



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก แมกนีเซียมซิลิไซด์ โครงสร้างนาโน จากแกลบข้าว
สังเคราะห์ด้วยไมโครเวฟและอัดร้อน และการประยุกต์เทอร์โมอิเล็กทริก

**Development of nano-structure magnesium silicide thermoelectric material
from rice husk by microwave and hot-press sintering and application of
thermoelectric device**

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชรณฐา รัตนพันธ์

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก แมกนีเซียมซิลิไซด์ โครงสร้างนาโน จากแกลบข้าว
สังเคราะห์ด้วยไมโครเวฟและอัดร้อน และการประยุกต์เทอร์โมอิเล็กทริก

**Development of nano-structure magnesium silicide thermoelectric material
from rice husk by microwave and hot-press sintering and application of
thermoelectric device**

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชรชฐา รัตนพันธ์

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การพัฒนาวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก แมกนีเซียมซิลิไซด์ โครงสร้างนาโน จากแคลบ
ข้าว สังกเคราะห์ด้วยไมโครเวฟและอัดรีด และการประยุกต์เทอร์โมอิเล็กทริก

แหล่งเงิน งบประมาณ ประจำปี 2561 สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประจำปีงบประมาณ 2561 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 660,900 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ต.ค. 2560 ถึง 30 ก.ย. 2561

1) หัวหน้าโครงการวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เชนฐา รัตนพันธ์

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2) ผู้ร่วมวิจัย

รองศาสตราจารย์ ดร. บรรจง บุญชม

ภาควิชาเคมี คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

3) ผู้ร่วมวิจัย

ดร. ชัญชนา ธนชยานนท์

ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ (MTEC)

4) ผู้ร่วมวิจัย

อาจารย์ ภูมินทร์ จินดาจิธาวัฒน์

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก แมกนีเซียมซิลิไซด์ (Mg_2Si) ผลึกนาโนด้วยวิธีไมโครเวฟ โดยใช้วัสดุตั้งต้น Si จากแคลบข้าว โดยสามารถสังเคราะห์ SiO_2 ด้วยแคลบข้าวมีความบริสุทธิ์สูงถึง 99% ที่มีขนาดผลึก 38.63 นาโนเมตร แล้วนำสังเคราะห์ Si ความบริสุทธิ์ 96% ที่มีขนาดผลึก ขนาด 100 นาโนเมตร แล้วนำมาสังเคราะห์ Mg_2Si ตามปฏิกิริยาเคมี $2Mg + Si \rightarrow Mg_2Si$ ที่ 650 C ด้วยวิธีให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับการใช้ ก๊าซอาร์กอน ได้ผล Mg_2Si โครงสร้างนาโนขนาด 65 นาโนเมตร เมื่อนำวัดค่าสัมประสิทธิ์เทอร์โมอิเล็กทริก มีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค $-360 \mu V/K$ ในช่วง 350 – 580 K และนำมาประดิษฐ์แท่งโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกแบบชนิด ขนาดหน้าตัดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 cm สูง 1.5 cm 1 ตัว ในช่วงอุณหภูมิ 100-450 สามารถผลิต กระแสไฟฟ้าได้ 700 ไมโครแอมป์ ได้ค่าศักย์ไฟฟ้า 70 mV ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า นำสามารถนำแคลบข้าว มาสังเคราะห์เป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก Mg_2Si ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสำคัญ : แมกนีเซียมซิลิไซด์; เทอร์โมอิเล็กทริก; วัสดุตั้งต้นจากแกลบ

Research Title: Development of nano-structure magnesium silicide thermoelectric material from rice husk by microwave and hot-press sintering and application of thermoelectric device

Researcher: Asists. Prof. Dr. Chesta Ruttanapun

Faculty: Science **Department:** Physics

ABSTRACT

This work aims to synthesis nano-crystal Mg_2Si thermoelectric material using microwave heating. The Si as starting materials was derived from SiO_2 which is 99% in purity and 38.63 nano-meters by obtained from rice husk. The obtained Si (96% and 100 nano meters) was obtained. The Mg_2Si was synthesized via a reaction $2Mg + Si \rightarrow Mg_2Si$ by microwave heating at 650 C in argon atmosphere. The obtained Mg_2Si as thermoelectric materials was in sized 65 nano-meters. The thermoelectric properties of Mg_2Si was $-360 \mu V/K$ for Seebeck coefficient 350 – 580 K. The thermoelectric generator of a thermoelectric module in 2 cm in diameter and 1.5 cm in high generated in 700 μm for electric current and 70 mV for electric potential. This concluded that the rice husk can be derived Mg_2Si thermoelectric material of.

Keywords: magnesium silicide; Thermoelectric; starting material from rice husk.

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยเงินแผ่นดินจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุนอุดหนุนการวิจัย งบประมาณ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญรูป.....	V
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	6
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	6
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	6
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	7
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	11
3.1 การเตรียม SiO ₂ จากแกลบข้าว.....	18
3.1.1 การเตรียมแกลบ.....	18
3.1.2 การล้างแกลบด้วยกรด ไฮโดรคลอริก.....	18
3.1.3 การเผาแกลบ.....	19
3.2 การเตรียม Si จาก SiO ₂ จากแกลบ.....	20
3.3 กระบวนการสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก Mg ₂ Si.....	23
3.3.1 การสังเคราะห์ด้วยเตาเผาชนิดท่อควอตซ์สุญญากาศร่วมกับบรรยากาศอาร์กอน.....	24
3.3.2 การสังเคราะห์ด้วยไมโครเวฟร่วมกับบรรยากาศอาร์กอน.....	26
3.3.3 การสังเคราะห์ด้วย magnetic Induction heat ting เตาเผาชนิดท่อควอตซ์สุญญากาศร่วมกับบรรยากาศอาร์กอน.....	27

บทที่ 4 ผลการวิจัย	29
4.1 ผลการสังเคราะห์นาโนซิลิกาจากแคลบข้าว	29
4.1.1 การวิเคราะห์ TGA/DTA	29
4.4.2 ผลการเปรียบเทียบการเผาแคลบข้าวที่ผ่านการล้างด้วยน้ำสะอาด (RHW) และผ่านการล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริก (RHR) เผาที่อุณหภูมิ 800 C	30
4.1.3 ผลการวิเคราะห์ของซิลิกา(SiO ₂) จากแคลบข้าวที่ผ่านการล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริก	33
4.2 การสังเคราะห์นาโนซิลิกอน (Nano-Si) จากแคลบข้าว	40
4.2.1 การวิเคราะห์ TGA/DTA ของ 2Mg+SiO ₂	40
4.2.2 ผล XRD ของ 2Mg+SiO ₂ ที่ผ่านกระบวนการด้วยระบบ Magnetic induction heating ที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส	41
4.2.3 ผลการวิเคราะห์ XRD ของ Si	42
4.2.4 การวิเคราะห์ด้วย FTIR	43
4.2.5 การวิเคราะห์ ด้วย Raman	43
4.2.6 การวิเคราะห์ ด้วย FE-SEM ของ Si	44
4.2.7 การวิเคราะห์ ด้วย EDX	45
4.3 ผลการสังเคราะห์ Si จากสารตั้งต้น Mg และ SiO ₂ ในระบบที่อควอตซ์สุญญากาศร่วมกับระบบเหนี่ยวนำความร้อนด้วย Magnetic induction heating	46
4.3.1 การวิเคราะห์ด้วย TGA/DTA ของ 2Mg+SiO ₂	46
4.3.2 การวิเคราะห์ด้วย XRD ของ 2Mg+SiO ₂	47
4.3.2 การวิเคราะห์ด้วย XRD ของ Si ที่ผ่านการล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริก	48
4.4 ผลของ Mg ₂ Si ใช้สารตั้งต้น Mg และ Si จากเชิงการค้า สังเคราะห์ในระบบเตาที่อควอตซ์สุญญากาศร่วมกับบรรยากาศอาร์กอน	49
4.5 ผลการสังเคราะห์ Mg ₂ Si ใช้ Si ที่เตรียมได้จากแคลบข้าว	51
4.5.1 ผลการวิเคราะห์ TGA/DTA ของ 2Mg + Si เพื่อหาอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับสังเคราะห์	52
4.5.2 การสังเคราะห์ Mg ₂ Si ด้วยวิธีระบบเตาที่อควอตซ์ในบรรยากาศอาร์กอน ใช้ Si จากแคลบข้าว	53
4.5.3 ผลการวิเคราะห์ Mg ₂ Si ที่สังเคราะห์ ด้วย XRD	54
4.5.4 ผลการวิเคราะห์ Mg ₂ Si ที่สังเคราะห์ ด้วย SEM	56
4.5.5 การสังเคราะห์ Mg ₂ Si ด้วยวิธีระบบไมโครเวฟในบรรยากาศอาร์กอน ใช้ Si จากแคลบข้าว	
4.6 การวัดคุณสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกของ Mg ₂ Si	57

4.6.1 ผลของ Mg_2Si ถูกเตรียมจากสารตั้งต้น Mg และ Si จากเชิงการค้า	58
4.6.2 ผลของ Mg_2Si ถูกเตรียมจากสารตั้งต้น Si จากแถบขาว	60
4.7 ผลการเตรียม $Mg_{1.95}Al_{0.05}Si$ ใช้สารตั้งต้น Si จากแถบขาว ด้วยวิธี Spark plasma sintering	62
4.8 การพัฒนาโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกแมกนีเซียมซิลิไซด์	63
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	64
5.1 สรุปผลการวิจัย	64
5.2 ข้อเสนอแนะ	64
เอกสารอ้างอิง	65
ภาคผนวก	66
ภาคผนวก ก	66
ประวัตินักวิจัย	69



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 1.1	1
รูปที่ 1.2	2
รูปที่ 1.3	2
รูปที่ 1.4	3
รูปที่ 1.5	3
รูปที่ 1.6	3
รูปที่ 1.7	4
รูปที่ 1.8	5
รูปที่ 2.1	8
รูปที่ 2.2	9
รูปที่ 2.3	14
รูปที่ 2.4	15
รูปที่ 2.5	16
รูปที่ 2.6	17
รูปที่ 3.1	18
รูปที่ 3.2	19
รูปที่ 3.3	19
รูปที่ 3.4	20
รูปที่ 3.5	23
รูปที่ 3.6	24
รูปที่ 3.7	24
รูปที่ 3.8	25
รูปที่ 3.9	25

VIII

รูปที่ 3.10 ระบบการสังเคราะห์ด้วยไมโครเวฟ	26
รูปที่ 3.11 ระบบการสังเคราะห์ด้วย magnetic induction heat ting	27
รูปที่ 4.1 TGA/DTA ของแกลบข้าว	28
รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะทางกายภาพของเถ้าแกลบข้าวที่ถูกเผาในช่วงอุณหภูมิ 600 – 8000 °C	29
รูปที่ 4.3 แสดงสัณฐานวิทยา (SEM)	30
รูปที่ 4.4 แสดงลักษณะทางกายภาพของเถ้าแกลบข้าวหลังจากการเผา	30
รูปที่ 4.5 กราฟ XRD ของแกลบข้าวที่ถูกเผา	31
รูปที่ 4.6 สเปกตรัมการวิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน (EDX) ของ SiO ₂	31
รูปที่ 4.7 ผงของ SiO ₂ บริสุทธิ์ ที่จากการเผาแกลบข้าว	32
รูปที่ 4.8 กราฟ XRD ของแกลบข้าวที่ถูกเผา	33
รูปที่ 4.9 ซิลิกา จากแกลบข้าวที่ผ่านการเผา 600,700,800 °C	34
รูปที่ 4.10 สเปกตรัมการวิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน (EDX) ของ SiO ₂	36
รูปที่ 4.11 FTIR ของซิลิกา(SiO ₂) จากแกลบข้าว	37
รูปที่ 4.12 TGA/DTA ของ 2Mg+SiO ₂	39
รูปที่ 4.13 XRD ของ 2Mg+SiO ₂ ที่ผ่านกระบวนการเผาในระบบเหนี่ยวนำความร้อน	40
รูปที่ 4.14. XRD ของ Si ที่ผ่านกระบวนการล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริก	41
รูปที่ 4.15. FTIR ของ Si	42
รูปที่ 4.16 Raman ของ Si	42
รูปที่ 4.18 FE-SEM ของซิลิกอน (Si) จากแกลบข้าว	43
รูปที่ 4.19 ลักษณะผง ซิลิกอน (Si) ที่สกัดได้จากแกลบข้าว	44
รูปที่ 4.20 TGA/DTA ของ 2Mg+SiO ₂	45
รูปที่ 4.21 XRD ของ 2Mg+SiO ₂ ที่ผ่านกระบวนการแคลไซน์ด้วยระบบเหนี่ยวนำความร้อน	46
รูปที่ 4.22 XRD ของ Si ที่ผ่านกระบวนการล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริก	47
รูปที่ 4.23 เม็ดสารตั้งต้น 2Mg+Si ที่ผ่านการผสมและอัดแล้ว	48
รูปที่ 4.24 Mg ₂ Si ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 800 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมงในบรรยากาศอาร์กอน	48
รูปที่ 4.25 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์	49
รูปที่ 4.26 สเปกตรัมการวิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน (EDX) ของ Mg ₂ Si	49
รูปที่ 4.27 TGA/DTA ของ 2Mg+Si	50
รูปที่ 4.28 ลักษณะผง Mg ₂ Si	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

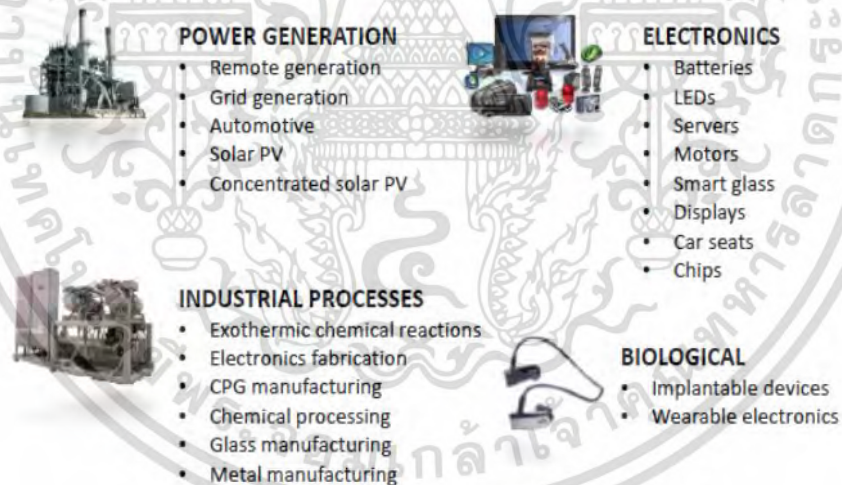
รูปที่ 4.29 XRD ของ Mg_2Si	52
รูปที่ 4.30 SEM ของ Mg_2Si	52
รูปที่ 3.31 XRD ของ Mg_2Si สังเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างวิธี โดยเทียบระหว่าง วิธีระบบไมโครเวฟ และ ระบบเตาที่อควอตซ์ในบรรยากาศอาร์กอน (Conventional method)	53
รูปที่ 4.32 SEM ของ Mg_2Si	54
รูปที่ 4.33 สเปกตรัมการวิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน (EDX) ของ Mg_2Si	54
รูปที่ 4.34 XRD ของ Mg_2Si	55
รูปที่ 4.35 SEM ของ Mg_2Si	56
รูปที่ 4.36 ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคกับช่วงอุณหภูมิ 350 – 800 K ของ Mg_2Si	57
รูปที่ 4.37 ค่าสภาพนำไฟฟ้ากับช่วงอุณหภูมิ 350 – 800 K ของ Mg_2Si	57
รูปที่ 4.38 ค่าสภาพนำความร้อนกับช่วงอุณหภูมิ 350 – 800 K ของ Mg_2Si	58
รูปที่ 4.39 ค่า ZT กับช่วงอุณหภูมิ 350 – 800 K ของ Mg_2Si	58
รูปที่ 4.40 ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคกับช่วงอุณหภูมิ 350 – 580 K ของ Mg_2Si	59
รูปที่ 4.41 ค่าสภาพนำไฟฟ้ากับช่วงอุณหภูมิ 350 – 580 K ของ Mg_2Si	59
รูปที่ 4.42 ค่า power factor กับช่วงอุณหภูมิ 350 – 580 K ของ Mg_2Si	60
รูปที่ 4.43 XRD ของ $Mg_{1.95}Al_{0.05}Si$ (Spark plasma sintering)	61
รูปที่ 4.44 Thermal conductivity ของ $Mg_{1.95}Al_{0.05}Si$ (Spark plasma sintering)	61
รูปที่ 4.55 โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกแมกนีเซียมซิลิไซด์	62
รูปที่ 4.46 ทดสอบการผลิตไฟฟ้าจากความร้อน	62

บทที่ 1

บทนำ

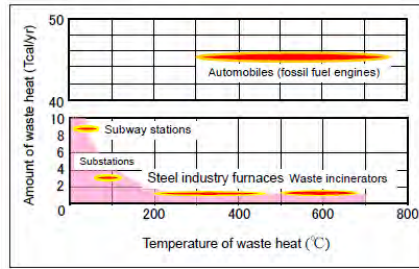
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

เมื่อพิจารณาวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก (**Thermoelectric materials**) เป็นวัสดุที่สามารถเปลี่ยนพลังงานความร้อน (ความแตกต่างอุณหภูมิที่ในวัสดุ) เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงทันทีในตัวเอง และยังสามารถผันกลับจากพลังงานไฟฟ้าให้เกิดความแตกต่างอุณหภูมิขึ้นในวัสดุได้ทันทีโดยตรง ดังนั้นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกจึงสามารถแบ่งการประยุกต์เป็น 2 โหมด โหมดการผลิตพลังงานไฟฟ้า (**Thermoelectric power generator: TEG**) และ โหมดการทำความเย็น (**Thermoelectric cooling: TEC**) มีรายงานวิเคราะห์การตลาดของ Lawrence Berkeley National Laboratory ในปี 2013[1] ได้แบ่งตลาดที่เกี่ยวข้องกับเทอร์โมอิเล็กทริกเป็น 4 แบบ คือ Power generation, Electronics, Industrial processes, และ Biological ดังแสดงในรูปที่ 1 และได้แจกแจงรูปแบบตลาดย่อยของแต่ละแบบดังแสดงในรูปที่ 1.1

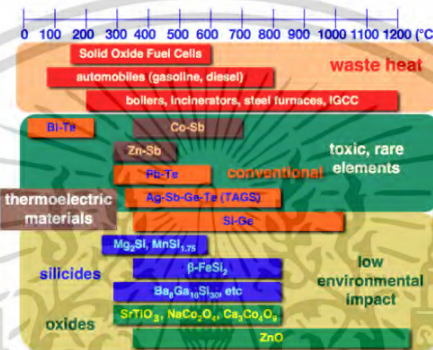


รูปที่ 1.1 อุตสาหกรรมที่เกิดขึ้นได้จากอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

เมื่อพิจารณาประเทศไทยมีแหล่งความร้อนได้เปล่าเป็นจำนวนมาก เช่น ท่อไอเสียรถยนต์ [1]ระบบความร้อนในอุตสาหกรรมต่างๆ[2](ดังรูปที่ 1.2) บ่อน้ำพุร้อน แสงแดด (สามารถนำความร้อนแสงแดดมาทำน้ำร้อน หรือโฟกัสแสงด้วยกระจกพาราโบลา ได้ความร้อนถึง 400 °C) สำหรับความร้อนที่ได้เปล่านั้นมีศักยภาพสูงมากที่จะนำมาพัฒนาเป็นพลังงานทดแทนเปลี่ยนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้



รูปที่ 1.2 ระดับอุณหภูมิของแหล่งความร้อนต่างๆและในอุตสาหกรรมต่างๆ

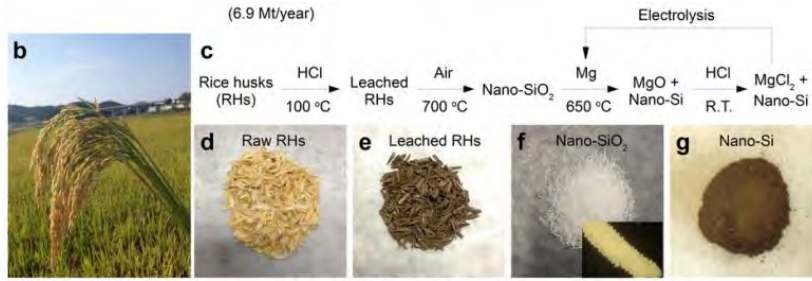


รูปที่ 1.3 ความร้อนจากท่อไอเสียรถยนต์ และ ในอุตสาหกรรมต่างๆ

เมื่อพิจารณาแหล่งความร้อนได้เปล่าต่างๆจะอยู่ในช่วง 100 ถึง 1000 C แต่เมื่อพิจารณาในปัจจุบันวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกที่ให้ค่า ZT สูงนั้น เป็นที่รู้จักก็คือสารประกอบ Bi_2Te_3 [2] แต่ก็ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อผันพลังงานไฟฟ้าที่อุณหภูมิเกิน 100 C ได้ แต่ในความเป็นจริงนั้น ความร้อนที่เหลือทิ้งจากกิจกรรมมนุษย์ที่จะนำมาผันเป็นไฟฟ้า มักมีอุณหภูมิเกิน 100 C ดังนั้นสารประกอบ Bi_2Te_3 จึงไม่เหมาะสมที่จะมาประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์สำหรับผันไฟฟ้าจากความร้อน (Thermoelectric generator) และวัสดุ Bi_2Te_3 เองก็เป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกที่เป็นพิษ ไม่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม และยังมีราคาสูงอีกด้วย

แต่เมื่อพิจารณาวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก แมกนีเซียม ซิลิไซด์ [Magnesium silicide (Mg_2Si)] ซึ่งมีค่า ZT เกือบ 1 คือมีความสามารถในการผันพลังงานที่สูงมาก และมีจุดทำงานในช่วง ประมาณ 200 ถึง 600 C ซึ่งอยู่ในช่วงอุณหภูมิความร้อนเหลือทิ้ง ดังนั้น Mg_2Si จึงเป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกที่น่าสนใจมาก และยังมีค่าได้เปรียบขึ้นอีก เมื่อ Mg_2Si สามารถสังเคราะห์จาก Si ซึ่งสกัดจากถ่านโค้กซึ่งเป็นตั้งต้นที่มีราคาถูกในประเทศไทยได้ ($2\text{Mg} + \text{Si} \rightarrow \text{Mg}_2\text{Si}$) ดังแสดงในรูป และมีรายงานการวิจัยได้เสนอว่าสามารถสังเคราะห์ Mg_2Si ได้ จาก SiO_2 จากถ่านโค้กด้วย ($4\text{Mg} + \text{SiO}_2 \rightarrow \text{Mg}_2\text{Si} + 2\text{MgO}$) ยิ่งทำให้มีผลกระทบต่อการศึกษาวิจัยและพัฒนาด้านพลังงานทดแทน ยิ่งจะทำให้กระบวนการสังเคราะห์รวดเร็ว และใช้ต้นทุนน้อยลงอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.4 แผนผังการสกัด Nano-Si จากแกลบข้าว

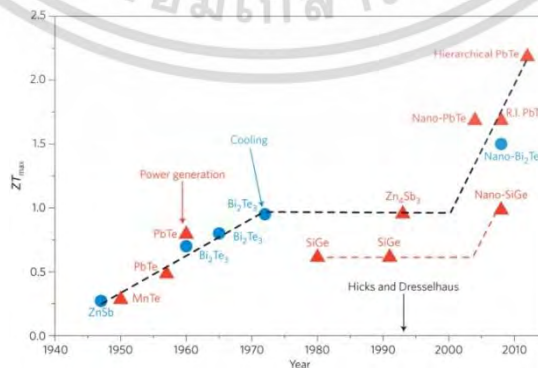
ในการสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงนั้นสามารถทำได้โดยการพัฒนาวัสดุให้มีค่า ZT สูงขึ้น โดยมีปัจจัยที่จะให้ได้ค่า ZT สูงขึ้นได้ เป็นไปตามพฤติกรรมดังแสดงในรูปที่ 1.5

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

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

รูปที่ 1.5 แสดงปัจจัยที่ผลต่อการเพิ่มของค่า ZT

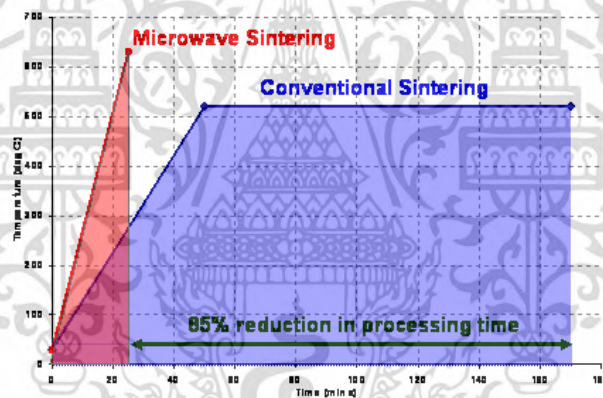
จากรูปที่ 1.5 จะเห็นได้ว่า ค่า ZT ของวัสดุจะมีสูงขึ้นไป เมื่อค่าสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริกของวัสดุนั้น มีค่า S และ σ มีค่าสูงมากๆ แต่ค่า K ต้องมีค่าน้อยมากๆ และต้องมีค่า T สูงมากๆด้วย (คือสามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงๆได้) ซึ่งในการปรับปรุงสมบัติดังกล่าวให้ดีขึ้นสามารถทำได้ผ่านนาโนเทคโนโลยี จากรายงานและบทความของใหม่ล่าสุด รวมทั้งที่ได้รายงานใน Nature และ ได้ชี้ประเด็นให้เห็นว่า วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก Bi_2Te_3 และ อื่นๆ ดังรูป สามารถเพิ่มค่า ZT ขึ้นได้โดยการเตรียมให้เป็นวัสดุ Nano (เช่น nano composite, quantum dot)



รูปที่ 1.6 การเพิ่มของค่า ZT ของวัสดุโครงสร้างนาโน

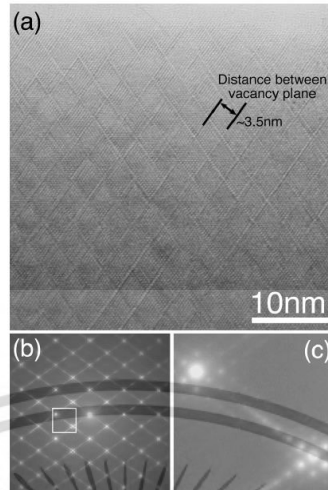
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในทำนองเดียวกันวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก Mg_2Si ก็สามารถพัฒนาให้ ZT สูงได้ด้วยนาโนเทคโนโลยี ผ่านพารามิเตอร์ S , σ และ K ดังนี้ ในกรณีของค่าซีเบคสามารถทำให้ค่าสูงขึ้นผ่านค่า Density of States (DOS) ซึ่งมีค่าสูงขึ้นเมื่อ DOS ต้องมีรูปร่างที่ทำให้มิติของวัสดุให้มีค่าต่ำลง ซึ่งจะมีผลให้ DOS แคบและคมขึ้น ซึ่งจะเกิดได้ในวัสดุแบบ Nano-Structure เช่น Nano grain size, Nano composite, Nano powder และในกรณีการนำไฟฟ้าก็สามารถดึงให้สูงขึ้นผ่านค่า DOS และ Mobility ซึ่งจะมีค่ามากในวัสดุประเภท Semiconductor ดังนั้นจึงสามารถเพิ่มค่า ซีเบคและค่าสภาพนำไฟฟ้า ขึ้นพร้อมกัน ผ่าน Nano grain size, Nano composite, Nano powder ซึ่งสามารถทำให้เกิดผ่านกระบวนการสังเคราะห์ด้วยเตาไมโครเวฟ เพราะใช้เวลาในการให้ความร้อนที่เร็วมาก และได้กำลังความร้อนสูงในเวลาทีเร็วมาก จึงทำให้ได้สารประกอบที่มีผลึกเล็กขนาดมากในระดับนาโน [5-7]



รูปที่ 1.7 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยไมโครเวฟและขดลวดความร้อน

สำหรับค่าสภาพนำความร้อนได้สามารถลดให้ต่ำลงได้ด้วยการทำให้วัสดุมีขนาด nano grain boundary size ที่เป็นระเบียบซ้ำกันแบบ super lattice crystal ในวัสดุแบบ Bulk เทอร์โมอิเล็กทริก ดังแสดงในรูปที่ 1.8 ซึ่งลักษณะโครงสร้างแบบนี้จะเหมาะสมมากสำหรับ dmi เป็นวัสดุสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริก โดยสามารถสังเคราะห์ Bulk เทอร์โมอิเล็กทริกแบบดังกล่าวได้ ด้วยวิธีการเผาแบบอัดร้อน Hot press sintering จากวัสดุตั้งต้นแบบ Nano powder และยังทำให้ได้สารตัวอย่างที่มีความหนาแน่นสูงมากถึง 90% เทียบกับทฤษฎี [ซึ่งจะต่างจากวิธีแบบ cold press sintering จะได้ความหนาแน่นต่ำกว่า 70%



รูปที่ 1.8 นาโนแกรนด์บนก้อนสาร Ga_2Te_3 มีผลให้ค่า K มีค่าน้อยกว่า 1 W/mK จากการสังเคราะห์ด้วยเผาแบบอัดร้อน[4]

เมื่อพิจารณาสภาพปัญหาในประเทศไทยที่มีดังนี้

- 1) Mg_2Si เป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีความสามารถแปลงความร้อนเป็นไฟฟ้าได้สูงมาก มีจุดทำงานในช่วง $100 - 800 \text{ C}$ สามารถสังเคราะห์จาก สารตั้งต้น Mg และ Si หรือ SiO_2 ที่สามารถสกัดได้จากแกลบข้าว
- 2) อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกจะมีประสิทธิภาพสูงเมื่อวัสดุมีโครงสร้างนาโน สามารถสร้างโดยผ่านขั้นตอนการสังเคราะห์ให้ได้ผลึกระดับนาโนผ่านการสังเคราะห์ด้วยไมโครเวฟเพราะที่ใช้พลังงานสูงในเวลาอันสั้น จากสารตั้งต้นที่เป็นผงระดับนาโน แล้วไปขึ้นรูป Bulk สำหรับทำอุปกรณ์ผ่านการเผาแบบ hot press sintering เพื่อให้ได้ผลึกจากนาโนใน Bulk โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก มีผลให้ สัมประสิทธิ์ซีเบค และการนำไฟฟ้าสูง แต่มีการนำความร้อนต่ำ

จากสภาพปัญหาข้างบน สามารถแผนผังการทำงานได้

แกลบข้าว ---> สกัด Si ขนาดโครงสร้างนาโน ---> สังเคราะห์ Mg_2Si โครงสร้างนาโนด้วยไมโครเวฟกำลังสูง ---> ขึ้น Bulk ด้วย Hot Press sintering ---> สร้างต้นแบบ โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก

ในทำการวิจัยและพัฒนาทางด้านพลังงานทดแทนควรเป็นแผนงานวิจัยเชิงบูรณาการแบบครบวงจรตั้งแต่ ต้นน้ำ กลางน้ำ และปลายน้ำ ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำวิจัยต้นน้ำคือ ความสามารถในการสังเคราะห์ ผลิตสารตั้งต้นได้เอง และวิจัยพัฒนากระบวนการเพื่อให้ได้วัสดุที่ประสิทธิภาพสูงขึ้น เช่นนาโนเทคโนโลยี และใช้วัตถุดิบภายในประเทศเพื่อให้อาณาเขต เช่น แกลบข้าว

การทำวิจัยกลางน้ำคือ ความสามารถในการนำวัสดุที่ได้จากการวิจัยจากต้นน้ำ มาสร้าง ต้นแบบอุปกรณ์ต่างๆได้เองภายในประเทศ และร่วมถึงการพัฒนาเครื่องมือสังเคราะห์วัสดุให้ได้ขนาดนาโน

การทำวิจัยปลายน้ำ คือ ความสามารถนำอุปกรณ์ ต้นแบบต่างๆที่ได้จากการวิจัยกลางน้ำ มาติดตั้ง ใช้งานจริง เพื่อการค้นพบล้างงานต่างๆมาเป็นไฟฟ้าได้เอง

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงสนใจการบูรณาการแบบครบวงจรตั้งแต่ ต้นน้ำ กลางน้ำ และปลายน้ำ โดยมีแนวคิดใช้สารตั้งต้นสกัดจากแกลบข้าว สังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก Mg_2Si โครงสร้างนาโน และนำนาโนเทคโนโลยีมาเพิ่มประสิทธิภาพในการขึ้นรูปอุปกรณ์ เทอร์โมอิเล็กทริก

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. สกัด Si จากแกลบข้าว โครงสร้างนาโน
- 2.สังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก Mg_2Si ผลึกนาโน ด้วยวิธีไมโครเวฟ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

