



## รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาเตาเผาไมโครเวฟที่ความดันต่ำเพื่อสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก  
คุณภาพสูง

Development of low-pressure microwave furnace for high-quality synthesis of  
thermoelectric materials

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชรณฐา รัตนพันธ์

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2559

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

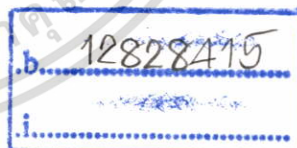


รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การพัฒนาเตาเผาไมโครเวฟที่ความดันต่ำเพื่อสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก  
คุณภาพสูง

Development of low-pressure microwave furnace for high-quality synthesis of  
thermoelectric materials

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชรชฐา รัตนพันธ์



ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2559

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ฉบับที่ 145199  
เลขทะเบียน  
รับเดือนปี 31 อ.ค. 2560

เอกสารนี้เป็นทรัพย์สินของมหาวิทยาลัยฯ ใช้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น. อื่นๆ สามารถให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การพัฒนาเตาเผาไมโครเวฟที่ความดันต่ำเพื่อสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก

คุณภาพสูง.....

แหล่งเงิน งบประมาณเงินรายได้ประจำปี 2559 คณะวิทยาศาสตร์

ประจำปีงบประมาณ 2559 จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 400,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี ตั้งแต่ 1 ต.ค. 2558 ถึง 30 ก.ย. 2559

1) หัวหน้าโครงการวิจัย

ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย) ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชษฐา รัตนพันธ์  
คณะ วิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ถนน ฉลองกรุง ลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

2) ผู้ร่วมวิจัย

ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย) อ. ภูมินทร์ จินดาจิธาวัฒน์  
คณะ วิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ถนน ฉลองกรุง ลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

3) ผู้ร่วมวิจัย

ชื่อ-สกุล (ภาษาไทย) ผศ. ดร.หมุดตอเล็บ หนีสอ  
สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ 222 ตำบลไทยบุรี อำเภอท่าศาลา  
นครศรีธรรมราช 80160

**Research Title:** Development of low-pressure microwave furnace for high-quality synthesis of thermoelectric materials

**Researcher:** Asst. Dr. Chesta Ruttanapun

**Faculty:** Science **Department:** Physics

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Chalongkrung Rd., Ladkrabang, Bangkok, 10520  
Thailand



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้รับการออกแบบและพัฒนาเตาเผาไมโครเวฟแบบ 4 หัว แบบห้องคลื่นแบบ multi-modes มีขั้นตอนประกอบด้วย การจำลองพฤติกรรมเคลื่อนที่ของคลื่นไมโครเวฟภายในท่อนำคลื่น และภายในห้องคลื่น เพื่อหารูปแบบการติดตั้งท่อนำคลื่นทั้งสี่ด้านที่จะไม่ทำให้เกิดการทำลายกันระหว่างแมกนีตรอน และหาขนาดของห้องคลื่นที่จะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าสูงสุดที่ตำแหน่งกึ่งกลางของห้องคลื่นและมีการสะท้อนกลับของคลื่นน้อยที่สุด การออกแบบและการสร้างโครงสร้าง เพื่อเลือกวัสดุที่เหมาะสมที่สามารถหาได้ในประเทศ และต้องควบคุมคุณภาพในการขึ้นรูปวัสดุ การเชื่อม และการติดตั้ง การทดสอบการทำงาน เพื่อยืนยันผลจากการจำลอง ทำการวัดอุณหภูมิสูงสุดของ crucible สำหรับ เตาเผาไมโครเวฟที่พัฒนาขึ้นมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก คือ สามารถสร้างอุณหภูมิสูงสุด > 900 องศาเซลเซียส มีอัตราการเพิ่มอุณหภูมิสูง โดยใช้เวลาเพียง 10 นาทีในการเพิ่มอุณหภูมิถึง 900 องศาเซลเซียส สามารถจ่ายกำลังไมโครเวฟได้สูงสุดประมาณ 1700 วัตต์ และปรับค่าได้อย่างต่อเนื่อง สามารถเลือกอุณหภูมิของการสังเคราะห์โดยการควบคุมกำลังไมโครเวฟ

**คำสำคัญ :** เทอร์โมอิเล็กทริก, เตาไมโครเวฟ, การสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก

### กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุนทุนอุดหนุนการวิจัย งบประมาณเงินรายได้ คณะวิทยาศาสตร์ ประเภทส่งเสริมนักวิจัย ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2559



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
กิตติกรรมประกาศ.....	IV
สารบัญ.....	V
สารบัญรูป.....	VI
<b>บทที่ 1 บทนำ</b> .....	<b>1</b>
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	5
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	5
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	5
<b>บทที่ 2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b> .....	<b>6</b>
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	6
<b>บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย</b> .....	<b>10</b>
3.1 การออกแบบและสร้างเตาเผาไมโครเวฟกำลังสูงที่ความดันต่ำ.....	10
3.2 การจำลองเพื่อออกแบบเตาเผาไมโครเวฟ.....	10
3.3 การออกแบบและการสร้างเตาเผาไมโครเวฟ.....	19
3.4 ระบบวัดอุณหภูมิและการจัดเก็บข้อมูล.....	26
<b>บทที่ 4 ผลการวิจัย</b> .....	<b>30</b>
4.1 การวัดกำลังไมโครเวฟ.....	30
4.2 อุณหภูมิของ Silicon carbide crucible.....	32
4.3 การสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก.....	34
<b>บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ</b> .....	<b>35</b>
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	35
<b>บทที่ 6 สรุปผลผลิตที่ได้จากงานวิจัย</b> .....	<b>36</b>
<b>เอกสารอ้างอิง</b> .....	<b>39</b>
<b>ภาคผนวก</b> .....	<b>39</b>
ภาคผนวก ก.....	39

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 1.1	แสดงขั้นตอนการสังเคราะห์วัสดุ solid state reaction ในเตาแบบขดลวด.....	1
รูปที่ 1.2	เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยไมโครเวฟและขดลวดความร้อน.....	4
รูปที่ 2.1	หลักการการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริก.....	6
รูปที่ 2.2	แสดงปัจจัยที่ผลต่อการเพิ่มของค่า ZT.....	7
รูปที่ 3.1	กระบวนการศึกษาการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า.....	12
รูปที่ 3.2	ขั้นตอนการจำลองผลด้วยโปรแกรม COMSOL Multiphysics.....	13
รูปที่ 3.3	แบบจำลองสำหรับศึกษาการติดตั้งท่อนำคลื่นบนผนังห้องคลื่นที่อยู่ตรงกันข้ามกัน.....	14
รูปที่ 3.4	การกระจายตัวของสนามไฟฟ้า ก) บนระนาบ $xz$ เมื่อ $y = 7.5$ cm ข) บนแกน $z$ เมื่อ $x = 5$ cm และ $y = 7.5$ cm เมื่อวาง WG1 ขนานกับ WG2 โดยส่งคลื่นไมโครเวฟจาก Port ของ WG1 ที่ตำแหน่ง $z = -40$ cm.....	15
รูปที่ 3.5	การกระจายตัวของสนามไฟฟ้า ก) บนระนาบ $xz$ เมื่อ $y = 7.5$ cm ข) บนแกน $z$ เมื่อ $x = 5$ cm และ $y = 7.5$ cm เมื่อวาง WG1 ตั้งฉากกับ WG2 โดยส่งคลื่นไมโครเวฟจาก Port ของ WG1 ที่ตำแหน่ง $z = -40$ cm.....	15
รูปที่ 3.6	ส่วนประกอบของแบบจำลองเตาเผา.....	16
รูปที่ 3.7	ความเข้มของสนามไฟฟ้าในห้องคลื่นรูปทรงลูกบาศก์ขนาดต่างๆ.....	17
รูปที่ 3.8	ความเข้มของสนามไฟฟ้าภายในห้องคลื่นและท่อนำคลื่นเมื่อส่งคลื่นจากแมกนีตรอน 2 หัว คือ WG1 และ WG3 ก) บนระนาบ $xy, yz$ และ $zx$ ข) บนแกน $y$ จากตำแหน่ง $y = -10$ cm ถึง $y = 40$ cm.....	1.8
รูปที่ 3.9	ความเข้มของสนามไฟฟ้าภายในห้องคลื่นและท่อนำคลื่นเมื่อส่งคลื่นจากแมกนีตรอน 4 หัว คือ WG1, WG2, WG3 และ WG4 ก) บนระนาบ $xy, yz$ และ $zx$ ข) บนแกน $y$ จากตำแหน่ง $y = -10$ cm ถึง $y = 40$ cm.....	1.8
รูปที่ 3.10	กราฟแสดงความเข้มของสนามไฟฟ้าภายในห้องคลื่นเมื่อเพิ่มจำนวนแมกนีตรอน 1,2,3 และ 4 หัว.....	19
รูปที่ 3.11	แบบของส่วนประกอบของเตาเผาไมโครเวฟอุณหภูมิสูง.....	20
รูปที่ 3.12	แบบของเตาไมโครเวฟกำลังสูงที่ความดันต่ำ.....	21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VIII

รูปที่ 3.13	เตาเผาไมโครเวฟอุณหภูมิสูง.....	22
รูปที่ 3.14	ก) ไตรแอก ข) สัญญาลักษณ์ของไตรแอก.....	23
รูปที่ 3.15	ลักษณะสัญญาณ Zero-Crossing.....	23
รูปที่ 3.16	ลักษณะของสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเมื่อปล่อยสัญญาณทริกเกอร์ที่มุมเฟส $\theta_1 = 45^\circ$ ก) ลักษณะของสัญญาณคลื่นไซน์ ข) ลักษณะของสัญญาณทริกเกอร์ ค) ลักษณะของสัญญาณแรงดันไฟฟ้า.....	24
รูปที่ 3.17	ลักษณะของสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเมื่อปล่อยสัญญาณทริกเกอร์ที่มุมเฟส $\theta_2 = 135^\circ$ ก) ลักษณะของสัญญาณคลื่นไซน์ ข) ลักษณะของสัญญาณทริกเกอร์ ค) ลักษณะของสัญญาณแรงดันไฟฟ้า.....	24
รูปที่ 3.18	แผนภาพการควบคุมกำลังไมโครเวฟแบบควบคุมเฟส.....	25
รูปที่ 3.19	วงจรควบคุมกำลังไมโครเวฟแบบควบคุมเฟส.....	25
รูปที่ 3.20	กำลังไฟฟ้าที่แมกนีตรอนดึงไปใช้เมื่อเลือกค่ามุมเฟสต่างๆ โดยใช้แมกนีตรอน 1 หัว.....	26
รูปที่ 3.21	แผนภาพแสดงลำดับขั้นตอนการทำงานของเทอร์โมคัปเปิล.....	27
รูปที่ 3.22	ตำแหน่งการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล.....	27
รูปที่ 3.23	ตำแหน่งของเทอร์โมคัปเปิลภายในเตาเผา.....	28
รูปที่ 3.24	แผนภาพแสดงลำดับขั้นตอนการวัดอุณหภูมิของวัสดุ.....	28
รูปที่ 3.25	ภาพโครงสร้างโดยของเตาไมโครเวฟ.....	29
รูปที่ 4.1	การหาลำดับของคลื่นไมโครเวฟด้วยน้ำจากแมกนีตรอน 1 หัว.....	31
รูปที่ 4.2	การหาลำดับของคลื่นไมโครเวฟจากแมกนีตรอน 1, 2, 3 และ 4 หัว โดยใช้มุมเฟส 180 องศา และใช้น้ำเป็นวัสดุคูคคลื่นคลื่น.....	31
รูปที่ 4.3	อุณหภูมิของ crucible (silicon carbide ; SIC) โดยใช้มุมเฟส 70,90 และ 120 องศา.....	33
รูปที่ 4.4	การให้ความร้อนจากไมโครเวฟแก่ crucible (silicon carbide ; SIC).....	34
รูปที่ 4.5	วัสดุวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก ZnAlO <sub>2</sub> ที่สังเคราะห์ได้จาก เตาไมโครเวฟ.....	34
รูปที่ 4.6	การให้ความร้อนจากไมโครเวฟแก่ crucible (silicon carbide ; SIC).....	34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

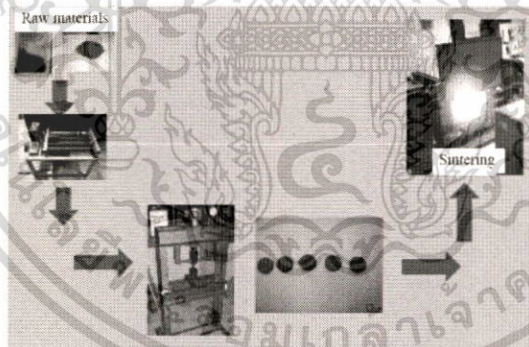
## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นในวัสดุสถานะของแข็งซึ่งสามารถเปลี่ยนความต่างของอุณหภูมิเป็นไฟฟ้าขึ้นได้โดยตรงทันทีทันใดและสามารถผันกลับเปลี่ยนจากพลังงานไฟฟ้าเป็นความต่างอุณหภูมิได้ทันทีทันใดในวัสดุได้เช่นกัน ดังนั้นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกก็คือวัสดุที่สามารถสร้างให้เกิดปรากฏการณ์ดังกล่าวมาได้ การประยุกต์เป็นอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกสามารถแยกออกเป็น 2 โหมดการทำงาน คือโหมดผลิตพลังงานไฟฟ้าจากความต่างอุณหภูมิ และโหมดสร้างความต่างอุณหภูมิจากพลังงานไฟฟ้าที่ป้อนเข้าไปโดยสามารถเลือกใช้ได้ทั้งฝั่งร้อนและฝั่งเย็นของวัสดุ

ในการสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธี solid state reaction ซึ่งเป็นวิธีการที่ทดลองในห้องปฏิบัติการวิจัยของคณะข้าพเจ้า ซึ่งมีขั้นตอนประกอบเตรียมด้วยการเตรียมผสมผงสารตั้งต้น จากนั้นไปนำเผาในเตาให้ความร้อนแบบขดลวด มีขั้นตอนแสดงดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 แสดงขั้นตอนการสังเคราะห์วัสดุ solid state reaction ในเตาแบบขดลวด

วิธีการดังกล่าวนี้จะใช้เวลาในสังเคราะห์นานมาก เป็นเวลา 24 ชม. ถึง 48 ชม. อุณหภูมิสังเคราะห์ ที่ 1000 C ถึง 1050 C และเวลาในการทำความร้อนภายในเตา จากอุณหภูมิห้อง ถึงอุณหภูมิที่สังเคราะห์ (1000 C ถึง 1050 C) ใช้เวลาไม่น้อยกว่า 1 ชม ส่งผลให้ได้สารสังเคราะห์แล้ว แล้วมีขนาดผงที่ใหญ่มาก (ระดับ > 1 ไมโครเมตร) ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของวัสดุโมอิเล็กทริกมีค่าต่ำ และยังเป็นผลให้ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาพการนำความร้อนที่ค่าสูงมาก ดังนั้นการสังเคราะห์ด้วยวิธีดังกล่าวจึงได้วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกที่ไม่ดี คุณภาพสูงมาก จึงไม่เหมาะที่จะนำไปสร้างเป็นอุปกรณ์ หรือ สิ่งประดิษฐ์เกี่ยวกับเทอร์โมอิเล็กทริก

พิจารณาค่าที่บ่งชี้ถึงการเป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีคุณภาพดีเยี่ยม นั้น เรียกว่าค่า **ZT (Dimensionless Figure of Merit)** ซึ่งเป็นค่าสมบัติทางวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกโดยมีค่าเป็น

$$ZT = \frac{S^2 \sigma T}{\kappa} = \frac{S^2 \sigma T}{(\kappa_e + \kappa_l)}$$

เมื่อ  $S$  คือ สัมประสิทธิ์ซีเบค,  $\sigma$  คือ ค่าสภาพการนำไฟฟ้า  $\kappa$  คือ ค่าสภาพการนำความร้อน  $\kappa_e$  และ  $\kappa_l$  คือ สภาพนำความร้อนจากพาหะนำไฟฟ้าและจากการสั่น โครงผลึก(Phonon) ตามลำดับ โดยค่า  $ZT$  เองจะแปรผันตรงกับประสิทธิภาพการผันพลังงานของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก ถ้าวัสดุมีค่า  $ZT$  สูง ก็หมายถึงความสามารถผันพลังงานได้สูงด้วย ซึ่งจะมีค่าสูงเมื่อมี สัมประสิทธิ์ซีเบค และสภาพการนำไฟฟ้ามีค่าสูง แต่มีค่าสภาพนำความร้อนต่ำ ดังแสดงในไดอะแกรมข้างล่าง

$$ZT = \frac{S^2 \sigma T}{\kappa} \quad \kappa = \kappa_e + \kappa_{ph}$$

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

พิจารณาในค่าสภาพการนำไฟฟ้า( $\sigma$ ) จากความสัมพันธ์

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

เมื่อ  $n$  คือความหนาแน่นพาหะ  $\mu$  คือ Mobility  $\tau$  คือ relaxation time  $m^*$  คือ effective mass และค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค จากความสัมพันธ์

