



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาระบบเตาเผาอัดร้อนสำหรับสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก

Development of Hot Pressing Furnace System for Synthesizing
Thermoelectric Materials

ดร.เชรชฐา รัตนพันธ์

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2557

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนา ระบบเตาเผาอัดร้อนสำหรับสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก

Development of Hot Pressing Furnace System for Synthesizing
Thermoelectric Materials

ดร.เชรชฐา รัตนพันธ์

1269๗114

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2557

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การพัฒนาระบบเดาเผาอัตโนมัติสำหรับสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก
 แหล่งเงิน งบประมาณเงินรายได้ประจำปี 2557 คณะวิทยาศาสตร์
 ประจำปีงบประมาณ 2557 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 600,000 บาท
 ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ต.ค. 2556 ถึง 30 ก.ย. 2557
 ชื่อ-สกุล หัวหน้าโครงการ และผู้ร่วมโครงการวิจัย พร้อมระบุ หน่วยงานต้นสังกัด

1) หัวหน้าโครงการวิจัย

ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย) เชษฐา รัตนพันธ์
 คณะ วิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2) ผู้ร่วมวิจัย

ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย) ดร.เอนก เจริญภักดิ์
 คณะ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
 60 หมู่ที่ 3 ถนนสายเอเชีย ตำบลหันตรา พระนครศรีอยุธยา พระนครศรีอยุธยา 13000

3) ผู้ร่วมวิจัย

ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย)ดร. ประธาน บุรณศิริ
 คณะ วิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

4) ผู้ร่วมวิจัย

ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย)ดร. อุดมย์ หาญวิงม่วง
 คณะ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
 60 หมู่ที่ 3 ถนนสายเอเชีย ตำบลหันตรา พระนครศรีอยุธยา พระนครศรีอยุธยา 13000

5) ผู้ร่วมวิจัย

ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย)แดงเดช แกนเกียง
 คณะ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
 60 หมู่ที่ 3 ถนนสายเอเชีย ตำบลหันตรา พระนครศรีอยุธยา พระนครศรีอยุธยา 13000

6) ผู้ร่วมวิจัย

ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย)ดร.ณรงค์ชัย บุญโศภนกรณ
 คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี.....มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม
 อาคารศูนย์วิทยาศาสตร์และวิทยาศาสตร์ประยุกต์ 85 ถ. มาลัยแมน อ. เมือง จ. นครปฐม 7300

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title: Development of Hot Pressing Furnace System for Synthesizing Thermoelectric Materials

Researcher: Dr.Chhesta Ruttanapun

Faculty: Science **Department:** Physics



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างระบบเตาเผาแบบอัดร้อนสุญญากาศเพื่อใช้ในการสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก โดยออกแบบให้ระบบเตามีโครงการประกอบด้วย 7 ส่วนหลักๆ คือ 1. ระบบอัดไฮโดรลิกและมาตรวัดความดันการอัด 2. ระบบห้องเตาสุญญากาศ 3. ระบบทำความร้อนด้วยขดลวด ระบบอ่านอุณหภูมิ ระบบควบคุมอุณหภูมิ 4. ระบบปั๊มสุญญากาศและมาตรวัดความดันสุญญากาศ 5. ระบบท่อส่งก๊าซเฉื่อยพร้อมถังเก็บก๊าซ และและมาตรวัดความดันก๊าซ 6. ระบบหล่อเย็นรอบตัวเตาและแกนอัด 7. ชุดแบบอัดขึ้นรูปทั้งแบบเหล็กแข็งและแบบแกรไฟต์ โดยในงานวิจัยได้ดำเนินการจนแล้วเสร็จในระยะเวลาตามโครงการซึ่งทำให้ได้ระบบเตาเผาแบบอัดร้อนสุญญากาศ มีความสามารถดังนี้ มีระบบเตาขดลวดทำความร้อนได้ตั้งแต่อุณหภูมิห้องถึง 1200 C มีระบบอัดสารที่ความดันมากที่สุดถึง 30 MPascal มีระบบสุญญากาศที่ความดันสูงสุด 1 Pascal มีระบบส่งก๊าซเฉื่อย มีระบบทำความเย็นรักษาอุณหภูมิของ chamber อลูมิเนียม มีระบบวัดอุณหภูมิภายในเตาและตู้ควบคุมอุณหภูมิ มีแบบอัดสารทำจากแกรไฟต์ และระบบล้อเคลื่อนย้ายสะดวก โดยระบบเตาเผาแบบอัดร้อนสุญญากาศสามารถนำไปสังเคราะห์สังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกได้จริง

คำสำคัญ : เทอร์โมอิเล็กทริก, เตาเผาอัดร้อน, การสังเคราะห์

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุนอุดหนุนการวิจัย งบประมาณเงินรายได้ คณะวิทยาศาสตร์ ประเภทส่งเสริมนักวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2557



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	V
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	5
3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย.....	5
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	7
4.1 การออกแบบและสร้าง.....	8
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	13
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	13
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	13
เอกสารอ้างอิง.....	14
ภาคผนวก.....	15
ภาคผนวก ก.....	15
ประวัตินักวิจัย.....	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 1 แสดงขั้นตอนการสังเคราะห์วัสดุวิธีแบบอัดเย็น.....	1
รูปที่ 2 แสดงการเผาอัดร้อน.....	2
รูปที่ 3 โครงสร้างส่วนประกอบทั่วไปของเตาแบบอัดร้อน.....	3
รูปที่ 4 โครงสร้างภายในของเตาแบบอัดร้อน	3
รูปที่ 5 แสดงปัจจัยที่ผลต่อการเพิ่มของค่า ZT	11
รูปที่ 6 นาโนเกรนดัดบนก้อนสาร Ga_2Te_3 มีผลให้ค่า ZT มีค่าน้อยกว่า $1W/mK$ จากการสังเคราะห์ด้วยเผาแบบอัดร้อน.....	15
รูปที่ 7 เปรียบเทียบระหว่างการสังเคราะห์ $CuAlO_2$ ระหว่างวิธีทั่วไปซึ่งจะได้ขนาดผลึกขนาด ไมโคร และเตรียมด้วยวิธีแบบอัดร้อนจะได้ขนาดผลึกขนาดนาโน.....	15
รูปที่ 8 ค่า ZT ของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกและ วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกประเภทต่างๆ.....	16
รูปที่ 9 โครงสร้างของดีลาฟอสไซท์ (ABO_3)	17

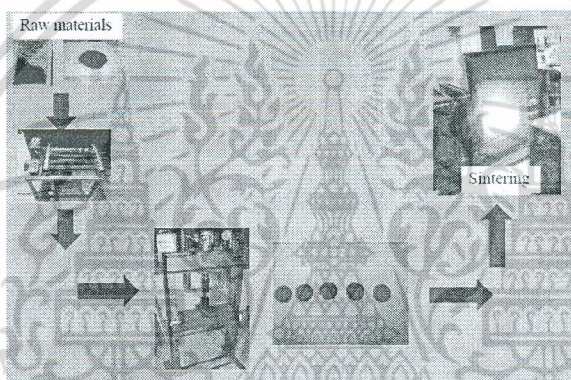
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในการสังเคราะห์วัสดุเพื่อการวิจัย ศึกษา และอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก วิธีที่นิยมคือวิธีการเตรียมด้วย solid state reaction ด้วยรวมถึงห้องปฏิบัติการวิจัยของคณะข้าพเจ้าด้วย โดยมีขั้นตอนประกอบด้วย การเตรียมผสมผงสารตั้งต้น จากนั้นไปอัดขึ้นรูปด้วยการอัดเย็นแบบแกนเดียวแล้วนำก้อนสารที่ผ่านการอัดไปเผาในเตาเผา มีขั้นตอนแสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 แสดงขั้นตอนการสังเคราะห์วัสดุวิธีแบบอัดเย็น

วิธีการดังกล่าวนั้นจะเห็นการอัดเย็นแบบแกนเดียวจะทำให้มีช่องว่างในก้อนชิ้นงานมาก ส่งผลให้ชิ้นงานมีรูพรุนสูงทำให้มีค่าความหนาแน่นต่ำ ส่งผลให้ได้ชิ้นงานหลังการเผาแล้วมีการเรียงตัวของผลึกได้ขนาดที่ไม่ดี ซึ่งไม่เหมาะที่จะนำไปทำการศึกษา และวิจัยในวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งจะได้วัสดุที่มีค่าสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกที่ไม่ดี และไม่เหมาะที่จะนำไปสร้างอุปกรณ์ หรือ สิ่งประดิษฐ์เกี่ยวกับเทอร์โมอิเล็กทริก

มีวิธีอื่นอีกที่สามารถเตรียมวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกได้คือ การเผาแบบอัดร้อน (hot pressing) มีกระบวนการคือมีการให้ความร้อนหรือเผาชิ้นงานพร้อมกับการอัดชิ้นงานไปพร้อมกันเลย วิธีนี้จะทำให้ได้ชิ้นงานที่มีความหนาแน่นสูงมากเกือบใกล้เคียงกับความหนาแน่นจากทฤษฎี และจะได้ลักษณะชิ้นงานที่ขนาด nano grain boundary size เรียกว่า super lattice crystal ทำให้ได้สมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีประสิทธิภาพสูงมาก โดยการสังเคราะห์แบบ Hot pressing จะทำให้ได้สารตัวอย่างที่มีความหนาแน่นสูงมากถึง 99% เทียบกับทฤษฎี [ซึ่งจะต่างจากวิธีแบบ cold press sintering จะได้ความหนาแน่นต่ำกว่า 90%] ซึ่งจะทำให้เกิดผลึกขนาดนาโนได้ โดยปัจจัยของอุณหภูมิและความดัน ของวิธี Hot pressing นั้นจะมีผลต่อการทำให้เกิดความหนาแน่นสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในสารตัวอย่างได้ โดยความสัมพันธ์ของค่า Thermal conductivity ของสารตัวอย่างที่เป็นผลึกผสมกับค่า grain size นั้นสามารถประมาณได้ตามสมการ

$$\kappa = \frac{K_o}{1 - \frac{K_o R_K}{d}}$$

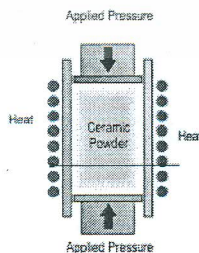
ซึ่งจะได้กล่าวโดยละเอียดในส่วนของ literature review และปัจจัยของอุณหภูมิและความดัน ที่มีผลต่อความหนาแน่นสูงของสารตัวอย่างที่สังเคราะห์ด้วยวิธี Hot pressing พิจารณาได้จากสมการ

$$\frac{dD}{dt} = \left[5.6 D_v \frac{MP}{RT r^2} \right] f(D - D_o) - 1$$

โดยรายละเอียดจะกล่าวในส่วนของ literature review

ดังนั้นวิธีการนี้จึงเหมาะสมกับการสังเคราะห์วัสดุสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริก จะมีใช้กันในห้องปฏิบัติการชั้นนำทางเทอร์โมอิเล็กทริกทั่วโลก และจำเป็นอย่างมากสำหรับการศึกษาวิจัยวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก แต่ในห้องปฏิบัติการวิจัยของคณะข้าพเจ้ายังไม่มี ทำให้การศึกษาวิจัยวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกยังตามหลังคณะอื่นๆ ในต่างประเทศ ส่งผลให้การตีพิมพ์ผลงานวิจัยยังไม่ impact factor ยังไม่สูงมากพอ (ปัจจุบันมีผลงานตีพิมพ์ที่มี impact factor ประมาณ 2 กว่า ใน Journal of Applied Physics)

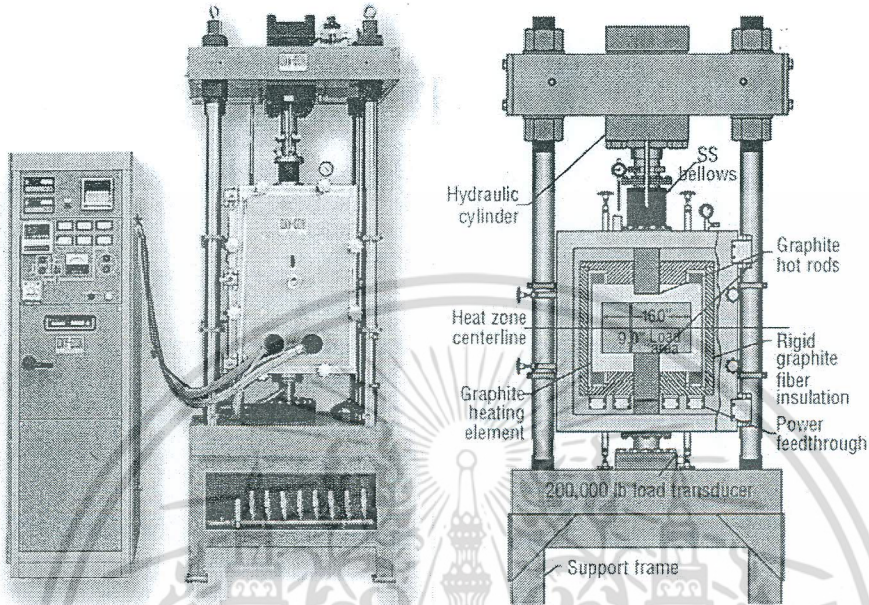
การสังเคราะห์วัสดุแบบเผาอัดเป็นประยุกต์เอาการอัดขึ้นจากภายนอกแล้วนำเข้าเผา มาเป็นการสร้างระบบเตาเผาที่มีระบบแกนสูงแรงอัดไปไว้ภายในเตา ดังนั้นจึงสามารถทำการอัดขณะทำการเผาได้เลย ยังได้รวมระบบสุญญากาศเข้าไปด้วยทำให้สามารถควบคุมอากาศ และความดันอากาศภายในเตาได้ และยังมีระบบการส่งก๊าซต่างเข้าไปในเตาได้ด้วยซึ่งสามารถควบคุมระบบก๊าซที่จำเป็นสำหรับการสังเคราะห์ชิ้นงาน รวมถึงสามารถผ่านก๊าซเฉื่อยเข้าไปในระบบได้ด้วย โดยมีขั้นตอนการอัดพร้อมเผาแสดงในรูปที่ 2



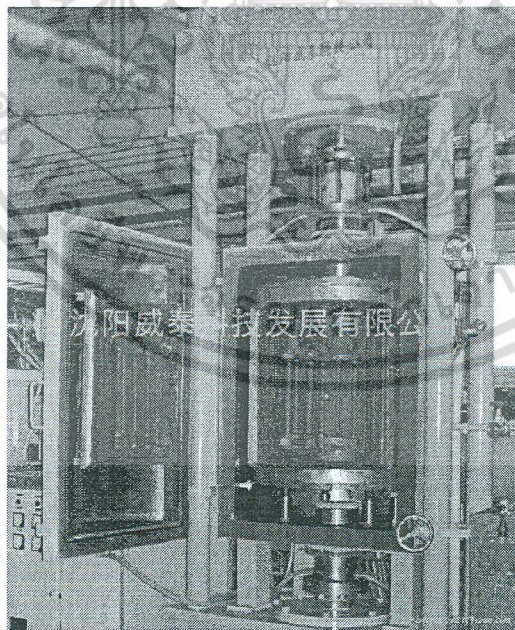
รูปที่ 2 แสดงการเผาอัดพร้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงสร้างแบบทั่วไปของเตาแบบอัดร้อนในเชิงการค้ามีส่วนประกอบแสดงในรูปที่ 3 และ ส่วนประกอบภายในแสดงในรูปที่ 4



รูปที่3 โครงสร้างส่วนประกอบทั่วไปของเตาแบบอัดร้อน <http://directories.industrialheating.com>[5]



รูปที่4 โครงสร้างภายในของเตาแบบอัดร้อน www.diytrade.com/china/pd/5019082/Vacuum_Hot_Press_Furnace.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีส่วนประกอบของเตาแบบอัดร้อนหลักๆมีดังนี้

- แท่นยึดเตา
- ระบบอัดไฮโดรลิกและมาตรวัดความดันการอัด
- ระบบห้องเตาสุญญากาศ
- ระบบทำความร้อนด้วยขดลวดและระบบควบคุมอุณหภูมิ
- ระบบป้อนสุญญากาศพร้อมท่อและมาตรวัดความดันสุญญากาศ
- ระบบท่อส่งก๊าซเฉื่อยพร้อมถังเก็บก๊าซ และและมาตรวัดความดันก๊าซ
- ระบบหล่อเย็นรอบตัวเตาและแกนอัด
- แบบอัดขึ้นรูปทั้งแบบเหล็กแข็งและแบบแกรไฟต์

สำหรับเตาเผาสุญญากาศอัดร้อนอุณหภูมิสูง ต้องสั่งเข้ามาจากต่างประเทศเช่น จีน โดยจะมีราคาอยู่ที่ 4,000,000 ถึง 5,000,000 บาท แต่ถ้าสั่งจากยุโรปจะมีราคาหลัก 10 ล้านบาท ดังแสดงในไบเสนราคาสำหรับตั้งบดดังนี้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ใบเสนอราคา

๑. ชื่อลูกค้า ระบุระบบอัดควบคุมอุณหภูมิได้ (Hot-press System)...

๒. จำนวน ๑ ชุด ราคาสำหรับติดตั้ง
ระบบบีบอัดด้วยความร้อน 5,000,000 บาท

๓. รายละเอียด ประกอบด้วย

รายละเอียดทั่วไป
เป็นชุดเครื่องมือที่สามารถขึ้นรูปวัสดุให้ได้ความหนาแน่นสูงโดยใช้แรงดันสูงสุดได้อย่างน้อย ๑๐ ตัน และความร้อนสูงสุดไม่น้อยกว่า ๑.๒๐๐ องศาเซลเซียส โดยการบีบอัดในระบบที่ควบคุมอุณหภูมิภายในได้อย่างเหมาะสม

รายละเอียดเฉพาะ

๓.๑ สามารถทำความร้อนให้ชิ้นงานจากอุณหภูมิห้อง ไปถึง ๑.๒๐๐ องศาเซลเซียส ภายใต้บรรยากาศของการขึ้นรูปพลาสติกด้วยวิธีกดอัด (อาร์กอน หรือไนโตรเจน) ที่ความดัน ๘×๑๐^5 Pa. ($\approx ๖ \times ๑๐^3$ Torr)

๓.๒ มีแรงดันใช้ในการขึ้นรูปชิ้นงานอย่างน้อย ๑๐ ตัน

๓.๓ สามารถขึ้นรูปชิ้นงานที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างน้อย ๕๐ x ๕๐ มิลลิเมตร

๓.๔ ส่วนให้ความร้อน (heating element) เป็น Graphite หรือ Mo

๓.๕ ส่วนบีบอัด (Hot Rod) เป็นวัสดุ Graphite

๓.๖ มีระบบควบคุมอุณหภูมิ และระบบป้องกันอุณหภูมิสูงเกิน (Over Temperature)

๓.๗ มีระบบหล่อเย็นที่สามารถใช้กับระบบน้ำประปาในประเทศได้

๓.๘ มีระบบจัดการจ่ายไฟเมื่อมีการเปิดห้องขึ้นรูป (Chamber)

๓.๙ มีห้องใส่เพื่อป้องกันการทำงานและสวิตช์เปิด-ปิด เมื่อมีการจ่าย ไฟไฟ หรือ ควบคุมความร้อนเข้ามาบนหรืออาร์เคิลอนความถี่ที่มาจากชุดควบคุม

๓.๑๐ มีระบบป้องกันก๊าซเฉื่อย (อาร์กอนหรือไนโตรเจน) พร้อมถังก๊าซสำรองอย่างน้อย ๓ ถัง

๓.๑๑

รายละเอียดเพิ่มเติม

๑. ใช้กับระบบไฟฟ้าสามเฟส ๓๘๐ โวลท์ ๕๐ เฮิร์ตซ์ $\pm ๑๐\%$

๒. คู่มือการใช้งาน คู่มือการบำรุงรักษาเครื่อง จำนวน ๒ ชุด

๓. รับประกันคุณภาพไม่น้อยกว่า ๑ ปี

๔. ส่งมอบสินค้าพร้อมทั้งทำการติดตั้ง และสอนการใช้งานเครื่องโดยผู้เชี่ยวชาญจากบริษัทผู้ผลิตจนผู้ใช้สามารถปฏิบัติงานได้ทันทีเสร็จภายในระยะเวลา ๑๕๐ วัน นับจากวันที่ลงนามในสัญญาซื้อขาย

๕. ระยะเวลาในการส่งมอบ จำนวน ๑๕๐ วัน

๖. ระยะเวลาในการยื่นอัตราค่า จำนวน ๓๐ วัน

ใบเสนอราคาที่ได้เสนอจาก ตัวแทนจำหน่ายและบริการ บริษัท เดอะ ไซเอนด์ เอ็ดดูเคชันแนล จำกัด

จะเห็นได้ว่าอุปกรณ์ดังกล่าวนี้สำคัญมากสำหรับการวิจัยด้านวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก ที่จะพัฒนาวัสดุโดยใช้วัตถุดิบภายในประเทศ วัสดุที่ราคาถูกที่มีภายในประเทศ เพื่อให้เหมาะสมใช้งานในประเทศไทย และพัฒนาจนถึงระดับการค้า จนถึงอุตสาหกรรมการผลิตขนาดใหญ่ได้ และยังเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยพื้นฐานที่จะมีผลกระทบต่อวงการวัสดุศาสตร์ด้านพลังงานทดแทน การสร้างต้นแบบ และการประดิษฐ์อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก และอุตสาหกรรมพลังงาน และการเรียนการสอน ระดับปริญญาตรี โท และ เอก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในวิชาวัสดุฟิสิกส์พลังงาน ดังนั้นคณะวิจัยของข้าพเจ้าจึงสนใจออกแบบและสร้าง ระบบเตาเผาแบบอัตโนมัติขึ้นเองเพื่อใช้ในการวิจัยด้านวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งจะได้องค์ความรู้จากการสร้างระบบดังกล่าว สามารถยกระดับเทคโนโลยีให้สามารถพึ่งพาตนเองและนำไปสู่การพัฒนาประเทศที่ยั่งยืนได้ รวมไปถึงการพัฒนาบุคลากรด้านการสร้าง เครื่องมือ การเรียนการสอนการวิจัย การส่งบทความประชุมเชิงวิชาการ และวารสารนานาชาติ สำหรับการศึกษาระดับปริญญาตรี โท และ เอก และเตรียมความพร้อมการศึกษาในยุคลังคมอาเซียน (AEC) ต่อไป

โดยการออกแบบและสร้างระบบเตาเผาแบบอัตโนมัติจะดำเนินการในปีแรก และเมื่อได้สร้างเสร็จสิ้นปีที่ 2 จะเป็นทดสอบระบบ และสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกจริง เพื่อศึกษาวิธีการทำให้เกิดขนาดเกรนระดับนาโนในชิ้นงานที่ได้สังเคราะห์ในระบบที่ได้สร้างขึ้น เพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก โดยเฉพาะจะเน้นการลดลงของค่าสภาพการนำความร้อน เนื่องจากขนาดเกรนลดลงระดับนาโน

ในการสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกขึ้นจริง เพื่อทดสอบระบบ ศึกษาการเกิดขนาดเกรนระดับนาโน จะสังเคราะห์สารประกอบ CuFeO_2 เพราะสารประกอบดังกล่าวของข้าพเจ้าได้ทำการสังเคราะห์ด้วยวิธีการอัดเย็นและวัดสมบัติต่างๆ ทางเทอร์โมอิเล็กทริกแล้ว และได้เผยแพร่ตีพิมพ์ในวารสารนานาชาติแล้ว ดังนี้

1. C. Ruttanapun, et. al. "Electrical and optical properties of p-type $\text{CuFe}_{1-x}\text{Sn}_x\text{O}_2$ ($x = 0.03, 0.05$) delafossite-oxide", Journal of Applied Physics, 113 (2013), pp. 023103.
2. C. Ruttanapun et. al. "Optoelectronic properties of $\text{Cu}_{1-x}\text{Pt}_x\text{FeO}_2$ ($0 \leq x \leq 0.05$) delafossite for p-type transparent conducting oxide" Current Applied Physics 12, (2012), pp.166-170.
3. C. Ruttanapun et. al., "Thermoelectric properties of $\text{Cu}_{1-x}\text{Pt}_x\text{FeO}_2$ ($0.0 \leq x \leq 0.05$) delafossite-type transition oxide", Journal of Alloys and Compounds 509 (2011), pp. 4588-4594.