- 1.สังเคราะห์ Si จากแกลบ ให้ได้โครงสร้าง นาโน
- 2.สังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก Mg_2Si ให้ได้โครงสร้างนาโนด้วยวิธีไมโครเวฟ

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่1 ทำการสืบค้นข้อมูล

ทำการสืบค้นข้อมูลในฐานข้อมูลออนไลน์เพื่อรวบรวมข้อมูลวิธีการสังเคราะห์ Si และ SiO_2 จากแกลบ การสังเคราะห์สารประกอบเทอร์โมอิเล็กทริก Mg_2Si การสร้างอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก การประยุกต์ใช้งานเทอร์โมอิเล็กทริกผันไฟฟ้าจากความร้อนในด้านต่างๆ เพื่อให้ได้มูลเทคนิคในด้านต่างๆ

ขั้นตอนที่2 ทำการสังเคราะห์ Si จากแกลบข้าว

การสกัดแกลบเริ่มด้วยการทำความสะอาดแกลบ จากนั้นล้างด้วยกรดเพื่อขจัดเซลลูโลสแล้วทำการสกัด SiO_2 ด้วยการเผาแกลบที่ $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ ในอากาศ จากนั้นสกัด Si ด้วยการผสม Mg แล้วที่ $650\text{ }^{\circ}\text{C}$ ตามสมการเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

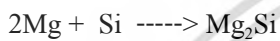


จากนั้นกำจัด MgO ด้วย สารละลาย HCl ได้ Si

ยื่นผลการสกัดด้วยเทคนิคการวิเคราะห์ด้วย XRD XPS FT-IR SEM TEM และ EDX โดยในการวิจัยนี้จะรวมไปถึงการหาวิธีเตรียมให้ได้ปริมาณมากๆ เพราะสามารถนำไปใช้ในด้านอื่นๆ ได้ด้วย

ขั้นตอนที่3 ทำการสังเคราะห์สารประกอบ Mg₂Si ด้วยวิธี Solid state reaction

เป็นการสังเคราะห์สารประกอบ Mg₂Si ด้วยสารตั้งต้น Si ที่เตรียมได้ ใช้สารตั้งต้น Mg และ Si ตามสมการเคมี



โดยการสังเคราะห์ในเตาที่อุณหภูมิ 600 C ในระบบเตาหลอดแก้วควอทซ์ ภายในบรรยากาศแบบสุญญากาศ และมีการควบคุมอากาศแบบก๊าซเฉื่อยเช่น ไนโตรเจน เพื่อป้องกัน Mg ทำปฏิกิริยากับ ออกซิเจน

ขั้นตอนที่4 ทำการวิเคราะห์คุณลักษณะเอกลักษณ์ ของประกอบ Mg₂Si

1. ตรวจสอบโครงสร้างผลึกด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray powder diffraction; XRD) เพื่อตรวจสอบเอกลักษณ์ของ โครงสร้างผลึกของ สารประกอบ Mg₂Si
2. ตรวจสอบเพื่อยืนยันผลจากวิธีอื่นๆ เช่น TGA SEM TEM EDX และ XPS

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ได้สารตั้งต้น Si และ SiO₂ จากแกลบข้าว
2. ได้วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก Mg₂Si สังเคราะห์ได้จากสารตั้งต้น Si
3. ได้ต้นแบบ โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกจากสารประกอบ Mg₂Si
4. ได้อุปกรณ์ต้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกผืน ไฟฟ้า
5. ได้องค์ความรู้ในพลังงานวัสดุและต้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับพลังงานไฟฟ้าทดแทน

บทที่ 2

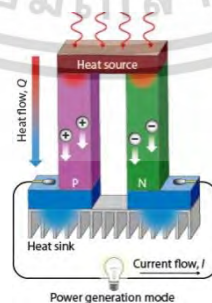
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปรากฏการณ์ในวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกนั้นจะเกิดในวัสดุของแข็ง (solid state) โดยเป็นปรากฏการณ์ที่เปลี่ยนความร้อนที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิบนวัสดุให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงทันทีในตัวเองถูกเรียกว่าปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck effect)[9,10] เพราะถูกค้นพบโดย Thomas Seebeck ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์เป็นตัวกำเนิดไฟฟ้าได้ เรียกว่า Thermoelectric Generator สำหรับปรากฏการณ์ซีเบคนั้น จะมีค่าคงที่ของวัสดุซึ่งเป็นสัดส่วนระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากับผลต่างของอุณหภูมิ เรียกว่า สัมประสิทธิ์ซีเบค โดยมีค่าทั้งบวกและลบ ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุของเทอร์โมอิเล็กทริก ดังเช่นในวัสดุสารกึ่งตัวนำจะมีสัมประสิทธิ์ ซีเบคเป็นบวกสารกึ่งตัวนำชนิด p-type และ สัมประสิทธิ์ซีเบคเป็นลบสารกึ่งตัวนำชนิด n-type และมากกว่านั้นปรากฏการณ์ในวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถสร้างปรากฏการณ์ผกผันได้ คือเมื่อมีการป้อนกระแสไฟฟ้าแก่วัสดุนั้นก็จะเกิดความแตกต่างอุณหภูมิขึ้นในวัสดุนั้นได้ โดยจะมีด้านหนึ่งของวัสดุเย็นกว่าอีกด้านตลอดเวลาที่มีการให้กระแสไฟฟ้า เรียกปรากฏการณ์นี้ปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier effect) เพราะถูกค้นพบโดย Jean Peltire สามารถนำมาประยุกต์เป็นตัวทำความเย็นได้ เรียกว่า thermoelectric cooler

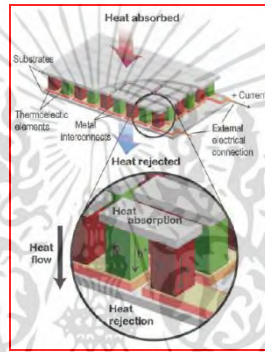
ได้มีรายงานวิเคราะห์การตลาดของ Lawrence Berkeley National Laboratory ในปี 2013[11] ได้แบ่งอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกออกเป็น 4 แบบด้วยกัน คือ Power generation, Electronics, Industrial processes, และ Biological และได้แจกแจงรูปแบบตลาดย่อยของแต่ละแบบดังแสดงในรูปที่ 2.1

โดยในงานวิจัยนี้จะสนใจเฉพาะ โหม่งการทำงานเทอร์โมอิเล็กทริกด้านที่เปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นไฟฟ้าเท่านั้น เรียกว่า เทอร์โมอิเล็กทริกกำเนิดไฟฟ้า (Thermoelectric Generator: TEG) ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 2.1 โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกกำเนิดไฟฟ้า

อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกตัวกำเนิดไฟฟ้าที่จะนำไปประยุกต์ผันไฟฟ้านั้น[10] จะประดิษฐ์มาจาก โมดูลของเทอร์โมอิเล็กทริกจากหลาย โมดูลมาต่อกันรวมด้วยกัน โดยโมดูลของเทอร์โมอิเล็กทริก 1 จะประดิษฐ์จากวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกที่เป็นกึ่งตัวนำที่สมบัติความเป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกที่ชนิด n-type และชนิด p-type อย่างละ 1 เซลล์ จะถูกเชื่อมต่อกันด้วยแผ่นตัวนำให้กระแสไฟฟ้าไหล และใช้แผ่นเซรามิกบางเพื่อเป็นตัวดูดซับหรือคายความร้อนประกบด้านบนและล่างด้วยความร้อนผ่านโมดูลของเทอร์โมอิเล็กทริกสะดวกได้เป็นอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก p-n เทอร์โมอิเล็กทริก 1 โมดูล ดังแสดงในรูปที่ 2.2 และในการประดิษฐ์อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่มีโมดูลประกอบจำนวนมากนั้น สร้างได้โดย นำ p-n โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกจำนวนหลายๆอันมาต่ออนุกรม



รูปที่ 2.2 โมดูลของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกและ โครงสร้างขององค์ประกอบของ p-n โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก 1 โมดูลของเทอร์โมอิเล็กทริก

กลไกการทำงานของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก 1 โมดูล

เทอร์โมอิเล็กทริก 1 โมดูล[12] ที่ประกอบด้วยเซลล์ของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิด n-type และชนิด p-type ต่อกันด้วยแผ่นตัวนำให้กระแสไฟฟ้าไหล เมื่อทำให้เกิดความต่างอุณหภูมิขึ้นระหว่างด้านบนและด้านล่างของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก โดยจากรูปให้ด้านบนร้อนกว่าด้านล่าง ก็จะเกิดการไหลของประจุไฟฟ้าขึ้น โดยมีการเคลื่อนที่ของประจุไฟฟ้าจากบนลงล่าง ในสารตัวนำชนิด p-type ซึ่งประจุบวก หรือ โฮล เป็นส่วนใหญ่ จะไหลจากบนลงล่าง และ ในสารตัวนำชนิด n-type ซึ่งประจุลบ หรือ อิเล็กตรอน เป็นส่วนใหญ่ ก็จะไหลจากบนลงล่างเช่นกัน เมื่อมีการต่อโหลดภายนอกเช่นหลอดไฟฟ้าก็จะมีไฟฟ้าไหลครบวงจร เพราะที่สการไหลของประจุบวกจะมีทิศเดียวกับทิศการไหลของกระแสไฟฟ้า ขณะที่สการไหลของประจุลบ จะมีทิศตรงข้ามกับทิศการไหลของกระแสไฟฟ้า ดังนั้นการไหลของกระแสไฟฟ้าจึงเกิดขึ้น

สำหรับอุปกรณ์ thermoelectric generator พลังงานไฟฟ้าที่ได้ออกมาจะวัดเป็นค่า แรงดันไฟฟ้า และค่ากระแสไฟฟ้า โดยพลังงานไฟฟ้าที่ผันได้จะขึ้นอยู่กับทางเลือกชนิดวัสดุ และความต่างของอุณหภูมิที่ป้อนให้แก่อุปกรณ์ ยิ่งป้อนผลต่างอุณหภูมิให้แก่อุปกรณ์สูงขึ้นก็จะได้ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงขึ้น และเมื่อสร้าง

อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้จำนวน p-n โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีจำนวนมากขึ้น จะได้แรงดันไฟฟ้าสูงขึ้นตามด้วย สำหรับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่มีจำนวน p-n โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกจำนวนมาก

ประสิทธิภาพของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกของตัวผันไฟฟ้าจากความร้อน(generator)นั้นพิจารณาจากสัดส่วนระหว่างพลังงานไฟฟ้าที่ได้กับพลังงานความร้อนที่ป้อนเข้าไป สามารถเขียนความสัมพันธ์ของประสิทธิภาพของตัวเทอร์โมอิเล็กทริกตัวผันไฟฟ้าความร้อน (η) เป็น[13]

$$\eta = \frac{P_{out}}{Q_{in}}$$

เมื่อ P_{out} คือ พลังงานไฟฟ้าที่ได้ออกมา และ Q_{in} คือพลังงานความร้อนที่ให้เข้าไป และสมการของประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าของโมดูลนั้น (η) มีสมการเป็นไปตามความสัมพันธ์ของ

$$\eta = \frac{P_{out}}{Q_{in}} = \frac{T_h - T_c}{T_h} \times \frac{\left[1 + Z \left(\frac{T_c + T_h}{2}\right)\right]^{1/2} - 1}{\left[1 + Z \left(\frac{T_c + T_h}{2}\right)\right]^{1/2} + \frac{T_h}{T_c}}$$

เมื่อ P_{out} คือ the electric power output Q_{in} คือ the thermal power input T_h และ T_c คืออุณหภูมิความร้อนและเย็นตามของโมดูลลำดับและ Z คือ Figure of merit โดยประสิทธิภาพอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกจะขึ้นอยู่กับปัจจัย 2 อย่าง คือ 1) ขึ้นกับวัสดุที่เลือกใช้ว่ามีสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกดีเพียงใด และ 2) ขึ้นกับรูปแบบและรูปทรงของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่สามารถสร้างความแตกต่างความอุณหภูมิได้สูงสุด

ในงานวิจัยนี้จะมีการพัฒนาวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกให้ขึ้นด้วยเพื่อสร้างอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับผันไฟฟ้าจากความร้อนโดยประสิทธิภาพการผันพลังงานของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกนั้นจะแปรผันกับค่าประจำวัสดุโดยเรียกว่า ค่า Dimensionless of Figure of merit (ZT)[13] เป็นค่าที่ไม่มีหน่วย โดยถ้าค่า ZT ในวัสดุใดมีค่ามาก เมื่อนำมาสร้างเป็นอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกก็จะสามารถผันพลังงานได้มากด้วย สำหรับ ZT ตามทฤษฎีนั้นจะมีค่าได้ไม่จำกัด แต่ในปัจจุบันวัสดุ เทอร์โมอิเล็กทริกมีค่าอยู่ที่ ประมาณ 1 ถึง 2 สำหรับค่า ZT นั้นสามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ $ZT = \sigma S^2 T / K$ เมื่อ σ คือ ค่าสภาพความนำไฟฟ้า S คือสัมประสิทธิ์ซีเบค T คือค่าอุณหภูมิ และ K คือ ค่าสภาพนำความร้อน โดยค่า σS และ K ทั้ง 3 ค่านี้ คือค่าสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับวัสดุนั้นๆ สำหรับค่า K นั้น เป็นผลรวมของค่าสภาพนำความร้อนของพาหะนำไฟฟ้า (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 ดังนั้น

$$\text{ค่า } ZT \text{ มีความสัมพันธ์ใหม่เป็นดังนี้ } ZT = \frac{\sigma S^2 T}{K_e + K_{ph}}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าที่ขี้บ่งว่าวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกเป็นวัสดุที่มีคุณภาพดีสำหรับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก จะพิจารณาจากค่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงาน เทอร์โมอิเล็กทริก จากความร้อนเป็นไฟฟ้า หรือ ไฟฟ้าเป็นความร้อน และพบว่าประสิทธิภาพการเปลี่ยนพลังงานนั้นได้แปรผันตรงกับค่า ZT (Figure of Merit) โดยที่ค่า $ZT = \sigma S^2 T / K$ เมื่อ S คือ สัมประสิทธิ์ซีเบค, σ คือ ค่าสภาพการนำไฟฟ้า และ K คือ ค่าสภาพการนำความร้อน T คือ ค่าอุณหภูมิโดยวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีค่า ZT สูงก็จะสามารถผันพลังงานได้สูงตามไปด้วย

ความสามารถในการผันพลังงานของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถบ่งชี้ผ่านค่าสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกเรียกว่า **Dimensionless Figure of Merit** แทนด้วยตัวอักษร ZT โดยวัสดุใดมีค่า ZT สูง ก็หมายถึงการเป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกที่ดีมาก สามารถผันพลังงานระหว่างไฟฟ้าและความร้อนได้ดีมาก โดย ZT [2] มีความสัมพันธ์กันตามสมการ

$$ZT = \frac{S^2 \sigma T}{K} = \frac{S^2 \sigma T}{(K_e + K_l)}$$

เมื่อ S คือ สัมประสิทธิ์ซีเบค,

σ คือ ค่าสภาพการนำไฟฟ้า

K คือ ค่าสภาพการนำความร้อน

T คือ ค่าอุณหภูมิ

K_e คือ สภาพนำความร้อนจากพาหะนำไฟฟ้าและ

K_l คือ สภาพนำความร้อนจากการสั่น โครงผลึก(Phonon)

สำหรับค่า ZT จะแปรผันตรงกับประสิทธิภาพการผันพลังงานของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก ถ้าวัสดุใดมีค่า ZT สูง ก็หมายถึงความสามารถผันพลังงานได้สูงด้วย พิจารณาจากสมการจะเห็นได้ว่าค่า ZT จะมีค่าสูงขึ้น เมื่อวัสดุมี ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค และสภาพการนำไฟฟ้าสูง แต่ต้องมีค่าสภาพนำความร้อนต่ำมาก เมื่อพิจารณาค่า K_e ซึ่งมีความสัมพันธ์กับ σ คือ

$$K_e = L_o \sigma T$$

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

และเมื่อพิจารณาในค่า S และ σ มีความสัมพันธ์พาหะไฟฟ้าดังนี้

$$\sigma = ne\mu = ne^2 \frac{\tau}{m^*}$$

$$S = -\frac{k_B}{e} \ln\left(\frac{1-n}{n}\right)$$

- เมื่อ n คือความหนาแน่นพาหะไฟฟ้า
 e คือ ค่าประจุของอิเล็กตรอน
 μ คือ Mobility
 τ คือ relaxation time
 m^* คือ effective mass

จากความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ทั้ง 3 ตัว จะเห็นได้ว่า S , σ และ Ke มีความผูกพันเชื่อมโยงไปยังค่า n ดังนั้นถ้าต้องการเพิ่ม ZT ด้วยการเลือกเพิ่ม σ ด้วยการเพิ่มจำนวนประจุไฟฟ้า (n) ก็จะส่งผลให้เกิดการลดค่า S แต่เพิ่มค่า Ke แทน หรือ ถ้าต้องการเพิ่ม ZT ด้วยการเลือกลดค่าของ Ke ลง จากการลดจำนวน n ก็จะส่งผลต่อการลดค่าของ σ ด้วย ดังนั้นการจัดการกับ ZT ด้วยค่า n จึงเป็นเรื่องยุ่งยากลำบากมาก

เมื่อพิจารณาจากความสัมพันธ์สามารถเขียนความสัมพันธ์ ZT ได้ใหม่เป็น

$$ZT = \left[\frac{S^2}{Lo} \right] \left[\frac{1}{1 + \frac{K_l}{K_e}} \right]$$

จากสมการจะเห็นได้ว่าการเพิ่มค่า ZT นั้นสามารถทำได้ด้วยการปรับปรุงให้วัสดุมีค่า S สูงๆ และให้ค่า K_l/K_e มีค่าน้อยกว่า 1 มากๆ เมื่อพิจารณาค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค (S) ที่สัมพันธ์กับ σ มีความสัมพันธ์ดังนี้

$$S = \left(\frac{\pi^2 T k_B^2}{3 e} \right) \left\{ \frac{d[\ln \sigma(E)]}{dE} \right\}_{E=E_f}$$

จากสมการจะเห็นได้ว่าค่า S นั้นสามารถจัดการผ่านเทอม $\frac{d \ln \sigma(E)}{dE}$ ที่สามารถเขียนได้ในเทอมของ $\frac{dn(E)}{dE}$ โดยเทอม $\left(\frac{dn(E)}{dE} \right)$ ก็สามารทำให้มีค่าสูงขึ้นผ่าน Density of States (DOS) ผ่านสมการ $\left(\frac{dg(E)}{dE} \right)$ ซึ่งจะมีค่าสูงขึ้นด้วยการจัดการผ่าน DOS ของวัสดุ โดยการทำให้มิติของวัสดุต่ำลง ซึ่งจะมีผลให้ DOS แบนและคมขึ้น ซึ่งจะเกิดได้ในวัสดุแบบ Nano-Structure เช่น Nano-powder, Nano-tube, Nano-wire, Nano-dot และจัดการ $\frac{d \ln \sigma(E)}{dE}$ ผ่านเทอมที่สองคือ $\left(\frac{d\mu(E)}{dE} \right)$ ที่สามารถทำให้ค่าสูงขึ้นผ่านค่า $\frac{d\tau(E)}{dE}$ โดยการ Scattering electron ซึ่งจะมีค่ามากในวัสดุ Semiconductor ในทำนองเดียวกันค่าการนำไฟฟ้าก็สามารถดึงให้สูงขึ้นผ่านค่า DOS และ Mobility ซึ่งสามารถดึงให้สูงขึ้นได้ทั้งค่า ซีเบคและค่าสภาพนำไฟฟ้า

จากเหตุผลข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า การพัฒนาวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกด้วยการเพิ่มค่า ZT สามารถทำได้ด้วยการ เลือกวัสดุที่มีค่า n มาก ในระดับ 10^{-19} ถึง 10^{-22} cm^{-1} ซึ่งจะส่งผลให้ค่า σ สูงมากๆ แต่ก็

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่งผลให้ค่า S ลดลง แต่ก็สามารถ คึงสูงขึ้นได้โดยการจัดการให้วัสดุที่ n สูง มี DOS कम ผ่านวัสดุมิติต่ำ โดยการเตรียมหรือสังเคราะห์ให้วัสดุมีขนาดระดับนาโน เช่น Nano-powder, Nano-tube, Nano-wire, Nano-dot แต่สำหรับการจัดการให้เทอม K_l/K_c มีค่าน้อยกว่า 1 มากๆ ทำได้โดยการจัดการให้ K_l มีค่าน้อยมาก ดังนี้

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ของ K_l ตามความสัมพันธ์ของ callaway [4] เป็นดังนี้

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

เมื่อ k_B คือ the Boltzmann's constant

v_s 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_l จะเห็นได้ว่าจะเกี่ยวข้องกับค่าคงที่เป็นส่วนใหญ่ ดังนั้นค่าที่สามารถจัดการให้ K_l ต่ำลงได้คือ ค่า τ_c , v_s , ω โดยค่าของ relaxation times สามารถเขียนได้ในสมการของ combination relaxation time (τ_c) ดังนี้

$$\frac{1}{\tau_c} = \frac{v}{L} + A\omega^4 + B\omega^2 T \exp\left(-\frac{\theta_D}{3T}\right) + \frac{1}{\tau_o} \exp\left[-\frac{(\omega - \omega_o)}{\omega_b^2}\right]$$

เมื่อ ω คือ ความถี่โฟนอน v คือ ความเร็วเสียง และ L คือ boundary length

โดยเทอมแรกของสมการคือ the grain boundary เทอมที่สอง คือ the point defect เทอมที่สาม คือ the phonon-phonon Umklapp processes และ เทอมที่สี่ คือ the coupled mode

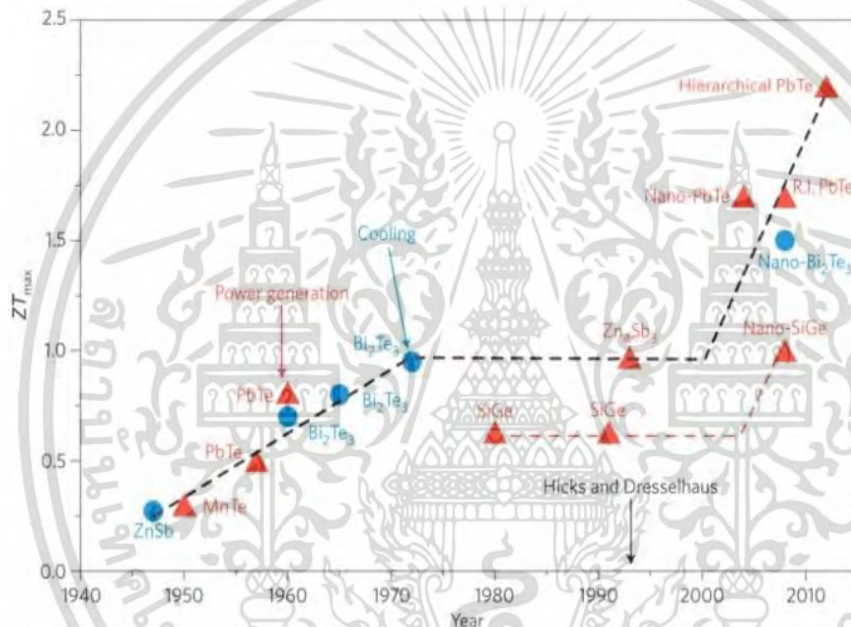
จากสมการสามารถสรุปได้ว่าการจัดการให้ τ_c มีค่าน้อยลงได้ผ่าน 3 วิธีคือ

- 1) ผ่านเทอม the grain boundary โดยการทำให้วัสดุมีโครงสร้างขนาดเกรนแบบ nano-grain size (L)
- 2) ผ่านเทอม the point defect โดยการทำให้วัสดุเกิดโครงสร้าง vacancy หรือ point defect ซึ่งจะเกิด disorder ของโครงผลึก ช่วยลด phonon diffusion
- 3) ผ่านเทอม the phonon-phonon Umklapp and the term of the coupled mode {โครงสร้างที่ซับซ้อน หรือแบบกรนงก}

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่าค่า K , จะสัมพันธ์กับขนาดในโครงสร้างเช่น grain boundary, grain size impurity, Super lattice composite, hetero-structure, porosity, dimensional structure ในวัสดุ ซึ่งถ้าจัดการให้มีขนาดระดับนาโน (Nano) ได้ เช่น Nano grain boundary, Nano grain size, Nano impurity, Nano-Super lattice composite, Nano hetero-structure, Nano porosity, low-dimensional structure ก็จะทำการรวมของสภาพนำความร้อนต่ำได้

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการพัฒนาให้ได้วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีสมบัติเชื่อมโยงได้ต้องเป็นแบบ Nano- Structure ดังมีผลการงานวิจัยที่รวบรวมแสดงในรูปที่ 2.3



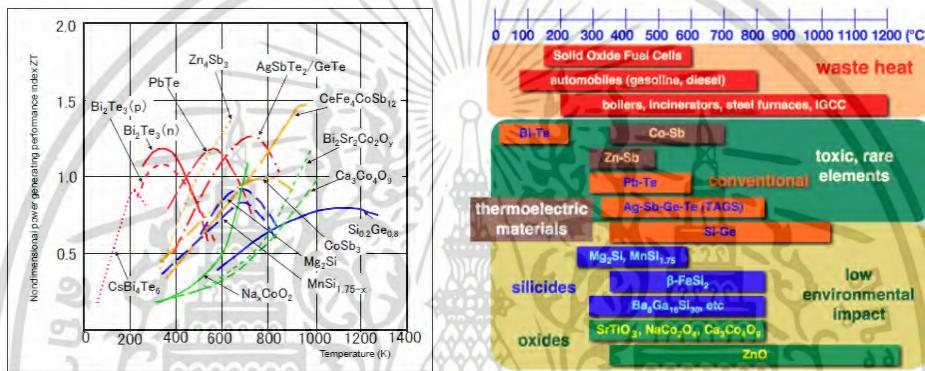
รูปที่ 2.3 ค่า ZT ของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก ที่เพิ่มขึ้นตามโครงสร้างแบบนาโน [5]

ในปัจจุบันวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกที่ให้ค่า ZT สูงนั้น เป็นที่รู้จักดีก็คือสารประกอบ Bi_2Te_3 [14] โดยมีค่าสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริกค่า S ประมาณ $200 \mu\text{V/K}$ ค่า σ ประมาณ 50 ถึง $100 \times 10^3 \text{ S/m}$ และค่า K ประมาณ 1.5 W/mK ที่อุณหภูมิ 300 K (อุณหภูมิห้อง) เมื่อคำนวณเป็นค่า ZT จะมีค่าที่สูงสุดประมาณ 1 ที่อุณหภูมิ 300 K (อุณหภูมิห้อง) ดังแสดงในรูปที่ 2.4 จากนั้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ค่า ZT ของ Bi_2Te_3 ก็จะตกลงเรื่อยๆ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์เพื่อผันเป็นพลังงานไฟฟ้าที่อุณหภูมิเกิน 300 K (อุณหภูมิห้อง) ได้ แต่ในความเป็นจริงนั้น ความร้อนที่เหลือทิ้งจากกิจกรรมมนุษย์ที่จะนำมาผันเป็นไฟฟ้า มักมีอุณหภูมิเกิน 300 K (อุณหภูมิห้อง) ซึ่งอาจจะสูงถึง 1000 K (727°C) ดังนั้นสารประกอบ Bi_2Te_3 จึงไม่เหมาะสมที่จะมาประดิษฐ์เป็นอุปกรณ์สำหรับผันไฟฟ้าจากความร้อน (Thermoelectric generator)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

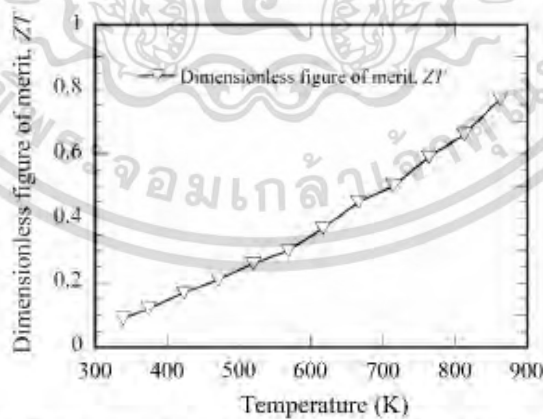
โดยเฉพาะความร้อนที่เหลือทิ้งจากกิจกรรมมนุษย์ และยังมีอุปสรรคด้านราคาของ Bi_2Te_3 ที่มีราคาแพงมากด้วย ซึ่งไม่สามารถนำมาผลิตขนาดใหญ่ได้

ปัจจุบันมีรายงานว่าสารประกอบ Mg_2Si [15] มีศักยภาพสูงมากสำหรับเป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก โดยมีค่า ZT อยู่ที่ 0.6 ถึง 1.0 ที่อุณหภูมิ 600 C โดยช่วงทำงานของสารประกอบดังกล่าวอยู่ที่อุณหภูมิ 200 °C ถึง 800 °C มีสภาพการนำไฟฟ้าเป็นชนิด n-type T. Nemoto และคณะ [15] ได้รายงานสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริกในช่วงอุณหภูมิ 300 ถึง 850 K แต่มีสารประกอบอีกชนิดที่น่าสนใจคือ Mg_2Si ที่มีศักยภาพการเป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก มีช่วงการทำงานที่ อุณหภูมิ 200 ถึง 600 °C เป็นสารประกอบที่ไม่เป็นพิษ และราคาก็ไม่แพงด้วย



รูปที่ 2.4 ค่า ZT ของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกและวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกประเภทต่างๆ

มีรายงานว่ามีการนำสารประกอบ Mg_2Si มาสร้างผลึกเป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก โดยได้ค่า ZT สูงมาก ดังในรูป ซึ่งมีค่าการผันพลังงานที่สูงมาก



รูปที่ 2.5 ค่า ZT ของ Mg_2Si [15]

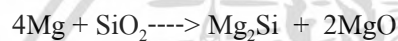
โดยปกติการสร้างโมดูลของเทอร์โมอิเล็กทริกนั้นจะต้องใช้วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 2 ชนิด มาประกอบกันชนิด n-type และชนิด p-type แต่ในปัจจุบันนั้นการพัฒนาเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลนั้น มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษา วิจัย พัฒนา เป็น โมดูลที่ใช้สารประกอบเพียงชนิดเดียว อาจเป็น n-type หรือ p-type เพียงอย่างเดียว แต่ในไม่กี่ปีที่ผ่านมา Nemoto และคณะ[15]ได้ทำการประดิษฐ์โมดูลของเทอร์โมอิเล็กทริก แบบชนิดเดียว (Uni-type) จากสารประกอบ Mg_2Si ชนิด n-type โดยการประดิษฐ์โมดูลของเทอร์โมอิเล็กทริกแบบดังกล่าวนี้ จะลดปัญหาการขยายตัวทางความร้อนที่ไม่เท่ากันของ ขา n และ p และลดปัญหาการหาวัสดุที่ไม่เท่ากันทางด้านค่า สภาพนำไฟฟ้าและซีเบค และ สภาพนำความร้อน ซึ่งมีผลด้านการลดประสิทธิภาพการผันไฟฟ้าของอุปกรณ์

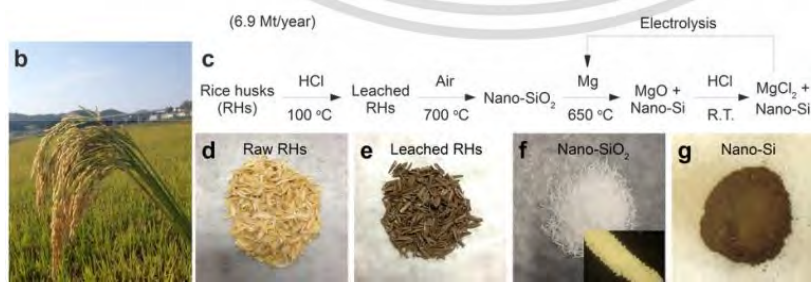
การสังเคราะห์ Mg_2Si

ในการสังเคราะห์สารประกอบ Mg_2Si นั้น สามารถเตรียมได้จากสร้างตั้งต้น Mg กับ Si หรือ SiO_2 ดังสมการเคมี



ซึ่งการสังเคราะห์จะต้องเผาในเตาที่ปลอดออกซิเจนและในบรรยากาศของก๊าซเฉื่อยเช่น ไนโตรเจน อาร์กอน โดยการเตรียมในเตาแบบ Quartz tube vacuum furnace และเมื่อเตรียมเสร็จแล้วก็นำไปขึ้นรูปด้วยวิธี Hot pressing sintering) ทั้งระบบ Quartz tube vacuum furnace และระบบ Hot pressing sintering ได้จัดเตรียมในห้องปฏิบัติการของผู้ขอทุนเรียบร้อยแล้ว จึงสามารถเตรียมสารประกอบดังกล่าวได้แล้ว(

