4.4	เปอร์เซ็นต์การหดตัวและความหนาแน่นของ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{12-y}Co_yO_{19}$ ที่อุณหภูมิการเผาซินเตอร์ 1,150°C 1,200°C 1,250°C และ 1,300°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	39
5.1	ค่าสภาพลบล้างแม่เหล็ก สภาพแม่หล็กคงค้าง และค่าแมกเนไตเซชันอิ่มตัวของ $SrFe_{12}O_{19}$ และ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{12}O_{19}$ ที่อุณหภูมิการเผาซินเตอร์ 1,150°C 1,200°C 1,250°C และ 1,300°C	50
5.2	ค่าสภาพลบล้างแม่เหล็ก สภาพแม่หล็กคงค้าง และค่าแมกเนไตเซชันอิ่มตัวของ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{12-y}Co_yO_{19}$ เจือแลนทานัมและโคบอลต์เมื่ออุณหภูมิซินเตอร์เป็น 1,250°C	60
5.3	ค่า สภาพลบล้างแม่เหล็ก สภาพแม่หล็กคงค้าง และค่าแมกเนไตเซชันอิ่มตัวของ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11.8}Co_{0.2}O_{19}$ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11.5}Co_{0.5}O_{19}$ และ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11}CoO_{19}$ ที่อุณหภูมิการเผาซินเตอร์ต่างๆ	72

สารบาญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราดที่ส่องบนพื้นผิวของ $SrFe_{12}O_{19}$ เมื่อเผาแคลไซน์ที่อุณหภูมิที่ (ก) 1,200°C และ (ข) 1,250°C	6
2.2	ภาพถ่ายจากอิเล็กตรอนแบบส่องกราดของสตรอนเทียมเฟอร์ไรท์ที่เป็นลักษณะผง โดยมีอัตราส่วนโมล Fe^{3+}/Sr^{2+} เท่ากับ 8 9.23 และ 10 มีค่า pH 10 เมื่อเผาเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ (ก) 900°C (ข) 1,000°C และ (ค) 1,100°C	7
2.3	วงฮีสเทอร์รีซีสของสตรอนเทียมเฟอร์ไรท์ที่ให้ความร้อนจากคลื่นไมโครเวฟเมื่อเผาที่อุณหภูมิ 1,000°C ใช้เวลาในการเผา 2 ชั่วโมง โดยมีอัตราส่วนโมล (Fe/Sr) เป็น 11 11.6 และ 12	8
3.1	แผนภาพแสดงขั้นตอนการเตรียมสารสตรอนเทียมเฟอร์ไรท์	12
3.2	อัตราการเพิ่มและลดอุณหภูมิการเผาแคลไซน์	15
3.3	แม่แบบในการอัดขึ้นรูปของสารแม่เหล็กสตรอนเทียมเฟอร์ไรท์	16
3.4	เครื่องอัดไฮดรอลิกส์ที่มีขดลวดเพื่อเป็นแหล่งจ่ายสนามแม่เหล็กให้กับชิ้นงาน	17
3.5	อัตราการเพิ่มและลดอุณหภูมิการเผาซินเตอร์	17
3.6	เครื่องชั่งความละเอียดทศนิยม 4 ตำแหน่ง ยี่ห้อ Sartotius	20
3.7	เครื่องทดสอบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ ยี่ห้อ Rigaku รุ่น TTRAXIII	20
3.8	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ยี่ห้อ LEO รุ่น 1455VP	21
3.9	เครื่องวัดสมบัติแม่เหล็กเครื่องวัดสมบัติแม่เหล็กแบบตัวอย่างสั่น (VSM) ยี่ห้อ LakeShore รุ่น Model 7407	22
4.1	รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของ $SrFe_{12}O_{19}$ เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ (ก) 1,150°C (ข) 1,200°C (ค) 1,250°C และ (ง) 1,300°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	23
4.2	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของ $SrFe_{12}O_{19}$ เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ (ก) 1,150°C (ข) 1,200°C (ค) 1,250°C และ (ง) 1,300°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	24
4.3	วงฮีสเทอร์รีซีสของ $SrFe_{12}O_{19}$ เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ (ก) 1150°C (ข) 1,200°C (ค) 1,250°C และ (ง) 1,300°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	26
4.4	รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{12}O_{19}$ เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณภูมิ (ก) 1,150°C (ข) 1,200°C (ค) 1,250°C และ (ง) 1,300°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	27
4.5	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{12}O_{19}$ เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ (ก) 1,150°C (ข) 1,200°C (ค) 1,250°C และ (ง) 1,300°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	28