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

จะเห็นได้ว่าค่าซีเบคนั้นสามารถจัดการผ่านเทอม  $\frac{d \ln \sigma(E)}{dE}$  ซึ่งสามารถเขียนในเทอม  $\frac{dn(E)}{dE}$  เมื่อพิจารณาเทอมแรกใน  $(\frac{dn(E)}{dE})$  ซึ่งสามารถทำให้ค่าสูงขึ้น ผ่าน Density of States (DOS)  $(\frac{dg(E)}{dE})$  โดยจะมีค่าสูงได้นั้น ค่า DOS ต้องมีรูปร่างที่ทำให้มีติของวัสดุมีค่าต่ำลง ซึ่งจะมีผลให้ DOS แคบและคมขึ้น

ซึ่งจะเกิดได้ในวัสดุแบบ Nano-Structure โดยสามารถสังเคราะห์วัสดุดังกล่าวได้ผ่านวิธีการสังเคราะห์ด้วย Microwave sintering,

พิจารณาค่าของสภาพการนำความร้อน ( $K$ ) ตามสมการ  $\kappa = \kappa_e + \kappa_l$  ในการทำให้ค่า  $K$  ลดลงและเพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบต่อค่าซีเบคและค่าสภาพการนำไฟฟ้าด้วยนั้ จึงควรจัดการกับเทอมของโฟนอนอนแทน

$$\text{เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ } \kappa_l = \frac{1}{3} c \rho \langle v_{ph} \rangle l_{ph}$$

โดย  $c$  คือ ค่าความจุความร้อนของวัสดุ

$\rho$  คือ ความหนาแน่น

$\langle v_{ph} \rangle$  คือความเร็วเฉลี่ยของโฟนอน และ

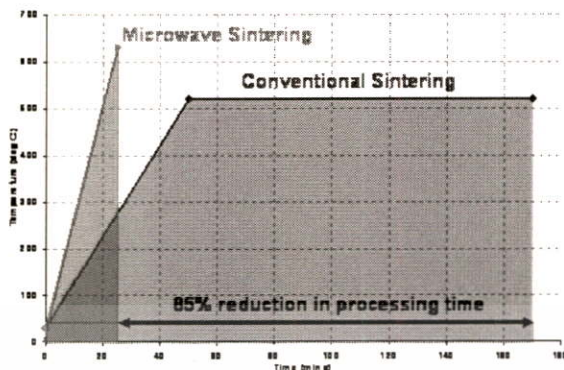
$l_{ph}$  คือ phonon mean free path

จะเห็นได้ว่า ถ้าค่า  $l_{ph}$  ค่าลดลงจะส่งผลให้ค่า  $\kappa_l$  ลดลงด้วย โดยค่า  $l_{ph}$  จะมีค่าแปรผันตามขนาดของ boundary impurity ของวัสดุ ซึ่งถ้าจัดการให้มีขนาดระดับนาโนได้ก็จะทำให้ค่าดังกล่าวลดลง โดยสามารถทำให้เกิดได้ในสภาพของ Nano grain boundary, Nano grain size, Nano Powder ซึ่งสามารถสังเคราะห์ให้เกิดได้ผ่านวิธีการสังเคราะห์ด้วยวิธี Microwave sintering,

ดังนั้นวิธีการนี้จึงเหมาะสมกับการสังเคราะห์วัสดุสำหรับเทอร์โมอิเล็กทริก จะมีใช้กันในห้องปฏิบัติการชั้นนำทางเทอร์โมอิเล็กทริกทั่วโลก และจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับการศึกษาวิจัยวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก แต่ในห้องปฏิบัติการวิจัยของคณะข้าพเจ้ายังไม่มี ทำให้การศึกษาวิจัยวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกยังตามหลังคณะอื่นๆอย่างมาก ส่งผลให้การตีพิมพ์ผลงานวิจัยยังไม่ impact factor ยังไม่สูงมากพอ (ปัจจุบันมีผลงานตีพิมพ์ที่มี impact factor ประมาณ 2 กว่า ใน Journal of Applied Physics) และได้วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกที่ดีพอสำหรับทำอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับสร้างเป็นแผ่นไฟฟ้าความร้อนสูญเสียเปล่า

การสังเคราะห์วัสดุด้วยวิธีระบบเตาไมโครเวฟซึ่งเป็นทำความร้อนด้วยคลื่นไมโครเวฟ ซึ่งจะให้กำลังไฟฟ้าในการให้ความร้อนแก่สารสังเคราะห์ที่สูงมาก (4 KW สำหรับไมโครเวฟระดับอุตสาหกรรม และ 850 W สำหรับเทอร์โมอิเล็กทริกในบ้าน) และความร้อนขึ้นถึงอุณหภูมิสำหรับสังเคราะห์สูงที่เร็วมาก ทำให้ใช้เวลาในการสังเคราะห์สั้นมากๆ ประมาณ 5 – 20 นาที ดังแสดงในรูปที่ 1.2 ซึ่งจะมีผลให้การสังเคราะห์เกิดมระดับนาโนได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 1.2 เปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการสังเคราะห์ด้วยไมโครเวฟและขดลวดความร้อน

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจสร้างและพัฒนา สร้างระบบสังเคราะห์ด้วยคลื่นไมโครเวฟเพื่อเป็นแหล่งพลังงานความร้อน โดยระบบดังกล่าวยังไม่มีสร้างในประเทศไทย ต้องสั่งซื้อจากต่างประเทศโดยมีราคาสูงมาก

อุปกรณ์ดังกล่าวนี้สำคัญมากสำหรับการวิจัยด้านวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก ที่จะพัฒนาวัสดุตัวกึ่งตัวนำภายในประเทศ วัสดุที่ราคาถูกลงที่มีภายในประเทศ เพื่อให้เหมาะสมใช้งานในประเทศไทย และพัฒนาจนถึงระดับการค้า จนถึงอุตสาหกรรมการผลิตขนาดใหญ่ได้— และยังเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยพื้นฐานที่จะมีผลกระทบต่อวงการวิทยาศาสตร์ด้านพลังงานทดแทน การสร้างต้นแบบ และการประดิษฐ์อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก และอุตสาหกรรมพลังงาน และการเรียนการสอน ระดับปริญญาตรี โท และ เอก ในวิชาวัสดุฟิสิกส์พลังงาน ดังนั้นคณะวิจัยของข้าพเจ้าจึงสนใจออกแบบและสร้างเตาเผาไมโครเวฟที่ความดันต่ำ ขึ้นเองเพื่อใช้ในการวิจัยด้านวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก ซึ่งจะได้องค์ความรู้จากการสร้างระบบดังกล่าว สามารถยกระดับเทคโนโลยีให้สามารถพึ่งพาตนเองและนำไปสู่การพัฒนาประเทศที่ยั่งยืนได้ รวมไปถึงการพัฒนาบุคลากรด้านการสร้าง เครื่องมือ การเรียนการสอนการวิจัย การส่งบทความประชุมเชิงวิชาการ และวารสารนานาชาติ สำหรับการศึกษาทั้งระดับปริญญาตรี โท และ เอก และเตรียมความพร้อมการศึกษาในยุค Thailand 4.0 ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อออกแบบและสร้างเตาเผาไมโครเวฟเพื่อสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก

## 1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1. จำลองการกระจายตัวของคลื่นไมโครเวฟที่มีห้องคลื่นแบบMultitude
2. ออกแบบและสร้างห้องคลื่นและท่อนำคลื่น
3. ติดตั้งระบบควบคุมการทำงานของแมกนีตรอนที่สามารถควบคุมกำลังแบบย้อนกลับได้
4. ติดตั้งเซ็นเซอร์เพื่อวัดอุณหภูมิของCrucible และวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก
- 5 ทดสอบการสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกด้วยระบบเตาไมโครเวฟ

## 1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

มีขั้นตอนการวิจัยแบ่งออกเป็น 3 หัวข้อหลัก ๆ ดังนี้

1. สร้างระบบเตาไมโครเวฟและทดสอบการใช้งานเตาสังเคราะห์ โดยมีส่วนประกอบของระบบดังนี้
  - ระบบห้องคลื่นไมโครเวฟและโครงสร้างระบบเตา
  - ระบบกำเนิดคลื่นไมโครเวฟและท่อนำคลื่นไมโครเวฟ
  - ระบบแหล่งกำเนิดและควบคุมคลื่นไมโครเวฟ
  - ระบบวัด อ่าน และควบคุมอุณหภูมิ
2. ทดสอบสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก
3. เขียนสรุปรายงาน เผยแพร่ตีพิมพ์บทความในงานประชุมวิชาการและวารสารนานาชาติ

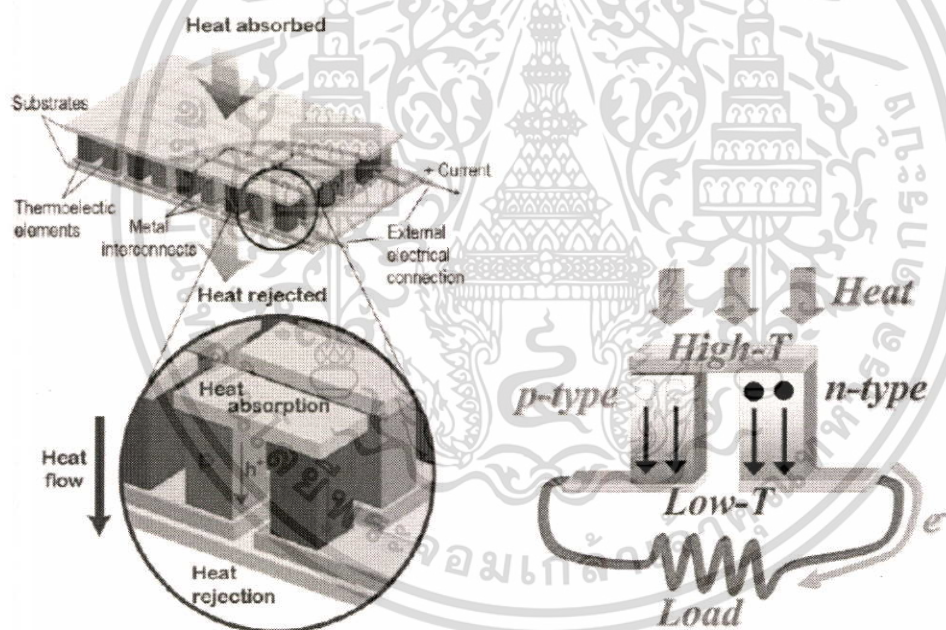
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 2

### งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปรากฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริก[1-3] เป็นปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นกับวัสดุในสถานะของแข็งที่สามารถเปลี่ยนความต่างของอุณหภูมิเป็นไฟฟ้าขึ้นได้ทันทีโดยตรง และสามารถผันกลับโดยเปลี่ยนจากพลังงานไฟฟ้าเป็นความต่างอุณหภูมิได้ทันทีทันใดในวัสดุ ดังนั้นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกก็คือวัสดุที่เกิดปรากฏการณ์ดังกล่าวได้ ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์เป็นอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก โดยแยกเป็นอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกของใช้งานออกเป็น 2 โหมด คือโหมดผลิตพลังงานไฟฟ้าจากความต่างอุณหภูมิ และโหมดสร้างความต่างอุณหภูมิจากไฟฟ้าซึ่งสามารถเลือกใช้ได้ทั้งด้านร้อนและด้านเย็นของวัสดุ ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 หลักการทำงานของเทอร์โมอิเล็กทริก

สำหรับปรากฏการณ์ต่างๆที่เกิดขึ้นในอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกได้แก่ปรากฏการณ์ซีเบค และปรากฏการณ์เพลเทียร์ โดยปรากฏการณ์ในการสร้างไฟฟ้าจากความต่างของอุณหภูมิในวัสดุเรียกว่าปรากฏการณ์ซีเบค ซึ่งจะมีค่าคงที่เป็นสัดส่วนระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากับผลต่างของอุณหภูมิ เรียกว่าสัมประสิทธิ์ซีเบค เป็นได้ทั้งค่าทั้งบวกและลบ ขึ้นอยู่กับชนิดการนำไฟฟ้าของวัสดุของเทอร์โมอิเล็กทริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าการนำไฟฟ้าเป็นบวก p-type มีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคเป็นบวก หรือถ้าการนำไฟฟ้าเป็นลบ n-type มีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคเป็นลบ และปรากฏการณ์การสร้างความต่างของอุณหภูมิจากพลังงานไฟฟ้าว่า เรียกว่า ปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier effect)

มีวัสดุที่สามารถเปลี่ยนความร้อนเป็นไฟฟ้าได้โดยตรงทันทีในตัวเองได้ เรียกว่า วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก [1-3] โดยวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกนั้นเป็นวัสดุที่สามารถผันพลังงานความร้อนที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นบนวัสดุเป็นให้เป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงทันทีในตัวเอง โดยสามารถประยุกต์เป็นอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกได้หลายแบบเช่น ประยุกต์เทอร์โมอิเล็กทริกสร้างไฟฟ้าจากความร้อนจากแสงแดด หรือเป็นตัวกำเนิดไฟฟ้าจากความร้อนในท่อไอเสียรถยนต์

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงสนใจพัฒนาวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นเพื่อสร้างอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับผันไฟฟ้าจากความร้อนสูญเสียเปล่า โดยประสิทธิภาพการผันพลังงานของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกนั้นจะแปรผันกับค่าประจำวัสดุ โดยเรียกว่า ค่า Dimensionless of Figure of merit (ZT) [2] เป็นค่าที่ไม่มีหน่วย โดยถ้าค่า ZT ในวัสดุใดมีค่ามาก เมื่อนำมาสร้างเป็นอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกก็จะสามารถผันพลังงานได้มากด้วย สำหรับ ZT ตามทฤษฎีนั้นจะมีค่าได้ไม่จำกัด แต่ในปัจจุบันวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกมีค่าอยู่ที่ ประมาณ 1 ถึง 2 สำหรับค่า ZT นั้นสามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์  $ZT = \sigma S^2 T / K$  เมื่อ  $\sigma$  คือ ค่าสภาพการนำไฟฟ้า  $S$  คือ สัมประสิทธิ์ซีเบค  $T$  คือค่าอุณหภูมิ และ  $K$  คือ ค่าสภาพนำความร้อน โดยค่า  $\sigma$   $S$  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 ดังนั้นค่า ZT มีความสัมพันธ์ใหม่เป็นดังนี้ 
$$ZT = \frac{\sigma S^2 T}{K_e + K_{ph}}$$

ในการสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงนั้นสามารถทำได้โดยการพัฒนาวัสดุให้มีค่า ZT สูงขึ้น โดยมีปัจจัยที่จะให้ค่า ZT สูงขึ้นได้ เป็นไปตามพฤติกรรมดังแสดงในรูปที่ 2.2

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

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

รูปที่ 2.2 แสดงปัจจัยที่ผลต่อการเพิ่มของค่า ZT

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่า ค่า  $ZT$  ของวัสดุจะมีสูงขึ้นไปได้ เมื่อค่าสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริกของวัสดุนั้น มีค่า  $S$  และ  $\sigma$  มีค่าสูงมากๆ แต่ค่า  $K$  ต้องมีค่าน้อยมากๆ และต้องมีค่า  $T$  สูงมากๆ ด้วย (คือสามารถใช้งานที่อุณหภูมิสูงๆได้) เมื่อพิจารณาพารามิเตอร์ทั้ง 3 ตัวซึ่งมีความสัมพันธ์เป็นดังนี้

ในกรณีของค่าสภาพการนำไฟฟ้า พิจารณาจากความสัมพันธ์[4]

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

เมื่อ  $n$  คือความหนาแน่นพาหะ  $\mu$  คือ Mobility  $\tau$  คือ relaxation time  $m^*$  คือ effective mass

