

การปรับปรุงสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริกส์ CuAlO_2 ดีลาฟอไซต์
แบบโครงสร้างเดี่ยวโดยการเติม Fe_2O_3
Properties Improvement of Single Phase Delafossite
 CuAlO_2 by Fe_2O_3 Addition



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

การปรับปรุงสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริกส์ CuAlO_2 ดีลาฟอไซด์
แบบโครงสร้างเดี่ยวโดยการเติม Fe_2O_3
Properties Improvement of Single Phase Delafossite
 CuAlO_2 by Fe_2O_3 Addition



T149287



ศุภวุฒิ โสจดจำปา
สาขาวิชา วิศวกรรมศาสตร์

สพ.

ค ๗๒๘ ก
๒๐๖๘

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน..... 149287
วันเดือนปี..... 30 ส.ค. 2561

4๒๘๖๒-๕๙๕

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
หลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2558
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Properties Improvement of Single Phase Delafossite
 CuAlO_2 by Fe_2O_3 Addition



A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE
REQUIREMENT FOR THE DEGREE
DEGREE OF BACHELOR OF SCIENCE (APPLIED PHYSICS)
DEPARTMENT OF PHYSICS, FACULTY OF SCIENCE
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2015

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ การปรับปรุงสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริกส์ CuAlO_2 ดีลาร์ฟอไซด์
แบบโครงสร้างเดี่ยว โดยการเติม Fe_2O_3
Properties Improvement of Single Phase Delafossite
 CuAlO_2 by Fe_2O_3 Addition

ชื่อนักศึกษา นายศุภวุฒิ โสจดำปา รหัสนักศึกษา 55051627
นายสาโรช เครือคุณาลัย รหัสนักศึกษา 55051637

ปริญญา วิทยาศาสตร์บัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา ฟิสิกส์
ปีการศึกษา 2558
อาจารย์ที่ปรึกษา ดร.อาภาภรณ์ สกฤการะเวก

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์ประยุกต์) ประจำปีการศึกษา 2558

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
ผศ.ดร. ภัทริยา ดำรงค์ศักดิ์ ประธานกรรมการ	
ผศ.ดร.กฤษกร ไส้เจริญรัตน์ กรรมการ	
ดร.พิศาล สุขวิสูตร กรรมการ	
ดร.อาภาภรณ์ สกฤการะเวก กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา	

ลิขสิทธิของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ	การปรับปรุงสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริกส์ CuAlO_2 ดีลาร์ฟอไซด์ แบบโครงสร้างเดี่ยว โดยการเติม Fe_2O_3 Properties Improvement of Single Phase Delafossite CuAlO_2 by Fe_2O_3 Addition
ชื่อนักศึกษา	นายศุภวุฒิ โสจดำปา รหัสนักศึกษา 55051627 นายสาโรช เครือคุณาลัย รหัสนักศึกษา 55051637
ปริญญา	วิทยาศาสตร์บัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชา	ฟิสิกส์
คณะ	วิทยาศาสตร์
มหาวิทยาลัย	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง (สจล.)
ปีการศึกษา	2558
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.อภาภรณ์ สกฤตการะเวก

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการเตรียมสารตัวอย่าง CuAlO_2 โดยการเติม Fe_2O_3 ปริมาณในช่วง 10% อะตอม, 15% อะตอม และ 20% อะตอม และมีอุณหภูมิในการเผาที่แตกต่างกัน 3 ค่า คือ 1333 K, 1423K และ 1473 K โดยนำสารตัวอย่าง CuO , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 มาผสมกันและบดให้เข้ากัน แล้วจึงนำไปอัดเป็นเม็ดกลม ใช้เทคนิค Differential Scanning Calorimeter (DSC) ในการหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสังเคราะห์สารตัวอย่าง CuAlO_2 ให้เป็นโครงสร้างดีลาฟอไซด์โครงสร้างเดี่ยว และใช้เทคนิค X-ray diffraction (XRD) ตรวจสอบโครงสร้างที่เกิดขึ้นจากการวิเคราะห์ พบโครงสร้างของ CuO กับ CuAl_2O_4 เกิดขึ้นจากการเผาที่อุณหภูมิ 1423 K และ 1473 K ดังนั้นจึงใช้การเผาที่อุณหภูมิ 1333 K ทำให้เกิดโครงสร้าง ดีลาฟอไซด์เพียงโครงสร้างเดี่ยว จากนั้นเติม Fe_2O_3 ปริมาณ 15% อะตอม และ 20% อะตอม เพื่อให้มีความหนาแน่น, ขนาดเกรนเพิ่มขึ้น โดยสารตัวอย่างที่เติม Fe_2O_3 ที่ปริมาณ 20% อะตอม มีค่าสภาพการนำไฟฟ้า และสภาพนำความร้อน สูงสุดอยู่ที่ $62.5 \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$ และ 8.35 W/mK ตามลำดับ สารตัวอย่างที่เติม Fe_2O_3 ปริมาณ 15% อะตอมมีค่าสภาพการนำความร้อนต่ำที่สุด ส่งผลให้มีค่าฟิสิกเกอร์ออฟเม ออร์ริกสูงที่สุดเท่ากับ 0.010 ที่อุณหภูมิ 873 K

คำสำคัญ : CuAlO_2 Fe_2O_3 ดีลาฟอไซด์ ค่าฟิสิกเกอร์ออฟเมออร์ริก

Title	Properties Improvement of single phase Delafossite CuAlO ₂ by Fe ₂ O ₃ Addition
Students	Mr.Suphawut Sodjampa Student ID 55051627 Mr.Saroch Khruengkunalai Student ID 55051637
Degree	Bachelor of Science (Applied Physics)
Department	Physics
Faculty	Science
University	King's Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL)
Academic Year	2015
Advisor	Dr.Aparporn Sakulkalavek

Abstract

In this work, we have studied the delafossite (CuAlO₂) with the mass of 10% at., 15% at. and 20% at. at the different sintering temperature of 1333 K, 1423 K and 1473 K. The sample was obtained from the mixture of the high purity grade from CuO, Al₂O₃ and Fe₂O₃ powder. These mixture was grinded and then pressed with a pressure to form the pellet. Differential Scanning Calorimeter (DSC) was used to check the optimum temperature for the synthesis of delafossite in a single phase. The X-ray Diffraction (XRD) pattern showed the structures of CuO and CuAl₂O₄ at sintering temperature of 1423 K and 1473 K, respectively. Therefore, we used the sintering temperature of 1333 K to obtain a single phase of the delafossite. Addition of Fe₂O₃ with 15% at. and 20% at. were added to obtain the high density and grain size. The sample with addition of Fe₂O₃ at 20% at. has the highest electrical conductivity and thermal conductivity at 62.5 Ω⁻¹ cm⁻¹ and 8.35 W/mK, in the order. The sample with addition of Fe₂O₃ 15% at. has the lowest thermal conductivity resulting in the highest figure – of – merit of 0.010 at temperature of 873 K.

Keyword : CuAlO₂, Fe₂O₃, Delafossite, Figure of merit

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือจาก ดร.อาภาภรณ์ สกกุลการะเวก อาจารย์ที่ปรึกษา ที่กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ และตรวจสอบแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆตลอดระยะเวลาในการทำวิจัย

ขอขอบคุณคณาจารย์สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ตลอดระยะเวลาการศึกษา จนผู้วิจัยสามารถนำความรู้มาใช้ในการดำเนินงานวิจัยจนสำเร็จ

ขอขอบคุณพี่ นักศึกษาปริญญาโท สาขาฟิสิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยแนะนำ ให้คำปรึกษา คอยช่วยเหลือ ในการทำวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณเพื่อน นักศึกษาปริญญาตรี สาขาฟิสิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ทุกคน ที่ให้คำปรึกษา ช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจในการทำวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ ขอน้อมรำลึกถึงพระคุณบิดา มารดา และทุกคนในครอบครัว ที่ให้กำลังใจ ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุนในการศึกษา จนสามารถทำวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี

สาโรช เครือคุณาลัย
ศุภวุฒิ โสัดจำปา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญ(ต่อ)	จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
สารบัญรูป(ต่อ)	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนของงานวิจัยและวิธีการดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 ปรากฎการณ์เทอร์โมอิเล็กทริกส์	4
2.2 ประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริกส์	6
2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์	7
2.4 สารประกอบดีลาร์ฟอสไซด์	15
2.5 อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับทำวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกส์ CuAlO_2	17
2.6 การปรับปรุงคุณสมบัติของเทอร์โมอิเล็กทริกส์ CuAlO_2 โดยการเพิ่ม Fe_2O_3	22
บทที่ 3 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง	32
3.1 อุปกรณ์การทดลอง	32
3.2 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานและอุปกรณ์การทดลอง	36
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล	35
4.1 การหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสังเคราะห์สารประกอบ $\text{CuAl}_{0.90}\text{Fe}_{0.10}\text{O}_2$ เพื่อที่จะทำให้เกิดโครงสร้างดีลาร์ฟอสไซด์เพียงโครงสร้างเดียว	35
4.2 ผลการวัด XRD ที่อุณหภูมิ 1333K, 1423K และ 1473K	36

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
4.3 ลักษณะของเกรนจากเครื่อง SEM ที่อุณหภูมิ 1333K, 1423K และ 1473K	37
4.4 การศึกษาอิทธิพลของปริมาณ Fe ที่เจือเข้าไปในสารประกอบ CuAlO_2 เพื่อให้ได้สารประกอบ $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ ($x=0.10, 0.15$ และ 0.20) เผาที่อุณหภูมิ 1333K	38
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	48
5.1 สรุปผลการวิจัย	48
5.2 ข้อเสนอแนะ	49
เอกสารอ้างอิง	50



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แนวทางการดำเนินการข้างต้นแสดงระยะเวลาการดำเนินงาน	2
3.1 ตารางปริมาณการเจือ Fe ที่ 10%, 15% และ 20%	34
4.1 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของรูพรุนและเปอร์เซ็นต์รูพรุนที่เจือ Fe เข้าไป	45



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
2.1	ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริกส์	5
2.2	ปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Pelitier Effect)	5
2.3	ขั้นตอนการทำงานของเครื่อง SEM	8
2.4	การทำงานของเครื่อง XRD	9
2.5	การทำงานของหลอด X – ray	11
2.6	การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์เรย์ ตามกฎของแบร็ก	11
2.7	หลักการการทำงานของ DTA	12
2.8	หลักการการทำงานของ TGA	12
2.9	เครื่อง ZEM 3 และการทำงานของเครื่อง ZEM 3	14
2.10	โครงสร้างดีลาร์ฟอสไซด์	16
2.11	กราฟที่พลอตระหว่าง DTA และ TGA ของ CuAlO ₂	18
2.12	กราฟของ X-ray diffraction (XRD) ของ CuAlO ₂ ที่ถูกเอาที่อุณหภูมิ 1473K	18
2.13	กราฟแสดงค่า สภาพการนำไฟฟ้า เมื่อเทียบกับ 1000/T	19
2.14	กราฟของสัมประสิทธิ์ของ Seebeck	20
2.15	กราฟแสดงค่า Power Factor	21
2.16	กราฟแสดงค่าการวัด DT/TGA	23
2.17	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความเข้ม กับมุม 2θ	24
2.18	กราฟแสดงค่า Lattice constant	25
2.19	ภาพแสดงขนาดของเกรนจากเครื่อง SEM	25
2.20	กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค	27
2.21	กราฟแสดงค่าสภาพการนำไฟฟ้า	27
2.22	กราฟแสดงค่า Power Factor	28
3.1	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำความสะอาด	29
3.2	ที่บดสาร Alumina mortar	29
3.3	อุปกรณ์สำหรับการอัดขึ้นรูป	30
3.4	เตาเผาสารยี่ห้อ Thermolyne มีขนาดกว้าง 13 ซม. ยาว 17 ซม. และสูง 10 ซม. มีอุณหภูมิสูงสุดที่ 1200°C	30
3.5	สารที่ใช้ในการทำชิ้นงาน Al ₂ O ₃ , Cu ₂ O และ Fe ₂ O ₃	31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.6 เครื่องชั่งสารยี่ห้อ Sartorius รุ่น AZ Series ความละเอียดในการชั่ง ทศนิยม 4 ตำแหน่ง	31
3.7 หน้าจอแสดงผลและปุ่มการทำงานต่างๆ ของเครื่องชั่งน้ำหนัก Sartorius รุ่น AZ Series	32
3.8 เครื่องอัดไฮโดรลิก มีความดันสูงสุดในการอัด 3500 ตัน	33
4.1 กราฟแสดงการวัดค่า DSC และ TGA	35
4.2 กราฟแสดงค่าจากการวัด XRD	36
4.3 ภาพจาก SEM แสดงขนาดของเกรดของชิ้นงานเผาที่อุณหภูมิ a) อุณหภูมิ 1333 K, b) อุณหภูมิ 1423 K และ c) อุณหภูมิ 1473 K	37
4.4 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของชิ้นงานที่เผาในอุณหภูมิ 1333 K	38
4.5 แสดงการเปรียบเทียบพีคที่ระนาบ (012) ของสารประกอบ $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ ($x = 0.10, 0.15$ และ 0.20)	39
4.6 ค่าคงที่ของผลึกที่แกน a และ c ของสารประกอบ $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ ($x = 0.10, 0.15$ และ 0.20)	40
4.7 ลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานที่ได้จากการวัดด้วย SEM สารประกอบ a) $\text{CuAl}_{0.90}\text{Fe}_{0.10}\text{O}_2$, (b) $\text{CuAl}_{0.85}\text{Fe}_{0.15}\text{O}_2$, และ (c) $\text{CuAl}_{0.80}\text{Fe}_{0.20}\text{O}_2$ เผาที่อุณหภูมิ 1373 K	41
4.8 ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของสารประกอบ $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ ($x = 0.10, 0.15$ และ 0.20) โดยการนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1373 K	42
4.9 ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของสารประกอบ $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ ($x = 0.10, 0.15$ และ 0.20) โดยการนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1373 K	43
4.10 ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ของสารประกอบ $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ ($x = 0.10, 0.15$ และ 0.20) โดยการนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1373 K	44
4.11 ค่าสภาพนำความร้อนของสารประกอบ $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ ($x = 0.10, 0.15$ และ 0.20) โดยการนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1373 K	45
4.12 แสดงแนวโน้มการเติม % Fe ที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความพรุนตัว	46
4.13 ค่า ZT ของสารประกอบ $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ ($x = 0.10, 0.15$ และ 0.20) โดยการนำไป เผาที่อุณหภูมิ 1333 K	47

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

พลังงานไฟฟ้าถือว่ามีค่าสำคัญเป็นอย่างมาก เพราะกิจกรรมต่างๆในชีวิตประจำวันที่เกี่ยวข้องกับพลังงานงานไฟฟ้าทั้งสิ้น แต่เนื่องจากการที่ทรัพยากรธรรมชาติที่ ถูกนำมาใช้ในการผลิตเป็นพลังงานไฟฟ้า เช่น น้ำมัน แก๊สธรรมชาติ ถ่านหิน กำลังใกล้จะหมดลงไปทุกทีอีกทั้งพลังงานเหล่านั้นจะก่อให้เกิดมลพิษต่อสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาพลังงานอื่นเพื่อมาทดแทน พบว่าในชีวิตประจำวันนั้นมีความร้อนเข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น ความร้อนจากการต้มน้ำ ความร้อนจากการเผาไหม้ของน้ำมันเชื้อเพลิงรถยนต์ ความร้อนจากคอมเพลสเซอร์ของเครื่องปรับอากาศ โดยความร้อนเหล่านั้นได้ถูกปล่อยให้สูญเสียไป ไม่ได้ถูกนำมาใช้ประโยชน์ อย่างไรก็ตามพลังงานที่สูญเสียไปนั้นสามารถนำมาแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้า โดยการใช่วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกส์มาช่วยในการแปลงพลังงานความร้อนเป็นพลังงานทางไฟฟ้าได้

ประสิทธิภาพของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกส์จะถูกกำหนดโดยค่า Z (figure of merit)

$$Z = \frac{\alpha^2 \sigma}{k} \quad (1.1)$$

Z คือ ค่า figure of merit

α คือ ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค (Seebeck Coefficient)

σ คือ ค่าสภาพนำไฟฟ้า (Electriccal conductivity)

K คือ ค่าสภาพนำความร้อน (Thermal conductivity)

ดังนั้นในการเลือกที่จะศึกษาและสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกส์แต่ละประเภทขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ประสิทธิภาพ ต้นทุนในการสังเคราะห์ และอุณหภูมิที่จะนำมาประยุกต์ใช้งาน ในโครงการพิเศษนี้สนใจที่จะทำการสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกส์ จากสารประกอบของ Al_2O_3 และ Fe_2O_3 เนื่องจาก

1. สารตั้งต้นในการสังเคราะห์ คือ Al_2O_3 และ Fe_2O_3 มีราคาถูก
2. เป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกส์ที่สามารถนำไปใช้งานที่อุณหภูมิสูงได้มากกว่า $1100^\circ C$ ขึ้นไป
3. สามารถสังเคราะห์ได้โดยไม่ต้องควบคุมบรรยากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อสังเคราะห์สารประกอบ $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ ($0.1 \leq x \leq 0.2$)
2. เพื่อวัดสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกส์ของสารประกอบ $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ ($0.1 \leq x \leq 0.2$)
3. เพื่อให้ได้เงื่อนไขที่เหมาะสมในการสังเคราะห์สารประกอบ $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ ($0.1 \leq x \leq 0.2$)

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. โครงการที่จะสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกส์ CuAlO_2 เป็นโครงสร้างเดี่ยวและปรับปรุงสมบัติทางไฟฟ้าโดยการเจือ Fe_2O_3
2. หาอุณหภูมิที่เหมาะสมที่จะสังเคราะห์ CuAlO_2 โดยเจือ Fe_2O_3 ที่ 10% ให้เป็นโครงสร้างเดี่ยวแล้วนำไปทำการทดสอบวัด DSC ,TGA, XRD
3. เจือ Fe_2O_3 10%, 15% และ 20% นำชิ้นงานไปวัด XRD, SEM, ZEM-3 และ Thermal Conductivity

1.4 ขั้นตอนของงานวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

โครงการมีระยะเวลาในการจัดทำรวมทั้งสิ้น 10 เดือน โดยเริ่มตั้งแต่เดือนตุลาคม 2557 ถึงเดือนกรกฎาคม 2558 ซึ่งมีขั้นตอนการดังนี้

ตารางที่ 1.1 แนวทางการดำเนินงานโครงการพิเศษ

แผนการดำเนินการ	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.
1.ศึกษาและรวบรวมข้อมูล										
2.เตรียมชิ้นงาน										
3.การวัดสมบัติทางโครงสร้าง										
4.การวิเคราะห์ชิ้นงาน										
5.สรุปผล										

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. นำความรู้ที่ได้รับจากงานวิจัยสารกึ่งตัวนำ ไปประยุกต์ใช้ในชีวิตประจำวันได้
2. นำความรู้จากงานวิจัยไปต่อยอดให้ได้ประโยชน์มากขึ้น
3. มีความรู้ในการศึกษาค้นคว้าทฤษฎี คุณสมบัติต่างๆของวัสดุ อย่างถูกต้องและเหมาะสม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1.ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริกส์

ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริกส์ (thermoelectric effect) เป็นปรากฏการณ์การเปลี่ยนรูประหว่างพลังงานความร้อนและพลังงานไฟฟ้าความรู้เกี่ยวกับปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริกส์เริ่มต้นเมื่อ Thomas Johann Seebeck โดยพบว่าเมื่อเกิดความแตกต่างของอุณหภูมิบริเวณรอยต่อของตัวนำ (Conductor) สองชนิดจะเกิดแรงดันและเกิดกระแสไฟฟ้าไหลขึ้นภายในตัวนำเมื่อเป็นวงจรปิด ซึ่งเรียกว่าปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck Effect) หลังจากนั้น Jean Chales Athanase Peltier ก็พบว่าเมื่อจับตัวนำสองชนิดมาต่อกันแล้วจ่ายกระแสให้ไหลผ่านตัวนำที่รอยต่อระหว่างตัวนำทั้งสอง จะมีความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิเกิดขึ้นซึ่งการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าปรากฏการณ์นี้ว่าปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier Effect)

2.1.1 ปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck effect)