รูปที่ หน้า

4.6 วงฮีสเทอร์รีซีสของ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{12}O_{19}$ เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ (ก) 1150°C (ข) 1,200°C (ค) 1,250°C และ (ง) 1,300°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 29

4.7 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{12-y}Co_yO_{19}$ เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1,250°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อ y มีค่า (ก) 0 (ข) 0.1 (ค) 0.2 (ง) 0.3 (จ) 0.4 (ฉ) 0.5 (ช) 0.8 และ (ซ) 1.0 30

4.8 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{12-y}Co_yO_{19}$ เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1,250°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดยที่ y มีค่า (ก) 0 (ข) 0.1 (ค) 0.2 (ง) 0.3 (จ) 0.4 (ฉ) 0.5 (ช) 0.8 และ (ซ) 1.0 31

4.9 เปรียบเทียบลักษณะวงฮีสเทอร์รีซีสเมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1250°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ของ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{12-y}Co_yO_{19}$ โดยที่ y มีค่า (ก) 0 (ข) 0.1 (ค) 0.2 (ง) 0.3 (จ) 0.4 (ฉ) 0.5 (ช) 0.8 และ (ซ) 1.0 33

4.10 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11.8}Co_{0.2}O_{19}$ เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ (ก) 1,150°C (ข) 1,200°C (ค) 1,250°C และ (ง) 1300°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 34

4.11 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11.5}Co_{0.5}O_{19}$ เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ (ก) 1,150°C (ข) 1,200°C (ค) 1,250°C และ (ง) 1,300°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 35

4.12 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11}CoO_{19}$ เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ (ก) 1,150°C (ข) 1,200°C (ค) 1,250°C และ (ง) 13,00°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 35

4.13 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11.8}Co_{0.2}O_{19}$ เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ (ก) 1,150°C (ข) 1,200°C (ค) 1,250°C และ (ง) 1,300°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 36

4.14 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11.5}Co_{0.5}O_{19}$ เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ (ก) 1,150°C (ข) 1,200°C (ค) 1,250°C และ(ง) 1,300°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 37

4.15 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11}CoO_{19}$ เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ (ก) 1,150°C (ข) 1,200°C (ค) 1,250°C และ (ง) 1300°C 38

4.16 วงฮีสเทอร์รีซีสของ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11.8}Co_{0.2}O_{19}$ เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ (ก) 1,150°C (ข) 1,200°C (ค) 1,250°C และ (ง) 1,300°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 40

4.17 วงฮีสเทอร์รีซีสของ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11.5}Co_{0.5}O_{19}$ เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ (ก) 1,150°C (ข) 1,200°C (ค) 1,250°C และ (ง) 1,300°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 41

4.18 วงฮีสเทอร์รีซีสของ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11}CoO_{19}$ เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ (ก) 1,150°C (ข) 1,200°C (ค) 1,250°C และ (ง) 1,300°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 42