จึงเป็นการดีที่จะสังเคราะห์สารประกอบ CuFeO_2 ในระบบเตาที่พัฒนาขึ้น แล้ววัดสมบัติต่างๆ ทางเทอร์โมอิเล็กทริกเปรียบเทียบกับค่าที่ได้ตีพิมพ์แล้ว เพื่อศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1) ออกแบบและสร้างระบบเตาเผาแบบอัดร้อนสำหรับสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก ให้ได้วัสดุที่มีความหนาแน่นสูง ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดขอบเกรนระดับนาโน (มีผลต่อการลดของสภาพนำความร้อน)

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1) ทำการออกแบบและสร้างระบบเตาเผาอัดร้อน ให้สามารถทำการอัดสารตัวอย่างได้พร้อมกันในขณะทำการเผา มีระบบป้อนก๊าซเฉื่อยเข้าไปในเตา และมีระบบหล่อเย็นโดยระบบเตาเผาแบบอัดร้อนดังกล่าว จะนำมาใช้สำหรับการวิจัยในการสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกให้ได้ grain boundary size ระดับนาโน และวัสดุมีความหนาแน่นสูง มีผลทำให้ได้วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีค่า ZT สูง

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการวิจัยแบ่งออก เป็น 2 หัวข้อหลักๆ ดังนี้

- 1) การออกแบบ สร้างระบบเตาเผาสุญญากาศแบบอัดร้อน และการทดสอบการใช้งานระบบเตา
- 2) เขียนสรุปรายงาน เผยแพร่ตีพิมพ์บทความในงานประชุมวิชาการและวารสารนานาชาติ

มีรายละเอียดขั้นตอนดังนี้

1) การออกแบบ สร้างระบบเตาเผาสุญญากาศแบบอัดร้อน และการทดสอบการใช้งานระบบเตา

จากส่วนประกอบของระบบเตาเผาสุญญากาศแบบอัดร้อนมีดังนี้

- ระบบอัดไฮดรอลิกและมาตรวัดความดันการอัด
- ระบบห้องเตาสุญญากาศ
- ระบบทำความร้อนด้วยขดลวด ระบบอ่านอุณหภูมิ ระบบควบคุมอุณหภูมิ
- ระบบปั๊มสุญญากาศและมาตรวัดความดันสุญญากาศ
- ระบบท่อส่งก๊าซเฉื่อยพร้อมถังเก็บก๊าซ และและมาตรวัดความดันก๊าซ
- ระบบหล่อเย็นรอบตัวเตาและแกนอัด
- ชุดแบบอัดขึ้นรูปทั้งแบบเหล็กแข็งและแบบแกรไฟต์

มีขั้นตอนการออกแบบและสร้างระบบเตาดังนี้

- 1 คำนวณข้อมูล สอบราคา ติดต่อผู้ขาย วัสดุที่เกี่ยวข้องที่จะต้องซื้อในการสร้างระบบเตา
- 2 ออกแบบและสร้างระบบจนวนกันความร้อนที่หล่อขึ้นจากซิเมนต์ทนไฟ พร้อมติดตั้งขดลวดความร้อนทั้งเสตน ติดตั้งระบบสายไฟฟ้าไปยังขดลวด ติดตั้งตัวอ่านอุณหภูมิ ติดตั้งตัวตั้งโปรแกรมควบคุมอุณหภูมิ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3 ทดสอบระบบให้ความร้อนและ ระบบควบคุมอุณหภูมิ
- 4 ออกแบบระบบเตาซึ่งเป็นแบบห้องสุญญากาศ (vacuum chamber) ที่มีต้องเจาะช่องสำหรับให้ระบบส่งกำลังสามารถส่งแกนอัดเข้าไปภายในห้องได้ มีช่องสายไฟและ ช่องน้ำหล่อเย็น ระหว่างผนัง chamber และสร้างระบบเตา โดยการเอาแผ่นแอสตนเลส (หนาอย่างน้อย 5mm.) ม้วนแล้วเชื่อมเข้าด้วยกันเป็น chamber 2 ชั้น มีช่องสำหรับประตูเปิด ปิด เชื่อมแผ่นแอสตนเลสทำประตู มีบานพับประตู และเจาะช่องสำหรับใส่แกนกด สายไฟฟ้า น้ำหล่อเย็น และช่องส่งผ่านก๊าซที่จำเป็นเข้าเตา แล้ววางระบบเตาบนโครงเหล็ก
- 5 ติดตั้งระบบสุญญากาศพร้อมมาตรวัดความดันอากาศ และทดสอบให้ภายในเตาระบบสุญญากาศ ภายในเตา ตรวจหาจุดรั่วของอากาศ
- 6 ทดสอบระบบสุญญากาศภายในเตา
- 7 ทดสอบสุญญากาศเตาที่สร้างขึ้น โดยการใช้ตัวยกอากาศตามช่องว่างต่างๆแล้วปั๊มอากาศออกด้วยปั๊มสุญญากาศ
- 8 ออกแบบสร้างระบบส่งกำลังอัด ติดตั้งมาตรวัดแรงกด และแกนอัดภายในตัวเตา และทดสอบระบบ การอัด
- 9 ติดตั้งปรับระบบ และทดสอบ ระบบอัดไฮดรอลิก และระบบส่งกำลังแกนอัด ต่อระบบเข้ากัน
- 10 ออกแบบชุดโครงเหล็กสำหรับยึดตัวเตาและ โครงตัวสำหรับประกอบระบบส่งกำลังอัดไฮดรอลิกสร้างชุด โครงเหล็กสำหรับยึดตัวเตาและสำหรับประกอบระบบอัดไฮดรอลิก
- 11 ออกแบบและสร้างระบบและติดตั้งท่อส่งน้ำหล่อเย็น และติดตั้งปั๊มน้ำเย็น และติดตั้งตัวสร้างน้ำเย็น แล้วทดสอบระบบการไหลของน้ำหล่อเย็น
- 12 ออกแบบและสร้างระบบท่อป้อนก๊าซเฉื่อย สำหรับส่งผ่านก๊าซที่จำเป็นเข้าเตา เย็น แล้วทดสอบระบบ
- 13 ออกแบบและสร้าง แบบสำหรับอัดขึ้นรูปชิ้นงาน
- 14 ทดสอบการสังเคราะห์วัสดุระบบเตาโดยการให้ความร้อนพร้อมอัดสุญญากาศ และป้อนก๊าซเฉื่อย
- 15 ตรวจสอบและแก้ไขจุดผิดพลาด
- 16 เขียนรายงานสรุป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1 ได้ระบบเตาเผาแบบอัตร้อน สำหรับใช้ในการทำกรวิจัย พัฒนา สังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก
- 2 ได้วิธีในการสร้างระบบเตาเผาแบบอัตร้อนทำสร้างขึ้น ลดการพึ่งพาอุปกรณ์จากต่างประเทศ
- 3 ได้อุปกรณ์การทำวิจัยที่ราคาถูกกว่านำเข้าจากต่างประเทศ
- 4 อุปกรณ์ดังกล่าวยังมีประโยชน์สามารถประยุกต์กับวิจัยสังเคราะห์วัสดุด้าน Solid State Fuel cell, Solid state battery, transparent conducting oxide, หรือ วัสดุสำหรับเป็นเป้าเพื่อทำ thin film
- 5 ได้วิธีการสร้างระบบเตาเผาแบบอัตร้อนสามารถนำไปใช้สอนระดับ ป. ตรี โท และเอก
- 6 ได้เครื่องมือเพื่อการวิจัย การเรียนการสอน และ ผลิตนักศึกษาทุกระดับชั้น (ตรี โท และเอก)
- 7 ยกระดับให้การวิจัยของ สจล ให้สู่ห้องวิจัยชั้นนำต่างประเทศได้
- 8 มีเครื่องมือผลิตผลงานเพื่อส่งงานประชุมวิชาการทุกระดับ รวมถึงตีพิมพ์เผยแพร่ด้วย
- 9 เตรียมความพร้อมด้านการวิจัย การศึกษาให้ทันยุคสังคมอาเซียน
- 10 มีบทความตีพิมพ์ในวารสารนานาชาติ 1 บทความที่มี impact factor



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในภาวะปัจจุบันของประเทศไทยมีความร้อน ส่วนเกิด สูญเปล่า และเหลือทิ้งจำนวนมาก เช่นจาก โรงงานอุตสาหกรรมที่เกี่ยวกับความร้อน จากความร้อนของท่อไอเสียจากรถยนต์ และจากความร้อนของ แสงแดดในประเทศไทยซึ่งเป็นประเทศร้อนมีอุณหภูมิสูงเฉลี่ยเกือบทั้งปี 28 ถึง 42 C ความร้อนสูญเปล่า ดังกล่าวนั้นน่าจะนำมาเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าและเป็นพลังงานทดแทนเพื่อเสริมพลังงานที่มีอยู่ในปัจจุบัน

มีวัสดุที่สามารถเปลี่ยนความร้อนเป็นไฟฟ้าได้โดยตรงทันทีในตัวเองได้ เรียกว่า วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก [1] โดยวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกนั้นเป็นวัสดุที่สามารถผันพลังงานความร้อนที่เกิดจากความแตกต่างของ อุณหภูมิที่เกิดขึ้นบนวัสดุเป็นให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงทันทีในตัวเอง โดยสามารถประยุกต์เป็น อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกได้หลายแบบเช่น ประยุกต์เทอร์โมอิเล็กทริกสร้างไฟฟ้าจากความร้อนจากแสงแดด หรือเป็นตัวกำเนิดไฟฟ้าจากความร้อนในท่อไอเสียรถยนต์

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจพัฒนาวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นเพื่อสร้างอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับผันไฟฟ้าจากความร้อนสูญเปล่า โดยประสิทธิภาพการผันพลังงานของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกนั้นจะแปรผันกับค่าประจำวัสดุโดยเรียกว่า ค่า Dimensionless of Figure of merit (ZT) [2] เป็นค่าที่ไม่มีหน่วย โดยถ้าค่า ZT ในวัสดุใดมีค่ามาก เมื่อนำมาสร้างเป็นอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกก็จะสามารถผันพลังงานได้มากด้วย สำหรับ ZT ตามทฤษฎีนั้นจะมีค่าได้ไม่จำกัด แต่ในปัจจุบันวัสดุ เทอร์โมอิเล็กทริกมีค่า อยู่ที่ ประมาณ 1 ถึง 2 สำหรับค่า ZT นั้นสามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ $ZT = \sigma S^2 T / K$ เมื่อ σ คือ ค่า สภาพความนำไฟฟ้า S คือ สัมประสิทธิ์ซีเบค T คือค่าอุณหภูมิ และ K คือ ค่าสภาพนำความร้อน โดยค่า σ S และ K ทั้ง 3 ค่านี้ คือค่าสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับวัสดุนั้นๆ สำหรับค่า K นั้น เป็นผลรวมของ ค่าสภาพนำความร้อนของพาหะนำไฟฟ้า (K_e)และค่าสภาพนำความร้อนของโฟนอน(โครงผลึก) (K_{ph}) คือ $K = K_e + K_{ph}$ เมื่อ K_e คือ the thermal conductivity of electronic contribution และ K_{ph} คือ the thermal conductivity of the phonon ดังนั้นค่า ZT มีความสัมพันธ์ใหม่เป็นดังนี้
$$ZT = \frac{\sigma S^2 T}{K_e + K_{ph}}$$

ในการสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงนั้นสามารถทำได้โดยการพัฒนาวัสดุให้มีค่า ZT สูงขึ้น โดยมีปัจจัยที่จะให้ได้ค่า ZT สูงขึ้นได้ เป็นไปตามพฤติกรรมดังแสดงในรูปที่ 5

$$ZT = \frac{S^2 \sigma T}{K} \quad K = K_e + K_{ph}$$

- High Seebeck coefficient
- High electrical conductivity
- Low thermal conductivity

รูปที่ 5 แสดงปัจจัยที่ผลต่อการเพิ่มของค่า ZT

จากรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่า ค่า ZT ของวัสดุจะมีสูงขึ้นได้ เมื่อค่าสัมประสิทธิ์โมอิล็กทริกของวัสดุ นั้น มีค่า S และ σ มีค่าสูงมากๆ แต่ค่า K ต้องมีค่าน้อยมากๆ และต้องมีค่า T สูงมากๆด้วย (คือสามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงๆได้) เมื่อพิจารณาพารามิเตอร์ทั้ง 3 ตัวซึ่งมีความสัมพันธ์เป็นดังนี้

สัมประสิทธิ์ซีเบค (S)

$$S = -\frac{k_B}{e} \ln\left(\frac{n}{N_0}\right)$$

ค่าสภาพความนำไฟฟ้า (σ)

$$\sigma = e\mu n$$

ค่าสภาพความนำความร้อน ($K=K_e+K_{ph}$)

$$K_e = L_0 \sigma T$$

K_{ph} นั้นจะเกี่ยวข้องกับ โฟนอน (จะได้อีกกล่าวถึงในย่อหน้าต่อไป)

เมื่อ e คือ the electronic charge,

k_B คือ the Boltzmann's constant,

μ คือ electronic mobility,

n คือ carrier density,

N_0 คือ total host atom site,

L_0 คือ Lorenz factor ($2.45 \times 10^{-8} \text{ W}\Omega/\text{K}^2$)

จากความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ทั้ง 3 ตัว จะเห็นได้ว่า S σ และ K_e มีความผูกพันเชื่อมโยงไปยังค่า n ดังนั้นถ้าต้องการเพิ่ม ZT ด้วยการเลือกเพิ่ม S และ σ ก็จะต้องส่งผลให้เกิดการลดค่า K_e ด้วย หรือ ถ้าต้องการเพิ่ม ZT ด้วยการเลือกลด ค่าของ K_e ลง ก็จะต้องส่งผลต่อการลดค่าของ σ และ S ด้วย ดังนั้นวิธีที่ดีที่สุดที่ทำให้การเพิ่ม ZT ที่ไม่ส่งผลต่อตัวอื่นก็คือ การเลือกลด ค่า K_{ph} ซึ่งเกี่ยวข้องกับ โครงผลึก ซึ่งไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า σ และ S

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจึงควรเลือกจัดการลดค่า K ด้วยการลด ค่า K_{ph} สำหรับปัจจัยที่มีผลต่อการควบคุมค่า K_{ph} [3] สามารถพิจารณาได้จาก กระบวนการกระเจิงโฟนอน phonon scattering processes ซึ่งสามารถแสดงในรูปของ relaxation times โดยมีสมการ combination relaxation time (τ_c) เป็น $\frac{1}{\tau_c} = \frac{1}{\tau_p} + \frac{1}{\tau_D} + \frac{1}{\tau_B}$ เมื่อ τ_p คือ the relaxation time depending on phonon-phonon scattering (normal and umklapp processes), $\tau_D (=C_D\omega^4)$ คือ the relaxation time depending on point-defect scattering, $\tau_B (=Vs/L)$ คือ the relaxation time depending on boundary scattering

เมื่อ ω คือ ความถี่โฟนอน Vs คือ ความเร็วเสียง และ L คือ characteristic length

สำหรับ lattice thermal conductivity ของทองที่มาจาก phonon-phonon scattering มีสมการอธิบายตามความสัมพันธ์ของ Keyes's relation คือ $K_{ph(p)} = B \left(\frac{T_m^{3/2} \rho^{2/3}}{M^{7/6}} \right) \frac{1}{T}$, เมื่อ B คือ the proportionality constant, T_m คือ the melting temperature, M คือ the average atomic mass, ρ คือ the material density, and T คือ the operation temperature จากสมการจะเห็นได้ว่า thermal conductivity ของ phonon-phonon scattering จะมีค่าน้อยเมื่อ M และ T มีค่ามาก ๆ ดังนั้นค่า $K_{ph(p)}$ จะมีค่าน้อยลงได้เมื่อโครงสร้างของสารประกอบประกอบด้วยอะตอม ที่มี atomic weight มาก และใช้งานได้ที่อุณหภูมิสูงๆ

สำหรับการคาดเดาค่าต่ำสุดของ lattice thermal conductivity ของวัสดุต่าง ๆ นั้นสามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ของ callaway [3] ดังนี้

$$K_{ph(min)} = \frac{k_B}{2\pi^2 v_s} \left(\frac{k_B T}{\hbar} \right)^{\theta_D/T} \int_0^{\theta_D/T} \tau_c(x) \left(\frac{x^4 e^x}{e^x - 1} \right) dx$$

เมื่อ k_B คือ the Boltzmann's constant

Vs คือ the average phonon group velocity (two transverse and one longitudinal modes)

θ_D คือ the Debye temperature

$x = \hbar\omega/k_B T$ คือ dimensionless with Planck's constant

ω คือ the frequency of excitations

τ_c คือ the total phonon relaxation time

จากสมการ $K_{ph(min)}$ จะเห็นได้ว่าจะเกี่ยวข้องกับค่าคงที่เป็นส่วนใหญ่ ค่าที่สามารถจัดการได้คือ ค่า τ_c , Vs , ω

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และเมื่อพิจารณา ค่า τ_D จะเห็นได้ว่า ค่า relaxation time ขึ้นกับค่า ความถี่โฟนอน ดังนั้นการจัดการกับสมการของ callaway จะเกี่ยวข้องกับการจัดการค่า ความถี่โฟนอน ซึ่งก็จะไปสัมพันธ์กับค่าความเร็วเสียง ส่วนค่า τ_B (the relaxation time depending on boundary scattering) นั้นจะเกี่ยวข้องกับค่าความเร็วเสียง และค่า characteristic length (L) ซึ่งสามารถจัดการค่าดังกล่าวโดยทำให้เกิดการกระเจิงที่ชอบ และต้องทำให้เกิดค่า L น้อย ซึ่งสามารถทำให้เกิดการกระเจิง และค่า L น้อย ได้ในโครงสร้างวัสดุที่มี boundary grain size ขนาดเล็ก ยังมีขนาดของ boundary grain size เล็กๆระดับ nano ได้ยั้งดี ดังนั้นการจัดการกับค่า K_{ph} ให้มีค่าน้อยลงทำได้โดยการได้บอะตอมที่มีค่า atomic weight มากเข้าไป เพื่อลดการสั่น โฟนอน และต้องจัดการให้เกิดการกระเจิงโฟนอนโดยการสร้างขนาด boundary grain size ที่เล็กระดับ nano ขึ้นในวัสดุ

สำหรับความสัมพันธ์ของค่า Thermal conductivity ของสารตัวอย่างที่เป็นผลึกผสมกับค่า grain size นั้นสามารถประมาณได้ตามสมการ[4]

$$K = \frac{K_0}{1 - \frac{K_0 R_K}{d}}$$

เมื่อ d คือ the grain size of polycrystalline

K_0 คือ thermal conductivity of bulk single crystal

R_K คือ the interfacial thermal resistance

จากสมการดังกล่าวสามารถประมาณได้ว่าค่า K จะน้อยลงตามค่าของขนาด grain size

สำหรับการสังเคราะห์วัสดุให้ได้ grain size ขนาดเล็ก หรือ ระดับ nano นั้น ในงานวิจัยนี้สนใจวิธีการของการสังเคราะห์โดยการเผาแบบอัดร้อน (Hot pressing) ซึ่งจะเป็นวิธีการสังเคราะห์วัสดุที่มีการเผาผนึก (sinter) ภายในเตาที่มีอุณหภูมิสูง และมีการกดอัดตามแนวแกนตลอดเวลาที่เผาผนึกด้วย หรือเรียกว่า Pressure Assisted Sintering ซึ่งจะแตกต่างจากการสังเคราะห์ด้วยวิธีปกติที่มีการอัดสารตัวอย่างที่อุณหภูมิห้องเสร็จก่อนแล้วนำเข้าไปเผาผนึกในเตาเผาสังเคราะห์ ซึ่งเรียกว่า Cold press sintering

สำหรับการสังเคราะห์แบบ Hot pressing หรือ Pressure Assisted Sintering จะทำให้ได้สารตัวอย่างที่มีความหนาแน่นสูงมากถึง 99% เทียบกับทฤษฎี [ซึ่งจะต่างจากวิธีแบบ cold press sintering จะมีความหนาแน่นต่ำกว่า 90%] และ Hot pressing ยังสามารถสังเคราะห์สารตัวอย่างให้เกิดผลึกขนาดเล็กที่มีการเกิด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบซ้ำๆกัน เรียกว่า super lattice ได้ โดยปัจจัยของอุณหภูมิและความดัน ที่มีผลต่อความหนาแน่นสูงของสารตัวอย่างของวิธี Hot pressing พิจารณาได้จากความสัมพันธ์ของ[5]

$$\frac{dD}{dt} = Kf(D)$$

เมื่อ

$$K = 5.6D_v \frac{MP}{RT r^2}$$

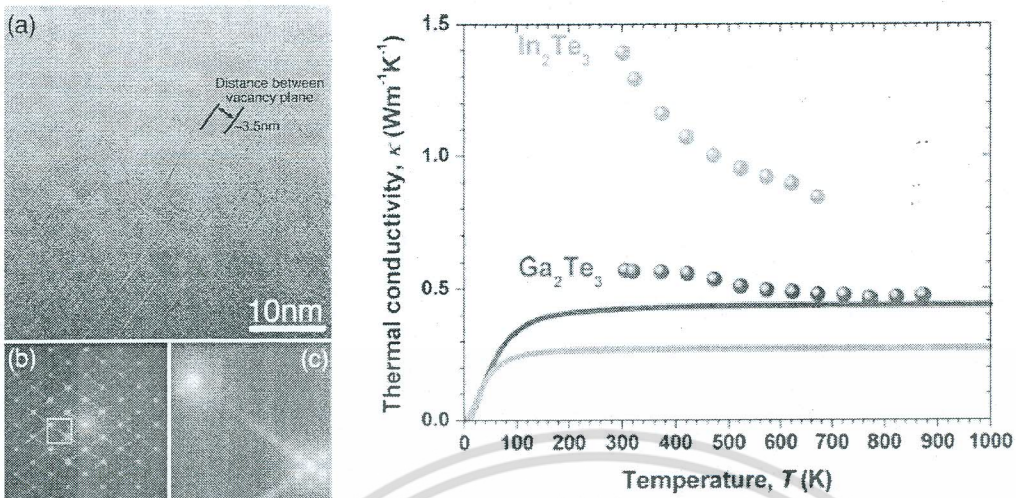
$$f(D) = (D - D_0)^{-1}$$

เมื่อ D คือ The density of sample, t คือ time, D_v คือ the volume diffusion coefficient, M คือ molecular volume

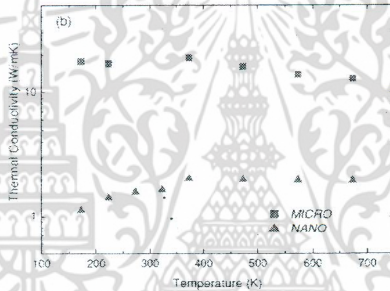
P คือ pressure, R คือ gas constant, T คือ temperature, r คือ particle size และ D_0 คือ initial density

ตามรายงานการวิจัยได้มีรายงานว่าวัสดุที่มีค่า ZT [3] นั้น ต้องเป็นโครงสร้างแบบ phonon electron crystal เช่น โครงสร้างแบบ skutterudite แบบ complex crystal structure เช่น CoO_2 หรือเป็นแบบ distorted rock-salt layer เช่น peroskit structure, delafossite structure โดยมีลักษณะที่ของ grain size เป็นแบบซ้อนชั้นหลายๆชั้น และถ้ามี nano grain boundary size ที่เป็นระเบียบซ้ำๆกันแบบ super lattice crystal ซึ่งลักษณะโครงสร้างแบบนี้จะเหมาะสมเป็นวัสดุสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริก รูปที่ 6 แสดงลักษณะของ nano boundary grain size ซึ่งมีผลให้ค่า K มีค่าน้อยกว่า 1 W/mK [6] นั้นสามารถสังเคราะห์ให้เกิดขึ้นด้วยวิธีการเผาแบบอัดร้อน และในรูปที่ 7 ได้แสดงผลเปรียบเทียบระหว่างการสังเคราะห์ CuAlO_2 ระหว่างวิธีทั่วไปซึ่งจะได้ขนาดผลึกขนาด ไมโคร และเตรียมด้วยวิธีแบบอัดร้อนจะได้ขนาดผลึกขนาดนาโน และมีค่าสภาพนำความร้อนที่น้อยกว่ามาก[7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6 นาโนเกรนต้นก้อนสาร Ga_2Te_3 มีผลให้ค่า κ มีค่าน้อยกว่า 1 W/mK จากการสังเคราะห์ด้วยเผาแบบอัดร้อน [4]

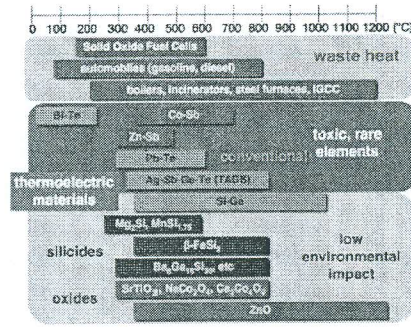
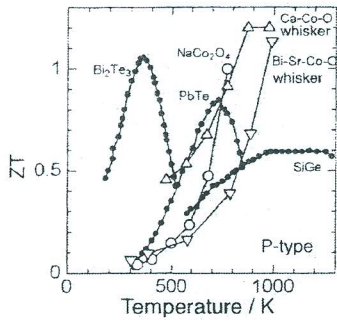


รูปที่ 7 เปรียบเทียบระหว่างการสังเคราะห์ CuAlO_2 ระหว่างวิธีทั่วไปซึ่งจะได้ขนาดผลึกขนาด ไมโคร และเตรียมด้วยวิธีแบบอัดร้อนจะได้ขนาดผลึกขนาดนาโน [5]

ดังนั้นการสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกแบบการเผาแบบอัดร้อน Hot press sintering จึงน่าสนใจที่จะมาใช้เพื่อวิจัยพัฒนาวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก ให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น

ปัจจุบันมีงานวิจัยรายงานว่าวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกประเภทสารประกอบออกไซด์ นั้นให้ค่า ZT สูงเกือบถึง 1 ที่อุณหภูมิสูงประมาณ 1000 K (727 C) เช่น NaCo_2O_4 , CaCoO [8] ดังแสดงในรูปที่ 8 ดังนั้นจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจที่จะพัฒนาวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกขึ้นจากสารประกอบประเภทออกไซด์ เพราะสามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงได้ (ซึ่งเป็นอุณหภูมิที่ความร้อนเหลือทิ้ง) และยังสามารถเตรียมได้จากวัสดุตั้งต้นที่มีราคาถูก เป็นวัสดุไม่เป็นพิษ ดังแสดงในรูปที่ 8 โดยวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกประเภทสารประกอบออกไซด์ที่ให้ค่า ZT เข้าใกล้ 1 ที่อุณหภูมิสูง ($500 - 1000 \text{ K}$) ได้แก่ SrTiO_3 , NaCoO_2 , $\text{Ca}_2\text{Co}_4\text{O}$, [8] ดังแสดงในรูปที่ 8 จะสังเกตเห็นได้ว่า สารประกอบดังกล่าวนี้เป็นสารประกอบออกไซด์ประเภททรานซิชันออกไซด์ (Transition oxide)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



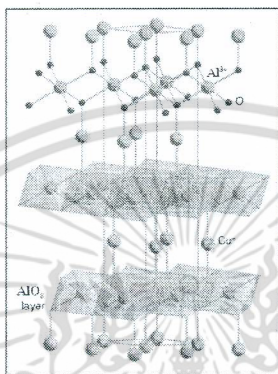
รูปที่ 8 ค่า ZT ของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกและ วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกประเภทต่างๆ[9]

นอกจากนี้ ยังมีรายงานการวิจัยพบว่าสารประกอบออกไซด์ CuFeO_2 ที่เป็นสารประกอบประเภทออกไซด์ชนิด ดีลาฟอสไซต์ และเป็นสารประกอบออกไซด์ทรานซิชันออกไซด์ด้วย มีศักยภาพที่จะพัฒนาเพื่อเป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกได้ โดยมีค่า มีประสิทธิภาพที่วัดอยู่ในช่วง 300 ถึง 550 $\mu\text{V/K}$ [10] ค่า PF ($0.44 \times 10^4 \text{ W/mK}^2$) [10] และค่า ZT 0.04 ที่อุณหภูมิ 960 K (687 C) [10] และสารประกอบดังกล่าวก็ที่มีจุดได้เปรียบอีกคือมีจุดหลอมเหลวสูงถึง 1200 C ซึ่งสามารถที่จะเลือกนำไปใช้งานในช่วงอุณหภูมิความร้อนเหลือทิ้งได้ และสารประกอบดังกล่าวก็สามารถเตรียมได้ง่าย ราคาถูก ไม่เป็นพิษ และทนต่อมลพิษสูงได้

โดยสารประกอบออกไซด์ CuFeO_2 นั้นเป็นประกอบ โครงสร้างประเภทดีลาฟอสไซต์ (Delafossite)[10-13] นั้นมีสูตรทั่วไปคือ ABO_2 และ สูตรทางเคมีคือ $\text{A}^+\text{B}^{3+}(\text{O}^{2-})_2$ เมื่อ อีออน A ที่เป็นได้ ก็คือ Cu^+ , Ag^+ , Pt^+ และ Pd^+ ส่วน อีออน B^{3+} นั้น มีได้ 4 กลุ่ม คือ 1) Trivalent transition metals ได้แก่ Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Rh 2) Group III metal elements ได้แก่ Sc, Y, La 3) Group 13 metal elements ได้แก่ Al, Ga, In, Tl และ 4) Rare earth elements ได้แก่ Pr, Nd, Sm, Eu โครงสร้างผลึกของประกอบออกไซด์ ดีลาฟอสไซต์ (ABO_2) มี unit cell เป็นแบบ hexagonal ของ space group (R3m) และ มี primitive cell เป็นแบบ rhombohedral โครงสร้างผลึกประกอบจากการสลับกันแบบซ้ำๆ ในแนวแกน Z ของชั้น ดัมเบล ของ O-A-O กับ ชั้นบล็อกทรงเหลี่ยมหกหน้าของ BO_6 โดยอีออน อีออน A จะยึดเกาะกับอีออน O^{2-} 2 อีออน ในลักษณะเป็นเส้นตรง (Linear Coordination) เรียงในแนวแกน Z ส่วนบล็อกทรงเหลี่ยมหกหน้าของ BO_6 เกิดจากการแชร์กันหกหน้าของ $[\text{BO}_2]^-$ โดยมี อีออน B^{3+} อยู่ตรงกลางของบล็อกทรงเหลี่ยมหกหน้า และอีออน B จะยึดเกาะกับอีออน O^{2-} 6 อีออน ในลักษณะประมิตฐานสี่เหลี่ยม 2 รูปประกบกัน โดยมุมทั้งแปดของโครงสร้างออก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตะสีคอลลี จะยึดเกาะติดกับไอออน A ในแนวขนานกับ แกน C โดยไอออน A นี้จะทำหน้าที่รวมชั้นของออกตะสีคอลลีเข้าด้วยกัน และไอออน O^{2-} จะถูกยึดเกาะด้วยไอออน A 1 ไอออน และ ไอออน B 3 ไอออน ในลักษณะ เชื่อม 4 แกน (Tetrahedral Coordination) ดังแสดงในรูปที่ 9 สำหรับสารประกอบในตระกูลดีลาฟอสไซท์ ออกไซด์ มีได้หลายสูตรเคมีเช่น $CuFeO_2$, $CuRhO_2$, $CuCrO_2$, $CuCoO_2$, $PdCoO_2$ and $PtCoO_2$ etc [10-13].