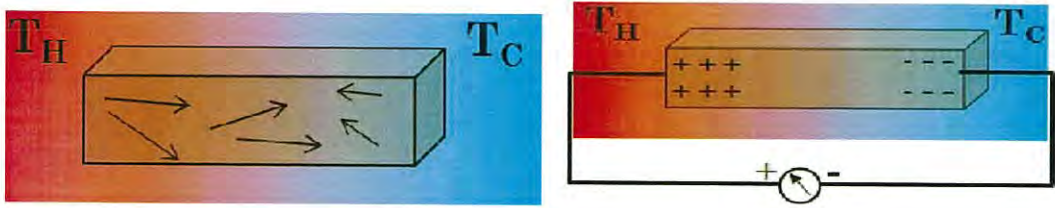
พาหะข้างมากของสารกึ่งตัวนำทั้งสองชนิดจะมีทิศทางการแพร่ (diffusion) เป็นไปตามรูปที่ 2.1 คือพาหะมีการไหลตามทิศทางการถ่ายเทอุณหภูมิจากอุณหภูมิสูงไปยังอุณหภูมิต่ำกว่าการแพร่ของพาหะข้างมากก็จะเกิดการไหลของกระแส กรณีพาหะข้างมากเป็นอิเล็กตรอนกระแสก็จะไหลในทิศสวนทางกับการแพร่ไหลจากซ้ายไปขวาและถ้าหากพาหะข้างมากเป็นโฮลกระแสที่เกิดขึ้นจะไหลทิศทางเดียวกันกับทางแพร่จะไหลจากขวาไปซ้ายและแรงดัน (Built-in potential) ที่เกิดขึ้นระหว่างด้านทั้งสองที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันสามารถอธิบายเป็นความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$S = \frac{\Delta V}{\Delta T} = \left(\frac{V_h - V_c}{T_h - T_c} \right) \quad (2.1)$$

V_h = แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากด้านร้อน, V_c = แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากด้านเย็น หน่วย V

T_h = อุณหภูมิด้านร้อน หน่วย K, T_c = อุณหภูมิด้านเย็น หน่วย K

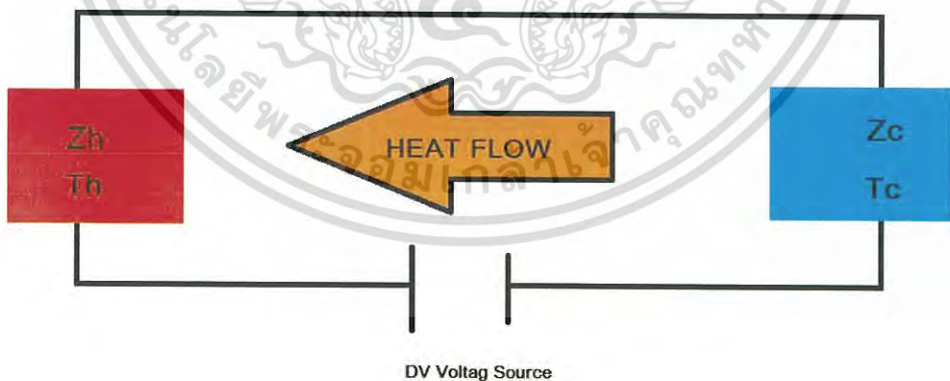
S = Seebeck Coefficient หน่วย (V/K)



รูปที่ 2.1 ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริกส์

2.1.2 ปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier Effect)

ปรากฏการณ์ที่เรียกว่า เพลเทียร์เอฟเฟกต์ (Peltier effect) ได้ถูกค้นพบมากกว่า 176 ปีแล้วโดยนักวิทยาศาสตร์ชาวฝรั่งเศส 2 คนที่ชื่อเฟรนซ์ วัตซ์เกอร์ และ ยีน ชาร์เลส เอทานส์ ซี เพลเทียร์ เมื่อปีค.ศ.1834 พบว่าเมื่อจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงให้กับสารกึ่งตัวนำสารกึ่งตัวนำสองด้าน จะกลายเป็นผิวร้อน (hot surface) และผิวเย็น (cold surface) ขึ้นกับทิศทางการไหลของกระแสไฟฟ้าปรากฏการณ์นี้เรียกว่า ปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier effect) ในทางกลับกันถ้าถ่ายเทความร้อนให้กับผิวด้านหนึ่งจะเกิดแรงดันไฟฟ้าที่เรียกว่าซีเบคโวลต์เตจ สารกึ่งตัวนำดังกล่าวเรียกว่า P-n ปรากฏการณ์เพลเทียร์จะเกิดขึ้นเมื่อมีการจ่ายกระแสไฟฟ้ากระแสตรงให้กับตัวนำสองชนิดที่ทำการเชื่อมต่อทางไฟฟ้าโดยพาหะในตัวนำจะทำการเคลื่อนที่ซึ่งในขณะเดียวกันพาหะจะทำการแพร่ความร้อนไปด้วยทำให้เกิดการแพร่ของพาหะจากจุด Zc ไปยังจุด Zh ทำให้อุณหภูมิที่จุด Zc มีค่าลดลงเท่ากับ Tc และทำให้อุณหภูมิที่จุด Zh มีค่าเพิ่มขึ้น เท่ากับ Th



รูปที่ 2.2 ปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier Effect)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมินั้นขึ้นอยู่กับทิศทางการไหลของกระแสโดยสามารถหาความสัมพันธ์ระหว่างความร้อนที่ดูดซึมทางด้านเย็นกับกระแสไฟฟ้าได้จากสมการ (2.2)

$$Q_{\text{absorb}} = (\Pi_1 - \Pi_2) \times I \quad (2.2)$$

Q_{absorb} = ความร้อนที่พาหะตัวนำสามารถพาไปได้ หน่วย W

Π = ค่า สัมประสิทธิ์เพลเทียร์ หรือพลังงานความร้อนที่ประจุไฟฟ้า 1 ประจุสามารถพาไปได้ มีหน่วย V

I = กระแสที่ไหลอยู่ภายในตัวนำ มีหน่วย A

2.1.3 ปรากฎการณ์ทอมสัน

ปรากฏการณ์นี้เกี่ยวข้องกับอัตราการแพร่ความร้อนแบบกลับได้ Q ซึ่งเกิดขึ้นมาเนื่องจากการผ่านของกระแสไปตามตัวนำเดี่ยวอันหนึ่ง เมื่อแกรเดียนของอุณหภูมิ ΔT และถ้าให้แกรเดียนอุณหภูมิมีค่าน้อยๆจะได้ว่า

$$Q = \beta I (\Delta T) \quad (2.3)$$

โดยที่ β คือ สัมประสิทธิ์ของทอมสัน

T คือ ค่าของอุณหภูมิ

Q คือ ค่าความร้อน

2.2 ประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริกส์

วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกส์ประเภทสารกึ่งตัวนำโดยจะมีค่าในการบ่งบอกประสิทธิภาพของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกส์ไว้โดยจะต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1. มีสภาพการนำไฟฟ้าที่สูงแต่เกิดความร้อนเพียงเล็กน้อยซึ่งความร้อนที่เกิดขึ้นนั้นเป็นความร้อนที่เกิดจากการต้านทานการไหลของกระแสไฟฟ้า
2. มีการแปลงพลังงานความร้อนเป็นพลังงานทางไฟฟ้าหรือมีการแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นความร้อน
3. มีการนำความร้อนที่ต่ำเพื่อป้องกันการนำความร้อนผ่านวัสดุโดยการบ่งบอกประสิทธิภาพของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกส์สามารถอธิบายด้วยความสัมพันธ์ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$ZT = \frac{\alpha^2 \sigma T}{K} = \frac{\alpha^2 T}{\rho K} \quad (2.4)$$

โดยที่ σ คือ ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค (Seebeck coefficient)

α คือ ค่าการนำไฟฟ้า (electrical conductivity)

ρ คือ ค่าความต้านทานไฟฟ้า (electrical resistivity)

K คือ ผลรวมทั้งหมดของค่าการนำ ความร้อน (total thermal conductivity)

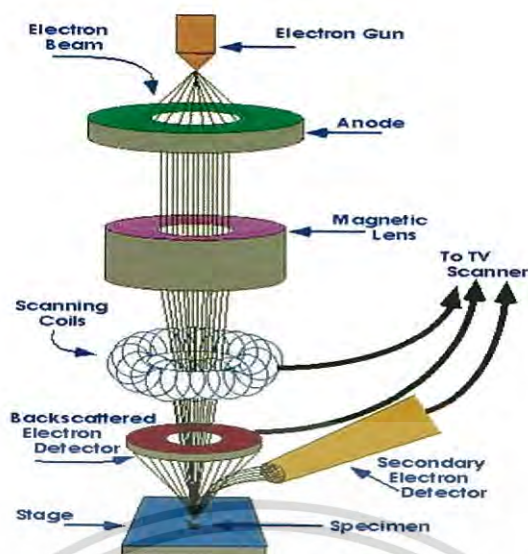
ส่วนการคำนวณค่า Power Factor สามารถคำนวณได้จาก $\alpha^2 \sigma$ ซึ่งโดยปกติจะมีการเพิ่มประสิทธิภาพในช่วงพลังงานที่แคบของวัสดุกึ่งตัวนำ (โดยปกติมีค่า ประมาณ 10^{19} carrier/cm³) ถ้ามีการเจือจะให้ค่า ZT ที่สูงมากการเคลื่อนที่อย่างรวดเร็วของประจุเป็นสิ่งที่เราต้องการเนื่องจากการมีค่าการนำไฟฟ้าที่สูงมากนั้นจะทำให้มีความเข้มข้นของประจุเกิดขึ้นค่า ZT ของวัสดุเดียวมีค่าน้อยจึงมีการนำมาจัดเรียงเป็นแบบแถวคู่ของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกส์และถูกนำมาใช้ในอุปกรณ์หรือโมดูล

โดยพื้นฐานในวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกส์มีความต้องการเพิ่มประสิทธิภาพความหลากหลายของคุณสมบัติที่ขัดแย้งกัน เพื่อเป็นการเพิ่มค่า ZT ของวัสดุซึ่งการเพิ่มขึ้นของค่า ZT หรือต้องการได้ค่า ZT ที่มีค่าสูงจะต้องมีลักษณะดังนี้ คือ มีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคสูง มีค่าการนำไฟฟ้าสูง และมีค่าการนำความร้อนต่ำ ซึ่งลักษณะเหล่านี้ต้องขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุ จำนวนของพารามิเตอร์ที่ต้องการเพิ่มค่า ZT ให้สูงขึ้น

2.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์

2.3.1 ทฤษฎีและหลักการของระบบเครื่อง SEM (Scanning Electron Microscope)

SEM เป็นกล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ electron เป็นตัววัด เครื่องมือในการศึกษาลักษณะและองค์ประกอบของวัสดุในระดับจุลภาค กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนมีกำลังขยายมากกว่า 3000 ถึง 100,000 เท่า และสามารถแจกแจงรายละเอียดของภาพ ซึ่งมีลักษณะของตัวอย่างได้ตั้งแต่ 3 ถึง 100 นาโนเมตร



รูปที่ 2.3 ขั้นตอนการทำงานของเครื่อง SEM

การทำงานของเครื่อง SEM จะใช้อิเล็กตรอนแทนแสงโดยต้นกำเนิดอิเล็กตรอนที่เรียกว่าเป็น อิเล็กตรอน (Electron Gun) ถูกสร้างจากการจ่ายกระแสไฟฟ้าสูงให้ขดลวดทั้งสแตนท์ ทำให้ อิเล็กตรอนหลุดออกมา แล้วถูกเร่งให้เคลื่อนที่ลงมาตามลำกล้อง ซึ่งภายในลำกล้องต้องเป็นสภาพ สูญญากาศ เพื่อที่จะให้อิเล็กตรอนเคลื่อนที่โดยไม่สูญเสียพลังงาน ทิศทางการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอน จะถูกควบคุมโดยเลนส์แม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic lens) อย่างน้อย 2 ชุด และปริมาณ อิเล็กตรอนถูกควบคุมโดย แอปเพอร์เจอร์ (aperture) หรือช่องเปิดที่มีขนาดต่างๆกันตามลักษณะ การใช้งาน เลนส์แม่เหล็กไฟฟ้าชุดแรกๆ เรียกว่า เลนส์คอนเดนเซอร์ (Condenser lens) เป็น อุปกรณ์ที่มีความสำคัญที่สุดต่อการควบคุมทัศนศาสตร์อิเล็กตรอน (Electron optics) เพราะเป็น เลนส์ที่ทำหน้าที่บีบอิเล็กตรอนที่วิ่งลงมาจากแหล่งกำเนิดให้เป็นลำที่มีขนาดพื้นที่หน้าตัดให้เล็กลง ส่วนเลนส์วัตถุ (Objective lens) เป็นเลนส์ชุดสุดท้ายทำหน้าที่โฟกัสลำอิเล็กตรอน (Electron beam) ให้ไปตกกระทบบนผิวตัวอย่าง โดยมีสแกนคอยล์ (Scan coil) ทำหน้าที่ที่กวาด อิเล็กตรอนให้ไปบนผิวตัวอย่างภายในกรอบพื้นที่สี่เหลี่ยมเล็กๆ ซึ่งพื้นที่ผิวของตัวอย่างบริเวณที่ถูกยิง ด้วยลำอิเล็กตรอนจะเกิดสัญญาณต่างๆ (Signal) ขึ้นหลายชนิดในเวลาเดียวกันและ SEM จะมี อุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณ (Detector) และส่งไฟล์ประมวลผลเป็นภาพแสดงบนจอต่อไป

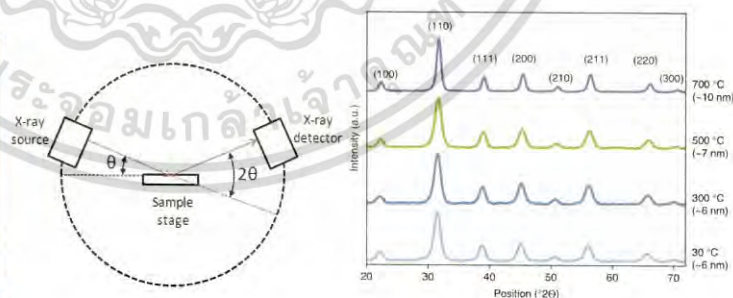
1. Secondary Electron Image (SEI) เป็นสัญญาณภาพที่ได้จาก Secondary Electron Detector (SED) ที่รับเอาพลังงานจาก Secondary Electron เป็นอิเล็กตรอนที่หลุดออกจากแถบนำ (Conduction band) หรือแถบพลังงานเวเลนซ์ (Valance band) ของสารตัวอย่าง ซึ่งจะมีช่วง พลังงาน 10 ถึง 50 eV อิเล็กตรอนที่หลุดออกมาจากพื้นผิวของชิ้นงานและถูกประมวลผลภาพที่ได้ แสดงให้เห็นลักษณะของพื้นผิวของตำแหน่งที่สนใจบนชิ้นงาน (Morphology) ศักย์เร่งอิเล็กตรอน ปรับเปลี่ยนได้ในช่วง 0.5-30 kV ตามประเภทของชิ้นงาน สามารถเพิ่มกำลังขยายได้สูงสุดถึงประมาณ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1,000,000 เท่าภายใต้สภาวะการใช้งานที่เหมาะสมโดยทั่วไปการใช้งานปกติมักจะได้กำลังขยายประมาณ 300,000 เท่า

2. Backscattered Electron Image (BEI) Backscattered Electron Image คือ อิเล็กตรอนแบบกระเจิงกลับเกิดจากลำอิเล็กตรอนปฐมภูมิที่มาจากปืนอิเล็กตรอนวิ่งเข้าชนกับชิ้นงานโดยสูญเสียพลังงานให้กับอะตอมของธาตุในชิ้นงานเพียงบางส่วนแล้วเกิดการกระเจิงกลับออกจากชิ้นงานค่าพลังงานต่างๆ

การวิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน (Energy Dispersive X-ray Spectrometer; EDS) เป็นการอาศัยหลักการของ Energy Dispersive X-ray Spectrometer ใช้ในการเร่งอิเล็กตรอนให้มีพลังงานสูงพอเหมาะพุ่งเข้าชนกับชิ้นงานซึ่งประกอบไปด้วยอะตอมของธาตุที่อยู่ในสถานะพื้น(Ground state) จนทำให้อิเล็กตรอนในระดับชั้นพลังงานวงในได้รับพลังงานจากการชนจนหลุดออกไปจะอะตอมแล้วทำให้อิเล็กตรอนวงนอกมีการคายพลังงานบางส่วนเพื่อพร้อมที่จะเปลี่ยนชั้นพลังงานในการเข้ามาแทนที่อะตอมที่หลุดออกไปพลังงานที่อิเล็กตรอนคายออกมานี้จะอยู่ในรูปของรังสีเอ็กซ์และมีค่าเฉพาะตามธาตุนั้นๆ เมื่อวัดค่าพลังงานรังสีเอ็กซ์ด้วย EDS จะสามารถวิเคราะห์ได้ว่าชิ้นงานนี้ประกอบไปด้วยธาตุชนิดใด โดยที่สามารถวิเคราะห์ธาตุโดยกำหนดจุดหรือบริเวณที่สนใจบนชิ้นงานแล้วทำการวิเคราะห์หว่าจุดหรือบริเวณนั้น ประกอบไปด้วยธาตุชนิดใดบ้าง โดยแสดงผลออกมาเป็นรูปแบบของสเปกตรัมพลังงานของธาตุต่างๆ พร้อมกับระบุสัดส่วนปริมาณของแต่ละส่วนประกอบสามารถสร้างแผนที่ระบุได้ว่า แต่ธาตุอยู่ในบริเวณใดบ้าง (Mapping) นอกจากนี้ยังสามารถจำลองสเปกตรัมได้ (Spectrum Synthesis) ชุดอุปกรณ์วิเคราะห์ธาตุ

2.3.2 ทฤษฎีและหลักการของระบบเครื่อง XRD (X – ray Diffractometer)



รูปที่ 2.4 การทำงานของเครื่อง XRD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

XRD เป็นเทคนิคในการวิเคราะห์ธาตุโดยมีหลักการ X – ray Diffractometer อาศัยหลักการยิงรังสีเอ็กซ์ที่ทราบความยาวคลื่นเข้าไปกระทบกับชิ้นงานทำให้เกิดการเลี้ยวเบนของรังสีที่มุมต่างๆกัน โดยมีหัววัดเป็นตัวรับข้อมูล เนื่องจากองศาในการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์จะขึ้นอยู่กับองค์ประกอบและโครงสร้างของสารที่มีอยู่ในตัวอย่าง ข้อมูลที่ได้รับจึงสามารถบ่งบอกชนิดของสารประกอบที่มีอยู่ในสารตัวอย่างนั้นได้ นอกจากนี้ข้อมูลที่ได้ยังสามารถนำมาหาปริมาณของสารประกอบแต่ละชนิดที่มีอยู่ในสารตัวอย่าง ปริมาณความเป็นผลึก ขนาดของผลึก ความสมบูรณ์ของผลึก และความเค้น ของสารประกอบในสารตัวอย่าง และหาความหนาของฟิล์มได้

การใช้งานสมบัติของ X – ray มาใช้ในการวิเคราะห์ธาตุได้ถูกนำมาใช้ในงาน 4 แบบ คือ

1. ใช้ในงานทางด้าน Radiography ซึ่งเป็นเทคนิคเกี่ยวกับการดูคลื่น X – ray ในทางอุตสาหกรรมได้นำมาใช้เป็นวิธีวิเคราะห์สารตัวอย่างที่เป็นของแข็ง เช่น โลหะเพื่อดูจุดบกพร่องของการหล่อโลหะดูรอยแตกรอยแยกของโลหะได้ไม่ทำลายสารตัวอย่างวิธีการคือการทำให้รังสี X – ray ผ่านเข้าไปยังชิ้นงานแล้วทะลุออกมาใส่แผ่นฟิล์ม

2. ใช้ในงานทางด้านผลึกวิทยา (X – ray Crystallography) เป็นกลุ่มของเทคนิคที่ใช้สมบัติของ X – ray เกี่ยวกับความยาวคลื่น ตำแหน่งและความเข้มของ X – ray ที่เลี้ยวเบนไป (diffracted) ด้วยผลึกของแข็งทำให้ทราบข้อมูลของภายในของโครงสร้างผลึก องค์ประกอบของผลึก ขนาดของอนุภาค การจัดตัวของอะตอมในผลึก หลักฐานการสลายตัว ภาวะพหุสัณฐาน

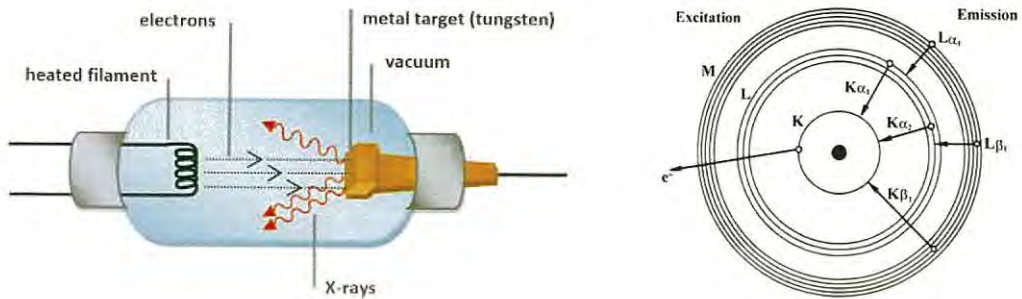
3. การนำ X – ray มาใช้ในการวิเคราะห์ทาง X – ray Fluorescence โดยสามารถวิเคราะห์ธาตุได้ ทั้งเชิงคุณภาพและเชิงปริมาณ และเป็นแบบไม่ทำลายสารตัวอย่าง (Non – destructive – testing) X – ray Beam