สำหรับการเตรียมสารประกอบ Mg_2Si ต้องใช้สารตั้งต้น Mg ทำปฏิกิริยากับ Si หรือ SiO_2 โดยราคาของ Mg นั้นมีราคาค่อนข้างถูกมากๆ ซึ่งสามารถหาซื้อได้ในประเทศ แต่สาร Si และ SiO_2 มีราคาที่สูงมาก ยิ่งมีความบริสุทธิ์มากก็แพงมากจึงผลทำให้ต้นทุนของ โมดูลและอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก Mg_2Si ที่ผลิตขึ้นมีราคาแพงมากโดยถ้าสั่งซื้อจาก อเมริกา หรือ ญี่ปุ่นจะมีราคาต่อ 1 โมดูล ประมาณ 5000 บาท แต่อย่างไรก็ตามนับว่าโชคดีมากที่ประเทศไทยมีเกลือข้าวซึ่งได้จากการเพาะปลูกข้าว และหาได้ง่าย ราคาถูก เพราะเป็นเศษวัสดุที่เหลือทิ้งหาได้จากโรงสีข้าวทั่วไป หรือเถ้าแกลบจากโรงไฟฟ้า หรือถ้าซื้อก็ถูกมากซึ่งสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุสังเคราะห์ได้ทั้ง Si และ SiO_2 ดังแสดงขั้นตอนตามรูป[17]นี้



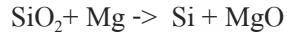
รูปที่ 2.6 กระบวนการสังเคราะห์ สารตั้งต้น Si และ SiO_2 จากแกลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

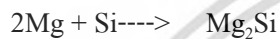
เหตุผลที่ต้องสกัด Si หรือ SiO₂ จากแกลบเพราะในแกลบที่ผ่านการเผาที่ 650 °C มีองค์ประกอบของ SiO₂ สูงมาก ถึง 99% ส่วนที่เหลือ จะเป็น Al₂O₃, Fe₂O₃, CaO และ K₂O ซึ่งสามารถนำแกลบเผาที่มี SiO₂ บริสุทธิ์ ถึง 99% มาสังเคราะห์ Mg₂Si ได้เลย ตามสมการ



จากนั้นก็กำจัด MgO ด้วยสารละลายกรดหรือเบส หรือสามารถนำ SiO₂ มาสังเคราะห์เป็น Si ก่อน ได้ตามปฏิกิริยา



แล้วกำจัด MgO ด้วยกรด HCl จะได้ Si บริสุทธิ์ จากนั้นนำไปสังเคราะห์ Mg₂Si ได้ ตามสมการ:



จะเห็นได้ว่า การวิจัยและพัฒนาการสังเคราะห์สารประกอบ Mg₂Si เพื่อใช้สำหรับเป็นวัสดุเทอร์โม-อิเล็กทริก รวมทั้งการสังเคราะห์สารตั้งต้นจากแกลบข้าว ทั้ง Si มีความเป็นได้สูงและเหมาะสมกับประเทศไทยที่มีแกลบข้าวเหลือทิ้งเป็นจำนวนมากจึงนับว่าเป็นสิ่งที่มีคุณค่ายิ่ง เนื่องจากการนำแกลบซึ่งเป็นผลพลิตเหลือทิ้ง หรือ ขี้เถ้าแกลบจากโรงไฟฟ้ามาใช้สังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งสามารถเปลี่ยนความร้อนที่สูญเสียกลับมาเป็นพลังงานไฟฟ้าที่มีมูลค่าได้เป็นอย่างดี

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจสังเคราะห์สารประกอบ Mg₂Si โครงสร้างนาโนจากสารตั้งต้น Si จากแกลบข้าวมาสร้างต้นแบบ โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก

บทที่ 3

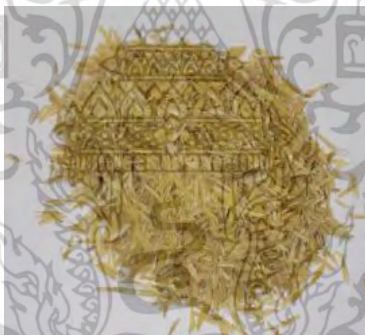
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การเตรียม SiO_2 จากแกลบข้าว

ในการเตรียม SiO_2 จากแกลบหรือเถ้าแกลบที่มีลักษณะสีขาวมีขั้นตอนการเตรียมและการวิเคราะห์ ออกเป็น 3 ส่วนดังนี้

3.1.1 การเตรียมแกลบ

เริ่มด้วยการนำแกลบมาคัดแยกเศษใบไม้ กิ่งไม้ เมล็ดข้าว กระจวด หรือสิ่งปลอมปนอื่นๆ ที่ติดมาด้วย เมื่อเสร็จแล้วแบ่งแกลบมา 100 g มาล้างในน้ำกลั่น 2 L (3 ครั้ง) เพื่อขจัดสิ่งสกปรกอื่นๆ แล้วนำไปอบแห้งในเตาอบแล้วนำไปเก็บในภาชนะที่ปิดมิดชิด และทำการวิเคราะห์ลักษณะทางกายภาพและน้ำหนักที่หายไปของแกลบ (TGA/DTA) ในช่วงอุณหภูมิตั้งแต่ 30-700 °C



รูปที่ 3.1 แกลบก่อนการเผา

3.1.2 การล้างแกลบด้วยกรด ไฮโดรคลอริก

เริ่มแรกเตรียมสารละลายกรดไฮโดรคลอริก (HCl) เข้มข้น 10 เปอร์เซ็นต์ ปริมาตร 600 มิลลิลิตร สำหรับ แกลบจำนวน 30 g เป็นเวลา 120 นาที ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส เสร็จแล้วนำแกลบมาล้างด้วยน้ำกลั่น (ประมาณ 3-4 ครั้ง) จนมีสภาพเป็นกลาง PH = 7 แล้วนำไปอบด้วยไมโครเวฟ 800 วัตต์ 10 นาที เพื่อไล่ความชื้น



รูปที่ 3.2 อุปกรณ์สำหรับการล้างแกลบด้วยสารละลายกรดไฮโดรคลอริก

3.1.3 การเผาแกลบ

นำแกลบแต่ละส่วนแยกใส่กระบะอะลูมินา จากนั้นนำไปเผาที่อุณหภูมิ 600 700 และ 800 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 50 นาทีในบรรยากาศปกติ หลังจากการเผาเสร็จทำการบดให้ละเอียด เพื่อวิเคราะห์โครงสร้างทางผลึกวิทยา สัณฐานวิทยาและปริมาณโลหะที่เจือปนด้วยเทคนิคการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (XRD) เทคนิคกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) และเทคนิคเอ็กซ์เรย์ฟลูออเรสเซนซ์ (XRF) ตามลำดับ ท้ายสุดนำผลที่ได้มาวิเคราะห์และเปรียบเทียบกัน



รูปที่ 3.3 แกลบในกระบะอะลูมินาก่อนการเผา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 แสดงลักษณะทางกายภาพของ เถ้าแกลบข้าว (SiO_2) ที่ถูกเผา

3.2 การเตรียม Si จาก SiO_2 จากเถ้าแกลบ

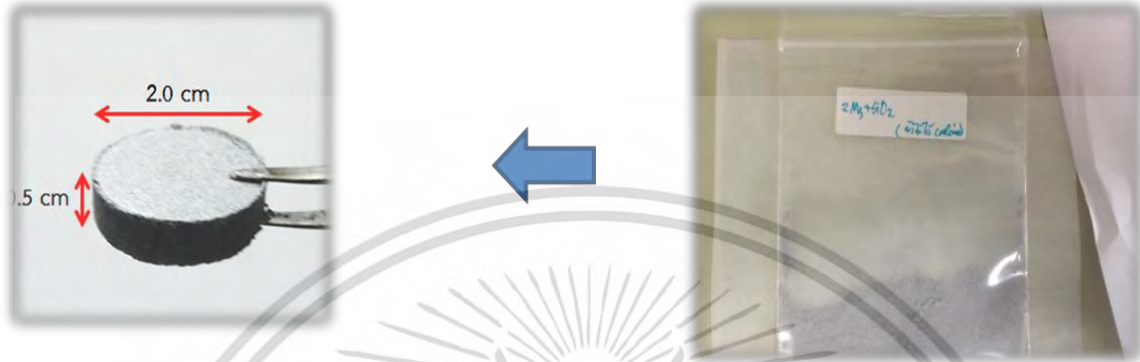
ในการเตรียม Si จาก SiO_2 ที่ได้จากเถ้าแกลบ มีขั้นตอนการเตรียมดังนี้

- 1) นำซิลิกาที่ได้จากการเผาเถ้าแกลบข้าว ที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ผสมกับแมกนีเซียมในอัตราส่วน 1 ต่อ 2.08 โดยมวล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

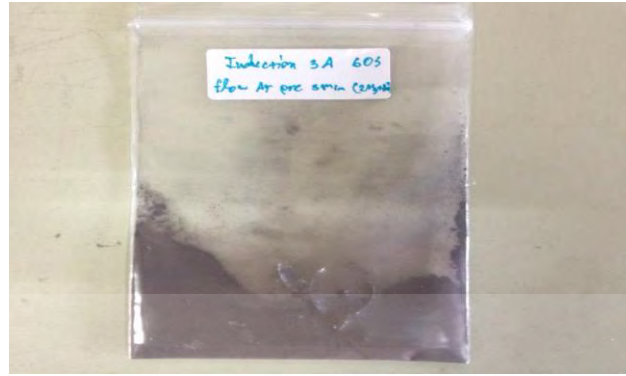
2) บดผสมซิลิกา กับ แมกนีเซียม ในครกอาเกตเป็นเวลา 30 นาที แล้วอัดเป็นเม็ด



3) ทำการสังเคราะห์ด้วยระบบเหนี่ยวนำความร้อน ในถ้วยคาร์บอนภายใต้อาร์กอน ที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส 30 วินาที จะได้ $MgO+Si$



4. ได้ผงแมกนีเซียมออกไซด์ผสมกับซิลิกอน นำมาบดให้ละเอียด



5. ทำการล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริก HCl 10% + HF 10% เป็นเวลา 120 นาที ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส



6. กรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7.อบแห้งในตู้อบ และเก็บไว้ในด้วยสุญญากาศ

8.ได้ผงซิลิกอน บดให้ละเอียดในครกอาเกตเป็นเวลา 30 นาที

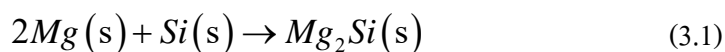
สามารถสรุปขั้นตอนได้ในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ขั้นตอนการเตรียม Si จาก SiO₂ ที่ได้จากเถ้าแกลบ

3.3 กระบวนการสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก Mg₂Si

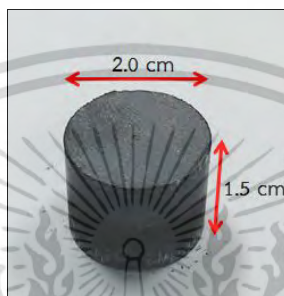
มีกระบวนการสังเคราะห์ Mg₂Si เริ่มจากนำสารตั้งต้น Mg กับ Si ทำการผสมตามสัดส่วนโมล (Stoichiometric ratio) ในเครื่องผสมสารตามสมการเคมีต่อไปนี้



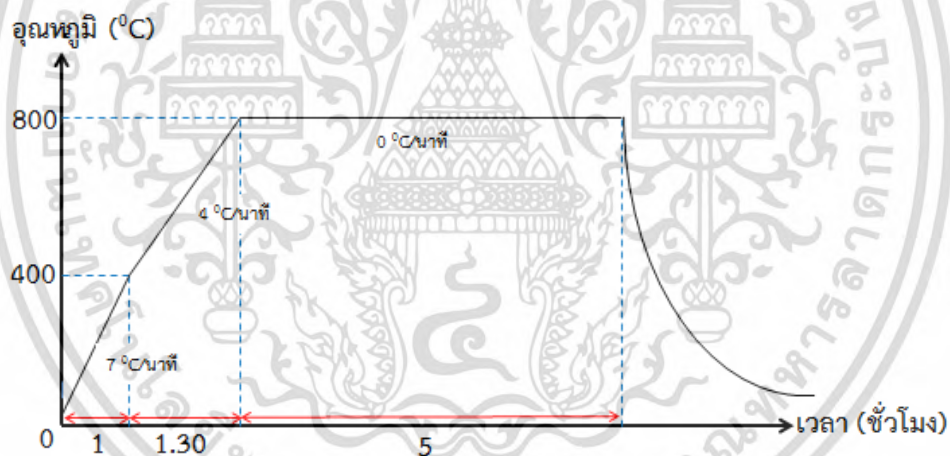
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.1 การสังเคราะห์ด้วยเตาเผาชนิดท่อควอตซ์สุญญากาศร่วมกับบรรยากาศอาร์กอน

เมื่อผสมสารตั้งต้น Mg กับ Si จนเป็นเนื้อเดียวกันแล้วก็นำมาอบในเตาอบที่อุณหภูมิ $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 12 ชั่วโมงเพื่อกำจัดความชื้น จากนั้นแบ่งสารที่ผสมและอบแล้วปริมาณ 7.5 g มาอัดขึ้นรูปในบล็อกรูปที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.0 cm ที่แรงอัด 5,000 kPa เป็นเวลา 10 นาทีจะได้เม็ดสารดังรูปที่ 3.6 เม็ดสารที่ได้จะถูกนำไปเผาในระบบ เตาเผาท่อควอตซ์สุญญากาศ ในรูปที่ 3.8

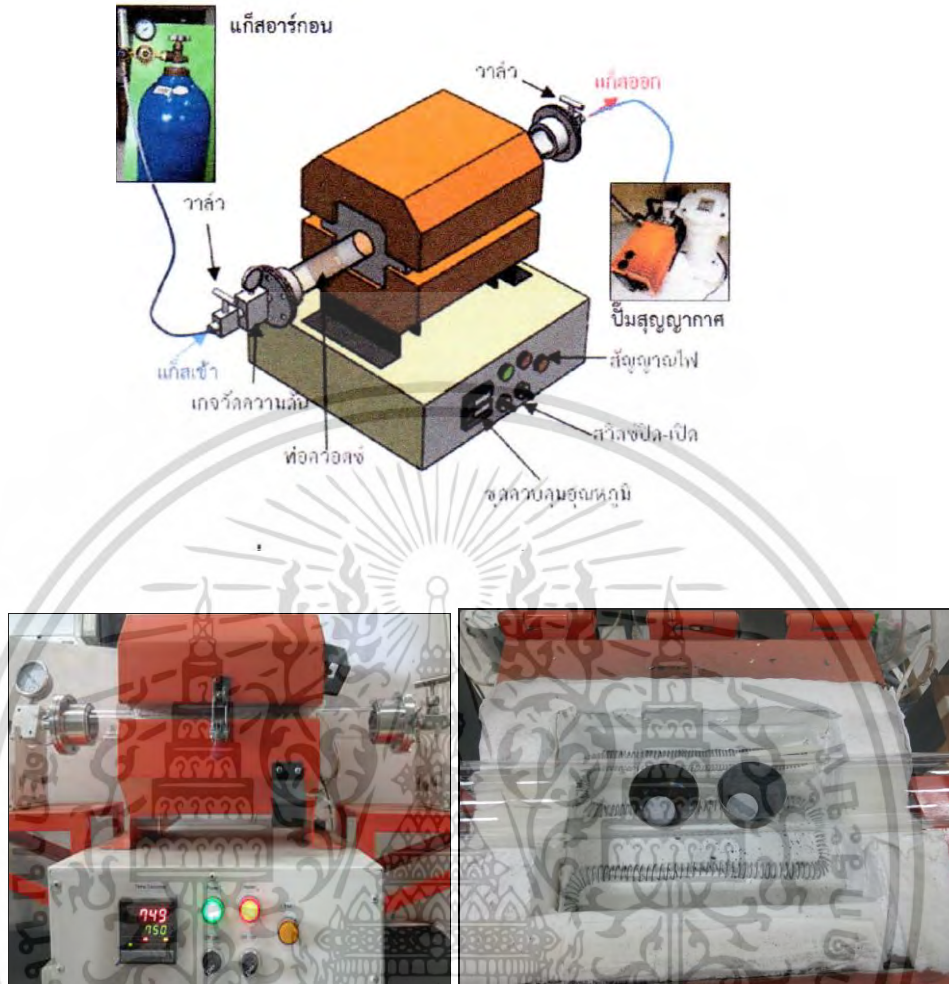


รูปที่ 3.6 เม็ดสารตั้งต้น 2Mg+Si ที่ผ่านการผสมและอัดแล้ว



รูปที่ 3.7 แผนภาพอุณหภูมิกับเวลาที่ใช้เผาเม็ดสารตั้งต้น 2Mg + Si

จากนั้น เตาเผาชนิดท่อควอตซ์สุญญากาศร่วมกับบรรยากาศอาร์กอนที่มีอัตราการไหล 0.1 L/min ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 ระบบเตาเผาห้องสุญญากาศ

สามารถสรุปขั้นตอนได้ดังรูปที่ 3.9

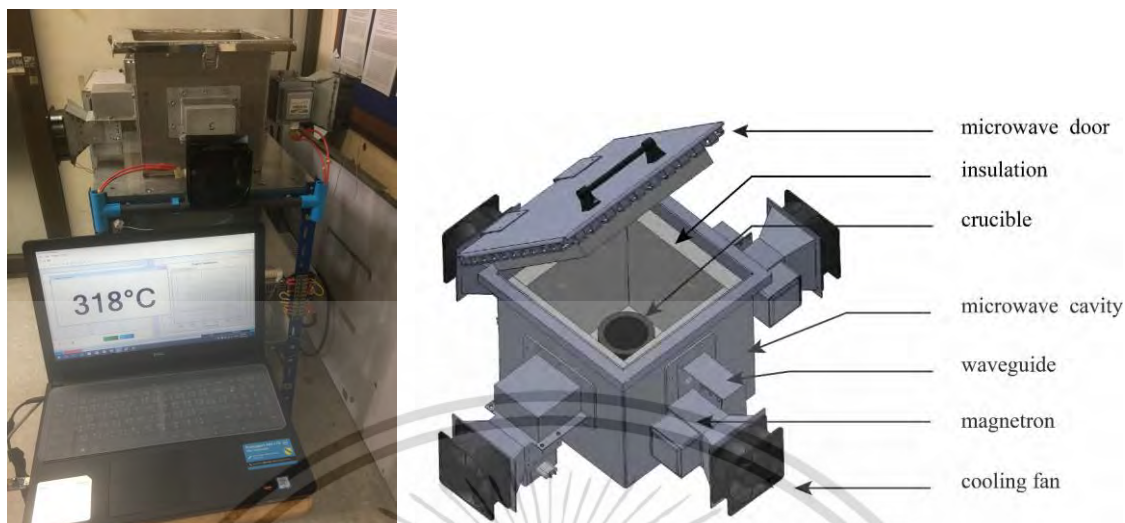
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 ขั้นตอนการเตรียม Mg₂Si

3.3.2 การสังเคราะห์ด้วยไมโครเวฟร่วมกับบรรยากาศอาร์กอน

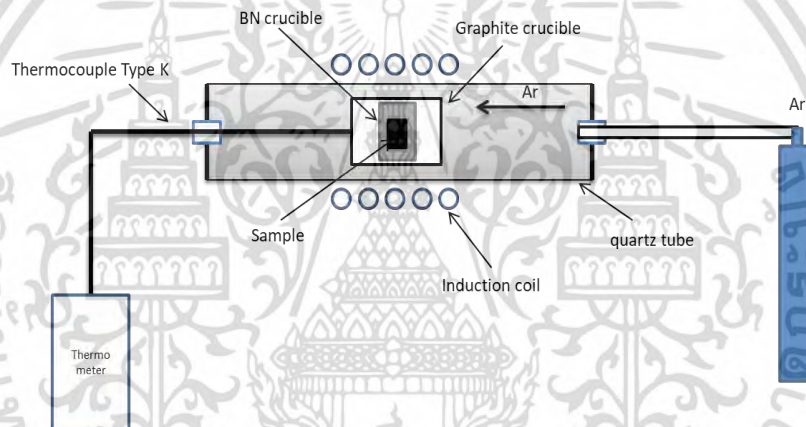
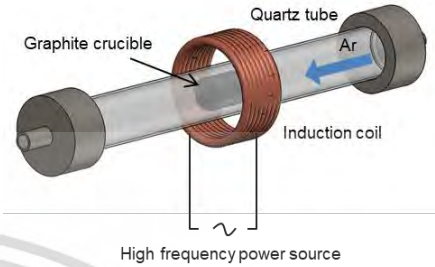
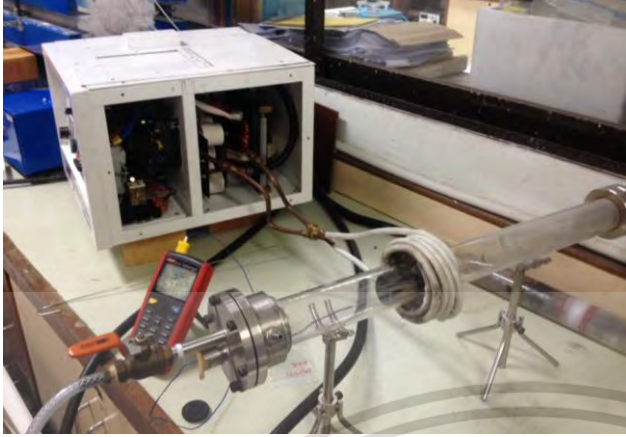
เมื่อผสมสารตั้งต้น Mg กับ Si จนเป็นเนื้อเดียวกันแล้วก็นำมาอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 100 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมงเพื่อกำจัดความชื้น จากนั้นแบ่งสารที่ผสมและอบแล้วปริมาณ 7.5 กรัม มาอัดขึ้นรูปในบล็อกรูปที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.0 cm ที่แรงอัด 5,000 kPa เป็นเวลา 10 นาทีจะได้ เม็ดสารที่ได้จะถูกนำไปเผาในระบบการสังเคราะห์ด้วยไมโครเวฟ ร่วมกับบรรยากาศอาร์กอน ในรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 ระบบการสังเคราะห์ด้วยไมโครเวฟ

3.3.3 การสังเคราะห์ด้วย magnetic Induction heat ting เผาชนิดที่อควอตซ์สุญญากาศร่วมกับบรรยากาศอาร์กอน

เมื่อผสมสารตั้งต้น Mg กับ Si จนเป็นเนื้อเดียวกันแล้วก็นำมาอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 100°C เป็นเวลา 12 ชั่วโมงเพื่อกำจัดความชื้น จากนั้นแบ่งสารที่ผสมและอบแล้วปริมาณ 7.5 g มาอัดขึ้นรูปในบล็อกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.0 cm ที่แรงอัด 5,000 kPa เป็นเวลา 10 นาทีจะได้ เม็ดสารที่ได้จะถูกนำไปเผาในระบบการสังเคราะห์ด้วย magnetic Induction heat ting เผาชนิดที่อควอตซ์สุญญากาศร่วมกับบรรยากาศอาร์กอน ในรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ระบบการสังเคราะห์ด้วย magnetic induction heat ting

3.4 การเผาซินเตอร์ Mg_2Si สำหรับวัดคุณสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริก

ในหัวข้อนี้จะเลือกวิธีการเผาซินเตอร์เม็ด Mg_2Si ในระบบ เตาแบบเหนี่ยวนำไฟฟ้าที่ทำให้เกิดความร้อนขึ้นอย่างรวดเร็ว (Quench เริ่มด้วย ผง Mg_2Si ใส่บดล็อกอัดสารที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 cm จากนั้นอัดขึ้นรูป ที่แรงกด 5,000 kPa เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำไปเผาซินเตอร์ในระบบเตาเผาให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำไฟฟ้าในบรรยากาศของแก๊สอาร์กอน ใช้อุณหภูมิบนประมาณ 600 0C แล้วนำไปวิเคราะห์สมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกคือ ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค (Seebeck coefficient) ค่าสภาพนาไฟฟ้า (Electrical conductivity) และสภาพนาความร้อน (Thermal conductivity)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

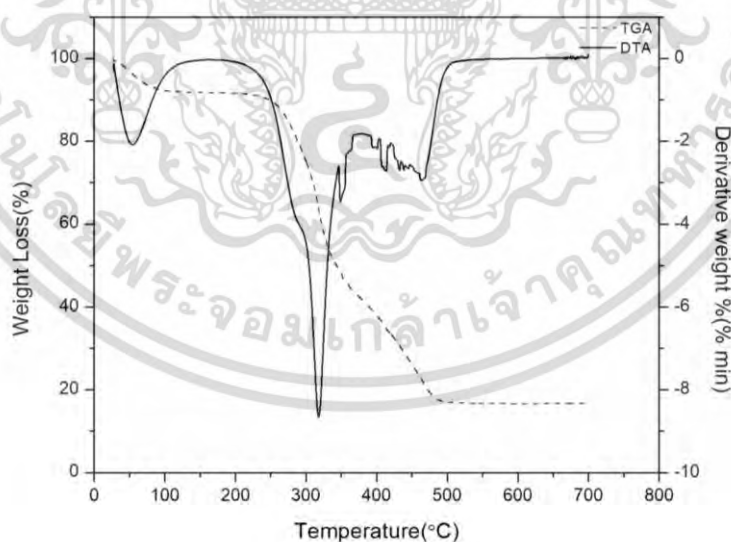
บทที่ 4

ผลการวิจัย

4.1 ผลการสังเคราะห์นาโนซิลิกาจากแกลบข้าว

4.1.1 การวิเคราะห์ TGA/DTA

สำหรับผลการวิเคราะห์แกลบข้าวด้วย TGA/DTA ที่ในช่วงอุณหภูมิระหว่าง 30 – 700 องศาเซลเซียส ในบรรยากาศก๊าซออกซิเจน ได้ผลแสดงในรูปที่ 4.1 จากรูปแกลบข้าวมีการสูญเสียน้ำหนักอยู่ 3 ส่วน โดยส่วนที่ 1 ที่อุณหภูมิ 38 -54 องศาเซลเซียสมีการสูญเสียน้ำหนัก 7.6 เปอร์เซ็นต์ เกิดขึ้นจากการระเหยของน้ำและความชื้น ส่วนที่ 2 ที่อุณหภูมิ 288 – 317 องศาเซลเซียส มีการสูญเสียน้ำหนัก 48.6 เปอร์เซ็นต์ เกิดจากการสลายตัวของสารอินทรีย์ในแกลบข้าว และส่วนที่ 3 ที่อุณหภูมิ 423 – 463 องศาเซลเซียส มีการสูญเสียน้ำหนัก 26.2 เปอร์เซ็นต์ จากกระบวนการคาร์บอนไนเซชัน และผลของน้ำหนักแกลบก่อนเผาและหลังเผาในช่วงอุณหภูมิ 600 – 800 °C แสดงในตารางที่ 1

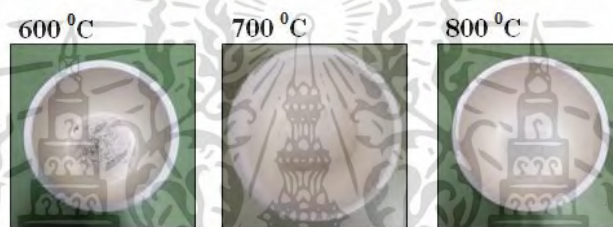


รูปที่ 4.1 TGA/DTA ของแกลบข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 แสดงน้ำหนักของแกลบก่อนเผาและหลังเผาในช่วงอุณหภูมิ 600 – 800 °C

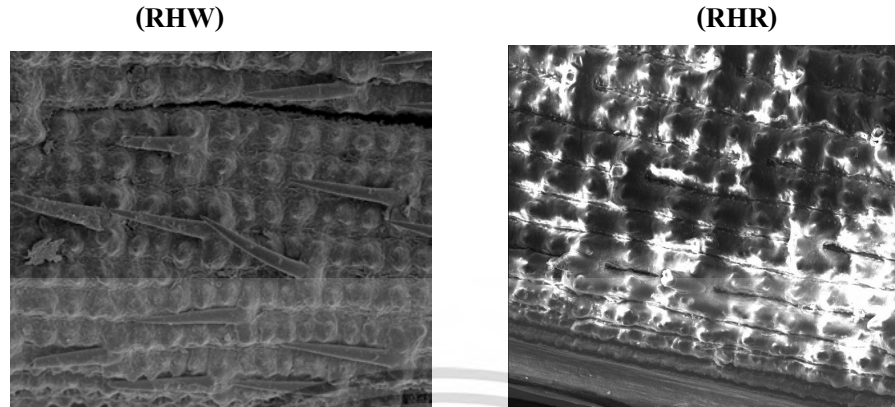
อุณหภูมิการเผา (°C)	น้ำหนัก (g)		น้ำหนักที่เหลือ (%)
	ก่อนเผา	หลังเผา	
600	10	1.86	18.6 %
700	10	1.81	18.1 %
800	10	1.78	17.8 %



รูปที่ 4.2 แสดงลักษณะทางกายภาพของแกลบข้าวที่ถูกเผาในช่วงอุณหภูมิ 600 – 800 °C

4.4.2 ผลการเปรียบเทียบการเผาแกลบข้าวที่ผ่านการล้างด้วยน้ำสะอาด (RHW) และผ่านการล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริก (RHR) เผาที่อุณหภูมิ 800 C

จากผลการเปรียบเทียบ การเผาแกลบข้าวที่ผ่านการล้างด้วยน้ำสะอาด (RHW) และผ่านการล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริก (RHR) เผาที่อุณหภูมิ 800 C จะได้ว่า การเผาแกลบก่อนด้วยกรดไฮโดรคลอริกจะได้ SiO₂ บริสุทธิ์ มากไม่มี คาร์บอน เหลือค้างเลย สันฐานผ่านด้วยเทคนิค (SEM) ในรูปที่ 4.3 ผลการตรวจสอบลักษณะทางสัณฐานวิทยาด้วยเทคนิค SEM ที่กำลังขยาย 100 เท่าจะแสดงให้เห็นถึงพื้นผิวของแกลบ RHW และ RHR จะเห็นได้ว่าแกลบ RHR จะมีลักษณะพื้นผิวที่ไม่มีหนามขนาดเล็กเกาะอยู่เหมือนกับแกลบ RHW



รูปที่ 4.3 แสดงสัณฐานวิทยา (SEM)

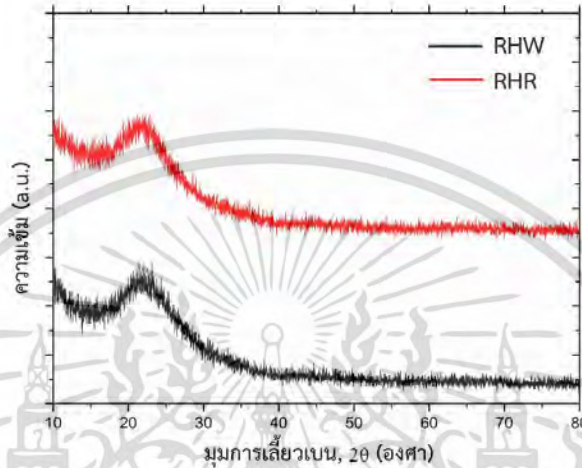
ลักษณะทางกายภาพเป็นสีขาว จากนั้นแกลบ RHW และ RHR ถูกเผาที่อุณหภูมิ 800°C เป็นเวลา 5 ชั่วโมงในบรรยากาศปกติจะได้แกลบ ถ้าหากพิจารณาให้ละเอียดแล้วจะพบว่าแกลบ RHR จะมีความขามากกว่าแกลบ RHW ในรูปที่ 4.4 ตามลำดับ



รูปที่ 4.4 แสดงลักษณะทางกายภาพของแกลบข้าวหลังจากการเผา

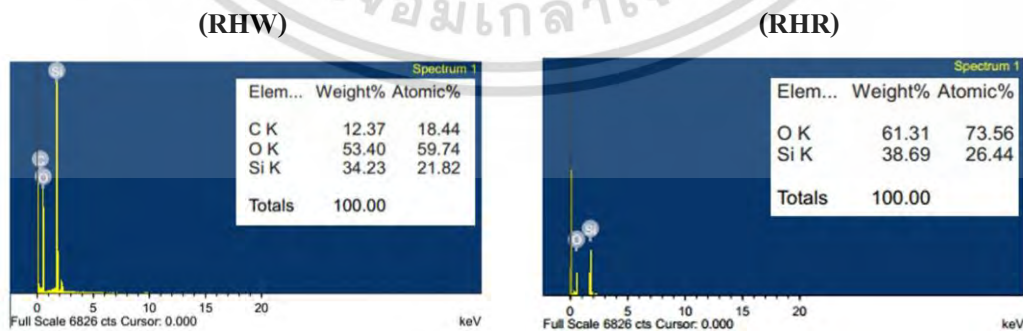
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลการวิเคราะห์เฟสและโครงสร้างทางผลึกวิทยาด้วยเทคนิค XRD ของแก้วเคลือบ RHW และ RHR ที่เผาตามเงื่อนไขที่กล่าวมาแล้วนั้น พบว่าทั้งคู่จะเกิดรูปแบบการเลี้ยวเบนแบบฐานกว้าง ซึ่งแสดงให้เห็นถึงลักษณะความเป็นโครงสร้างอสัณฐาน โดยมีตำแหน่งยอดฟิสิกการเลี้ยวเบนอยู่ที่ตำแหน่งประมาณ 22 องศา แสดงได้ตามรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 กราฟ XRD ของเคลือบข้าวที่ถูกเผา