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

ซีเบคให้สูงได้ผ่านเทอม  $\frac{d \ln \sigma(E)}{dE}$  โดยจัดการผ่าน 2 วิธี คือผ่านเทอมของ  $\frac{dn(E)}{dE}$  และ  $\frac{d\mu(E)}{dE}$  เมื่อ

พิจารณาเทอมแรกใน  $\left( \frac{dn(E)}{dE} \right)$  นั้นสามารถทำให้ค่าสูงขึ้นไปผ่านค่า Density of States (DOS)  $\left( \frac{dg(E)}{dE} \right)$

โดยจะมีค่าสูง DOS ต้องมีรูปร่างที่ทำให้มีค่างวดต่ำลง ซึ่งจะมีผลให้ DOS แคบและคมขึ้น ซึ่ง

จะเกิดได้ในวัสดุแบบ Nano-Structure สำหรับเทอมที่สอง  $\left( \frac{d\mu(E)}{dE} \right)$  สามารถทำให้ค่าสูงขึ้นไปผ่าน

ค่า  $\frac{d\tau(E)}{dE}$  โดยการ Scattering electron ซึ่งจะมีค่ามากในวัสดุประเภท Semiconductor ในทำนอง

เดียวกันค่าการนำไฟฟ้าก็สามารถดึงให้สูงขึ้นไปผ่านค่า DOS และ Mobility จึงมีผลสามารถทำให้ค่าสูงขึ้นไป

ได้ทั้งค่า ซีเบคและค่าสภาพนำไฟฟ้า พร้อมกัน

ในความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ทั้ง 3 ตัว จะเห็นได้ว่า  $S$   $\sigma$  และ  $K_c$  มีความผูกพันเชื่อมโยงกัน ดังนั้นถ้าต้องการเพิ่ม  $ZT$  ด้วยการเลือกเพิ่ม  $S$  และ  $\sigma$  ก็จะส่งผลให้เกิดการลดค่า  $K_c$  ด้วย หรือ ถ้าต้องการเพิ่ม  $ZT$  ด้วยการเลือกลด ค่าของ  $K_c$  ลง ก็จะส่งผลต่อการลดค่าของ  $\sigma$  และ  $S$  ด้วย ดังนั้นวิธีที่ดีที่สุดที่ทำให้การเพิ่ม  $ZT$  ที่ไม่ส่งผลต่อตัวอื่นก็คือ การเลือกลด ค่า  $K_{ph}$  ซึ่งเกี่ยวข้องกับโครงสร้าง ซึ่งไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงค่า  $\sigma$  และ  $S$

ดังนั้นจึงควรเลือกจัดการลดค่า  $K$  ด้วยการลด ค่า  $K_{ph}$  สำหรับปัจจัยที่มีผลต่อการควบคุมค่า  $K_{ph}$  [4] สามารถพิจารณาได้จาก กระบวนการกระเจิงโฟนอน phonon scattering processes ซึ่งสามารถแสดงในรูปของ relaxation times โดยมีสมการ combination relaxation time ( $\tau_c$ ) เป็น  $\frac{1}{\tau_c} = \frac{1}{\tau_p} + \frac{1}{\tau_D} + \frac{1}{\tau_B}$  เมื่อ

$\tau_p$  คือ the relaxation time depending on phonon-phonon scattering (normal and umklapp processes),  $\tau_D$

( $=C_D\omega^4$ ) คือ the relaxation time depending on point-defect scattering,  $\tau_B (=Vs/L)$  คือ the relaxation time depending on boundary scattering เมื่อ  $\omega$  คือ ความถี่โฟนอน  $Vs$  คือ ความเร็วเสียง และ  $L$  คือ boundary length

จากสมการผลรวมของค่า  $\tau_c$  ซึ่งเกี่ยวข้องกับค่าคงที่เป็นส่วนใหญ่ เมื่อพิจารณา ค่า  $\tau_D$  จะเห็นได้ว่า ค่า relaxation time ขึ้นกับค่า ความถี่โฟนอน ดังนั้นสามารถจัดการด้วยค่า ความถี่โฟนอน ซึ่งก็จะไปสัมพันธ์กับค่าความเร็วเสียง ส่วนค่า  $\tau_B$  (the relaxation time depending on boundary scattering) นั้นจะเกี่ยวข้องกับค่าความเร็วเสียง และค่า characteristic length ( $L$ ) ซึ่งสามารถจัดการค่าดังกล่าวโดยทำให้เกิดการกระเจิงที่ขอบ และต้องทำให้เกิดค่า  $L$  น้อยที่สุดด้วย ซึ่งสามารถทำได้โดยทำให้เกิดการกระเจิง และทำให้ค่าของ  $L$  ในโครงสร้างภายในวัสดุมีขนาด boundary grain size, nano powder ขนาดระดับ nano สำหรับการสังเคราะห์วัสดุให้ได้ขนาด ระดับ nano นั้น ในงานวิจัยนี้สนใจวิธีของการสังเคราะห์วัสดุด้วยการใช้คลื่นไมโครเวฟ เพราะเป็นวิธีการสังเคราะห์ที่ใช้เวลาน้อยมากเมื่อเทียบกับวิธีสังเคราะห์แบบความร้อนด้วยขดลวด ซึ่งเป็นให้ขนาด เกรนระดับนาโน

สำหรับการสังเคราะห์ด้วย microwave นั้น จะทำให้เวลาในการให้ความร้อนที่เร็วมาก และได้กำลังความร้อนสูงและเร็ว จึงทำให้ได้สารที่มีขนาดผงเล็กมาก ถึงระดับนาโน [5-7]

สำหรับในงานวิจัยนี้สนใจที่จะออกแบบและสร้างเตาไมโครเวฟดังแสดงในรูปที่ 6 เพื่อเป็นเตาสำหรับสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกให้มีสมบัติดีขึ้นสำหรับประดิษฐ์อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกผันไฟฟ้าจากความร้อน โดยการสังเคราะห์ในระบบดังกล่าว จะทำให้ได้วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกเกิด nano powder ซึ่งจะส่งผลให้มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่น้อยมาก แล้วจะส่งผลให้ ค่า  $ZT$  ของวัสดุดีขึ้น สำหรับการสังเคราะห์ด้วยระบบไมโครเวฟนั้น ในรายงานของ Padmavathi [8]

### บทที่ 3

#### วิธีดำเนินการวิจัย

##### 3.1 การออกแบบและสร้างเตาเผาไมโครเวฟกำลังสูงที่ความดันต่ำ

ในการกระตุ้นด้วยคลื่นไมโครเวฟเพื่อให้เกิดความร้อนเพื่อสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกจากสารตั้งต้นหลายชนิดนั้น จะต้องให้ความร้อนสารตั้งต้นภายใต้สภาวะไร้ออกซิเจน เพื่อควบคุมปฏิกิริยาออกซิเดชัน โดยอนุภาคเหล่านั้นจะต้องรับพลังงานความร้อนอย่างเหมาะสมที่จะให้เกิดการSinteringกัน แล้วได้สารเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีโครงสร้างระดับนาโนซึ่งมีประสิทธิภาพสูง จะต้องออกแบบเตาไมโครเวฟที่ความดันต่ำซึ่งมีส่วนประกอบต่างๆที่เหมาะสม เพื่อที่จะให้สามารถส่งคลื่นไมโครเวฟกำลังสูงเพียงพอจากแหล่งกำเนิดไปยังสารตั้งต้น สามารถควบคุมอุณหภูมิและเวลาในการสังเคราะห์ ควบคุมปริมาณและชนิดของก๊าซภายในห้องอบได้ โดยเตาเผาไมโครเวฟความดันต่ำที่จะพัฒนาขึ้นมีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 1 ซึ่งประกอบด้วย ห้องคลื่นแบบหลายโหมด(Multi-mode cavity) Antennaและท่อนำคลื่น(Waveguide)แบบสี่เหลี่ยม แมกนีตรอน(Magnetron)และท่อนำคลื่น 4 ชุด เครื่องกำเนิดความต่างศักย์สูงแบบปรับค่าได้(Adjustable high-voltage power supply) อุปกรณ์สำหรับการวัดอุณหภูมิและความดัน ในขณะที่เกิดการสังเคราะห์ และระบบการควบคุมและการแสดงผลด้วยคอมพิวเตอร์

##### 3.2. การจำลองเพื่อออกแบบเตาเผาไมโครเวฟ

###### 3.2.1 แบบจำลองและสมการคลื่น

ในการให้ความร้อนกับวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกส์เพื่อให้เกิดอุณหภูมิสูงด้วยคลื่นไมโครเวฟต้องคำนึงถึงคือลักษณะของเตาเผาซึ่งมีส่วนประกอบหลักที่สำคัญคือ แหล่งกำเนิดคลื่นหรือแมกนีตรอน ท่อนำคลื่น และห้องคลื่น ในการส่งกำลังคลื่นไมโครเวฟจากแหล่งกำเนิดไปยังห้องคลื่น โดยทั่วไปจะใช้ท่อนำคลื่นเนื่องจากการสูญเสียต่ำ กำลังคลื่นที่ถูกส่งเข้าไปยังห้องคลื่นจะทำให้เกิดความร้อนกับวัสดุที่อยู่ในห้องคลื่น โดยปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจะขึ้นอยู่กับกำลังของคลื่นไมโครเวฟที่ถูกส่งเข้าไปได้ การเพิ่มกำลังให้คลื่นไมโครเวฟสามารถทำได้โดยเพิ่มกำลังของแหล่งกำเนิดคลื่นซึ่งสามารถทำได้ 2 วิธี คือการเลือกใช้แมกนีตรอนกำลังสูง หรือใช้วิธีเพิ่มจำนวนของแมกนีตรอนกำลังต่ำหลายๆหัวซึ่งเป็นวิธีที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ข้อดีของวิธีนี้ คือแมกนีตรอนที่เลือกใช้สามารถหาซื้อได้ง่ายและราคาไม่แพงเนื่องจากแมกนีตรอนเหล่านี้ถูกผลิตขึ้นมาในปริมาณมากเพื่อใช้ในเชิงพาณิชย์ ค่าใช้จ่ายในการติดตั้งจึง ไม่สูงมากเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีแรก แต่อย่างไรก็ตามข้อเสียของวิธีนี้คือ ถ้าเลือกตำแหน่งการติดตั้งท่อนำคลื่นไม่เหมาะสม จะทำให้ได้กำลังของ

คลื่นไมโครเวฟต่ำและทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของแมกนีตรอนลดลง เนื่องจากได้รับผลกระทบจากคลื่นสะท้อนกลับซึ่งจะเป็นผลให้อายุการใช้งานของแมกนีตรอนสั้นลง จำนวนของแมกนีตรอนที่จะสามารถติดตั้งบนตัวของห้องคลื่นได้นั้นจะขึ้นอยู่กับขนาดของห้องคลื่น ดังนั้นในการออกแบบเตาเผาจะต้องใช้ขนาดของห้องคลื่นที่เหมาะสมกับงาน และการเลือกตำแหน่งจัดเรียงท่อนำคลื่นที่สามารถทำให้เกิดกำลังของคลื่นไมโครเวฟสูงสุดภายในห้องคลื่น โดยไม่มีผลกระทบกับประสิทธิภาพการทำงานของแมกนีตรอน เนื่องจากความซับซ้อนของคลื่นที่เกิดขึ้นภายในห้องคลื่น ในการออกแบบจึงต้องใช้วิธีการวิเคราะห์ปัญหาการกระจายตัวของสนามไฟฟ้าภายในท่อนำคลื่นและห้องคลื่นด้วยระเบียบวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์ (Finite element method) โดยใช้โปรแกรม COMSOL Multiphysics ซึ่งเป็นโปรแกรมที่มีประสิทธิภาพสูงสำหรับศึกษาและออกแบบเกี่ยวกับคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

สำหรับการกระจายตัวของคลื่นไมโครเวฟภายในท่อนำคลื่นและภายในห้องคลื่นสามารถหาได้จากสมการคลื่น

$$\nabla \times \mu_r^{-1} (\nabla \times \vec{E}) - k_0^2 \left( \epsilon_r - \frac{j\sigma}{\omega\epsilon_0} \right) = 0 \quad (1)$$

เมื่อ

- $E$  คือ ค่าความเข้มของสนามไฟฟ้า (Electric field intensity)
- $\mu_r$  คือ ค่าความซึมซับแม่เหล็กสัมพัทธ์ (relative permeability)
- $\epsilon_r$  คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกสัมพัทธ์ (relative permittivity)
- $\epsilon_0$  คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กทริกของสุญญากาศ (permittivity of free space)
- $\sigma$  คือ ค่าความนำไฟฟ้า (electrical conductivity) ของวัตถุ
- $k_0$  คือ ค่าคงที่ของการแผ่ (propagation constant)
- $\omega$  คือ ความถี่เชิงมุม (angular frequency)

สำหรับเงื่อนไขขอบเขต (boundary conditions) เพื่อกำหนดความต่อเนื่องของคลื่นไมโครเวฟที่ผิวรอยต่อระหว่างอากาศกับผนังของท่อนำคลื่นและห้องคลื่นซึ่งเป็นตัวนำสมบูรณ์ สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้ [19]

$$\hat{n} \times \vec{E} = 0, \hat{n} \cdot \vec{H} = 0 \quad (2)$$

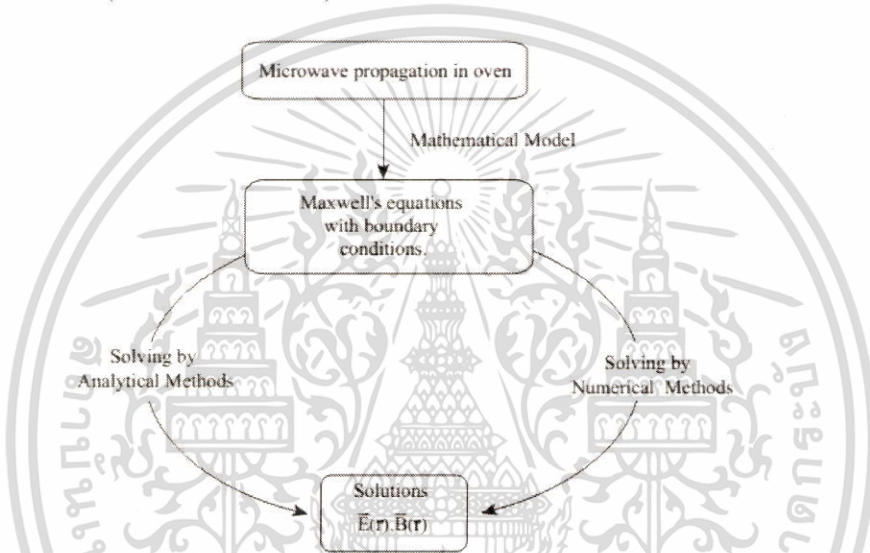
เมื่อ  $\hat{n}$  คือ เวกเตอร์หน่วยที่ตั้งฉากกับผนังห้องคลื่น

$H$  คือ ค่าความเข้มของสนามแม่เหล็ก (Magnetic field intensity)

จากสมการ 2 พบว่า สนามไฟฟ้าในแนวสัมผัสกับผนังต้องเป็นศูนย์และสนามแม่เหล็กในแนวตั้งฉากกับผนังต้องเป็นศูนย์เช่นกัน

### 3.2.2 การจำลองและผลการจำลอง

การศึกษากการเคลื่อนที่ของคลื่นไมโครเวฟ(Microwave propagation) เพื่อออกแบบและสร้างเตาเผา อุณหภูมิสูงด้วยคลื่นไมโครเวฟจะมีกระบวนการศึกษาดังรูปที่ 5 การกระจายตัวของคลื่นไมโครเวฟในเตาเผาจะถูกแทนด้วยสมการคลื่นของสนามไฟฟ้าและสนามแม่เหล็ก ซึ่งอยู่ในรูปของสมการเชิงอนุพันธ์ย่อย (Partial differential equations) ดังสมการที่ 1 การแก้สมการคลื่นภายใต้เงื่อนไขของตัวกลางในการเคลื่อนที่ และเงื่อนไขของค่าขอบของเตาเผา สามารถทำได้ 2 วิธี คือ ระเบียบวิธีเชิงวิเคราะห์ (Analytical Methods) และระเบียบวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Methods)



รูปที่ 3.1 กระบวนการศึกษากการเคลื่อนที่ของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