รูปที่ 9 โครงสร้างของดีลาฟอสไซท์ (ABO_3) [14]

สำหรับโครงสร้างสารประกอบดีลาฟอสไซท์ มีสมบัติการนำไฟฟ้าแบ่งได้เป็น 2 พวก [15] คือ โลหะ และสารกึ่งตัวนำ ซึ่งพิจารณาได้จากจำนวนอิเล็กตรอนใน orbital d ของไอออน A โดยถ้า orbital d มีจำนวนอิเล็กตรอนไม่เต็ม (d^9) ซึ่งก็ได้แก่ Pt^+ , Pd^+ จะทำให้สารประกอบ ABO_3 มีสภาพเป็นโลหะ เช่น สารประกอบ $PdCoO_2$ หรือ $PtCoO_2$ แต่ถ้า orbital d มีจำนวนอิเล็กตรอนอยู่เต็ม (d^{10}) ซึ่งก็ได้แก่ Ag^+ หรือ Cu^+ จะทำให้สารประกอบ ABO_3 นั้น มีสภาพเป็นสารกึ่งตัวนำเช่นสารประกอบ $CuFeO_2$ หรือ $AgCoO_2$ ดังนั้น สารประกอบ $CuFeO_2$ จึงมีสภาพนำไฟฟ้าเป็นแบบสารกึ่งตัวนำ แต่สำหรับค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคนั้นมีรายงานวิจัยรายงานว่าสารประกอบ $PdCoO_2$ และ $PtCoO_2$ [13,16] นั้นมีค่า S น้อยมากประมาณ 1 ถึง $5 \mu V/K$ ซึ่งน้อยมากเมื่อเทียบกับสารประกอบ $CuFeO_2$ ดังนั้นสารประกอบ $PdCoO_2$ และ $PtCoO_2$ จึงไม่เหมาะสมที่จะเป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก แต่ข้อดีสำหรับสารประกอบ $PdCoO_2$ และ $PtCoO_2$ นั้นคือมีค่าความนำไฟฟ้านั้นสูง แต่สำหรับสารประกอบ $CuFeO_2$ นั้น มีค่า S สูงมากๆประมาณ 300 ถึง $500 \mu V/K$ [10,17] ซึ่งเหมาะที่จะพัฒนาเป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกได้

แต่เนื่องจากค่าความนำความร้อนของ $CuFeO_2$ [17] นั้นมีค่าประมาณ 5 ถึง 10 (W/mK) ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งส่งผลให้ค่า ZT มีค่าน้อยกว่า 1 (ประมาณ 0.01 ที่อุณหภูมิห้อง) ดังนั้นจึงต้องปรับปรุงค่าสภาพความนำความร้อนของ $CuFeO_2$ ให้ต่ำกว่า $1 W/mK$ เพื่อให้ค่า ZT เข้าใกล้ 1 และสังเคราะห์สารประกอบ $CuFeO_2$ ด้วยวิธีเผาอัดร้อนในระบบเตาที่พัฒนาขึ้น จะทำให้เพิ่มค่า ZT ขึ้นได้ ดังเช่นการเตรียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

CuAlO_2 (เป็นสารประกอบที่มีโครงสร้างเดียวกับ CuFeO_2) ด้วย nano grain size ได้ค่า K ต่ำลงมากดังแสดงในรูปที่ 7

สำหรับในงานวิจัยนี้สนใจที่จะออกแบบและสร้างเตาเผาอคร้อนแบบราคาถูกสร้างขึ้นเองในประเทศไทยในภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สจล. เพื่อเป็นเตาสำหรับสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกให้มีสมบัติดีขึ้นสำหรับประดิษฐ์อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกผันไฟฟ้าจากความร้อน โดยการสังเคราะห์ในระบบดังกล่าว จะทำให้ได้วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกเกิด nano boundary grain size ซึ่งจะส่งผลให้มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่น้อยมาก แล้วจะส่งผลให้ ค่า ZT ของวัสดุดีขึ้น



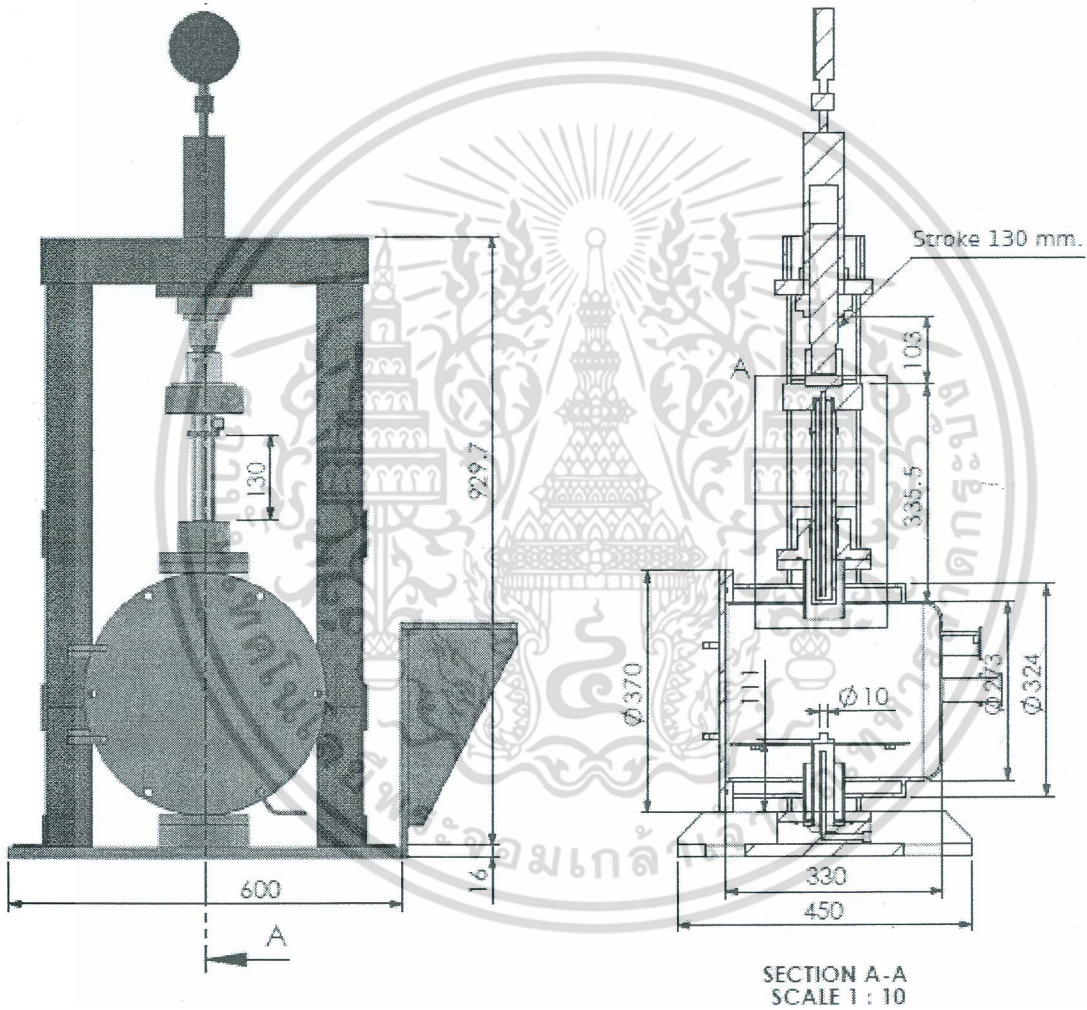
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

การออกแบบ และ สร้างระบบเตาเผาสุญญากาศแบบอัตโนมัติ

มีโครงสร้างภาพโดยรวมแสดงดังรูป



โครงสร้างภาพรวมของระบบเตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

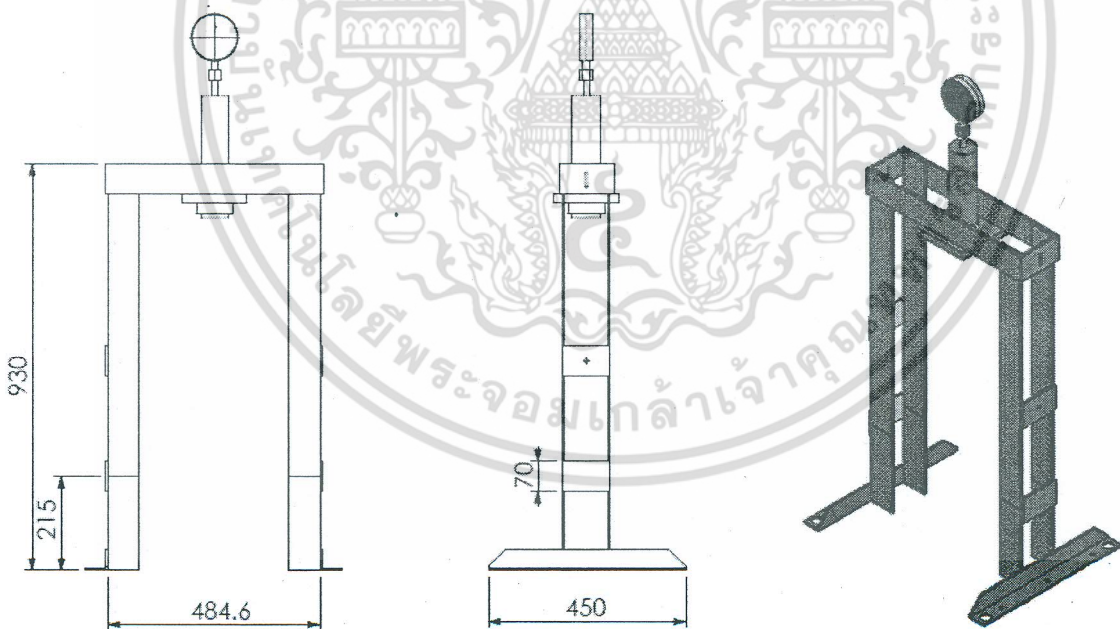
มีขั้นตอนการสร้างและออกแบบเป็นแยกเป็นส่วนประกอบย่อยได้ 7 ชั้น ดังนี้

- 1) ระบบอัดไฮโดรลิกและมาตรวัดความดันการอัด
- 2) ระบบห้องเตาสัญญากาศ
- 3) ระบบทำความร้อนด้วยขดลวด ระบบอ่านอุณหภูมิ ระบบควบคุมอุณหภูมิ
- 4) ระบบปั๊มสุญญากาศและมาตรวัดความดันสุญญากาศ
- 5) ระบบท่อส่งก๊าซเฉื่อยพร้อมถังเก็บก๊าซ และและมาตรวัดความดันก๊าซ
- 6) ระบบหล่อเย็นรอบตัวเตาและแกนอัด
- 7) ชุดแบบอัดขึ้นรูปทั้งแบบเหล็กแข็งและแบบแกรไฟต์

มีขั้นตอนการสร้างและออกแบบดังนี้

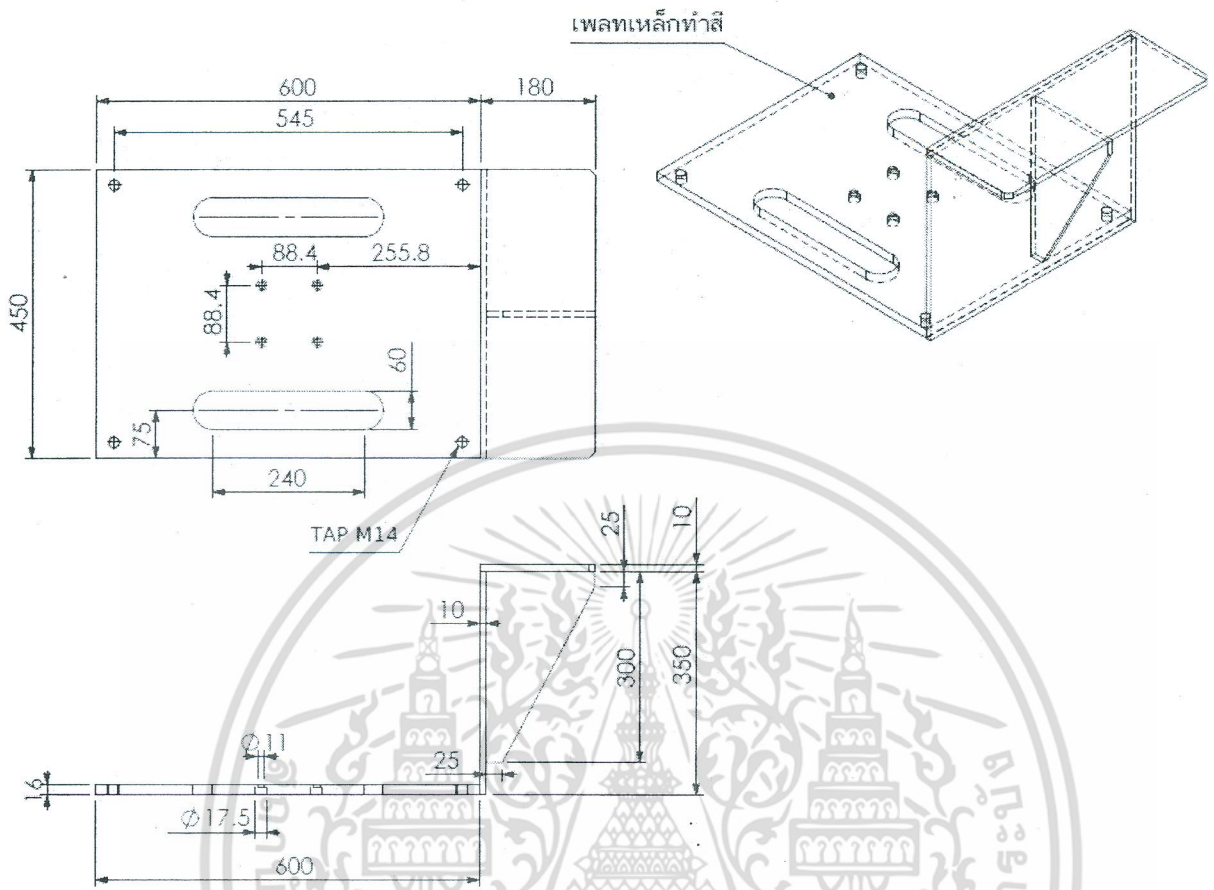
3.1) การออกแบบและสร้างระบบอัดไฮโดรลิกและมาตรวัดความดันการอัด

3.1.1 แบบโครงสร้าง



แบบโครงสร้างสำหรับระบบเตา (วัสดุ:เหล็กกล้า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



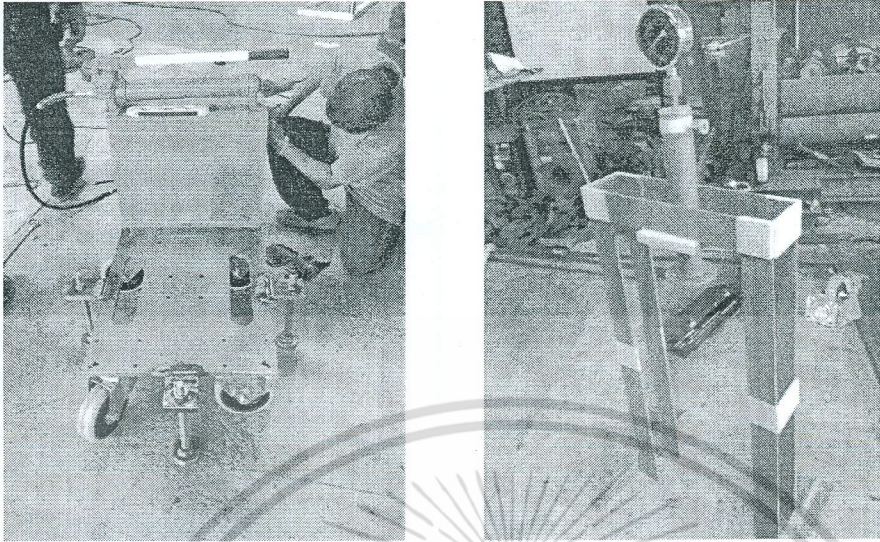
แบบฐานสำหรับวาง โครงระบบเตา (วัสดุ:เหล็กกล้า)

3.1.2 การสร้างและการประกอบขึ้นโครงสร้าง



ฐานวางและ โครงเหล็กของระบบเตาที่สร้างจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



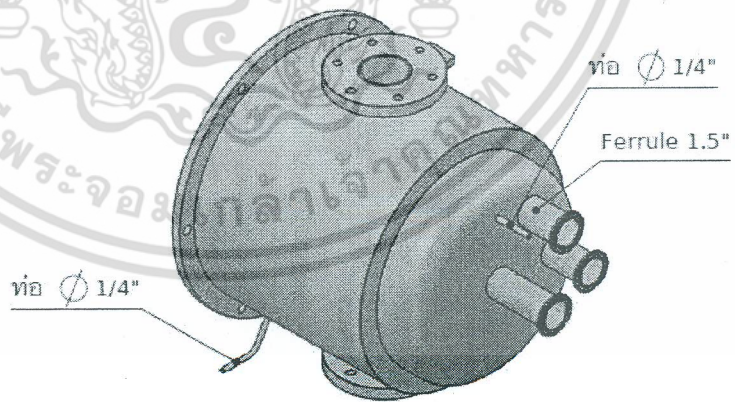
ฐานวางและโครงเหล็กของระบบเตาที่พันสีแล้ว

3.2) การออกแบบและสร้างระบบห้องเตาเผาสุญญากาศ

3.2.1 แบบห้องเตาเผาสุญญากาศ

SCALE 1 : 7.5

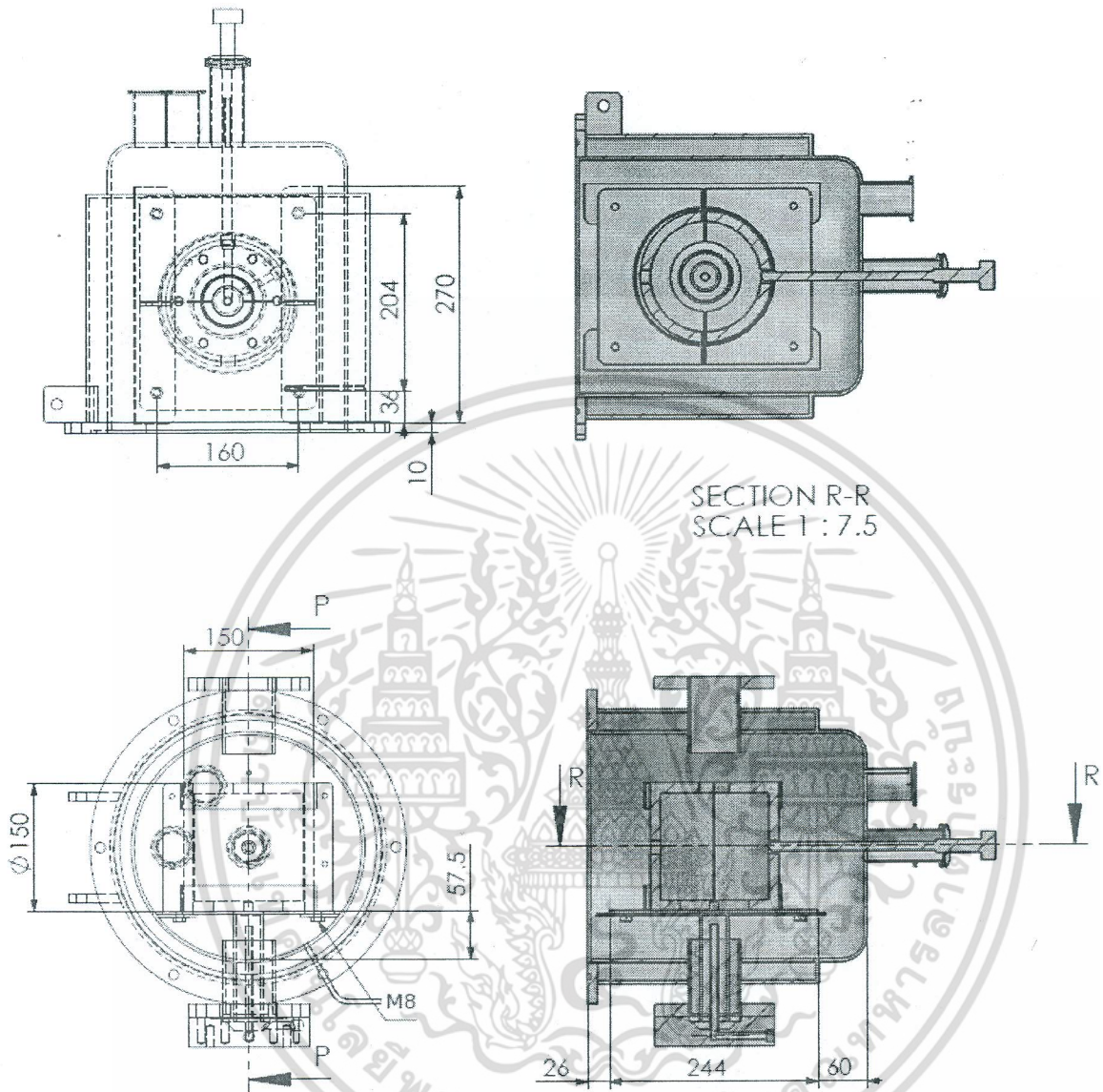
วัสดุสแตนเลส



O-ring ID300x6 = 1 Pcs.

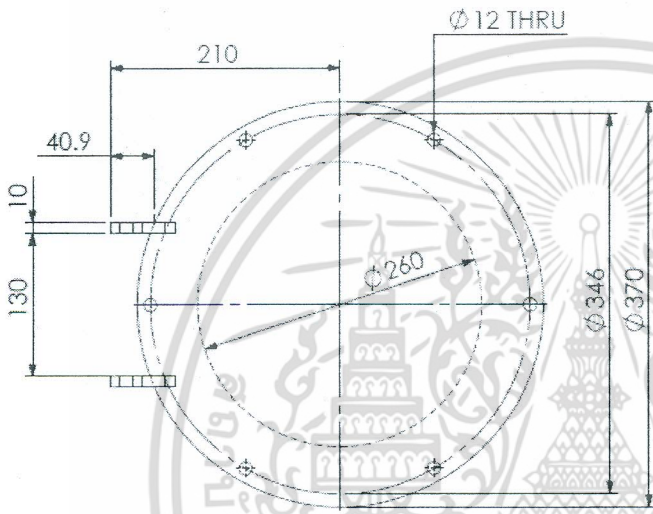
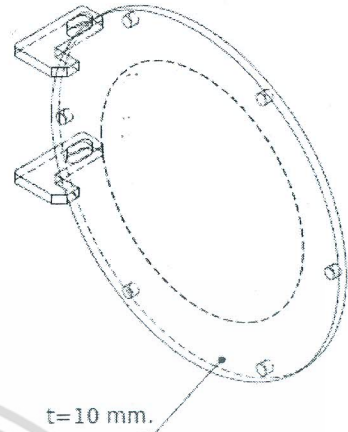
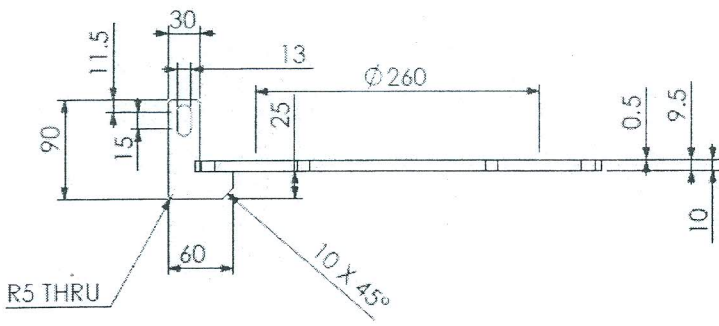
แบบภาพรวมห้องเตาเผาสุญญากาศ (วัสดุ:สแตนเลส)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



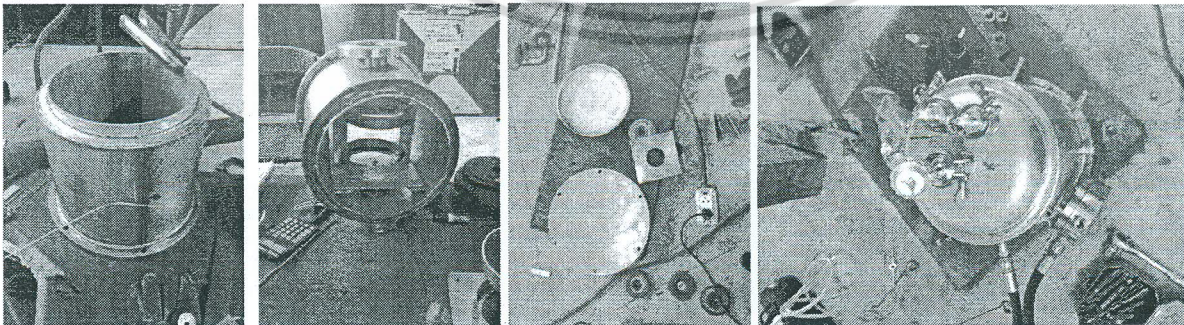
แบบห้องเตาเผาสุญญากาศ (วัสดุ:สแตนเลส)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