รูปที่		หน้า
5.1	ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจากรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ ของ $SrFe_{12}O_{19}$ เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ (ก)1,150°C (ข) 1,200°C (ค) 1,250°C และ (ง) 1,300°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	44
5.2	ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจากรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ ของ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{12}O_{19}$ เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ (ก) 1,150°C (ข) 1,200°C (ค) 1,250°C และ (ง) 1,300°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	45
5.3	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของ $SrFe_{12}O_{19}$ แสดงผลการเพิ่มขนาดของเกรนเมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ (ก) 1,150°C (ข) 1,200°C (ค) 1,250°C และ (ง) 1,300°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	46
5.4	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเมื่ออุณหภูมิการเผาซินเตอร์ที่ 1,150°C และ 1,300°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ของตัวอย่าง (ก) $SrFe_{12}O_{19}$ และ (ข) $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{12}O_{19}$	47
5.5	วงฮีสเทอรีซีสของ (ก) $SrFe_{12}O_{19}$ และ (ข) $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{12}O_{19}$ ที่อุณหภูมิการเผาซินเตอร์ 1150°C 1200°C 1250°C และ 1300°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	48
5.6	วงฮีสเทอรีซีสของ $SrFe_{12}O_{19}$ และ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{12}O_{19}$ เมื่ออุณหภูมิการเผาซินเตอร์ 1300°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	49
5.7	ผลของค่าสภาพลบล้างแม่เหล็ก (Hc) ของ $SrFe_{12}O_{19}$ และ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{12}O_{19}$ เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1,150°C 1,200°C 1,250°C และ 1,300°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	51
5.8	ผลของค่าแมกเนไตเซชันอิ่มตัว (Ms) ของ $SrFe_{12}O_{19}$ และ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{12}O_{19}$ เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1,150°C 1,200°C 1,250°C และ 1,300°C	52
5.9	ผลของค่าสภาพแม่เหล็กคงค้าง (Mr) ของ $SrFe_{12}O_{19}$ และ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{12}O_{19}$ เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1,150°C 1,200°C 1,250°C และ 13,00°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	53
5.10	ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจากรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ ของ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{12-y}Co_yO_{19}$ เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1,250°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง โดย y เท่ากับ (ก) 0 (ข) 0.1 (ค) 0.2 (ง) 0.3 (จ) 0.4 (ฉ) 0.5 (ช) 0.8 และ (ซ) 1.0	55
5.11	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1,250°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง (ก) $SrFe_{12}O_{19}$ และ (ข) $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{12}O_{19}$	56
5.12	ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1,250°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง เมื่อ (ก) $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{12}O_{19}$ (ข) $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11.7}Co_{0.3}O_{19}$ (ค) $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11.5}Co_{0.5}O_{19}$ และ (ง) $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11}CoO_{19}$	57
5.13	วงฮีสเทอร์รีซีสของ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{12-y}Co_yO_{19}$ โดยที่ y = 0.2 0.5 0.8 และ 1.0 เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1,250°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง	58

รูปที่ หน้า

5.14 วงฮีสเทอร์รีซีสของ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{12}O_{19}$ และ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11.9}Co_{0.1}O_{19}$ เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1,250°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 59

5.15 ผลของค่าสภาพลบล้างแม่เหล็ก (Hc) ของตัวอย่างเมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1250°C (ก) $SrFe_{12}O_{19}$ (ข) $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{12}O_{19}$ (ค) $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11.9}Co_{0.1}O_{19}$ (ง) $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11.8}Co_{0.2}O_{19}$ (จ) $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11.7}Co_{0.3}O_{19}$ (ฉ) $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11.6}Co_{0.4}O_{19}$ (ช) $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11.9}Co_{0.5}O_{19}$ (ซ) $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11.2}Co_{0.8}O_{19}$ และ (ฌ) $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11}CoO_{19}$ 61

5.16 ผลของค่าแมกเนไตเซชันอิ่มตัว (Ms) ของตัวอย่างเมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1,250°C (ก) $SrFe_{12}O_{19}$ (ข) $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{12}O_{19}$ (ค) $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11.9}Co_{0.1}O_{19}$ (ง) $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11.8}Co_{0.2}O_{19}$ (จ) $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11.7}Co_{0.3}O_{19}$ (ฉ) $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11.6}Co_{0.4}O_{19}$ (ช) $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11.9}Co_{0.5}O_{19}$ (ซ) $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11.2}Co_{0.8}O_{19}$ และ (ฌ) $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11}CoO_{19}$ 62

5.17 ผลของสภาพแม่เหล็กคงค้าง (Mr) ของตัวอย่างเมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1,250°C (ก) $SrFe_{12}O_{19}$ (ข) $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{12}O_{19}$ (ค) $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11.9}Co_{0.1}O_{19}$ (ง) $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11.8}Co_{0.2}O_{19}$ (จ) $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11.7}Co_{0.3}O_{19}$ (ฉ) $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11.6}Co_{0.4}O_{19}$ (ช) $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11.9}Co_{0.5}O_{19}$ (ซ) $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11.2}Co_{0.8}O_{19}$ และ (ฌ) $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11}CoO_{19}$ 63

5.18 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจากรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11.8}Co_{0.2}O_{19}$ เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ (ก)1,150°C (ข) 1,200°C (ค) 1,250°C และ (ง) 1,300°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 65

5.19 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจากรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11.9}Co_{0.5}O_{19}$ เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ (ก) 1,150°C (ข) 1,200°C (ค) 1,250°C และ (ง) 1,300°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 66

5.20 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างจากรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11}CoO_{19}$ เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ (ก) 1,150°C (ข) 1,200°C (ค) 1,250°C และ (ง) 1,300°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 67