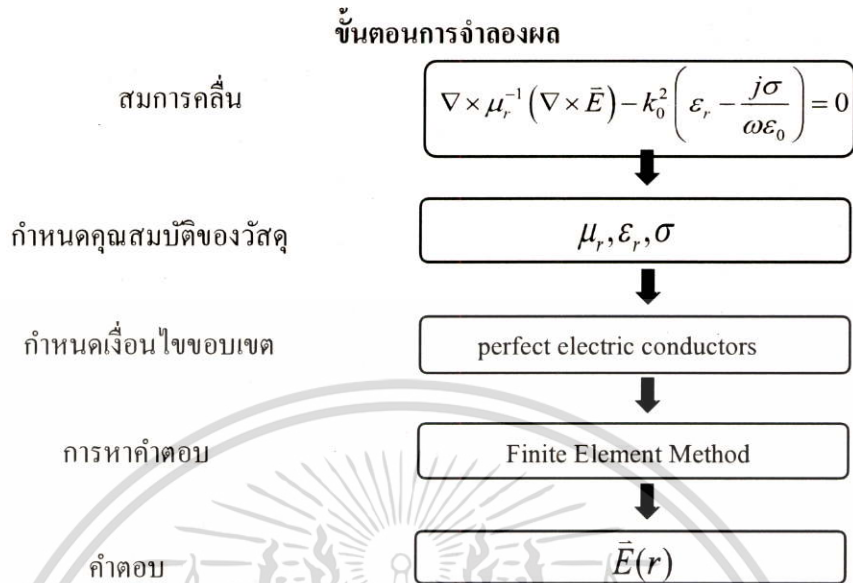
เนื่องจากเตาเผามีรูปร่างที่ไม่สมมาตร มีตัวกลางที่ไม่สม่ำเสมอ ทำให้การแก้สมการคลื่นใน 3 มิติด้วยระเบียบวิธีเชิงวิเคราะห์เพื่อหาการกระจายตัวของสนามแม่เหล็ก  $\vec{B}(r)$  และสนามไฟฟ้า  $\vec{E}(r)$  ไม่สามารถทำได้ สำหรับปัญหาที่มีความซับซ้อนนี้จำเป็นต้องใช้ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขบนคอมพิวเตอร์

โดยโปรแกรม COMSOL Multiphysics เป็นโปรแกรมที่อาศัยพื้นฐานของระเบียบวิธีการคำนวณเชิงตัวเลขแบบไฟไนต์เอลิเมนต์(Finite element) สำหรับแก้สมการเชิงอนุพันธ์โดยใช้เงื่อนไขขอบเขต

#### 1) ขั้นตอนการจำลอง

การศึกษากการกระจายตัวของคลื่นไมโครเวฟในท่อนำคลื่นและในห้องคลื่นโดยการจำลองด้วยโปรแกรม COMSOL Multiphysics มีขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการจำลองผลด้วยโปรแกรม COMSOL Multiphysics

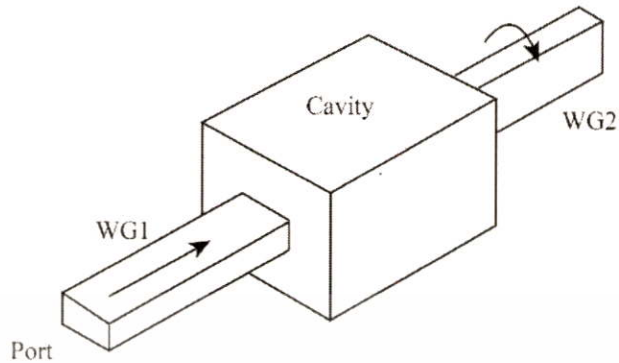
## 2) การศึกษาการติดตั้งท่อนำคลื่น

รูปที่ 3.2 แสดงแบบจำลองในการศึกษาลักษณะการติดตั้งท่อนำคลื่นบนผนังห้องคลื่นที่อยู่ตรงกันข้ามกัน เพื่อจะหามุมสัมพันธ์ในการติดตั้งที่ทำให้เกิดความเข้มของสนามไฟฟ้าสูงสุดภายในห้องคลื่น และมีการสะท้อนกลับของคลื่นไมโครเวฟเข้ามาในท่อนำคลื่นต่ำสุด WG1 และ WG2 เป็นท่อนำคลื่นซึ่งสามารถหมุนเพื่อปรับมุมสัมพันธ์ระหว่างกันได้ Port จะเป็นตำแหน่งของแหล่งกำเนิดคลื่นซึ่งส่งคลื่นความถี่ 2.45 GHz กำลัง 800 W ผนังของห้องคลื่นและท่อนำคลื่นกำหนดให้เป็นตัวนำสมบูรณ์ (perfect electric conductors) เพื่อไม่ให้เกิดการสูญเสียกำลังของคลื่นที่บริเวณผนังของท่อนำคลื่นและห้องคลื่น คุณสมบัติของวัสดุและปริมาณอื่นๆ ในแบบจำลองแสดงในตารางที่ 1 และผลการจำลองจะถูกแสดงเป็นปริมาณความเข้มของสนามไฟฟ้า (electric intensity)  $E_{norm}$  โดยที่

$$E_{norm} = \vec{E} \cdot \vec{E}^* \quad (3)$$

เมื่อ  $E_{norm}$  คือ จำนวนจริงของขนาดความเข้มของสนามไฟฟ้าในแนวแกน x, y และ z โดยที่  $\vec{E}^*$  คือ สังกะยของจำนวนเชิงซ้อน (complex conjugate) ของสนามไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

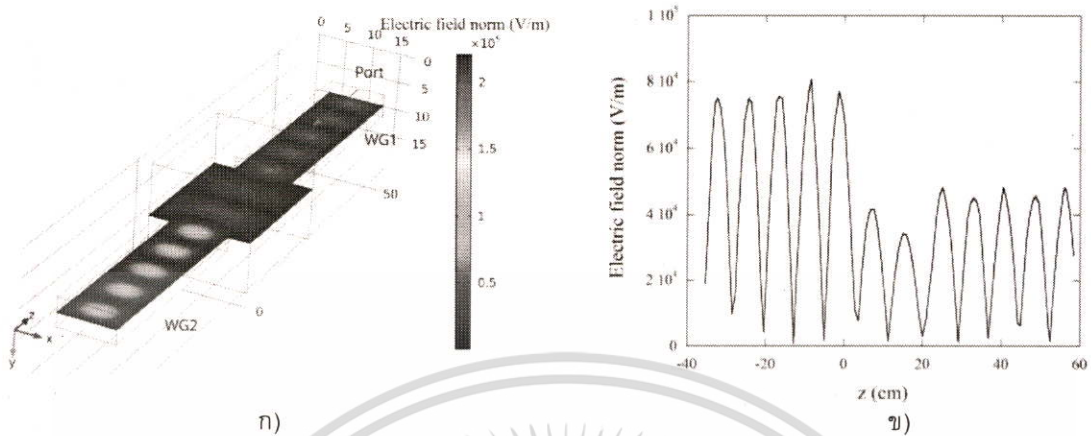


รูปที่ 3.3 แบบจำลองสำหรับศึกษาการติดตั้งท่อนำคลื่นบนผนังห้องคลื่นที่อยู่ตรงกันข้ามกัน

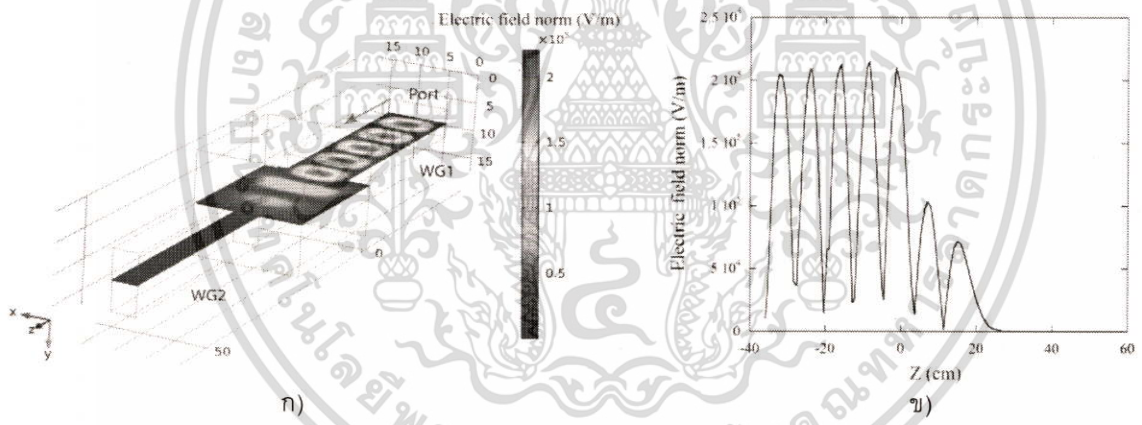
ตารางที่ 1 คุณสมบัติของวัสดุและปริมาณอื่นๆในแบบจำลอง

ส่วนประกอบของแบบจำลอง	คุณสมบัติ
ผนังของท่อนำคลื่นและห้องคลื่น	ตัวนำสมบูรณ์ (perfect electric conductors)
โพรงภายในท่อนำคลื่นและห้องคลื่น	อากาศ
โหมดของคลื่นไมโครเวฟ	TE <sub>10</sub>
ความถี่ของคลื่นไมโครเวฟ	2.45 GHz
กำลังของคลื่นไมโครเวฟ	800 W
ชนิด mesh ของห้องคลื่น	Fine
ชนิด mesh ของท่อนำคลื่น	Extra Fine

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.4 การกระจายตัวของสนามไฟฟ้า ก) บนระนาบ xz เมื่อ  $y = 7.5$  ซม ข) บนแกน z เมื่อ  $x = 5$  ซม และ  $y = 7.5$  ซม เมื่อวาง WG1 ขนานกับ WG2 โดยส่งคลื่นไมโครเวฟจาก Port ของ WG1 ที่ตำแหน่ง  $z = -40$  ซม



รูปที่ 3.5 การกระจายตัวของสนามไฟฟ้า ก) บนระนาบ xz เมื่อ  $y = 7.5$  ซม ข) บนแกน z เมื่อ  $x = 5$  ซม และ  $y = 7.5$  ซม เมื่อวาง WG1 ตั้งฉากกับ WG2 โดยส่งคลื่นไมโครเวฟจาก Port ของ WG1 ที่ตำแหน่ง  $z = -40$  ซม

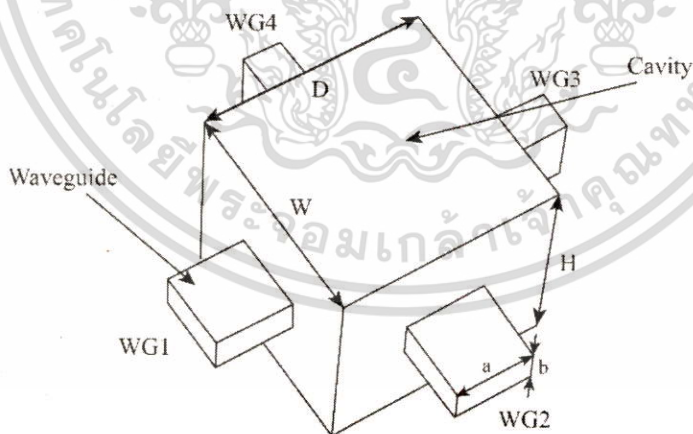
จากผลการจำลองพบว่าเมื่อติดตั้งท่อนำคลื่นขนานกันหรือทำมุมศูนย์องศาระหว่างกัน คลื่นซึ่งถูกส่งจาก Port ของท่อนำคลื่น WG1 ที่ตำแหน่ง  $z = -40$  ซม สามารถเคลื่อนที่เข้าไปในท่อนำคลื่น WG2 ซึ่งอยู่ด้านตรงกันข้ามได้ดังแสดงในรูปที่ 3.4 คลื่นดังกล่าวจะสามารถทำให้เกิดความเสียหายกับแหล่งกำเนิดคลื่นของ WG2 ได้ ในขณะที่เมื่อติดตั้งท่อนำคลื่นให้ตั้งฉากในรูปที่ 3.5 คลื่นที่ถูกส่งจาก Port ของ WG1 ไม่สามารถเคลื่อนที่เข้าไปในท่อนำคลื่น WG2 ทำให้ความเข้มของสนามไฟฟ้าเป็นศูนย์เมื่อ  $z > 25$  ซม และความเข้มของสนามไฟฟ้าในห้องคลื่นที่ตำแหน่ง  $0 < z < 20$  ซม มีค่าสูง ดังนั้นเพื่อลดความเสียหายของแมกนีตรอนซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ติดตั้งบนท่อนำคลื่นที่อยู่ด้านตรงกันข้ามกันและการสร้างสนามไฟฟ้าความเข้มสูงในห้องคลื่น จะต้องติดตั้งท่อนำคลื่นบนด้านตรงกันข้ามของห้องคลื่นให้ตั้งฉากกัน

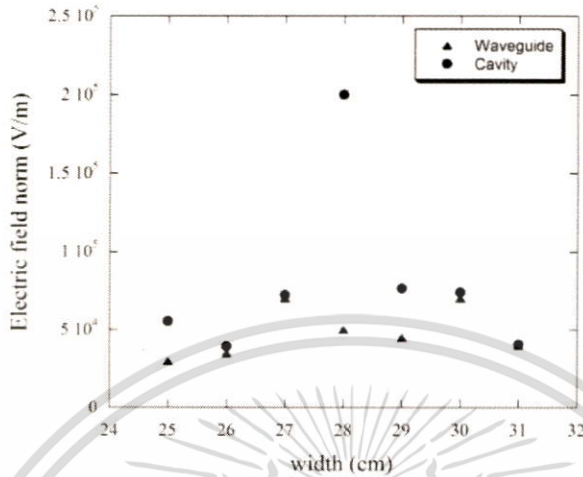
### 3) การศึกษาขนาดของห้องคลื่น

ห้องคลื่นเป็นส่วนองเตาเผาที่ทำหน้าที่กักเก็บคลื่นไมโครเวฟ โดยผนังทำมาจากวัสดุที่มีค่านำไฟฟ้าสูงแบบจำลองทางวงจร (equivalent circuit) ของห้องคลื่นถูกกำหนดเป็นวงจร LC ทำให้ค่าอิมพีแดนซ์ (Impedance) ของห้องคลื่นซึ่งเป็นค่าที่ขึ้นอยู่กับขนาดและวัสดุของที่ใช้ทำห้องคลื่น จึงมีผลต่อการส่งคลื่นจากแหล่งกำเนิดเข้ามาภายในห้องคลื่น การส่งคลื่นไมโครเวฟจากแหล่งกำเนิดคลื่นเข้าไปในห้องคลื่นจะใช้ท่อนำคลื่นที่มีอิมพีแดนซ์เดียวกันกับห้องคลื่น (Impedance Matching) ซึ่งทำให้การส่งคลื่นไมโครเวฟเข้าไปในห้องคลื่นมีประสิทธิภาพสูงสุด มีการสะท้อนกลับน้อยที่สุด ในการจำลองนี้จะส่งคลื่นจากท่อนำคลื่นเข้าไปในห้องคลื่นที่มีลักษณะสี่เหลี่ยมลูกบาศก์ แล้วศึกษาลักษณะการกระจายตัวของสนามไฟฟ้าในบริเวณต่างๆ เพื่อหาขนาดของห้องคลื่นที่เหมาะสม รูปที่ 3.6 แสดงแบบจำลองเตาเผาไมโครเวฟซึ่งประกอบด้วยห้องคลื่นสี่เหลี่ยมแบบ multimode ขนาด  $W \times H \times D$  ติดตั้งท่อนำคลื่นขนาด  $a \times b$  ไว้ทั้ง 4 ด้าน คลื่นไมโครเวฟจะถูกส่งจากแหล่งกำเนิดคลื่นผ่านท่อนำคลื่นทั้ง 4 เข้าไปยังห้องคลื่นพร้อมกัน โดยคุณสมบัติของวัสดุและปริมาณอื่นๆ ในแบบจำลองแสดงในตารางที่ 1



รูปที่ 3.6 ส่วนประกอบของแบบจำลองเตาเผา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 ความเข้มของสนามไฟฟ้าในห้วงคลื่นรูปทรงลูกบาศก์ขนาดต่างๆ