4. รังสี X – ray สามารถนำไปใช้เป็นรังสีบำบัดได้เพราะ X – ray สามารถทำลายเซลล์ได้หรือฆ่าสิ่งมีชีวิตได้จํานำมาใช้ในการรักษาโรคมะเร็ง การเลี้ยวเบนของ X – ray (X – ray diffraction)

ในงานวิจัยนี้ได้นำ X – ray มาใช้ประโยชน์ในด้านผลึกวิทยาซึ่งแหล่งกำเนิดรังสี X – ray มาจากการให้ความต่างศักย์สูงเร่งให้อิเล็กตรอนของไส้หลอดทำให้อิเล็กตรอนที่มีลักษณะเฉพาะของตัวเองขึ้น โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

(1.) การใช้ความต่างศักย์สูงในการเร่งให้อิเล็กตรอนจากไส้หลอดให้พลังงานจลน์มากพอที่จะวิ่งเข้าชนอะตอมเป้าโลหะแล้วทำให้ (2.) อิเล็กตรอนที่อยู่ชั้นในสุดของอะตอมเป้าโลหะหลุดออกมา (3.) อิเล็กตรอนในอะตอมเป้าโลหะที่ระดับพลังงานสูงกว่าเข้าไปแทนที่ช่องว่างอิเล็กตรอนในระดับพลังงาน $n = 1$ (ชั้น K) และปลดปล่อยรังสีเอ็กซ์ โดยรังสีเอ็กซ์ที่เปล่งออกมาจากการแทนที่ในชั้นนี้เรียกว่า “รังสีเอ็กซ์ชั้น K” (K-shell X – ray) ซึ่งรังสีเอ็กซ์ที่เปล่งออกมาจากการลดระดับพลังงานของอิเล็กตรอนจาก L ($n = 1$) หรือ M ($n = 2$) หรือ N ($n = 3$) ฯลฯ โดยกำหนดเรียกรังสีเอ็กซ์ชั้น K ที่เกิดจากการลดระดับพลังงานของอิเล็กตรอนจากชั้น L ว่ารังสีเอ็กซ์ชั้น K_{α} และกำหนดเรียกรังสี

เอ็กซ์เรย์ชั้น K ที่เกิดจากการลดระดับพลังงานของอิเล็กตรอนจากชั้น M และ N ว่ารังสีเอ็กซ์ชั้น K_{β} และ K_{γ} ตามลำดับ



รูปที่ 2.5 การทำงานของหลอด X – ray

หลักการทำงานของเครื่อง X –ray Diffractometer จะอาศัยหลักการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ คือ ยิงรังสีเอ็กซ์ทำมุม θ กับชิ้นงานที่ไปวาง โดยชิ้นงานนั้นมีลักษณะเป็นผลึก เป็นผง หรือฟิล์มบาง ก็ได้เมื่อรังสีเอ็กซ์ตกกระทบกับชิ้นงานจะสะท้อนรังสีเอ็กซ์ไปยัง Detector ถ้ารังสีเอ็กซ์ที่สะท้อนออกมาเกิดการแทรกสอดแล้วเป็นไปตามกฎของแบรกก์ (Bragg' law)

Bragg's law

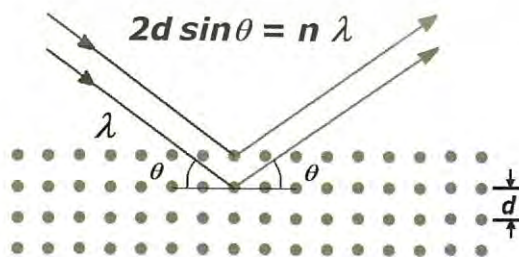
$$2d \sin \theta = n\lambda \tag{2.5}$$

d = ระยะระหว่างระนาบของผลึก

θ = มุมตกกระทบระหว่างรังสีเอ็กซ์กับชิ้นงาน

λ = ความยาวคลื่นรังสีเอ็กซ์

$n = 1, 2, 3, \dots$

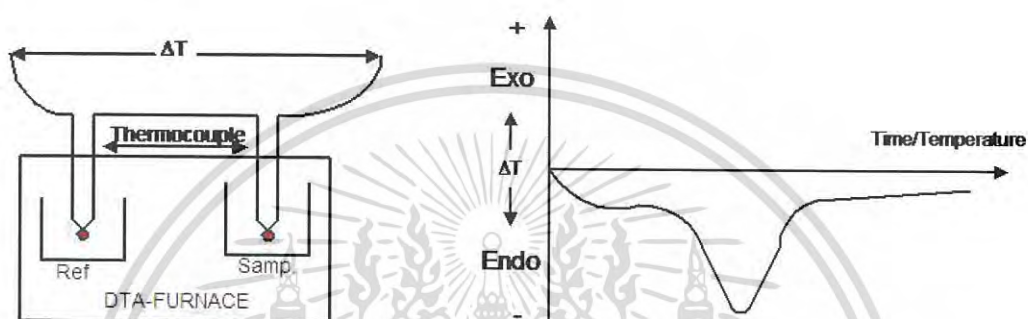


รูปที่ 2.6 การเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์เรย์ ตามกฎของแบรกก์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.3 หลักการวิเคราะห์ DTA (Differential Thermal Analysis)

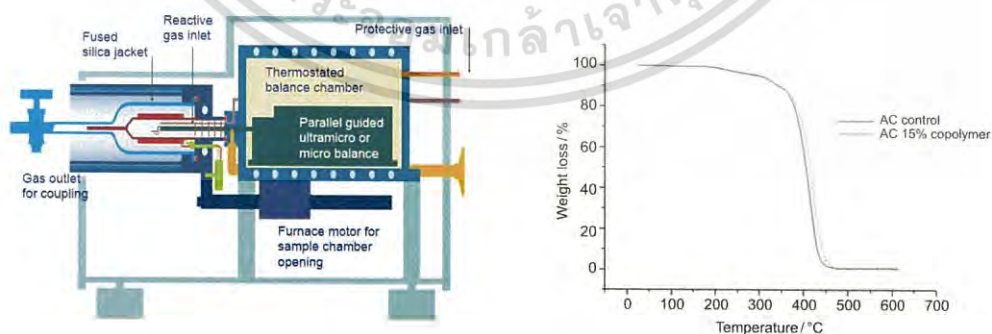
DTA เป็นหลักการและเทคนิคการวิเคราะห์ที่ใช้ในการศึกษาปริมาณความร้อนและการเปลี่ยนแปลงความร้อนที่วัสดุที่มีการเปลี่ยนแปลงต่อหน่วยเวลาโดยที่วัสดุจะมีการการดูดพลังงานหรือการคายพลังงานเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกายภาพหรือทางเคมีซึ่งวัสดุนั้นจะมีการเปลี่ยนแปลงเฟสภายใต้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือเวลาและการเปลี่ยนแปลงขนาดของวัสดุขึ้นงานภายใต้การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ



รูปที่ 2.7 หลักการทำงานของ DTA

2.3.4 หลักการวิเคราะห์ TGA (Thermogravimetric Analysis)

TGA เป็นหลักการและเทคนิคการวิเคราะห์ที่ใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของสารโดยอาศัยคุณสมบัติทางความร้อนเป็นเทคนิคทางความร้อนที่ใช้วิเคราะห์มวลของวัสดุตัวอย่างที่อุณหภูมิและเวลาที่เปลี่ยนแปลงไป โดยมีการควบคุมภายใต้ช่วงอุณหภูมิที่กำหนด



รูปที่ 2.8 หลักการทำงานของ TGA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.5 ค่าสภาพการนำความร้อน (Thermal Conductivity, K)

การถ่ายเทความร้อนของวัสดุโดยทั่วไปมีสามลักษณะ คือ การนำความร้อน การพาความร้อน และการแผ่รังสี โดยการนำความร้อน (Heat conduction) ซึ่งการนำความร้อนเป็นปรากฏการณ์ที่พลังงานความร้อนมีการถ่ายเทภายในวัสดุใดๆหรือวัสดุสองชิ้นที่มีการสัมผัสกัน โดยมีทิศทางการเคลื่อนที่ของพลังงานความร้อนจากบริเวณหนึ่งที่มีอุณหภูมิสูงไปยังอีกบริเวณหนึ่งที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า โดยที่ตัวกลางไม่มีการเคลื่อนที่ ในการวัดสมบัติการนำความร้อนของวัสดุ จะมีค่าบ่งบอกถึงความสามารถในการถ่ายเทความร้อนของวัสดุ คือ ค่าสภาพการนำความร้อน (Thermal-Conductivity, K) ซึ่งเป็นการวัดอัตราการไหลของความร้อนที่จุดใดๆ ผ่านมวลวัสดุที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันระหว่างพื้นผิวของวัสดุ โดยจะมีค่าแตกต่างกันไปตามชนิดของวัสดุ ถ้าวัสดุสามารถนำความร้อนได้ดีจะทำให้ค่า K สูง จะเรียกว่าวัสดุประเภทนี้ว่า “ตัวนำความร้อน” แต่ถ้าวัสดุชนิดไหนมีค่า K ต่ำกว่าวัสดุชนิดนี้จะเป็น “ฉนวนความร้อน” ซึ่งมีสมบัติในการป้องกันการถ่ายเทความร้อนได้ดี การวัดค่าสภาพการนำความร้อนสามารถแบ่งได้เป็น 2 กลุ่มเทคนิคใหญ่คือ

1. การวัดแบบสภาวะไม่คงที่ (Transient Method) เป็นการวัดในขณะที่มีการให้ความร้อนเขาไปเป็นการวัดแบบฟังก์ชันกับเวลา ซึ่งการวัดแบบนี้มีข้อดีคือเราไม่จำเป็นต้องให้ระบบเข้าสู่สภาวะคงที่ทำให้ใช้เวลาในการวัดที่รวดเร็วแต่ในขณะเดียวกันก็มีข้อจำกัดคือการคำนวณจะยุ่งยากมีการใช้สมการที่ซับซ้อน การวัดแบบสภาวะไม่คงที่

Hot wire probe (การใช้ขดลวดความร้อน) การวัดแบบนี้จะใช้แหล่งความร้อนที่เป็นเส้นลวดยาวมากเป็นตัวให้ความร้อนโดยที่ลวดนั้นจะต้องไม่มีการหดตัวหรือขยายตัวที่อุณหภูมิใดๆในขณะมีการใช้งาน ทั่วไปจะนิยมใช้ลวดทองแดงการวัดแบบนี้มีความสะดวกในการวัด มีการวัดที่รวดเร็วและใช้เวลาน้อย

Laser flash method วิธีนี้จะเป็นการวัดการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิของชิ้นงานแผ่นบางเมื่อให้พลังงานจาก Laser เข้าไปแบบ pulse การวัดแบบนี้มีความรวดเร็ว เหมาะกับวัสดุหลายชนิดมีช่วงอุณหภูมิการวัดที่กว้าง

2. การวัดแบบสภาวะคงที่ (Steady-state method) นิยมใช้เมื่ออุณหภูมิของวัสดุที่ทำการวัดไม่เปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิในการวัดเช่น ฉนวนความร้อน ซึ่งวิธีนี้จะใช้ในการวัดค่าสภาพการนำความร้อนที่เป็นฉนวนโดยมี 2 วิธีหลักคือ

Guard hot plate (GHP) เป็นการวัดแบบ absolute method คือการวัด heat flux โดยตรง จึงไม่ต้องมีการเปรียบเทียบค่า (calibration) มีความแม่นยำสูง มีช่วงของอุณหภูมิการวัดที่กว้าง แต่มีข้อเสียคือ ใช้เวลาในการวัดที่นานโดยในการวัดต้องใช้ตัวอย่างในการทดสอบ 2 ชิ้นเพื่อยืนยันว่ามีการถ่ายเทความร้อนแบบสมมาตร

Heat flow meter (HFM) เป็นวิธีการวัดแบบ comparative method โดยการวัด heat flow เป็นวิธีที่ง่ายและรวดเร็วโดยใช้ชิ้นงานทดสอบเพียงชิ้นเดียวแต่เครื่อง HFM จะต้องมีการออกแบบเครื่องมือที่เพื่อที่จะให้เกิดการถ่ายเทความร้อนไปในทิศทางเดียว เครื่อง HFM จะประกอบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปด้วย plate 2 อันที่อุณหภูมิแตกต่างกัน คือ hot plate และ cold plate โดยที่ตัวอย่างที่จะมาทำการทดสอบนั้นจะถูกใส่ให้อยู่ระหว่าง plate ทั้ง 2 เพื่อที่จะให้ความร้อนมีการถ่ายเทจากอุณหภูมิสูงไปยังอุณหภูมิต่ำและภายในตัวเครื่องจะมี sensor ในการวัด heat flow เพื่อให้กลับสู่สภาวะคงที่คือมี temperature gradient เป็นศูนย์เพื่อที่เครื่องจะได้คำนวณค่าสภาพการนำความร้อน โดยสามารถคำนวณได้จากสมการ ค่าสภาพการนำความร้อนดังนี้

$$q = -k \frac{dt}{dx} \tag{2.6}$$

เมื่อ $q =$ heat flux (W/m^2)

$k =$ thermal conductivity ($W/m\cdot K$)

$\frac{dt}{dx} =$ temperature gradient (K/m)

และยังสามารถหาค่าความต้านทานของวัสดุหาได้จากสมการ

$$R = \frac{\Delta x}{k} \tag{2.7}$$

เมื่อ $\Delta x =$ ความหนาแน่นของวัสดุ (m)

$R =$ ความต้านทานความร้อน ($m^2 K/W$)

2.3.6 ZEM 3



รูปที่ 2.9 เครื่อง ZEM 3 และ การทำงานของเครื่อง ZEM 3

ZEM 3 เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค (Seebeck coefficient) และค่าสภาพการต้านทานไฟฟ้า (Electric Resistance) ของตัววัสดุโดยการวัดจะทำการนำสารตัวอย่างไปวางไว้ระหว่างตัวให้ความร้อนและตัวให้ความร้อนที่ปรับค่าได้ซึ่งอยู่ในด้านตรงข้ามกันและมีเทอร์โมคัปเปิล

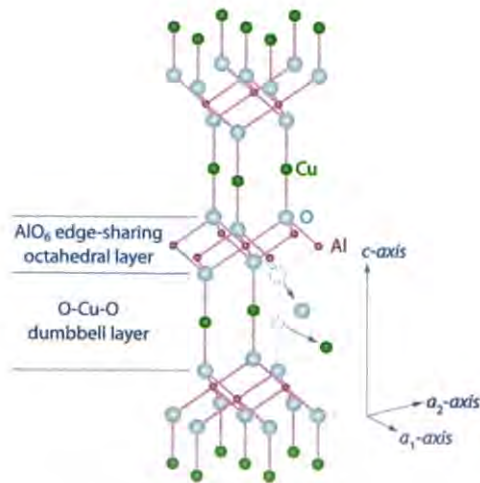
จำนวน 2 เส้นมาทำการวัดอุณหภูมิระหว่างจุด 2 จุด ของสารตัวอย่างซึ่งเทอร์โมคัปเปิลเส้นแรกจะมีเอกสารเป็นเอกสารที่ส่งวนเวสสำหรับบริการเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตเห็นไปใช้ประโยชน์ด้านการศึกษาไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำหนดให้เป็น T_1 และเทอร์โมคัปเปิลเส้นที่ 2 จะมีการกำหนดให้เป็น T_2 โดยมีการจ่ายกระแสคงที่ให้กับสารตัวอย่าง และยังมีการนำไปประยุกต์ใช้เพื่อกำหนดค่าที่ V ที่ลดลงระหว่างเส้นลวดกับเทอร์โมคัปเปิล ทำให้เกิดพลังงานการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนมีค่าลดลง

2.4 สารประกอบดีลาฟอไซด์

โครงสร้างผลึกของสารประกอบดีลาฟอไซด์เป็นสารประกอบออกไซด์แบบ 3 องค์ประกอบมีสูตรทั่วไปคือ ABO_2 และสูตรทางเคมีคือ $A^+B^{3+}(O^{2-})_2$ เมื่อไอออน A ประกอบด้วย Cu^+ , Ag^+ , Pt^+ , Pd^+ ส่วนไอออน B^{3+} แบ่งได้เป็น 4 กลุ่ม คือ กลุ่มที่ 1 เป็นธาตุ Trivalent Transition Metals ได้แก่ ธาตุพวก Cr, Mn, Fe, Co, Ni และ Rh กลุ่มที่ 2 เป็นธาตุ Group III Metal Elements ได้แก่ ธาตุพวก Sc, Y, La กลุ่มที่ 3 เป็นธาตุ Group 13 Metal Elements ได้แก่ ธาตุพวก B, Ga, Al, In, Tl และ กลุ่มที่ 4 เป็นธาตุ Rare earth element ได้แก่ ธาตุพวก Pr, Nd, Sm, Eu

โครงสร้างผลึกของสารประกอบดีลาฟอไซด์ มี Unit cell เป็นแบบ Hexagonal ใน Space Group $R3m$ มี Primitive Cell เป็นแบบ Rhombohedral โดยโครงสร้างจะมีการเรียงสลับแบบซ้ำๆ กันไปในแนวแกน Z โดยมีชั้นของ O – A – O คล้ายดัมเบล สลับกันกับชั้นบล็อกทรงเหลี่ยมหกหน้าของ BO_2 โดยชั้นของดัมเบลมีไอออน A ยึดเกาะติดกับไอออน O^{2-} จำนวน 2 ไอออน ในลักษณะเส้นตรง (Linear Coordination) เรียงในแนวแกน Z ส่วนชั้นบล็อกทรงเหลี่ยมหกหน้า BO_2 เกิดจากการแชร์กันหกหน้าของ $[BO_2]^{1-}$ ที่มีไอออน B^{3+} อยู่ตรงกลางของบล็อกโดยที่ไอออน B จะยึดเกาะกับไอออน O^{2-} จำนวน 6 ไอออน มุมทั้งแปดของโครงสร้างทรงเหลี่ยมถูกยึดเกาะติดกับไอออน A ในแนวขนานกับแกน Z สำหรับระนาบของไอออน A นั้นทำหน้าที่เชื่อมบล็อกทรงเหลี่ยมหกหน้าเข้าด้วยกันกับระนาบของไอออน O^{2-} ขณะที่ไอออน O นั้นทำพันธะกับไอออน A จำนวน 1 ไอออน และทำกับไอออน B จำนวน 3 ไอออน ไอออน O จึงมีลักษณะเชื่อม 4 แขน เป็นแบบ Tetrahedral Coordination



รูปที่ 2.10 โครงสร้างผลึกฟอสเฟต CuAlO₂

การนำไฟฟ้าของโครงสร้างแบบผลึกฟอสเฟต โดยสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 พวก คือ พวกโลหะ และพวกสารกึ่งตัวนำ โดยสารประกอบที่เป็นโลหะเมื่อ $A = \text{Pt}$ หรือ Pd เช่น PdCoO_2 , PtCoO_2 เพราะว่ามีจำนวนอิเล็กตรอนใน d Orbital ของไอออน A^+ (Pt^+ หรือ Pd^+) มีจำนวนอิเล็กตรอนไม่เต็มชั้นเป็น $4d^7$ หรือ $5d^7$ แต่จะเป็นสารกึ่งตัวนำเมื่อ $A = \text{Ag}$ และ Cu เช่น CuFeO_2 หรือ AgCoO_2 เนื่องจากในชั้น d orbital ของไอออน A^+ (Ag^+ หรือ Cu^+) มีจำนวนอิเล็กตรอนอยู่เต็มชั้นเป็น $3d^{10}$ หรือ $4d^{10}$ ดังนั้นสารประกอบ CuFeO_2 จึงมีสภาพนำไฟฟ้าเป็นแบบสารกึ่งตัวนำมีค่า σ ประมาณ S/cm ที่อุณหภูมิห้องและประมาณ 5 S/cm ที่อุณหภูมิ 600°C มีค่าประมาณ 300 ถึง $500 \mu\text{V/K}$ ที่อุณหภูมิห้องถึง 600°C ซึ่งจะได้ค่า ZT น้อยกว่า 1 (ประมาณ 0.01 ที่อุณหภูมิห้องและ 0.03 ที่อุณหภูมิ 600°C) แต่สำหรับสารประกอบ PdCoO_2 และ PtCoO_2 นั้นมีค่า σ สูงมากแต่มีค่า S น้อยมากประมาณ 1 ถึง $5 \mu\text{V/K}$ มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับสารประกอบ CuFeO_2 ดังนั้นสารประกอบ PdCoO_2 และ PtCoO_2 จึงไม่เหมาะที่จะนำมาทำวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกส์

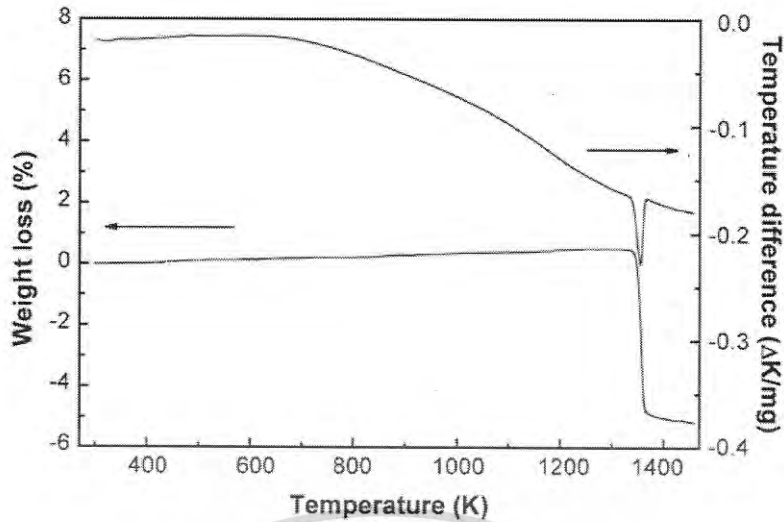
2.5 อุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับทำวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกส์ CuAlO₂