ดังรูปที่ 4.6 ผลการตรวจสอบองค์ประกอบของธาตุด้วยเทคนิค EDX พบว่ามีปริมาณธาตุ การเผาเคลือบข้าว ที่ผ่านการล้างด้วยน้ำสะอาด (RHW) และผ่านการล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริก (RHR) เผาที่อุณหภูมิ 800 C แก้วเคลือบ RHW และ RHR ถูกนำไปวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเทคนิค XRF พบว่าแก้วเคลือบ RHR ที่ผ่านการล้างด้วยกรดก่อนเผาจะประกอบไปด้วย SiO_2 99.7% มากกว่าแก้วเคลือบ RHW ที่ผ่านการล้างด้วยน้ำกลั่น ที่ประกอบไปด้วย SiO_2 97.0% ดังนั้นแก้วเคลือบ RHR ที่ประกอบไปด้วยซิลิกาที่มีความบริสุทธิ์สูง



รูปที่ 4.6 สเปกตรัมการวิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน (EDX) ของ SiO_2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.7 แสดงผงของ SiO₂ บริสุทธิ์ ที่จากการเผาเคลือบขาว ที่ผ่านการล้างด้วยกรด ไฮโดรคลอริก (RHR) แล้ว เเผาที่อุณหภูมิ 800 C

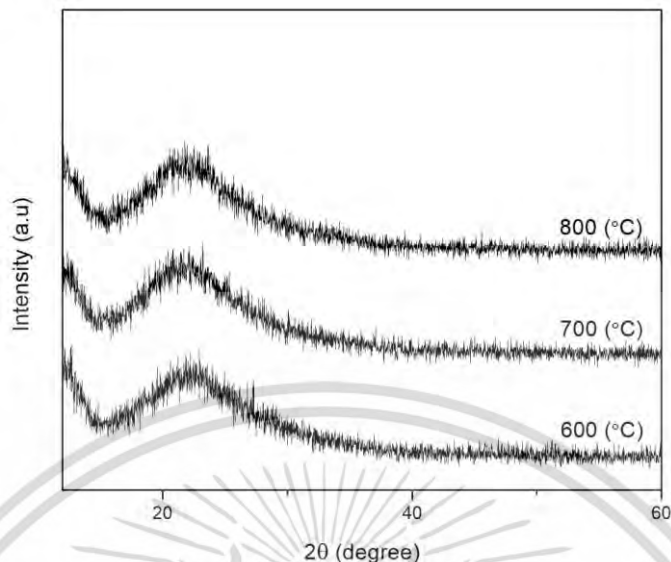


รูปที่ 4.7 ผงของ SiO₂ บริสุทธิ์ ที่จากการเผาเคลือบขาว

4.1.3 ผลการวิเคราะห์ของซิลิกา(SiO₂) จากเคลือบขาวที่ผ่านการล้างด้วยกรด ไฮโดรคลอริก

4.1.3.1 ผลการวิเคราะห์ด้วย XRD

การวิเคราะห์ด้วยเทคนิค XRD ของเคลือบที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 600,700,800 องศาเซลเซียส เวลา 50 นาที ได้แสดงในรูปที่ 4.8 จากรูปเคลือบที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 600,700,800 องศาเซลเซียส จะมีพีคฐานกว้าง ของแก้วเคลือบ ที่มุม 2 theta เท่ากับ 22 องศา ซึ่งตรงกับพีคของซิลิกา (SiO₂) จากมาตรฐานอ้างอิง JCPDS 29-0085 และจากการวิเคราะห์ crystalline size ด้วย Scherrer equation จะได้ว่าที่ 600 องศาเซลเซียส มี crystalline size เท่ากับ 38.63 นาโนเมตร ที่ 700 องศาเซลเซียส crystalline size เท่ากับ 45.42 นาโนเมตร และที่ 800 องศาเซลเซียส crystalline size เท่ากับ 46.21 นาโนเมตร แสดงว่าอุณหภูมิมีผลต่อขนาดของ crystalline size ของซิลิกา (SiO₂) จากเคลือบขาว

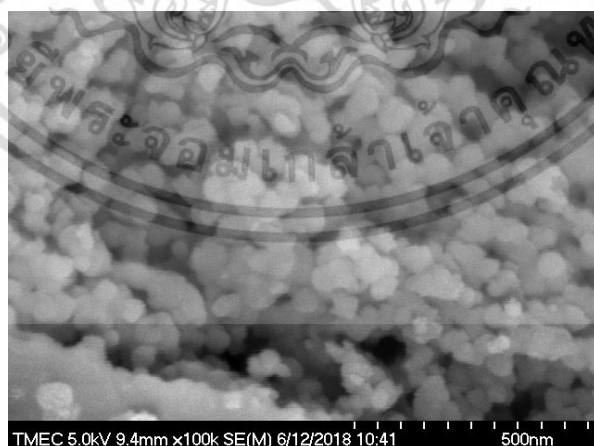


รูปที่ 4.8 กราฟ XRD ของแป้งข้าวที่ถูกเผา

4.1.3.2 ผลการวิเคราะห์ SEM

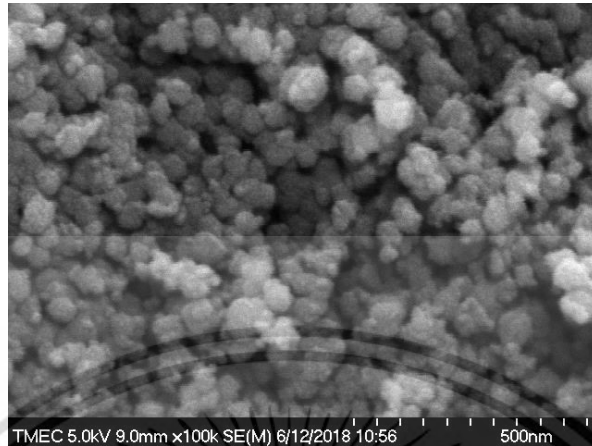
การวิเคราะห์ SEM ของซิลิกา ของเส้นแป้งที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 600 700 และ 800 องศาเซลเซียส เพื่อต้องการทราบความแตกต่างทางกายภาพของเส้นแป้งที่เผาอุณหภูมิต่างกัน เพื่อที่จะเป็นเกณฑ์ในการเลือกเงื่อนไขที่ต้องการในการนำไปสกัดเป็นซิลิกอน ซึ่งต้องการวัตถุดิบที่มีขนาดเล็กระดับนาโนจะดีกว่า ที่การเผา 600 องศาเซลเซียส 50 นาที นั้นเป็นเงื่อนไขที่ดี เนื่องจากมีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคสม่ำเสมอ และมีขนาดเล็กกว่าเงื่อนไขอื่น และยังใช้พลังงานต่ำกว่า ดังในรูปที่ 4.9

เผา 600 องศาเซลเซียส



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เผา 700 องศาเซลเซียส



เผา 800 องศาเซลเซียส

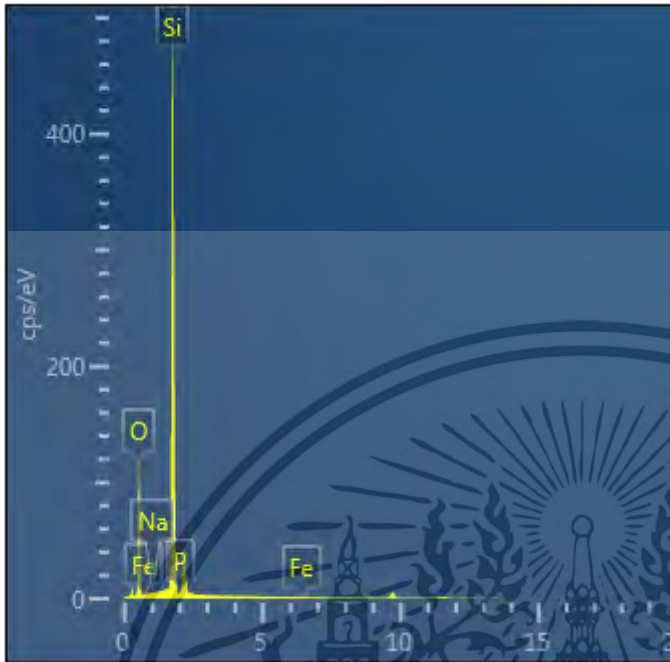


รูปที่ 4.9 ซิลิกา จากแกลบข้าวที่ผ่านการเผา 600,700,800 °C

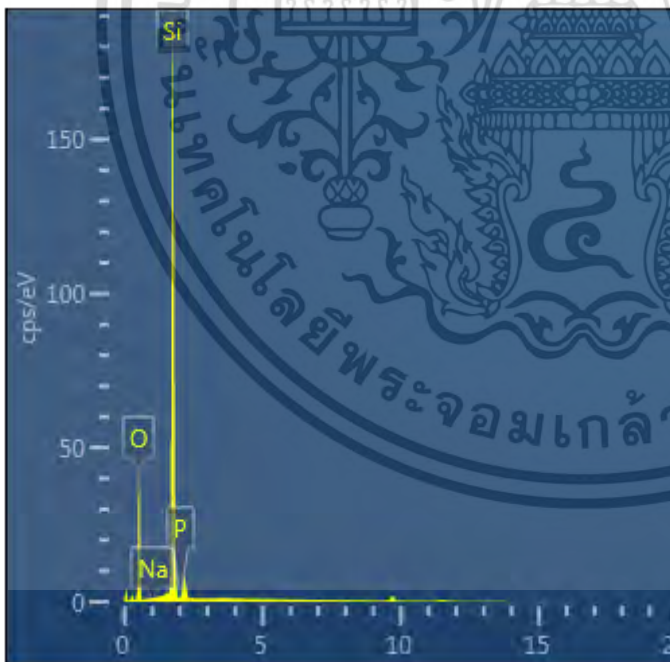
4.1.3.4 ผลการวิเคราะห์ EDX ของซิลิกา(SiO_2) จากแกลบข้าว

จากผลการวัด EDX พบว่า ของแฉ่ำแกลบที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 600 700 และ 800 องศาเซลเซียส จะได้ว่าที่การเผา 600 องศาเซลเซียส 50 นาที นั้นเป็นเงื่อนไขที่ดี เนื่องจากมีการกระจายตัวของขนาดอนุภาคสม่ำเสมอ และมีขนาดเล็กกว่าเงื่อนไขอื่น และยังใช้พลังงานต่ำกว่า จากผลการวัด EDX พบว่า องค์ประกอบหลักที่พบเป็น Si และ O มากกว่า 99.95 เปอร์เซ็นต์ ในรูปที่ 4.10

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

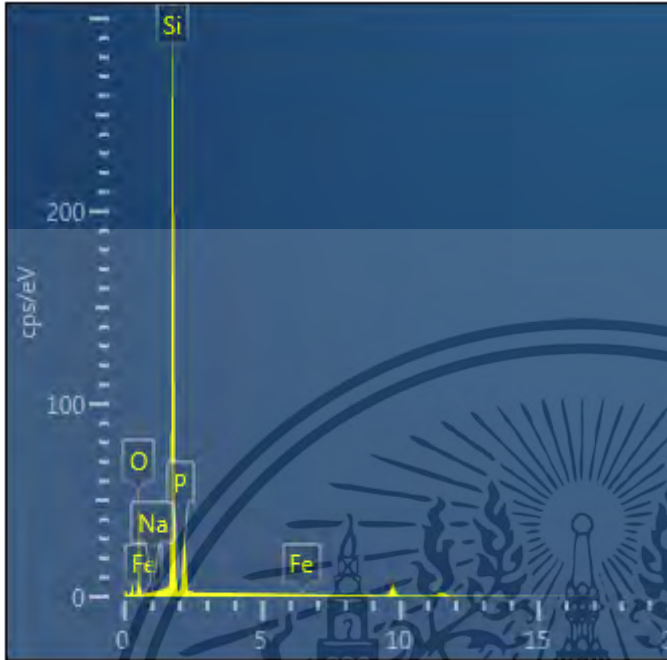
1) SiO₂ จากแถบข่าว ที่ 600 องศาเซลเซียส

Element	Wt%	Atomic %
O	53.23	66.66
Na	0.00	0.00
Si	46.71	33.32
P	0.00	0.00
Fe	0.05	0.02
Total:	100.00	100.00

2) SiO₂ จากแถบข่าว ที่ 700 องศาเซลเซียส

Element	Wt%	Atomic %
O	53.26	66.67
Na	0.00	0.00
Si	46.74	33.33
P	0.00	0.00
Total:	100.00	100.00

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) SiO₂ จากแกลบข้าว ที่ 800 องศาเซลเซียส

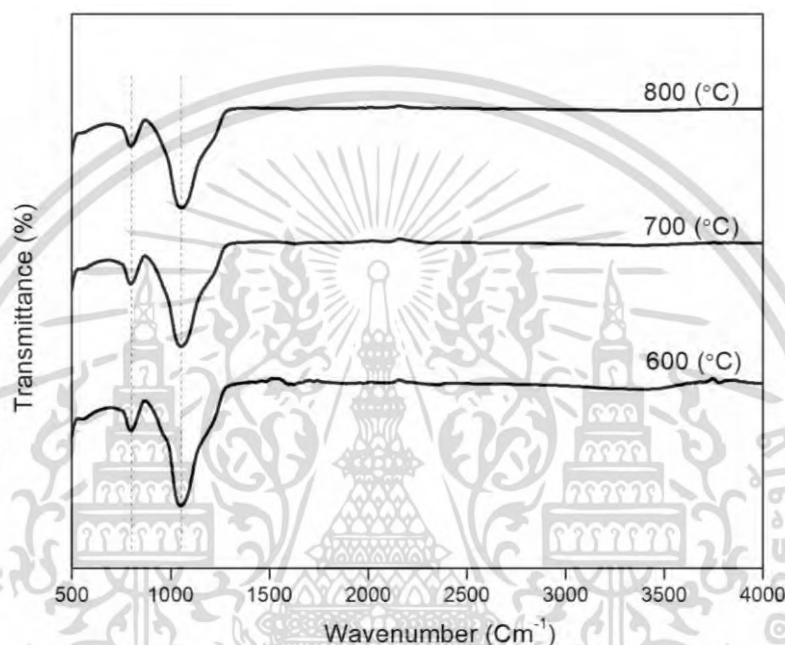
Element	Wt%	Atomic %
O	53.22	66.66
Na	0.00	0.00
Si	46.69	33.31
P	0.00	0.00
Fe	0.09	0.03
Total:	100.00	100.00

รูปที่ 4.10. สเปกตรัมการวิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน (EDX) ของ SiO₂

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3.5 ผลการวิเคราะห์ FTIR ของซิลิกา(SiO_2) จากแกลบข้าว

จากการวิเคราะห์ FTIR ของซิลิกา(SiO_2) จากแกลบข้าว สามารถยืนยันได้ว่า SiO_2 จากแกลบข้าว จาก peaks 1056-1078 cm^{-1} และ 790-800 cm^{-1} โดยมี bending vibration models เป็น O-Si-O และ Si-O ตามลำดับ ในรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 FTIR ของซิลิกา(SiO_2) จากแกลบข้าว

4.1.3.6 ผลการวิเคราะห์ XRF ของซิลิกา (SiO_2) จากแกลบข้าว

ผลการวิเคราะห์ XRF ของ SiO_2 จาก แกลบที่ผ่านการเผา 600,700,800 °C ได้ว่าอุณหภูมิไม่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณ โลหะปนเปื้อน ซึ่งความบริสุทธิ์ของแกลบที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 600 700 และ 800 องศาเซลเซียส เท่ากับ 99.2 เปอร์เซ็นต์

ตารางที่ 2. XRF เถ้าแกลบที่ผ่านการเผา 600,700,800 °C

Element	At 600 °C (Wt%)	At 700 °C (Wt%)	At 800 °C (Wt%)
SiO ₂	99.2	99.2	99.2
K ₂ O	0.0440	0.0437	0.0316
Al ₂ O ₃	-	0.253	-
Fe ₂ O ₃	0.0966	0.0901	0.0814
P ₂ O ₅	-	0.0178	-
CaO	0.0552	0.0639	0.0426
Au	-	0.0632	0.0643
WO ₃	0.0611	0.0954	0.0847
CuO	0.107	0.115	0.104
Cr ₂ O ₃	-	-	0.0651

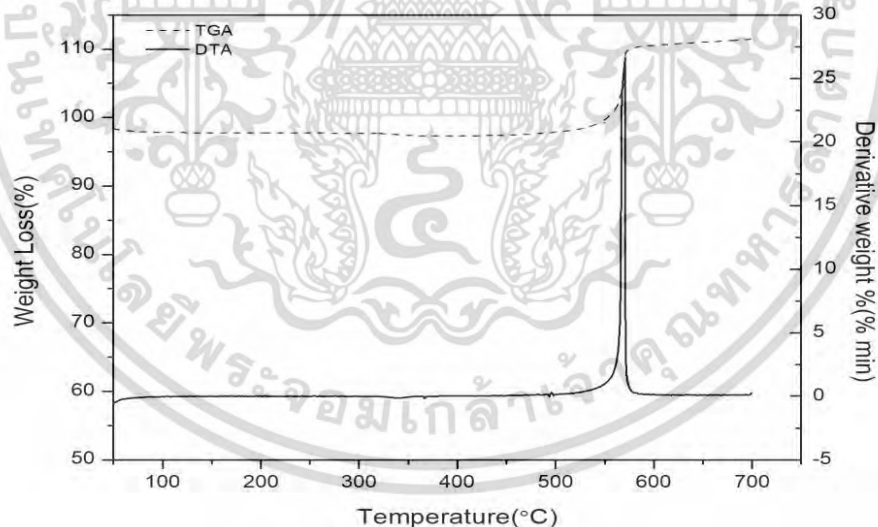
จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่า ถ้าใช้อุณหภูมิในการสังเคราะห์สูงขึ้น จะมีผลต่อขนาดผลึก แต่ไม่ส่งผลต่อค่าความบริสุทธิ์ของซิลิกา โดย ที่ 600 องศาเซลเซียส ที่ได้ crystalline size ขนาด 38.63 นาโนเมตร

4.2 การสังเคราะห์นาโนซิลิกอน (Nano-Si) จากแกลบข้าว

สำหรับสังเคราะห์นาโนซิลิกอน โดยใช้ซิลิกาจากแกลบข้าวที่ผ่านการล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริก เเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส ตามสมการปฏิกิริยาเคมี $\text{SiO}_2 + 2\text{Mg} \rightarrow \text{Si} + 2\text{MgO}$

4.2.1 การวิเคราะห์ TGA/DTA ของ $2\text{Mg} + \text{SiO}_2$

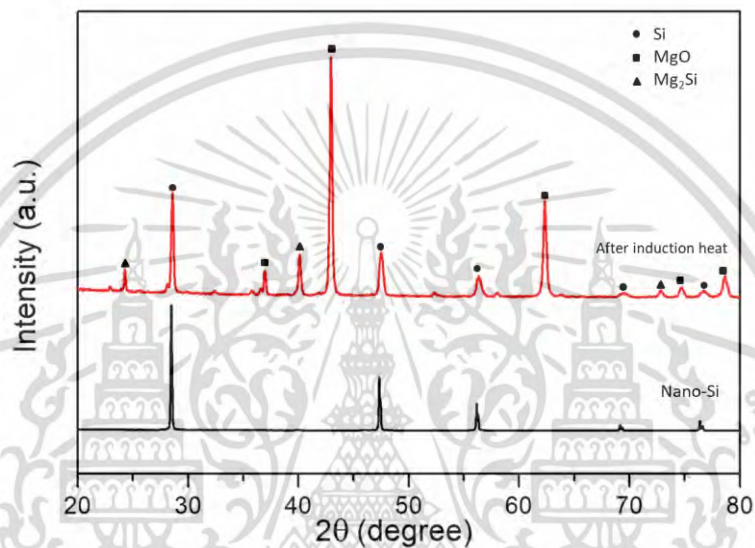
จากรูปที่ 4.12 TGA/DTA ของ $2\text{Mg} + \text{SiO}_2$ จะเห็นว่าน้ำหนักมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ 2 ช่วง ดังนี้ ช่วงที่ 1 ที่อุณหภูมิ 39-43 องศาเซลเซียส มีการสูญเสียน้ำหนัก 2.6 เปอร์เซ็นต์ จากการสูญเสียน้ำหนักของซิลิกา ช่วงที่ 2 ที่อุณหภูมิ 554-569 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักจากการเปลี่ยนแปลงแบบเพิ่มขึ้น โดยมี การเพิ่มขึ้น 14.1 เปอร์เซ็นต์ จากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างไอของแมกนีเซียมกับซิลิกา เป็นแมกนีเซียมออกไซด์และซิลิกอน ทำให้น้ำหนักของตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้น ตามสมการปฏิกิริยาเคมี $\text{SiO}_2 + 2\text{Mg} \rightarrow \text{Si} + 2\text{MgO}$ ดังนั้นอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการสังเคราะห์คือ ประมาณ 650 C



รูปที่ 4.12 TGA/DTA ของ $2\text{Mg} + \text{SiO}_2$

4.2.2 ผล XRD ของ $2\text{Mg}+\text{SiO}_2$ ที่ผ่านกระบวนการเผาด้วยระบบ Magnetic induction heating ที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส

จากรูปที่ 4.13 ผลของการเผา ผงผสมระหว่าง $2\text{Mg}+\text{SiO}_2$ ด้วยระบบเหนี่ยวนำความร้อนที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส จะปรากฏเฟสผสมระหว่างแมกนีเซียมออกไซด์กับซิลิกอน คือหลังการสังเคราะห์จะได้ทั้ง Si, Mg_2Si , Mg และ MgO



รูปที่ 4.13 XRD ของ $2\text{Mg}+\text{SiO}_2$ ที่ผ่านกระบวนการเผาระบบเหนี่ยวนำความร้อน

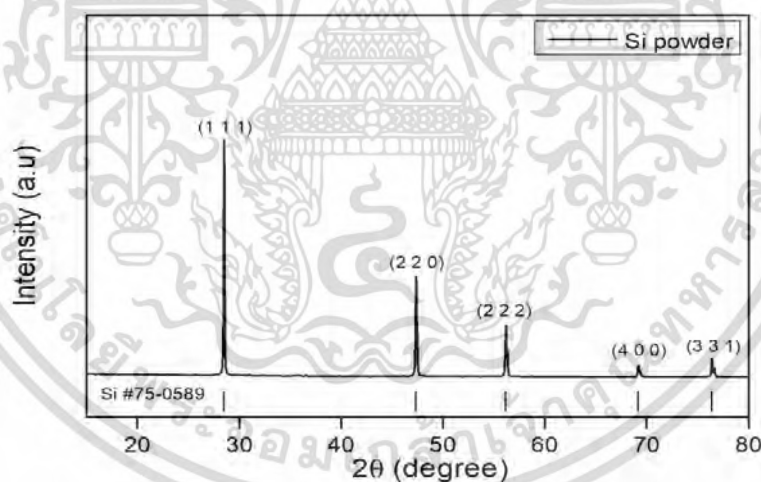
สำหรับการสังเคราะห์ซิลิกอน ทำได้โดยการนำ ผงผสมระหว่าง $2\text{Mg}+\text{SiO}_2$ ด้วยระบบเหนี่ยวนำความร้อนที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส มาล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริก HCl 10% +HF 10% เป็นเวลา 120 นาที ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส

จากการวิเคราะห์ด้วย XRD สามารถวิเคราะห์ crystalline size ด้วย Scherrer equation จะได้ crystalline size ของ Si เท่ากับ 63.65 นาโนเมตร ซึ่งใกล้เคียงกับขนาดอนุภาคที่วัดได้จากภาพ FE-SEM ที่มีขนาดอยู่ระหว่าง 79-87 นาโนเมตร โดยในการทดลองนี้ก็ได้ทำการวัด FTIR เพื่อยืนยันว่าพันธะที่เกิดขึ้นในวัสดุนี้เป็นซิลิกอน และได้วัด UV-VIS เพื่อหาค่าการดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่นต่างๆ ซึ่งจากการคำนวณ direct E_g ของซิลิกอนนั้นมีค่าเท่ากับ 1.425 eV ส่วนในการวิเคราะห์เชิงลึกลงไปอีกต้องขอเวลาในการศึกษาและความบริสุทธิ์ของซิลิกอน ที่สังเคราะห์ได้มีค่าเท่ากับ 95.79 % โดยทั้งหมดในการทดลองนี้นั้นใช้ ซิลิกาจาก

แถบที่ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ 600 องศาเซลเซียส และตัวแปรที่ทำการศึกษาในการทดลองนี้มีเพียงแค่ตัวแปรเดียว ดังนั้นจึงได้เน้นหนักไปที่ วิธีการสังเคราะห์, เครื่องมือ และระบบการวัดอุณหภูมิของ Thermal induction method แล้วยืนยันขนาดอนุภาคของซิลิกอนที่สังเคราะห์ได้เปรียบเทียบกับตัวเทียบ เทคนิคที่วัดมี FTIR, UV-VIS, FE-SEM, XRF, XRD ได้ผลดังนี้

4.2.3 ผลการวิเคราะห์ XRD ของ Si

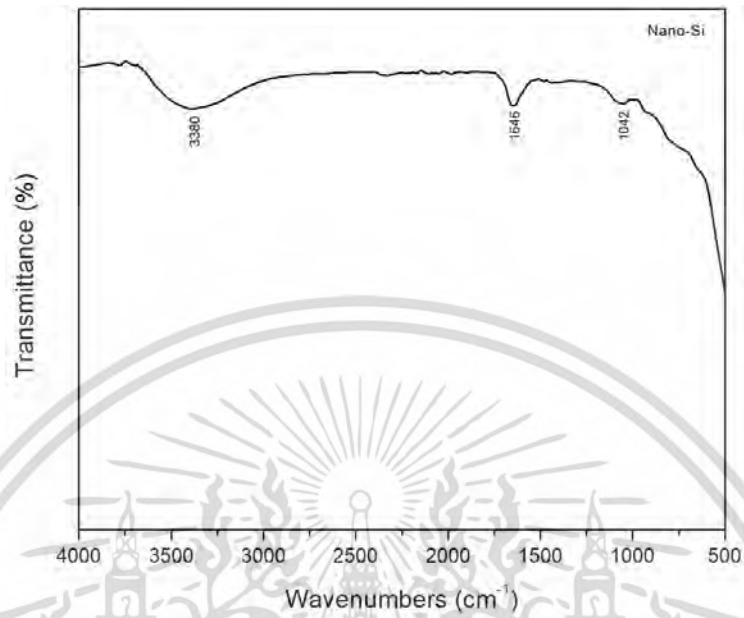
เมื่อนำ ผสมระหว่าง $2Mg+SiO_2$ ด้วยระบบเหนี่ยวนำความร้อนที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส มาล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริก HCl 10% +HF 10% เป็นเวลา 120 นาที ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ได้ผล XRD คือ



รูปที่ 4.14. XRD ของ Si ที่ผ่านกระบวนการล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริก

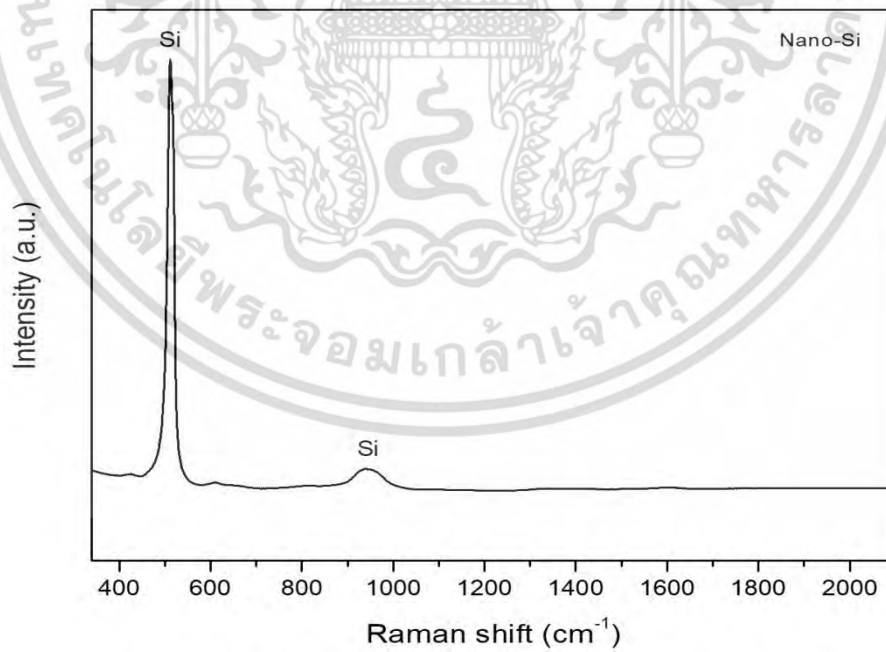
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 การวิเคราะห์ด้วย FTIR



รูปที่ 4.15. FTIR ของ Si

4.2.5 การวิเคราะห์ด้วย Raman



รูปที่ 4.16. Raman ของ Si

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

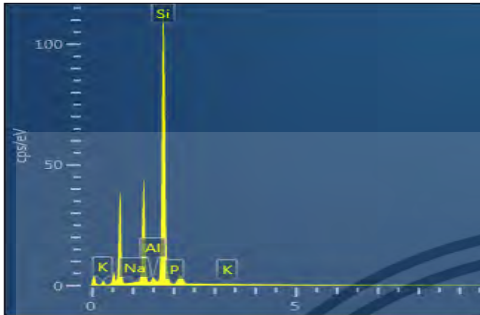
4.2.6 การวิเคราะห์ ด้วย FE-SEM ของ Si



รูปที่ 4.18 FE-SEM ของซิลิกอน (Si) จากแกลบข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.7 การวิเคราะห์ ด้วย EDX



Element	Wt%
Na	1.37
Al	2.68
Si	95.79
P	0.00
K	0.16
Total:	100.00

รูปที่ 4.18 EDX ของซิลิกอน (Si) จากแกลบข้าว

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ว่าในส่วนของการสังเคราะห์ซิลิกอน นั้นเป็นไปได้ด้วยดี และพร้อมที่จะนำไปเป็นสารตั้งต้นในการสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก แมกนีเซียมซิลิไซด์โครงสร้างนาโน โดยลักษณะผง ซิลิกอน (Si) ที่สกัดได้จากแกลบข้าว ในรูปที่ 4.19



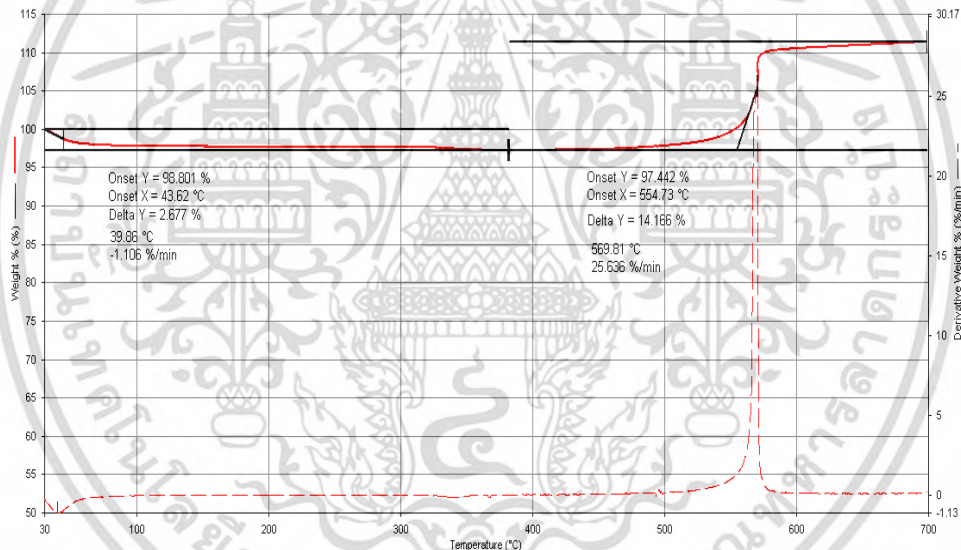
รูปที่ 4.19 ลักษณะผง ซิลิกอน (Si) ที่สกัดได้จากแกลบข้าว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการสังเคราะห์ Si จากสารตั้งต้น Mg และ SiO₂ ในระบบที่ควบคุมอุณหภูมิอากาศร่วมกับระบบเหนี่ยวนำความร้อนด้วย Magnetic induction heating