เมื่อติดตั้งท่อนำคลื่นขนาด  $5 \times 10$  cm ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของผนังทั้ง 4 ด้านของห้วงคลื่นที่มีขนาดแตกต่างกัน โดยส่งคลื่นจาก Port ของท่อนำคลื่นในแต่ละด้านพร้อมกัน พบว่าความเข้มของสนามไฟฟ้าภายในห้วงคลื่นและภายในท่อนำคลื่นของห้วงคลื่นแต่ละขนาดมีค่าแตกต่างกัน โดยที่ห้วงคลื่นขนาด  $28 \times 28 \times 28$  cm<sup>3</sup> จะทำให้เกิดค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าสูงสุดที่ตำแหน่งกึ่งกลางของห้วงคลื่นดังรูปที่ 3.7 แสดงว่าท่อนำคลื่นและห้วงคลื่นมี Impedance matching กัน

ดังนั้นในการออกแบบห้วงคลื่นของเตาเผาไมโครเวฟจึงใช้ขนาดของห้วงคลื่นเป็น  $28 \times 28 \times 28$  cm<sup>3</sup> โดยติดตั้งท่อนำคลื่นที่ตำแหน่งกึ่งกลางของผนังทั้ง 4 ด้านและให้ท่อนำคลื่นด้านตรงกันข้ามของห้วงคลื่นทำมุมตั้งฉากกัน

#### 4) การศึกษาผลของจำนวนแมกนีตรอน

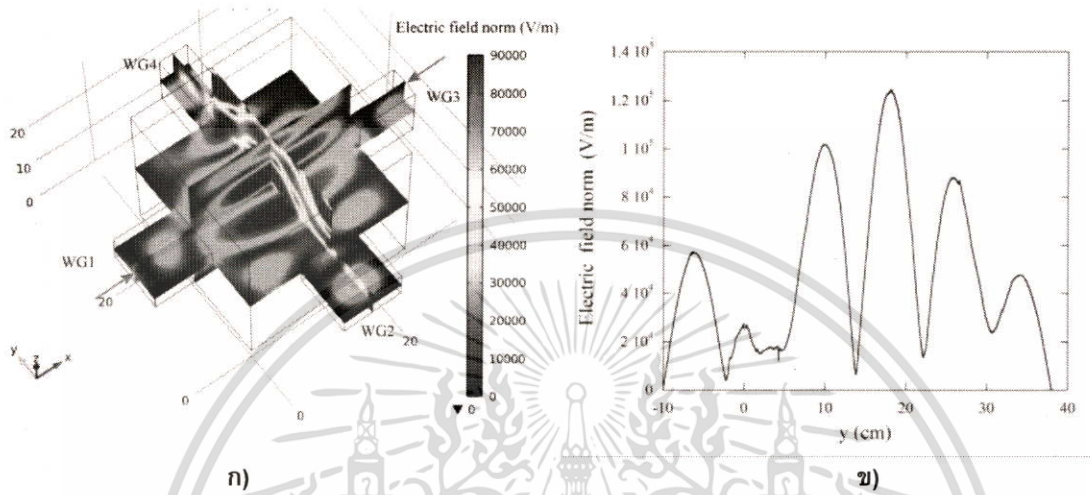
การศึกษาค่าผลของจำนวนแมกนีตรอนเป็นการจำลองการกระจายตัวของคลื่นไมโครเวฟที่เกิดขึ้นภายในห้วงคลื่นขนาด  $28 \times 28 \times 28$  cm<sup>3</sup> ดังแบบจำลองในรูปที่ 3.6 โดยใช้เงื่อนไขดังตารางที่ 1 เพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบระดับกำลังของคลื่นไมโครเวฟภายในห้วงคลื่น เมื่อส่งคลื่นไมโครเวฟจากแมกนีตรอนจำนวนแตกต่างกัน ซึ่งผลการศึกษานี้สามารถแสดงได้ดังนี้

#### กรณีการส่งคลื่นจากแมกนีตรอน 2 หัว และ 4 หัว

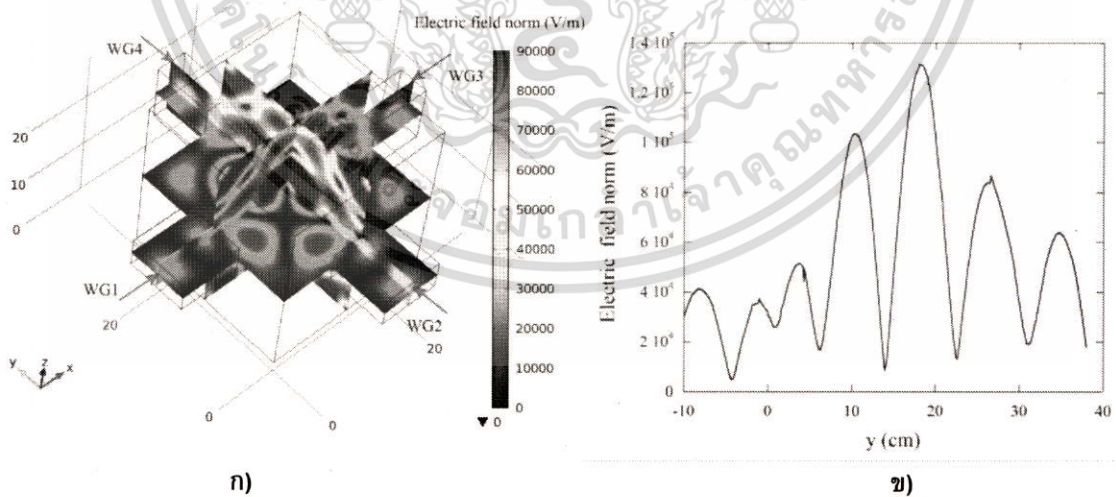
การจำลองเพื่อศึกษาผลของจำนวนแมกนีตรอนจะใช้วิธีกำหนดให้คลื่นผ่านท่อนำคลื่นเฉพาะท่อนำคลื่นที่ต้องการศึกษาเช่น กรณีการส่งคลื่นจากแมกนีตรอน 2 หัวจะส่งคลื่นจาก Port ของ WG1 และ WG3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และสำหรับกรณีส่งคลื่นจากแมกนีตรอน 4 หัว จะส่งคลื่นจาก Port ของ WG1, WG2, WG3 และ WG4 พร้อมกัน ซึ่งผลการจำลองแสดงในรูปที่ 3.8 และรูปที่ 3.9



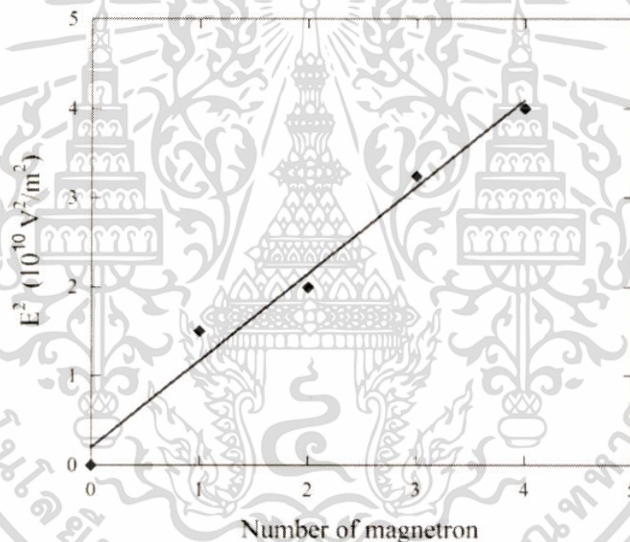
รูปที่ 3.8 ความเข้มของสนามไฟฟ้าภายในห้องคลื่นและท่อนำคลื่นเมื่อส่งคลื่นจากแมกนีตรอน 2 หัว คือ WG1 และ WG3 ก) บนระนาบ xy, yz และ zx ข) บนแกน y จากตำแหน่ง  $y = -10$  cm ถึง  $y = 40$  cm



รูปที่ 3.9 ความเข้มของสนามไฟฟ้าภายในห้องคลื่นและท่อนำคลื่นเมื่อส่งคลื่นจากแมกนีตรอน 4 หัว คือ WG1, WG2, WG3 และ WG4 ก) บนระนาบ xy, yz และ zx ข) บนแกน y จากตำแหน่ง  $y = -10$  cm ถึง  $y = 40$  cm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อส่งคลื่นด้วยแมกนีตรอนจำนวน 2 หัว จาก Port ของ WG1 และ WG3 พบว่าความเข้มของสนามไฟฟ้าบนตำแหน่ง  $0 < y < 28$  cm มีค่าสูงแต่ปริมาณความเข้มของสนามไฟฟ้าบนตำแหน่ง  $y < 0$  และ  $y > 28$  cm ซึ่งเป็นตำแหน่งของท่อนำคลื่นมีปริมาณต่ำดังแสดงในรูปที่ 3.8 ก) และ ข) สำหรับการส่งคลื่นด้วยแมกนีตรอนจำนวน 4 หัว จาก Port ของ WG1, WG2, WG3 และ WG4 พบว่าความเข้มของสนามไฟฟ้าบนตำแหน่ง  $0 < y < 28$  cm มีค่าสูง โดยจะมีขนาดสูงกว่ากรณีการส่งคลื่นจากแมกนีตรอนจำนวน 2 หัว และปริมาณความเข้มของสนามไฟฟ้าภายในของท่อนำคลื่นทั้ง 4 ยังคงมีปริมาณต่ำดังแสดงในรูปที่ 3.9 ก) และ ข) ดังนั้นการเพิ่มจำนวนหัวของแมกนีตรอนจะทำให้ความเข้มของสนามไฟฟ้ามีค่าสูงขึ้น จากการเปรียบเทียบค่า  $E^2$  ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของห้องคลื่นซึ่งเป็นพลังงานของคลื่นไมโครเวฟกับจำนวนหัวของแมกนีตรอน พบว่าการเพิ่มจำนวนหัวของแมกนีตรอนจะทำให้พลังงานของคลื่นมีค่าสูงขึ้นดังรูปที่ 3.10 โดยเมื่อเพิ่มแมกนีตรอนจาก 1 หัวเป็น 4 หัว พลังงานของคลื่นจะเพิ่มขึ้นประมาณ 4 เท่า



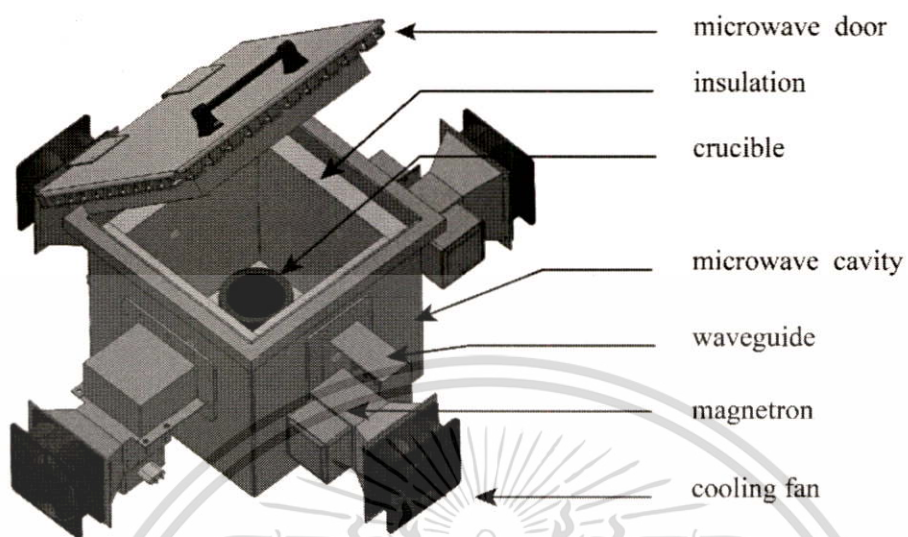
รูปที่ 3.10 กราฟแสดงความเข้มของสนามไฟฟ้าภายในห้องคลื่นเมื่อเพิ่มจำนวนแมกนีตรอน 1,2,3 และ 4 หัว

### 3.3 การออกแบบและการสร้างเตาเผาไมโครเวฟ

#### 1) ส่วนประกอบของเตาเผาไมโครเวฟ

ข้อมูลที่ได้จากการจำลองผลจะถูกใช้สำหรับออกแบบส่วนประกอบต่างของเตาเผาไมโครเวฟซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

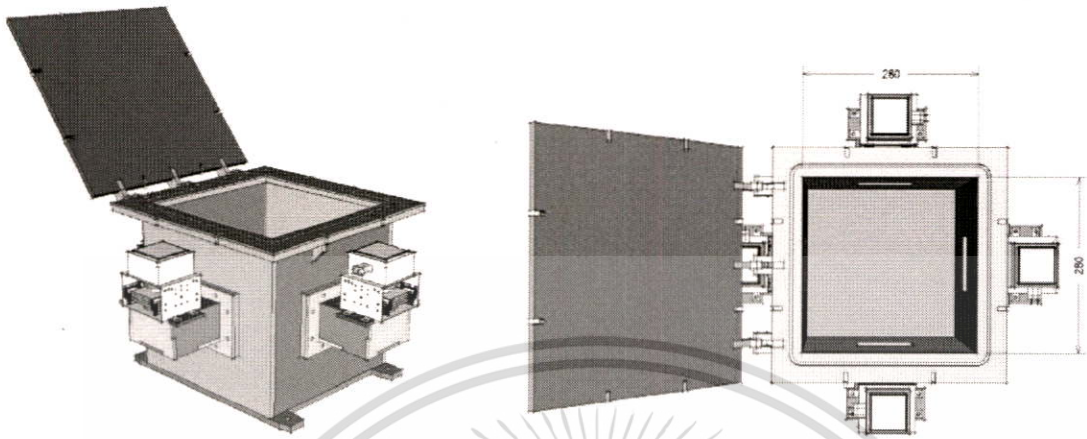


รูปที่ 3.11 แบบของส่วนประกอบของเตาเผาไมโครเวฟอุณหภูมิสูง

ขนาดและวัสดุที่ใช้สำหรับเป็นส่วนประกอบต่างๆของเตาเผาไมโครเวฟจะประกอบด้วยดังนี้ ตารางที่ 2 แสดงขนาดและวัสดุที่ใช้ออกแบบส่วนประกอบของเตาเผา

ส่วนประกอบเตาเผา	ขนาด	วัสดุ
ท่อนำคลื่น	10 cm × 5 cm × 10 cm	อลูมิเนียม (aluminum)
ห้องคลื่น	28 cm × 28 cm × 28 cm	สแตนเลส (Stainless Steel)
ประตู	36 cm × 36 cm × 2 cm	สแตนเลส (Stainless Steel)
แมกนีตรอน	800 W 2.45GHz	-
ฉนวน	2.5 cm (หนา), 1260 °C	Ceramic Fiber
พัดลมระบายความร้อนแมกนีตรอน	120 cm × 120 cm × 38 cm, 220V	-

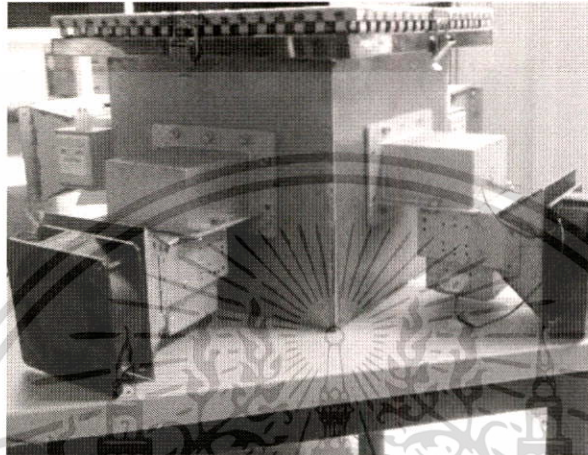
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 แบบของเตาไมโครเวฟกำลังสูงที่ความดันต่ำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแบบในรูปที่ 3.12 และข้อมูลในตารางที่ 2 สามารถสร้างเตาเผาไมโครเวฟอุณหภูมิสูงได้ดังรูปที่ 3.13