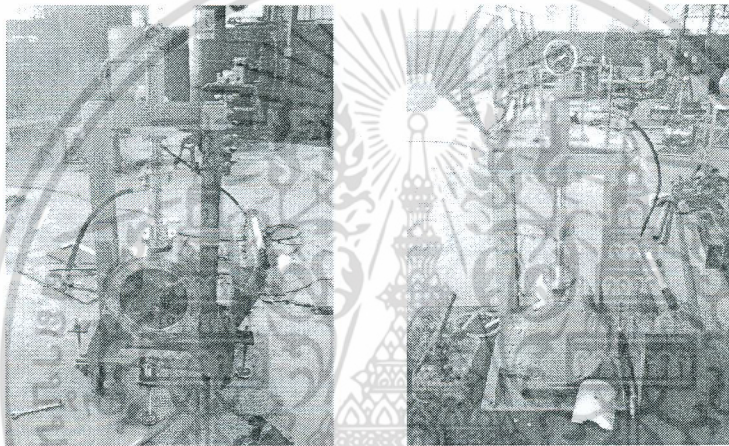
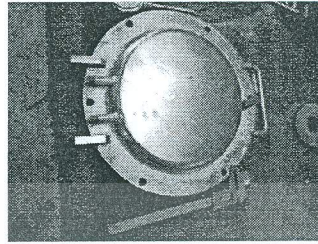
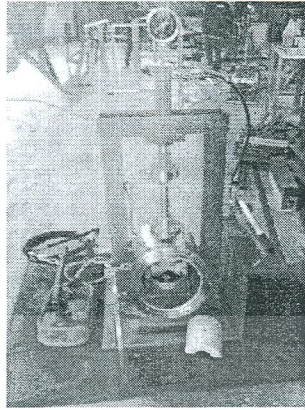
แบบฝาปิดห้องเตาเผาสุญญากาศ (วัสดุ:สแตนเลส)

3.2.2 การสร้างและการประกอบขึ้นโครงห้องเตาเผาสุญญากาศ



การสร้างห้องเตาเผาสุญญากาศขึ้นจริงจากวัสดุสแตนเลส

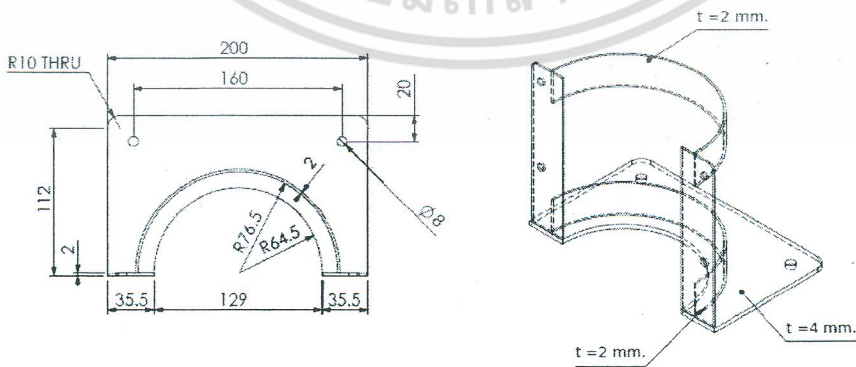
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การนำห้องเตาเผาสุญญากาศประกอบเข้ากับ โครงเหล็ก

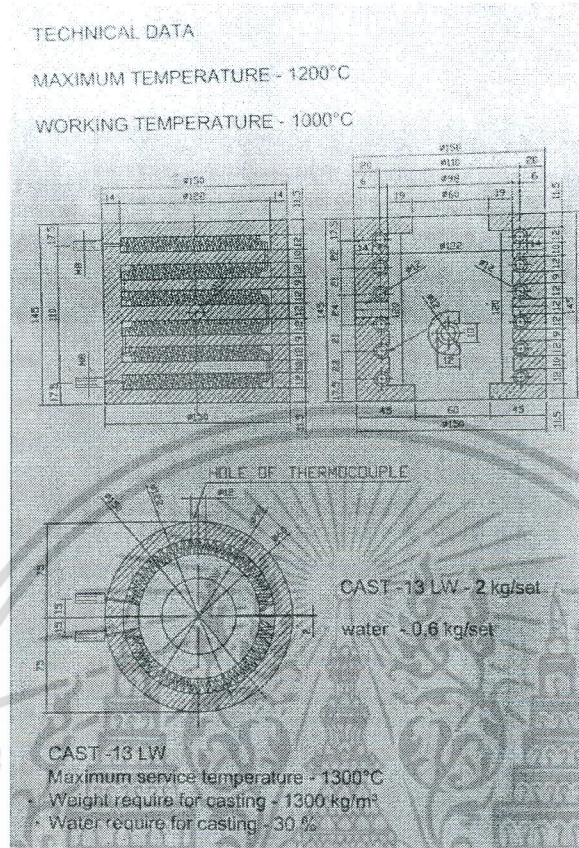
3.3) การออกแบบและสร้าง ระบบทำความร้อนด้วยขดลวด ระบบอ่านอุณหภูมิ ระบบควบคุมอุณหภูมิ

3.3.1 แบบโครงสร้างตัวขดลวดทำความร้อน



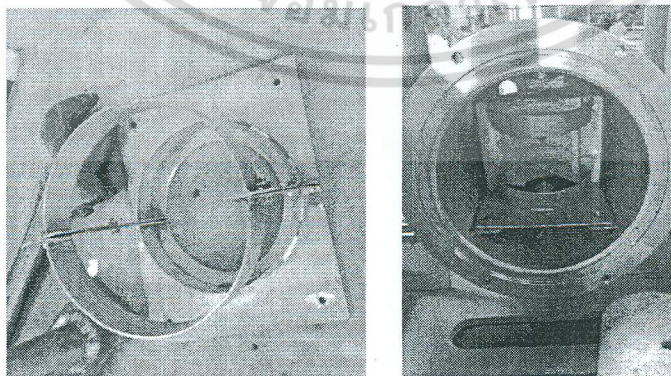
แบบตัวขดลวดทำความร้อน (วัสดุ:สแตนเลส)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น. ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น. อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แบบโครงปูนยัดขดลวดความร้อน (วัสดุ: ลวดนิกโครมและปูน)

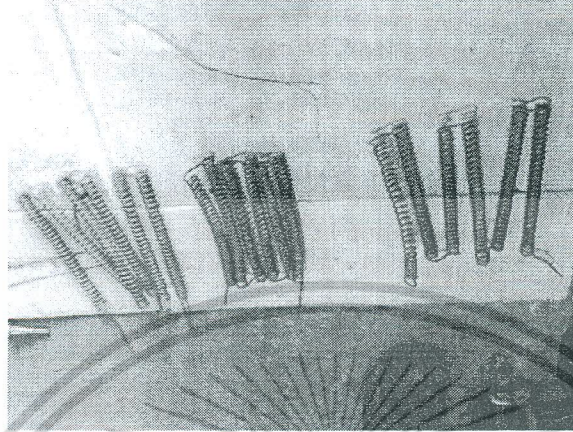
3.3.2 การสร้างและประกอบตัวยัดขดลวดความร้อน



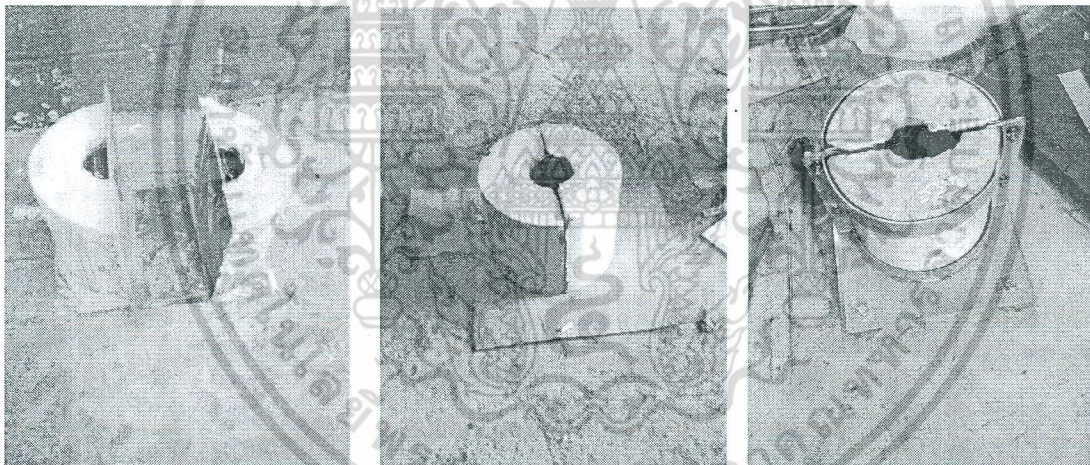
โครงตัวยัดขดลวดความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

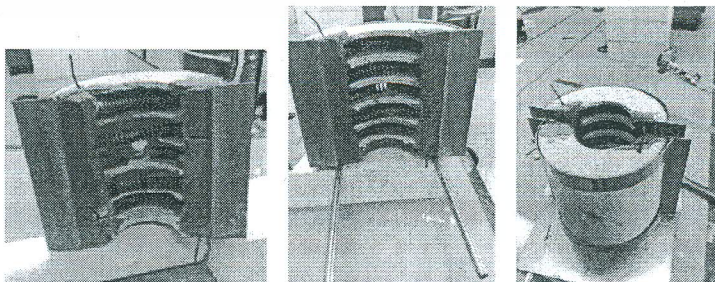
3.3.2 การสร้างและประกอบ



ขดลวดความร้อน

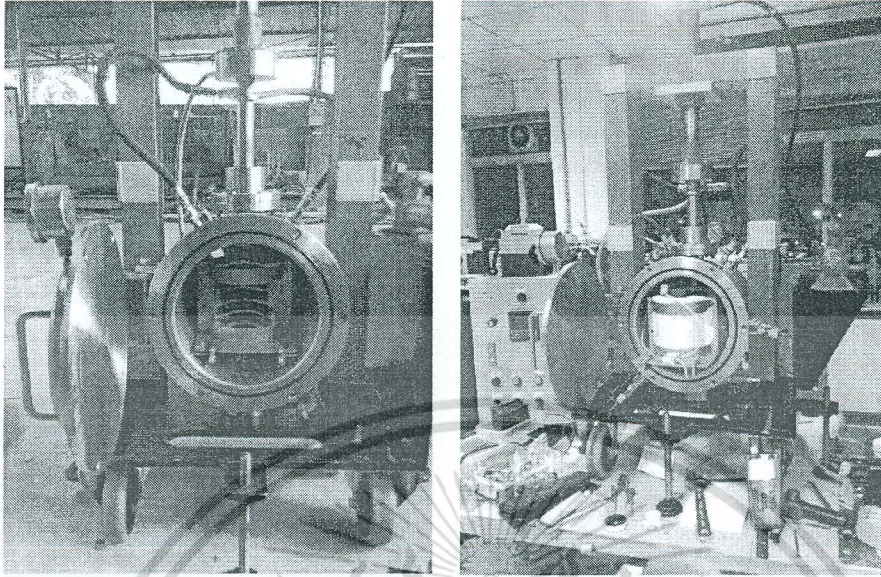


โครงปูนยึดขดลวดความร้อน

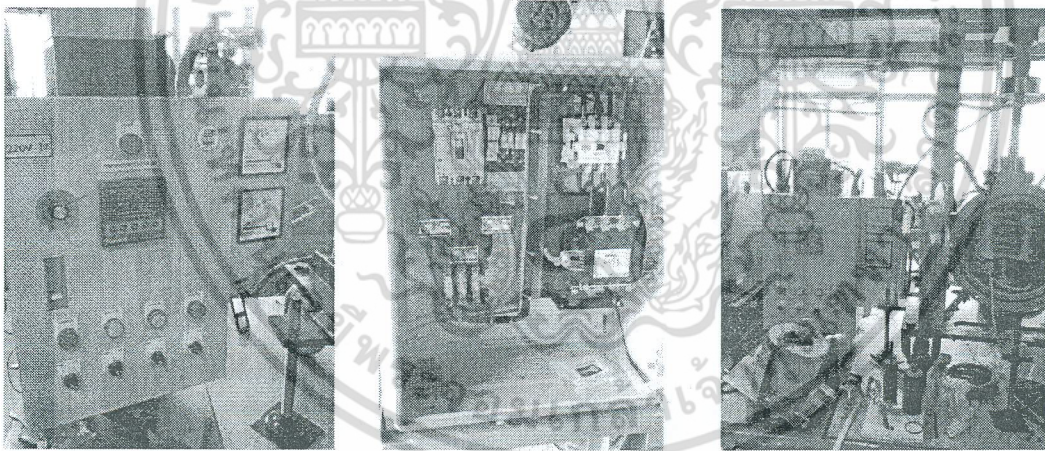


การประกอบขดลวดเข้ากับ โครงปูนแล้วประกอบเข้ากับ โครงยึดขดลวดความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

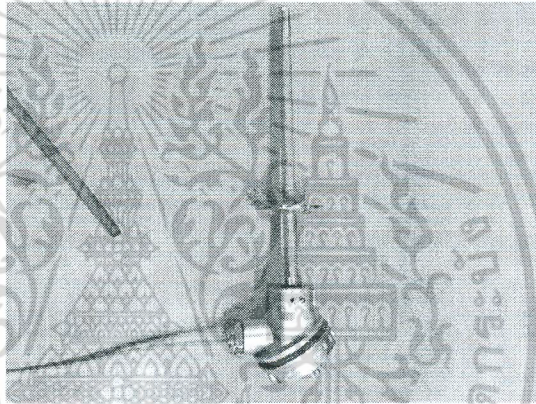
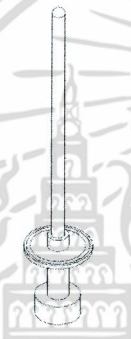
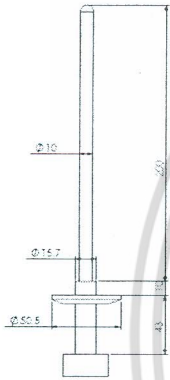
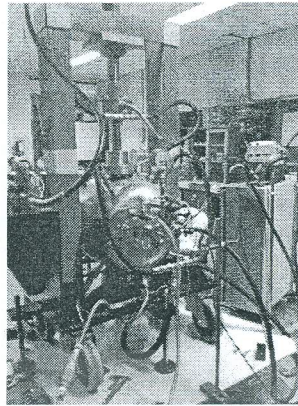
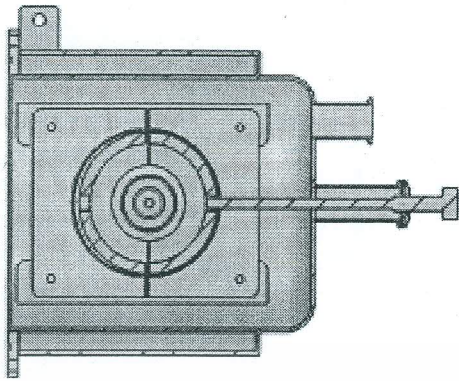


การประกอบขดลวดเข้าในห้องเตาเผา



ระบบควบคุมและพลังงานไฟฟ้าให้กับขดลวดความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

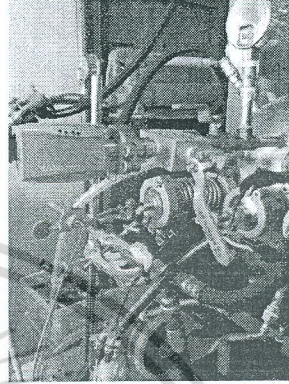
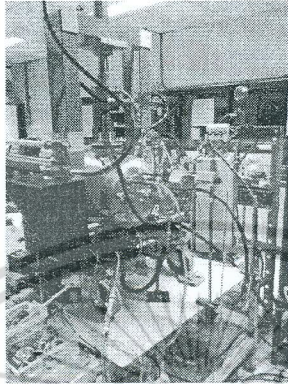
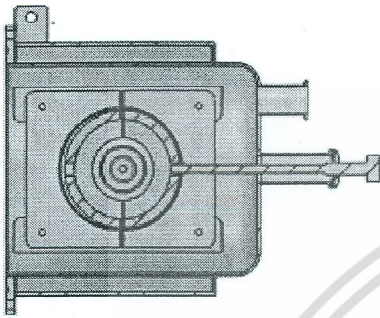


แบบและตัวจริงของตัวอ่านอุณหภูมิและตำแหน่งวางตัวอ่านอุณหภูมิในห้องเตาเผา

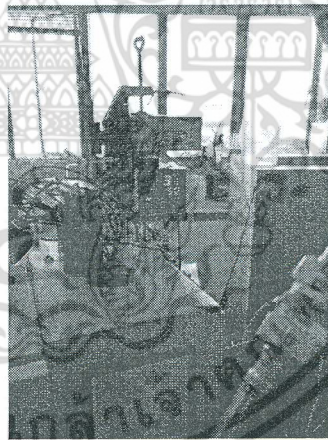
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4) การออกแบบและสร้างระบบปั๊มสุญญากาศและมาตรวัดความดันสุญญากาศ

3.4.1 แบบและโครงสร้างสำหรับระบบสุญญากาศ



แบบและตัวจริงของระบบปั๊มสุญญากาศและมาตรวัดความดันสุญญากาศในห้องเตาเผา

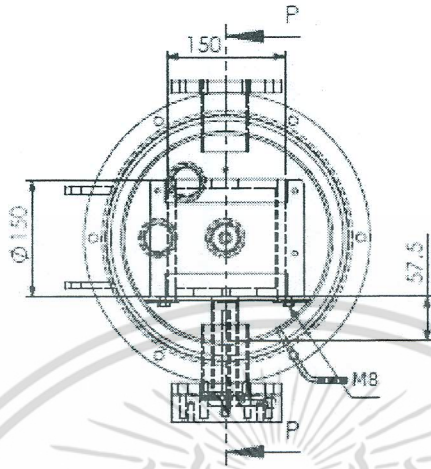


ปั๊มสุญญากาศและตัววัดความดันสุญญากาศในห้องเตาเผา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

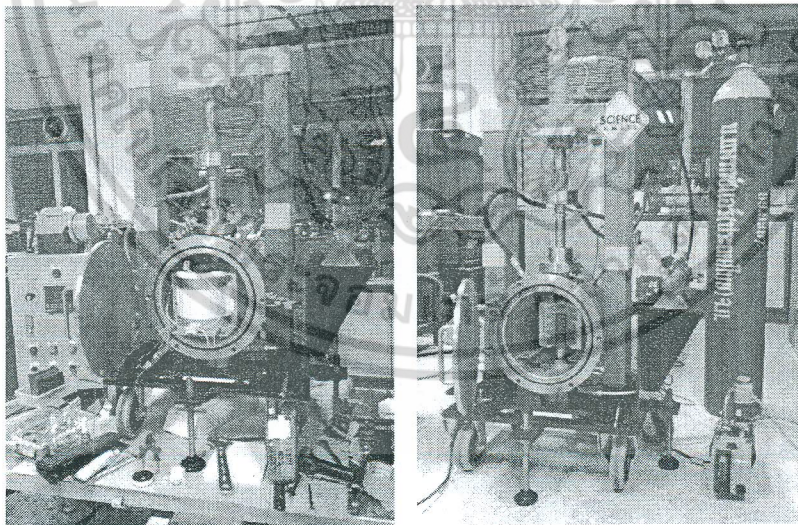
3.5) การออกแบบและสร้างระบบท่อส่งก๊าซเฉื่อยพร้อมถังเก็บก๊าซ และและมาตรวัดความดันก๊าซ

3.5.1 แบบโครงสร้าง



แบบโครงสร้างระบบเตาพร้อมท่อนำส่งก๊าซเฉื่อย

3.5.2 การสร้างและประกอบ

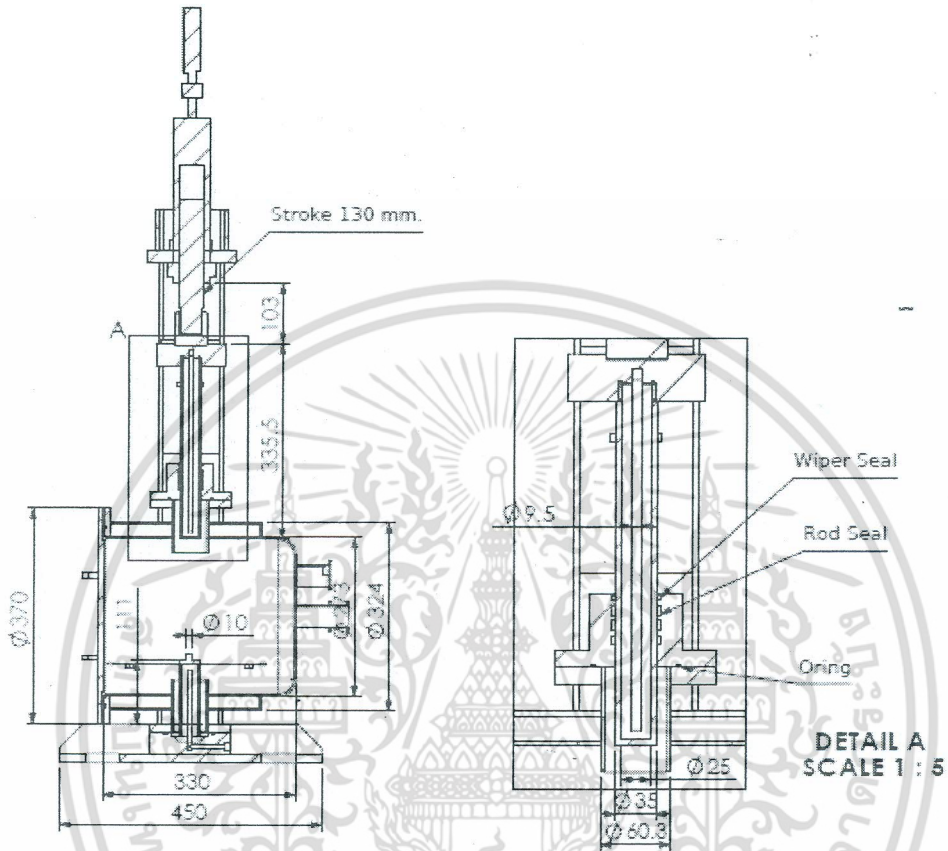


การประกอบระบบส่งก๊าซเข้าไปในระบบเตาเผา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

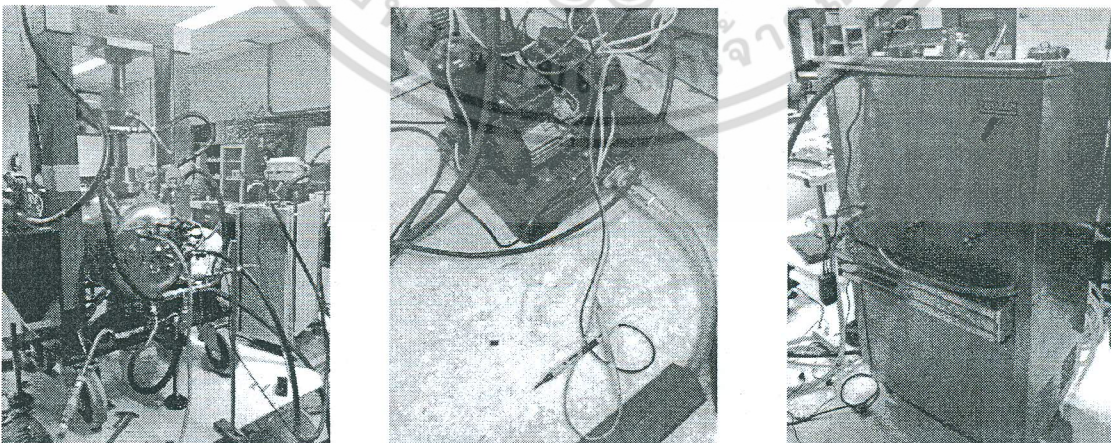
3.6) การออกแบบและสร้างระบบหล่อเย็นรอบตัวเตาและแกนอัด

3.6.1 แบบโครงสร้าง



แบบระบบน้ำหล่อเย็นรอบระบบเตาเผา

3.6.2 การสร้างและประกอบ

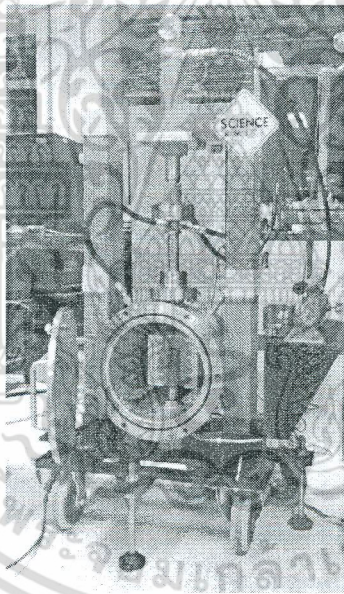
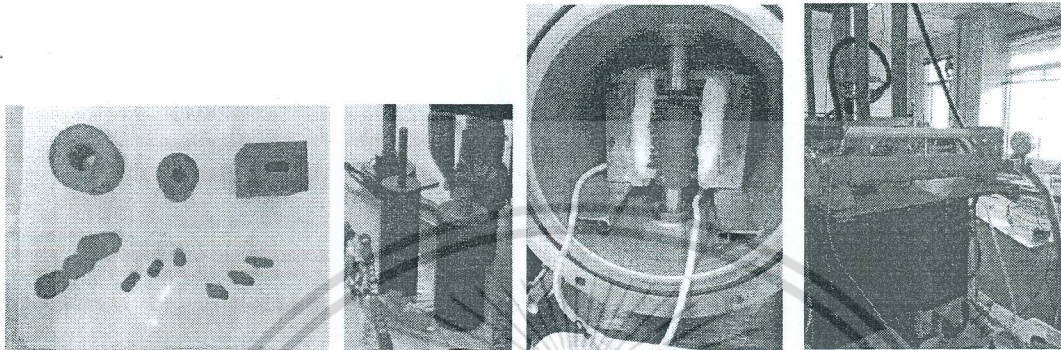


การประกอบระบบน้ำหล่อเย็นจากตัวทำความเย็นไประบายความร้อนรอบห้องเตาเผา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7) การออกแบบและสร้างชุดแบบอัดขึ้นรูปแบบเกรไฟต์

3.7.2 แบบและประกอบตัวอัดขึ้นรูปเข้ากับห้องเตาเผา

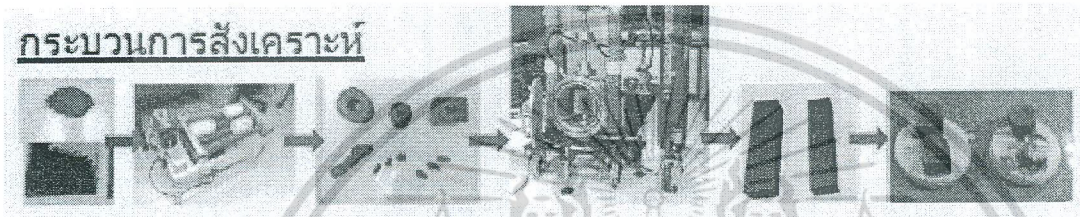


แบบและการประกอบตัวอัดขึ้นรูปเข้าไปในห้องเตาเผา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8) ขั้นตอนการสังเคราะห์สารประกอบในระบบเตาเผา

กระบวนการสังเคราะห์เริ่มต้นจากการนำสารตั้งต้นที่เป็นผงซึ่งตามสัดส่วน โมลและผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วนำมาบรรจุในขวดพลาสติกเพื่อหมุนด้วยระบบหมุนผสมชนิด ball milling ที่มีเม็ดเซอร์โคเนียร์ เป็นตัวบดอยู่ภายในขวดและมีแอลกอฮอล์ช่วยในการบด จากนั้นนำผงเคมีที่ถูกผสมบดเปียกด้วยแอลกอฮอล์ไปอบจนได้ผงเคมีที่แห้งสนิท แล้วเอาเข้าไปในกระบอกอัดขึ้นรูปนำไปสังเคราะห์ในระบบเตาเผา