จากงานทดลองของ K. Park เขาได้ทดลองหาอุณหภูมิที่เหมาะสมที่จะสามารถตั้งประสิทธิภาพของ CuAlO_2 ออกมาได้ดี โดยเขาได้ทดลองโดยการผสมผง CuO และ Al_2O_3 และแอลกอฮอล์ เข้าด้วยการจากนั้นบดโดย Ball-milled ในโหล เทฟลอน ที่มี ZrO_2 เป็นสื่อกลางเป็นเวลา 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นนำผงที่บดได้ไปอบแห้งในอุณหภูมิ 353 K ในเตาอบเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ในการวิเคราะห์อุณหภูมิของส่วนผสมโดยคิดจากผลต่างของอุณหภูมิส่วนด้วย Thermogravimetric (DT/TGA) ในอุณหภูมิช่วง $293 - 1473 \text{ K}$ โดยอุณหภูมิเพิ่มขึ้น 10 K ต่อนาทีในอากาศ ผงของส่วนผสมที่ได้นำไปเผาอีกในอุณหภูมิ 1073 K เป็นเวลา 2 ชั่วโมง แล้วนำไปผงที่ถูกเผาไปบดใน Ball-milled เป็นเวลา 24 ชั่วโมงจากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 353 K เป็นเวลา 12 ชั่วโมง เมื่ออบเสร็จนำผงที่ได้มาอัดโดยเครื่องอัดความดันแบบใช้มือโดยใช้ความดัน 98 MPa โดยอัดเป็นเม็ดขนาดหนา 5 mm กว้าง 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

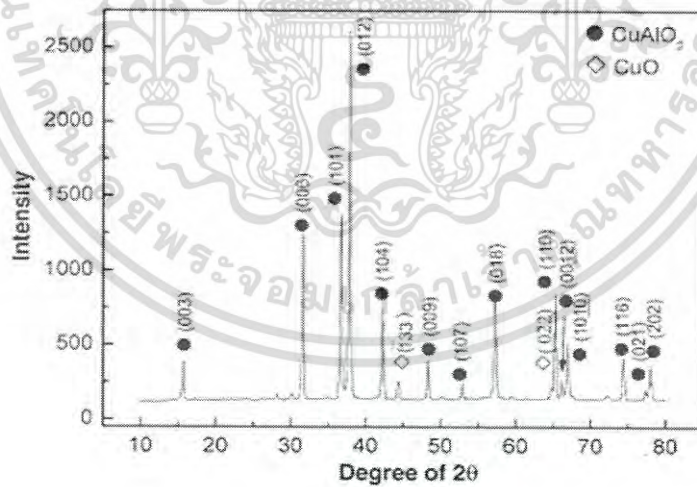
mm แล้วแบ่งนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1433 K กับ 1473 K เป็นเวลา 20 ชั่วโมงและปล่อยให้เตาเผาค่อยๆเย็นลงเองจากนั้นนำเม็ดที่อัดได้มาทุบให้แตกโดย ครกอลูมิเนียม แล้วนำไปบดให้ละเอียดโดย Ball-milled เป็นเวลา 5 ชั่วโมง เมื่อบดจนละเอียดแล้วนำผงที่ได้มาอัดเป็นเม็ดใหม่โดยมีความหนา 5mmและกว้าง20mm จากนั้นนำไปเผาที่ อุณหภูมิ 1433 K กับ 1473 K เป็นเวลา 20 ชั่วโมง โครงสร้างผลึกของตัวอย่างที่เผาวิเคราะห์ด้วย X-ray diffraction (XRD) (Rigaku DMAX-2500/PC) โดยใช้ รังสี CuK ที่ 40 กิโลโวลต์และ 100 มิลลิแอมป์ จุลภาคของกลุ่มตัวอย่างเป็นเผาถูกตรวจสอบโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) (ฮิตาชิS4700) ตัวอย่างสำหรับการตรวจวัดไฟฟ้าได้

โดยการตัดออกจากเม็ดที่ถูกเผาให้ในรูปแบบของรูปสี่เหลี่ยมบาร์ 2mm x 15mm x 2mm โดยใช้เลื่อยเพชรและขัดด้วยกระดาษทรายและวัดการนำไฟฟ้าโดยวัดไฟฟ้ากระแสตรง (DC) สำหรับการตรวจวัดค่าความร้อนความแตกต่างถูกสร้างขึ้นโดยผ่านเยื่ออากาศในท่อป้องกันควอทซ์ วางอยู่ใกล้ปลายด้านหนึ่งของ ตัวอย่าง อุณหภูมิที่แตกต่างระหว่างปลายทั้งสองข้างในชิ้นงานที่ถูกควบคุมที่ 3 – 6 K โดยใช้ความแตกต่างกันของอัตราการไหลของอากาศ การวัดพลังงานความร้อนเป็นหน้าที่ของอุณหภูมิที่แตกต่างและค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค ที่คำนวณได้จากมันวัดได้ที่ 540 - 1140 K ในอากาศโครงสร้างผลึกของตัวอย่างวิเคราะห์ด้วย X-ray diffraction (XRD) (Rigaku DMAX-2500/PC) โดยใช้ลูกบาศก์ รังสีที่ 40 กิโลโวลต์และ 100 มิลลิแอมป์ จุลภาคของกลุ่มตัวอย่างเป็นเผาถูกตรวจสอบโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) (ฮิตาชิS4700) ตัวอย่าง สำหรับการตรวจวัดไฟฟ้าได้ตัดออกจากตัวอย่างที่ถูกเผาในรูปแบบของรูปสี่เหลี่ยมบาร์ 2mm x 15mm x 2mm กับเพชรเห็นและขัดด้วยทราย เอกสารตั้งนี้การนำไฟฟ้าวัดโดยกระแสตรง (DC) สำหรับการตรวจวัด thermopower, อุณหภูมิความแตกต่างในชิ้นงานถูกสร้างขึ้นโดยผ่านเยื่ออากาศในท่อป้องกันควอทซ์วางอยู่ใกล้ปลายด้านหนึ่งของตัวอย่าง อุณหภูมิที่แตกต่างระหว่างปลายทั้งสองข้างในชิ้นงานที่ถูกควบคุมจะได้รับการ 3 – 6 K โดยที่แตกต่างกันอัตราการไหลของอากาศ Thermopower วัดเป็นหน้าที่ของอุณหภูมิที่แตกต่างให้ตรงสายและค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคที่คำนวณได้จากมันวัดได้ดำเนินการใน 540 – 1140 K จากขั้นตอนข้างต้นผลที่ได้มานั้นมีดังนี้



รูปที่ 2.11 กราฟที่พลอตระหว่าง DTA และ TGA ของ CuAlO_2

จากรูปที่ 2.11 จะเห็นว่าเป็นกราฟที่พลอตระหว่าง DTA และ TGA โดย DTA จะอยู่ทางด้านขวาและ TGA จะอยู่ทางด้านซ้าย จะเห็นได้ว่าการดูดความร้อนสูงสุดที่ 1342 - 1368 K พร้อมกับการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากสถานะของแข็งจากข้อมูลที่ได้แสดงให้เห็นว่าสาร CuAlO_2 จะเกิดการเปลี่ยนเฟสที่อุณหภูมิ 1342 - 1368 K

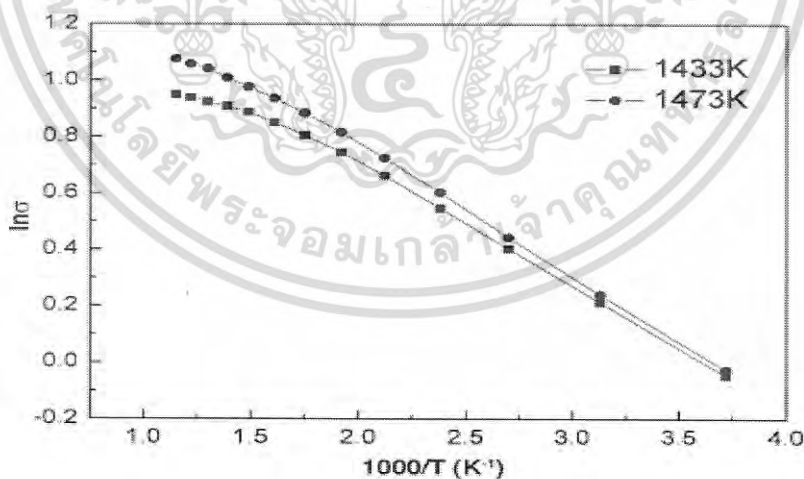


รูปที่ 2.12 กราฟของ X-ray diffraction (XRD) ของ CuAlO_2 ที่ถูกเผาที่อุณหภูมิ 1473 K

จากรูปที่ 2.12 เป็นผลการตรวจวัดด้วย X-ray diffraction (XRD) ของ CuAlO_2 ที่ถูกเผาที่อุณหภูมิ 1473 K นั้นเป็น CuAlO_2 จริงๆและมีโครงสร้างเป็น rhombohedral, R3M $a = 2.8567$ องศา และ $c = 16.943A^\circ$ 7 พร้อมกับจำนวนเล็กๆของ CuO กับ monoclinic $a = 4.653 \text{ \AA}$, เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$B = 3.410\text{\AA}$ และ $c = 5.108\text{\AA}$ และจากการวัดแลคทิตอย่างใกล้ชิดก็เป็นการยืนยันรายงาน สำหรับวัสดุก่อนหน้านี้ ปฏิบัติตามลำดับต่อไปนี้เป็นแบบอย่างที่ดีที่ตีสำหรับการก่อตัวของ CuAlO_2 : $\text{CuO} + \text{Al}_2\text{O}_3 \rightarrow \text{CuAl}_2\text{O}_4$ และพบว่าอุณหภูมิการเผาเพิ่มขึ้นขนาดของเกรนและความหนาแน่นจะเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นและความพรุนของกลุ่มตัวอย่างเผาที่ 1433 K เป็น 3.741 g/cm^3 และ 26.6% ตามลำดับ ขณะที่กลุ่มที่เผาที่ 1473 K เป็น 3.818 g/cm^3 และ 25.1% ตามลำดับ ความมีรูพรุนสูงมีผลอย่างมากต่อการลดลงในการนำไฟฟ้าและการนำความร้อนสิ่งสำคัญที่จะทราบว่ามีจำนวนของเกรนและระดับของการยึดตัวของเกรนนั่นเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิการเผาเราอาจนำไปใช้ในการปรับปรุงคุณสมบัติของเทอร์โมอิเล็กทริกส์ได้ ผลการศึกษาพบว่าการเพิ่มขึ้นของการนำไฟฟ้า σ กับอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในช่วงอุณหภูมิที่วัดแสดงให้เห็นถึงพฤติกรรมของสารกึ่งตัวนำอาจจะเป็นเพราะของการเบี่ยงเบนจากองค์ประกอบทางทฤษฎีของชั้นส่วนที่เกิดจากข้อบกพร่อง การนำไฟฟ้าของ CuAlO_2 ที่เผาที่อุณหภูมิ 1473 K สูงกว่าที่ 1443 K เพราะมีความหนาแน่นสูง The positive holes ใน CuAlO_2 เกิดจากตำแหน่งที่ว่างของ Cu ไอออน หรือ ช่วงระหว่างออกซิเจนภายในโครงผลึกของวัสดุ ข้อบกพร่องทางเคมีที่สำคัญ คือ สารประกอบปริมาณไม่สัมพันธ์ที่บกพร่องจากปฏิกิริยาของโลหะที่ขาด ออกไซด์สามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

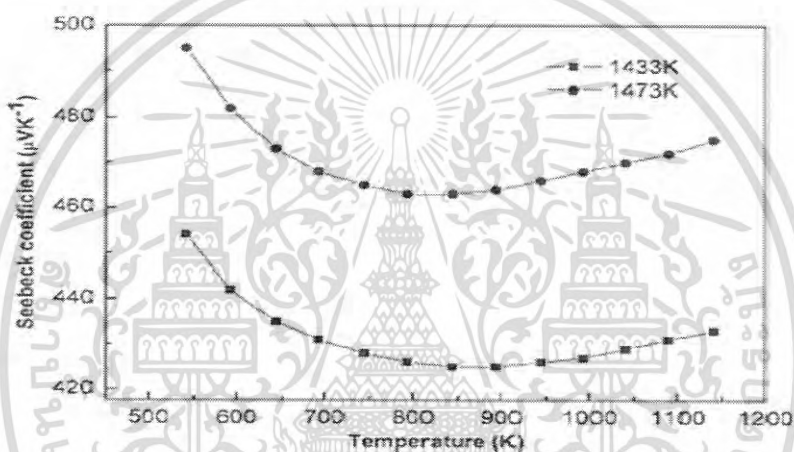
$\text{O}_2(\text{g}) = 2\text{OXO} + V_{\text{Cu}} + V_3\text{-Al} + 4\text{h} + \text{OO}, V_{\text{Cu}}, V_{\text{Al}}$ และ h โดยให้แลคทิตออกซิเจน Cu ที่ว่าง Al ที่ว่าง และโฮล ตามลำดับ ยกตัวอย่างเช่น X, -, และ + ให้เพื่อให้เป็นกลางประจุลบและบวกในชาร์จสเตจตามลำดับ



รูปที่ 2.13 กราฟแสดงค่า สภาพการนำไฟฟ้า เมื่อเทียบกับ $1000 / T$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

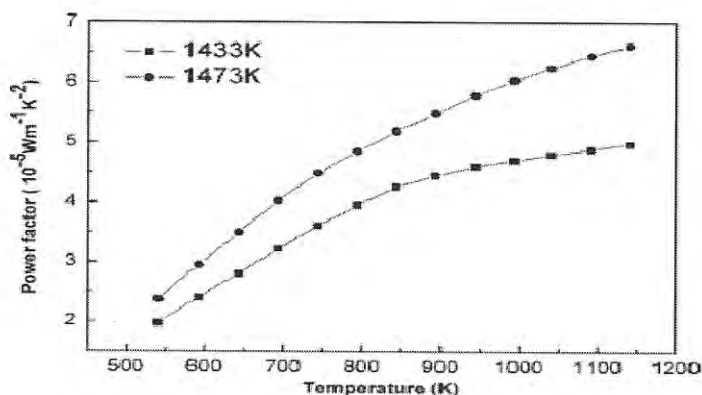
รูปที่ 2.13 แสดงให้เห็น $\ln \sigma$ เมื่อเทียบกับ $1/T$ ของกลุ่มตัวอย่างจาก 540 K ถึง 1140 K จากกราฟเชิงเส้นจะเห็นว่า ทำงานได้ดีในอุณหภูมิในช่วงของ 540 - 844 K ความสัมพันธ์เชิงเส้นในรูปที่ 2.13 หมายถึง การนำความร้อนที่กระโดดพบได้บ่อยในสารกึ่งตัวนำ การนำเกิดขึ้นผ่านทางโพลารอนเล็กๆ จากความลาดชันของกราฟนั้นเราจะได้รับค่าของการกระตุ้นพลังงานอีเอ จำเป็นต้องใช้ในการถ่ายโอนจากพาหะในระดับผู้รับไป ยั่วนอกสุดค่าของพลังงานกระตุ้นที่มีการคำนวณ 0.2 eV ซึ่งมีขนาดเล็กกว่า แบนแถบ ทั้งทางตรงและทางอ้อม ของ CuAl_2 โดยปราศจากการเจือสารใดๆเข้าไปมีค่า 3.5 และ 1.85 eV ตามลำดับ รายงานว่าการคำนวณพลังงานกระตุ้นของ CuAlO_2 फिल्मบางเตรียมโดยใช้เลเซอร์ 0.22 eV เพื่ออธิบายลักษณะรายละเอียดของ กลไกการนำตรวจสอบต่อไปจะเป็นสิ่งที่จำเป็น กล่าวคือความเข้มข้นของพาหะ Hall mobility spin-state ของอิเล็กตรอนและพลังงานกระตุ้นของพาหะของตัวอย่าง



รูปที่ 2.14 กราฟของสัมประสิทธิ์ของ Seebeck

รูปที่ 2.14 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของ Seebeck α เป็นเฝ้า CuAlO_2 เครื่องหมายของค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค เป็นบวกสำหรับทั้งช่วงอุณหภูมิที่วัดได้แสดงให้เห็น hole conduction ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค สำหรับตัวอย่าง CuAlO_2 เฝ้าที่ 1433 K และ 1473 K ลดลงถึง 844 K และ 794 K ตามลำดับเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของพาหะจากนั้นเพิ่มขึ้นเนื่องจากการลดลงของความเข้มข้นของพาหะอีกเช่นกันความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค α และความเข้มข้นของพาหะ nc สามารถแสดงดังต่อไปนี้ : $16 \alpha \approx r \ln nc$, ที่ r คือกระเจิงปัจจัยของอุณหภูมิเชิงบวกของค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค ที่จะเกิดจากการกระโดดของตัวนำได้รับการรายงานก่อนหน้านี้ว่าค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค สำหรับ $\text{Ca}_3\text{Co}_4\text{O}_9$ และ Ca เจือ RCO_3 (R = Gd, เอสเอ็ม, โดสและพีอาร์) monotonically เพิ่มขึ้นและลดลงตามลำดับด้วยจากการเพิ่มอุณหภูมิค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจะเป็นตัวบอกว่าค่าประสิทธิภาพของเทอร์โมอิเล็กทริกส์ของอุปกรณ์ไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.15 กราฟแสดงค่า Power Factor

โดยอุณหภูมิมีผลต่อค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า โดยสามารถคำนวณได้โดยนำ รูปที่ 2.13 กับ รูปที่ 2.14 มาพล็อตกันจะได้ รูปที่ 2.15 การเพิ่มขึ้นของค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจะสูงถึง 1140 K โดยค่าของค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าอุณหภูมิที่อุณหภูมิ 1140 K สำหรับ ตัวอย่าง CuAlO_2 ถูกเผาที่อุณหภูมิ 1433 K และ 1473 K จะมีค่าเป็น 4.98×10^{-5} และ $6.62 \times 10^{-5} \text{ Wm}^{-1} \text{ K}^{-2}$ ตามลำดับ เพื่อปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าจะต้องเพิ่มประสิทธิภาพ โดยการเจือสารเจือปนลงใน CuAlO_2 จะเพิ่มประสิทธิภาพทั้งการนำไฟฟ้าและค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค ตัวอย่างเช่นการเพิ่ม Pb เพียงเล็กน้อยลงใน $\text{Bi}_2\text{Sr}_2\text{Co}_2\text{O}_y$ นำไปสู่การเพิ่มขึ้นของการนำไฟฟ้า, ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค ซึ่งการปรับปรุงค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้า ได้อีก 3 - 4 ครั้ง

โดยจากผลการทดลองต่าง ๆ นั้น สามารถสรุปได้ว่า

รูปแบบ XRD แสดงให้เห็นว่าโครงสร้างผลึกของร่างกายเผา CuAlO_2 ถูกระบุว่าเป็น rhombohedral, R3M พร้อมกับจำนวนเล็กน้อยของออกไซด์กับ monoclinic โครงสร้างผลการวิจัยพบว่าอุณหภูมิการเผาที่สูงกว่าจะได้เกรนที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและการยืดตัวยาวขึ้น การนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นในช่วงอุณหภูมิ 540 - 1140 K การแสดงพฤติกรรมของสารกึ่งตัวนำนี้จะเกิดจากการเบี่ยงเบนจากองค์ประกอบทางทฤษฎีของส่วนประกอบค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค สำหรับตัวอย่าง CuAlO_2 เผาที่ 1433 K และ 1473 K ลดลงถึง 844 K และ 794 K ตามลำดับและเพิ่มขึ้นแล้วค่าตัวประกอบกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นด้วยอุณหภูมิและค่าสูงสุดของการใช้พลังงานปัจจัย CuAlO_2 เผาผลึกที่ 1473 K เป็น $6.62 \times 10^{-5} \text{ Wm}^{-1} \text{ K}^{-2}$

2.6 การปรับปรุงคุณสมบัติของเทอร์โมอิเล็กทริกส์ CuAlO_2 โดยการเพิ่ม Fe_2O_3

จากหัวข้อที่แล้วได้ช่วงอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการทำวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกส์ CuAlO_2 แล้วแต่เรายังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกส์ได้อีกโดยการเพิ่ม Fe_2O_3 จากงานของ K.Park เช่นกันเขาได้ทำการทดลองโดยการเพิ่ม Fe_2O_3 โดยมีวิธีการทดลองดังนี้