4.3.1 การวิเคราะห์ด้วย TGA/DTA ของ 2Mg+SiO₂

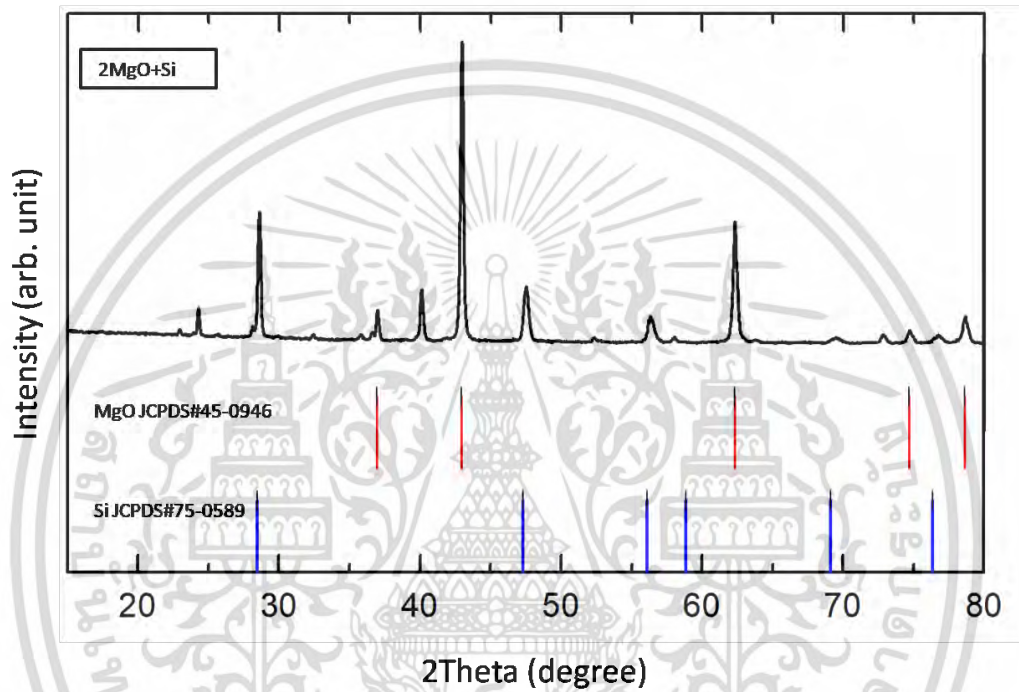
จากรูปที่ 4.20 TGA/DTA ของ 2Mg+SiO₂ จะเห็นว่าน้ำหนักมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ 2 ช่วง ดังนี้ ช่วงที่ 1 ที่อุณหภูมิ 39-43 องศาเซลเซียส มีการสูญเสียน้ำหนัก 2.6 เปอร์เซ็นต์ จากการสูญเสียน้ำหนักขึ้นของซิลิกา ช่วงที่ 2 อุณหภูมิ 554-569 องศาเซลเซียส มีการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักโดยเป็นการเปลี่ยนแปลงแบบเพิ่มขึ้น โดยมี การเพิ่มขึ้น 14.1 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาระหว่างไอของแมกนีเซียมกับซิลิกา เปลี่ยนเป็นแมกนีเซียมออกไซด์และซิลิกอน ทำให้น้ำหนักของตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้น ดังอุณหภูมิที่สามารถสังเคราะห์ Mg₂Si ได้คือ ประมาณที่ 650 C



รูปที่ 4.20 TGA/DTA ของ 2Mg+SiO₂

4.3.2 การวิเคราะห์ด้วย XRD ของ $2\text{Mg}+\text{SiO}_2$

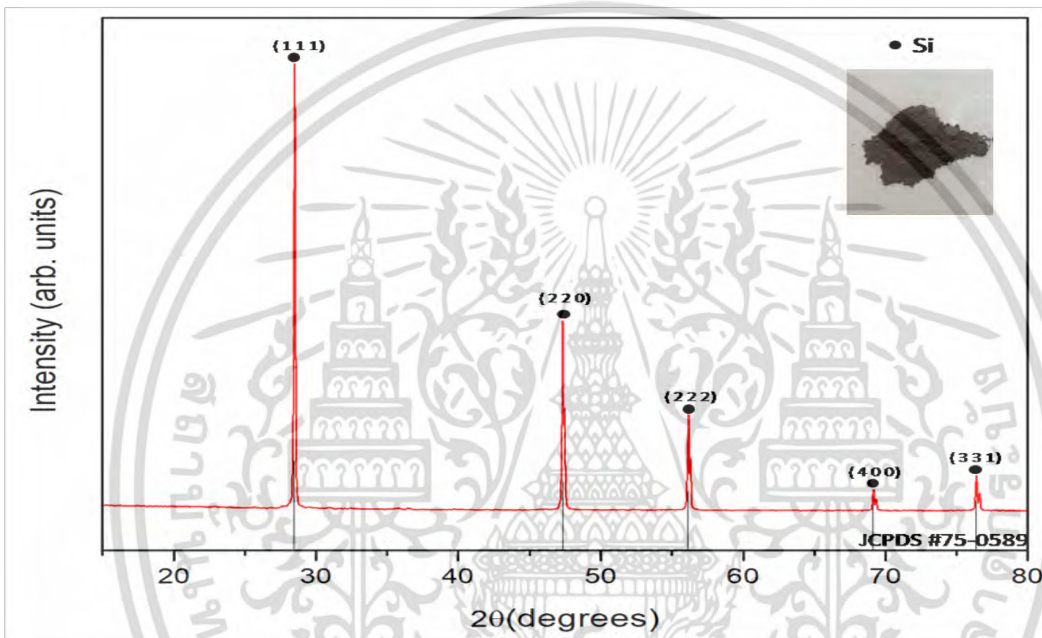
จากรูปที่ 4.21 พบว่า $2\text{Mg}+\text{SiO}_2$ ที่ผ่านกระบวนการแคลไซน์ด้วยระบบเหนี่ยวนำความร้อนที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส เกิดเฟสผสมระหว่างแมกนีเซียมออกไซด์กับซิลิกอน



รูปที่ 4.21 XRD ของ $2\text{Mg}+\text{SiO}_2$ ที่ผ่านกระบวนการแคลไซน์ด้วยระบบเหนี่ยวนำความร้อน

4.3.2 การวิเคราะห์ด้วย XRD ของ Si ที่ผ่านการล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริก

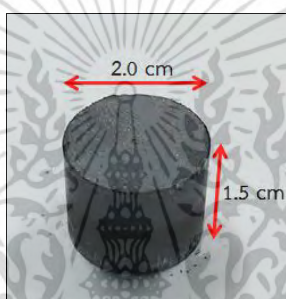
จากรูปที่ 4.22 จะเห็นว่าเกิดเฟสของซิลิกอน ตามพีคมาตรฐาน JCPDS 75-0589 หลังจากการชำระล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริกแล้วก็ต้องนำมากรองด้วยกระดาษกรองเบอร์ 42 แล้วอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 120 องศาเซลเซียส จากนั้นนำมาบดให้ละเอียดด้วยครกกาเกต



รูปที่ 4.22 XRD ของ Si ที่ผ่านกระบวนการล้างด้วยกรดไฮโดรคลอริก

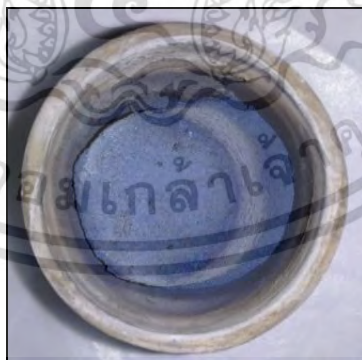
4.4 ผลของ Mg_2Si ใช้สารตั้งต้น Mg และ Si จากเชิงการค้า สังเคราะห์ในระบบเตาฟอควอตซ์สูญญากาศ ร่วมกับบรรยากาศอาร์กอน

การสังเคราะห์ Mg_2Si ที่ใช้สารตั้งต้น Mg บริสุทธิ์ 98% กับ Si บริสุทธิ์ 99% ผสมเป็นเนื้อเดียวกันอบในเตาอบที่อุณหภูมิ $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 12 ชั่วโมง กำจัดความชื้น นำมาอัดขึ้นรูปในบล็อกที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 2.0 cm ที่แรงอัด 5,000 kPa เป็นเวลา 10 นาทีจะได้เม็ดสารตั้งรูปที่ 4.33 นำไปเผาในระบบเตาเผาชนิดฟอควอตซ์สูญญากาศร่วมกับบรรยากาศอาร์กอนที่มีอัตราการไหล 0.1 L/min



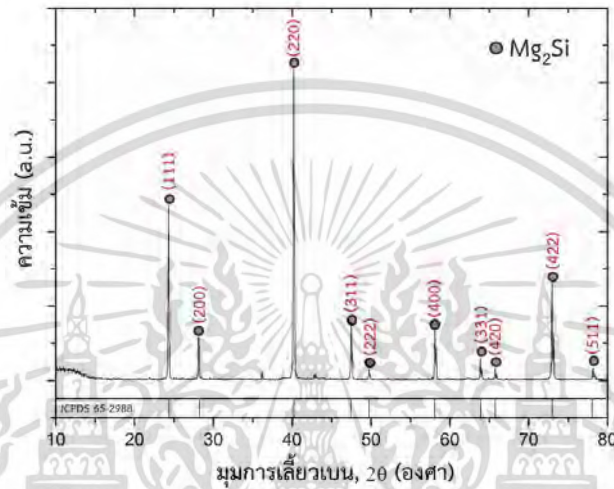
รูปที่ 4.23 เม็ดสารตั้งต้น $2Mg+Si$ ที่ผ่านการผสมและอัดแล้ว

หลังจากการเผาในเตาระบบเตาเผาชนิดฟอควอตซ์สูญญากาศร่วมกับบรรยากาศอาร์กอน ที่เงื่อนไขอุณหภูมิ $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 5 ชั่วโมง ในรูปที่ 4.34



รูปที่ 4.24 Mg_2Si ผ่านการเผาที่อุณหภูมิ $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ เป็นเวลา 5 ชั่วโมงในบรรยากาศอาร์กอน

รูปที่ 4.35 การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของสารประกอบของ Mg_2Si โดยเทียบกับตำแหน่งมุมมาตรฐานของ JCPDs 65-2988 จากกราฟแสดงให้เห็นถึงการเกิดเฟสของสารประกอบ Mg_2Si เพียงเฟสเดียว เมื่อนำมุมการเลี้ยวเบนในแต่ละระนาบที่ทำให้เกิดความเข้มสูงสุด เพื่อใช้คำนวณหาระยะห่าง ระหว่างระนาบ (d_{hkl}) ของ Mg_2Si มีค่าคงที่โครงสร้างอยู่ในช่วงระหว่าง 6.33 – 6.35 Å และมีโครงสร้างเป็นแบบ Face - centered cubic



รูปที่ 4.25 รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์

ผลการตรวจสอบองค์ประกอบของธาตุด้วยเทคนิค EDX พบว่ามีปริมาณธาตุ Mg : Si เป็น 63.75 % : 36.25% หรือเฉลี่ยเป็น 2 : 1 ซึ่งสอดคล้องกับสัดส่วนโดยโมลของ Mg_2Si



รูปที่ 4.26 สเปกตรัมการวิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน (EDX) ของ Mg_2Si

แสดงให้เห็นว่าระบบเตาแบบท่อควอตซ์สูญญากาศสามารถเตรียมวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก Mg_2Si บริสุทธิ์ได้

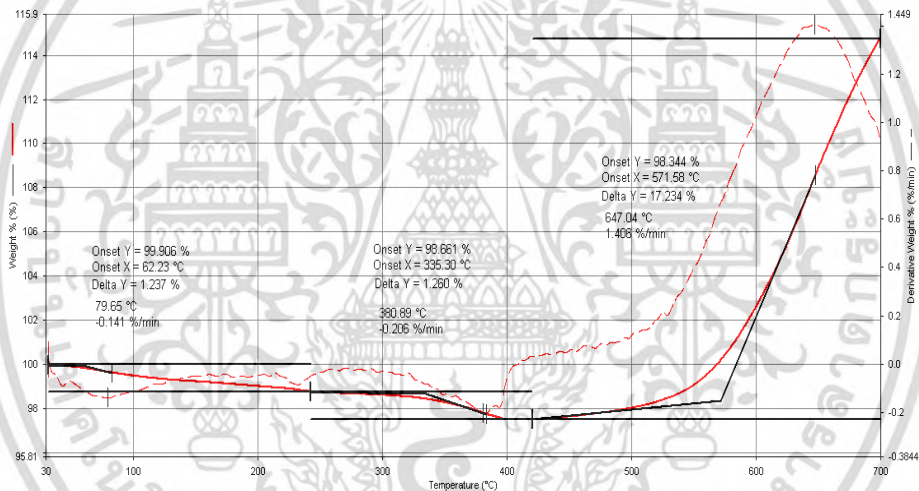
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 ผลการสังเคราะห์ Mg_2Si ใช้ Si ที่เตรียมได้จากเกลบข้าว

เป็นการเตรียม Mg_2Si โดยใช้ Si ที่เตรียมได้จากเกลบข้าว โดยแยกการเตรียมออกเป็น วิธี ระบบเตา ท่อควอตซ์สูญญากาศร่วมก๊าซอาร์กอน ที่ 800 องศาเซลเซียส 5 ชั่วโมง และ เตรียมด้วยไมโครเวฟขนาด กำลัง 800 วัตต์ 10 นาที

4.5.1. ผลการวิเคราะห์ TGA/DTA ของ $2Mg + Si$ เพื่อหาอุณหภูมิ ที่เหมาะสมสำหรับสังเคราะห์

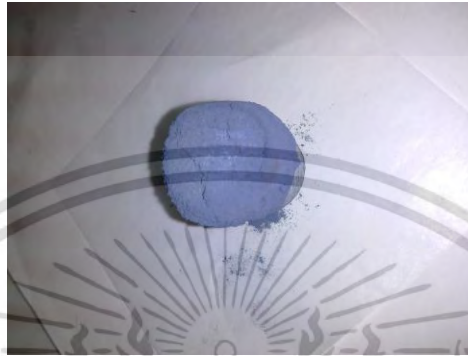
เพื่อหาอุณหภูมิ ที่เหมาะสมสำหรับ การสังเคราะห์ Mg_2Si ที่ใช้ Si ที่เตรียมได้จากเกลบข้าว โดย พิจารณาจาก การวิเคราะห์ TGA/DTA ของสารตั้งต้นที่เกิดจากการผสมกันของ $2Mg + Si$ จากรูปที่ 4.37 จะ เห็นได้ว่าอุณหภูมิที่สามารถสังเคราะห์ Mg_2Si ได้คือ ประมาณที่ 650 C



รูปที่ 4.27 TGA/DTA ของ $2Mg+Si$

4.5.2. การสังเคราะห์ Mg_2Si ด้วยวิธีระบบเตาท่อควอตซ์ในบรรยากาศอาร์กอน ใช้ Si จากแกลบข้าว

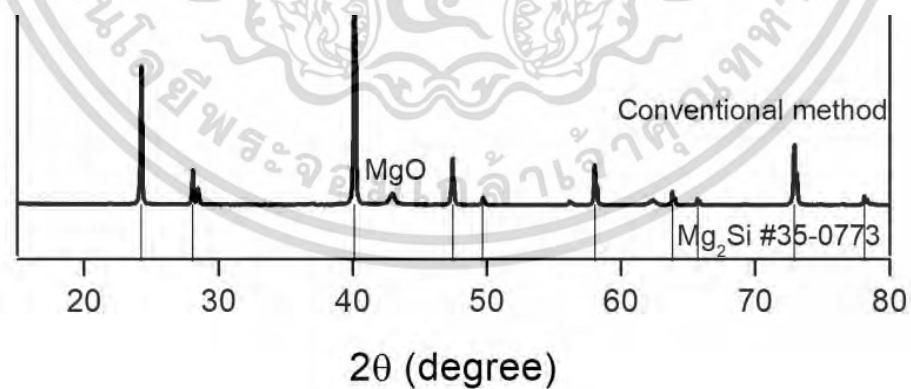
ลักษณะผง Mg_2Si ที่สังเคราะห์ด้วยระบบเตาท่อควอตซ์ในบรรยากาศอาร์กอน (Conventional method) ใช้ Si จากแกลบข้าว ได้ในรูปที่ 4.38



รูปที่ 4.28 ลักษณะผง Mg_2Si

4.5.1 ผลการวิเคราะห์ Mg_2Si ที่สังเคราะห์ด้วย XRD

รูปที่ 4.39 การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของสารประกอบของ Mg_2Si โดยเทียบกับตำแหน่งมุมมาตรฐานของ JCPDs 35-0773 จากกราฟแสดงให้เห็นถึงการเกิดเฟสของสารประกอบ Mg_2Si เพียงเฟสเดียว

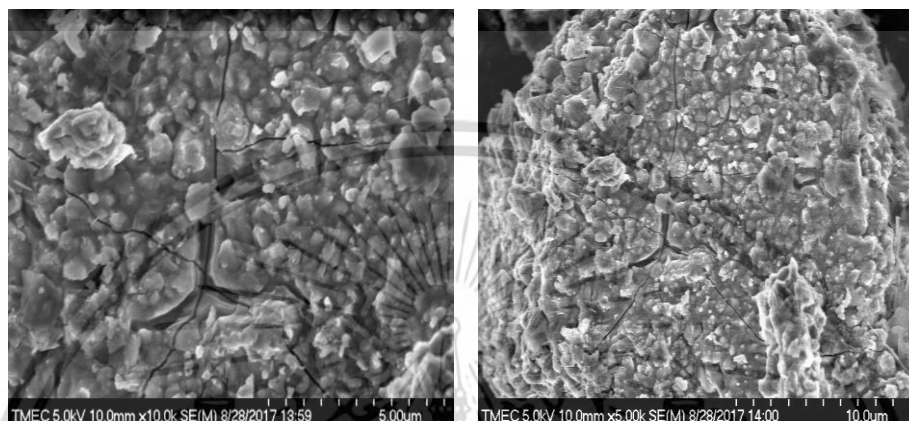


รูปที่ 4.29 XRD ของ Mg_2Si

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2 ผลการวิเคราะห์ Mg_2Si ที่สังเคราะห์ ด้วย SEM

จากผลการวิเคราะห์ด้วย SEM จะเห็นว่าลักษณะทาง morphology ของการสังเคราะห์ด้วยวิธีนี้



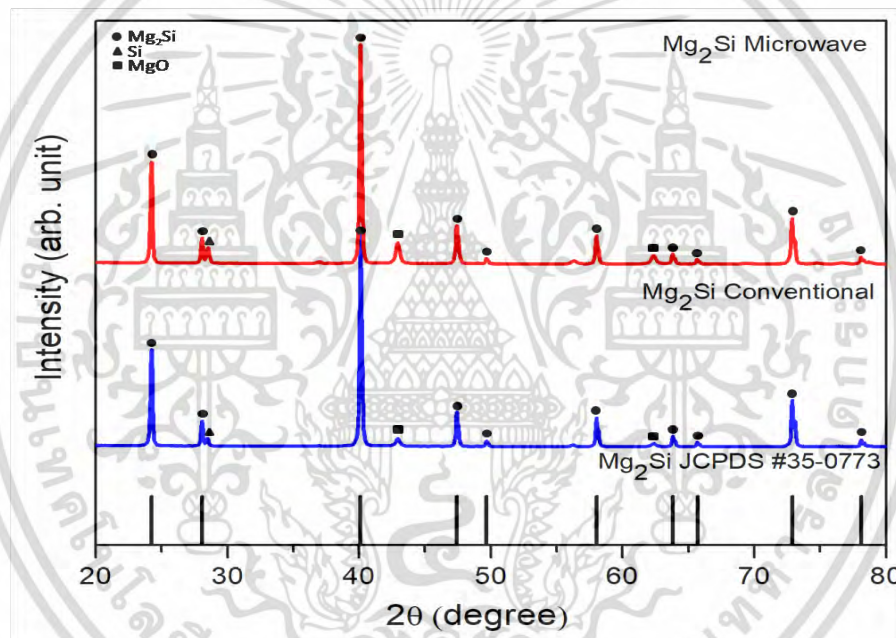
รูปที่ 4.30 SEM ของ Mg_2Si

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.3 การสังเคราะห์ Mg_2Si ด้วยวิธีระบบไมโครเวฟในบรรยากาศอาร์กอน ใช้ Si จากแถบข่าว

4.5.3.1 ผลการวิเคราะห์ Mg_2Si ที่สังเคราะห์ด้วย XRD

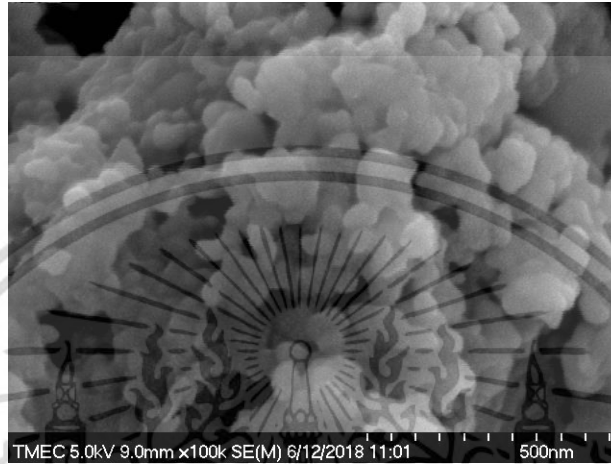
ในรูปที่ 4.41 การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของสารประกอบของ Mg_2Si โดยเทียบระหว่าง วิธีระบบไมโครเวฟ และ ระบบเตาที่อควอตซ์ในบรรยากาศอาร์กอน (Conventional method) เทียบตำแหน่งมุมมาตรฐานของ JCPDS 35-0773 จากกราฟแสดงให้เห็นถึงการเกิดเฟสของสารประกอบ Mg_2Si เพียงเฟสเดียว ด้วยการสังเคราะห์ด้วยวิธีนี้



รูปที่ 3.31 XRD ของ Mg_2Si สังเคราะห์เปรียบเทียบระหว่างวิธี โดยเทียบระหว่าง วิธีระบบไมโครเวฟ และ ระบบเตาที่อควอตซ์ในบรรยากาศอาร์กอน (Conventional method)

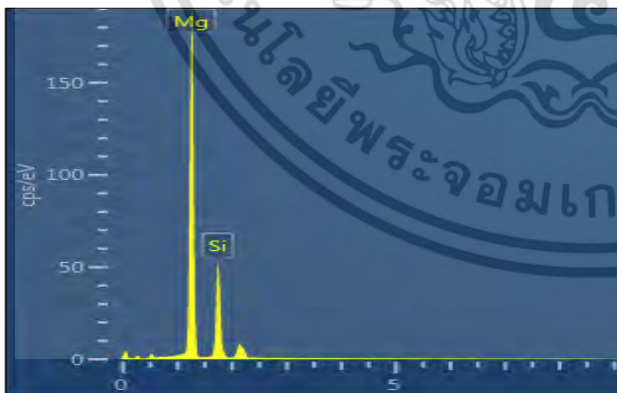
4.5.3.2 ผลการวิเคราะห์ Mg_2Si ที่สังเคราะห์ ด้วย FE-SEM /EDX

จากการวิเคราะห์ด้วย FE-SEM ที่มีขนาดผลึกของ Mg_2Si (Si จากแคลบข้าว) ที่สังเคราะห์ได้ มีขนาดอยู่ระหว่าง นาโนเมตร



รูปที่ 4.32 SEM ของ Mg_2Si

ผลการตรวจสอบองค์ประกอบของธาตุด้วยเทคนิค EDX พบว่ามีปริมาณธาตุ Mg : Si เป็น 66.16 % : 33.84% หรือเฉลี่ยเป็น 2 : 1 ซึ่งสอดคล้องกับสัดส่วนโดยโมลของ Mg_2Si ในรูปที่ 4.43



Element	Wt%
Mg	66.16
Si	33.84
Total:	100.00

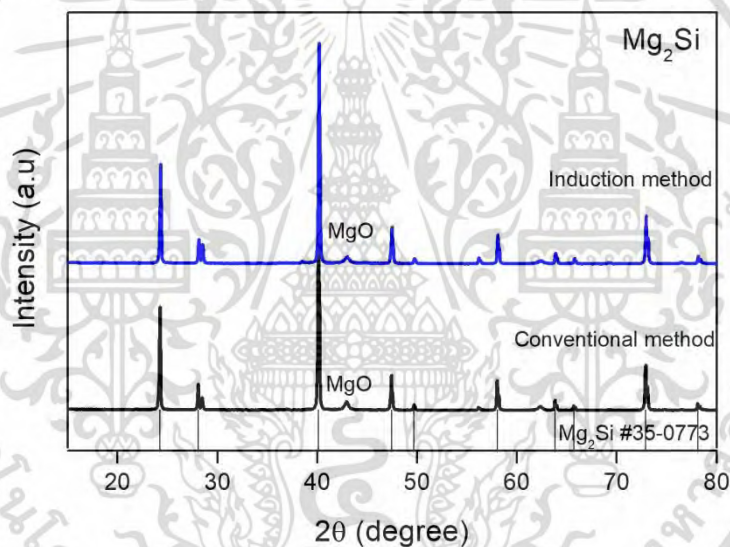
รูปที่ 4.33 สเปกตรัมการวิเคราะห์ธาตุเชิงพลังงาน (EDX) ของ Mg_2Si

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.4 การสังเคราะห์ Mg_2Si ด้วยวิธี Magnetic Induction heating ในบรรยากาศอาร์กอน ใช้ Si จากแถบ ข้าว

4.5.3.2 ผลการวิเคราะห์ Mg_2Si ที่สังเคราะห์ ด้วย XRD

ในรูปที่ 4.44 การเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของสารประกอบของ Mg_2Si โดยเทียบระหว่าง วิธี Magnetic Induction heating และ ระบบเตาที่ควบคุมอุณหภูมิในบรรยากาศอาร์กอน (Conventional method) เทียบตำแหน่งมุมมาตรฐานของ JCPDs 35-0773 จากกราฟแสดงให้เห็นถึงการเกิดเฟสของสารประกอบ Mg_2Si เพียงเฟสเดียว ด้วยการสังเคราะห์ด้วยวิธีนี้

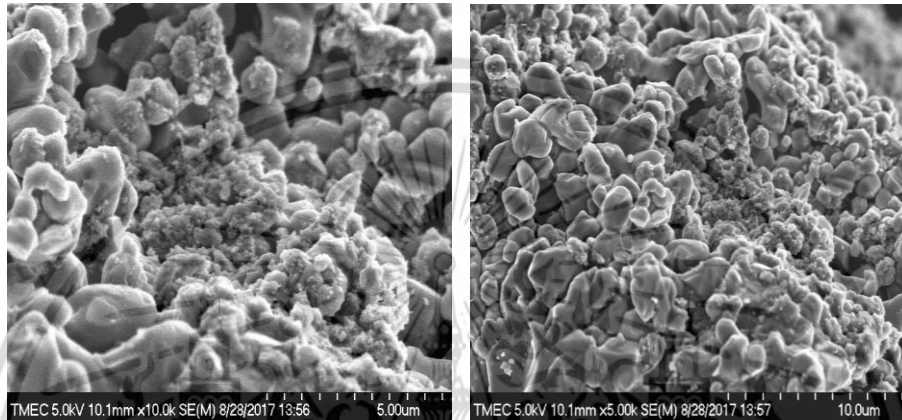


รูปที่ 4.34 XRD ของ Mg_2Si

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.3.2 ผลการวิเคราะห์ Mg_2Si ที่สังเคราะห์ ด้วย SEM

จากการวิเคราะห์ด้วย SEM ที่มีขนาดผลึกของ Mg_2Si (Si จากแกลบข้าว) ที่สังเคราะห์ได้ มีขนาดอยู่ระหว่าง 5 – 10 μm



รูปที่ 4.35 SEM ของ Mg_2Si

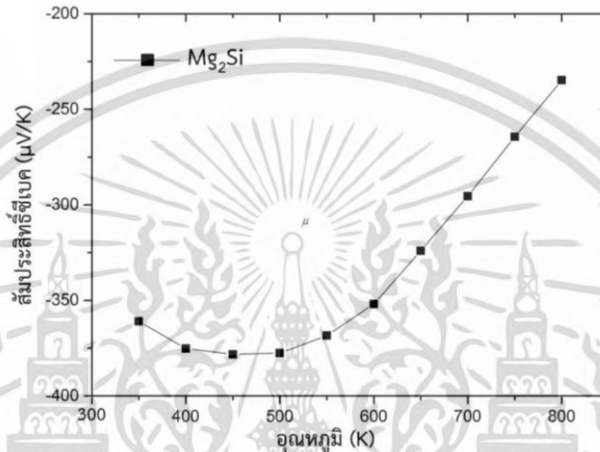
4.6 การวัดคุณสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกของ Mg_2Si

วัสดุ Mg_2Si ถูกเตรียมจากกรอัดขึ้นรูปเป็นก้อนทรงกระบอก ขนาดความหนา 0.2 cm เส้นผ่านศูนย์กลาง 1.0 cm เริ่มด้วย นำผง Mg_2Si ใส่บล็อกอัดสารที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 cm จากนั้นอัดขึ้นรูป ที่แรงกด 5,000 kPa เป็นเวลา 10 นาที แล้วนำไปเผาซินเตอร์ในระบบเตาเผาให้ความร้อนแบบเหนี่ยวนำไฟฟ้าในบรรยากาศของแก๊สอาร์กอน ใช้อุณหภูมิประมาณ 600 $^{\circ}C$ เพื่อไปตรวจวัดสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริก ทั้งสามค่า

4.6.1 ผลของ Mg_2Si ถูกเตรียมจากสารตั้งต้น Mg และ Si จากเชิงการค้า

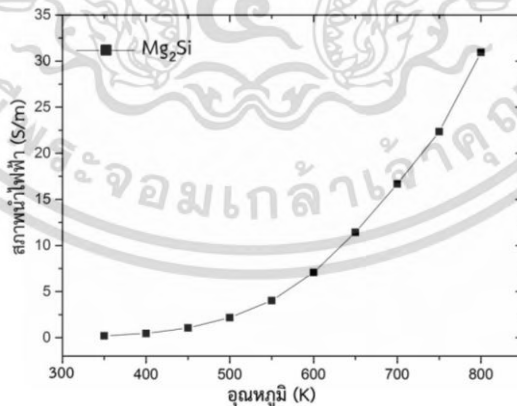
ได้ทำการคำนวณค่าประสิทธิภาพทางเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถแสดงผลที่ได้ดังต่อไปนี้

ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคกับอุณหภูมิในช่วง 350 – 800 K ได้ตามรูปที่ 4.46 พบว่าในช่วงอุณหภูมิ 400 – 500 K จะให้ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคสูงสุดอยู่ที่ $-370 \mu V/K$ และในช่วงอุณหภูมิสูงขึ้นจะมีค่าลดลง



รูปที่ 4.36 ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคกับช่วงอุณหภูมิ 350 – 800 K ของ Mg_2Si

ค่าสภาพนำไฟฟ้าในช่วง 350 – 800 K ได้ตามรูปที่ 4.47 พบว่าในช่วงอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ค่าสภาพนำไฟฟ้า (σ) ก็เพิ่มขึ้น

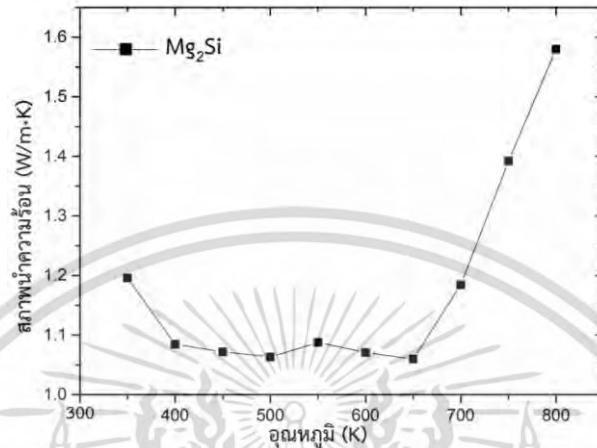


รูปที่ 4.37 ค่าสภาพนำไฟฟ้ากับช่วงอุณหภูมิ 350 – 800 K ของ Mg_2Si

ค่าสภาพความร้อน ของวัสดุ Mg_2Si ที่ค่าความหนาแน่นประมาณ 1.39 g/cm^3 เป็น 70.20 % เทียบกับ ความหนาแน่นในเชิงทฤษฎี (1.98 g/cm^3)