ขั้นตอนการสังเคราะห์สำหรับระบบเตาเผา

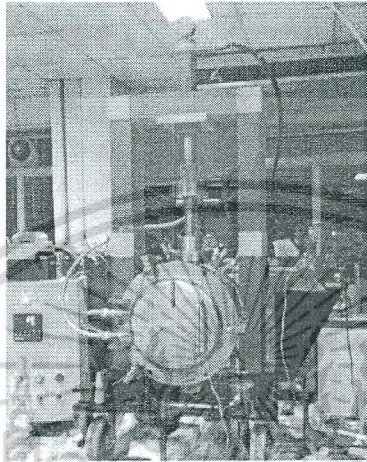


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

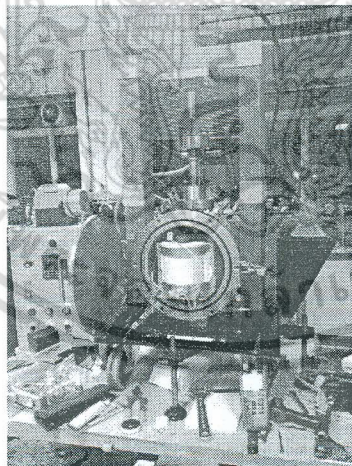
บทที่ 4

ผลการวิจัย

ระบบเตาเผาแบบอัดร้อนสำหรับสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกเมื่อทำการสร้างสำเร็จมีโครงสร้างดังรูป

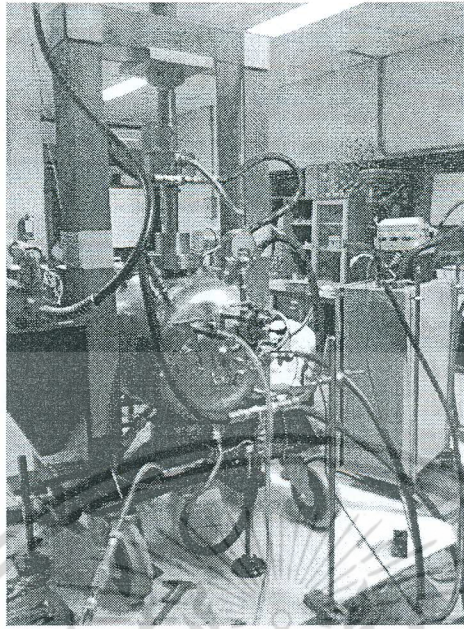


โครงสร้างระบบเตาเผาอัดร้อนสุญญากาศสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก

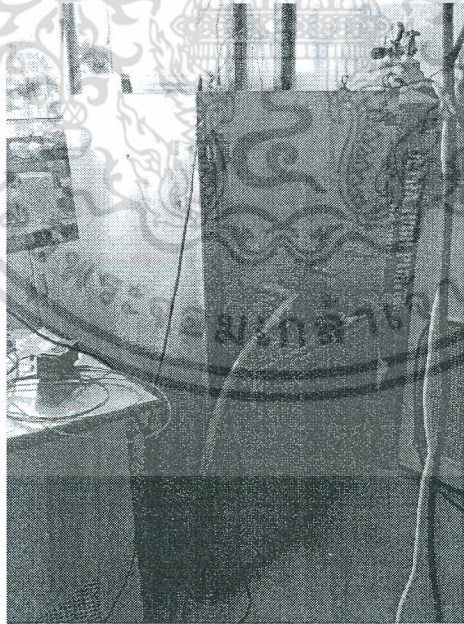


โครงสร้างภายในระบบเตาเผาอัดร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

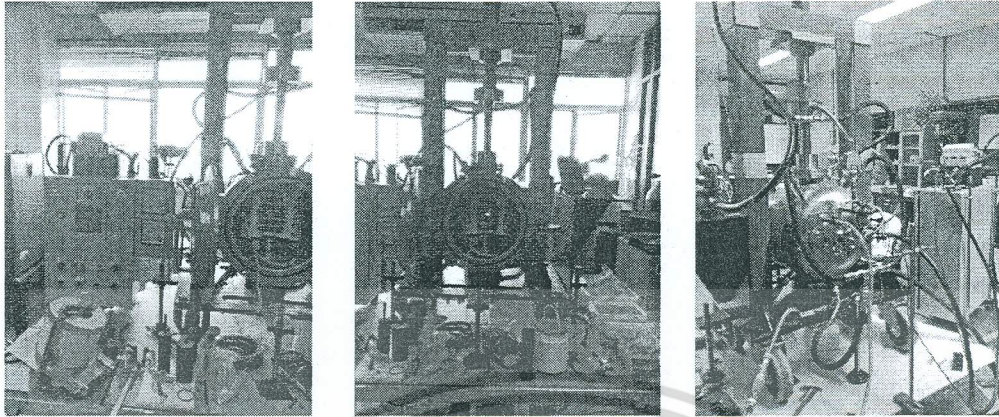


ด้านหลังระบบเตาเผาอัตโนมัติและการต่ออุปกรณ์ต่อพ่วงต่างๆ

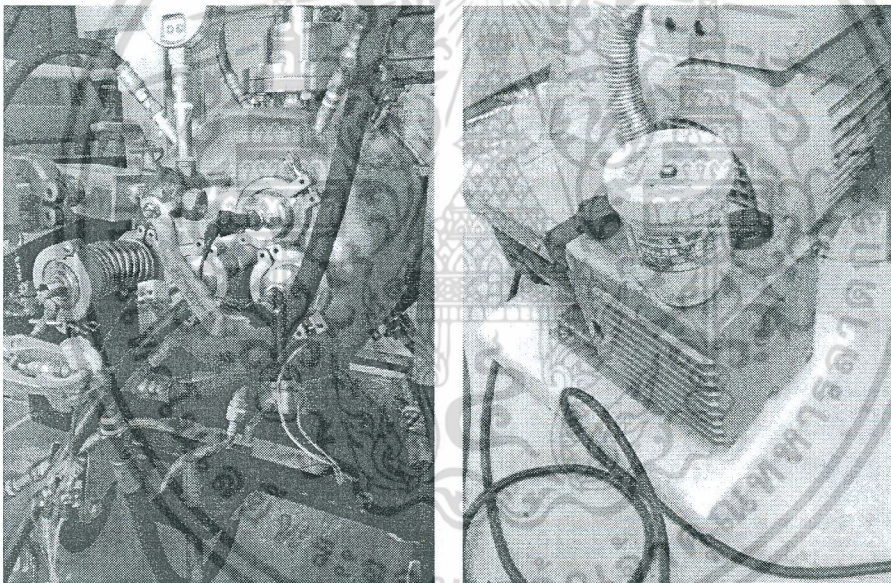


ตู้ทำความเย็น

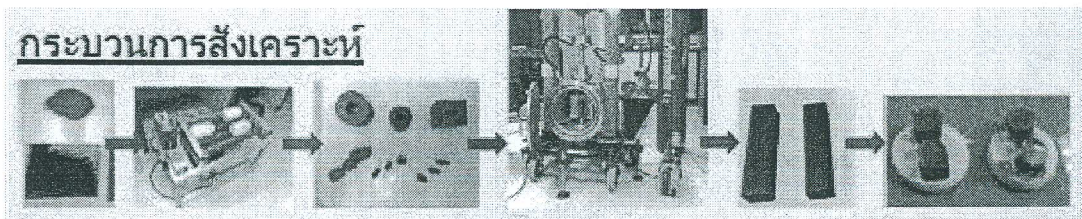
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



โครงสร้างระบบเตาเผาอตร้อน ด้านหน้า ด้านใน ด้านหลัง



การต่อสายปั๊มสุญญากาศและปั๊มสุญญากาศ



ขั้นตอนการสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกในระบบเตาเผาอตร้อนสุญญากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างระบบเตาเผาแบบอัดร้อนสำหรับสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก โดยสามารถออกแบบและสร้างระบบเตาได้สำเร็จ โดยมีส่วนประกอบของระบบคือ

- 1) ระบบอัดไฮโดรลิกและมาตรวัดความดันการอัด
- 2) ระบบห้องเตาสัญญากาศ
- 3) ระบบทำความร้อนด้วยขดลวด ระบบอ่านอุณหภูมิ ระบบควบคุมอุณหภูมิ
- 4) ระบบปั๊มสุญญากาศและมาตรวัดความดันสุญญากาศ
- 5) ระบบท่อส่งก๊าซเฉื่อยพร้อมถังเก็บก๊าซ และมาตรวัดความดันก๊าซ
- 6) ระบบหล่อเย็นรอบตัวเตาและแกนอัด
- 7) ชุดแบบอัดขึ้นรูปทั้งแบบเหล็กแข็งและแบบแกรไฟต์

ระบบเตาที่สร้างสามารถใช้งานได้ดังนี้

- 1) ระบบเตาขดลวดทำความร้อน ได้ตั้งแต่อุณหภูมิห้องถึง 1200 C
- 2) ระบบอัดสารที่ความดันมากที่สุดถึง 30 MPascal
- 3) ระบบสุญญากาศที่ความดันสูงสุด 1 Pascal
- 4) ระบบส่งก๊าซเฉื่อย
- 5) ระบบทำความเย็นรักษาอุณหภูมิของ chamber อลูมิเนียม
- 6) ระบบวัดอุณหภูมิภายในเตาและตู้ควบคุมอุณหภูมิ
- 7) แบบอัดสารทำจากแกรไฟต์
- 8) ระบบล้อเคลื่อนย้ายสะดวก

ซึ่งสามารถสรุปได้สามารถสร้างระบบเตาเผาแบบอัดร้อนสำหรับสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกขึ้นได้ตามจริงตามจุดประสงค์ จากเงินงบประมาณที่ได้รับ ในระยะเวลาเพียง 1 ปี และ สะดวก โดยระบบเตาเผาแบบอัดร้อนสุญญากาศสามารถนำไปสังเคราะห์สังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกได้จริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

โครงการวิจัยได้รับงบประมาณสำหรับออกแบบและสร้าง เท่านั้น ในระยะเวลาเพียง 1 ปี ดังนั้นจึงขาดข้อมูลด้านการทดลอง ในการหาเงื่อนไขการสังเคราะห์เพื่อให้ได้วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกที่ดี ดังนั้นเพื่อหาเงื่อนไขการสังเคราะห์ จึงเป็นวิจัยในอนาคตที่ต้องหาทุนวิจัยมาดำเนินการต่อไป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] A. F. Ioffe, Infosearch limited, London, 1957; D.M. Rowe (ed), CRC Handbook of thermoelectrics, CRC, Boca Raton, 1995.
- [2] D.M. Rowe (ed), "CRC Handbook of Thermoelectrics", CRC, Boca Raton, 1995.
- [3] J-C Zheng, Front. Phys. China. 2008, 3(3): 269-279.
- [4] Y. Wang, K. Fujinami, R. Zhang, C. Wan, N. Wang, Y. Ba, K. Koumoto, Applied physics express 3 (2010) 031101.
- [5] Sintering and Consolidation of ceramics.
- [6] Ken Kurosaki, Hideaki Matsumoto, Anek Charoenphakdee, Shinsuke Yamanaka, Manabu Ishimaru, and Yoshihiko Hirotsu, APPLIED PHYSICS LETTERS 93, 012101, 2008.
- [7] O. J. Dura et. al., Transport, electronic and structure properties of nanocrystalline CuAlO_2 delafosite. J. PHYS. REIV. B, 83, 045202, 2011.
- [8] S. Shibusaki, W. Kobayashi, I. Terasaki, J. Phys. Rev. B74(2006), pp. 235110.
- [9] M. Ohtaki, Micro Review, Special Issue.
- [10] T. Kajitani, T. Nozaki and K. Hayashi, Advances in Science and Technology, 74(2010) 66–71.
- [11] M. A. Marquardt, N.A. Ashmore, D.P. Cann, Thin Solid Films 496 (2006) 146–156.
- [12] M. Beekman, J. Salvador, X. Shi, G.S. Nolas, J. Yang, J. Alloy Compd. 489 (2010) 336–338.
- [13] V. Eyert, R. Frésard, A. Maignan, Phys. Rev. B 78 (2008) 052402.
- [14] E. Guilmeau, M. Poienar, S. Kremer, S. Marinel, S. Hébert, R. Frésard and A. Maignan, Solid State Communications 151, (2011), pp. 1798–1801.
- [15] C.T. Prewitt, R.D. Shannon, D.B. Rogers, J. Inorg. Chem. 10 (1971) 719–723.
- [16] V. Eyert, R. Frésard, A. Maignan, J. Chem. Mater. 20 (2008) 2370–2373.
- [17] K. Hayashi, T. Nozaki, T. Kajitani, Jpn. J. Appl. Phys. 46 (2007) 5226–5229.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

บทความเผยแพร่

บทความนานาชาติ

[1] **Ruttanapun C.**, Jindajitawat, P., Buranasiri, P., Naenkieng, D., Boonyopakorn, N., Harnwungmoung, A., Thowladda, W., Neeyakorn, W., Thanachayanont, C., Charoenphakdee, A., "Preparation, characterization and finite element computation of $Cu(Al_{1/2}Fe_{1/2})O_2$ Delafossite-oxide thermoelectric generator module", Integrated Ferroelectrics, 156, (2014), pp.102-114. (Corresponding: C. Ruttanapun) (IF:0.371)

ประชุมวิชาการนานาชาติ

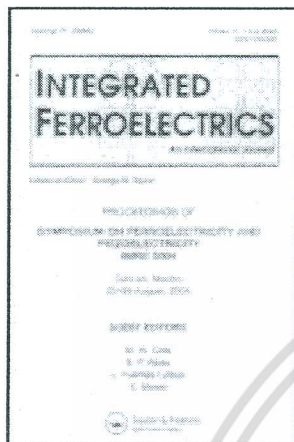
[2] **C. Ruttanapun***, P. Jindajitawat, P. Buranasiri, W. Thowladda, W. Neeyakorn, D. Naenkieng, A. Harnwungmoung, N. Boonyopakorn, C. Thanachayanont, A. Charoenphakdee, "High temperature thermoelectric Properties of Delafossite $CuBO_2$ ", The forth joint international conference on information and communication technology , electronic and electric al engineering, March 5-8, 2014, Chiang Rai, Thailand.

[1]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This article was downloaded by: [King Mongkut's Inst of Technology Ladkrabang]
 On: 23 June 2014, At: 22:54
 Publisher: Taylor & Francis
 Informa Ltd Registered in England and Wales Registered Number: 1072954 Registered
 office: Mortimer House, 37-41 Mortimer Street, London W1T 3JH, UK



Integrated Ferroelectrics: An International Journal

Publication details, including instructions for authors and subscription information:

<http://www.tandfonline.com/loi/ginf20>

Preparation, Characterization and Finite Element Computation of $\text{Cu}(\text{Al}_{1/2}\text{Fe}_{1/2})\text{O}_2$ Delafossite-Oxide Thermoelectric Generator Module

Chesta Ruttanapun^{adf}, Phumin Jindajitawat^a, Prathan Buranasiri^a, Daengdesh Naenkieng^c, Narongchai Boonyopakorn^e, Adul Harnwunggmoung^c, Warawoot Thowladda^a, Worakarn Neeyakorn^a, Chanchana Thanachayanont^b & Anek Charoenphakdee^c

^a Department of Physics, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Ladkrabang, Bangkok 10520 Thailand

^b National Metal and Materials Technology Center, National Science and Technology Development Agency, 114 Thailand Science Park, Phahonyothin Rd., Klong 1, Klong Luang, Pathumthani, 12120, Thailand

^c Thermoelectric and Nanotechnology Research Center, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Asian Highway, Huntra Phranakhon Si Ayutthaya, 13000, Thailand

^d Functional Phosphate Materials and Alternative Fuel Energies Unit (FPM-AFE), Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

^e Center of Excellence in Glass Technology and Material Science (CEGM), Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University, 85 Moo3 Malaiman Rd., Nakorn Pathom, 73000, Thailand

^f Advanced Energy Materials and Application Research Laboratory, Department of Physics, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

Published online: 20 Jun 2014.

To cite this article: Chesta Ruttanapun, Phumin Jindajitawat, Prathan Buranasiri, Daengdesh Naenkieng, Narongchai Boonyopakorn, Adul Harnwunggmoung, Warawoot Thowladda, Worakarn Neeyakorn, Chanchana Thanachayanont & Anek Charoenphakdee (2014) Preparation, Characterization and Finite Element Computation of $\text{Cu}(\text{Al}_{1/2}\text{Fe}_{1/2})\text{O}_2$ Delafossite-Oxide Thermoelectric Generator Module, *Integrated Ferroelectrics: An International Journal*, 156:1, 102-114, DOI: [10.1080/10584587.2014.906837](https://doi.org/10.1080/10584587.2014.906837)

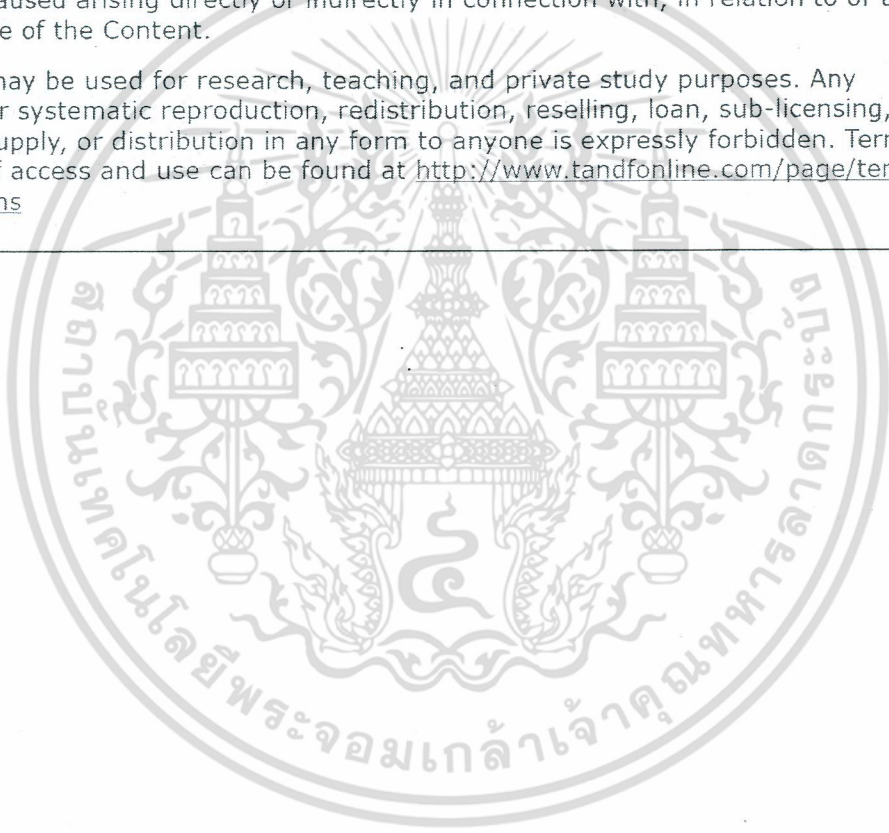
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

To link to this article: <http://dx.doi.org/10.1080/10584587.2014.906837>

PLEASE SCROLL DOWN FOR ARTICLE

Taylor & Francis makes every effort to ensure the accuracy of all the information (the "Content") contained in the publications on our platform. However, Taylor & Francis, our agents, and our licensors make no representations or warranties whatsoever as to the accuracy, completeness, or suitability for any purpose of the Content. Any opinions and views expressed in this publication are the opinions and views of the authors, and are not the views of or endorsed by Taylor & Francis. The accuracy of the Content should not be relied upon and should be independently verified with primary sources of information. Taylor and Francis shall not be liable for any losses, actions, claims, proceedings, demands, costs, expenses, damages, and other liabilities whatsoever or howsoever caused arising directly or indirectly in connection with, in relation to or arising out of the use of the Content.

This article may be used for research, teaching, and private study purposes. Any substantial or systematic reproduction, redistribution, reselling, loan, sub-licensing, systematic supply, or distribution in any form to anyone is expressly forbidden. Terms & Conditions of access and use can be found at <http://www.tandfonline.com/page/terms-and-conditions>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Preparation, Characterization and Finite Element Computation of $\text{Cu}(\text{Al}_{1/2}\text{Fe}_{1/2})\text{O}_2$ Delafossite-Oxide Thermoelectric Generator Module

CHESTA RUTTANAPUN,^{1,4,6,*} PHUMIN JINDAJITAWAT,¹
 PRATHAN BURANASIRI,¹ DAENGDESH NAENKIENG,³
 NARONGCHAI BOONYOPAKORN,⁵ ADUL
 HARNWUNGGMOUNG,³ WARAWOOT THOWLADDA,¹
 WORAKARN NEEYAKORN,¹ CHANCHANA
 THANACHAYANONT,² AND ANEK CHAROENPHAKDEE³

¹Department of Physics, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Ladkrabang, Bangkok 10520 Thailand

²National Metal and Materials Technology Center, National Science and Technology Development Agency, 114 Thailand Science Park, Phahonyothin Rd., Klong 1, Klong Luang, Pathumthani 12120, Thailand

³Thermoelectric and Nanotechnology Research Center, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Asian Highway, Huntra Phranakhon Si Ayutthaya 13000, Thailand

⁴Functional Phosphate Materials and Alternative Fuel Energies Unit (FPM-AFE), Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand

⁵Center of Excellence in Glass Technology and Material Science (CEGM), Faculty of Science and Technology, Nakhon Pathom Rajabhat University, 85 Moo3 Malaiman Rd., Nakorn Pathom, 73000, Thailand

⁶Advanced Energy Materials and Application Research Laboratory, Department of Physics, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Ladkrabang, Bangkok, 10520, Thailand

The $\text{CuAl}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ delafossite oxide has been synthesized by solid state reaction method for studying thermoelectric properties and measuring thermoelectric generator output electric power. The Finite Element technique was used to compute the output voltage of thermoelectric generator in applying temperature difference on a single bar and a module model with compared to the measurement results. The measurement results of positive sign Seebeck coefficient confirm the p-type conductor of the sample. The properties of Seebeck coefficient, electrical conductivity, and thermal conductivity are range from 260 to 310 $\mu\text{V/K}$, from 7 to 16 S/cm and from 2.5 to 3.5 W/cm-K , respectively, in the

Received July 23, 2013; in final form January 12, 2014.

*Corresponding author. E-mail: chesta.ruttanapun@gmail.com, krchesta.kmitl.ac.th

Color versions of one or more of the figures in the article can be found online at www.tandfonline.com/gjnf.

[258]/102

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

temperature range of 300 to 960 K. The output voltage of the single bar in dimension $4.2 \times 2.5 \times 20 \text{ mm}^3$ obtained 0.5 to 3 mV on applying temperature difference from 1 to 10 K closely to the Finite Element result. The computing results of the thermoelectric single bar and module in high temperature reveal the output electric voltage of CuAl_{1/2}Fe_{1/2}O₂ oxide raises with the temperature and the number of thermoelectric leg increase. In important results, the high value of electric voltage is obtained 0.2 and 0.4 V for the single bar and the module at 950 K.

Keywords Delafossite oxide; thermoelectric materials; thermoelectric module; thermoelectric generator; finite element analysis

1. Introduction

The thermoelectric effect [1–4] is referred to phenomenon in materials which can generate electricity from heat and can converse electricity to temperature gradient. The first effect can apply for converting heat to electric power as called thermoelectric generator and another effect can produce different temperature from applying electric energy as called thermoelectric coolers. The thermoelectric generator can apply to electric energy in satellite, watch, car, etc. Furthermore, the thermoelectric power generator can recover waste heat to electricity from various source of waste heat such as: waste heat from engine power plants, high temperature furnaces in industrials and exhaust gas from gasoline engine in vehicles. The reverse effect as thermoelectric coolers can apply for cooling systems such as: CPU cooling, can cooler, vaccine cooling etc.

Recently, there has been a growing interest in thermoelectric materials due to displaying their potential for alternative sources of energy. The performance of thermoelectric materials is characterized by the values of Power Factor, ($S^2\sigma$), and dimension less Figure of Merit, $ZT = TS^2\sigma/\kappa$, where S is the Seebeck coefficient, σ and κ are the electrical and thermal conductivity and T is temperature, respectively. Ruttanapun *et al.* [5] and Park *et al.* [6] have reported that CuFeO₂ and CuAlO₂ as delafossite-type compounds display high performance for thermoelectric materials. Also, this compound is interesting for thermoelectric generator materials. The delafossite compounds are classified in a group of ternary oxides whose general formula is ABO₂ and chemical formula is A^{+I}B^{+III}O₂ [7–9]. Its structure is formed by alternative stacking layers of O—A—O dumbbell and BO₂ edge-shared octahedral along with the c-axis. The A⁺ cation is linearly connection with O²⁻ anion in c-axis. The [BO₂]⁻ octahedral-shaped are formed by charring of edge BO₂. The trivalent B³⁺ ions occupy in the middle of the octahedral block. The delafossite crystal has a unit cell structure of hexagonal (space group: R3m). The compounds in a delafossite group consist of CuFeO₂, CuAlO₂, CuCoO₂, PtCoO₂ and PdCoO₂ etc. [10–13]. Furthermore, the delafossite compound can be synthesized in chemical formula of mixing in B site such as: CuNi_{1/2}Ti_{1/2}O₂ [14], AgNi_{1/2}Ti_{1/2}O₂ [15], AgNi_{1/2}Co_{1/2}O₂ [16], AgCu_{1/2}Mn_{1/2}O₂ [17], and CuAl_{1/2}Cr_{1/2}O₂ [18]. To the best of our knowledge; however, there has been no report concerning the preparation of CuAl_{1/2}Fe_{1/2}O₂ compound.

On this work aims to prepare CuAl_{1/2}Fe_{1/2}O₂ compound using the solid state reaction method for thermoelectric generator materials. Its physical properties are characterized in the x-ray diffraction (XRD), electrical resistivity, Seebeck coefficient, and thermal conductivity. The thermoelectric generator measurement is performed on a single bar. The obtained thermoelectric properties of the sample are then used to evaluate the power of a thermoelectric module made from the bar by using Finite element method.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Material and Methods

2.1 Preparation and Measurement

Polycrystalline $\text{CuAl}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ sample was synthesized by a direct solid-state reaction method. Stoichiometric amounts of high-purity powders CuO (Merk, 99.98%), Fe_2O_3 (Sigma-Aldrich, Inc., 99%) and Al_2O_3 (Fluke: 99.99%) were sufficiently mixed and ground in an agate mortar to ensure homogeneity. Once a homogenous mixture was obtained, then, it was cold pressed into pellets. The resulting pellets were sintered by executing inside alumina boat in furnace at 1050°C in air for 15–25 hours. After heat treatment the samples were rapidly quenched to room temperature. The heated pellets were subjected to grinding, pellet and firing procedures for several times until the pure of samples were obtained.