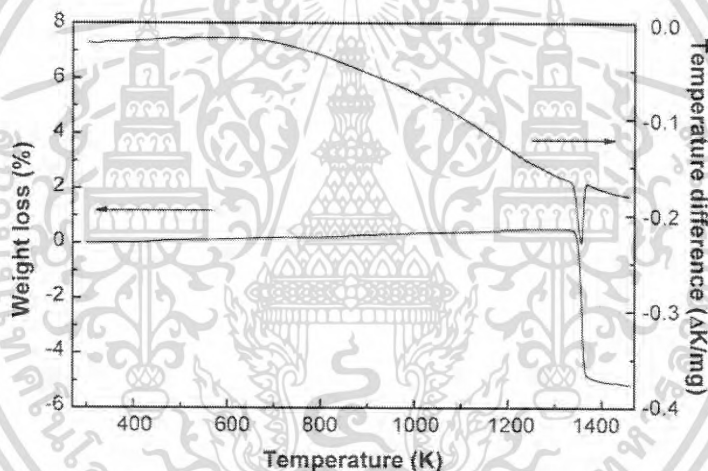
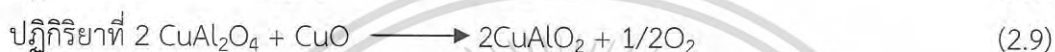
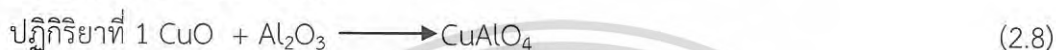
ตัวอย่างทั้งหมด $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ ($x = 0, 0.05, 0.1$ และ 0.2) ซ้อเท็จจริงสถานะของของแข็งที่ย้อนกลับ เป็นการเริ่มต้นจาก high – purity Al_2O_3 , CuO และ Fe_2O_3 สารที่เป็นผง การผสมของ Al_2O_3 , CuO_2 และ Fe_3O_2 มีผลและเอทิลแอลกอฮอล์ โดยการนำไปบด 6 ชั่วโมง เพื่อนำไปใช้ และ ZrO_2 มีการบดอย่างละเอียด เมื่อเข้ากันได้แล้วนั้นก็ได้นำไปทำให้แห้ง ที่อุณหภูมิ 353 K โดยในการอบใช้เวลา 12 ชั่วโมง โดยการวิเคราะห์อุณหภูมิ และการผสมกันของสาร ของพาหะโดยใช้อุณหภูมิที่มีแตกต่าง โดยใช้การวัดระบบเมตริก ในการวิเคราะห์ (DT/TGA) ในช่วงอุณหภูมิ 1073 K สำหรับ 2 ชั่วโมง ในลำดับที่ระบุไว้ในการแบ่งองค์ประกอบของธาตุ ในการเผาสาร ในขั้นที่ 2 อิเล็กตรอนจะสะท้อน (SEI) และจะแยกส่วนประกอบของธาตุออกมาเพื่อตรวจสอบ ในการตรวจสอบหาอิเล็กตรอน จะมีการใส่เข้าไปใน Microanalysis(EPMA) ในการบดให้ละเอียดและแห้งสำหรับ 6 ชั่วโมงที่อุณหภูมิ 353 K ในการอบสำหรับ 12 ชั่วโมง เพื่อให้แห้ง และนำไปใส่แม่พิมพ์โดยการให้ความดันในการอัด 98 MPa เพื่อให้เป็นก้อนกลมเล็กขนาด 5 มิลลิเมตร และ 20 มิลลิเมตรสำหรับเส้นผ่านศูนย์กลาง ในการอัดแน่น เพื่อนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1473 K สำหรับ 20 ชั่วโมง ในเตาอบเมื่อเย็นตัวลงจะได้ผลึกที่อัดแน่นและพร้อมที่จะนำไปทำการวัด นำไปบดให้ละเอียด 6 ชั่วโมงและก็จะได้ผลลัพธ์โดยการทำให้เป็นเม็ดกลมเล็กๆขนาด 5 มิลลิเมตร และ 20 มิลลิเมตรสำหรับเส้นผ่านศูนย์กลางและตกผลึกที่ 1473 K สำหรับ 20 ชั่วโมง และในการเผาที่อุณหภูมิห้อง $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ ($0 \leq x \leq 0.2$) ตัวอย่างการวัดโดย Arcomedes

การเผาผลึกตัวอย่าง $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ การวิเคราะห์ด้วย X – ray diffractometer ใช้ $\text{Cu K}\alpha$ ฉายไปที่วัตถุ ใช้ 40 KV และ 100mA ที่ผลึกระดับโมโคโร ทดสอบด้วยการตรวจหาโดยใช้ Scanding Electron Microscope ในลำดับการวัด คุณสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริกส์จะกระทำที่อุณหภูมิห้อง การคำนวณพลังงานทางไฟฟ้า σ และ ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค α เกิดขึ้นพร้อมกัน การวัดที่อุณหภูมิเกินกว่าช่วง 540 – 1140 K

ตัวอย่างในการทดสอบคุณสมบัติของ thermoelectric โดยการเผาผลึกให้มีรูปแบบเป็นเหลี่ยมขนาด $2 \text{ mm} \times 2 \text{ mm} \times 15 \text{ mm}$ และทำการขัดด้วยกระดาษทราย หลังจากครั้งที่ 4 ร่องจะถูกแซะลงไป redcangular สาย Pt จะเหมือนกับร่อง หลุม ($\sim 1.0 \text{ mm } \varnothing$) อยู่ตรงกลางระหว่าง 2 ช่อง ตัวอย่างการเตรียม ในการให้ความร้อนทั้ง 2 ส่วน Pt/Pt – Rh (13%) thermocouple จะถูกยึดด้วย 2 ช่องว่าง และอุณหภูมิ ที่วัดจากช่องว่างได้ และค่าสภาพการนำไฟฟ้า σ วัดได้โดยการเลือกกระแส (dc) four – probe – method สำหรับพลังงานของอุณหภูมิที่วัดได้ และอุณหภูมิที่แตกต่างกัน $T_2 - T_1$ ตัวอย่างที่ทำขึ้นในการผ่านความเย็นของแก๊ส Ar จนหมดไปตัวอย่างใน quartz ป้องกันต่ออุณหภูมิที่แตกต่างกัน $T_2 - T_1$ สิ่งที่มีร่วมกันแต่ละตัวอย่างถูกควบคุมด้วย 4 – 6 K โดยจะมีค่า

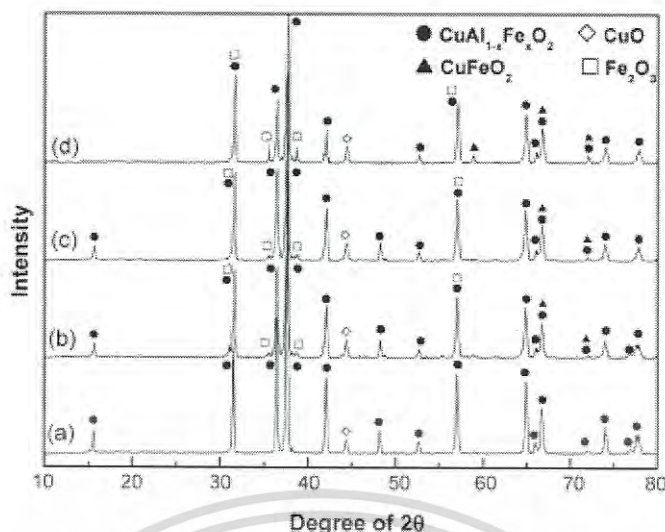
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผันผวนกับค่าของ แก๊ส Ar กระแสไฟฟ้า thermoelectric (F) วัดโดยการทำงานที่แตกต่างกันของ อุณหภูมิ โดยค่าที่ได้จะเป็นค่าไม่ผันผวนตรงไปตรงมาค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค α สามารถคำนวณได้จาก ความสัมพันธ์ $\alpha = E/T$ จากการทดลองผลลัพธ์ที่ได้ในลำดับที่เราเข้าใจกันอุณหภูมิและน้ำหนักที่ เปลี่ยนไปในระหว่างการสังเคราะห์และการกำหนดการเผาให้แตกตัวของอุณหภูมิที่มีการผสมกัน (DT/TGA) จะได้รูปแบบของเส้นจะมาพบกันการเปรียบเทียบ (DT/TGA) เส้นโค้งที่มีผลของการผสม กันของการไม่มี Fe ใน CuAlO_2 และ $\text{CuAl}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}\text{O}_2$ ตัวอย่างแรกในรูปที่ 2.16 การกำหนดสถานะ ของของแข็ง โดยมีการตอบสนองต่อปฏิกิริยาดูดความชื้น สำหรับการผสมของ CuAlO_2 เกิดขึ้นที่ อุณหภูมิ 1342 – 1368 K นี่คือการเกิดและตามมาด้วยปฏิกิริยาที่ทำให้เกิดสถานะของของแข็งจาก $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ ($0 \leq x \leq 0.2$)



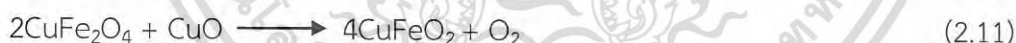
รูปที่ 2.16 กราฟแสดงค่าการวัด DT/TGA

รูปที่ 2.16 อุณหภูมิในการเกิดปฏิกิริยาของของแข็งในการรวมกันของ $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ ($0 \leq x \leq 0.2$) จากการทดลองด้วยการเพิ่มขึ้นของความจุในข้อเท็จจริง การเกิดตัวของของแข็งใน การรวมผล $\text{CuAl}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}\text{O}_2$ ตัวอย่างที่เกิดขึ้นที่อุณหภูมิ 1324 – 1359 K นี่คือการกระจายตัวของ ธาตุในทุกองค์ประกอบในการเผาให้แห้ง การเปรียบเทียบในเนื้อเดียวกัน สำหรับตัวอย่าง SEI และการวิเคราะห์ธาตุได้จากการเผาให้แห้งสำหรับ $\text{CuAl}_{0.6}\text{Fe}_{0.4}\text{O}_2$

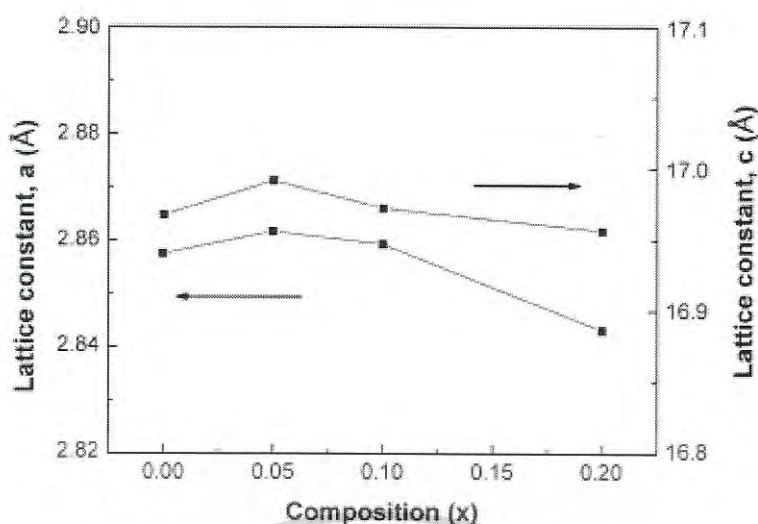


รูปที่ 2.17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มกับมุม 2θ

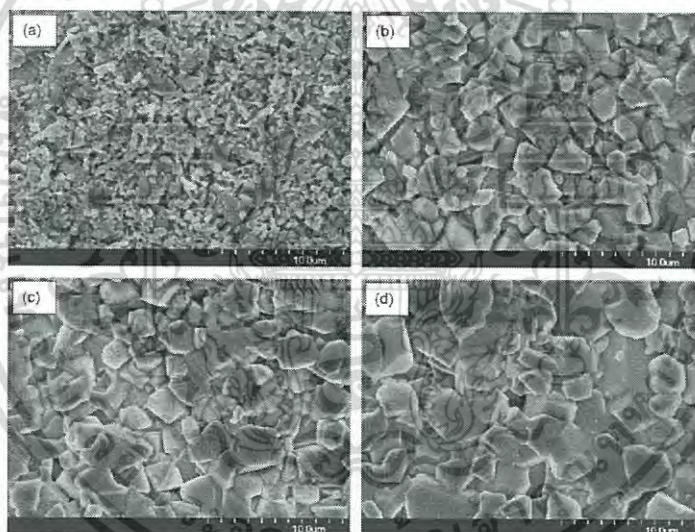
รูปที่ 2.17 แสดง XRD ในรูปแบบการเผา $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ ($0 \leq x \leq 0.2$) ตัวอย่างของการเกิดผลึก CuAlO_2 รูปทรงเป็น rhombohedral, $R3m$, $a = 2.8567 \text{ \AA}$ และ $C = 16.943 \text{ \AA}$ ในการวัดตำแหน่งของผลึก การไม่ได้รายงานสำหรับการเพิ่ม Fe ใน $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ ในการเพิ่มเข้าไปใน CuAlO_2 และ $\text{CuO}, \text{Fe}_2\text{O}_3$ เป็นส่วนหนึ่งของระยะกลุ่ม $P4_32(213)$ และมี CuFeO_2 เป็นส่วนหนึ่งของระยะกลุ่ม $R3m$ ด้วย $a = 3.031 \text{ \AA}$ และ $C = 17.092 \text{ \AA}$ ใน hexagonal Cu^{2+} ions ในลำดับ $\text{O} - \text{Cu} - \text{O}$ คล้ายกันกับ c -axis สำหรับโครงสร้างเฮกซะโกนอล CuFeO_2 มีขั้นตอนที่เชื่อว่ามาจากการติดตามปฏิกิริยา



ในการสร้างขั้นนี้ความเข้มข้นของ CuFeO_2 จะมีการเพิ่มขึ้นของเกรนของ Fe ในความจุใน ระยะที่รวดเร็วของ $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ มีขั้นตอนที่ Fe เข้าไปใน $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ มีการเพิ่มขึ้นและเคลื่อนย้ายของมุมที่ลดลงด้วยการเพิ่มตัวของ Fe ที่มีความจุมากขึ้น $X = 0.05$ ในการบ่งชี้โครงสร้างของตัวแปร $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ ระที่เพิ่มขึ้น Fe มีความจุมากขึ้น เป็นผลในการสิ้นสุดของการเพิ่ม Fe ($x < 0.05$) ในการเสนอตำแหน่งที่ Al ของ CuAlO_2 ผลึกจากการแก้ปัญหาของของแข็ง ผลึก ionic มุม Fe^{3+} และ Al^{3+} ที่ 0.65 และ 0.53 \AA ตามลำดับ ดังนั้นผลึกที่อยู่อย่างเหนียวแน่น และการเพิ่ม Fe เข้าไปใน $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ ลดลงโดยหมายทำให้ Fe มีความจุผลึกที่ต้องการเผา $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ ($0 \leq x \leq 0.2$) ตัวอย่างการกระทำของความจุ Fe แสดงในรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 กราฟแสดงค่า Lattice constant



รูปที่ 2.19 ภาพแสดงขนาดของเกรนจากเครื่อง SEM

ในรูปที่ 2.19 แสดงให้เห็นถึงการสะท้อนจาก SEM ซึ่ง $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ ($0 \leq x \leq 0.2$) ตัวอย่างในการสร้างจำนวนรวม Fe ใน $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ ตัวอย่างที่เพิ่มขึ้นขนาดของเกรนที่เพิ่มขึ้นจาก 0.94 เป็น 2.73 μm และสัมพันธ์กับความหนาแน่นที่เพิ่มขึ้นจาก 70.7 เป็น 89.9% จากทฤษฎีเกี่ยวกับความหนาแน่น

การเพิ่มรูพรุนที่มากขึ้นอยู่กับขอบเขตของเกรน และการพิจารณาเพิ่ม Fe เพิ่มขึ้น อัตราการโตของเกรนและทำให้หนาแน่น ในระหว่างที่อุณหภูมิคงที่ การเผาผลึกที่ 1473 K การเพิ่ม Fe_3O_4 ยกขึ้น ได้ผลจากการแพร่ทำให้สัมประสิทธิ์ การหารูพรุน การหดตัวที่เร็วเป็นผลให้รูอยู่อย่างติดกัน ขอบเขตของเกรน และเติบโตของเกรนเพราะอาจจะเล็กน้อยได้ทำให้มีการเคลื่อนย้ายที่รวดเร็ว เป็นผลให้ความเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นับญาติเห็นาเปเชประเษยนตั้นการค้ำไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

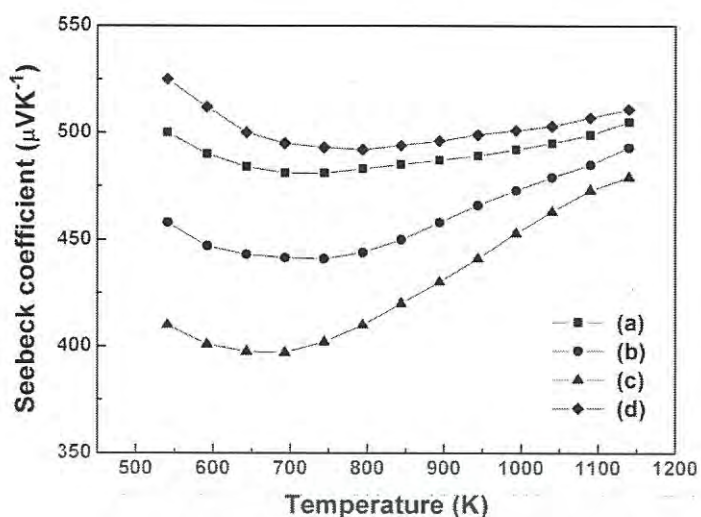
หนาแน่น ในการเพิ่มผิว การแพร่และประสิทธิภาพในการกำหนดการเพิ่ม Fe ในการเพิ่มความเร็วของเกรน อุณหภูมิที่เกี่ยวข้องกับสภาพการนำไฟฟ้า σ สำหรับ $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ ($0 \leq x \leq 0.2$) ตัวอย่างที่แสดงในรูปที่ 2.21 ค่าสภาพการนำไฟฟ้า ที่เพิ่มขึ้นโดยการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ เกิดจากการวัด และขอบเขตที่แสดงสารกึ่งตัวนำ มีพฤติกรรม เบี่ยงเบนจากองค์ประกอบหลัก โดยขอบกพร่อง สมดุลการมีรูพรุนที่แน่นชัด CuAlO_2 ถูกสร้างขึ้นจากการแตกตัวของไอออน Cu ตำแหน่งของช่องเล็กเกิดจากออกซิเจนที่ภายในของวัสดุ ของการบกพร่องทางเคมี แสดงให้เห็นความสำคัญของสภาพการนำไฟฟ้า

โดยเฉพาะการดึงดูดและการเพิ่ม Fe ขึ้น $X = 0.1$ มีค่าเพิ่มขึ้นในการเพิ่มเกี่ยวกับสภาพการนำไฟฟ้า ทั้ง 2 เป็นไปได้ เหตุผลสำหรับการเพิ่มขึ้นในการนำไฟฟ้าเข้า อันดับแรก แต่ก่อนการกล่าวถึงการเพิ่ม Fe จึงทำให้เกิดความหนาแน่น ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นคือ การรวมตัวกันของ electron ที่กระจายอยู่ ผลลัพธ์สำหรับการเปลี่ยนพหุ ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของสภาพการนำไฟฟ้า อันดับสอง แต่ละเกรนในผลึกหลายๆผลึก

$\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ แยกอิสระขอบเขตเกรนอันไหน หนาแน่นน้อยกว่าและการบรรจุเปรียบเทียบในปริมาณเกรน ผลลัพธ์ของขอบเขตเกรนแสดงให้เห็นว่า บทบาทที่สำคัญของการดำเนินการและการกระทำบริเวณ เหล่านี้ทำให้ดีขึ้นการกระจายจากศูนย์กลางการกระทำของ electron

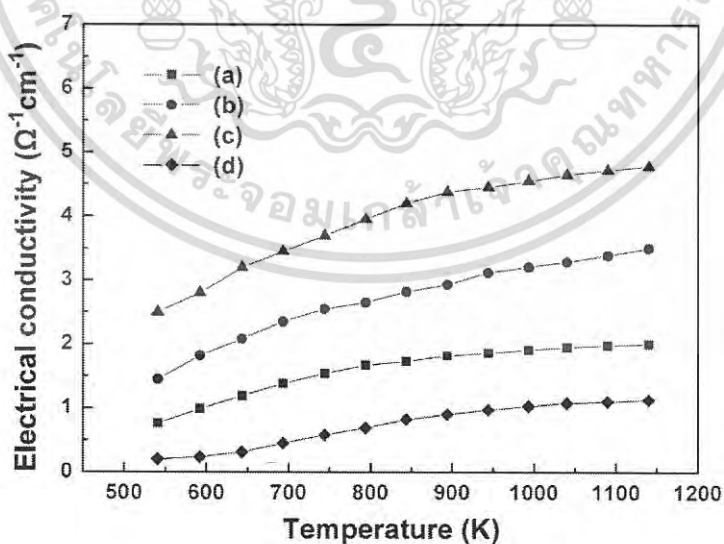
ก่อนการกล่าวถึงการเพิ่ม Fe เพื่อให้เกรนมีขนาดมากขึ้น สู่อุณหภูมิที่เป็นไปได้ในการนำ electron ให้เคลื่อนที่ ไปสู่บริเวณใกล้เคียงและดังนั้น การเพิ่มขึ้นของสภาพการนำไฟฟ้า