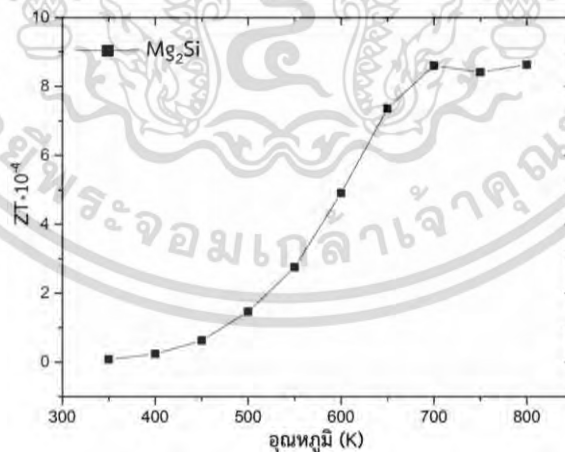
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าสภาพความร้อนกับอุณหภูมิในช่วง 350 – 800 K ได้ตามรูปที่ 4.48 พบว่าค่าสภาพนำความร้อนที่ช่วงอุณหภูมิ 350 – 650 K มีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้น และเพิ่มขึ้นในช่วงอุณหภูมิ 650 – 800 K



รูปที่ 4.38 ค่าสภาพนำความร้อนกับช่วงอุณหภูมิ 350 – 800 K ของ Mg₂Si

ค่าไดเมนชันเลสฟิโกออฟเมอริต(ZT) จะมีค่าในช่วงอุณหภูมิ 350 – 700 K ตามรูปที่ 4.49 พบว่าค่าเพิ่มขึ้นในช่วงอุณหภูมิ 350 – 700 K และจะมีค่าคงในช่วงอุณหภูมิ 700 – 800 K แสดงให้เห็นว่าวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก Mg₂Si มีประสิทธิภาพสูงสุดที่อุณหภูมิประมาณ 700 K

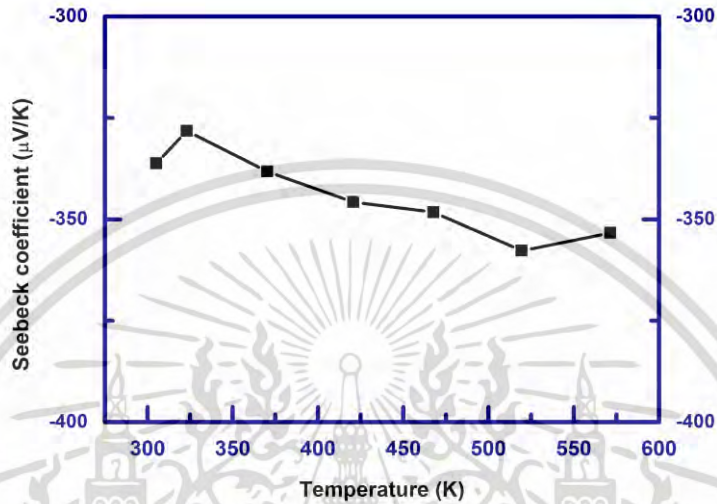


รูปที่ 4.39 ค่า zT กับช่วงอุณหภูมิ 350 – 800 K ของ Mg₂Si

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

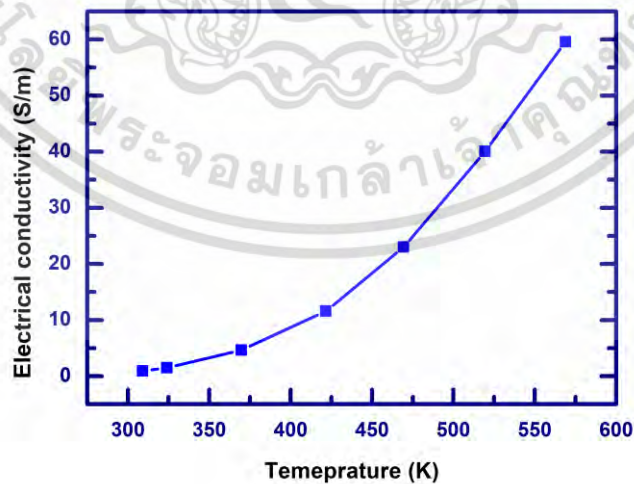
4.6.2 ผลของ Mg_2Si ถูกเตรียมจากสารตั้งต้น Si จากแถบข่าว

ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคกับอุณหภูมิในช่วง 350 – 580 K ได้ตามรูปที่ 4.50 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคอยู่ที่ -360 $\mu V/K$



รูปที่ 4.40 ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคกับช่วงอุณหภูมิ 350 – 580 K ของ Mg_2Si

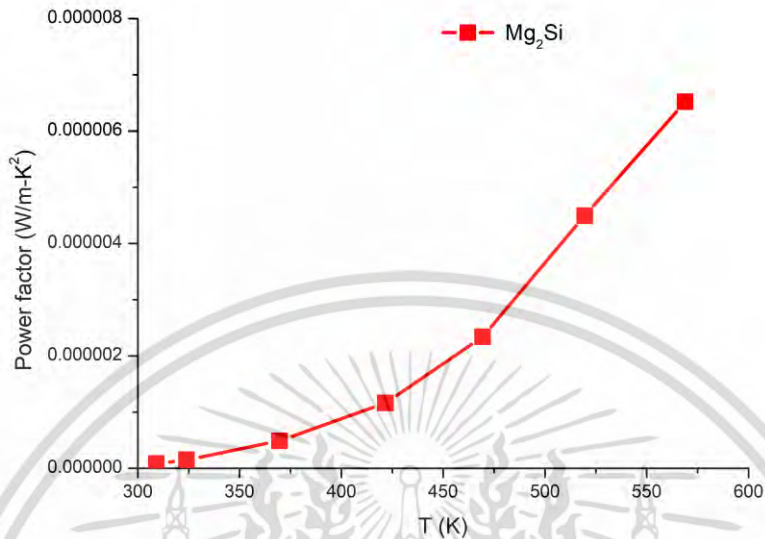
ค่าสภาพนำไฟฟ้าในช่วง 350 – 580 K ได้ตามรูปที่ 4.51 พบว่าที่ช่วงอุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ค่าสภาพนำไฟฟ้า (σ) ก็เพิ่มขึ้น



รูปที่ 4.41 ค่าสภาพนำไฟฟ้ากับช่วงอุณหภูมิ 350 – 580 K ของ Mg_2Si

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า power factor ในช่วงอุณหภูมิ 350 – 580 K ตามรูปที่ 4.52 พบว่าค่าเพิ่มขึ้น

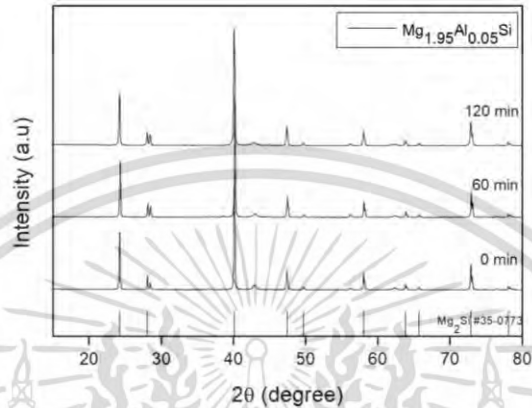


รูปที่ 4.42 ค่า power factor กับช่วงอุณหภูมิ 350 – 580 K ของ Mg₂Si

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

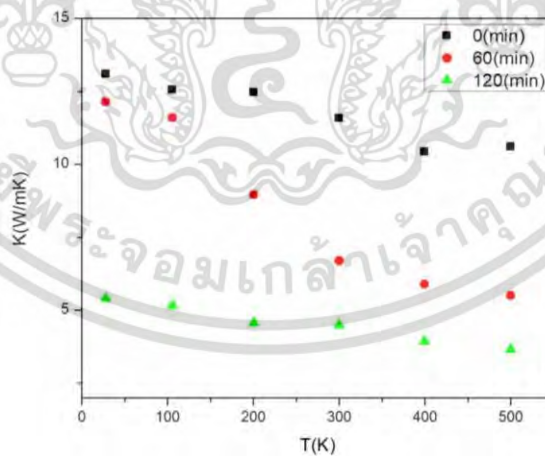
4.7 ผลการเตรียม $Mg_{1.95}Al_{0.05}Si$ ใช้สารตั้งต้น Si จากเคลือบข้าว ด้วยวิธี Spark plasma sintering

การวิเคราะห์ XRD ของ $Mg_{1.95}Al_{0.05}Si$ (Spark plasma sintering) โดยเปลี่ยนเวลาในการ ultrasonic 0, 60, 120 นาที ในช่วงขั้นตอนการเตรียมสารตั้งต้น



รูปที่ 4.43 XRD ของ $Mg_{1.95}Al_{0.05}Si$ (Spark plasma sintering)

ค่าวิเคราะห์ Thermal conductivity ของ $Mg_{1.95}Al_{0.05}Si$ (Spark plasma sintering) โดยเปลี่ยนเวลาในการ ultrasonic 0, 60, 120 นาที ในขั้นตอนการเตรียมสารตั้งต้น Density 0,60,120 min = 99.92 % , 93.62 % , 85.85 %



รูปที่ 4.44 Thermal conductivity ของ $Mg_{1.95}Al_{0.05}Si$ (Spark plasma sintering)

การเตรียมสารตั้งต้น ด้วยในการ ultrasonic 0, 60, 120 นาที และการสังเคราะห์ด้วย (Spark plasma sintering) มีผลต่อ morphology จึงทำให้ค่า Thermal conductivity ลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

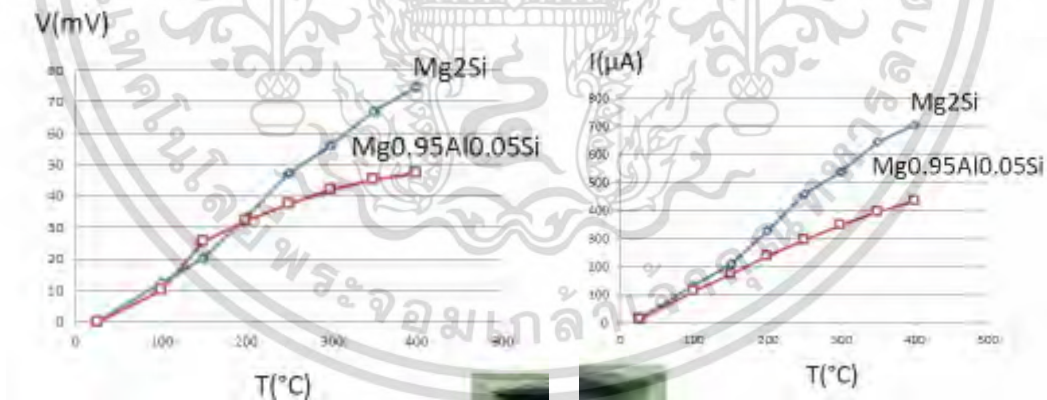
4.8 การพัฒนาโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกแมกนีเซียมซิลิไซด์

เป็นการ การพัฒนาโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกแมกนีเซียมซิลิไซด์ แบบชนิดเดียว 1 โมดูล ดังรูปที่ 4.55 สำหรับการทดสอบการผันพลังงานจากความร้อนเป็นไฟฟ้าในเบื้องต้น โดยเป็นการทดสอบในช่วง ช่วงอุณหภูมิ 100-450 C



รูปที่ 4.55 โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกแมกนีเซียมซิลิไซด์

เมื่อนำมาทดสอบการผลิตไฟฟ้าจากความร้อน ด้วยการใช้แท่งโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก ขนาดหน้าตัด 2 cm สูง 1.5 cm 1 ตัว ในช่วงอุณหภูมิ 100-450 สามารถสร้าง กระแสไฟฟ้าได้ 700 ไมโครโวลต์ ได้ค่าศักย์ไฟฟ้า 70 mV ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.46 ทดสอบการผลิตไฟฟ้าจากความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก Mg_2Si ผลึกนาโนด้วยวิธีไมโครเวฟ โดยใช้วัสดุตั้งต้น Si จากแคลบข้าว ซึ่งงานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนเพียง 1 ปี จากการขอสนับสนุน 2 ปี ในงานวิจัยได้เริ่มจากการสังเคราะห์ SiO_2 ด้วยการนำแคลบข้าวมาล้างด้วยกรด ไฮโดรคลอริก แล้วนำมาเผาในเตาที่ 600 องศาเซลเซียส แล้วได้ SiO_2 ความบริสุทธิ์สูง ถึง 99% และได้ขนาดผลึกในระดับ ขนาด 38.63 นาโนเมตร เมื่อได้นาโน SiO_2 แล้ว จากนั้น ทำการ สังเคราะห์ Si ตามสมการปฏิกิริยา เคมี $SiO_2 + 2Mg \rightarrow Si + 2MgO$ เพื่อให้ได้ Si โครงสร้าง ระดับนาโน การสังเคราะห์เริ่มจาก การผสม $2Mg$ และ SiO_2 ที่ได้จากแคลบข้าว แล้วเผา ด้วยระบบเหนี่ยวนำความร้อน ที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส จากนั้นนำผงมาล้างด้วยกรด ไฮโดรคลอริก HCl 10% ผสม HF 10% เป็นเวลา 120 นาที ที่อุณหภูมิ 90 องศาเซลเซียส ทำให้ได้ ได้ Si ความบริสุทธิ์สูง ถึง 96% และได้ขนาดผลึกในระดับ ขนาด 100 นาโนเมตร เมื่อได้ นาโน Si แล้ว นำมาสังเคราะห์ Mg_2Si ปฏิกิริยาเคมี $2Mg + Si \rightarrow Mg_2Si$ โดยมีอุณหภูมิที่เหมาะสมกับการสังเคราะห์ Mg_2Si ที่ 650 C โดยในงานวิจัยต้อง สังเคราะห์ Mg_2Si ด้วยวิธีให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับการใช้ แก๊ซอาร์กอน ผลที่ได้คือสามารถ สังเคราะห์ Mg_2Si ได้โครงสร้างระดับนาโนขนาด 65 นาโนเมตร และในงานวิจัยนี้ยังได้สังเคราะห์ Mg_2Si ด้วยวิธี magnetic Induction heating ในบรรยากาศอาร์กอนภายในท่อควอร์ตผลที่ได้คือสามารถ สังเคราะห์ Mg_2Si ได้โครงสร้างระดับนาโนขนาด 10 นาโนเมตร เมื่อนำ Mg_2Si ที่ได้จากการวิธีให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟร่วมกับการใช้ แก๊ซอาร์กอน มาวัดค่าสัมประสิทธิ์เทอร์โมอิเล็กทริก พบว่า Mg_2Si มีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค $-360 \mu V/K$ ในช่วง 350 – 580 K และ เมื่อมาทดสอบการผลิตไฟฟ้าจากความร้อน ด้วยการใส่แท่งโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก ขนาดหน้าตัด 2 cm สูง 1.5 cm 1 ตัว ในช่วงอุณหภูมิ 100-450 สามารถสร้าง กระแสไฟฟ้าได้ 700 ไมโครโวลต์ ได้ค่าศักย์ไฟฟ้า 70 mV

ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่า นำสามารถนำแคลบข้าว มาสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก ได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

ไม่มี

เอกสารอ้างอิง

- [1] H. Ohta and H. Hosono, *Materialstoday*, June (2004), 42-51.
- [2] H. Kawamoto, R &D trends in high efficiency thermoelectric conversion materials for waste heat recovery, *Science & technology trends, quarterly review*, 30, 2009.
- [3] G. Jeffrey Snyder and Eric S. Toberer, *Nature Materials* 7, 105 - 114 (2008)
- [4] <http://mappingignorance.org/2014/11/19/harvesting-heat-create-electricity-new-world-record/>
- [6] G. Chen”, Concentrated solar thermoelectric power”, *Contrating solar power program review* 2013.
- [7] <http://www.triplepundit.com/2010/07/vecarius-will-turn-you-cars-waste-heat-into-energy/>
- [8] <https://www.youtube.com/watch?v=PuNZh1VgxZk>
- [9] <http://bme240.eng.uci.edu/students/08s/rogers/Heat.html>
- [10] D.M. Row, *Thermoelectric hand book: Macro to nano*, CRC press.
- [11] Lawrence Berkeley National Laboratory, Solution-based hybrid thermoelectric materials, *Commercial analysis*, 4th, 2013
- [12] เสรษฐา รัตนพันธ์, วิทยานิพนธ์ปริญญาดุษฎีบัณฑิต, “Thermoelectric properties at high temperature of CuFeO_2 Delafossite compound doped with Pt, Al, Sn and Pb”, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2554.
- [13] A. F. Ioffe, Infosearch limited, London, 1957; D.M. Rowe (ed), *CRC Handbook of Thermoelectrics*, CRC, Boca Raton, 1995.
- [14] W. Seifert, M. Ueltzen and E. Müller, *Phys. stat. sol. (a)* 194 (2002) 277 – 290.
- [15] T. Nemoto, T. Iida, J. Sato, T. Sakamoto, N. Hirayama, T. Nakajima, and Y. Takanashi, “Development of an Mg_2Si Unileg thermoelectric module using durable Sb-doped Mg_2Si legs”, *J. electronic materials*, 42, 2013.
- [16] T. Tohei, S. Fujiwara, T. Jinushi and Zenzo Ishijima, *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering* 61 (2014) 012035.
- [17] N. Liu, K. Huo, M. T. Madowell, J. Zhao, Y. Cui, “Rice husks as a sustainable source of nanostructured silicon for high performance Li-on battery anodes”, *Scientific reports*, 2013.(DOI:10.1038/srep01919)

ภาคผนวก ก

1) การยื่นขอจดสิทธิบัตร



บันทึกข้อความ

หน่วยงาน ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สจล. โทร 6213
 ที่ ศธ 0524.08(5)/ 417 วันที่ 9 พฤศจิกายน 2560
 เรื่อง ขอยื่นแสดงความจำนงขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร
 เรียน คณบดี

ด้วย กระผม ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชษฐา รัตนพันธ์ พนักงานสถาบัน สังกัดภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ เป็นผู้ประดิษฐ์ผลงาน มีความประสงค์ยื่นขอรับสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร ภายใต้ชื่อ “กรรมวิธีการประดิษฐ์ สารประกอบอเล็กไทเรต C12A7 (Mayenite, โดเดคาแคลเซียม เฮปตาอะลูมิเนส [Dodecacalcium Hepta-aluminate ($12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ หรือ $\text{Ca}_{12}\text{Al}_4\text{O}_{33}$) ถูกย่อเป็น C12A7) ถูกเตรียมอย่างรวดเร็วโดยวิธีการเตรียมด้วยกระบอกถ่านที่ถูกให้ความร้อนในขดลวดเหนี่ยวนำความร้อน (Heat induction: เครื่องฮีตอินดักชัน) และสารประกอบตั้งต้น” พร้อมกันนี้ได้แนบรายละเอียดตามแบบฟอร์มแสดงความจำนงการขอรับสิทธิบัตร/ อนุสิทธิบัตร มาด้วยแล้ว

จึงเรียนมาเพื่อโปรดพิจารณาดำเนินการต่อไปด้วย จะขอบคุณยิ่ง

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชษฐา รัตนพันธ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

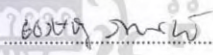
**แบบฟอร์มแสดงความจำนงการขอรับสิทธิบัตรอนุสิทธิบัตร/
ฝ่ายจัดการทรัพย์สินทางปัญญา สำนักบริหารงานวิจัยและนวัตกรรมพระจอมเกล้า
ลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง**

1. ชื่อที่แสดงถึงการประดิษฐ์

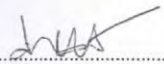
กรรมวิธีการประดิษฐ์ สารประกอบอเล็กไทไรต์ C12A7 (Mayenite, โดเดคาแคลเซียม เฮปตาอะลูมิเนส [Dodecacalcium Hepta-aluminate ($12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ หรือ $\text{Ca}_{12}\text{Al}_4\text{O}_{33}$) ถูกย่อเป็น C12A7) ถูกเตรียมอย่างรวดเร็วโดยวิธีการเตรียมด้วยกระบอกถ่านที่ถูกให้ความร้อนในขดลวดเหนียวนำความร้อน (Heat induction: เครื่องอิทธิอนดักชัน) และ สารประกอบตั้งต้น

2. ชื่อผู้ประดิษฐ์/ผู้ประดิษฐ์ร่วม

2.1 ชื่อ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชษฐา นามสกุล รัตนพันธ์ สังกัด ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง โทรศัพท์(สายใน)..... โทรศัพท์(สายนอก) 0-2326-9980-4 ต่อ 342 โทรสาร 0-2326-4415 อีเมล chesta.ruttanapun@gmail.com มือถือ 0815104965 ความมีส่วนร่วมในผลงาน คิดเป็นร้อยละ 45%

ลายมือชื่อ 

2.2 ชื่อ ศาสตราจารย์ ดร. ปริญญา จินดาประเสริฐ สังกัด มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น 123 ถนนมิตรภาพ ต. โนนเมือง อ. เมือง จ. ขอนแก่น 40002 โทรศัพท์ 08-1871-9588 โทรสาร 043-202-355 ต่อ 12 อีเมล prinya@kku.ac.th ความมีส่วนร่วมในผลงาน คิดเป็นร้อยละ 19%

ลายมือชื่อ 

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 ชื่อ ศาสตราจารย์ ดร.สันติ แม้นศิริ สังกัด มหาวิทยาลัยสุรนารี

ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เลขที่ 111 ถ. มหาวิทยาลัย ต. สุรนารี อ. เมือง จ. นครราชสีมา 30000

โทรศัพท์ 044 - 22 4194, 044 - 22 4187

อีเมลล์ santimaensiri@sut.ac.th

ความมีส่วนร่วมในผลงาน คิดเป็นร้อยละ 10%

ลายมือชื่อ

...../...../.....

2.4 ชื่อ รองศาสตราจารย์ ดร. วิทยา อมรกิจบำรุง สังกัด มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น 123 หมู่ 16 ถ.มิตรภาพ ต.ในเมือง อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002

โทรศัพท์ 043-009700.

อีเมลล์ vittaya@kku.ac.th

ความมีส่วนร่วมในผลงาน คิดเป็นร้อยละ 18%

ลายมือชื่อ

...../...../.....

2.5 ชื่อ ดร.ศักดิ์วิบูลย์ นามสกุล จันทราษี สังกัด ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

โทรศัพท์ 0910162743

อีเมลล์ jorsak7@gmail.com

ความมีส่วนร่วมในผลงาน คิดเป็นร้อยละ 2%

ลายมือชื่อ

...../...../.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ชื่อ นายเฉลิมพล นามสกุล รุจรวางค์ สังกัด ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
โทรศัพท์ 080-2179927
อีเมลล์ c.rudradawong@gmail.com
ความมีส่วนร่วมในผลงาน คิดเป็นร้อยละ 2%

ลายมือชื่อ

...../...../.....

2.7 ชื่อ นายชัยวัฒน์ นามสกุล พรหมเพชร สังกัด ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
โทรศัพท์ 094-5918554
อีเมลล์ chaiwat_phd@hotmail.com
ความมีส่วนร่วมในผลงาน คิดเป็นร้อยละ 2%

ลายมือชื่อ

...../...../.....

2.8 ชื่อ นางสาวรমন แห่่งหล้า สังกัด ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
ที่อยู่ที่สามารถติดต่อได้ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
โทรศัพท์ 7623541-089
อีเมลล์ waramon.lang@gmail.com
ความมีส่วนร่วมในผลงาน คิดเป็นร้อยละ 2%

ลายมือชื่อ

...../...../.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. แหล่งเงินทุน

✓ ได้รับเงินทุน

✓ แหล่งทุนภายใน (โปรดระบุ)

✓ แหล่งทุนภายนอก (โปรดระบุ)

ไม่ได้รับเงินทุน

4.ความร่วมมือในงานวิจัย

✓ ภายในสถาบันฯ

✓ หน่วยงานภายนอก (โปรดระบุ)

1. มหาวิทยาลัยขอนแก่น

2. มหาวิทยาลัยสุรนารี

5 .การสืบค้นข้อมูลสิทธิบัตร/อนุสิทธิบัตร

5.1 คำสำคัญที่ท่านสืบค้น

- 1) Dodecacalcium Hepta-aluminate
- 2) $12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$
- 3) $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$
- 4) C12A7
- 5) Mayenite
- 6) Electride
- 7) Heat induction
- 8) Hosono

5.2ผลการสืบค้น

เหมือนหรือคล้ายกับงานที่ปรากฏอยู่แล้ว

✓ ไม่เหมือนหรือคล้ายกับงานที่ปรากฏอยู่แล้ว

5.3 แหล่งที่ใช้ในการสืบค้น

✓ ไทย (www.ipthailand.go.th)

✓ สหรัฐอเมริกา (www.uspto.gov)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

✓ ญี่ปุ่น (www.jpco.go.jp)

✓ ยุโรป (<http://ep.espacenet.com>)

✓ อื่นๆ ระบุ.....

ในกรณีที่พบว่าเหมือนหรือคล้ายกับงานที่ปรากฏอยู่แล้ว กรุณาแนบเอกสารที่สืบค้นมา พร้อมด้วย (

.6 การตีพิมพ์การเผยแพร่ผลงาน/

✓ ยังไม่ได้มีการตีพิมพ์เผยแพร่ผลงาน/

ได้มีการตีพิมพ์ระบุ) เผยแพร่ผลงาน/วันที่.....สถานที่ ศ.พเดือน

.....
.....

ลักษณะการเผยแพร่ผลงาน.....

.....
.....

.7ผลงานนวัตกรรมที่ประดิษฐ์ซึ่งประสงค์จะขอรับสิทธิบัตร อนุสิทธิบัตร/

กรรมวิธีการประดิษฐ์ สารประกอบอเล็กไทไรต์ C12A7 (Mayenite, โดเดคาแคลเซียม เฮปตาอะลูมิเนส [Dodecacalcium Hepta-aluminate ($12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ หรือ $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$) ถูกย่อเป็น C12A7) ถูกเตรียมอย่างรวดเร็วโดยวิธีการเตรียมด้วยกระบอกถ่านที่ถูกให้ความร้อนในขดลวดเหนี่ยวนำความร้อน (Heat induction: เครื่องฮีทอินดักชัน) และ สารประกอบตั้งต้น

7.1ลักษณะและความมุ่งหมายของการประดิษฐ์ (วัตถุประสงค์ของการประดิษฐ์)

ลักษณะเป็นการเตรียม สารประกอบอเล็กไทไรต์ C12A7)Mayenite, โดเดคาแคลเซียม เฮปตาอะลูมิเนส]Dodecacalcium Hepta-aluminate ($12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ หรือ $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$) ถูกย่อเป็น C12A7(ถูกเตรียมอย่างรวดเร็วโดยวิธีการเตรียมด้วยกระบอกถ่านที่ถูกให้ความร้อนในขดลวดเหนี่ยวนำความร้อน (Heat induction: เครื่องฮีทอินดักชัน) และ สารประกอบตั้งต้น

จุดมุ่งหมายของการประดิษฐ์นี้ เพื่อสังเคราะห์สารประกอบอเล็กไทไรต์ C12A7 และสารประกอบตั้งต้น

7.2สาขาวิทยาการที่เกี่ยวข้องกับการประดิษฐ์ (การประดิษฐ์อยู่ในสาขาหรือเทคโนโลยีด้านใด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับควรใช้เฉพาะเพื่อการศึกษาค้นคว้า ในขอบเขตที่นำไปใช้ประโยชน์แล้วแต่ค่า
วิทยาการทางฟิสิกส์ และวัสดุศาสตร์ฟิสิกส์ ในส่วนที่เกี่ยวข้องกับกรรมวิธีการผลิตและผลิตภัณฑ์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารประกอบอเล็กไทรต์ C12A7)Mayenite, โดเดคาแคลเซียม เฮปตาอะลูมิเนส]Dodecacalcium Hepta-aluminate ($12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ หรือ $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$) ถูกย่อเป็น C12A7(ถูกเตรียมอย่างรวดเร็วโดยวิธีการเตรียมด้วย กระบอกถ่านที่ถูกให้ความร้อนในขดลวดเหนี่ยวนำความร้อน (Heat induction: เครื่องอิทธิอนัดักชั้น) และ สารประกอบตั้งต้น

7.3 ภูมิหลังของศิลปะหรือวิทยาการที่เกี่ยวข้อง) ระบุข้อบกพร่องของการประดิษฐ์ที่มีอยู่ก่อน พร้อม ทั้ง การแก้ไขปัญหาทางเทคนิคที่ท่านขอรับสิทธิบัตรนั้นมีความแตกต่างหรือมีชั้นการประดิษฐ์ที่ สูงขึ้น จากเดิมอย่างไร(

สารประกอบโดเดคาแคลเซียม ($12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$) [1-16] เป็นวัสดุที่มีโครงสร้างประกอบขึ้นจากสารประกอบพื้นฐาน 12CaO และ $7\text{Al}_2\text{O}_3$ ซึ่งเป็นสารประกอบพื้นฐานสำหรับโครงสร้างซีเมนต์ โดยมีสูตรทางเคมี $12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ หรือ $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$ และมีการเขียนสูตรย่อตามแบบฉบับสำหรับซีเมนต์คือ C12A7 โดยสารประกอบโดเดคาแคลเซียม นั้นมี โครงสร้างเป็นลักษณะแบบกรง ขนาดนาโน แบบวงกลม ทรงตะกร้อไทย ใน 1 unit cell มี 12 กรง ซึ่งในแต่ละกรงจะมี ช่องว่างภายในขนาดประมาณ 0.4 nano-meter โครงสร้างสารประกอบ C12A7 นั้นเป็นสามารสสังเคราะห์ได้จาก สารประกอบตั้งต้น CaO และ Al_2O_3 และสามารถคงตัวได้ภายใต้สภาวะความดันบรรยากาศและความชื้นปกติใน บรรยากาศทั่วไป โดยโครงสร้างสารประกอบ C12A7 ดังกล่าวนี้เป็นโครงสร้างที่เป็นหนึ่งจากห้าแบบทั้งหมดของ สารประกอบซีเมนต์ Calcium aluminates [18] คือ (1) $\text{CaO}\cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (CA) [Monocalcium aluminate], (2) $\text{CaO}\cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3$ (C2A) [Monocalcium dialuminate], (3) $\text{CaO}\cdot 6\text{Al}_2\text{O}_3$ (C6A) [Monocalcium hexa-aluminate], (4) $3\text{CaO}\cdot \text{Al}_2\text{O}_3$ (C3A) [Tricalcium aluminate], และ (5) $12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ (C12A7) [Dodecacalcium hepta-aluminate]

จากงานวิจัยและสิทธิบัตรที่มีมาจนถึงปัจจุบันนี้ พบว่า สำหรับการเตรียม C12A7:O² นั้น ตามสิทธิบัตรเลขที่ US 2017/0095793 A1(method for producing conductive mayenite compound power) ได้เตรียม C12A7 (Mayenite) โดยวิธีการ นำผง CaCO_3 และ ผง Al_2O_3 มาผสมให้ได้ สัดส่วน ระหว่าง Ca ต่อ Al เป็น 11ต่อ 14 ใช้ ปริมาณ30g เเผาใน ถ้วยอลูมินา ที่อุณหภูมิ 1300C แล้วนำผงดังกล่าวที่สังเคราะห์ได้ ไปเผาต่อที่ ท่อ แก้ว ซิลิกา ภายใน บรรยากาศแบบอัญญากาศ ที่ความดัน 1×10^{-4} Pa ที่อุณหภูมิ 1100C เป็นเวลา 15 ชม และยังเตรียมได้อีก โดยวิธีการ นำผง $\text{Ca}(\text{OH})_2$ และ $\text{Al}(\text{OH})_3$ มาชั่งให้ได้ สัดส่วน ระหว่าง Ca ต่อ Al เป็น 12ต่อ 14 ผสมกัน แล้วมาละลายน้ำให้ได้ ผง ที่ผสมกันเป็น 10% ต่อน้ำ มาผสม ให้ได้น้ำหนักทั้งหมด 160g แล้วหมุนผสมใน planetary ball mill เป็นเวลา 4 ชม แล้ว บรรจุในกระบอกที่ถูกชีวป้องกันความดันภายนอก แล้วใช้วิธี hydrothermal สังเคราะห์ ที่อุณหภูมิ 150 C เป็นเวลา 6 ชม พร้อมการหมุน จากนั้นนำไปprecipitate โดยการ filtration อบแห้ง จนได้เป็นผลผลิต $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{OH})_{12}$ จากนั้นเผาไล่ น้ำ ที่อุณหภูมิ 600 C เป็นเวลา 5 ชม จึงได้ผลผลิตเป็น C12A7 (Maynrite) นั้น และตามสิทธิบัตรเลขที่ US 6818192 B2 ($12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ compound clathrating active oxygen species and method for preparing the same US 6818192 B2) ได้เตรียม C12A7 (Maynrite) โดยวิธีการ นำผง Ca (จาก Calcium carbonate, Calcium hydroxide,