5.21 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดเมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1,200°C และ 1,300°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ของตัวอย่าง (ก) $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11.8}Co_{0.2}O_{19}$ (ข) $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11.5}Co_{0.5}O_{19}$ และ (ค) $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11}CoO_{19}$ 68

5.22 วงฮีสเทอร์รีซีสของ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11.8}Co_{0.2}O_{19}$ เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1,150°C 1,200°C 1,250°C และ 1,300°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 69

5.23 วงฮีสเทอร์รีซีสของ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11.9}Co_{0.5}O_{19}$ เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1,150°C 1,200°C 1,250°C และ 1,300°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 70

5.24 วงฮีสเทอร์รีซีสของ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11}CoO_{19}$เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1,150°C 1,200°C 1,250°C และ 1,300°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 71

รูปที่ หน้า

5.25 ผลของค่าสภาพลบล้างแม่เหล็ก (Hc) ของ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11.8}Co_{0.2}O_{19}$ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11.5}Co_{0.5}O_{19}$ และ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11}CoO_{19}$ เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1,150°C 1,200°C 1,250°C และ 1,300°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 73

5.26 แมกเนไตเซชันอิ่มตัว (Ms) ของ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11.8}Co_{0.2}O_{19}$ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11.5}Co_{0.5}O_{19}$ และ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11}CoO_{19}$ เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1,150°C 1,200°C 1,250°C และ 1,300°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 74

5.27 สภาพแม่เหล็กคงค้าง (Mr) ของ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11.8}Co_{0.2}O_{19}$ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11.5}Co_{0.5}O_{19}$ และ $Sr_{0.8}La_{0.2}Fe_{11}CoO_{19}$ เมื่อเผาซินเตอร์ที่อุณหภูมิ 1,150°C 1,200°C 1,250°C และ 1,300°C เป็นเวลา 1 ชั่วโมง 75

สัญลักษณ์

B	=	สนามแม่เหล็กเหนี่ยวนำ
B_r	=	สภาพแม่เหล็กคงค้าง
$(BH)_{max}$	=	พลังงานสูญเสียภายในแกน
d_{hkl}	=	ระยะห่างระหว่างระนาบ hkl
E	=	พลังงานรวม
e	=	ประจุของอิเล็กตรอน
E_{ex}	=	พลังงาน Exchange
H	=	สนามแม่เหล็กภายนอก
h	=	ค่าคงที่ของพลังค์มีค่า 6.6261×10^{-34} จูล-วินาที
H_c	=	สนามลบล้างแม่เหล็ก
H_d	=	สนาม Demagnetizing
I	=	กระแสไฟฟ้า
M	=	แมกเนไตเซชัน
M_r	=	ค่าแมกเนไตเซชันคงค้าง
M_s	=	แมกเนไตเซชันอิ่มตัว
m_e	=	มวลของอิเล็กตรอน
q	=	ประจุไฟฟ้า
T	=	อุณหภูมิ
T_c	=	อุณหภูมิคูรี
T_N	=	อุณหภูมินีล
θ	=	มุมที่รังสีเอกซ์ทำกับระหว่างระนาบผลึก
λ	=	ความยาวคลื่นของรังสีเอกซ์
μ	=	สภาพให้ซึมได้
μ_0	=	สภาพให้ซึมได้ของสุญญากาศ
μ_r	=	สภาพให้ซึมได้สัมพัทธ์
χ_m	=	Magnetic Susceptibility
ω	=	ความถี่เชิงมุม
ϕ	=	ฟลักซ์แม่เหล็ก

ประมวลศัพท์และคำย่อ

A	=	แอมแปร์
A/m	=	แอมแปร์ต่อเมตร
$A\text{-}m^2$	=	แอมแปร์ตารางเมตร
BCC	=	body center cubic
emu	=	electron mass unit
emu/cm^3	=	electron mass unit ต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
emu/g	=	electron mass unit ต่อกรัม
eV/unit cell	=	อิเล็กตรอนโวลต์ต่อหนึ่งหน่วยเซลล์
G	=	เกาส์
g/cm^3	=	กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร
H	=	เฮนรี
H/m	=	เฮนรีต่อเมตร
J/m^3	=	จูลต่อลูกบาศก์เมตร
Oe	=	Oersted
Pa	=	พาสคัล
SEM	=	กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope)
T	=	เทสลา
VSM	=	Vibrating Sample Magnetometer
Wb	=	เวเบอร์
Wb/A-m	=	เวเบอร์ต่อแอมแปร์เมตร
Wb/m^2	=	เวเบอร์ต่อตารางเมตร