อย่างไรก็ตามสภาพการนำไฟฟ้า $\text{CuAl}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}\text{O}_2$ ต่ำกว่า CuAlO_2 เป็นปัจจัยโดยตรงในการเพิ่ม การแก้ปัญหา เกี่ยวกับความหนาแน่น และขนาดของเกรน จะเกิดขึ้นและการเพิ่มขึ้นของค่าสภาพการนำไฟฟ้า การรวม Fe_2O_3 ทั้งหมดและในทั้งหมดลดสภาพการนำไฟฟ้า ในการเพิ่มขึ้นของ Fe ทำให้เกิดความหนาแน่น ดังนั้นการที่จะทำให้สภาพการนำไฟฟ้าลดลง ในการเพิ่ม CuFeO_2 พบใน $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ ($0.05 \leq x \leq 0.2$) ตัวอย่างการการนำไฟฟ้าที่แย่ สภาพการนำไฟฟ้าของ CuFeO_2 เป็นเหมือนกับ $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$



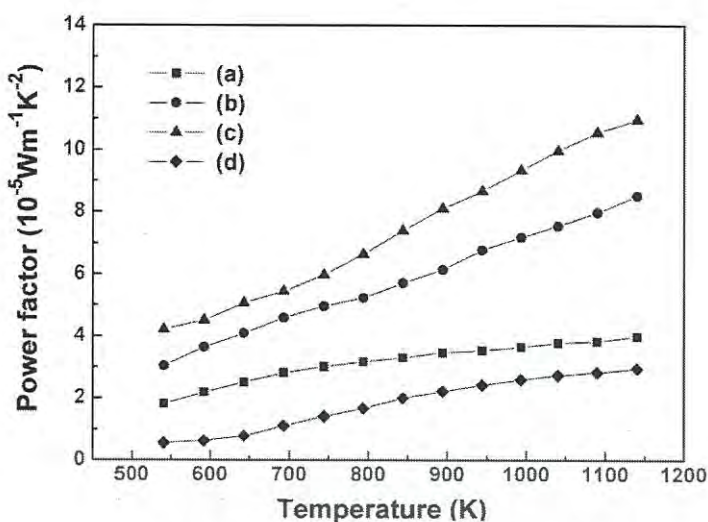
รูปที่ 2.20 กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค

ตามที่ได้แสดงในรูปที่ 2.20 ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค α ของ $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ ($0 \leq x \leq 0.2$) ตัวอย่างการทำงานของอุณหภูมิ รูปแบบของ seebeck coefficient สำหรับ $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ ตัวอย่างการลดลงด้วยการเพิ่มอุณหภูมิเข้าไปแทนที่ในการเพิ่ม Fe ขึ้น $X = 0.1$ การลดลงค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค α ลดลงด้วยการเพิ่มขึ้น ความหนาแน่นของพาหะที่มีร่วมกันในสารกึ่งตัวนำในการเพิ่มความหนาแน่นของพาหะก่อให้เกิดการเพิ่มสภาพการนำไฟฟ้า σ ในการเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค α สำหรับ $\text{CuAl}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}\text{O}_2$ ตัวอย่างมากส่วนตัวอย่างอื่นๆไม่ได้ครอบครองอยู่ด้วยขั้นตอนที่ 2 ใน Fe_2O_3 ด้วยค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค α มีมาก



รูปที่ 2.21 กราฟแสดงค่าสภาพการนำไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.22 กราฟแสดงค่า power factor

ในการคำนวณพลังงานที่เปลี่ยนแปลงไป $\alpha^2 \sigma$ สามารถนำไปใช้กับค่าสภาพนำไฟฟ้า σ และค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค α พลังงานที่เปลี่ยนแปลงพิจารณาได้จากข้อมูล รูปที่ 2.20 และรูปที่ 2.21 และในการเข้าใกล้ รูปที่ 2.22 พลังงานที่เปลี่ยนแปลงไป เพราะว่าสิ่งสำคัญในการเพิ่มสภาพการนำไฟฟ้าให้มีค่า power factor สูงมาก ($1.1 \times 10^{-4} \text{ Wm}^{-1} \text{ K}^{-2}$) สำหรับ $\text{CuAl}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_2$ ตัวอย่างที่เหมือนกันสำหรับ single crystal CuAlO_2 ก่อนการรายงาน ในการเพิ่มปัจจัยของพลังงาน การเพิ่ม Fe ในสารตัวอย่าง $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ มีประโยชน์ในการใช้กับเซรามิก เป็นอุปกรณ์ในเทอร์โมอิเล็กทริกส์อุณหภูมิและทางเคมี มีเสถียรภาพได้ ในอุณหภูมิปกติหรือการออกซิไดซ์ ที่อุณหภูมิสูงๆ สิ่งที่เป็นพื้นฐานด้านของหลายผลึกที่รวมกัน $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ มีความต้องการที่หวังไว้ สำหรับการนำไฟฟ้าของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกส์จากข้อมูลที่ได้มาสามารถสรุปผลได้ดังนี้

การเผา $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ ($0 \leq x \leq 0.2$) รูปแบบประกอบด้วย $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ เป็นขั้นตอนของ rhombohedral structure R3m คล้ายกับขั้นตอนที่ 2 อย่างมาก CuO , Fe_2O_3 , และ CuFeO_2 ระยะจำนวนรวมของ Fe ใน $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ ตัวอย่างที่เพิ่มขึ้น ขนาดของเกรนที่เพิ่มขึ้นจาก 0.94 เป็น 2.73 μm และมีความสัมพันธ์กับความหนาแน่น เพิ่มจาก 70.7 เป็น 89.9% สำหรับทฤษฎีความหนาแน่น Fe ที่เพิ่มเข้าไป สภาพการนำไฟฟ้า เพราะว่า การเพิ่มขนาดของเกรน ความหนาแน่น และความหนาแน่นของพาหะ ของ $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ ตัวอย่าง บนตัวอย่างอื่นๆ ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค α สำหรับ $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ ตัวอย่างที่เพิ่มขึ้นเป็น $X = 0.1$ ด้วยการทำให้ลดลงการเพิ่มขึ้นของ Fe มีความหนาแน่นส่วนใหญ่ เพราะว่า การเพิ่มความหนาแน่นของพาหะ $\text{CuAl}_{0.8}\text{Fe}_{0.2}\text{O}_2$ ตัวอย่าง แสดงไว้อย่างมากของค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค การเพิ่ม Fe ให้ $X = 0.1$ มีความสำคัญในการเพิ่มของค่า Power Factor เนื่องจากการเพิ่มสภาพการนำไฟฟ้าทำให้ค่าพลังงานมีค่าสูงขึ้นอย่างมาก ($1.1 \times 10^{-4} \text{ Wm}^{-1} \text{ K}^{-2}$) การบรรลุผลสำหรับ $\text{CuAl}_{0.9}\text{Fe}_{0.1}\text{O}_2$ มีอุณหภูมิ 1140 K การเพิ่ม Fe ใน CuAlO_2 ทำให้อย่างมากสำหรับการทำให้ดีขึ้นอุณหภูมิสูงขึ้นทำให้ thermoelectric มีคุณสมบัติครบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

ในบทนี้จะอธิบายถึงขั้นตอนการเตรียมสารตัวอย่าง อุปกรณ์การเตรียมสารตัวอย่าง การชั่งปริมาณของสารตัวอย่างที่ใช้ในการเติม โดยมีการคำนวณปริมาณของสารที่ใช้ออกมาเป็นหน่วยกรัม(g) และขั้นตอนวิธีการทดลองและเตรียมชิ้นงานเพื่อนำไปใช้ในการทดสอบการวัด สมบัติเชิงโครงสร้าง, สมบัติการนำความร้อน, และการสมบัติการนำไฟฟ้า

3.1 อุปกรณ์การทดลอง

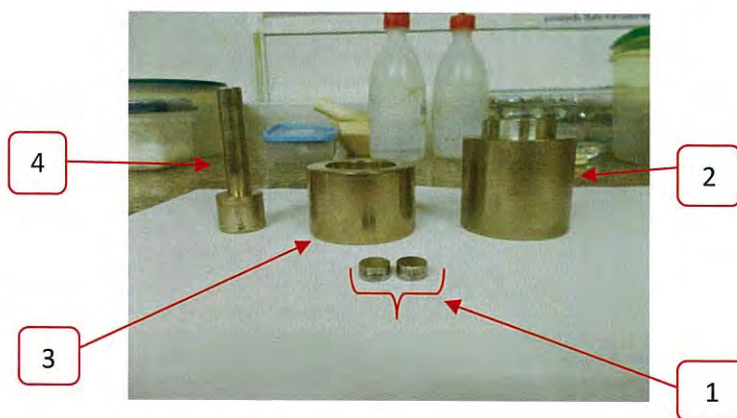


รูปที่ 3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำความสะอาด



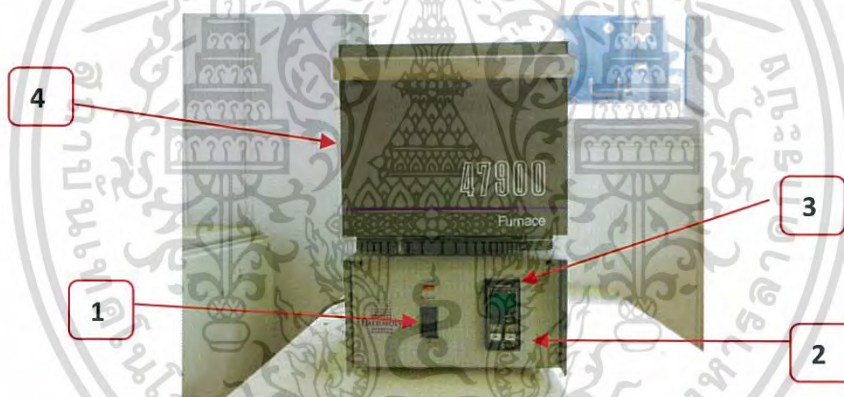
รูปที่ 3.2 ที่บดสาร alumina mortar

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 อุปกรณ์สำหรับการอัดขึ้นรูป

ชั้นที่ 1 มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.85 ซม. ความหนา 0.6 ซม., ชั้นที่ 2 มีความยาว 6.95 ซม. ความกว้าง 5.8 ซม. และ 1.2 ซม., ชั้นที่ 3 มีความยาว 3.85 ซม. ความกว้าง 5.8 ซม. ชั้นที่ 4 มีความยาว 7.7 ซม. ความกว้าง 2.5 ซม. และ 1.25 ซม.



รูปที่ 3.4 เตาเผาสารยี่ห้อ Thermolyne มีขนาดกว้าง 13 ซม. ยาว 17 ซม. และสูง 10 ซม.

มีอุณหภูมิสูงสุดที่ 1200°C ใช้งานต่อเนื่องที่อุณหภูมิ 1100°C

- (1) สวิตช์สำหรับเปิด/ปิด
- (2) ปุ่มสำหรับเพิ่ม/ลด อุณหภูมิในการเผา
- (3) จอแสดงผลค่าอุณหภูมิ หน่วยเป็น องศาเซลเซียส (°C)
- (4) ช่องสำหรับใส่สารตัวอย่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



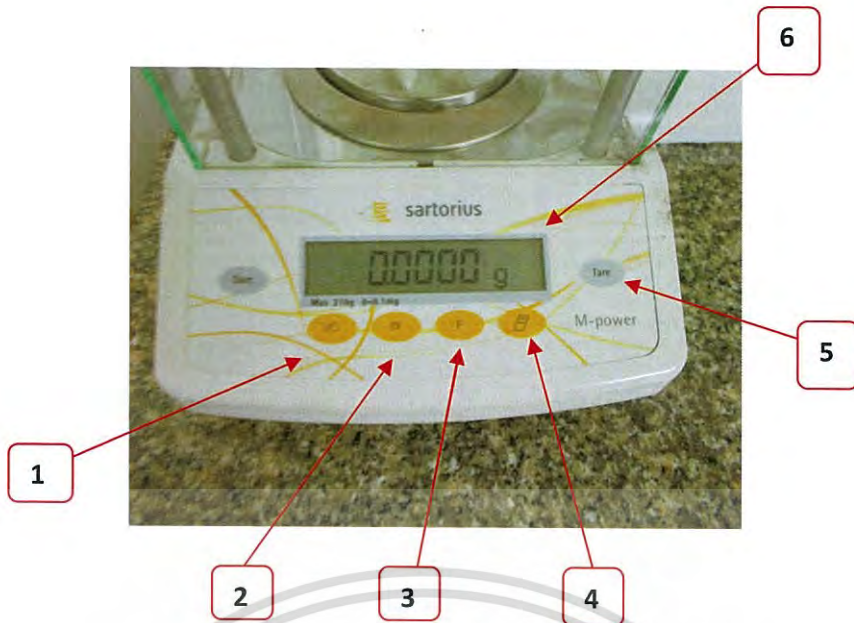
รูปที่ 3.5 สารที่ใช้ในการทำชิ้นงาน Al_2O_3 , Cu_2O , Fe_2O_3

- a) ผง Al_2O_3 ความบริสุทธิ์ 98% จากบริษัท Sigma Aldrich
- b) ผง Fe_2O_3 ความบริสุทธิ์ 99% จากบริษัท Good Fellow
- c) ผง Cu_2O ความบริสุทธิ์ 99% จากบริษัท Good Fellow



รูปที่ 3.6 เครื่องชั่งสารยี่ห้อ Sartorius รุ่น AZ Series
ความละเอียดในการชั่งทศนิยม 4 ตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



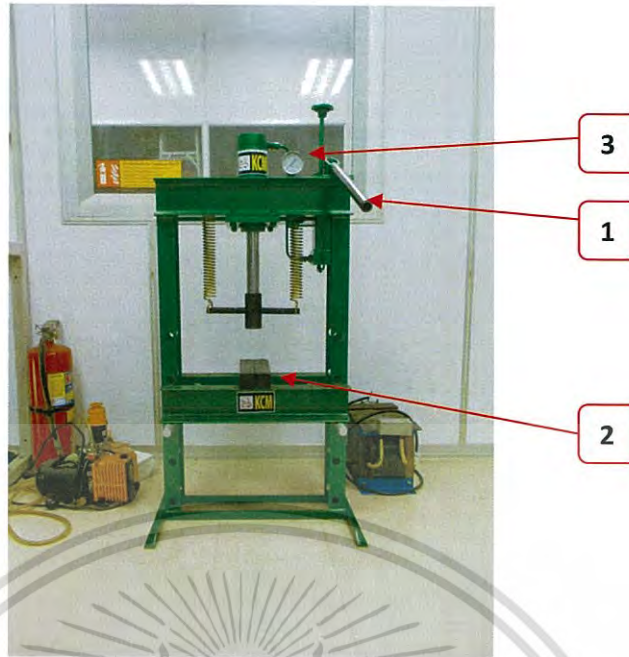
รูปที่ 3.7 หน้าจอแสดงผลและปุ่มการทำงานต่างๆ ของเครื่องชั่งน้ำหนัก Sartorius รุ่น AZ Series

- (1) ปุ่ม เปิด/ปิด
- (2) ปุ่มลบ (ลบการทำงาน) ปุ่มนี้โดยทั่วไปจะใช้ในการยกเลิกการทำงาน
 - ออกจากโปรแกรม
 - ออกจากเมนูปฏิบัติการ
- (3) เริ่มการใช้งานโปรแกรมอื่นๆ
- (4) การส่งข้อมูล ปุ่มนี้มีเพื่อส่งค่าที่อ่านได้ไปในตัวเชื่อมต่อข้อมูล
- (5) หักค่าน้ำหนักของภาชนะ
- (6) หน้าจอแสดงผล หน่วยเป็น กรัม(g)

ขั้นตอนในการใช้งานเบื้องต้น

- (1) เปิดเครื่องชั่งโดย กดปุ่มที่ (1)
- (2) ทำการหนักค่าน้ำหนักของภาชนะบรรจุให้สุ่มดล โดยกดปุ่มที่ (5)
- (3) ปิดเครื่องชั่งโดย กดปุ่มที่ (1)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 เครื่องอัดไฮดรอลิก มีความดันสูงสุดในการอัด 3500 ตัน

- (1) ที่เพิ่มความดัน
- (2) แ่งสำหรับรองรับการอัดชิ้นงาน
- (3) สเกลสำหรับอ่านค่าความดัน

3.2 ขั้นตอนการเตรียมชิ้นงานและอุปกรณ์การทดลอง

1. สารตั้งต้นที่ใช้ในการทำชิ้นงาน CuO , Al_2O_3 และ Fe_2O_3
2. อุปกรณ์การทำชิ้นงานและการเตรียมชิ้นงานที่ 10%
 - 2.1 ปริมาณของสารที่ใช้โดยมีสูตรทั่วไปดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 ปริมาณการเจือ Fe ที่ 10%, 15% และ 20%

ตัวอย่าง	CuO (g)	Al ₂ O ₃ (g)	Fe ₂ O ₃ (g)
CuAl _{0.9} Fe _{0.1} O ₂	1.0000	0.5767	0.1003
CuAl _{0.85} Fe _{0.15} O ₂	1.0000	0.5583	0.1505
CuAl _{0.8} Fe _{0.2} O ₂	1.0000	0.5126	0.2007

- 2.2 ผสมสารทั้งหมดโดยการบดสาร CuO, AlO₂ กับ Fe₂O₃ เข้าด้วยกัน
- 2.3 ทำการบดสารให้เข้ากันโดยใช้ alumina mortar เป็นเวลา 3 ชั่วโมง
- 2.4 ทำการอัดเป็นเม็ดกลม โดยเครื่องอัดไฮดรอลิก
- 2.5 นำสารที่ได้ไปทำการอบ ด้วยเตาอบสารที่อุณหภูมิ 1333 K
- 2.6 ทำเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ (2.3), (2.4), (2.5) อีก 2 ครั้ง
- 2.7 จากขั้นตอนที่(2.3)ทำการบดสารให้ละเอียดในครั้งที่ 2 ทำการแบ่งสารออกเป็น 2 ส่วน
- 2.8 ส่วนแรกนำไปทำการอัดเป็นเม็ดกลม โดยใช้เครื่องอัดไฮดรอลิก
- 2.9 ส่วนที่สองนำไปทำการอัดเป็นแท่งสี่เหลี่ยม โดยใช้เครื่องอัดไฮดรอลิก
- 2.10 นำไปทำการวัด XRD, SEM, ZEM-3, Thermal Conductivity

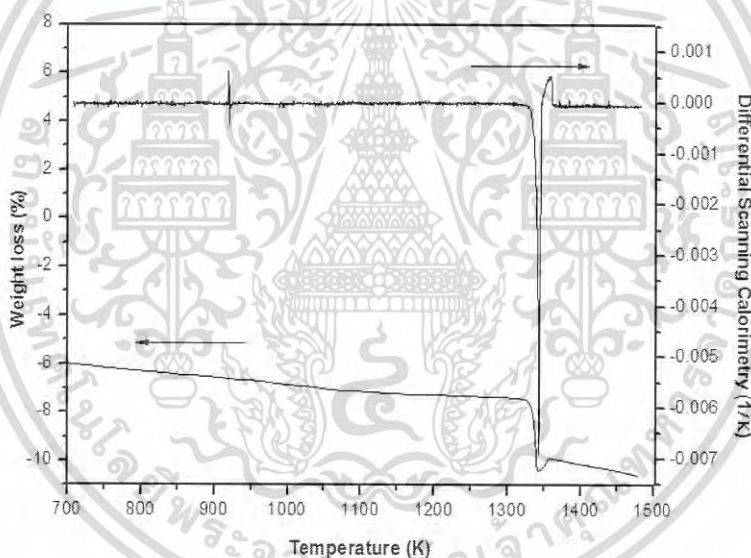
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผล

ในบทนี้เราจะทำการเสนอผลการวิจัยและอธิบายผลของการสังเคราะห์สารประกอบ CuAlO_2 ที่เจือด้วย Fe_2O_3 โดยที่ในการวิจัยนี้ได้ทำการแบ่งขั้นตอนในการวิจัยออกเป็น 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกทำการหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการที่จะทำการสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกส์ให้มีโครงสร้างแบบโครงสร้างเดียว ขั้นตอนที่สองเมื่อได้อุณหภูมิที่เหมาะสมจะทำการเจือ Fe เข้าเป็นจำนวน 10%, 15%, และ 20% โดยอะตอม เพื่อที่จะทำให้วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกส์มีประสิทธิภาพดีขึ้น

1. การหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสังเคราะห์สารประกอบ $\text{CuAl}_{0.90}\text{Fe}_{0.10}\text{O}_2$ เพื่อที่จะทำให้เกิดโครงสร้างดีลาฟอสไซด์เพียงโครงสร้างเดียว