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือ Calcium oxide) และ ผง Al (จาก aluminum oxide หรือ aluminum hydroxide) มาผสมให้ได้ สัดส่วนอะตอมระหว่าง Ca ต่อ Al เป็น 12 ต่อ 14 ซึ่งเป็นสารตั้งต้นแล้วมาสังเคราะห์ที่ ที่อุณหภูมิระหว่าง 1200 C ถึง 1415 C ภายใต้บรรยากาศแห้ง ที่มีออกซิเจนบางส่วนที่ 104 Pa และมีความชื้นหรือไอน้ำบางส่วนที่ 102 Pa หรือต่ำกว่า

และสำหรับการสังเคราะห์อิเล็กโทรด C12A7:e⁻ นั้น ตามสิทธิบัตรเลขที่ US 7892245B2 เตรียมโดยการ heat treating C12A7:O ในบรรยากาศของไอโลหะไททาเนียม (Ti) และในสิทธิบัตรเลขที่ US 20060151311A1 สามารถเตรียมโดยการ heat treating ผง C12A7 ในบรรยากาศของไอโลหะalkal (Na หรือ Li) และ โลหะalkaline-earth (Mg หรือ Ca) ที่ อุณหภูมิ 600C ถึง 800C ใช้เวลา 4 ถึง 240 ชม

สำหรับการ solidifying สารประกอบ C12A7 ได้ถูกรายงานในบทความ [2, 19-21] แต่ไม่มีการจดสิทธิบัตร และอนุสิทธิบัตรแต่อย่างใด โดยเป็นวิธีการสังเคราะห์ ตรงโดยใช้สารตั้งต้นอัดเป็นเม็ดขนาดเท่ายา นำใส่ถ้วยคาร์บอนที่ฝาปิดมิดชิด แล้วนำไปเผาในเตา ที่อุณหภูมิ 1600 C เป็นเวลา 20 ชม และเอา จากนั้นนำไปเผาที่ ที่อุณหภูมิ 1600 C เป็นเวลา 20 ชม จนได้ผลผลิตเป็น อิเล็กโทรด C12A7:e⁻

จะเห็นได้ว่ากระบวนการสังเคราะห์จากวิธีการข้างต้นนั้นจะใช้อุณหภูมิค่อนข้างสูงมากและเป็นใช้เวลานานมากไม่เหมาะสมกับการผลิตในเชิงอุตสาหกรรม

- [1] K. Hayashi, S. Matsuishi, T. Kamiya, M. Hirano and H. Hosono, "Light-induced conversion of an insulating refractory oxide into a persistent electronic conductor", *Nature* 419, 462-465 (3 October 2002)
- [2] S. Matsuishi, Y. Toda, M. Miyakawa, K. Hayashi, T. Kamiya, M. Hirano, I. Tanaka, H. Hosono, "High-Density Electron Anions in a Nanoporous Single Crystal: $[Ca_{24}Al_{28}O_{64}]^{4+}(4e^-)$ ", *Science*, 301, 626, (2003).
- [3] M. Kitano, Y. Inoue, Y. Yamazaki, F. Hayashi, S. Kanbara, S. Matsuishi, T. Yokoyama, S. Kim, M. Hara and H. Hosono, "Ammonia synthesis using a stable electride as an electron donor and reversible hydrogen store", *Nature Chemistry*, 4, 934-940 (2012)
- [6] Y.X. Liua, L. Mab, D.T. Yana, H.C. Zhua, X.L. Liua, H.Y. Biana, H. Zhangc, X.J. Wang, "Effects of encaged anions on the optical and EPR spectroscopies of RE doped C12A7", *Journal of Luminescence*, 152 (2014) 28-32.
- [8] S. Kim, M. Miyakawa, M. Hirano, Y. Kohama, H. Kawaji, T. Atake, H. Ikegami, K. Kono and H. Hosono, "Superconducting Transition in Electron-Doped $12CaO-7Al_2O_3$ ", *Materials Transactions*, Vol. 49, No. 8 (2008) pp. 1748 to 1752.
- [9] H. Hosono, "Exploring Electro-active Functionality of Transparent Oxide Materials", *Japanese Journal of Applied Physics*, 52 (2013) 090001.
- [10] J. Sum, Y. Xu, R. Wang and Zhaozhongqiu, and L. Xing, Influences of temperature on the conductivity properties of single crystal $C12A7:e^{-1}$, *Int. J. Electrochem. Sci.*, 8(2013) 10122-10128.
- [11] H. Hosono, K. Hayashi, T. Kamiya, T. Atou and T. Susaki, "New functionalities in abundant element oxide: ubiquitous element strategy", *Sci. Technol. Adv. Mater.* 12 (2011) 034303 (22pp).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [12] Bertoni Mariana Ines, "Cage structure materials for n-type transparent conducting oxides" Ph.D., Northwestern University, 2007, 218 pages; AAT 3251914.
- [13] H. Boysena; I. Kaiser-Bischoff, M. Lerch, S. Berendts, M. Hoelzel and A.Senyshyn, "Disorder and Diffusion in Mayenite", ACTA PHYSICAPOLONICA A ,No. 1, Vol. 117 (2010).
- [14] D. Wang, Y. X. Liu, Y.C. Liu, D.S. Xu, C. L. Shao and X. H. Li, preparation and visible emission of Er-doped $12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ powder, J. Nanoscience and Nanotechnology, (2008) 1458-1463.
- [15] Y.X. Liu, L. Ma, D.T. Yan, H.C. Zhu, X.L. Liu, H.Y. Bian, H. Zhang, X.J. Wang, "Effects of encaged anions on the optical and EPR spectroscopies of RE doped C12A7", Journal of Luminescence, 152(2014)28-32.
- [16] S. W. Kim, R. Tarumi, H. Iwasaki, H. Ohta, M. Hisahiro, and H. Hosono, "Thermal conductivity and Seebeck coefficient of $12\text{Ca}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ electride with a cage structure" Physical review B, 80, 075201,(2009).
- [17] Sung-Wng Kim, Satoru Matsuishi, Masashi Miyakawa, Katsuro Hayashi, Masahiro Hirano, Hideo Hosono, J Mater Sci: Mater Electron (2007) 18:S5-S14.
- [18] David S. Ginley, Handbook, of transparent conduction, Springer.
- [19] S. Kim et.al, J. Am. Chem. Soc., 2005, 127 (5), pp 1370-1371.
- [20] H. Hosono, et. al., Journal of Non-Crystalline Solids, Vol 352, Isss 9-20, Pgs 839-2060, 2018.
- [21] S. W. Kim ,et. al. Mater. , 2006, 18 (7), pp 1938-1944 .
- [22]US 2017/0095793 A1 (method for producing conductive mayenite compound power)
- [23]US 6818192 B2 ($12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ compound clathrating active oxygen species and method for preparing the same US 6818192 B2)
- [24]US 7892245B2
- [25]US 20060151311A1

ระบุรายละเอียดการประดิษฐ์โดยเฉพาะส่วนที่เป็นสาระสำคัญทาง) สาระสำคัญของการประดิษฐ์ 7.4
เทคนิคของผลิตภัณฑ์ กรรมวิธี ตลอดจนผลการทดลอง การทดสอบ ในขั้นของการวิจัยและพัฒนา
ทดสอบ ให้แนบมาเพื่อประก/หากมีรูปเขียนหรือรายงานผลการทดลองประกอบการพิจารณาด้วย (

รายละเอียด กรรมวิธีการประดิษฐ์ สารประกอบอเล็กไทเรต C12A7)Mayenite, โดเดคาแคลเซียม
เฮปตาอะลูมิเนส]Dodecacalcium Hepta-aluminate ($12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ หรือ $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$) ถูกย่อเป็น C12A7 (ถูก
เตรียมอย่างรวดเร็วโดยวิธีการเตรียมด้วยกระบอกถ่านที่ถูกให้ความร้อนในขดลวดเหนี่ยวนำความร้อน (Heat
induction: เครื่องฮีทอินดักชัน) และ สารประกอบตั้งต้น

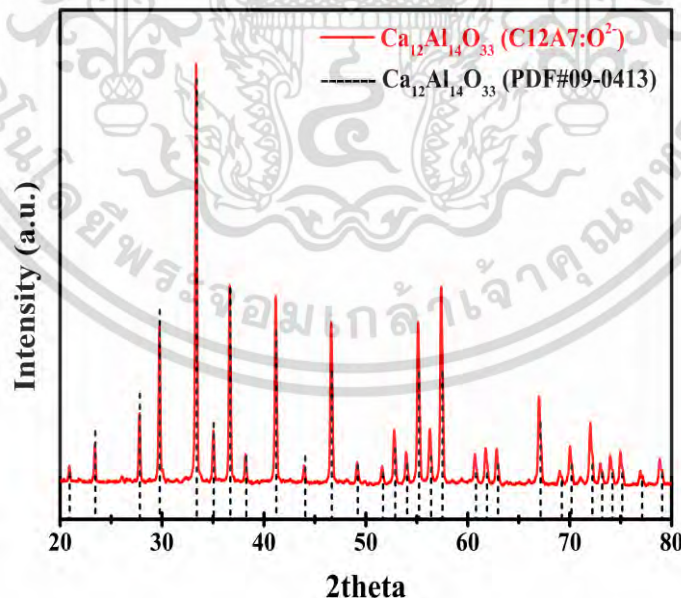
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยมีวิธีการเตรียมอิเล็กโทรด C12A7:e อย่างรวดเร็วด้วยเทคนิคการเหนี่ยวนำความร้อน แบ่งออกเป็น การเตรียม 2 ขั้นตอนคือ (1) การเตรียมสารประกอบ C12A7:O²⁻ ซึ่งเป็นสารประกอบเริ่มต้นที่สังเคราะห์ที่ยังเป็นฉนวนทาง การนำไฟฟ้า และ (2) สังเคราะห์อิเล็กโทรด C12A7:e⁻ ซึ่งเป็นการทำให้ C12A7:O²⁻ ที่เป็นฉนวนให้กลายมาเป็นตัวนำไฟฟ้า ซึ่งเป็นการให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระเกิดหรือขึ้นในโครงสร้างเดิมของ C12A7:O²⁻ แต่ออกซิเจนอิสระที่อยู่ภายใน กระจกถูกดึงออกและทิ้งอิเล็กโทรดไว้แทน สำหรับ

การเตรียมสารตั้งต้นสารประกอบ C12A7:O²⁻

วิธีที่ A1

เริ่มจากการเตรียมสารประกอบ C12A7:O²⁻ ที่เป็นการสังเคราะห์ด้วยวิธีปฏิกิริยาของแข็งจากสารตั้งต้นโดยใช้ ผงเปลือกไข่บดละเอียดผสมกับ Al₂O₃ ด้วยสัดส่วน 12 ต่อ 7 จากนั้นนำผงสารตั้งต้นถูกผสมกับเอทานอลสำหรับ หล่อลื่นโดยเครื่องบดแบบลูกบอล เป็นเวลาแล้วทำการแยกสารตั้งต้นที่ถูกผสมกับเอทานอลและลูกบอลออกจากกัน โดยใช้กรวยกรองสารนำสารตั้งต้นไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 °C จนกระทั่งเอทานอลระเหยหมดซึ่งจะได้ผงสีขาว ละเอียด หรือวิธีการนำด้วยวิธีอื่นเช่น การผสมด้วยครกบด การผสมด้วยอัลตราโซนิก หรืออื่นๆ แล้วนำผงสีขาวทำการ เผาแคลไซต์ โดยวางในภาชนะแบบไม่มีฝาปิดเช่นวางในถาดอะลูมินา หรือ ถาดซิลิคอนคาร์ไบด์ ให้ความในเตา ความร้อนที่อุณหภูมิ 1300 °C โดยมีการผ่านก๊าซออกซิเจนเข้าไปข้างเตา จากนั้นจึงได้ผลผลิตเป็นสารประกอบ C12A7:O²⁻ ที่ถูกบรรจุด้วยออกซิเจนอิสระในกลางกรงในโครงสร้างของ C12A7 โดยมีเอกลักษณ์ที่ถูกตรวจสอบด้วย XRD เป็น รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของสารประกอบ C12A7:O²⁻ ดังแสดงในรูปที่ 2



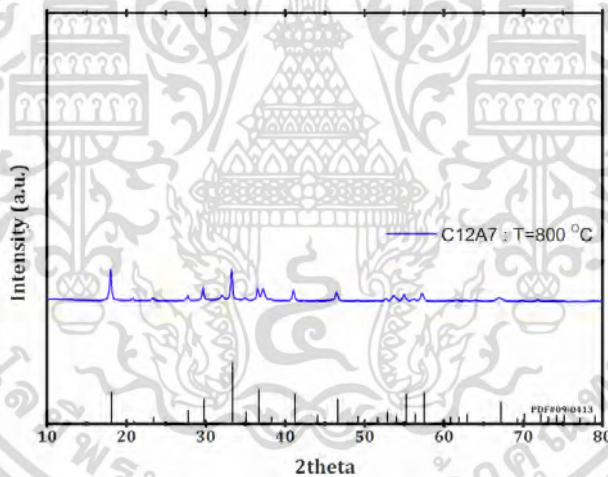
รูปที่ 2 x กราฟแสดงผลการตรวจสอบผลึกโดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) ของโดเดคาแคลเซียม เฮปตา อะลูมินา [Dodecacalcium Hepta-aluminate (12CaO-7Al₂O₃ หรือ Ca₁₂Al₁₄O₃₃ ย่อเป็น C12A7)] ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เตรียมได้ ซึ่งรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์นั้นสอดคล้องกับรูปแบบการเลี้ยวเบนมาตรฐาน เลขที่ xxxx ของ $12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ โดยมีโครงสร้างผลึกแบบคิวบิก

วิธีที่ A2

การเตรียมสารประกอบสารประกอบ $\text{C}_{12}\text{A}_7\text{:O}^{2-}$ จากสารประกอบซีเมนต์โครงสร้าง $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (C_3AH_6) ที่อุณหภูมิต่ำ ที่เป็นการเตรียมสารประกอบ $\text{C}_{12}\text{A}_7\text{:O}^{2-}$ จากวิธีสังเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาของแข็ง (Solid state reaction) ร่วมกับวิธีปฏิกิริยาความร้อนทั่วไป (Conventional Heating) โดยเริ่มจากการเตรียมสารตั้งต้น $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (C_3AH_6) ที่เริ่มจากเตรียม Calcium carbonate (CaCO_3) + Aluminum oxide (Al_2O_3) ก่อนจากวิธีการ Solid state reaction เเผาที่อุณหภูมิ 800°C ซึ่งได้ผลผลิตเป็น CaAlO (calcium aluminum oxide) จากนั้นนำ CaAlO มาทำปฏิกิริยากับน้ำโดยวิธี Conventional Heating process ให้น้ำระเหยไปหมดที่ $80\text{--}90^\circ\text{C}$ ใช้เวลา $1\text{--}2$ hr แล้วนำอบไล่ความชื้นด้วยเตาไฟฟ้าที่ อุณหภูมิ 100°C ซ้ำคืน ได้เป็นผง $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (C_3AH_6) จากนั้นทำการเผาแคลไซต์ โดยวางในภาชนะแบบไม่มีฝาปิด เช่นวางในภาชนะอะลูมินา ให้ความร้อนในเตาความร้อนที่อุณหภูมิ 800°C ที่เวลา ชั่วโมง จากนั้นจึงได้ผลผลิตเป็นผงสีขาวของสารประกอบ $5\text{C}_{12}\text{A}_7\text{:O}^{2-}$ โดยมีเอกลักษณ์ที่ถูกรวบรวมด้วย XRD เป็นรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ ดังแสดงในรูป



รูป ผลของ X-Ray diffraction พบว่าลักษณะรูปแบบการเลี้ยวเบนที่สอดคล้องกับ $\text{C}_{12}\text{A}_7\text{:O}^{2-}$ ปรากฏขึ้นที่มุมเลี้ยวเบน 2θ โดยพีคการเลี้ยวเบนทั้งหมดมีการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ที่ระบุใน ชุดข้อมูลมาตรฐาน JCPDS หมายเลข 09-0413 ซึ่งตรงกับระนาบการเลี้ยวเบน

วิธีที่ A3

เริ่มจากการเตรียมสารประกอบ $\text{C}_{12}\text{A}_7\text{:O}^{2-}$ ถูกสังเคราะห์โดยวิธีสังเคราะห์ด้วยวิธีการสลายตัวโดยความร้อน (Thermal Decomposition) ร่วมกับวิธีไฮโดรเทอร์มอล (Hydrothermal) จากสารตั้งต้น แคลเซียมไนเตรต เตตระไฮเดรต ($\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) ผสมกับ อะลูมิเนียมไนเตรต โนนานไฮเดรต ($\text{Al}(\text{NO}_3)_3 \cdot 9\text{H}_2\text{O}$) ในน้ำปราศจากไอออน (Deionized water) 100 มิลลิลิตร ด้วยสัดส่วน 12 ต่อ 14 ที่ความเข้มข้น 0.01 โมล คนให้เข้ากันสักพักจะได้

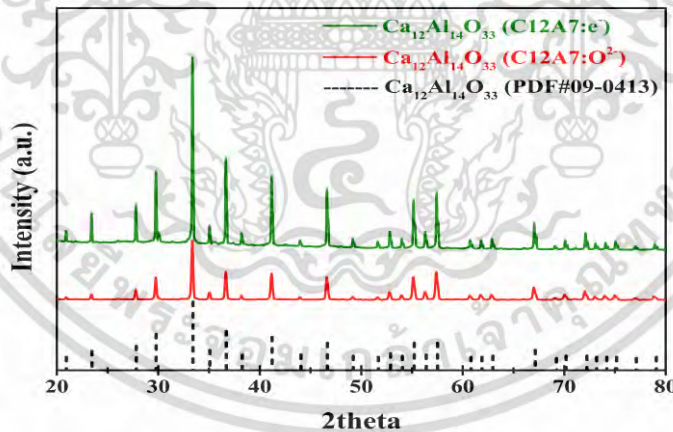
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารละลายใส ไม่มีสี จากนั้นนำสารละลายที่ได้ไปผ่านวิธีไฮโดรเทอร์มอล ที่อุณหภูมิ 150 °C เป็นเวลา 3 ชั่วโมง นำสารละลายที่ได้ไปเผาแคลไซต์ที่อุณหภูมิ 400-600 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง จะได้ผลผลิตเป็นผงสีขาวของสารประกอบ $C_{12}A_7:O^{2-}$

การสังเคราะห์อิเล็กโทรด $C_{12}A_7:e^-$

วิธีที่ B1

ในการสังเคราะห์อิเล็กโทรด $C_{12}A_7:e^-$ โดยเป็นสังเคราะห์เพื่อเปลี่ยนจากสารประกอบ $C_{12}A_7:O^{2-}$ ให้เป็นอิเล็กโทรด $C_{12}A_7:e^-$ มีขั้นตอนเริ่มจาก นำสารประกอบ $C_{12}A_7$ ได้จากการสังเคราะห์ด้วยวิธี A1 A2 A3 และ A4 หรือวิธีการอื่นๆ มาบดให้ละเอียดแล้วนำผง ที่ผ่านการบดมาบรรจุในถ้วยคาร์บอน จากนั้นนำถ้วยคาร์บอนไปวางข้างในขดลวดเหนียวหนา ของเครื่องทำความร้อนเทคนิคอินดักชัน แล้วเปิดเครื่องให้เกิดการจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับสร้างสนามแม่เหล็กให้เกิดการเหนี่ยวนำสร้างความร้อนให้กับถ้วยคาร์บอน ทำการควบคุมอุณหภูมิถ้วยที่คาร์บอนให้อยู่ระหว่าง 1300 ถึง 1400C ผลผลิตที่ได้คือสารประกอบอิเล็กโทรด $C_{12}A_7:e^-$ ที่เป็นตัวนำไฟฟ้า ซึ่งมีลักษณะสีเริ่มจากสีส้ม จน เขียว จน เขียวเข้มจนถึงสีดำเข้ม โดยมีเอกลักษณ์ที่ถูกตรวจสอบด้วย XRD เป็นรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของสารประกอบ $C_{12}A_7:O^{2-}$ และอิเล็กโทรด $C_{12}A_7:e^-$ ดังแสดงในรูปที่ x



รูป กราฟแสดงผลการตรวจสอบผลึกโดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (XRD) ของโดเดคาแคลเซียม เฮปตาอะลูมิเนส [Dodecacalcium Hepta-aluminate ($12CaO-7Al_2O_3$ หรือ $Ca_{12}Al_{14}O_{33}$ ย่อเป็น $C_{12}A_7$] ที่เตรียมได้ ซึ่งรูปแบบการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์นั้นสอดคล้องกับรูปแบบการเลี้ยวเบนมาตรฐาน เลขที่ xxxx ของ $12CaO-7Al_2O_3$ โดยมีโครงสร้างผลึกแบบคิวบิก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีที่ B2

เป็นการสังเคราะห์สารประกอบอเล็กไทรด์ $C_{12}A_7:e^-$ คือ นำสารตั้งต้นสีขาวจากหัวข้อ A1, A2, A3 และ A4 มาทำการมาบดให้ละเอียด แล้วนำผงที่ได้บรรจุลงในถ้วยคาร์บอน จากนั้นนำถ้วยคาร์บอนไปวางข้างในขวดหลอดเหนียวนำของเครื่องทำความร้อนเทคนิคอินดักชัน แล้วเปิดเครื่องให้เกิดการจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับสร้างสนามแม่เหล็กให้เกิดการเหนียวนำสร้างความร้อนกับถ้วยคาร์บอน ควบคุมอุณหภูมิถ้วยคาร์บอนอยู่ระหว่าง 1300 ถึง 1400 °C ที่เวลา 40 วินาที จะได้วัสดุที่หลอมรวมกันเป็นเม็ดกลม ผิวสีดำเงา จากนั้นบดให้ละเอียดแล้วนำไปให้ความร้อนด้วยเทคนิคอินดักชันอีกครั้ง จึงจะได้ วัสดุที่หลอมรวมกันเป็นเม็ดกลม ผิวสีดำด้านออกมา เมื่อบดให้ละเอียดจะได้ผงที่มีลักษณะสีขาวซีมาไปจนถึงสีดำ ผลผลิตที่ได้นี้ก็คือนำสารประกอบอเล็กไทรด์ $C_{12}A_7:e^-$ ที่เป็นตัวนำไฟฟ้า

คำอธิบายรูปเขียนโดยย่อ

-

วิธีการในการประดิษฐ์ที่ดีที่สุด

A) การเตรียมสารตั้งต้นสารประกอบ $C_{12}A_7:O^{2-}$

วิธีที่ A1

เริ่มจากการเตรียมสารประกอบ $C_{12}A_7:O^{2-}$ ที่เป็นการสังเคราะห์ด้วยวิธีปฏิกิริยาของแข็งจากสารตั้งต้นโดยใช้ผงเปลือกไข่บดละเอียดผสมกับ Al_2O_3 ด้วยสัดส่วน 12 ต่อ 7 จากนั้นนำผงสารตั้งต้นถูกมาทำผสมกับเอทานอลสำหรับหล่อลื่นโดยเครื่องบดแบบลูกบอล เป็นเวลาแล้วทำการแยกสารตั้งต้นที่ถูกผสมกับเอทานอลและลูกบอลออกจากกัน โดยใช้กรวยกรองสารนำสารตั้งต้นไปอบแห้งที่อุณหภูมิ 100 °C จนกระทั่งเอทานอลระเหยหมดซึ่งจะได้ผงสีขาวละเอียด หรือวิธีการนำด้วยวิธีอื่นเช่น การผสมด้วยครกบด การผสมด้วยอัลตราโซนิก หรืออื่นๆ แล้วนำผงสีขาวทำการเผาแคลไซต์ โดยวางในภาชนะแบบไม่มีฝาปิดเช่นวางในถาดอะลูมินา หรือ ถาดซิลิคอนคาร์ไบด์ ให้ความร้อนในเตาความร้อนที่อุณหภูมิ 1300 °C โดยมีกาผ่านก๊าซออกซิเจนเข้าไปข้างเตา จากนั้นจึงได้ผลผลิตเป็นสารประกอบ $C_{12}A_7:O^{2-}$ ที่ถูกบรรจุด้วยออกซิเจนอิสระในกลางกรงในโครงสร้างของ $C_{12}A_7$ โดยมีเอกลักษณ์ที่ถูกตรวจสอบด้วย XRD เป็นรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของสารประกอบ $C_{12}A_7:O^{2-}$

วิธีที่ A2

การเตรียมสารประกอบสารประกอบ $C_{12}A_7:O^{2-}$ จากสารประกอบซีเมนต์โครงสร้าง $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$ ($C_3A \cdot 6H_2O$) ที่อุณหภูมิต่ำ ที่เป็นการเตรียมสารประกอบ $C_{12}A_7:O^{2-}$ จากวิธีสังเคราะห์ด้วยปฏิกิริยาของแข็ง (Solid state reaction) ร่วมกับวิธีปฏิกิริยาความร้อนทั่วไป (Conventional Heating) โดยเริ่มจากการเตรียมสารตั้งต้น $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$ ($C_3A \cdot 6H_2O$) ที่เริ่มจากเตรียม Calcium carbonate ($CaCO_3$) + Aluminum oxide (Al_2O_3) ก่อนจากวิธีการ Solid state reaction เผาที่อุณหภูมิ 800°C ซึ่งได้ผลผลิตเป็น $CaAlO$ (calcium aluminum

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

oxide) จากนั้นนำ CaAlO มาทำปฏิกิริยากับน้ำโดยวิธี Conventional Heating process ให้น้ำระเหยไปหมดที่ 80-90 oC ใช้เวลา 1-2 hr แล้วนำอบไล่ความชื้นด้วยเตาไฟฟ้าที่ อุณหภูมิ 100 oC ซ้ำคืน ได้เป็นผง $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 6H_2O$ (C_3AH_6) จากนั้นทำการเผาแคลไซต์ โดยวางในภาชนะแบบไม่มีฝาปิด เช่นวางในถาดอะลูมินา ให้ความร้อนในเตาความร้อนที่อุณหภูมิ 800 ที่เวลา ชั่วโมง จากนั้นจึงได้ผลผลิตเป็นผงสีขาวของสารประกอบ $5C_12A_7 \cdot O_2$ - โดยมีเอกลักษณ์ที่ถูกรวบรวมด้วย XRD เป็นรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์

B) การสังเคราะห์อิเล็กโทรด $C_{12}A_7:e^-$

วิธีที่ B1

ในการสังเคราะห์อิเล็กโทรด $C_{12}A_7:e^-$ โดยเป็นสังเคราะห์เพื่อเปลี่ยนจากสารประกอบ $C_{12}A_7:O^{2-}$ ให้เป็นอิเล็กโทรด $C_{12}A_7:e^-$ มีขั้นตอนเริ่มจาก นำสารประกอบ $C_{12}A_7$ ได้จากการสังเคราะห์ด้วยวิธี A1 A2 A3 และ A4 หรือวิธีการอื่นๆ มาบดให้ละเอียดแล้วนำผง ที่ผ่านการบดมาบรรจุในถ้วยคาร์บอน จากนั้นนำถ้วยคาร์บอนไปวางข้างในขดลวดเหนี่ยวนำ ของเครื่องทำความร้อนเทคนิคอินดักชัน แล้วเปิดเครื่องให้เกิดการจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับสร้างสนามแม่เหล็กให้เกิดการเหนี่ยวนำสร้างความร้อนให้กับถ้วยคาร์บอน ทำการควบคุมอุณหภูมิถ้วยที่คาร์บอนให้อยู่ระหว่าง 1300 ถึง 1400C ผลผลิตที่ได้คือสารประกอบอิเล็กโทรด $C_{12}A_7:e^-$ ที่เป็นตัวนำไฟฟ้า ซึ่งมีลักษณะสีเริ่มจากสีส้ม จน เทียว จน เทียวเข้มจนถึงสีดำเข้ม โดยมีเอกลักษณ์ที่ถูกรวบรวมด้วย XRD เป็นรูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของสารประกอบ $C_{12}A_7:O^{2-}$ และอิเล็กโทรด $C_{12}A_7:e^-$

7.5 ข้อถือสิทธิ) ระบุขอบเขตที่ต้องการได้รับความคุ้มครอง และต้องสอดคล้องกับรายละเอียดการประดิษฐ์ (

✓ **ผลิตภัณฑ์ ที่มีลักษณะพิเศษทางเทคนิค** คือ สารประกอบอิเล็กโทรด $C_{12}A_7$)Mayenite, โดเดคาแคลเซียม เฮปตาอะลูมินาต [Dodecacalcium Hepta-aluminate ($12CaO \cdot 7Al_2O_3$ หรือ $Ca_{12}Al_{14}O_{33}$) ถูกย่อเป็น $C_{12}A_7$ (ถูเตรียมอย่างรวดเร็วโดยวิธีการเตรียมด้วยกระบอกถ่านที่ถูกให้ความร้อนในขดลวดเหนี่ยวนำความร้อน (Heat induction: เครื่องอิทอินดักชัน) และ สารประกอบตั้งต้น

✓ **กรรมวิธีการผลิต ที่มีลักษณะพิเศษทางเทคนิค** คือ เทคนิคการเตรียมสารตั้งต้นตามวิธี A1 ถึง A5 วิธีการเตรียม อิเล็กโทรด โดเดคาแคลเซียม เฮปตาอะลูมินาต [Dodecacalcium Hepta-aluminate ($12CaO \cdot 7Al_2O_3$ หรือ $Ca_{12}Al_{14}O_{33}$ ย่อเป็น $C_{12}A_7$)] ถูเตรียมอย่างรวดเร็วโดยวิธีการเตรียมด้วยกระบอกถ่านที่ถูกให้ความร้อนในขดลวดเหนี่ยวนำความร้อน (Heat induction: เครื่องอิทอินดักชัน) ตามวิธี B1 ถึง B3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

.8 จุดเด่นของผลิตภัณฑ์และการนำประโยชน์จากผลิตภัณฑ์สู่เชิงพาณิชย์

อิเล็กโทรด C12A7 โดเดคาแคลเซียม เฮปตาอะลูมิเนส [Dodecacalcium Hepta-aluminate ($12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ หรือ $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$ ย่อเป็น C12A7)] เป็นสารที่เป็นส่วนประกอบที่สามารถนำไปประยุกต์และสร้างสิ่งประดิษฐ์ได้หลายอย่างเช่น ทำเป็นขั้วไฟฟ้าสำหรับวัสดุฉลาดสมัยใหม่ ในมือถือ จอโน้ตบุค ต่างๆ สามารถนำไปผลิตเป็นกระจกนำไฟฟ้า ขั้วไฟฟ้าโซลาเซลล์ วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก ตัวเก็บประจุยิ่งยวด เซลล์เชื้อเพลิง เป็นตัวเร่งปฏิกิริยาในการผลิตแอมโมเนียและอื่นๆ ดังนั้นอิเล็กโทรด C12A7 โดเดคาแคลเซียม เฮปตาอะลูมิเนส [Dodecacalcium Hepta-aluminate ($12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ หรือ $\text{Ca}_{12}\text{Al}_{14}\text{O}_{33}$ ย่อเป็น C12A7)] จึงเป็นสารประกอบสำคัญในเชิงการค้า

ลงชื่อ.....ตัวแทนผู้ดำเนินการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เพรชชฎา รัตนพันธ์)

หมายเหตุ

กรุณาระบุข้อมูลประกอบการพิจารณาให้ครบถ้วนเพื่อประโยชน์ของท่าน และหากรายละเอียดที่ประสงค์จะกรอกเกินจากที่กำหนดไว้ท่านสามารถเพิ่มเติมเอกสารแนบท้าย

หากไม่สะดวกในการกรอกข้อมูล กรุณาแนบไฟล์ที่ท่านพิมพ์มาประกอบการพิจารณา

ผู้ที่ประสงค์ยื่นขอรับสิทธิบัตรอนุสิทธิบัตร จะต้องนำเสนองานต่อคณะกรรมการและขอข้อซักถาม

ภายในเวลา นาที 10 พร้อมทั้งเตรียมข้อมูลการนำเสนอให้ครบถ้วน เช่น ผลการทดลอง รูปประกอบ เป็นต้น

ผู้ที่ประสงค์ยื่นขอรับสิทธิบัตรอนุสิทธิบัตร/ จะต้องได้รับความยินยอมหรือเห็นชอบจากผู้ประดิษฐ์/

ผู้ประดิษฐ์ร่วมทุกท่านก่อน พร้อมทั้งลงลายมือชื่อเพื่อยืนยันว่ายินยอม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) Poster ที่จัดแสดงในงานนิทรรศการวิทยาศาสตร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

หัวหน้าโครงการ

ผศ.ดร.เชษฐา รัตนพันธ์

Assits.Prof.Dr.Chesta Ruttanapun

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

มือถือ 0815104965

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

ประวัติการศึกษาสูงสุด

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

สถานที่ติดต่อ: ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประสบการณ์วิจัยหรือสาขาที่ชำนาญ: ฟิสิกส์วัสดุด้าน เทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์

ประสบการณ์การทำงาน (โดยเฉพาะที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย โดยระบุชื่อโครงการ แหล่งทุน รวมทั้งรางวัลที่เคยได้รับ (ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย))