The crystallography of the samples was determined by the powder x-ray diffraction (XRD) of PHILIPS model: X' Pert MPD using Cu $K\alpha$ radiation with $2\theta = 10^\circ$ to 80° with 0.02 steps. The lattice parameter was determined by the Rietveld refinement program, X'Pert High Score Plus V2.0a. The microstructure and chemical composition of the samples were observed by a scanning electron microscope (SEM) of the JEOL model: JSM-6301F coupled with an Energy-Dispersive X-ray spectroscopy (EDS) model: ISIS 300. The electrical conductivity and Seebeck coefficient were simultaneously measured by using an ULVAC-RIKO ZEM-2 measurement system under a low-pressure He atmosphere. The thermal conductivity was determined from thermal diffusivity and specific heat was measured by using a ULVAC SINKU RIKO Inc. (Model: TC-7000H) laser-flash method.

A single bar of the $\text{CuAl}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ sample in cross section of $4.2 \times 2.5 \text{ mm}^2$ and height of 20 mm with copper contact is used to measure the thermoelectric power generator. On measurement, the hot temperature was applied on top end of the sample bar and the cold temperature was applied on bottom end of the sample bar. A resistor (R) for 50 W 50 A with applied electrical current was used to generate the heat on the hot side (T_h) of the bar. The cold side (T_c) of the bar was put on the heat sink for controlling to room temperature at 300 K. The temperatures of the hot end and the cold end of the bar were measured by using the thermocouple. The output voltage of the sample bar was measured by using the Keithley instrument multi-meter with applying the temperature with varying from 301 to 310 K for the hot side (T_h) and fixing 300 K (T_c) for the cold side.

2.2 Governing and Finite Element Equations

The thermoelectric generation model is studied in the steady-state case on a p-type single leg as shown in Fig 1. Thermoelectric material is in single leg with cross-section (A) and length (l). The surface of the top and bottom of the leg are contacted by the thin copper plate in thickness of 0.1 mm. The top and bottom of the leg are but on the hot (T_h) and cold (T_c) temperature, respectively. The temperature gradient (∇T) is produced between the hot and cold side of the leg. From applying temperature difference, the heat flux (q) and The current density (J), $J = I/A$ where I is electric current, are flown from the hot side (T_h) to the cold side (T_c). The electric voltage (V) is referenced to zero on top of the hot side bar. The electric field (E) is produced across the hot and cold end of the bar with direction from the T_c side to the T_h side [19].

2.2.1 Governing Equations. In thermoelectric materials, the phenomena are couple between heat and electric effect [20–23]. First effect, the heat flux (q) flowing in materials is

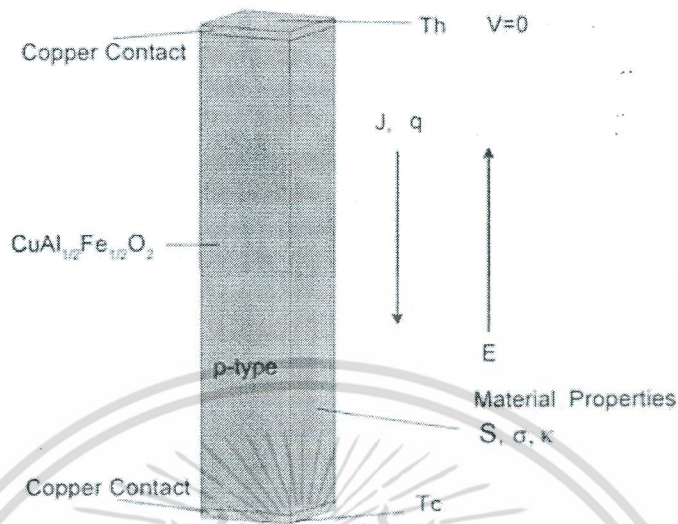


Figure 1. The model of thermoelectric CuAl_{1/2}Fe_{1/2}O₂ single bar.

generated from the reversible Peltier and the irreversible Fourier effect. The q relation is combination between the Peltier and the Fourier equation as expressed: $q = \Pi J - \kappa \nabla T$, where Π is the Peltier coefficient, J is the current density, κ is the thermal conductivity and ∇T is the temperature gradient. Another, the current density (J) flowing in materials is produced from the reversible Seebeck and the irreversible joule effect. The J equation is summation of the Seebeck and the joule relation as following: $J = \sigma E - \sigma S \nabla T$; where σ is the electrical conductivity, E is the electric field, S is the Seebeck coefficient. In addition, the E is expressed by $E = -\nabla \varphi$, where φ is electric potential. The Π is related by $\Pi = ST$, where S is the Seebeck coefficient and T is the temperature.

The system equation for the thermoelectric effect is described in two couple equations of heat transfer and continuity of electric current density. First, the heat transfer equation is governed by the Fourier equation as following [20–23] $\rho c \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla \cdot \bar{q} = Q$, where q is the heat flux, Q is the internal heat generator, t is the time, ρ is the simple bulk density, c the heat capacity and T is the temperature. Second equation, the continuity of electric current density is described from the Maxwell's equation: $\nabla \cdot \epsilon \frac{\partial E}{\partial t} + \nabla \cdot \bar{J} = 0$, where E is the electric field, J is the electrical current density, ϵ is the electric permittivity and t is the time.

For the system equation, the relation of heat flux (q) and current density (J) are inserted into the 2 couple of the system equation for the thermoelectric:

The Fourier's heat transfer equation:

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} + \nabla \cdot (ST[\sigma \nabla \varphi - \sigma S \nabla T]) - \nabla \cdot ([\kappa] \nabla T) = Q, \quad (1)$$

The electric current density continuity equation:

$$\nabla \cdot \left(\epsilon \nabla \frac{\partial \varphi}{\partial t} \right) + \nabla \cdot ([S \sigma] \nabla T) + \nabla \cdot ([\sigma] \nabla \varphi) = 0 \quad (2)$$

In present work, the criteria are studied in the steady-state case. Therefore, the system equations are neglected the term of time dependence.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

For the finite element computing, the domain of the single bar is divided in Finite Element mesh. The node of element is used for solution of the unknown temperature and electric voltage on the bar. Consequently, the system equations (1) and (2) are transformed into finite element equations by approximating the unknown of temperature (T) and electrical potential (φ) into interpolation functions and nodal known value on a element (e) of $T = [N] \{T^e\}$ for the temperature and $\varphi = [N] \{\varphi^e\}$ for the electrical potential, respectively; where T^e is the nodal of temperature of a element (e), φ^e is the nodal of electric potential of a element (e) and N is the interpolation function. Finally, the finite element equations with the Galerkin weighting scheme is become the matrix equation as bellowing:

$$\begin{bmatrix} -\int [\nabla N] [\kappa + \sigma S^2 T] [\nabla N] dv & \int [\nabla N] [\sigma S T] [\nabla N] dv \\ \int [\nabla N] [\sigma S] [\nabla N] dv & \int [\nabla N] [\sigma] [\nabla N] dv \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} T^e \\ \varphi^e \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} Q \\ 0 \end{Bmatrix}$$

where $Q = \int [\nabla N] [S T] \{J\} dv + \int [N] [E] \{J\} dv$.

For the boundary conditions, a surface side of the bottom bar is specified by setting temperature 300 K for the cold side temperature (T_c). The top surface of the bar is parameterized by vary its value from 300 to 340 K by step of 5 K for the hot side temperature (T_h). The voltage on top bar is set to zero. The exterior surfaces of the bar are specified by $\hat{n} \cdot E = 0$, and $\hat{n} \cdot q = 0$ for setting the zero of electric flux and heat flux in normal direction of surface. In solving Finite element equation, the commercial software Finite element solver of the Comsol-Multiphysics is used to compute the temperature and voltage distribution on the model of the thermoelectric $\text{CuAl}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ sample bar. The implementation scheme uses the Application Mode of common arbitrary partial differential equations (PDEs) which is implemented by Jaegle [20–21].

For the element mesh of the model of module, the mesh was used in tetrahedral shape which consists of 4 nodal notes. Each node is used for unknown of temperature and voltage. The values of thermoelectric properties are contained in element. The size and number of element are generated in small shape with dens number on volume covering of the interface of material between copper plate and bulk or between alumina plate and copper plate of model. The large size and small number of element are applied on volume of bulk. The small size and large number of element are used due to difference of thermoelectric properties and gradient of temperature, voltage, thermal and electric values on the interface layer. The large size and small number of element are performed on bulk of thermoelectric material resulting from the homogenous of thermoelectric properties and unknowns of the bulk.

3. Results and Discussion

3.1 Samples Characterization

The XRD pattern of the $\text{CuAl}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ sample is exhibited in Fig. 2. The ICSD:01-075-2146 for CuFeO_2 and the JCPDS:35-140 for CuAlO_2 structure are added to compare with the crystal phase of the $\text{CuAl}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ sample. The results show that the $\text{CuAl}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ sample displays the phase of a hexagonal delafossite structure (space group: $R3m$) with relating to the standard of the ICSD#01-075-2146 and JCPDS#35-140. This is clearly confirmed that the $\text{CuAl}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ sample forms phase of the delafossite structure.

The lattice parameters of the $\text{CuAl}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ sample as display in Fig. 2 are 3.006 Å for the a -axis and 17.166 Å for the c -axis. The result shows that the a -axis and c -axis of the $\text{CuAl}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ contain middle value between that the CuFeO_2 and CuAlO_2 sample [5–6].

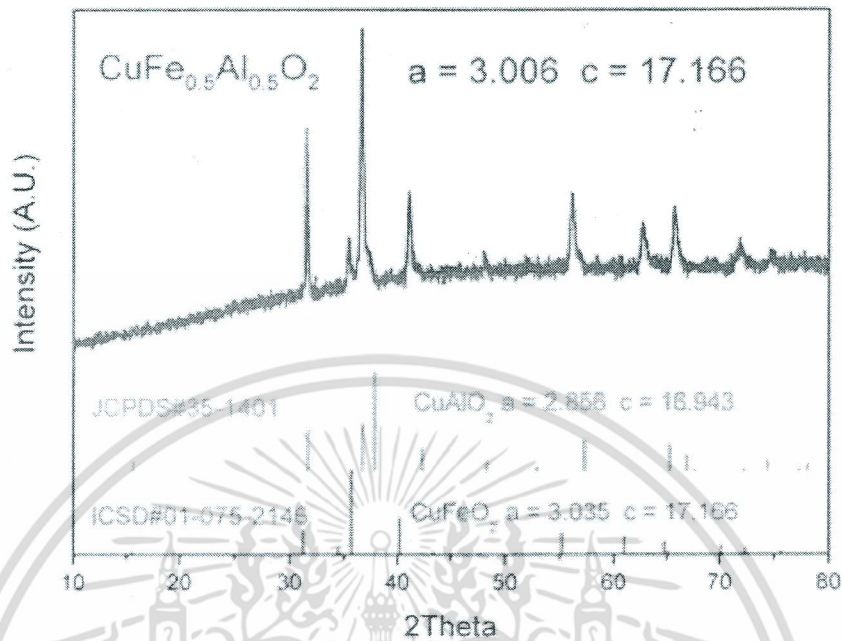


Figure 2. The XRD patterns of the $\text{CuAl}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ sample.

The energy dispersive X-ray spectroscopy for element compositions in the $\text{CuAl}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ sample is observed by SEM as shown in Fig. 3. The morphology for microstructure of the sample is inserted in Fig. 3. The morphology shows that the grain size of the $\text{CuFe}_{0.5}\text{Al}_{0.5}\text{O}_2$ sample is in the range of $1\ \mu\text{m}$.

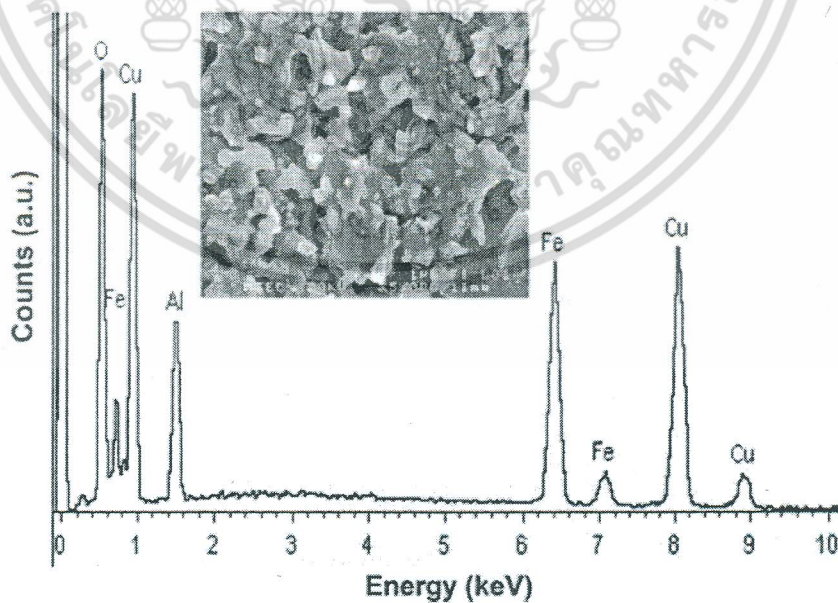


Figure 3. The energy dispersive X-ray spectroscopy and microstructure of the $\text{CuFe}_{0.5}\text{Al}_{0.5}\text{O}_2$ sample.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

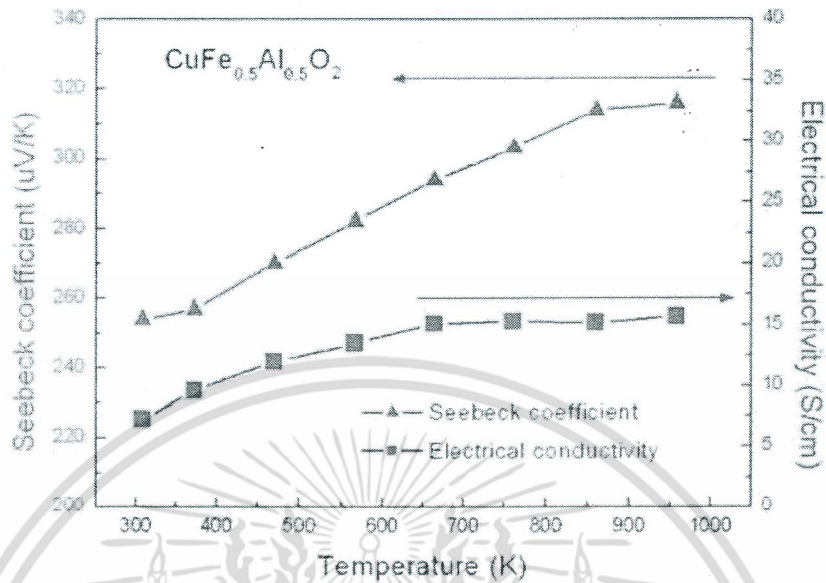


Figure 4. The temperature dependent of Seebeck coefficient and electrical conductivity of the $\text{CuAl}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ sample.

3.2 The Thermoelectric Properties

Figure 4 displays the Seebeck coefficient of the $\text{CuAl}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ sample as a function of temperature in the range of 300 to 960 K. The result shows that the Seebeck coefficients are positive sign over the temperature range indicating p-type thermoelectric materials. The value of Seebeck is slightly increasing with increasing temperature. The results exhibits ranging from 260 to 310 $\mu\text{V/K}$ with temperature range of 300 to 960 K.

Figure 4 presents the electrical conductivity of the $\text{CuAl}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ sample as a function of temperature in the range of 300 to 960 K. The result is also shown the electrical conductivity exhibiting the value ranging from 7 to 16 S/cm with the same temperature range. Besides, the value rapidly increases in the temperature range 300 to 700 K, and reaches a plateau in the temperature range 700 to 960 K.

The thermal conductivity of the sample was measured by using a laser flash method with relation $\kappa = dC_p a$ [3–4], where d , C_p and a are the bulk density of sample, specific heat capacity and thermal diffusivity, respectively. The experimental bulk density of the $\text{CuAl}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ sample obtains 4.5 g/cm^3 as relation to the percentage ratio of bulk density to theoretically density in 75.85%. This result confirms that the density of sintered samples is reasonable for using to calculate the thermal conductivity. The results of thermal diffusivity (a) and heat capacity (C_p) of the sample are simultaneously measured from laser flash as shown in Fig. 5(a). The results of heat capacity and thermal diffusivity are in the range from 0.6 J/g·K to 0.9 J/g·K and 0.0075 cm^2/sec to 0.0095 cm^2/sec , respectively, in a region of temperature of 300 K to 960 K. The results of thermal conductivity (κ) of the sample as a function of the temperature ranging of 300 to 960 K are shown in Fig. 5(b). The results are approximately 2.5 W/m·K to 3 W/m·K on the whole range of measurement temperature.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

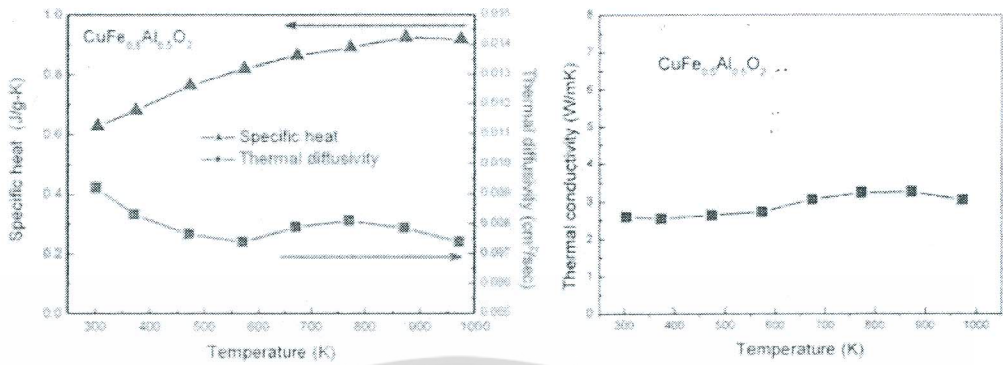


Figure 5. The temperature dependent of thermal properties of the CuAl_{1/2}Fe_{1/2}O₂ sample (a) Specific heat and thermal diffusivity (b) the thermal conductivity.

3.3 The Thermoelectric Voltage

The output of electrical voltage on the thermoelectric generator of the CuAl_{1/2}Fe_{1/2}O₂ single bar with applied the different temperature from 2 to 10 K increasing in step of 0.5 K is shown in Fig. 6. The single bar sample was measured by applying the temperature with varying from 301 to 310 K for the hot side (T_h) and fixing 300 K (T_c) for the cold side of the bar. The output voltages are in the range of 0.6 to 3 mV in the temperature difference from 2 to 10 K. The slope of curve is 0.34 mV/K, which is average value of the thermoelectric electro-motive force (emf) for the CuAl_{1/2}Fe_{1/2}O₂ sample at room temperature.

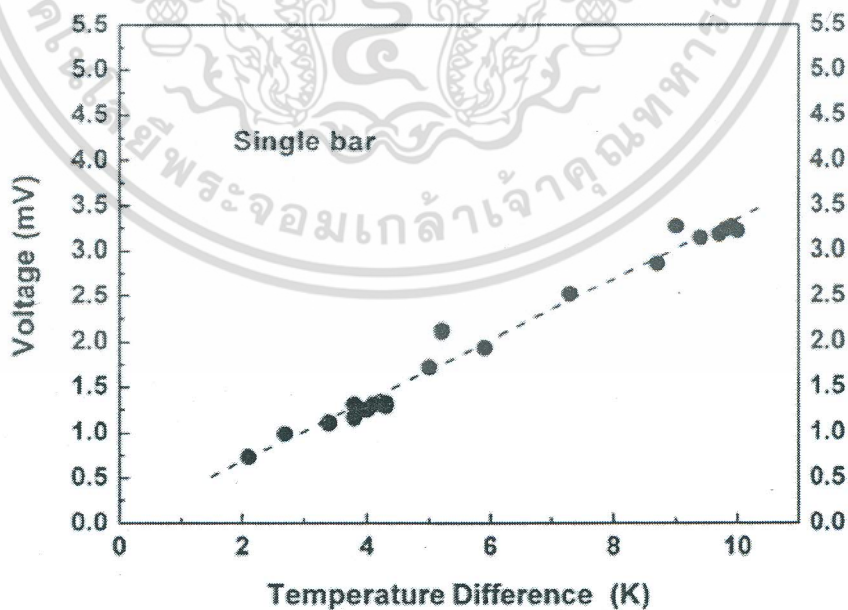


Figure 6. The output thermoelectric voltage of the CuAl_{1/2}Fe_{1/2}O₂ single bar for temperature difference.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

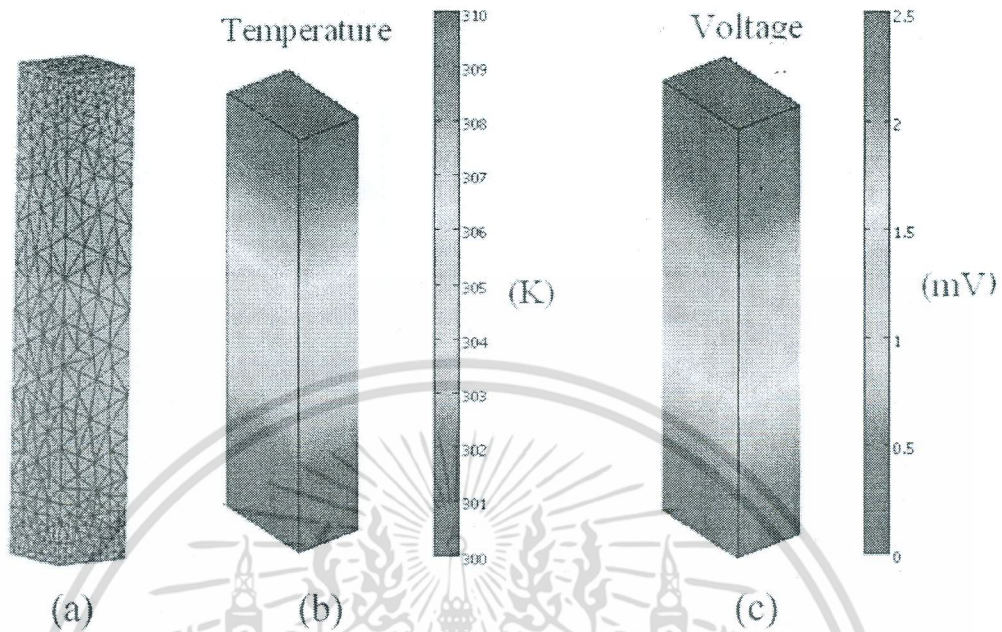


Figure 7. The Finite element and computing results of the $\text{CuAl}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ single bar (a) The Finite element mesh (b) Temperature distribution (c) Voltage distribution.

3.4 The Finite Element Results

The Finite Element model for the thermoelectric generator of the single $\text{CuAl}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ bar is shown in Fig. 7(a). The output voltage is computed on applying difference temperature ($\Delta T = T_h - T_c$) ranging of 1 to 10 K with setting the temperature difference from 300 K on bottom surface and 310 K on top surface of the bar. The computing uses the properties of Seebeck coefficient, electrical and thermal conductivity from measurement results in Fig. 5 and 6, respectively. The thermoelectric properties of thin copper plate are set to $6.5 \mu\text{V/K}$ for Seebeck coefficient, $5.9 \times 10^6 \text{ S/cm}$ for electrical conductivity, and 350 W/m-K for thermal conductivity as shown in Table 1. The Finite Element results of the temperature and voltage distribution on applying temperature difference in 10 K are shown in Fig. 7(b) and (c). The results show the output voltage in 25 mV for temperature difference 10 K on the bar.

The finite element results of output voltage as a function of ΔT between 1 to 10 K are displayed in Fig. 8. The results show output voltages of the $\text{CuAl}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ bar are in the range of 0.3 to 2.5 mV in the temperature difference from 2 to 10 K. The results show that the Finite Element result is in close agreement with the experimental results. This implies

Table 1
Material properties

Materials	$S (\mu\text{V/K})$	$\sigma (\text{S/cm})$	$\kappa (\text{W/m-K})$
Copper plate	6.5	5.9×10^6	350
Alumina substrate	1.0×10^{-16}	40	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

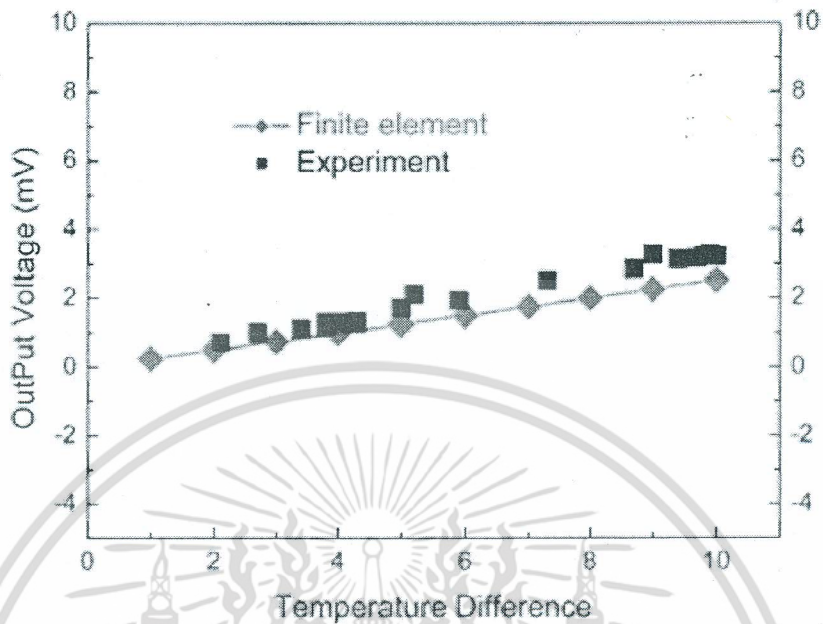


Figure 8. The thermoelectric generator results of output voltage for experiment and Finite Element computing.

that the Finite Element analysis can predict the output electric voltage on thermoelectric generator bar.