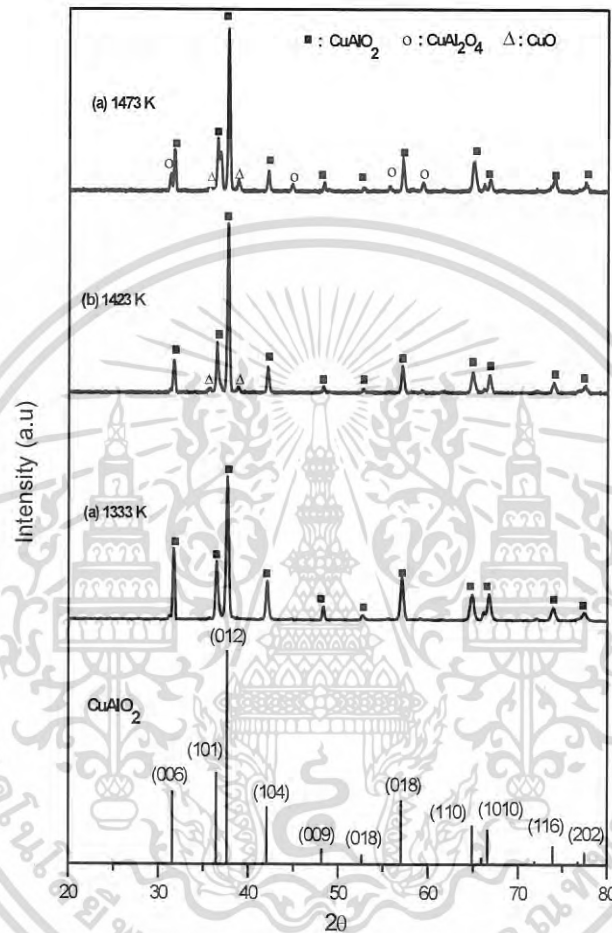


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงการวัดค่า DSC และ TGA

จากรูปที่ 4.1 การแสดงค่าการวัดค่า DSC และ TGA เป็นการที่แสดงการหาอุณหภูมิที่เหมาะสมในการสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกส์ $\text{CuAl}_{0.90}\text{Fe}_{0.10}\text{O}_2$ โดยสารที่นำไปทำการหาค่าอุณหภูมินั้นจะเป็นลักษณะของผง จากกราฟผลของการวัดค่า TGA พบว่าที่อุณหภูมิ 1343 K สารมีการเปลี่ยนแปลงทางด้านน้ำหนักเกิดขึ้น คือน้ำหนักลดลงและในขณะเดียวกันนั้นผลของการวัดค่า DSC จะเห็นว่ามีปฏิกิริยาการดูดความร้อนเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิ 1323 – 1353 K เป็นช่วงที่ 1 และเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นก็ได้เกิดปฏิกิริยาคายความร้อนขึ้นในช่วงอุณหภูมิ 1353 – 1373 K เป็นช่วงที่ 2 และจากงานวิจัยของ K.Park [1] จะพบว่าได้ทำการเผาที่อุณหภูมิ 1323 – 1353 K ก็ได้เกิดปฏิกิริยาดูดความร้อนขึ้นเช่นกัน และในการเกิดปฏิกิริยาช่วงที่ 2 ยังไม่สามารถสรุปได้ว่าเกิดการคายพลังงานจากสาเหตุไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โต ดังนั้นจึงต้องทำการวิจัยโดยการนำผงของ CuO , Al_2O_3 และเติม Fe_2O_3 ที่ 10% at. นำไปทำการเผาที่อุณหภูมิ 1333 K, 1423K และ 1473 K เพื่อที่จะได้หาผลของปฏิกิริยาในช่วงที่ 2

4.2 ผลการวัด XRD ที่อุณหภูมิ 1333 K, 1423 K และ 1473 K



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงค่าจากการวัด XRD

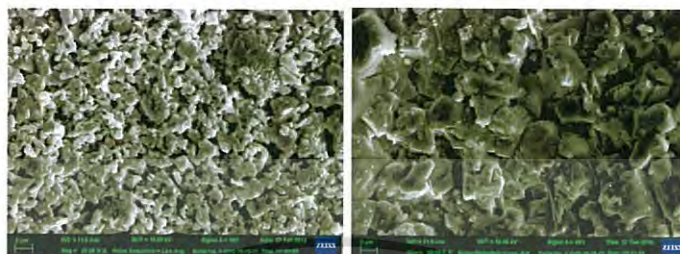
จากรูปที่ 4.2 เป็นรูปที่แสดงการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของชิ้นงานที่ได้ทำการเผาที่อุณหภูมิ 1333 K, 1423 K และ 1473 K จากค่า XRD จะแสดงให้เห็นว่าที่อุณหภูมิ 1333 K มีการเกิดโครงสร้างดีลาฟอไซต์ (delafossite) เกิดขึ้นเพียงโครงสร้างเดียวนั้น ส่วนชิ้นงานที่เผาที่อุณหภูมิ 1423 K เกิดโครงสร้างดีลาฟอไซต์และเกิดโครงสร้าง CuO และชิ้นงานที่นำไปทำการเผาที่อุณหภูมิ 1473 K เกิดโครงสร้างดีลาฟอไซต์ CuO และ CuAl_2O_4 ขึ้น

จากผลส่วนนี้สามารถนำไปสรุปผล TGA และ DSC ได้เมื่อทำการเผาสารตัวอย่างที่อุณหภูมิ 1333 K ทำให้เกิดเป็นโครงสร้างเดียว(single phase)โดยที่ไม่มีโครงสร้างอื่นเจือปนอยู่เลย แต่เมื่อทำการให้อุณหภูมิเพิ่มขึ้นแก่สารแล้วนั้นที่อุณหภูมิ 1423 K จะเกิดโครงสร้างของ CuO เกิดขึ้นและที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อุณหภูมิ 1473 K ก็จะทำให้เกิดโครงสร้าง CuO และ CuAl_2O_4 เกิดขึ้น เนื่องจากเกิดปฏิกิริยาย้อนกลับของสารยิ่งอุณหภูมิเพิ่มขึ้นยิ่งทำให้ปฏิกิริยาย้อนกลับมีมากขึ้นด้วย

4.3 ลักษณะของเกรนจากเครื่อง SEM ที่อุณหภูมิ 1333 K, 1423 K และ 1473 K



(a) อุณหภูมิ 1333 K

(b) อุณหภูมิ 1423 K



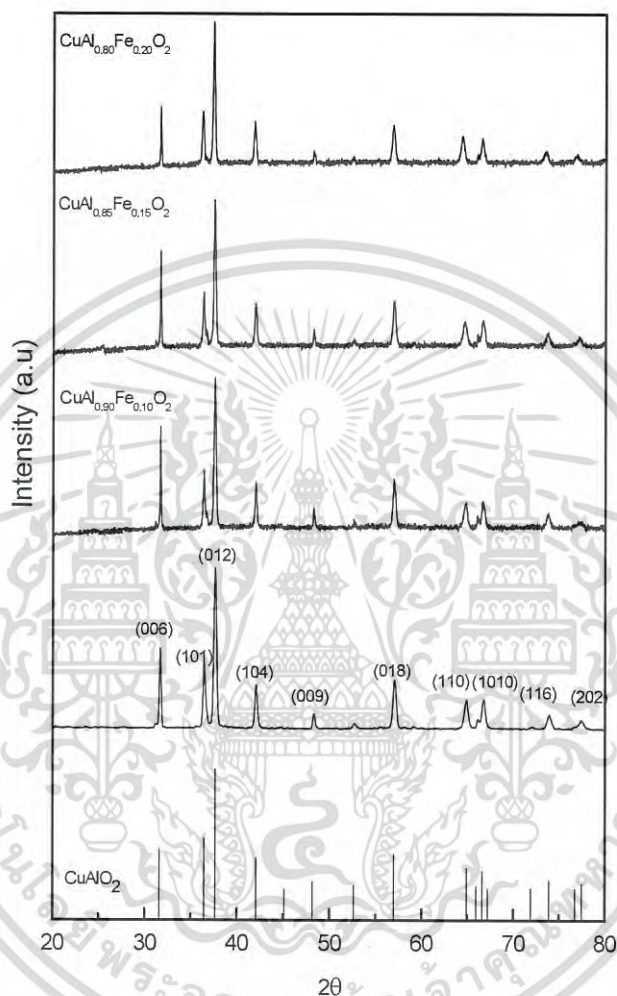
(c) อุณหภูมิ 1473 K

รูปที่ 4.3 ภาพจาก SEM แสดงขนาดของเกรนของชิ้นงานเผาที่อุณหภูมิ (a) อุณหภูมิ 1333 K, (b) อุณหภูมิ 1423 K และ (c) อุณหภูมิ 1473 K

จากรูปที่ 4.3 พบว่าอุณหภูมิที่ใช้ในการเผาชิ้นงานนั้นมีผลต่อขนาดของเกรน เมื่อยิ่งทำการเผาชิ้นงานที่อุณหภูมิสูงขึ้นขนาดของเกรนก็จะมีขนาดใหญ่ขึ้น โดยขนาดของเกรนที่ทำการเผาที่อุณหภูมิ 1333 K มีขนาด 1 – 2 μm ชิ้นงานที่เผาที่อุณหภูมิ 1423 K มีขนาด 6 – 8 μm และชิ้นงานที่เผาที่อุณหภูมิ 1473 K มีขนาดของเกรน 15 – 20 μm ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ K.Park [1] ที่ได้ทำการสังเคราะห์สารประกอบ CuAlO_2 แล้วพบว่าเมื่อยิ่งใช้อุณหภูมิในการเผาสูงขึ้นจะทำให้ขนาดของเกรนมีขนาดใหญ่ขึ้นด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

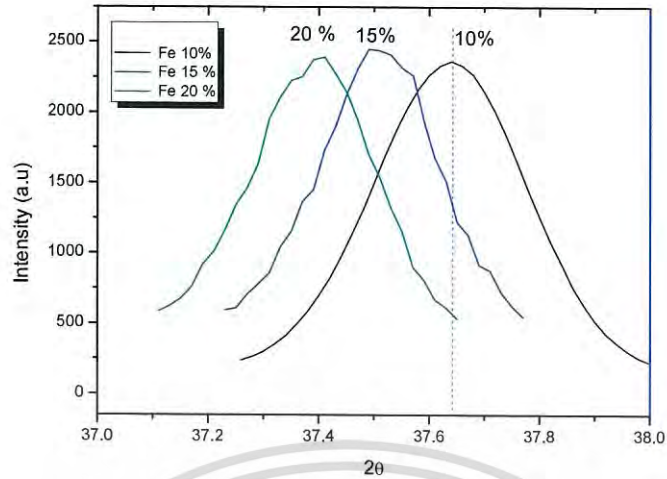
4.4 การศึกษาอิทธิพลของปริมาณ Fe ที่เจือเข้าไปในสารประกอบ CuAlO_2 เพื่อให้ได้สารประกอบ $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ ($x = 0.10, 0.15$ และ 0.20) เเผาที่อุณหภูมิ 1333 K



รูปที่ 4.4 รูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของชิ้นงานที่เอาในอุณหภูมิ 1333 K

จากรูปที่ 4.4 แสดงค่าการเลี้ยวเบนของรังสีเอ็กซ์ของสารประกอบ $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ ที่ทำการเติมสารที่ ($x = 0.10, 0.15$ และ 0.20) เเผาที่อุณหภูมิ 1333 K พบว่าเมื่อนำชิ้นงานไปทำการเผาที่อุณหภูมิ 1333 K เกิดเป็นโครงสร้างดีลาฟอไซต์ (delafossite)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

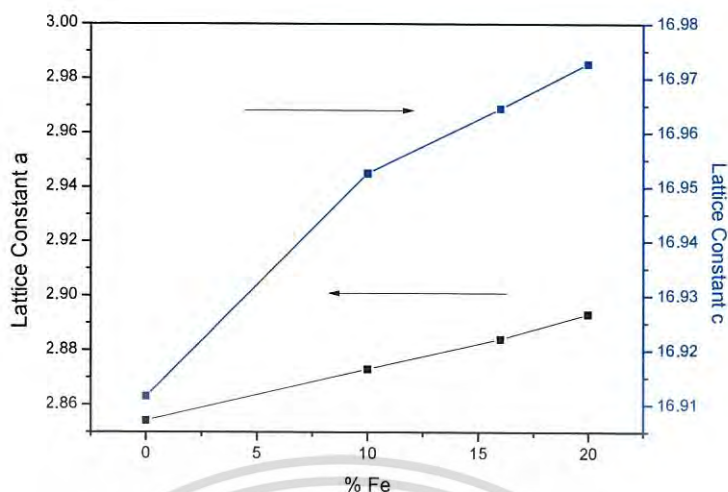


รูปที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบพีคที่ระนาบ (012) ของสารประกอบ $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ ($x = 0.10, 0.15$ และ 0.20)

จากรูปที่ 4.5 เป็นการเปรียบเทียบมุมเลี้ยวเบนพีคของแต่ละพีคที่ระนาบ(012) จะเห็นได้ว่าถ้ามีการเจือสาร Fe_2O_3 เข้าไปมากจะทำมุมเลี้ยวเบนมีค่าลดลง เพราะเมื่อทำการเจือ Fe^{3+} เข้าไปแทนที่ Al^{3+} จะทำให้พีคเลื่อนไปทางด้านซ้ายเนื่องจากเนื่องจาก Fe^{3+} มีรัศมีอะตอม 0.645 \AA และ Al^{3+} มีรัศมีอะตอม 0.535 \AA รัศมีอะตอมของ Fe^{3+} มีค่ามากกว่า Al^{3+} จึงทำให้ทำให้เกิดพีคเลื่อนไปทางซ้ายซึ่งสามารถอธิบายได้ตามสมการของแบร็ก

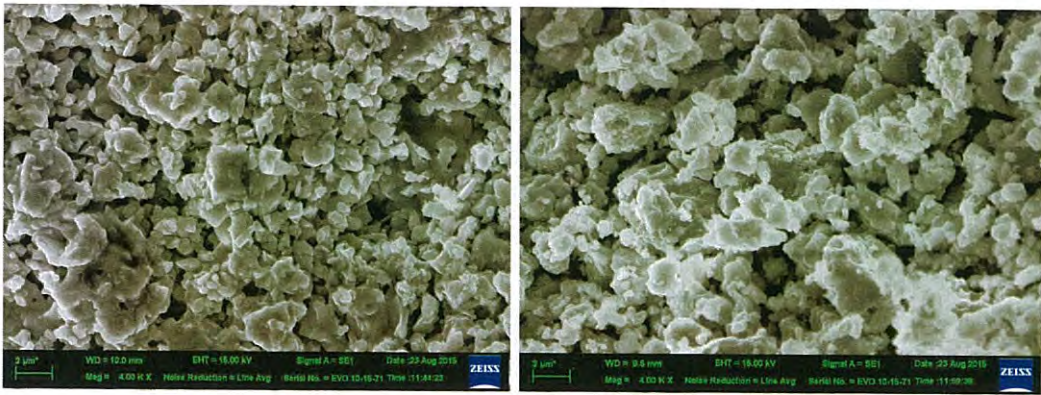
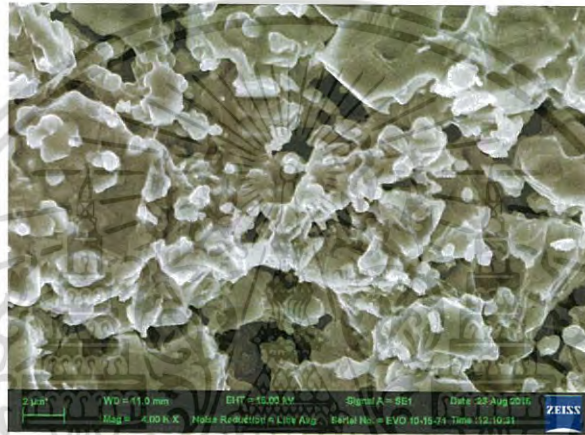
$$2d\sin\theta = n\lambda \quad (4.1)$$

เมื่อค่า n และ λ มีค่าคงที่ ดังนั้นค่า $d \propto \frac{1}{\sin\theta}$ ซึ่งจากความสัมพันธ์ดังกล่าวจึงส่งผลให้มุม 2θ มีค่าลดลงเมื่อเจืออะตอมของ Fe^{3+} เข้าไปแทนที่อะตอมของ Al^{3+} มากขึ้น



รูปที่ 4.6 ค่าคงที่ผลึกของแกน a และ c ของสารประกอบ $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$
($x = 0.10, 0.15$ และ 0.20)

จากรูปที่ 4.6 กราฟแสดงค่าของโครงผลึกที่ระนาบ a และ c เมื่อทำการเจือ Fe_2O_3 ในปริมาณ 10% at., 15% at. และ 20% at. ซึ่งพบว่าเมื่อทำการเจือ Fe_2O_3 ในปริมาณที่มากขึ้นจะมีผลทำให้ค่าคงที่โครงผลึกที่ระนาบ a และ c มีค่าเพิ่มขึ้นจากงานวิจัยของ K.Park [1] สารประกอบ CuAlO_2 มีค่าคงที่โครงผลึกที่ระนาบ a และ c เป็น 2.8567 Å และ 16.9430 Å สารประกอบ CuFeO_2 มีค่าคงที่โครงผลึกที่ระนาบ a และ c เป็น 3.0310 Å และ 17.0920 Å

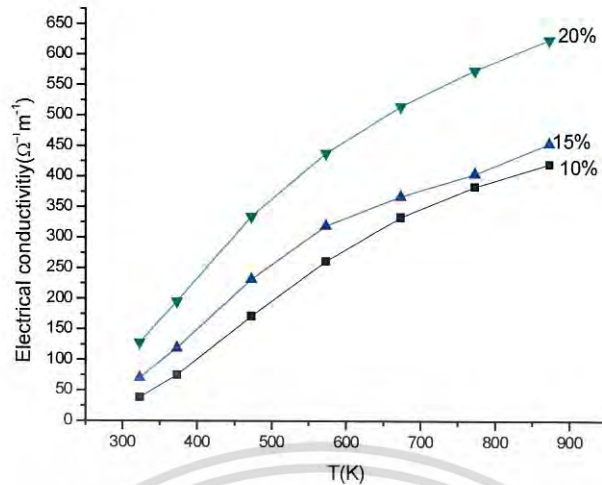
(a) $\text{CuAl}_{0.90}\text{Fe}_{0.10}\text{O}_2$ (b) $\text{CuAl}_{0.85}\text{Fe}_{0.15}\text{O}_2$ (c) $\text{CuAl}_{0.80}\text{Fe}_{0.20}\text{O}_2$

รูปที่ 4.7 ลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานที่ได้จากการวัดด้วย SEM สารประกอบ

(a) $\text{CuAl}_{0.90}\text{Fe}_{0.10}\text{O}_2$, (b) $\text{CuAl}_{0.85}\text{Fe}_{0.15}\text{O}_2$, และ (c) $\text{CuAl}_{0.80}\text{Fe}_{0.20}\text{O}_2$ เเผาที่อุณหภูมิ 1333 K

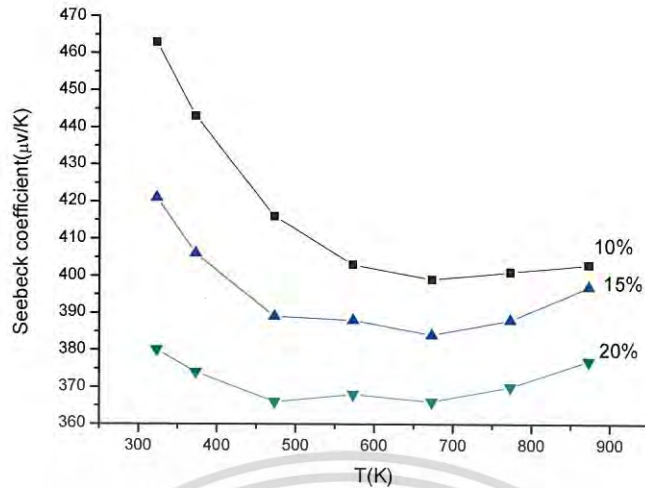
รูปที่ 4.7 แสดงลักษณะพื้นผิวของสารประกอบ (a) $\text{CuAl}_{0.90}\text{Fe}_{0.10}\text{O}_2$, (b) $\text{CuAl}_{0.85}\text{Fe}_{0.15}\text{O}_2$, และ (c) $\text{CuAl}_{0.80}\text{Fe}_{0.20}\text{O}_2$ เเผาที่อุณหภูมิ 1333 K โดยมีการเติม Fe_2O_3 10% at., 15% at. และ 20% at. จะมีเกรนจะมีขนาดใกล้เคียงกันประมาณ 1 – 2 μm และชิ้นงานที่เจือ Fe 20% at. มีขนาดเกรนใหญ่ที่สุดประมาณ 2 – 4 μm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ค่าสภาพการนำไฟฟ้าของสารประกอบ $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ ($x = 0.10, 0.15$ และ 0.20) โดยการนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1333 K