ชื่อโครงการ	แหล่งทุน	งบประมาณรวม	ปีที่ได้-สิ้นสุด	เป็นหัวหน้า / ผู้ร่วมวิจัย	จำนวนนักวิจัย
การพัฒนาวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกแบบผสมและเทคนิคการพิมพ์สามมิติ เพื่อประดิษฐ์ผ้าใบทำความเย็นเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับประยุกต์ใช้ในระบบปรับอากาศยานยนต์	ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์	4,690,800.00	2561 ถึง 2564	หัวหน้าโครงการ	14
การผลิตและการปรับปรุงสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริกของเซรามิก C12A7 โครงสร้างเป็นกรงขนาดนาโน โดย การ โต้ บ อี เล็ก ตรอน ข้าง ใน กรง ผ่ า น วิ ธี ก า ร ล ด บ รรยอากาศแก๊ซ X (X = C, F, Cl, H และ N)	ทุนพัฒนาศักยภาพในการทำงานวิจัยของอาจารย์รุ่นใหม่ ประจำปี ๒๕๖๐ ของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ต่อเนื่อง ๒ ปี	๖๐๐,๐๐๐	๑๗ ก.ค. ๒๕๖๐ – ๑๖ ก.ค. ๒๕๖๒	หัวหน้าโครงการ	1
การพัฒนาคอนกรีตบล็อกผลิตไฟฟ้าจากความร้อนและการประยุกต์ในโรงงานเตาหลอมโลหะหรือเตาเผาขยะเทศบาล	โครงการพัฒนา นักวิจัยและงานวิจัยเพื่ออุตสาหกรรม (พวอ.) ระดับปริญญาเอก	๑,๕๕๒,๐๐๐	๑ ส.ค. ๒๕๖๐ – ๓๑ ก.ค. ๒๕๖๒	หัวหน้าโครงการ	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	ประจำปี ๒๕๖๐ ของสำนักงาน กองทุนสนับสนุน การวิจัย (สกว.) ต่อเนื่อง ๒ ปี				
วัสดุผสมซีเมนต์ที่ ฉลาดและเป็นมิตรต่อ สิ่งแวดล้อม	ทุนศาสตราจารย์ วิจัยดีเด่น โดย ศาสตราจารย์ ดร. ปริญญา จินดา ประเสริฐ ได้รับ จากสำนักงาน กองทุนสนับสนุน งานวิจัย (สกว.)	9,000,000	2561- 2564	ผู้ร่วม โครงการ	
การพัฒนาวัสดุเทอร์ โม อิ เล็ก ทริ ก แมกนีเซียมซิลิไซด์ โครงสร้างนาโน จาก แกลบข้าว สังกะสี ด้วยไมโครเวฟและอัด ร้อน และการประยุกต์ เทอร์โมอิเล็กทริก	แหล่งเงินทุน: ทุนเงิน งบประมาณ แผ่นดิน (วช.) ต่อเนื่อง 1 ปี	600,000	2560 - 2561	หัวหน้า โครงการ	
การพัฒนาต้นแบบ เทอร์โมอิเล็กทริก ขนาดเล็กแบบผลิต ไฟฟ้าจากความร้อน ของการรวม แสงอาทิตย์ร่วมกับสาร เก็บกักความร้อน,	เงินรายได้(ทุน วิจัยและพัฒนา เพื่อผลิตอุปกรณ์ ฯ) คณะ วิทยาศาสตร์ สถาบัน เทคโนโลยีพระ จอมเกล้าเจ้าคุณ ทหารลาดกระบัง 1 ปี	800,000	2560 - 2561	หัวหน้า โครงการ	
โครงการพัฒนา	สำนักงาน	16,596,000	2560-	ผู้ร่วม	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศักยภาพการอัดประจุของตัวเก็บประจุยิ่งยวดด้วยเทคโนโลยีควอนตัม	นโยบายและแผนพลังงาน (สนพ) ผ่านสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ		2561	โครงการ	
วัสดุอัจฉริยะ (smart materials) สำหรับพลังงานทดแทนในอนาคต	สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ	6,000,000	2561-2562	ผู้ร่วมโครงการ	17
การพัฒนาระบบกักเก็บพลังงานด้วยตัวเก็บประจุยิ่งยวด (Supercapacitor) เพื่อสร้างเสถียรภาพด้านพลังงานของประเทศ	สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ	5,800,000	2561-2562	ผู้ร่วมโครงการ	11
Fabrication and observation of spin Seebeck effect on $12\text{CaO}-7\text{Al}_2\text{O}_3$ doping transition metal (Fe, Ni, Cr)	นักวิจัยที่ปรึกษา ทุนนักวิจัยหลังปริญญาเอก (Postdoctoral grant) ดร. ประเมศวร์ วงศ์จอม กองทุนวิจัยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ๒ ปี	๙๕๖๐๐๐, บาท	2561-2562	หัวหน้าโครงการ	1
Correlation between the crystal structure	นักวิจัยที่ปรึกษา ทุนนักวิจัยหลัง	๙๕๖๐๐๐, บาท	2561-2562	หัวหน้าโครงการ	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

and thermoelectric properties of the CaO-Al ₂ O ₃ cement by Rietveld refinement technique	ปริญญาเอก (Postdoctoral grant) ดร.ราชานุสรณ์ รุ่งเต่า กองทุนวิจัยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ๒ ปี				
Fabrication and thermoelectric properties of nanostructure 12CaO·7Al ₂ O ₃ prepared by hydrothermal method”	นักวิจัยที่ปรึกษา ทุนนักวิจัยหลังปริญญาเอก (Postdoctoral grant) ดร.ศักดิ์วิบูลย์ จันทราษี กองทุนวิจัยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ๒ ปี	๙๕๖๐๐๐, บาท	๒๕๕๙ – ๒๕๖๑	หัวหน้าโครงการ	1
Fabrication and thermoelectric properties of 12CaO-7Al ₂ O ₃ ceramic filled with metals (Mg, Ca, Sr, Sc, and Ti) in sub-nanometer-sized empty cages	ทุนส่งเสริม นักวิจัยรุ่นใหม่ ประจำปี ๒๕๕๘ ของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ต่อเนื่อง ๒ ปี	๖๐๐,๐๐๐	๑ มิ.ย. ๒๕๕๘ – ๓๑ พ.ย. ๒๕๖๐	หัวหน้าโครงการ	1
The development of flat magnifying	นักวิจัยที่ปรึกษา ทุนนักวิจัยหลัง	๔๗๘๐๐๐, บาท	ตั้งแต่ ๒๕๕๙ –	หัวหน้าโครงการ	1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

hyperlenses for nano-imaging at far-field with terahertz light”	ปริญญาเอก (Postdoctoral grant) ดร . ปิยวัฒน์ ทักษิณ แหล่งเงินทุน เงินทุนกองทุน : วิจัย สถาบัน เทคโนโลยีพระ จอมเกล้าเจ้าคุณ ทหารลาดกระบัง 1 ปี		๒๕๖0		
Development of Spark plasma sintering system for Synthesizing Thermoelectric Materials”	จากแหล่ง เงินทุนเงิน : รายได้(ทุนวิจัย และพัฒนาเพื่อ (ผลิตอุปกรณ์ฯ คณะ วิทยาศาสตร์ สถาบัน เทคโนโลยีพระ จอมเกล้าเจ้าคุณ ทหารลาดกระบัง ๑ ปี	7๐๐,๐๐๐ บาท	๒๕๖๐ - ๒๕๖๑	หัวหัวหน้า โครงการ	
Development of Microwave sintering system for Synthesizing Thermoelectric Materials”	จากแหล่ง เงินทุนเงิน : รายได้(ทุนวิจัย และพัฒนาเพื่อ (ผลิตอุปกรณ์ฯ คณะ	๔๐๐,๐๐๐ บาท	๒๕๕๙ - ๒๕๖๐	หัวหัวหน้า โครงการ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	วิทยาศาสตร์ สถาบัน เทคโนโลยีพระ จอมเกล้าเจ้าคุณ ทหารลาดกระบัง ๑ ปี				
การศึกษาและพัฒนา อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กท ริกอุณหภูมิสูงจาก สารประกอบ CuFeO_2 เพื่อผลิตไฟฟ้าจาก ความร้อนสูญเสียเปล่า	เงินงบประมาณ (วช)	๓,๐0๐,๐๐๐	๒๕๕๗- ๑๕๕๙	หัวหน้า โครงการ	-
Invention of uni p- type CuCrO_2 thermoelectric module and measurement of energy conversion of electric from heat	เงินรายได้คณะ วิทยาศาสตร์	๒๐๐,๐๐๐	๒๕๕๘	หัวหน้า โครงการ	-
การพัฒนาแบบ เตาเผาอัตร้อนสำหรับ สังเคราะห์วัสดุเทอร์ โมอิเล็กทริก	เงินรายได้คณะ วิทยาศาสตร์	๖๐๐,๐๐๐	๒๕๕๗	หัวหน้า โครงการ	-
Synthesis and studying of optical properties of CuBO_2 compound	งบประมาณเงิน รายได้ ประจำปี 2556	๕๐,๐๐๐	๒๕๕๖	หัวหน้า โครงการ	-
Synthesis and studying of thermoelectric properties of CuCoO_2 compound	งบประมาณเงิน รายได้ ประจำปี 2556	๕๐,๐๐๐	๒๕๕๖	หัวหน้า โครงการ	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สังเคราะห์และศึกษาสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริกของสารประกอบ Cu _{1-x} PdxFeO ₂	กองทุนวิจัยสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง	๑๒๐,๐๐๐	๒๕๕๖	หัวหน้าโครงการ	-
การสร้างความสามารถวิเคราะห์โครงสร้างจุลภาคและโครงสร้างผลึกวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก	แหล่งเงินทุนสำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช), ระยะเวลา	2,000,000 บาท	27 ก.ย.55 วันที่สิ้นสุด 26 ก.ย.57	ผู้ร่วมโครงการ	

รางวัล

ปี พ.ศ.	ชื่อรางวัล	หน่วยงานที่ให้
2560	ได้รับรางวัล บุคลากรดีเด่น คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประจำปี 2560 กลุ่มสายวิชาการ ตำแหน่งอาจารย์ดีเด่นด้านการวิจัย กลุ่มรุ่นใหม่	คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
2560	ได้รับโล่ยกย่องเชิดชูเกียรติและประกาศเกียรติคุณบุคคลที่ได้ทำประโยชน์และชื่อเสียงให้แก่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปี 2560	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
2560	ได้รับรางวัลรองชนะเลิศอันดับ 1 จากโครงการเรื่อง “คอนกรีตบล็อกผลิตไฟฟ้าจากความร้อน โดยการใช้วัสดุตั้งต้นจากเปลือกไข่ไก่” ในการประชุมวิชาการ การประกวดโครงการวิจัยระดับอุดมศึกษา กลุ่มฟิสิกส์ จัด	โดยคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	โดย คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เมื่อวันที่ 30 พฤษภาคม 2560	
2559	ได้รับรางวัล "The Best Poster Presentation Award" ในการเสนอผลงานทางวิชาการเรื่อง "High-temperature thermoelectric concrete block from CaMnO_3 " ในงาน 4th Southeast Asia Conference on Thermoelectrics 2016 15-18 December 2016, Sea Garden Hotel, Danang, Vietnam ประเทศเวียดนาม	ในงาน 4th Southeast Asia Conference on Thermoelectrics 2016 15-18 December 2016, Sea Garden Hotel, Danang, Vietnam ประเทศเวียดนาม
2559	ได้รับรางวัลบทความดีเด่น จากบทความเรื่องการสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก " Mg_2Si โดยใช้สารตั้งต้น SiO_2 สกัดจากแกลบข้าวใน" การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 12, "12th conference on energy network of Thailand", ระหว่างวันที่ 8-10 มิถุนายน 2559 จ. พิษณุโลก	12th conference on energy network of Thailand
2557	ได้รับโล่ยกย่องเชิดชูเกียรติ และ ประกาศเกียรติคุณบุคคลที่ได้ทำประโยชน์และชื่อเสียงให้แก่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วันที่ 27 สิงหาคม 2557	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
2556	ได้รับโล่ยกย่องเชิดชูเกียรติและประกาศเกียรติคุณบุคคลที่ได้ทำประโยชน์และชื่อเสียงให้แก่สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วันที่ 26 สิงหาคม 2556	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร
2556	ได้รับรางวัล Best Paper Award ในงานประชุมวิชาการนานาชาติ International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology (ICEAST 2013) ระหว่างวันที่ 21-24 สิงหาคม 2556 จากบทความวิจัยเรื่อง "Thermoelectric Properties of Sn^{2+} -Substituted CuFeO_2	International Conference on Engineering, Applied Sciences, and Technology (ICEAST 2013)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	Delafossite-Oxide”	
2556	ได้รับรางวัล Best Paper Award ในงานประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งชาติแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 9 วันที่ 9 พฤษภาคม 2556 จากบทความวิจัยเรื่อง “สมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกของวัสดุออกไซด์ CuFeO ₂ เดลาฟอสไซด์ที่เจือด้วยอะตอม Al, Sn, Ti, Au”	ในงานประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งชาติแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 9 วันที่ 9 พฤษภาคม 2556
2555	ผู้สอบได้คะแนนยอดเยี่ยม อันดับ 3	มูลนิธิ ศ.ดร.แถบ นีละนิธิ

ชื่อโครงการ	แหล่งเงินทุน	ระยะเวลาโครงการ	สัดส่วนของเวลาทำงานทั้งหมดของท่านในโครงการ (%)
การพัฒนาวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก แมกนีเซียมซัลไฟด์ โครงสร้างนาโนจากเกลือบิวาสังเคราะห์ด้วยไมโครเวฟและอัตร้อนและการประยุกต์เทอร์โมอิเล็กทริก	แหล่งเงินทุน: ทุนเงินงบประมาณแผ่นดิน (วช.) ต่อเนื่อง 1 ปี	560 - 2561	
การพัฒนาต้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเล็กแบบผลิตไฟฟ้าจากความร้อนของการรวมแสงอาทิตย์ร่วมกับสารเก็บกักความร้อน,	เงินรายได้ (ทุนวิจัยและพัฒนาเพื่อผลิตอุปกรณ์ฯ) คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 1 ปี	560 - 2561	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<p>โครงการพัฒนาศักยภาพ การอัดประจุของตัวเก็บ ประจุยิ่งยวดด้วย เทคโนโลยีควอนตัม</p>	<p>สำนักงาน นโยบาย และ แผน พลังงาน(สนพ) ผ่าน สำนักงานพัฒนา วิทยาศาสตร์ และ เทคโนโลยีแห่งชาติ</p>	560-2561	
<p>การพัฒนาระบบกักเก็บ พลังงานด้วยตัวเก็บ ประจุยิ่งยวด (Supercapacitor) เพื่อ สร้างเสถียรภาพด้าน พลังงานของประเทศ</p>	<p>สำนักงาน คณะกรรมการวิจัย แห่งชาติ</p>	561-2562	
<p>Fabrication and observation of spin Seebeck effect on 12CaO-7Al₂O₃ doping transition metal (Fe, Ni, Cr)</p>	<p>นักวิจัยที่ปรึกษาทุน นักวิจัยหลังปริญญาเอก (Postdoctoral grant) ดร. ประเมศวร์ วงศ์จอม กองทุน วิจัย สถาบันเทคโนโลยี พระจอมเกล้าเจ้าคุณ ทหารลาดกระบัง ๒ ปี</p>	561-2562	
<p>Correlation between the crystal structure and thermoelectric properties of the CaO- Al₂O₃ cement by Rietveld refinement technique</p>	<p>นักวิจัยที่ปรึกษาทุน นักวิจัยหลังปริญญาเอก (Postdoctoral grant) ดร.ราชานุสรณ์ รุ่งเต่า กองทุนวิจัย สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง ๒ ปี</p>	561-2562	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fabrication and thermoelectric properties of nanostructure $12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ prepared by hydrothermal method”	นักวิจัยที่ปรึกษา ทุน นักวิจัยหลังปริญญาเอก (Postdoctoral grant) ดร.ศักดิ์ วิบูลย์ จันทราณี กองทุนวิจัย สถาบัน เทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง ๒ ปี	๕๕๙ – ๒๕๖๑	
--	--	------------	--

บทความตีพิมพ์ในวารสาร

ปี 2561 (2018)

[1]Chaiwat Phrompet, Chaval Sriwong, Santi Maensiri, Prinya Chindaprasirt, Chesta Ruttanapun*, “Optical and dielectric properties of nano-sized tricalcium aluminate hexahydrate (C₃AH₆) cement”, Construction and Building Materials ,179 (2018) 57–65. ISI Impact Factor: 3.169, (Quartiles 1).

[2] C. Ruttanapun, P. Srepusharawoot, and S.Maensiri, “Effect of Fe³⁺-doped Ca₁₂Al₁₄O₃₃ cement on optical and thermal properties”, Chinese Journal of Physics, 56 (2018) 252–260

ปี 2560 (2017)

[1] C.Rudradawong, Chesta Ruttanapun, “effect of excess oxygen for CuFeO_{2.06} Delafossite on Thermoelectric and optical properties”, Physica B: Condensed Matter, Volume 526, 1 December 2017, Pages 21-27. (ISI IF(2017):1.386)

[2]Tapsanit P., Yamashita M., Otani C., Kongsuk S., and Ruttanapun C., (2017) “ Closed-form formulae of effective parameters of hyperbolic metamaterial made by stacked hole-array layers working at terahertz or microwave radiation”, Vol. 34, (9): pp. 1930-1936.

ปี (2016)

[1]Hongaromkij Y., Rudradawong C., and Ruttanapun C.*, (2016) “Effect of Ga-substitution for Fe sites of delafossite CuFe_{1-x}Ga_xO₂ (x = 0.0, 0.1, 0.3, 0.5) on thermal conductivity, Journal of Materials Science: Materials in Electronics, Vol. 27: pp. 6438-6444.

ปี (2015)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [1]**Ruttanapun C.*** and Maensiri S., (2015) “Effects of spin entropy and lattice strain from mixed-trivalent $\text{Fe}^{3+}/\text{Cr}^{3+}$ on the electronic, thermoelectric and optical properties of delafossite $\text{CuFe}_{1-x}\text{Cr}_x\text{O}_2$ ($x = 0.25, 0.5, 0.75$)”, *Journal of Physics D: Applied Physics*, Vol. 48: pp. 495103.
- [2]Hongaromkij Y., Rudradawong C., Wichainchai A. and **Ruttanapun C.***, (2015) “Improvement of Thermoelectric Material by Reduction Thermal Conductivity of Sn-doped CuFeO_2 Delafossite Compound” , *Integrated Ferroelectrics: An International Journal*, Vol. 165 (1): pp. 73-80.
- [3]**Ruttanapun C.***, Charoenphakdee A. , Nisoa M. , Muthitamongkol P. , Thanachayanont C. and Maensiri S., (2015) “Effect of Strong Correlation of Mg^{2+} -doped into Cr^{3+} Sites of CuCrO_2 on Thermoelectric Properties” , *Integrated Ferroelectrics: An International Journal*, Vol. 165 (1): pp. 45-52.

ปี (2014)

- [1]**Ruttanapun C.***, (2014) “Effects of Pd substitution on the thermoelectric and electronic properties of delafossite $\text{Cu}_{1-x}\text{Pd}_x\text{FeO}_2$ ($x = 0.01, 0.03$ and 0.05)”, *Journal of Solid State Chemistry*, Vol. 215: pp. 43-49.
- [2]Plaipichit S., Buranasiri P., **Ruttanapun C.**, and Jindajitawat P., (2014) “The direct measurement of the photorefractive grating on anisotropic self diffraction using digital holography”, *Integrated Ferroelectrics*, Vol. 156: pp.160-167.
- [3]Wicharn S., Buranasiri P., **Ruttanapun C.**, and Jindajitawat P., (2014) “A computational investigation of third-harmonic generation in one-dimensional photonic band-gap materials with multiple-scale method”, *Integrated Ferroelectrics*, Vol. 156: pp. 45-52.
- [4]**Ruttanapun C.***Kosalwat W., Rudradawong C., Jindajitawat P., Buranasiri, P. Naenkieng D., Boonyopakorn N., Harnwunggmoung A., Thowladda W., Neeyakorn W., Thanachayanont C., Charoenphakdee A., and Wichainchai A., (2014) “Reinvestigation thermoelectric properties of CuAlO_2 ”, *Energy Procedia*, Vol. 56, pp. 65-71.
- [5]Rudradawong C., Wichainchai A., Sakulkalavek A., Hongaromkid Y., and **Ruttanapun C.***, (2014) “Method of high active preparation and electrical properties of CuFeO_2 delafossite-type” , [Advanced Materials Research](#), Vol. 979: pp. 302-306

[6]**Ruttanapun C.***Jindajitawat P., Buranasiri P., Thowladda W., Neeyakorn W., Naenkieng D., Harnwunggmoung A., Charoenphakdee A., Boonyopakorn N., Thanachayanont C., (2014) “High temperature thermoelectric properties of delafossite CuBO_2 ”, IEEE 978-1-4799-3855-1/14/\$31.00

ปี (2013)

[1]**Ruttanapun C.*** (2013) “Optical and electronic properties of delafossite CuBO_2 p-type transparent conducting oxide”, Journal of Applied Physics, Vol. 114: pp. 113108.

[2]**Ruttanapun C.*** (2013) Boonchom B., Thongkam M., Kongtaweelert S., Thanachayanont C., and Wichainchai A., “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, Vol. 113: pp. 023103.

[3]**Ruttanapun C.***Boonchom B., Vittayakorn N., Harnwunggmoung A., and Charoenphakdee A., (2013) “Synthesis and Thermoelectric Properties of $\text{Cu}_{0.95}\text{Pt}_{0.05}\text{Fe}_{0.97}\text{Sn}_{0.03}\text{O}_2$ Delafossite-Oxide”, Ferroelectrics, Vol. 453(1): pp.75-83.

[4]**Ruttanapun C.***, Kahatta S., Boonchom B., Vittayakorn N., Thongkam M., Kongtaweelert S., Woramongkonchai S., and Chaiyasith P., (2013) “Optical Properties of $\text{Cu}_{0.95}\text{Pt}_{0.05}\text{Fe}_{0.97}\text{Sn}_{0.03}\text{O}_2$ for p-type Transparent Conducting Oxide Materials”, Advanced Materials Research, Vol. 717: pp. 15-10.

[5]Boonchom B., **Ruttanapun C.**, Thongkam M., Chaiyasith P., Woramongkonchai S., Kongtaweelert S. and Vittayakorn N., (2013) “A new synthesis of BaHPO_4 precipitated by $\text{BaCO}_3\text{-H}_3\text{PO}_4\text{-NaOH}$ system at room temperature”, Advanced Materials Research, Vol. 717: pp 37-43.

[6]Chaiyasith P., **Ruttanapun C.**, Thongkam M., Kongtaweelert S., Woramongkonchai S. and Boonchom B., (2013) “A Simple Route to Synthesize Ferromagnetic Binary Calcium Iron Pyrophosphate CaFeP_2O_7 Using Aqueous-Acetone Media”, Advanced Materials Research, Vol.717: pp. 44-48.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [7]Kongteweelert S., **Ruttanapun C.**, Thongkam M., Chaiyasith P., and Woramongkonchai S., (2013) "Facile, alternative synthesis of spherical-like $\text{Ca}(\text{H}_2\text{PO}_4)_2 \cdot \text{H}_2\text{O}$ nanoparticle by aqueous-methanol media", *Advanced Materials Research*, 717 : pp. 49-53.
- [8]**Ruttanapun C.***, Jindajitawat P., Thowladda W., Neeyakorn W., Thanachayanont C., Charoenphakdee A., (2013) "Thermoelectric properties of Sn^{2+} -substituted CuFeO_2 delafossite-oxide", *Advanced Materials Research*, Vol. 802: pp. 17-21.
- [9]Kahatta S., Chaiyo N., **Ruttanapun C.**, Techitdheera W., Pecharapa W., and Vittayakorn N., (2013) "Microwave-assisted solution combustion synthesis and characterization of thermoelectric $\text{Ca}_3\text{Co}_2\text{O}_6$ powder", *Advanced Materials Research*, Vol. 802: pp. 84-88
- [10]Charoenphakdee A., Harnwungmoung A., Seetawan T., **Ruttanapun C.**, Amornkitbamrung V., Kurosaki K., and Yamanaka S., (2013) "Reinvestigation the thermal and electrical transport properties of Tl_7Sb_2 ", *Advanced Materials Research*, Vol. 802: pp. 284-288.
- [11]**Ruttanapun C.***, Boonchom B., Thongkam M., Kongtaweelert S., Wichainchaia A., Thanachayanont C., and Charoenphakdee A., (2013) "Thermoelectric properties of n-Type $\text{CuFe}_{0.95}\text{Pb}_{0.05}\text{O}_2$ delafossite type-oxide", *Journal of Material Science and Applied Energy*, Vol. 2(2): pp. 1-5
- [12]**Ruttanapun C.***, Hongaromkid Y., Thowladda W. and Wichainchai A., (2013) "Alcohol sensing of p-type CuFeO_2 delafossite oxide ", *Proc. SPIE 8883, ICPS 2013, 88831L*; doi:10.1117/12.2021102.
- [13]**Ruttanapun C.**, Sa-nguan-cheep M., Kahatta S., Buranasiri P. and Jindajitawat P., (2013) "Optical and electronic transport properties of p-type CuCoO_2 transparent conductive oxide ", *Proc. SPIE 8883, ICPS 2013 88831O*; doi:10.1117/12.2021992.
- [14]Wicharn S., Buranasiri P., **Ruttanapun C.**, and Jindajitawat P., (2013) "Efficient third-harmonic generation in one-dimensional photonic crystals", *Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering*, 8883, 2013.

[15]Plaipichit S., Atta P., Buranasiri P., **Ruttanapun C.**, and Jindajitawat P., (2013) “Fingerprint verification by using low coherence digital holography”, Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, 8883.

[16]Sidakum K., Buranasiri P., Plaipichit S., **Ruttanapun C.**, and Jindajithawat P., (2013) “The generation of optical phase conjugation from cerium doped barium titanate at wavelength of 632.8 nm”, Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, 8883.

[17]Wicharn S., Buranasiri P., **Ruttanapun C.**, and Jindajitawat P., (2013) “Optical parametric amplification in one-dimensional photonic bandgap structures”, Vol.52: pp. 6090-6099.

Invited speaker

[1] “**Fabrication of thermoelectric materials and devices in sub-nanometer-sized empty cages C12A7 cement-based compound**”, The 1st international conference on applied science engineering and interdisciplinary studies (ASEIS), 5 July 2018, Rajamangala university of Technology Thanyabury.

International conferences

[1] C. Ruttanapun, P. Srepusharawoot and S. Maensiri, “Effect of Cu-Doped Ca₁₂Al₁₄-xO₃₃ Cement on Thermal and Electronic Properties”, the 11th Asian Meeting on Electroceramics (AMEC-11, 2018), the International Convention Center Hiroshima, Hiroshima, Japan from May27 - June1, 2018, with 2018 ISAF-FMA-AMF-AMEC-PFM Joint Conference (FAAP2018) (Poster presentation).

[2] Chesta Ruttanapun and Santi Maensiri, “Thermoelectric properties of Ca₁₂Al₁₄O₃₃ cement prepared by hot press sintering”, The first materials research society of Thailand international conference, Convention center, The empress hotel, Chiang Mai, Thailand, October 31 - November 3, 2017. (Oral presentation)

[3]Chaiwat Phrompet, Chaval Sriwong, Santi Maensiri, and Chesta Ruttanapun, “Thermoelectric properties of 3Ca)-Al₂O₃-6H₂O/ reduce graphene oxide hybrid base on cement composite fabrication by hot press sintering”, The first materials research society of Thailand international conference, Convention center, The empress hotel, Chiang Mai, Thailand, October 31 - November 3, 2017. (Poster)

[4] Sakwiboon Jantrasee, Direk Boonthum and Chesta Ruttanapun, “Microwave-assisted hydrothermal technique synthesis of C12A7 Nanostructures”, The first materials research

society of Thailand international conference, Convention center, The empress hotel, Chiang Mai, Thailand, October 31 – November 3, 2017. (Poster).

[5]Direk Boonthum ,Chesta RUTTANAPUN, and Mudtorlep NISOA, “Design of a high-temperature microwave furnace for preparation of highly efficient thermoelectric materials” SiamPhysicsCongress2017, Siam Physics Congress 2017 (24-26 May 2017)

[6]Chaiwat Phrompeta, Chaval Sriwongb, Chesta Ruttanapuna, and Santi Maensiric Preparation and characterization of cement $12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$ /reduced graphene oxide hybrid composites and their electrical properties, NanoThailand 2016, 27-29 November 2016, THE GREENERY RESORT KHAO YAI

[7]S. Chanprateep, C. Phrompet, C. Rudradawong, J. Gobpant and C. Ruttanapun, “Al-doped ZnO thermoelectric module”, The 4th Southeast Asia Conference on Thermoelectrics 2016 (SACT 2016), 15-18 December 2016, Da Nang City, Vietnam, Oral presentation, Book of abstracts p. 24,

[8] C. Ruttanapun and S. Maensiri, “Effect of Fe-doped C_{12}A_7 cement on thermal and optical properties”, The 4th Southeast Asia Conference on Thermoelectrics 2016 (SACT 2016), 15-18 December 2016, Da Nang City, Vietnam, Poster presentation, Book of abstracts p. 58.

[9]J. Gobpant, C. Phrompet, C. Rudradawon, S. Chanprateep, P. Tapsanit, and C. Ruttanapun , “High-temperature thermoelectric concrete block from CaMnO_3 ”, The 4th Southeast Asia Conference on Thermoelectrics 2016 (SACT 2016), 15-18 December 2016, Da Nang City, Vietnam, Poster presentation, Book of abstracts p. 75.

[10]C. Ruttanapun and S. Maensiri, “Thermoelectric electronic and optical properties of Sn-doped CuCrCo_2 delafossite”, The 4th Southeast Asia Conference on Thermoelectrics 2016 (SACT 2016), 15-18 December 2016, Da Nang City, Vietnam, Poster presentation, Book of abstracts p. 99.

[11]Chesta Ruttanapun, “Photo Seebeck effect in delafossite CuFeO_2 ”, SiamPhysicsCongress2016, Siam Physics Congress 2017 (8-10 Jun 2016) Ubon Ratchathani, Thailand.

ประชุมวิชาการในประเทศ

[1] ชัยวัฒน์ พรหมเพชร, จักรกฤษ กอบพันธ์ และเชษฐา รัตนพันธ์, “ต้นแบบเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซีเบค อุณหภูมิสูง” การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13 (13th Conference On

Energy Network of Thailand) 31 พฤษภาคม -2 มิถุนายน 2560 ณ โรงแรมดิเอ็มเพรส เชียงใหม่ จังหวัด เชียงใหม่ (Oral presentation)

[2] ศฤงคาร จันท์ประทีป และเชษฐา รัตนพันธ์, “เครื่องกำเนิดไฟฟ้าซีเบคขนาดเล็กจากวัสดุ $Zn_{1-x-y}Al_xMn_yO$ ” การประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 13 (13th Conference On Energy Network of Thailand) 31 พฤษภาคม -2 มิถุนายน 2560 ณ โรงแรมดิเอ็มเพรส เชียงใหม่ จังหวัดเชียงใหม่ (Oral presentation)

20.2 ผู้ร่วมวิจัย

2.2.1 ผู้ร่วมวิจัย

1. ชื่อ-นามสกุล (ภาษาไทย) นายภูมินทร์ จินดาจิธาวัฒน์
(ภาษาอังกฤษ) Phumin Jindajitawat
2. รหัสบัตรประจำตัวประชาชน 3 1021 01436 51 9
3. วัน เดือน ปีเกิด 12 ตุลาคม 2518
4. ตำแหน่งปัจจุบัน ข้าราชการ (อาจารย์)
ตำแหน่งวิชาการ อาจารย์
5. ที่ทำงาน สาขาวิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

โทรศัพท์ 087-9375877 โทรสาร 0-2326-4413

6. Email address kjphumin@kmitl.ac.th, phumin@yahoo.com

7. ประวัติการศึกษา

7.1 ปริญญาตรีสาขา ฟิสิกส์ประยุกต์ (โซลิตสเตทอิเล็คทรอนิกส์) ปีที่จบ ค.ศ. 1997

สถาบัน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประเทศไทย

7.2 ปริญญาโทสาขา วิศวกรรมไฟฟ้า ปีที่จบ ค.ศ. 2001

สถาบัน สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ประเทศไทย

8. สาขาวิชาการที่มีความชำนาญพิเศษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Electronics and Semiconductor Devices

9. ผลงานวิจัย

1. Parnklang, J.; Jindajitawat, P.; Titiroongruang, W.; “*Subthreshold Operation of MOIS Devices: Boundary of Operation,*” IEEE 2000 Tencon Proceedings, vol. III, 2000, pp. III-25 – III-28.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้