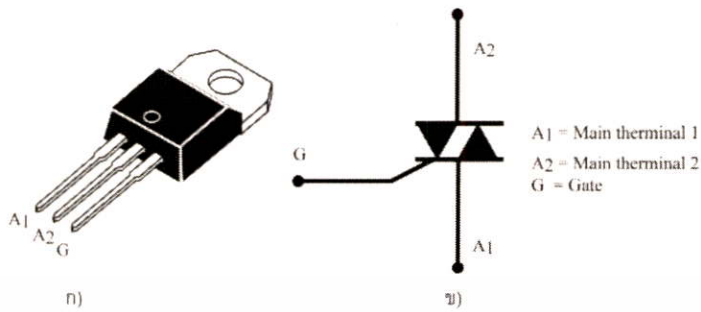
รูปที่ 3.13 เตาเผาไมโครเวฟอุณหภูมิสูง

## 2) การควบคุมกำลังไมโครเวฟแบบต่อเนื่องและปรับค่าได้

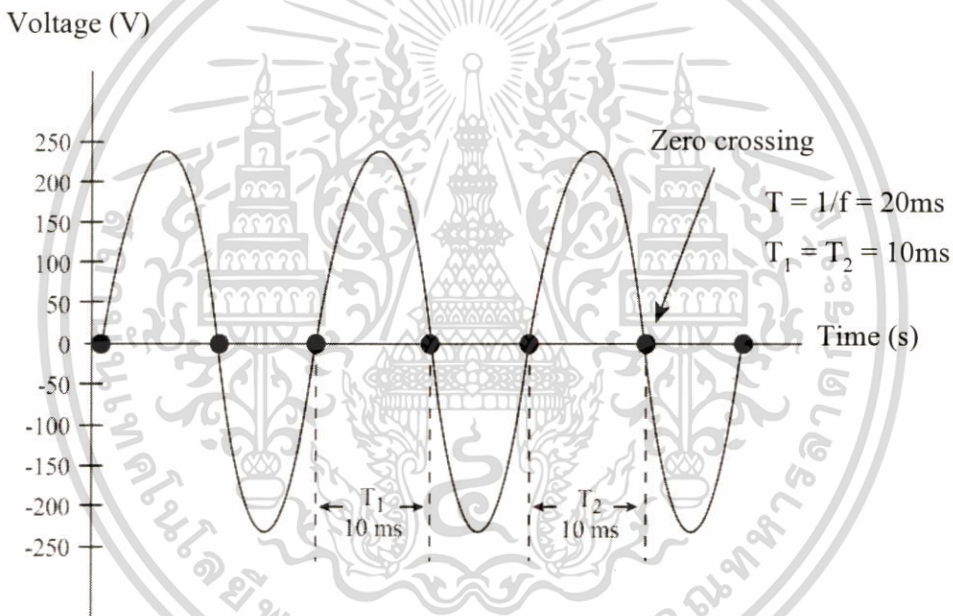
### การควบคุมกำลังไมโครเวฟแบบการควบคุมเฟส

การควบคุมการทำงานของแมกนีตรอนให้สามารถกำเนิดกำลังไมโครเวฟอย่างต่อเนื่องและสามารถควบคุมได้นั้น วิธีการที่นิยมในปัจจุบันคือการควบคุมเฟสของสัญญาณไฟฟ้าอินพุท (Line voltage) ความถี่ 50 Hz โดยอาศัยหลักการการทำงานของไตรแอก (Triac) ลักษณะของไตรแอกและสัญญาณลักษณะแสดงดังรูปที่ 3.14 การทริกเกอร์ขาเกตที่มุมเฟสต่างๆ ของไตรแอกจะมีผลต่อค่าระดับแรงดันเอาต์พุตกระแสสลับ โดยจะใช้สัญญาณจากจุดที่เรียกว่า Zero-Crossing ในรูปที่ 3.15 เป็นจุดอ้างอิงในการกระตุ้นเฟสของสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



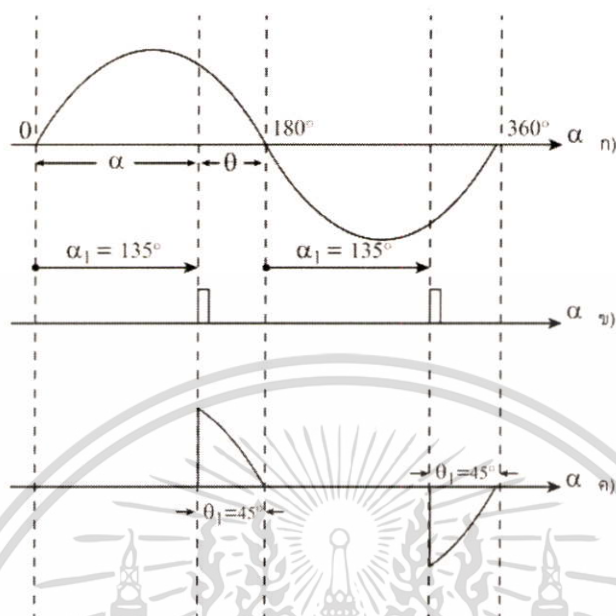
รูปที่ 3.14 ก) ไตรแอก ข) สัญลักษณ์ของไตรแอก



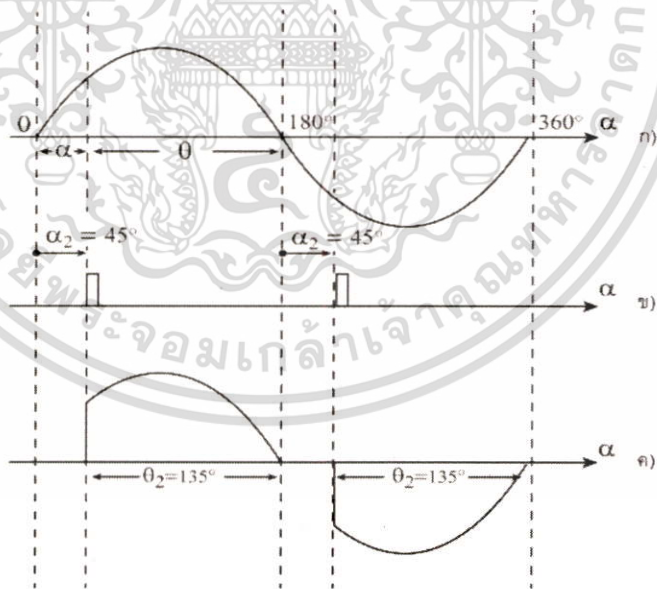
รูปที่ 3.15 ลักษณะสัญญาณ Zero-Crossing

การควบคุมเฟสของสัญญาณสามารถทำได้โดยอาศัยวิธีการจับเวลาภายในช่วงมุม 0 ถึง 180 องศา แล้วส่งสัญญาณทรigger ไปกระตุ้นขาเกตของไตรแอก ซึ่งขนาดของสัญญาณพัลส์ที่ไปกระตุ้นควรมีความกว้างอย่างน้อย 10 uSec โดยการส่งสัญญาณทรigger จะมีผลต่อระดับแรงดันไฟฟ้ากระแสสลับที่เอาต์พุตออกมา ลักษณะของแรงดันไฟฟ้าที่มุมเฟส  $\theta = 180 - \alpha$  เมื่อ  $\theta_1 = 45$  องศาและเมื่อ  $\theta_2 = 135$  องศา มีลักษณะดังแสดงในรูปที่ 3.16 และรูปที่ 3.17 ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



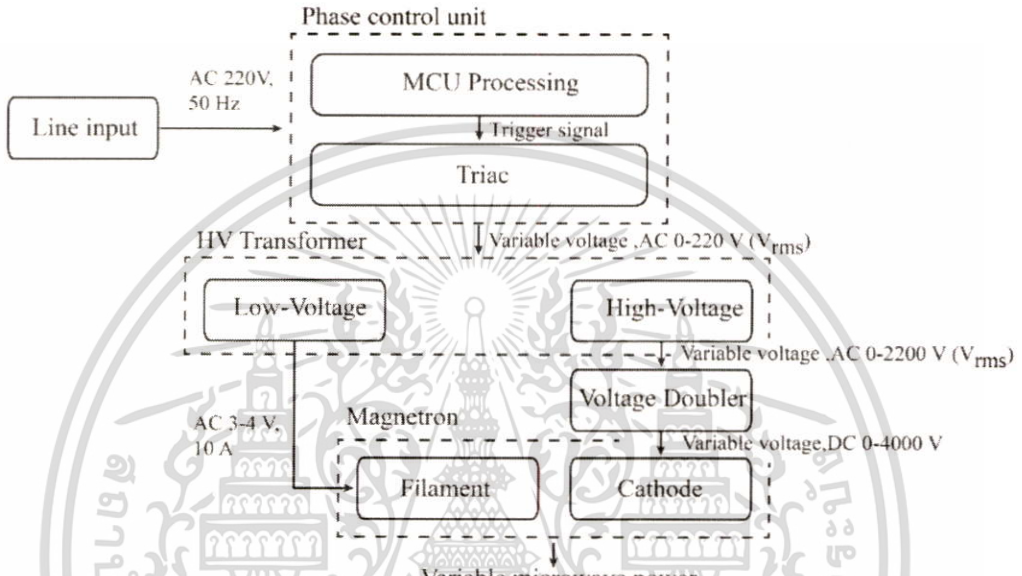
รูปที่ 3.16 ลักษณะของสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเมื่อปล่อยสัญญาณทริกเกอร์ที่มุมเฟส  $\theta_1 = 45^\circ$  ก) ลักษณะของสัญญาณคลื่นไซน์ ข) ลักษณะของสัญญาณทริกเกอร์ ค) ลักษณะของสัญญาณแรงดันไฟฟ้า



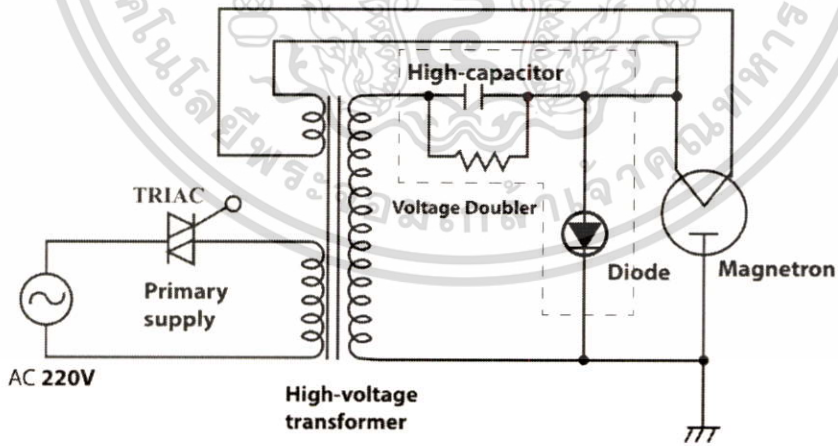
รูปที่ 3.17 ลักษณะของสัญญาณแรงดันไฟฟ้าเมื่อปล่อยสัญญาณทริกเกอร์ที่มุมเฟส  $\theta_2 = 135^\circ$  ก) ลักษณะของสัญญาณคลื่นไซน์ ข) ลักษณะของสัญญาณทริกเกอร์ ค) ลักษณะของสัญญาณแรงดันไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการออกแบบและสร้างระบบควบคุมการทำงานของแมกนีตรอนให้สามารถกำเนิดกำลังไมโครเวฟอย่างต่อเนื่องด้วยการควบคุมเฟสของสัญญาณไฟฟ้าอินพุท จะมีรายละเอียดและขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 3.18 ซึ่งลักษณะการต่อวงจรเพื่อควบคุมกำลังไมโครเวฟแบบควบคุมเฟสสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.19



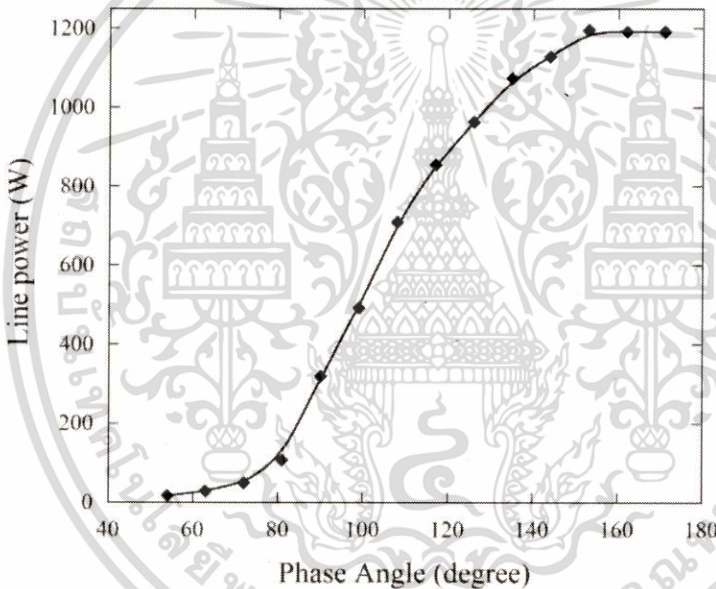
รูปที่ 3.18 แผนภาพการควบคุมกำลังไมโครเวฟแบบควบคุมเฟส



รูปที่ 3.19 วงจรควบคุมกำลังไมโครเวฟแบบควบคุมเฟส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทดสอบการควบคุมการทำงานของแมกนีตรอนโดยใช้วิธีการควบคุมเฟสพบว่าสามารถควบคุมการดึงกำลังไฟฟ้า (Line power) ของแมกนีตรอนได้ เมื่อค่ามุมเฟส (Phase angle) เพิ่มขึ้นกำลังไฟฟ้าที่แมกนีตรอนดึงไปใช้จะเพิ่มขึ้นด้วยดังแสดงในรูปที่ 3.20 เมื่อมุมเฟสมีค่ามากกว่า 140 องศา กำลังไฟฟ้าจะอิ่มตัว โดยกำลังไฟฟ้างกล่าวจะใช้ในการกำเนิดคลื่นไมโครเวฟต่อไป ดังนั้นการปรับค่ามุมเฟสจะทำให้สามารถเลือกกำลังไฟฟ้าและกำลังไมโครเวฟที่เหมาะสมกับการใช้งานได้



รูปที่ 3.20 กำลังไฟฟ้าที่แมกนีตรอนดึงไปใช้เมื่อเลือกค่ามุมเฟสต่างๆ โดยใช้แมกนีตรอน 1 หัว

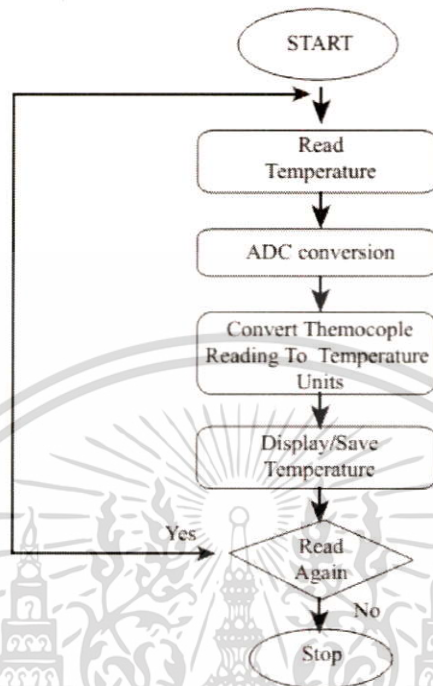
### 3.4 ระบบวัดอุณหภูมิและการจัดเก็บข้อมูล

การวัดอุณหภูมิเพื่อศึกษาการทำงานของเตาเผาไมโครเวฟอุณหภูมิสูงมีการออกแบบระบบวัดอุณหภูมิและจัดเก็บข้อมูลของวัสดุที่ถูกเผา ดังนี้

#### การวัดอุณหภูมิของวัสดุที่ถูกเผา

การวัดอุณหภูมิของวัสดุที่ถูกเผาจะวัดด้วยเทอร์โมคัปเปิลชนิด k โดยมีแผนภาพแสดงลำดับขั้นตอนการทำงาน (flow chart) ดังรูปที่ 3.21 และตำแหน่งการวัดแสดงดังรูปที่ 3.22 และ 3.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

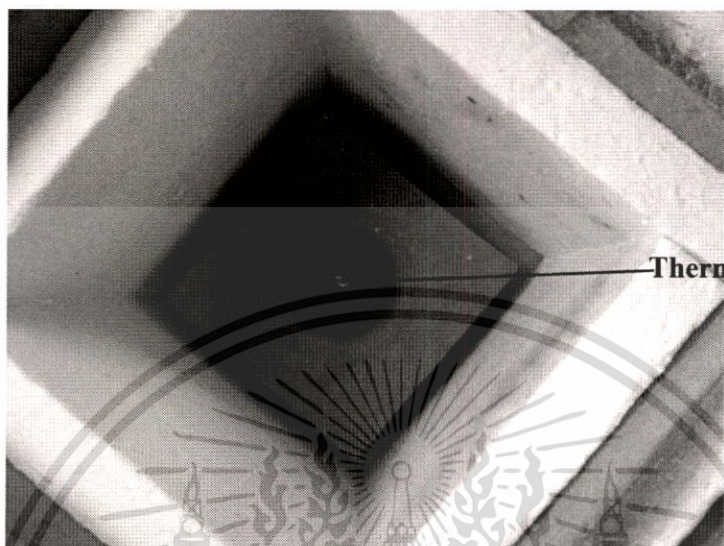


รูปที่ 3.21 แผนภาพแสดงลำดับขั้นตอนการทำงานของเทอร์โมคัปเปิล



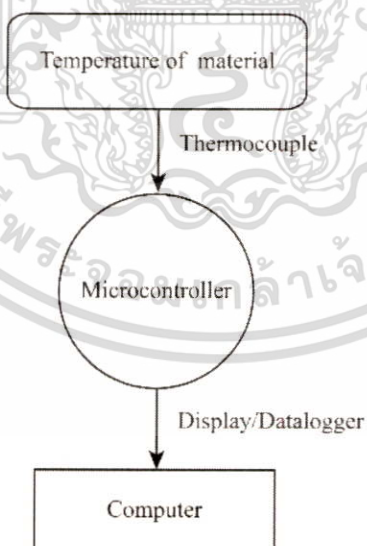
รูปที่ 3.22 ตำแหน่งการติดตั้งเทอร์โมคัปเปิล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.23 ตำแหน่งของเทอร์โมคัปเปิลภายในเตาเผา