According to Finite Element computing result closely to experimental measurement, The Finite Element analysis is used to predict the output voltage of thermoelectric generator in high temperature of the single $\text{CuAl}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ bar. The computing applies the temperature

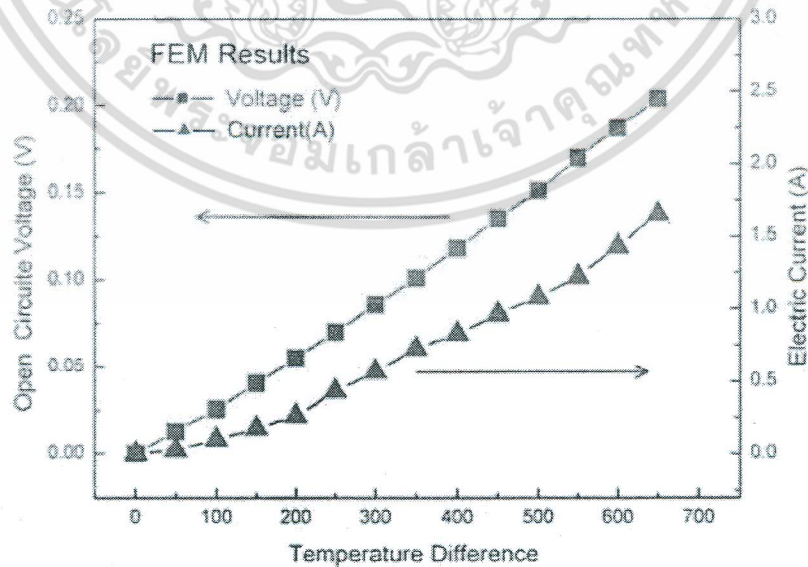


Figure 9. The curves of open circuit voltage and output electric current for temperature difference.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

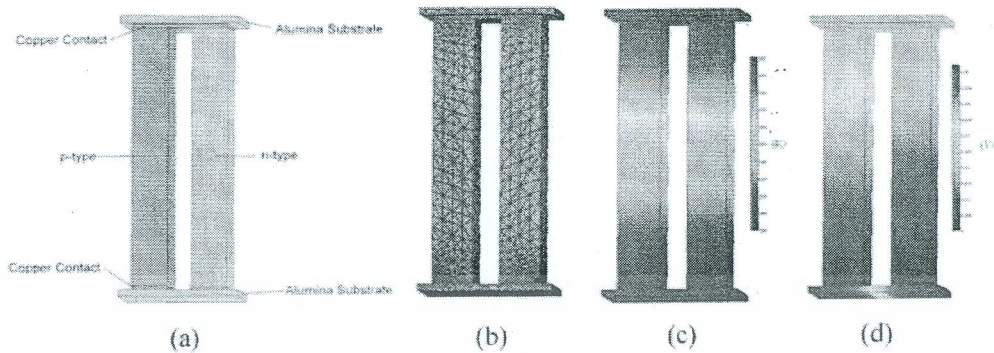


Figure 10. The model, finite element and computing results of the p-n $\text{CuAl}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ module (a) component model of the module, (b) The Finite element mesh, (c) the temperature distribution and (d) the voltage distribution.

difference ($\Delta T = T_h - T_c$) ranging of 1 to 650 K. The surface of bottom bar is specified to 300 K for cold side temperature (T_c) and the top surface of the bar is parameterized by vary its value from 300 to 950 K by step of 50 K for the hot side temperature (T_h). The thermoelectric properties are applied from the data from results in Figs. 5 and 6. The computing results of output voltage and output power as a function of ΔT as between 1 to 650 K are displayed in Fig. 9. The output voltages of the $\text{CuAl}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ bar are in the range of 0.003 to 0.2 V in the temperature difference from 1 to 650 K. In addition, the output electric current exhibits 1.7 A in temperature difference 650 K. In obviously, both output voltage and electric current of the $\text{CuAl}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ single bar are obtained the large temperature difference value.

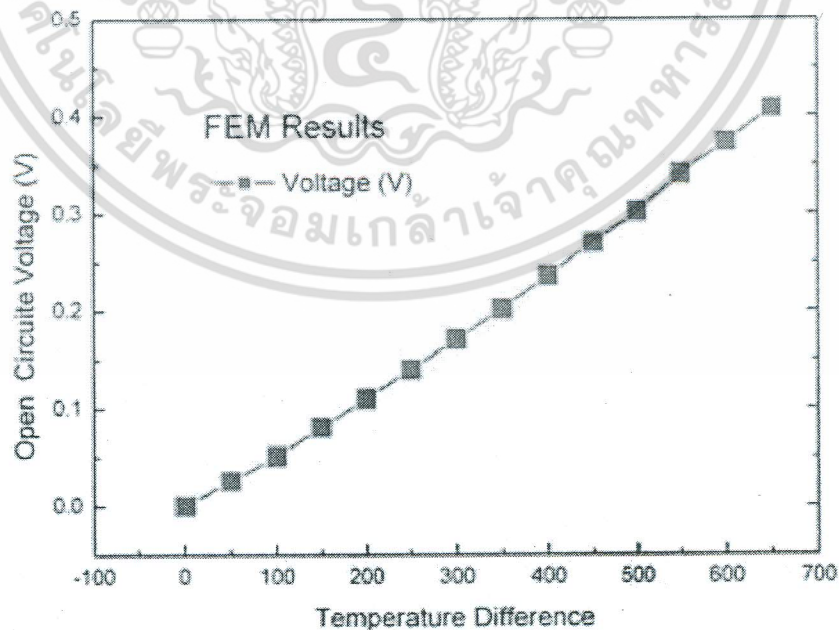


Figure 11. The curve of open circuit voltage for temperature difference.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

To predict of a thermoelectric module for CuFe_{0.5}Al_{0.5}O₂ materials, the Finite Element model of the thermoelectric module is presented in Fig. 10(a) and (b). The model of thermoelectric module consists of an n-type bar and a p-type bar shape connected with copper contact and two alumina substrates covering like a sandwich as shown in Fig. 10(a). The output voltage is calculated by applying ΔT ($T_h - T_c$) ranging from 1 to 650 K. The simulation uses the measured thermoelectric data of the p-type sample for the p-type bar in the module. For the n-type bar, its Seebeck voltage was assumed to be the negative values of the Seebeck emf of the p-type specimen. The Seebeck coefficient, electrical and thermal conductivity for the copper contact and the alumina are shown in Table 1. The boundary conditions on the module are specified by setting cold temperature for (T_c) 300 K on bottom of module. The hot temperature (T_h) on the top side of the module is applied by varying temperature from 301 to 950 K by setting 300 K on bottom surface and 400K on top surface of module. The voltage on bottom surface of n-type leg of the module is fixed to a zero reference level. The Finite Element results of the output voltage and temperature distribution on applying ΔT of 100 K on the thermoelectric module is shown in Fig. 10(c) and (d), respectively. The results of the module show the output voltage in 0.05 V for temperature difference 100 K on the bar.

The computing results of output voltage for thermoelectric modules as a function of ΔT as between 1 to 650 K are displayed in Fig. 11. The output voltages are in the range of 0.006 to 0.4 V in the temperature difference from 1 to 650 K. The results show that the voltage of the module is raised with the temperature increased. Furthermore, the Finite element results remarkably show that the output electric voltage of the thermoelectric module is higher than that of the single thermoelectric bar.

4. Conclusions

The delafossite CuAl_{1/2}Fe_{1/2}O₂ thermoelectric material has been prepared by a solid state reaction method. Our study shows that the Seebeck coefficient exhibits positive values (p-type semiconductor) from 260 to 310 $\mu\text{V/K}$. The electrical and the thermal conductivity display value between from 7 to 16 S/cm and from 2.5 to 3.5 W/cm-K. The output voltage for thermoelectric generator of the bar is given ranging 0.5 to 3 mV on applying difference temperature from 1 to 10 K. The Finite Element computing of the single bar shows output voltage good agreement with the experimental results. The computing results of the output electric voltage for the single thermoelectric bar and the thermoelectric module are raised with the temperature increased. In addition, it is found from the finite element simulation that the thermoelectric module gives the output voltage is higher than the output voltage of the single bar. The further study is going to use multi-junction for forming an applicable thermoelectric device.

Acknowledgments

The authors would like to thank Computer Service Center of King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang for COMSOL Multiphysics and computer facilities.

Funding

This work is financially supported by King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang Fund, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Ministry of Education, Thailand.

References

1. A. F. Ioffe, *Semiconductor Thermoelements and Thermoelectric Cooling*, Infosearch, Limited, London (1957).
2. N. Schwartz, W. Tantraporn, and W. J. Van Der Grinten, *Advanced Energy Conversion*, Pergamon Press, (1963).
3. D. M. Rowe (ed), "*CRC Handbook of Thermoelectrics*", CRC, Boca Raton, (1995).
4. G. S. Nolas, J. Sharp, and H. J. Goldsmind, "*Thermoelectric basic principles and new materials developments*", Germany, Spinger, (2011).
5. C. Ruttanapun, A. Wichainchai, W. Prachamon, A. Yangthaisong, A. Charoenphakdee, T. Seetawan, and J. Alloy, *Comp.*, **509** 4588–4594 (2011).
6. K. Park, K. Y. Ko, H.-C. Kwon, S. Nahm, and J. Alloy, *Comp.*, **437** 1–6 (2007).
7. A. Wichainchai, P. Dordor, J. P. Doumerc, E. Marquestaut, M. Pouchard, and P. Hagenmuller, *J. Solid State Chem.* **74** 126 (1988).
8. P. Dordor, J. P. Chaminade, A. Wichainchai, E. Marquestaut, J. P. Doumerc, M. Pouchard, P. Hagenmuller, and A. Ammar, *J. Solid State Chem.* **75** 105–112 (1988).
9. M. A. Marquardt, N. A. Ashmore, and D. P. Cann, *Thin Solid Films*, **496** 146–156 (2006).
10. S. Bassaid, M. Chaib, S. Omeiri, A. Bouguelia, and M. Trari, *J. Photochem Photobiol. Chem.* **201** 62–68 (2009).
11. K. Park, K. Y. Ko, H.-C. Kwon, and S. Nahm, *J. Alloys Compd.* **437** 1–6 (2007).
12. M. Beekman, J. Salvador, X. Shi, G. S. Nolas, and J. Yang, *J. Alloys Compd.* **489** 336–338 (2010).
13. V. Eyert, R. Fresard, and A. Maignan, *J. Chem. Mater.* **20** 2370–2373 (2008).
14. M. A. Marquardt, and D. P. Cann, *Materials Letters* **60** 81–85 (2006).
15. M. Park, Y. Shin, and J. Korean, *Chemical Society*, **53** (2009).
16. J.-S. Kang, S. S. Lee, H. J. Lee, G. Kim, D. H. Kim, H. K. Song, Y. J. Shin, M. C. Jung, H. J. Shin, J. E. Lee, and B. I. Min, *IEEE Trans. Magn.* **45** (2009).
17. F. Sauvage, D. Munoz-Rojas, K. R. Poeppelmeier, and N. Casan-Pastor, *J. Solid State Chem.* **182** 374–380 (2009).
18. S. Goätzendoärfer, R. Bywalez, and P. Loäbmann, *J. Sol-Gel Sci. Technol.* **52** 113–119 (2009).
19. E. O. Virjoghe, D. Enescu, M. Ionel, and M. F. Stan, *Latest Trends on Systems (Volume II)*.
20. M. Jaegle, *Proceedings of the COMSOL Conference 2008 Hannover*.
21. D. Ebling, M. Jaegle, M. Bartel, A. Jacquot, and H. Bofner, *J. Electronic Materials*, **38** 1456–1460 (2009).
22. E. Sandoz-Rosado and R. Stevens, *J. Electronic Materials*, Vol. 39, No. 9, (2010).
23. E. E. Antonova and D. C. Looman, *International Conference Thermoelectrics*, p. 200 (2005).

High temperature thermoelectric properties of delafossite CuBO_2

Chesta Ruttanapun*

Phuwin Jindajitawat, Prathan Buranasiri,
Warawoot Thowladda, Worakam Neeyakorn
Department of Physics, Faculty of Science,
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok 10520, Thailand
*chesta.ruttanapun@gmail.com

Narongchai Boonyopakorn

Center of Excellence in Glass Technology and Material
Science (CEGM), Faculty of Science and Technology,
Nakhon Pathom Rajabhat University,
85 Moo3 Malaiman Rd.
Nakhon Pathom 73000 Thailand

Daengdesh Naenkieng

Adul Hamwungmoung, Anek Charoenphakdee
Thermoelectric and Nanotechnology Research Center,
Faculty of Science and Technology,
Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi,
Asian Highway, Huatra
Phranakhon Si Ayutthaya 13000, Thailand

Chanchana Thanachayanont

National Metal and Materials Technology Center,
National Science and Technology Development Agency,
114 Thailand Science Park,
Phahonyothin Rd., Klong 1, Klong Luang,
Pathumthani 12120, Thailand

Abstract— CuBO_2 is prepared by a solid-state reaction method to investigate thermoelectric properties in high temperature. The XRD result confirms the CuBO_2 compound existing in this method. The Seebeck reveals the compound displays p-type thermoelectric material. The experimental results of electrical resistivity exhibited results of 0.004 S/cm to 0.038 S/cm with the temperature range of 650 to 830 K. The Seebeck value is in the range of 450 $\mu\text{V}/\text{K}$ to 950 $\mu\text{V}/\text{K}$, and the thermal conductivity is in the range of 1.4×10^{-5} to $5.3 \times 10^{-5} \text{ W}/\text{m}\cdot\text{K}^2$ with the same temperature. The maximum PF and ZT is $5.3 \times 10^{-5} \text{ W}/\text{m}\cdot\text{K}^2$ and 0.0016, respectively, at 960 K. This work demonstrates that the CuBO_2 delafossite-oxide compound displays the p-type thermoelectric materials.

Keywords— CuBO_2 ; Solid state; Delafossite; Thermoelectric

I. INTRODUCTION

Thermoelectric material contains a phenomenon of converting of temperature gradient to electrical energy and vice versa [1]. The thermoelectric device can be applied for electric generator and cooling systems. Performance of the thermoelectric device is depended on parameter of materials as called Dimensionless Figure of Merit (ZT). The ZT parameter is related by $ZT = T(\sigma S^2)/\kappa$, where T is the absolute temperature, S is the Seebeck coefficient, σ is the electrical and κ is the thermal conductivity [1].

Currently, Delafossite oxide compound [2-3] is interesting for thermoelectric materials. Its chemical formula is $A^+B^{3+}O_2$. The Cu-based delafossite compound in group 13 metal elements is composed of CuBO_2 , CuGaO_2 , CuAlO_2 , CuInO_2 , and CuTlO_2 . There are many reports on thermoelectric properties of CuGaO_2 [4], CuAlO_2 [5], and CuInO_2 [6]. To the best of our knowledge however, there has

been no reports concerning for synthesizing of CuBO_2 delafossite compound and its thermoelectric properties.

Therefore, this work aims to prepare CuBO_2 by solid state reaction for investigating thermoelectric properties. Furthermore, the paper discuss to fulfill results of x-ray diffraction (XRD), scanning electron microscope (SEM), FTIR spectra, Seebeck coefficient, electrical conductivity, thermal conductivity, power factor and ZT value of CuBO_2 .

II. MATERIALS AND METHODS

Specimen of CuBO_2 was synthesized by a conventional direct solid-state reaction. Stoichiometric powders CuO and B_2O_3 were ball milled with poly vinyl alcohol solution for 24 h. The ball milled powder was calcined in air atmosphere at temperature 1005 °C for 6 h. The calcined sample was cool hydraulic pressed into pellets of 12 mm diameter with 2-3 mm thickness. The resulting pellet was sintered by performing on alumina crucible in furnace at 1005 °C under air atmosphere for 24 hours.

The phase of the CuBO_2 was characterized by the powder x-ray diffraction (XRD) of PHILIPS model: X' Pert MPD using $\text{Cu K}\alpha$ radiation with $2\theta = 20^\circ$ to 80° with 0.02 steps. Microstructures of the samples were observed by scanning electron microscope (SEM) using the JEOL model: JSM-5410. The FTIR spectra were investigated using a Fourier transform infrared spectrophotometer (Perkin-Elmer Spectrum GX FT-IR/FT-Raman spectrometer) at room temperature. The Seebeck coefficient and electrical resistivity were simultaneously measured on the sample bar using an ULVAC-RIKO ZEM-3 thermoelectric property measurement system under a low-pressure helium atmosphere.

The thermal conductivity was determined from thermal diffusivity and specific heat on pellets sample using the ULVAC SINKU RIKO Inc. model: TC-7000 laser-flash method.

III. RESULTS AND DISCUSSION

A. Characterization

XRD patterns of CuBO_2 are shown in Fig. 1. The patterns exhibit peaks of the pure phase of hexagonal delafossite-type structure for space group: $R\bar{3}m$ (166) corresponding to the standard JCDs file no. 28-1256. The CuBO_2 lattice parameters are 2.872 Å and 16.580 Å of a-axis and c-axis length, respectively with corresponding to the reported of literature [7].

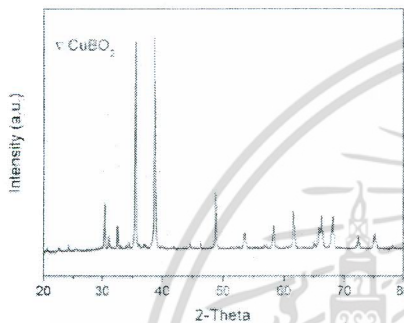


Fig. 1. XRD patterns of CuBO_2 sample.

The SEM image of the sintered CuBO_2 specimen is shown in Fig. 2. The microstructure shows the crystal grain size in the range of approximate 2 μm .

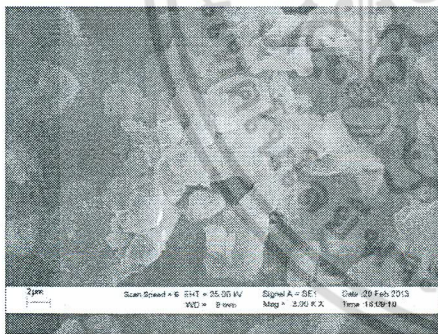


Fig. 2. SEM image of CuBO_2 sample powder.

The FTIR spectrum of CuBO_2 is shown in Fig.3. The spectrum is in the energy range of 500 to 4000 cm^{-1} . The peak at around 600 cm^{-1} is presented to the Cu-O stretching vibration and the peak around 750 cm^{-1} is presented to the B-O stretching vibrations in BO_6 distorted octahedral[8].

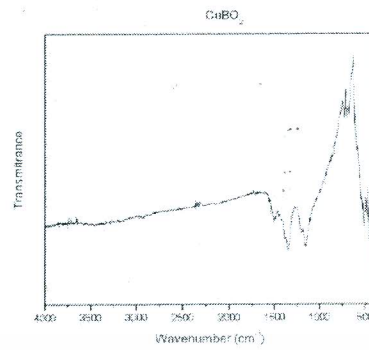


Fig. 3. FTIR patterns of CuBO_2 sample.

B. Thermoelectric properties

The temperature dependence of σ is shown in Fig 4. The σ value was measured in temperature range of 650 to 830 K. The result shows that the σ value is increased from 0.004 to 0.038 S/cm with increasing temperature. At the high temperature 960K, the σ value contains 0.038 S/cm.

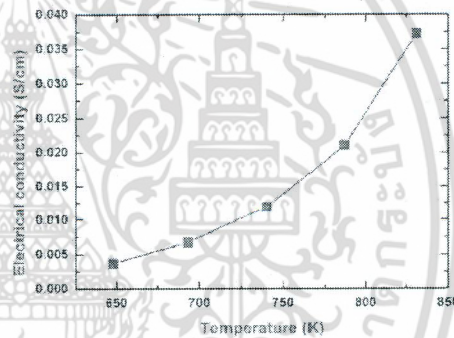
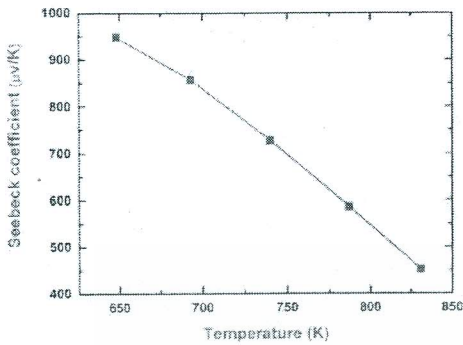
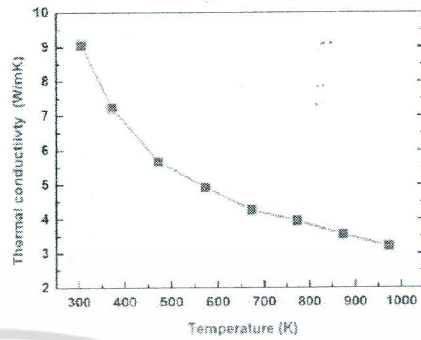
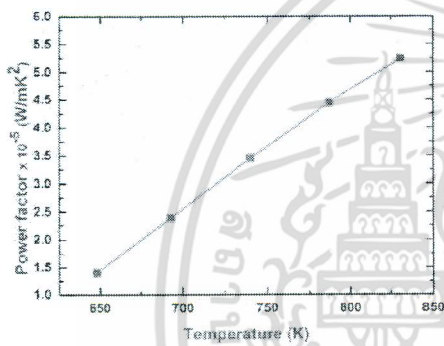
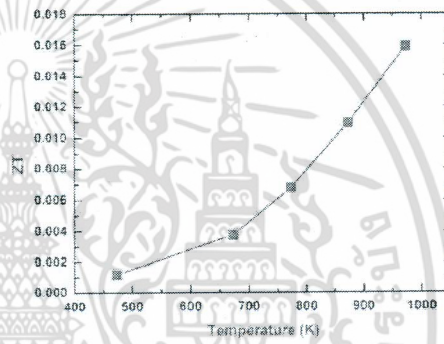


Fig. 4. Electrical conductivity of CuBO_2 sample.

The temperature dependence of S is shown in Fig. 5. The S was measured in temperature range of 650 to 830 K. The result exhibits that the S value is positive sign in all temperature range as showing p-type conductor contributing majority carrier of hole. The S value is slightly decreased with increasing temperature. The value of S exhibits in range from 950 to 450 $\mu\text{V/K}$.

The temperature dependence of the Power Factor (PF) for CuBO_2 sample are shown in Fig. 6. The PF is calculated from the measured S and σ with relation of $PF = \sigma S^2$ [9]. The results display that the PF are increased with increasing temperature. The PF value displays in the range of 1.4×10^{-5} to 5.3×10^{-5} W/m-K^2 .

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fig. 5. Seebeck coefficient of CuBO₂ sample.Fig. 7. Thermal conductivity of CuBO₂ sample.Fig. 6. Power factor of CuBO₂ sample.Fig. 8. ZT value of CuBO₂ sample.

The temperature dependence of κ is shown in Fig. 7. The κ was measured in temperature range of 300 to 980 K. The value is decreased with increasing temperature. The κ value shows in range from 3 to 9 W/m-K. The minimum value of κ is 3 W/m-K at temperature 980 K. This result exhibit that high value of the ZT for CuBO₂ samples is dominant at high temperature.

The ZT of CuBO₂ sample are shown in Fig. 8. The ZT value is computed from the PF value and measured thermal conductivity with temperature as following ($ZT = S^2 \sigma T / \kappa$) [9]. The ZT value is displayed in the ranging of 480 to 960 K. The Fig. 8 show the ZT value is increased with increasing temperature. The ZT results displays in range of 0.001 to 0.0016. The maximum value of this work is 0.0016 at 960 K. In conclusion, the CuBO₂ oxide compound gives a high value of thermoelectric properties at high temperature.

IV. CONCLUSIONS

The CuBO₂ compound was prepared by a solid state reaction method. The thermoelectric properties were investigated. The results reveal that CuBO₂ delafossite exhibits p-type thermoelectric materials. The Seebeck coefficient and electrical conductivity display from 450 μV/K to 950 μV/K and 0.004 S/cm to 0.038 S/cm in temperature range of 650 to 830 K. The thermal conductivity is decreased with increasing temperature. The maximum values of the PF and the ZT exist 5.3×10^{-5} W/m-K² and 0.0016, respectively, at 960 K.

ACKNOWLEDGMENT

Financial support was provided by a grant from the KMITL Research Fund, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Ministry of Education, Thailand.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

REFERENCES

- [1] T. M. Tritt and M.A. Subramanian, "Thermoelectric Materials, Phenomena, and Applications: A Bird's Eye View", *MRS Bulletin*, 31, 2006.
- [2] C. Ruttanapum, B. Boonchom, M. Thongkam, S. Kongtaweelert, C. Thanachayanont, A. Wichainchai, "Electrical and optical properties of p-type $\text{CuFe}_{1-x}\text{Sn}_x\text{O}_2$ ($x = 0.05, 0.05$) delafossite-oxide", *Journal of Applied Physics*, 113, 023103, 2013.
- [3] C. Ruttanapum, "Optical and electronic properties of delafossite CuBO_2 p-type transparent conducting oxide", *Journal of Applied Physics*, 114, 113108, 2013.
- [4] H. Kawazoe, M. Yasukawa, H. Hyodo, M. Kurita, H. Yanagi, and H. Hosono, *J. Nature* 389, 939–942 (1997).
- [5] K. Ueda, T. Hase, H. Yanagi, H. Kawazoe, and H. Hosono, *J. Appl. Phys.* 89, 1790 (2001).
- [6] H. Yanagi, T. Hase, S. Ibuki, K. Ueda, and H. Hosono, *Appl. Phys. Lett.* 78, 1583 (2001).
- [7] M. Snure and A. Triari, *Appl. Phys. Lett.* 91, 092123 (2007).
- [8] A. N. Bauerjee, R. Maity, and K. K. Chattopadhyay, *Mater. Lett.* 58, 10–13 (2004).
- [9] D. M. Rowe (ed), "CRC Handbook of Thermoelectrics", CRC, Boca Raton, 1995.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โปสเตอร์แสดงวันวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ สจล 2557



การพัฒนากระบวนการผลิตเตาเผาอัดร้อนสำหรับสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก Development of Hot Pressing Furnace System for Synthesizing Thermoelectric Materials

หัวหน้าโครงการ ดร.เชษฐา รัตนพันธ์พันธ์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผู้ร่วมวิจัย 1) ดร. ประชน นวลศิริ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2) ดร.อนก เชื้อจตุภักดิ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
3) ดร.ศุภชัย หงษ์วิวัฒน์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ 4) แดงเดช เนนถึกชัย มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
5) ดร.ฉวีวงศ์ บุญชูปวงษ์ มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

แหล่งทุน เงินรายได้ คณะวิทยาศาสตร์ ประจำปี 2557 ทุนวิจัยและพัฒนางานเพื่อเกิดประโยชน์
ระยะเวลาโครงการ 1 ปี เริ่ม ตุลาคม 2556 ถึง 31 กันยายน 2557

วัตถุประสงค์และขอบเขต

วัตถุประสงค์
ออกแบบและสร้างระบบเตาเผาอัดร้อนสำหรับสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก
(สำหรับสำหรับสังเคราะห์วัสดุที่มีอุณหภูมิสูง จะผลิตให้ครอบคลุม
แคระบระดับนาโน ซึ่งมีค่าใช้จ่ายต่ำ นำไปใช้และลดต้นทุนการผลิต)
ขอบเขตงานวิจัย
ทำการออกแบบและสร้างระบบเตาเผาอัดร้อน ที่สามารถอัดสารได้ทั้ง
ขณะทำการเผา ในระบบสูญสุญากาศ มีระบบป้องกันเชื้อเพลิงและ มีระบบหล่อเย็น

สภาวะประกอบของระบบเตาเผาอัดร้อน

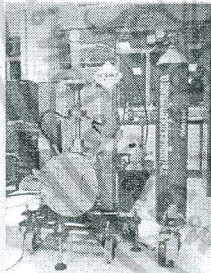
- ⇒ ระบบเตาควบคุมค่าความร้อนได้ตั้งแต่อุณหภูมิห้องถึง 1200 C
- ⇒ ระบบอัดสารที่ความดันมากถึง 30 MPascal
- ⇒ ระบบสุญญากาศที่ความดันสูงสุด 10⁻³ Pascal
- ⇒ ระบบส่งก๊าซเฉื่อย
- ⇒ ระบบทำความเย็นรักษาอุณหภูมิของ chamber อลูมิเนียม
- ⇒ ระบบวัดอุณหภูมิภายในเตาและตู้ควบคุมอุณหภูมิ
- ⇒ แบบอัดสารทำจากแกรไฟต์
- ⇒ ระบบหล่อเย็นด้วยสภาวะ

กระบวนการสังเคราะห์

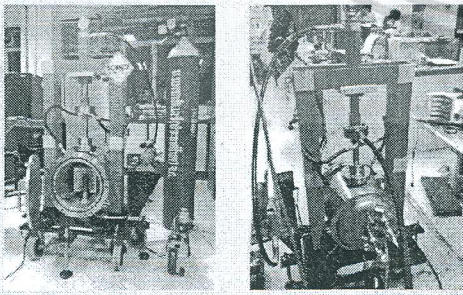


ผลการใช้งานในงานวิจัย

โครงสร้างระบบเตา

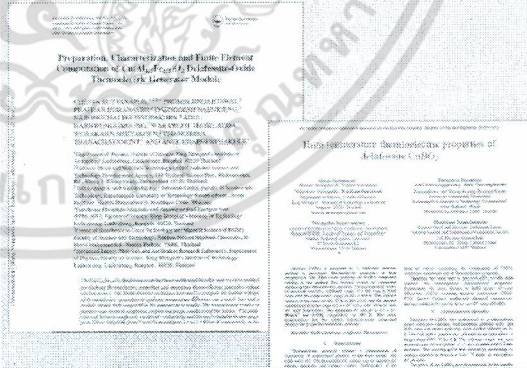


ส่วนประกอบภายใน และด้านหลังระบบเตา



ผลผลิตงานวิจัย

บทความนานาชาติ จำนวน 1 เรื่อง (ISI: impact factor 0.371)



ประชุมวิชาการนานาชาติ จำนวน 1 เรื่อง

1. C. Ruttanapun, P. Jindajitawat, P. Buranasiri, W. Thowladda, W. Neeyakorn, D. Naenkieng, A. Hanwungnong, N. Boonyopakorn, C. Thanachavanont, A. Charoenphakdee, "High temperature thermoelectric Properties of Defect-free Bi₂Te₃", The forth joint international conference on information and communication technology, electronic and electric al engineering March 5-8, 2014, Chiang Rai, Thailand.