จากรูปที่ 4.8 แสดงค่าสภาพการนำไฟฟ้าของสารประกอบ $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ ($x = 0.10, 0.15$ และ 0.20) โดยเผาที่อุณหภูมิ 1333 K และได้ทำการวัดที่อุณหภูมิห้องถึงอุณหภูมิ 873 K จะพบว่าสภาพการนำไฟฟ้างดงามกว่าเป็นลักษณะของสารกึ่งตัวนำ เนื่องจากการที่มีการเจือ Fe ทำให้โครงสร้างอยู่ชิดกันมากขึ้น และเมื่ออุณหภูมิสูงทำให้เกิดพาหะมากขึ้นจึงทำให้สภาพการนำไฟฟ้ามากขึ้นและทำให้พบว่าสารประกอบ $\text{CuAl}_{0.80}\text{Fe}_{0.20}\text{O}_2$ มีสภาพการนำไฟฟ้าดีที่สุดที่อุณหภูมิ 873 K มีค่าเป็น $62.5 \Omega^{-1}\text{cm}^{-1}$



รูปที่ 4.9 ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของสารประกอบ $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ ($x = 0.10, 0.15$ และ 0.20)

โดยการนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1333 K

จากรูปที่ 4.9 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของสารประกอบ $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ ($x = 0.10, 0.15$ และ 0.20) เตรียมโดยเผาที่อุณหภูมิ 1333 K ทำการวัดตั้งแต่อุณหภูมิห้องถึงอุณหภูมิ 873 K พบว่า เมื่อทำการวัดที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้น ผลของค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค แสดงออกเป็น 2 ช่วง โดยช่วงที่ 1 ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคมีค่าลดลงตั้งแต่อุณหภูมิห้องถึงอุณหภูมิ 475 K และช่วงที่ 2 ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคเพิ่มขึ้นจนถึงอุณหภูมิ 873 K ซึ่งจากผลดังกล่าวสามารถอธิบายได้จากสมการที่ (4.2)

$$S \approx \frac{c_e}{n} + \frac{\pi^2 k_B^2 T}{3e} \left[\frac{d \ln \mu(E)}{dE} \right]_{E=E_F} \quad (4.2)$$

$$\text{โดยที่ } c_e = \left(\frac{\pi^2 k_B^2 T}{3e} \right) N(E)$$

n คือ ความหนาแน่นของพาหะ

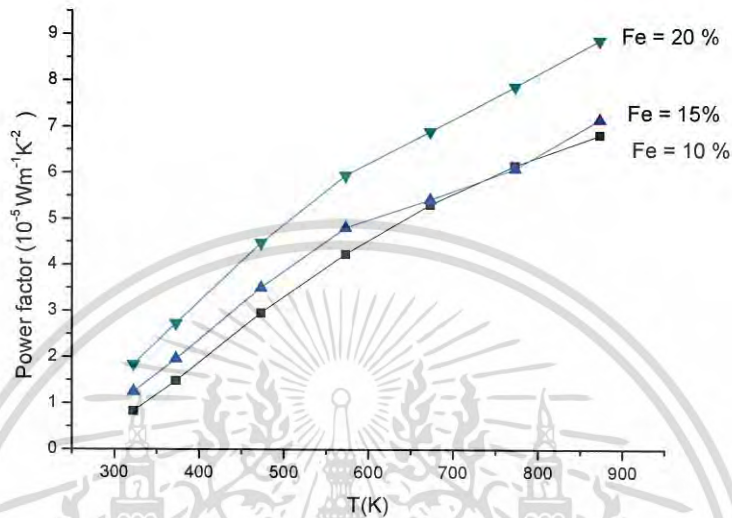
C_e คือ ค่าความจุความร้อนจำเพาะ

k_B คือ ค่าคงที่ของโบลทซ์มันน์

$N(E)$ คือ ค่าความหนาแน่นของสถานะ

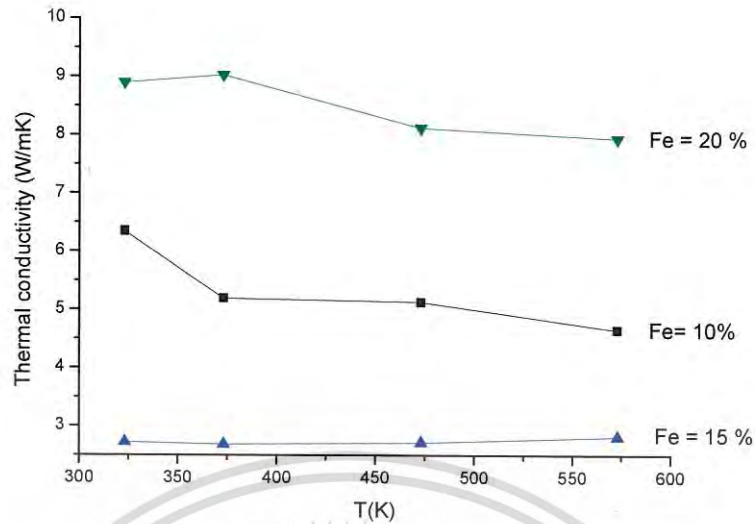
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (4.2) สามารถอธิบายได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคในช่วงแรกที่มีค่าลดลงนั้นเกิดจากการที่ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคมีค่าแปรผกผันกับค่า n ตามสมการในเทอมแรก และเมื่ออุณหภูมิเริ่มเพิ่มขึ้นถึงจุดๆหนึ่งนั้นค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคจะมีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจาก ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคมีการแปรผันตรงกับค่า T ตรงกับสมการในเทอมที่ 2 จึงทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคเป็นดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.10 ค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของสารประกอบ $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ ($x = 0.10, 0.15$ และ 0.20) โดยการนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1333 K

จากรูปที่ 4.10 แสดงค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์ของสารประกอบ $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ ($x = 0.10, 0.15$ และ 0.20) โดยได้ทำการวัดตั้งแต่อุณหภูมิห้องถึงอุณหภูมิ 873 K พบว่าค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและยังพบว่าสารประกอบ $\text{CuAl}_{0.80}\text{Fe}_{0.20}\text{O}_2$ มีค่าเพาเวอร์แฟคเตอร์สูงสุดที่อุณหภูมิ 873 K มีค่าเป็น $8.88 \times 10^{-5} (\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-2})$ สารประกอบ $\text{CuAl}_{0.90}\text{Fe}_{0.10}\text{O}_2$ และ $\text{CuAl}_{0.85}\text{Fe}_{0.15}\text{O}_2$ มีค่าเป็น $6.82 \times 10^{-5} (\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-2})$ และ $8.56 \times 10^{-5} (\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-2})$



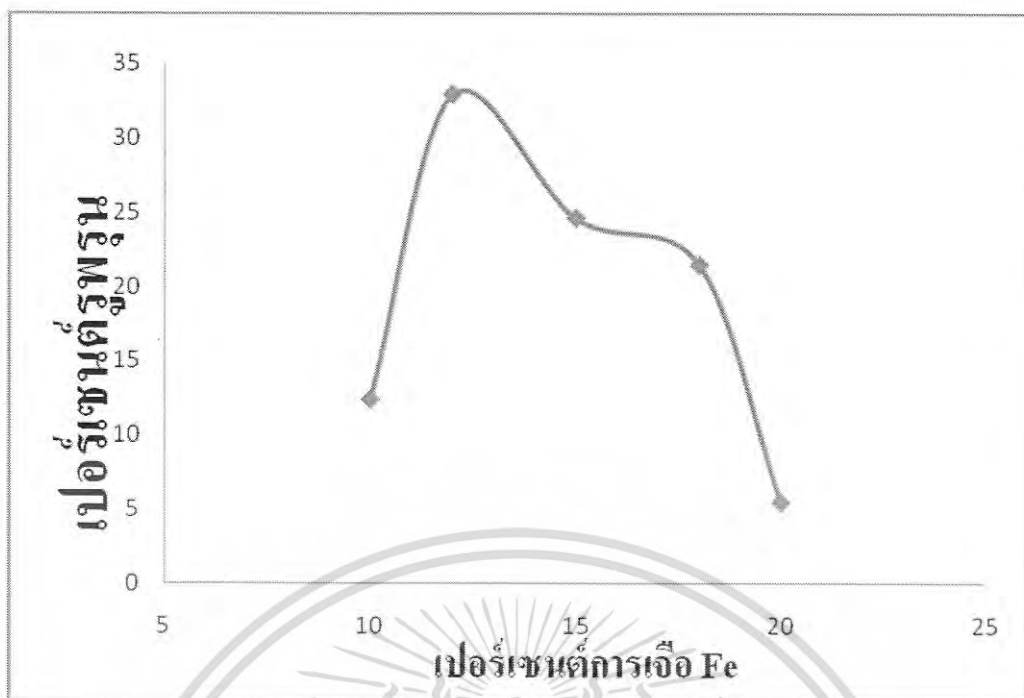
รูปที่ 4.11 ค่าสภาพนำความร้อนของสารประกอบ $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ ($x = 0.10, 0.15$ และ 0.20) โดยการนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1333 K

จากรูปที่ 4.11 แสดงค่าสภาพการนำความร้อนของสารประกอบ $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ ($x = 0.10, 0.15$ และ 0.20) จากกราฟค่าสภาพการนำไฟฟ้าที่มีการเจือ Fe_2O_3 ที่ 15% at. มีค่าน้อยสุดและที่ 10% มีค่าสภาพการนำไฟฟ้าเพิ่มขึ้นและที่ 20% มีค่าสภาพการนำไฟฟ้าสูงที่สุด เนื่องจากขนาดของรูพรุนมีผลต่อค่าสภาพการนำความร้อน เพราะในรูพรุนมีอากาศอยู่ทำให้น้ำความร้อนลดลง

ตารางที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของรูพรุนและเปอร์เซ็นต์รูพรุนที่เจือ Fe เข้าไป

เปอร์เซ็นต์การเจือ Fe	10%	12%	15%	18%	20%
ขนาดรูพรุน (μm)	0.30	0.792	0.524	0.651	0.032
เปอร์เซ็นต์รูพรุน (%)	12.71	32.97	24.62	21.47	5.14

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 แสดงแนวโน้มการเจือ %Fe ที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความรูพรุนตัว

จากตารางที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของรูพรุนและเปอร์เซ็นต์รูพรุนที่เติม Fe_2O_3 เข้าไปซึ่งสามารถคำนวณได้จากสูตร

$$K = K_0 (1 - P) \quad (4.3)$$

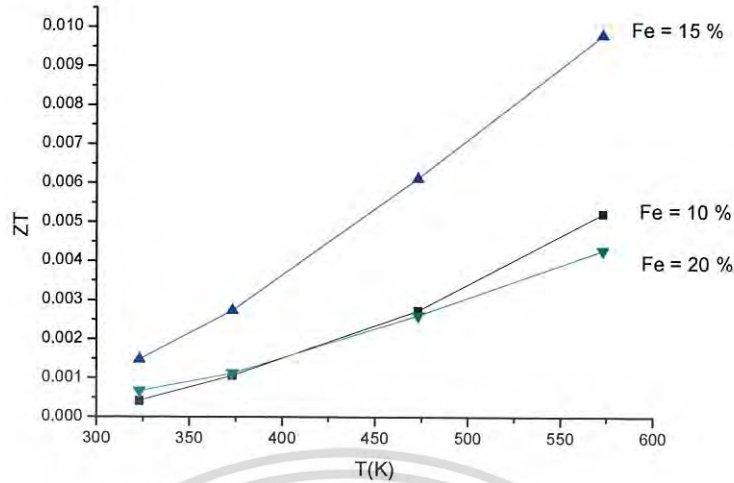
เมื่อ k คือ สภาพการนำความร้อน ($\text{Wm}^{-1}\text{K}^{-2}$)

P คือ ปริมาตรรูพรุน

K_0 คือ ค่าสภาพการนำความร้อนโดยไม่คิดปัจจัยของรูพรุน

จากรูปที่ 4.12 แสดงค่าแนวโน้มของขนาดและความพรุนตัวของ $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ ที่มีการเจือ Fe_2O_3 เข้าไปจะพบว่าเมื่อเจือ Fe ที่ 12% at. จะมีค่ารูพรุนและความพรุนตัวมากกว่าที่ 10% at. และเมื่อเจือ Fe ที่ 15% at. ค่าขนาดและความพรุนตัวของรูพรุนมีค่าน้อยลงแต่ก็ยังมากกว่าที่ 10% at. จนเมื่อเจือ Fe ถึง 20% at. ค่าความกว้างและความพรุนตัวของรูพรุนจึงจะน้อยกว่าที่เติม Fe_2O_3 ที่ 10% at. จากข้อมูลข้างต้นจะเห็นว่าลำดับของขนาดและความพรุนตัวของรูพรุน ที่เจือ Fe ที่ 10% at. จะมีค่าน้อยกว่าที่เติม Fe_2O_3 ที่ 15% at. แต่จะมีค่ามากกว่าที่เติม Fe_2O_3 ที่ 20% at. ทำให้ค่าสภาพการนำความร้อนเป็นไปดังรูปที่ 4.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.13 ค่า ZT ของสารประกอบ $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ ($x = 0.10, 0.15$ และ 0.20)

โดยการนำไปเผาที่อุณหภูมิ 1333 K

จากรูปที่ 4.14 แสดงค่าฟิสิกส์ของสารประกอบ $\text{CuAl}_{1-x}\text{Fe}_x\text{O}_2$ ($x = 0.10, 0.15$ และ 0.20) ซึ่งจะเห็นว่าที่ 15% at. นั้นจะมีค่า ZT สูงสุดตามมาด้วยที่ 10% at. และ 20% at. เนื่องจากค่า ZT สามารถหาได้จากสูตร

$$ZT = \frac{\alpha^2 \sigma}{K} \quad (4.4)$$

α คือ ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค

σ คือ ค่าสภาพการนำไฟฟ้า

K คือ ค่าสภาพการนำความร้อน

โดยค่า ZT นั้นจะขึ้นอยู่กับค่าสภาพการนำความร้อนซึ่งจากตารางที่ 4.1 พบว่าค่าที่ 15% at. มีค่าสภาพการนำความร้อนน้อยที่สุดทำให้มีค่า ZT มากที่สุดเช่นกัน

สรุปผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาในการเพิ่มประสิทธิภาพของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกส์ CuAlO_2 โดยการเพิ่ม Fe_2O_3 สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในการศึกษาคุณสมบัติของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกส์ CuAlO_2 โดยการเพิ่ม Fe_2O_3 ในปริมาณ 10% at., 15% at. และ 20% at. ได้แบ่งขั้นตอนในการศึกษา 2 ขั้นตอน ในขั้นตอนที่ ได้ทำการเผาสารตัวอย่าง CuAlO_2 โดยเพิ่ม Fe_2O_3 ในปริมาณ 10% at. ที่ 3 ช่วงอุณหภูมิ คือ 1333 K, 1423 K และ 1473 K ผลจากการวัด Differential Scanning Calorimeter (DSC) ซึ่งจากงานวิจัยของ K.Park พบว่าที่อุณหภูมิ 1350 K เกิดปฏิกิริยาคูดความร้อนและเกิดโครงสร้างเดี่ยวขึ้น จากนั้นผลที่ได้จากการวัด X-ray diffraction (XRD) พบว่าสารตัวอย่าง CuAlO_2 ที่เพิ่ม Fe_2O_3 เข้าไป 10% at. และเผาที่อุณหภูมิ 1333 K, 1423 K และ 1473 K นั้นที่อุณหภูมิ 1333 K เกิดโครงสร้างของดีลาฟอไซต์ขึ้น แต่ที่อุณหภูมิ 1423 K กับ 1473 K เกิดโครงสร้างของ CuO และ CuAl_2O_4 เจือปนอยู่ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ไม่ต้องการให้เกิดขึ้น ดังนั้นจึงใช้อุณหภูมิ 1333 K ในการสังเคราะห์สารตัวอย่าง CuAlO_2 จึงนำไปสู่ ขั้นตอนที่ 2 ได้ทำการสังเคราะห์สารตัวอย่าง CuAlO_2 โดยเพิ่ม Fe_2O_3 ในปริมาณ 10% at., 15% at. และ 20% at. และนำไปทำการเผาที่อุณหภูมิ 1333 K ผลที่ได้จากการวัด X-ray diffraction (XRD) พบว่าสารตัวอย่างที่เพิ่ม Fe_2O_3 ทั้ง 3 ตัวอย่างเกิดโครงสร้างดีลาฟอไซต์ขึ้น จากนั้นนำไปทำการเปรียบเทียบค่าคงที่โครงสร้างผลึก พบว่าพีคที่เกิดขึ้นนั้นจะมีการเลื่อนไปทางด้านซ้ายเนื่องจาก Fe^{3+} มีรัศมีอะตอม 0.645 \AA และ Al^{3+} มีรัศมีอะตอม 0.535 \AA ซึ่งรัศมีอะตอมของ Fe^{3+} มีค่ามากกว่า Al^{3+} , ค่าคงที่โครงสร้างผลึกที่ระนาบ a และ c เมื่อสารตัวอย่าง CuAlO_2 ได้เพิ่ม Fe_2O_3 ในปริมาณ 10% at., 15% at. และ 20% at. จะพบว่า ค่าคงที่โครงสร้างผลึกจะมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณการเพิ่มของ Fe_2O_3 , และภาพที่ได้จากการถ่ายจาก Scanning Electron Microscope (SEM) พบว่าที่ปริมาณการเพิ่มของ Fe_2O_3 ส่งผลให้ขนาดของเกรนมีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อขึ้นงานสารตัวอย่าง CuAlO_2 โดยการเพิ่ม Fe_2O_3 ในปริมาณ 10% at., 15% at. และ 20% at. นำไปทำการวัดค่าสภาพการนำไฟฟ้าพบว่าที่ 20% at. มีค่าสภาพการนำไฟฟ้าสูงที่สุด มีค่าเป็น $62.5 \Omega^{-1} \text{ cm}^{-1}$ เมื่อที่ Fe_2O_3 ที่ปริมาณ 20% at. มีค่าสภาพการนำไฟฟ้าสูงที่สุดย่อมส่งผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคที่ปริมาณ 20% at. จะมีค่าน้อยสุด แต่ที่ 10% at. จะมีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคสูงสุด และปริมาณที่เพิ่มของ Fe_2O_3 ในปริมาณ 10% at., 15% at. และ 20% at. ส่งผลทำให้ค่าเพาเวอร์แฟกเตอร์ที่ 20% at. มีค่าสูงสุด มีค่า $8.88 \times 10^{-5} \text{ Wm}^{-1} \text{ K}^{-2}$ และเมื่อนำไปทำการวัดค่าสภาพการนำความร้อน พบว่าที่ 15% at. มีค่าน้อยสุดและที่ 20% at. มีค่ามากที่สุด เนื่องจากขนาดของรูพรุนมีผลต่อค่าสภาพการนำความร้อน และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการวัดค่าฟิสิกเกอร์ออฟเมอร์ริก (ZT) พบว่าที่การเพิ่มของ Fe_2O_3 ปริมาณ 15% at. นั้นมีค่าอยู่ที่ 0.010

จากค่าฟิสิกเกอร์ออฟเมอร์ริกสามารถสรุปได้ว่าสารตัวอย่าง CuAlO_2 ที่เพิ่ม Fe_2O_3 ในปริมาณ 15% at. และเผาที่อุณหภูมิ 1333 K มีความเหมาะสมที่จะในการทำเป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกส์

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในขั้นตอนการเตรียมสารฟุ้งระเหิดการเจือปนของสาร ทำให้การวัดค่าต่างๆออกมาไม่ได้ผลที่ถูกต้อง
2. ในการสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกส์ควรที่จะเติม Fe_2O_3 ที่ 12% โดยคาดว่าจะได้ค่า ZT ที่สูงกว่าการเติม Fe_2O_3 ที่ 15% อาจเป็นไปได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- K. Park, K.Y. Ko, H.-C. Kwon, S. Nahm. 2006. "Improvement in thermoelectric properties of CuAlO_2 by adding Fe_2O_3 ." *Journal of Alloys and Compounds*. 2006(437) : 1-6.
- แม่น อมรสิทธิ์ และคณะ. 2555. หลักการและเทคนิคการวิเคราะห์เชิงเครื่องมือ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : ชวนพิมพ์ 50.
- ศันสนีย์ รักไทยเจริญชีพ. 2557. "การวัดขนาดอนุภาคนาโนเมตรด้วยเทคนิค X - ray Diffraction." วารสารกรมวิทยาศาสตร์บริการ. 62(194) : 34-35
- दनัย กิจชัยนุกูล. "เรื่องน่ารู้ของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด(Scanning Electron Microscope,SEM)." ฟิสิกส์ราชมงคล "กล้อง SEM Scanning Electron Microscope (SEM)." <http://www.nano.kmitl.ac.th/index.php/tool/39-2009-06-05-03-28-18/218-scanning-electron-microscopysem-.html>
- "กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกน SCANNING ELECTRON MICROSCOPE." <http://www.elecnet.chandra.ac.th/learn.courses/5513101/termwork/sem/pong/1.html>
- "Thermogravimetric Analysis (TGA)." <http://www.mfu.ac.th/center/stic/index.php/thermal-analysis-instrument-menu/item/111-thermogravimetric-analysis-tga.html>
- "การดำเนินการวิจัย-DTA Physics UBU." <http://sites.google.com/site/dtaphysicsubu/input-sources>.
- R.D. Shannon. 1976. "Revised effective ionic radii and systematic studies of interatomic distances in halides and chalcogenides." *Acta Cryst.* 1976(32) : 751-767.