กระบวนการวัดอุณหภูมิของวัสดุจะถูกควบคุมการทำงานด้วย microcontroller โดยแสดงผลและเก็บข้อมูลบนคอมพิวเตอร์โดยแสดงได้ดังรูปที่ 3.24



รูปที่ 3.24 แผนภาพแสดงลำดับขั้นตอนการวัดอุณหภูมิของวัสดุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ โครงสร้างและส่วนประกอบของเตาไมโครเวฟที่สร้างเสร็จแสดงในรูปที่แล้ว 3.25



รูปที่ 3.25 ภาพโครงสร้างโดยของเตาไมโครเวฟ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### ผลการวิจัย

#### 4.1 การวัดกำลังไมโครเวฟ

กำลังของคลื่นไมโครเวฟที่ถูกส่งออกมาจากแมกนีตรอนจะขึ้นอยู่กับมุมเฟสหรือค่าความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมลวดปฐมภูมิของหม้อแปลง การสอบเทียบกำลังคลื่นไมโครเวฟนั้นจะใช้น้ำเนื่องจากน้ำเป็นตัวกลางที่สามารถดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟได้ดี เมื่อน้ำดูดกลืนคลื่นไมโครเวฟแล้วเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนภายในน้ำ อุณหภูมิของน้ำจะสูงขึ้นและสามารถคำนวณ กำลังของคลื่นไมโครเวฟ ได้ดังนี้

$$P_{mw} (W) = \frac{mc\Delta T}{\Delta t} \quad (4)$$

เมื่อ

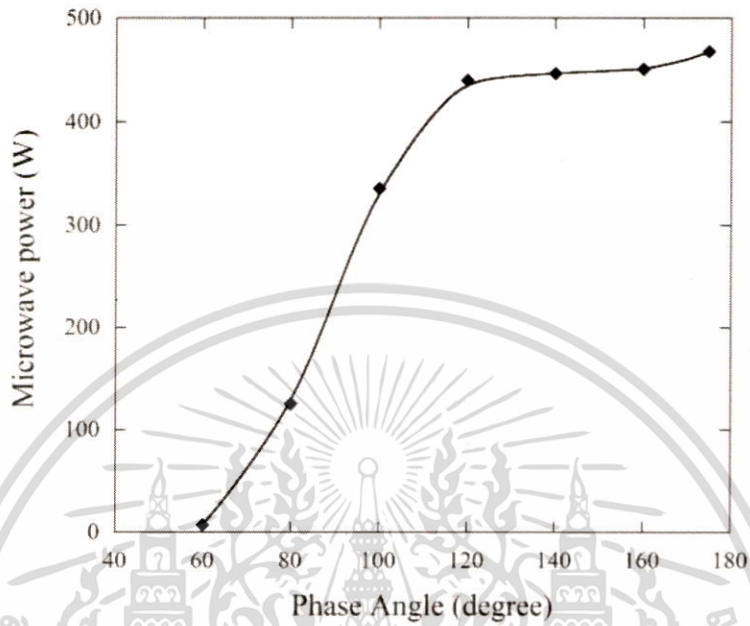
$P_{mw}$  คือ กำลังของไมโครเวฟที่ถูกดูดกลืนโดยน้ำ (W)

$m$  คือ มวลของน้ำ (kg)

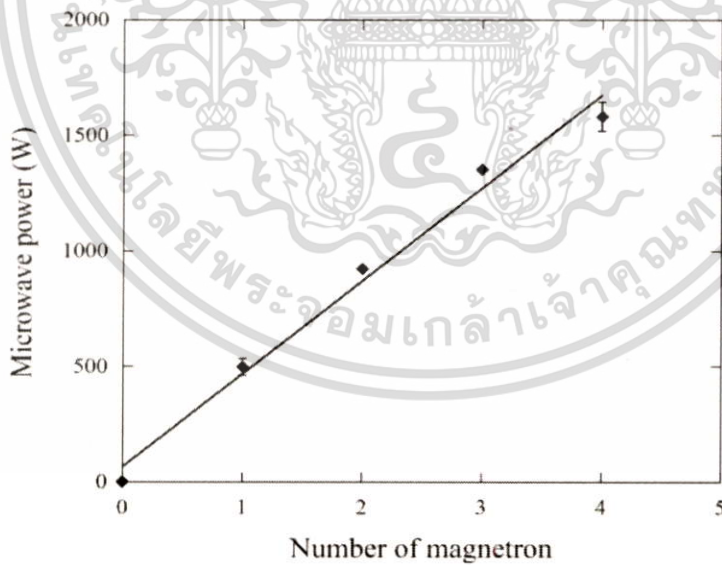
$c$  คือ ความจุความร้อนของน้ำ ( $4.186 \text{ J/g} \times ^\circ\text{C}$ )

$T$  คือ ความเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิ ( $^\circ\text{C}$ )

$t$  คือ ความเปลี่ยนของเวลา (s)



รูปที่ 4.1 การหาค่าตั้งของคลื่นไมโครเวฟด้วยน้ำจากแมกนีตรอน 1 หัว



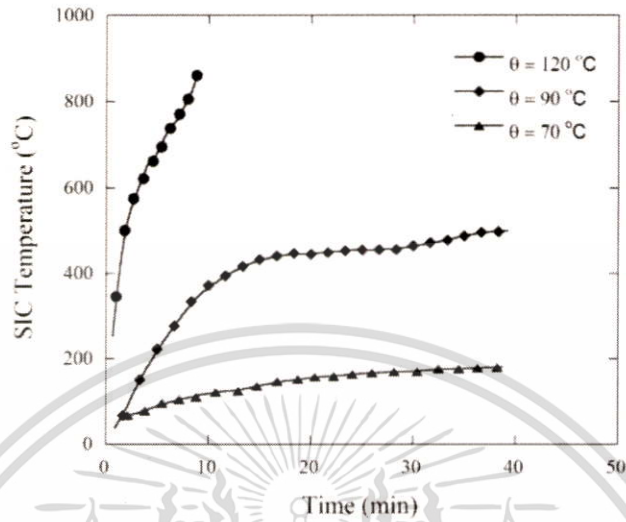
รูปที่ 4.2 การหาค่าตั้งของคลื่นไมโครเวฟจากแมกนีตรอน 1, 2, 3 และ 4 หัว โดยใช้มุมเฟส 180 องศา และใช้น้ำเป็นวัสดุคูดคลื่นคลื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการวัดกำลังคลื่นไมโครเวฟโดยใช้น้ำ 500 cc ดูคลื่นคลื่นไมโครเวฟจากแมกนีตรอน 1 หัว เป็นเวลา 30 วินาที จะได้ลักษณะการเปลี่ยนแปลงของกำลังคลื่นไมโครเวฟที่มุมเฟสต่างๆ ซึ่งมีลักษณะสอดคล้องกับลักษณะการดึงกำลังไฟฟ้าของแมกนีตรอนในรูปที่ 4.1 โดยแมกนีตรอนจะเริ่มทำงานเพื่อกำเนิดคลื่นไมโครเวฟที่มุมเฟสมากกว่า 60 องศา และจะอึดตัวเมื่อมุมเฟสมากกว่า 140 องศา เมื่อเพิ่มจำนวนแมกนีตรอนกำลังไมโครเวฟจะเพิ่มเป็นเชิงเส้นดังแสดงในรูปที่ 4.2 โดยเมื่อใช้แมกนีตรอนจำนวน 4 หัวจะได้กำลังไมโครเวฟสูงสุดประมาณ 1700 วัตต์

#### 4.2 คุณสมบัติของ Silicon carbide crucible

จากผลการทดลองวัดอุณหภูมิของ crucible (silicon carbide ; SIC) โดยให้แมกนีตรอนทั้ง 4 หัว ปลดปล่อยพลังงานคลื่นไมโครเวฟพร้อมกัน โดยควบคุมกำลังไมโครเวฟด้วยการปรับค่าของมุมเฟส เมื่อใช้ค่าของมุมเฟส 70 90 และ 120 องศา ตามลำดับ จะได้ลักษณะอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของ crucible แสดงดังรูปที่ 4.3 ที่มุมเฟสใดๆ อุณหภูมิจะเพิ่มขึ้นด้วยอัตราสูงในช่วงเริ่มต้น แล้วค่อยๆ ลดลง ที่มุมเฟส 70 และ 90 องศา อุณหภูมิจะเริ่มคงที่ที่ประมาณ 180 และ 450 องศาเซลเซียส ตามลำดับ หลังจากเวลาผ่านไปประมาณ 20 นาที ที่มุมเฟส 120 องศา อุณหภูมิของ crucible มีการเปลี่ยนแปลงสูงสุด ภายในเวลาประมาณ 10 นาที อุณหภูมิเพิ่มขึ้นถึงประมาณ 900 องศาเซลเซียส และมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นอีก ซึ่งจากอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่แตกต่างกันนี้จะมีผลต่อคุณสมบัติของสารที่ถูกเผา [27-30] ดังนั้นในการสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีองค์ประกอบของสารที่แตกต่างกัน จะสามารถทำได้โดยควบคุมมุมเฟสหรือกำลังไมโครเวฟ ซึ่งจะช่วยให้มีอุณหภูมิของการสังเคราะห์ที่เหมาะสม

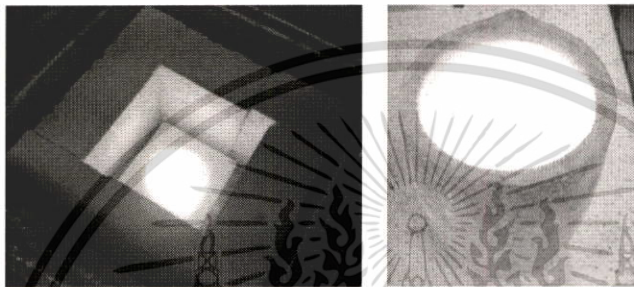


รูปที่ 4.3 อุณหภูมิของ crucible (silicon carbide ; SIC) โดยใช้มุมเฟส 70,90 และ 120 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก

ผลจากการใช้เตาไมโครเวฟสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก ZnAlO โดยสังเคราะห์ใน crucible silicon carbide โดยคลื่นไมโครเวฟสามารถทำความร้อนให้แก่มีความร้อนเกิดขึ้นดัง ได้ผลแสดงรูปที่ 4.4 และวัสดุที่สังเคราะห์แสดงในรูปที่ 4.4 ซึ่งใช้เวลาน้อยกว่าการใช้จากการสังเคราะห์วิธีเตาเผาทั่วไป ซึ่งได้กำลังความร้อนเท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 4.6



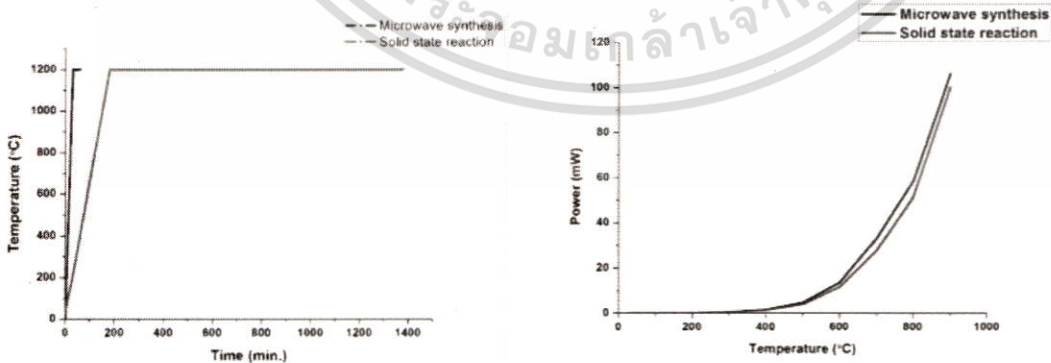
รูปที่ 4.4 การให้ความร้อนจากไมโครเวฟแก่ crucible (silicon carbide ; SIC)



ZnAlO ซิงค์อะลูมิเนียม ออกไซด์

ติดตั้งขั้วไฟฟ้าให้กับซิงค์อะลูมิเนียมออกไซด์

รูปที่ 4.5 วัสดุวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก ZnAlO ที่สังเคราะห์ได้จาก เตาไมโครเวฟ



รูปที่ 4.6 การให้ความร้อนจากไมโครเวฟแก่ crucible (silicon carbide ; SIC)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 5

## สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

## 5.1 สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้พัฒนาเตาเผาไมโครเวฟแบบ 4 หัว ซึ่งใช้ห้องคลื่นแบบ multi-modes โดยมีขั้นตอนการพัฒนาซึ่งประกอบด้วย

1. การจำลองพฤติกรรมและการเคลื่อนที่ของคลื่นไมโครเวฟภายในท่อนำคลื่น และภายในห้องคลื่น เพื่อหารูปแบบการติดตั้งท่อนำคลื่นทั้งสี่ด้านที่จะไม่ทำให้เกิดการทำลายกันระหว่างแมกนีตรอน และเพื่อหาขนาดของห้องคลื่นที่จะทำให้เกิดสนามไฟฟ้าสูงสุดที่ตำแหน่งกึ่งกลางของห้องคลื่นและมีการสะท้อนกลับของคลื่นน้อยที่สุด
2. การออกแบบและการสร้างโครงสร้าง ซึ่งจะต้องเลือกวัสดุที่เหมาะสมที่สามารถหาได้ในประเทศ และต้องควบคุมคุณภาพในการขึ้นรูปวัสดุ การเชื่อม และการติดตั้ง
3. การทดสอบการทำงาน เพื่อยืนยันผลจากการจำลอง ในการเพิ่มกำลังไมโครเวฟและอุณหภูมิเมื่อแมกนีตรอนทำงานร่วมกันทั้ง 4 หัว โดยที่ไม่เกิดการทำลายกันระหว่างแมกนีตรอน และทำการวัดอุณหภูมิสูงสุดของ crucible

โดยทำให้ได้เตาเผาไมโครเวฟที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก คือ

1. สามารถสร้างอุณหภูมิสูงสุด  $> 900$  องศาเซลเซียส
2. มีอัตราการเพิ่มอุณหภูมิสูง โดยใช้เวลาเพียง 10 นาทีในการเพิ่มอุณหภูมิถึง 900 องศาเซลเซียส
3. สามารถจ่ายกำลังไมโครเวฟได้สูงสุดประมาณ 1700 วัตต์ และปรับค่าได้อย่างต่อเนื่อง
4. สามารถเลือกอุณหภูมิของการสังเคราะห์โดยการควบคุมกำลังไมโครเวฟ

### บทที่ 6 สรุปผลผลิตที่ได้จากงานวิจัย

#### 6.1 สรุปรายชื่อและรายละเอียดผลผลิตงานวิจัยที่ผลิตได้

#### รายงานผลผลิตจากโครงการวิจัยที่ได้รับการจัดสรรเงินวิจัย

ผลงาน	ชื่อผลงาน เป็นต้น	จำนวนที่ คาดว่าจะได้	ปีที่ สำเร็จ
<b>1. การเผยแพร่ผลงานทางวิชาการ(Publications)</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ วารสาร ระดับนานาชาติ (International Journal)</li> </ul>	Hongaromkij Y., Rudradawong C., Wichainchai A., Ruttanapun C., Improvement of thermoelectric material by reduction thermal conductivity of Sn-doped CuFeO <sub>2</sub> delafossite compound, Integrated Ferroelectrics Oct. 2015;165: 73-80. (ISI IF:0.371)	1	2015
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ ประชุมวิชาการระดับชาติ</li> </ul>	Direk Boonthum, Chesta Ruttanapun, Mudtorlep NiSoa, “Design of a high temperature microwave furnace for preparation of highly efficient thermoelectric materials”, The 11 <sup>th</sup> Annual conference of the physic society, 8-10, June 2016, Ubon Ratchathani, Thaland. Abstract ID 166 pp. 68	1	2016
<b>2. ต้นแบบ ภาระบะระดับของต้นแบบ ดังนี้</b>			
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ ระดับห้องปฏิบัติการ (Lab Prototype)</li> </ul>	ต้นแบบในห้องปฏิบัติการ	1 ต้นแบบ	2559