การนำเสนอผลงานแบบโปสเตอร์เป็นส่วนหนึ่งที่อยู่ระหว่างกรรณในการเพื่อขอสมัครชิงทุน โฟตอนยวตให้หาข้อมูลไปเผยแพร่ต่อ
สาธารณชนจนกว่าจะดำเนินการนำเสนอเสร็จ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ดร.เชษฐา รัตนพันธ์

Dr.Chesta Ruttanapun

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

มือถือ 0815104965

E-mail: krchesta@kmitl.ac.th, chesta.ruttanapun@gmail.com

ประวัติการศึกษา

ชื่อย่อปริญญา	สาขา	สถาบันที่จบ	ปีที่จบ
วท.บ.	ฟิสิกส์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	2541
วท.ม.	ฟิสิกส์	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	2546
ปร.ด.	ฟิสิกส์ประยุกต์	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	2554

รางวัลที่ได้รับ

[1] ได้รับรางวัลเป็นประกาศนียบัตรและเข็มเกียรติยศเพื่อแสดงว่าเป็นผู้สอบได้คะแนนยอดเยี่ยมอันดับ 3 ในปี 2555 (26 สิงหาคม 2555) ในหลักสูตรวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต จาก มุสไนธิ ศ.ดร.แถบ นีละนิธิ โดยเป็นรางวัลการศึกษายอดเยี่ยมชั้นวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต พิจารณาจากผลงานได้รับการตีพิมพ์แล้วในวารสารที่มี Impact factor รวมกันแล้วได้สูงสุด 3 อันดับแรก ของประเทศ (สาขาฟิสิกส์) จากผู้จบการศึกษา ปี 2554

[2] ได้รับรางวัล บทความดีเด่น (Best Paper Award) จากบทความ “สมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกส์ของวัสดุออกไซด์ CuFeO_2 เกลาฟอสไฟด์ที่เจือด้วยอะตอม Al, Sn, Ti และ Au” ในงานประชุมวิชาการ การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 9 จัดโดย คณะ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มหานคร ที่ชลพฤกษ์ รีสอร์ท อ.บ้านนา จ.นครนายก ระหว่างวันที่ 8-10 พฤษภาคม 2556 โดยเป็นการประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย (Conference on Energy Network of Thailand; E-NETT)

[3] ได้รับรางวัล Best Paper Award จากบทความวิจัยเรื่อง “Thermoelectric Properties of Sn²⁺-Substituted CuFeO₂ Delafossite-Oxide” ในงานประชุมวิชาการนานาชาติ International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology (ICEAST 2013) ระหว่างวันที่ 21-24 สิงหาคม 2556 จัดโดย King Mongkut’s Institute of Technology Ladkrabang, Thailand (KMITL) ร่วมกับ Tokai University, Japan และ Fukuoka Institute of Technology, Japan

Reviewer

[1] JOURNAL OF APPLIED PHYSICS

ประสบการณ์งานวิจัย

พ.ศ. 2542 – 2546

เป็นผู้ช่วยวิจัย: โครงการคอมพิวเตอร์จำลองแบบเซลล์แสงแดดคลัสเตอร์ขนาด 2 มิติ ทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (สกว.) หนึ่งในชุดโครงการพัฒนาเซลล์แสงแดดไทยสู่ความเป็นเลิศ โดย ผศ. บำรุง สมสวัสดิ์ เป็นหัวหน้าโครงการ ปฏิบัติงาน ณ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

พ.ศ. 2546 – 2555

ดำรงตำแหน่งผู้ช่วยนักวิจัย

งาน: ห้องปฏิบัติการวิจัยการจำลองขนาดใหญ่ Large Scale Simulation Lab (LSR)

ฝ่าย: หน่วยวิจัยสารสนเทศ การสื่อสารและการคำนวณ

ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC)

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)

มีงานวิจัยดังนี้

1) โครงการพัฒนาโปรแกรมและจำลองแบบด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (2546-2552)

- 1.1) โครงการ 3-D Finite Element Solar Cell simulation
- 1.2) โครงการพัฒนาโค้ดคำนวณแบบขนาน Parallel FEM Toolkit

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2)โครงการการพัฒนาเทคโนโลยีการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟต้นแบบในระดับอุตสาหกรรม (ทุน สวทช.) ดำเนินการวิจัยร่วมระหว่าง ห้องปฏิบัติการ LSR (NECTEC) กับ ห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีพลาสมาเพื่อการประยุกต์ทางกลกรรม ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์ สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ โดยมี ผ.ศ. ดร. หมุดตอเล็บ หนีสอ เป็นหัวหน้าโครงการ(พ.ศ.2553-ปัจจุบัน)

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ที่ตีพิมพ์เผยแพร่ (ระดับชาติและนานาชาติ)

วารสารนานาชาติ

- [1] T. Seetawana*, U. Seetawanb, A. Ratchasina, S. Srichaia, K. Singsooga, W. Namhongsaa, **C. Ruttanapun**, S.Siridejachai, “Analysis of Thermoelectric Generator by Finite Element Method, *Procedia Engineering*”, 2012; 32: 1006–1011. (Corresponding author: T. Seetawana).
- [2] **C. Ruttanapun***, W. Prachamon, A. Wichainchai, “Optoelectronic properties of $\text{Cu}_{1-x}\text{Pt}_x\text{FeO}_2$ ($0 \leq x \leq 0.05$) delafossite for p-type transparent conducting oxide” *Current Applied Physics*, Vol 12, No1, (2012), pp.166-170. **Impact Factor: 1.74**, (Corresponding author: **C. Ruttanapun**).
- [3] **C. Ruttanapun***, A. Wichainchai, W. Prachamon, A. Yangthaisong, A. Charoenphakdee and T. Seetawan, ”Thermoelectric properties of $\text{Cu}_{1-x}\text{Pt}_x\text{FeO}_2$ ($0.0 \leq x \leq 0.05$) delafossite-type transition oxide”, *Journal of Alloys and Compounds* 509 (2011), pp. 4588-4594. **Impact factor: 2.134**, (Corresponding author: **C. Ruttanapun**).
- [4] P. Poopanya, A. Yangthaisong, **C. Ruttanapun**, and A. Wichainchai “Theoretical Study of Electronic Structure and Thermoelectric Properties of Doped CuAlO_2 ”, *Journal of ELECTRONIC MATERIALS*, 40, (2011), pp. 987-991. **Impact factor: 1.428**. (Corresponding author: A. Yangthaisong).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) ดร.เอนก เจริญภักดี
(ภาษาอังกฤษ) Dr.Anek Charoenphakdee
- 2.เลขบัตรประจำตัวประชาชน 3451100343777
- 3.วันเดือนปีเกิด 5 พฤษภาคม 2517
- 4.ตำแหน่ง คณบดี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
- 5.ที่ทำงาน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาวิชาฟิสิกส์
คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
7/1 ถนนทพบุรี ต.สวนใหญ่ อ.เมือง จ.นนทบุรี 11000

โทรศัพท์ 02-9691369-74 โทรสาร 02-5252682

โทรศัพท์มือถือ 082-146-7437

6.E-mail: deanscirmutsb@gmail.com

7.ประวัติการศึกษา

- ระดับประถมศึกษา โรงเรียนบ้านสองชั้น (ปัจจุบัน โรงเรียนเบญจคามวิทยา) ต. หินกอง
อ. สวรรณภูมิ จ. ร้อยเอ็ด
- ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนจันทบูรเบกษาอนุสรณ์ อ. เกษตรวิสัย จ. ร้อยเอ็ด
- ระดับปริญญาตรี (วทบ.) ฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น
- ระดับปริญญาโท (วทม.) ฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น
- ระดับปริญญาเอก (D. Phil.) in Engineering (Sustainable Energy and Environmental Engineering,
Graduate School of Engineering, Osaka University, Japan)

ลงพิมพ์บทความในวารสารระดับนานาชาติ

2009

8. Anek Charoenphakdee, Ken Kurosaki, Hiroaki Muta, Masayoshi Uno, and Shinsuke Yamanaka, Ag_8SiTe_6 : A new thermoelectric material with low thermal conductivity. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 48 (2009) 011603-1 - 011603-3 **มี impact factor 1.138**

9. Anek Charoenphakdee, Ken Kurosaki, Hiroaki Muta, Masayoshi Uno, and Shinsuke Yamanaka, Thermal conductivity of the Ternary Compounds: AgMTe_2 and AgM_5Te_8 (M = Ga or In). *Materials Transactions*, 51 (2009) 1603-1606 **มี impact factor 0.795**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. Atsuko Kosuga, Ken Kurosaki, Kunio Yubuta, **Anek Charoenphakdee**, Shinsuke Yamanaka, and Ryoji Funahashi, Thermal Conductivity Characterization in Bulk $Zn(Mn,Ga)O_4$ with Self Assembled Nanocheckerboard Structures. *Jpn. J. Appl. Phys.*, 48 (2009) 010201-1 – 010201-3 **impact factor 1.138**

11. Atsuko Kosuga, Ken Kurosaki, Kunio Yubuta, **Anek Charoenphakdee**, Shinsuke Yamanaka and Ryoji Funahashi, Solid-State Self-Assembly of Nanostructured Oxide as a Candidate High-Performance Thermoelectric Material. *J. Electron. Mater.*, 38 (2009) 1303-1308 **impact factor 1.428**

12. Shinsuke Yamanaka, Manabu Ishimaru, **Anek Charoenphakdee**, Hideaki Matsumoto, and Ken Kurosaki, Thermoelectric Characterization of $(Ga,In)_2Te_3$ with Self-Assembled Two-Dimensional Vacancy Planes. *J. Electron. Mater.*, 38 (2009) 1392-1396 **impact factor 1.428**

13. The Student Experiment Program Group 9, Ken Kurosaki, Hiroaki Muta, Yu Endo, **Anek Charoenphakdee**, Masayoshi Uno, Shinsuke Yamanaka, Effect of Nb substitution for V on the thermoelectric properties of Fe₂VAl. *Journal of Alloys and Compounds*, 486 (2009) 507-510 **impact factor 2.135**

2010

14. **Anek Charoenphakdee**, Ken Kurosaki, Adul Harnwungmoung, Hiroaki Muta, Shinsuke Yamanaka, Thermoelectric properties of gold telluride AuTe₂. *Journal of Alloys and Compounds*, 496 (2010) 53-55 **impact factor 2.135**

15. Adul Harnwungmoung, Ken Kurosaki, **Anek Charoenphakdee**, Aikebaier Yusufu, Hiroaki Muta and Shinsuke Yamanaka, Effect of Rh Substitution for Co on the Thermoelectric Properties of CoSb. *J. Electron. Mater.*, Vol.51, No.5 (2010) pp.882 – 886 **impact factor 1.428**

2011

16. Chesta Ruttanapun, Aree Wichainchai, Wutthisak Prachamon, Anucha Yangthaisong, **Anek Cahroenphakdee**, Tosawat Seetawan, Thermoelectric Properties of $Cu_{1-x}Pt_xFeO_2$ (0.0 < x < 0.05) Delafossite-type Transition Oxide. *Journal of Alloys and Compounds*, 509 (2011) 4588-4594 **impact factor 2.135**

17. Heng Wang, **Anek Charoenphakdee**, Ken Kurosaki, Shinsuke Yamanaka, and G. Jeffrey Snyder, Reduction of thermal conductivity in PbTe: Tl by alloying with TlSbTe₂. *Physical Review B* 83, 024303 (2011) **impact factor**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อ ดร. ประธาน บูรณศิริ

Prathan Buranasiri



Lecturer

Physics, Faculty of Science,
 King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
 Bangkok, Thailand, 10520.
 Mobile: 083-815-4829, 084-071-0279
 Tel: 02-326-4339 ext. 324, 02-737-3000 ext 6202
 Fax: 02-326-4413
 Email: mavgal@gmail.com

EDUCATION

- Ph.D. Electrical and Computer Engineering, Major Electro-Optics, University of Dayton, Dayton, Ohio, U.S.A. 2006.
Thesis: Optical Correlation Using Isotropic and Anisotropic Self-Diffraction in Photorefractive material.
Advisor: Dr. Partha. P. Banerjee
- M.S. Physics, Major Optics, University of Alabama in Huntsville, Huntsville, Alabama, U.S.A. 2000.
Thesis: Coherent and Incoherent Self Imaging Using Photorefractive Barium Titanate Crystal.
Advisor: Dr. Partha. P. Banerjee
- B.S. Physics, Minor Mathematics, Ramkhamhaeng University, Bangkok, Thailand 1993.

EXPERIENCE

03/06-present and 04/96-05/97

Lecturer, Applied Physics Department, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand.

- Research areas: Semiconductor Lasers, Nonlinear optics, Photonic Crystals, Optical Communication, Computational Electromagnetics, Optical tweezers, Terahertz optics, Digital Holography
- Teaching areas: Fundamental Physics, Fundamental Physics Laboratory in Thai and English, Intermediate Physics Laboratory, Physical and Quantum Electronics, Lasers Physics, Physical Optics, Computational Fluid Dynamics, Polarized Light.

04/08-07/08

Visiting Scholar, Center for Biophotonics and Laser Science, Physics Department, School of Physical Sciences, University of Queensland, Brisbane, Qld 4072 Australia.

- Investigate an optical tweezers system for measurement some parameters transfer between the laser and the particle in liquids.
- Building a cheap optical tweezers system for using in undergraduate laboratory.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

01/00-02/06

Research Assistant, Optical Information Processing Lab, University of Dayton,
Dayton, Ohio, U.S.A.

- Built optical systems to study incoherent diffraction of acousto-optic cells
- Built optical systems to study pattern formation by photorefractive crystals
- Set up the experiments for undergraduate optic class and high school outreach program

04/95-03/96

Research Assistant, Energy Research Institute, Chulalongkorn University, Bangkok,
Thailand.

- To be the secretary of nuclear energy and hydrogen energy projects.
- To collect the data for electricity outage cost project.

AWARDS AND HONORS

- Thailand Research Fund for New Faculty Member (2008)
- Royal Thai Government Fellowship for Exchanging Faculty (2007)
- Quatman Scholarship (ECE Department, University of Dayton (Winter 2006)
- Research Excellent Award (SPIE Annual Meeting 2005)
- University of Dayton Summer Fellowship (2005)
- Royal Thai Government Scholarship (1997-2003)

PUBLICATIONS

- S. Suttirak, P. Buranasiri, P. P. Banerjee, N. Withayakorn, W. Neeyakorn, "Photorefractive effect in Pb-based relaxor ferroelectric materials," Proc SPIE 6793 (2008).
- S. Suttirak, P. Buranasiri, P. Putanarakul, N. Withayakorn, "A study of photorefractive effect in Pb-based relaxor ferroelectric crystals using P-scan technique," Thai Journal of Physics, 5, 329 (2009).
- S. Wicharn, P. Buranasiri, W. Yindeesuk, C. E. Sunny, A. M. Sarangan, and J. W. Haus, "Metallo-dielectric photonic band gap structure simulation using transfer matrix method and Bloch functions," Thai Journal of Physics, 5, 55 (2009).
- S. Wicharn, P. Buranasiri, and J. W. Haus, "The defect state of metallo-dielectric photonic band gap structure and its application in optoelectronic devices," Thai Journal of Physics, 6, (2010)
- S. Plaipichit, T. Teengung, S. Kamolthich, and P. Buranasiri, "Adjustable high voltage direct current power supply for CO₂ laser controlled by digital system," Thai Journal of Physics, 6, (2010).
- P. Pacharavarangkool, S. Wicharn, P. Buranasiri, "Terahertz pulse generation in air using difference frequency generation," Thai Journal of Physics, 7, (2011)
- S. Plaipichit, P. Buranasiri, R. Nuzsri, W. Neeyakorn, "Multi high-order anisotropic self-diffraction in Cerium doped BaTiO₃ crystal," Proc SPIE 8258, (2012).
- S. Wicharn, P. Buranasiri, "Parametric down conversion process in one-dimensional photonic band gap structure," Proc SPIE 8240, (2012).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อ ดร.อดุลย์ หาญวังมั่ง

ตำแหน่งและที่ทำงาน อาจารย์

สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

7/1 ถ.นนทบุรี1 ต.สวนใหญ่ อ.เมือง จ.นนทบุรี 11000

วัน เดือน ปีเกิด 9 มีนาคม 2520

โทรศัพท์ 02-9691369-74

โทรสาร 02-5252682

โทรศัพท์มือถือ 088-694-2556

E-mail adul.harn@gmail.com

ประวัติการศึกษา

ระดับประถมศึกษา โรงเรียนบ้านสารจอด ต.หนองโพนงาม อ.เกษตรสมบูรณ์ จ. ชัยภูมิ

ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนบ้านเป่าวิทยา ต. บ้านเป่า อ. เกษตรสมบูรณ์ จ. ชัยภูมิ

ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนภูเขียว ต. ผักปัง อ. ภูเขียว จ. ชัยภูมิ

ระดับปริญญาตรี สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

ระดับประกาศนียบัตรบัณฑิตทางศึกษาศาสตร์ (วิชาชีพครู) คณะศึกษาศาสตร์

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ระดับปริญญาโท สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า

คุณทหารลาดกระบัง

ระดับปริญญาเอก D. Phil. in Engineering (Sustainable Energy and Environmental

Engineering, Graduate School of Engineering, Osaka University, Japan)

ลงพิมพ์บทความในวารสารระดับนานาชาติ

AS FIRST AUTHOR

1. Effect of Rh Substitution for Co on the Thermoelectric properties of CoSb_3

Materials Transactions, **51**, 882 (2010)

Adul Harnwunggmoung, Ken Kurosaki, Anek Charoenphakdee, Aikebaier Yusufu, Hiroaki Muta, and Shinsuke Yamanaka

2. High-temperature thermoelectric properties of thallium-filled skutterudites

Applied Physics Letters, **96**, 202107 (2010)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Adul Harnwunggmoung, Ken Kurosaki, Hiroaki Muta, and Shinsuke Yamanaka

3. Effects of Tl-filling into the voids and Rh substitution for Co on the thermoelectric properties of CoSb₃
Journal of Alloys and Compounds, **509**, 1084 (2011)

Adul Harnwunggmoung, Ken Kurosaki, Yuji Ohishi, Hiroaki Muta, and Shinsuke Yamanaka

4. Thermoelectric properties of Ga-added CoSb₃ based skutterudites
Journal of Applied Physics, **110**, 013521 (2011)

Adul Harnwunggmoung, Ken Kurosaki, Theerayuth Plirdpring, Tohru Sugahara, Yuji Ohishi, Hiroaki Muta, and Shinsuke Yamanaka

1 ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) นาย แดงเดช แนนเกียง

(ภาษาอังกฤษ) DAENG DESH NAENKIENG

2 เลขบัตรประจำตัวประชาชน 3361000683402

3 วันเดือนปีเกิด 25 พฤษภาคม 2520

4 ตำแหน่ง เจ้าหน้าที่ วิทยาศาสตร์

5 ที่ทำงาน คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาฟิสิกส์
มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ
7/1 ถ.นนทบุรี 1 ต.สวนใหญ่ อ.เมือง จ.นนทบุรี 11000

โทรศัพท์ 02-9691369-74 โทรสาร 02-5252682

โทรศัพท์มือถือ 085-665-0886

6 E-mail: hs3_pwt@hotmail.com

7 ประวัติการศึกษา

วทบ. ฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น

8 ความชำนาญพิเศษ

- คอมพิวเตอร์อินเตอร์เฟส

- ไมโครคอนโทรลเลอร์ โปรแกรมมิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อ ดร.ณรงค์ชัย บุญโญปกรณ์

ตำแหน่งและที่ทำงาน อาจารย์

โปรแกรมวิชาวิทยาศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏนครปฐม

85 หมู่ 3 ถ.มาลัยแมน ต.นครปฐม อ.เมือง จ.นครปฐม 73000

วัน เดือน ปีเกิด 23 กันยายน 2517

โทรศัพท์ 034-261065

โทรสาร 034-261065

โทรศัพท์มือถือ 081-685-0823

E-mail nb_narongk@yahoo.com

ประวัติการศึกษา

ระดับประถมศึกษา โรงเรียนฤทธิไกรศึกษา ต.ลาดพร้าว อ.ลาดพร้าว จ.กรุงเทพฯ

ระดับมัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนมัธยมวัดบึงทองหลาง ต.วังทองหลาง อ.วังทองหลาง จ.กรุงเทพฯ

ระดับมัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนมัธยมวัดบึงทองหลาง ต.วังทองหลาง อ.วังทองหลาง จ.

กรุงเทพฯ

ระดับปริญญาตรี สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ระดับปริญญาโท สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

ระดับปริญญาเอก สาขาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล

ความชำนาญพิเศษ

1. การเคลือบฟิล์มบางด้วยเทคนิคแมกนีตรอนสปัตเตอริง
2. การออกแบบและสร้างเครื่องเคลือบฟิล์มบาง
3. การเตรียมเป่าสารเคลือบด้วยวิธีการทำปฏิกิริยาแบบของแข็ง
4. การสังเกตอนุภาคระดับจุลภาคด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope
5. การวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุด้วยเครื่อง XRF
6. การวิเคราะห์โครงสร้างผลึกด้วยเครื่อง XRD
7. การวัดและวิเคราะห์สภาพต้านทานไฟฟ้า ปริมาณของพาหะ สภาพคล่องของพาหะ โดย Hall

Effect Method

8. การออกแบบวงจรควบคุม Mass Flow Controller
9. การออกแบบระบบ Substrate Heating สำหรับการเคลือบฟิล์มบางด้วยเทคนิคแมกนีตรอน

สปัตเตอริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลงพิมพ์บทความในวารสารระดับนานาชาติ

AS FIRST AUTHOR

1. Effects of Substrate Temperature and Vacuum Annealing on Properties of ITO Films Prepared by Radio-Frequency Magnetron Sputtering

N. Boonyopakorn, N. Sripongpun, C. Thanachayanont, S. Dangtip

AS CO-AUTHOR

1. Influence of temperature annealing on optical properties of SrTiO₃/BaTiO₃ multilayered films on indium tin oxide

T. Supasai, S. Dangtip, P. Learngarunsri, N. Boonyopakorn, A. Wisitsoraat, Satreerat K. Hodak

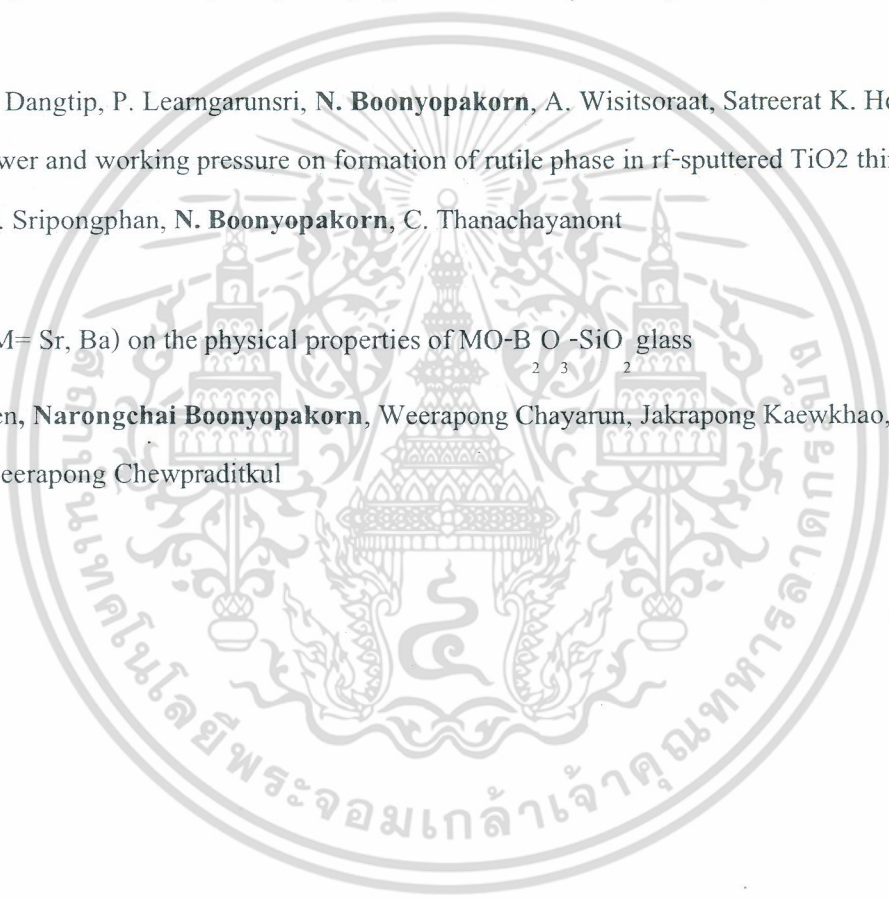
2. Effects of rf-power and working pressure on formation of rutile phase in rf-sputtered TiO₂ thin film

S. Dangtip, N. Sripongphan, N. Boonyopakorn, C. Thanachayanont

PROCEEDING

1. Effect of MO (M= Sr, Ba) on the physical properties of MO-B₂O₃-SiO₂ glass

Suparat Tuscharoen, Narongchai Boonyopakorn, Weerapong Chayarun, Jakrapong Kaewkhao, Pichet Limsuwan, and Weerapong Chewpraditkul





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้