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

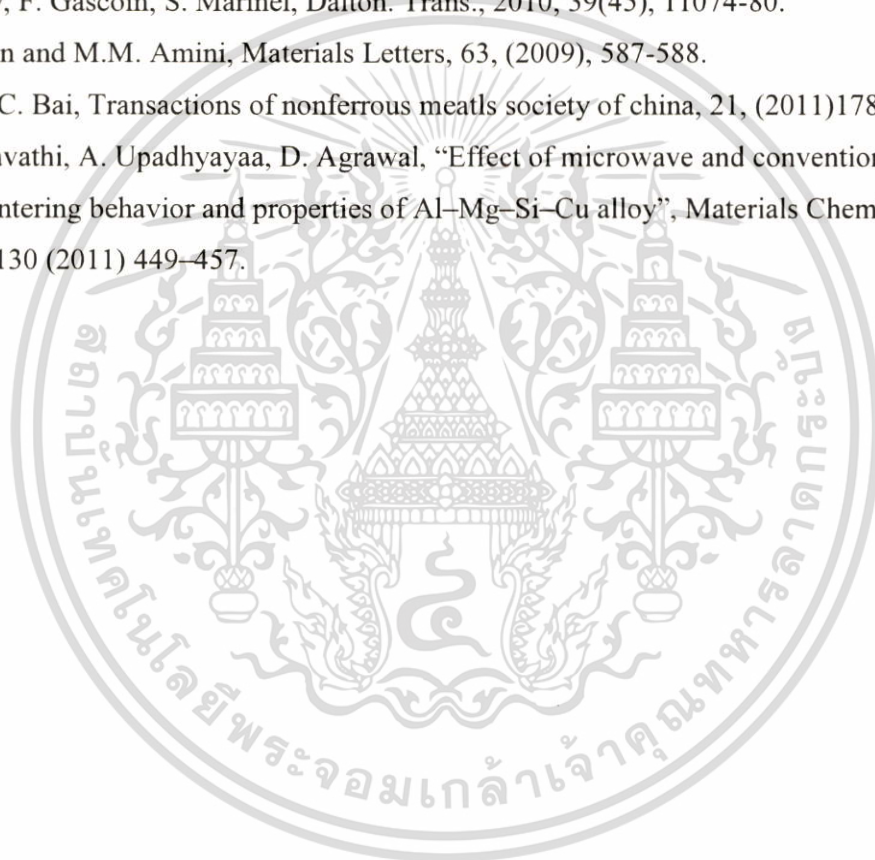
3. ได้เผยแพร่ผลงานในงานนิทรรศการ	ได้นำเสนอผลงานประดิษฐ์ คิดค้น ในงานประกวด ผลงานประดิษฐ์คิดค้น ประจำปี 2556 เพื่อขอรับ รางวัลสภาวิจัยแห่งชาติ : รางวัลผลงานประดิษฐ์คิดค้น สำนักงานคณะกรรมการวิจัย แห่งชาติ	1 ครั้ง	2559
----------------------------------	--	---------	------



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## เอกสารอ้างอิง

- [1] A. F. Ioffe, Infosearch limited, London, 1957; D.M. Rowe (ed), CRC Handbook of thermoelectrics, CRC, Boca Raton, 1995.
- [2] D.M. Rowe (ed), "CRC Handbook of Thermoelectrics", CRC, Boca Raton, 1995.
- [3] M. Ohtaki, Micro Review, Special Issue.
- [4] J-C Zheng, Front. Phys. China. 2008, 3(3): 269-279.
- [5] E. Savary, F. Gascoin, S. Marinel, Dalton. Trans., 2010, 39(45), 11074-80.
- [6] L. Torkian and M.M. Amini, Materials Letters, 63, (2009), 587-588.
- [7] S. Zhou, C. Bai, Transactions of nonferrous metals society of china, 21, (2011)1785-1789.
- [8] C. Padmavathi, A. Upadhyayaa, D. Agrawal, "Effect of microwave and conventional heating on sintering behavior and properties of Al-Mg-Si-Cu alloy", Materials Chemistry and Physics 130 (2011) 449-457.

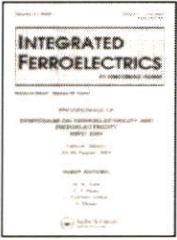


**ภาคผนวก ก****บทความเผยแพร่****บทความนานาชาติ**

[1] Hongaromkij Y., Rudradawong C., Wichainchai A., Ruttanapun C., Improvement of thermoelectric material by reduction thermal conductivity of Sn-doped  $\text{CuFeO}_2$  delafossite compound, *Integrated Ferroelectrics*, Oct. 2015;165: 73-80. (ISI IF:0.371)

**ประชุมวิชาการนานาชาติ**

[1] Direk Boonthum, Chesta Ruttanapun, Mudtorlep NiSoa, "Design of a high temperature microwave furnace for preparation of highly efficient thermoelectric materials", The 11<sup>th</sup> Annual conference of the physic society, 8-10, June 2016, Ubon Ratchathani, Thailand. Abstract ID 166 pp. 68.



**Integrated Ferroelectrics**  
An International Journal



ISSN: 1058-4587 (Print) 1607-8489 (Online) Journal homepage: <http://www.tandfonline.com/loi/ginf20>

## Improvement of Thermoelectric Material by Reduction Thermal Conductivity of Sn-doped $\text{CuFeO}_2$ Delafossite Compound

Y. Hongaromkij, C. Rudradawong, A. Wichainchai & C. Ruttanapun

To cite this article: Y. Hongaromkij, C. Rudradawong, A. Wichainchai & C. Ruttanapun (2015) Improvement of Thermoelectric Material by Reduction Thermal Conductivity of Sn-doped  $\text{CuFeO}_2$  Delafossite Compound, *Integrated Ferroelectrics*, 165:1, 73-80, DOI: 10.1080/10584587.2015.1062685

To link to this article: <http://dx.doi.org/10.1080/10584587.2015.1062685>



Published online: 22 Oct 2015



Submit your article to this journal [↗](#)



Article views: 2



View related articles [↗](#)



View Crossmark data [↗](#)

Full Terms & Conditions of access and use can be found at  
<http://www.tandfonline.com/action/journalInformation?journalCode=ginf20>

Download by: [Gazi University]

Date: 26 October 2015, At: 23:18

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## Improvement of Thermoelectric Material by Reduction Thermal Conductivity of Sn-doped $\text{CuFeO}_2$ Delafossite Compound

Y. HONGAROMKIJ, C. RUDRADAWONG, A. WICHAINCHAI,  
 AND C. RUTTANAPUN\*

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

*In this work, the polycrystalline  $\text{CuFe}_{1-x}\text{Sn}_x\text{O}_2$  ( $x = 0.005, 0.01, 0.03$ ) were synthesized by a solid state reaction method with sintering temperature at 1323K for 40 hours. The XRD pattern and TGA results showed the crystal structure of hexagonal delafossite-type structure for space group  $R\bar{3}m$  (166). Thermal conductivity was decreased because the large atomic mass of the Sn substituted to the Fe sites of  $\text{CuFeO}_2$ . This caused phonon scattering by the point defect of the mass difference between Sn atom and Fe atom. The minimal value of the thermal conductivity was 2.1 W/mK at 573K for Sn = 0.03.*

**Keywords**— $\text{CuFeO}_2$ ; thermoelectric oxide; delafossite structure; lattice thermal conductivity; mass fluctuation

### 1. Introduction

The performance of thermoelectric material is related to the dimensionless figure of merit ( $ZT = (S^2\sigma T)/\kappa$ ) that depends on Seebeck coefficient, electrical conductivity and thermal conductivity [1]. In order to, obtain a high  $ZT$ , it requires large Seebeck coefficient, high electrical conductivity and low thermal conductivity. Seebeck coefficient and electrical conductivity properties are related to charge carrier. Thermal conductivity is associated with charge carrier and phonon because of thermal transport mechanism. In semiconductor, thermal transport mechanism mainly causes more phonon than charge carrier [1]. Thus, thermoelectric material has low thermal conductivity when is composed it of heavy atomic mass such as  $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ,  $\text{Sb}_2\text{Te}_3$ ,  $\text{PbTe}$  and  $\text{Mg}_2\text{Sn}$  [2, 3].

The  $\text{CuFeO}_2$  compound is classified as a semiconductor [1, 4]. It has a unit cell structure of hexagonal and a primitive cell structure of rhombohedral called delafossite structure (space group:  $R\bar{3}m$ ) This structure is formed as alternative stacking layers of monovalent  $\text{Cu}^{1+}$  linear and trivalent  $\text{Fe}^{3+}$  octahedral along with the c- axis [4-11]. The  $\text{CuFeO}_2$  interesting studies on thermoelectric material [1, 4], catalytic hydrogen production [5], magnetic [6, 7], and optical materials [8]. Moreover the  $\text{CuFeO}_2$  compound is an interesting thermoelectric material because it is inexpensive and non-toxic appropriated for

Received December 22, 2014; in final form May 22, 2015.

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

Color versions of one or more of the figures in the article can be found online at [www.tandfonline.com/ginf](http://www.tandfonline.com/ginf).

industry. In this work, the  $\text{CuFeO}_2$  compound was doped by  $\text{SnO}_2$  in contents of 0.5%, 1% and 3%. The effect was investigated on crystal structure and thermal conductivity.

## 2. Experimental Details

Polycrystalline bulks of  $\text{CuFe}_{1-x}\text{Sn}_x\text{O}_2$  ( $x = 0.005, 0.01$  and  $0.03$ ) compound were prepared by solid state reaction method, according to the following equation (1). High purity power of starting material,  $\text{CuO}$  (99%),  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  (99%) and  $\text{SnO}_2$  (99%) was mixed and ground in an agate mortar for an hour for being homogeneous. The mixed powder was pressed into a pellet of the 12 mm in diameter and of 2 mm in thick and sintered at 1323K in air atmosphere for 20 hours. Then, the sintered samples were rapidly quenched at the room temperature. The samples were reproduced using the same procedures of grinding, pelleting and sintering 2 times.



Crystal structure phases of the sample were characterized by the X-ray diffractometer (XRD) of the Bruker, D8 Advance, with the diffraction intensities in the range of  $2\theta = 10^\circ - 80^\circ$  degree using stepping interval of  $0.02^\circ$ . Lattice parameters were calculated from the plan indexing of XRD peaks according to the equation (2).

$$\frac{1}{d^2} = \frac{4}{3} \left( \frac{h^2 + hk + l^2}{a} \right) + \frac{l^2}{c^2} \quad (2)$$

Morphology of the samples was observed using a scanning electron microscope (SEM) of the Zeiss, EVO MA10. Thermo Gravimetric Analysis (TGA) technique was used for thermal analysis in the temperature range of 325 K to 1373K in air atmosphere using the NETZSCH STA 449F3 Jupiter. The thermal conductivity was evaluated in the range of 298 K to 573 K based on the method of the laser flash analyzer of the NETZSCH LFA 447 Nano-Flash.

## 3. Results and Discussion

The XRD patterns of the  $\text{CuFe}_{1-x}\text{Sn}_x\text{O}_2$  ( $x = 0.005, 0.01$  and  $0.03$ ) samples are shown in Fig. 1. All major peaks were presented the characteristic to the delafossite structure with space group  $R\bar{3}m$  relating to the reference JCPDS 39-0246. This confirmed that the  $\text{CuFe}_{1-x}\text{Sn}_x\text{O}_2$  samples form phased of the delafossite structure. Impurity peak of  $\text{Fe}_3\text{O}_4$  was found in a small amount for all samples as corresponding to the reference JCPDS 19-0629.

According to the equation (2), the lattice parameters:  $a$  and  $c$  of the  $\text{CuFe}_{1-x}\text{Sn}_x\text{O}_2$  samples were calculated as show in the Table 1. The results demonstrate that the change in  $a$  parameter for all samples when Sn content increasing is minute while the charge in the  $c$  parameter is large. This implies that the Sn substitution in  $\text{CuFeO}_2$  distorts the structure in the Z direct. From the XRD results, the broad peaks were raised from the crystal imperfection and the distortion. This affects the lattice strain. The relation for the lattice strain with the peak indexing of XRD results was given by the Williamson- Hall equation expression as:

$$\beta_{hkl} \cos \theta = \frac{K\lambda}{D} + 4\epsilon \sin \theta \quad (3)$$

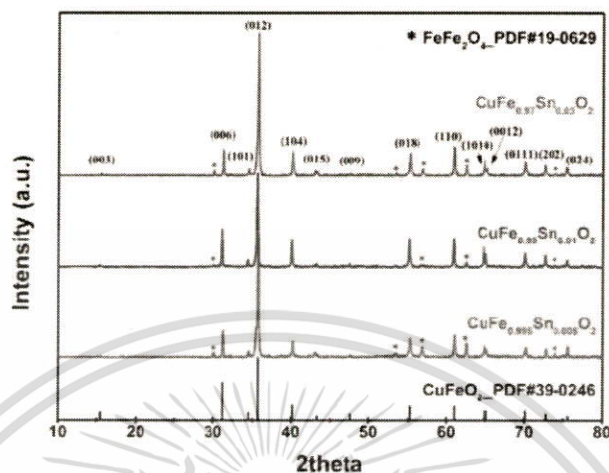


Figure 1. XRD patterns of the  $\text{CuFe}_{1-x}\text{Sn}_x\text{O}_2$  ( $x = 0.005, 0.01$  and  $0.03$ ) samples.

where  $\beta_{hkl}$ ,  $D$ ,  $\epsilon$ ,  $\lambda$ ,  $\theta$  and  $K$  are the full width at half maximum (FWHM) intensity of the diffraction peak, the sample grain size, the micro lattice strain, the wavelength of  $\text{CuK}\alpha$ , the angle and the Scherrer constant, respectively [12]. The results of  $\epsilon$  is shown in Table 1. The values of sample grain size were observed from the SEM image. Fig. 2 shows the morphology from SEM of the  $\text{CuFe}_{1-x}\text{Sn}_x\text{O}_2$  samples and the approximated value of grain boundaries were displayed in the Table 1. The results shown that the sizes of grain boundaries of the sample were increased with  $x$  increase from  $x = 0$  to  $0.01$ , while  $x = 0.03$ , the sizes of grain boundaries were decreased with  $x$  increase. This implied that the effect of lattice stain was impact in range of the Sn content from 0 to  $0.01$ .

Fig. 3 shows the TGA results of all samples. The results showed that the total % mass of all samples increases from  $700\text{K}$  to  $1300\text{K}$  and then it drops sharply between  $1300\text{K}$  to  $1330\text{K}$ . This is unique of  $\text{CuFeO}_2$  because the melting point of  $\text{CuFeO}_2$  is at  $1363\text{K}$ . The increase of % mass was caused by the  $\text{O}_2$  absorption from ambient environment. The results implied that the sample at lower temperature, less than  $700\text{K}$ , was not suffered from the  $\text{O}_2$  absorption.

Fig. 4 shows the total thermal conductivity ( $\kappa$ ) of the  $\text{CuFe}_{1-x}\text{Sn}_x\text{O}_2$  ( $x = 0.005, 0.01$  and  $0.03$ ) samples. The results of  $\kappa$  decrease when Sn and temperature increase. In

Table 1  
Crystal properties of the  $\text{CuFe}_{1-x}\text{Sn}_x\text{O}_2$  ( $x = 0.005, 0.01$  and  $0.03$ ) samples

$\text{CuFe}_{1-x}\text{Sn}_x\text{O}_2$	Lattice parameter ( $\text{\AA}$ )		Volume cell ( $\text{\AA}^3$ )	Grain size ( $\mu\text{m}$ )	Lattice strain
	a	c			
$x = 0.000[1]$	3.0300	17.1400	136.28	5	0.00046
$x = 0.005$	3.0342	17.1876	137.03	10	0.0017
$x = 0.010$	3.0360	17.2603	137.78	14	0.0007
$x = 0.030$	3.0379	17.1936	137.41	6	0.0012

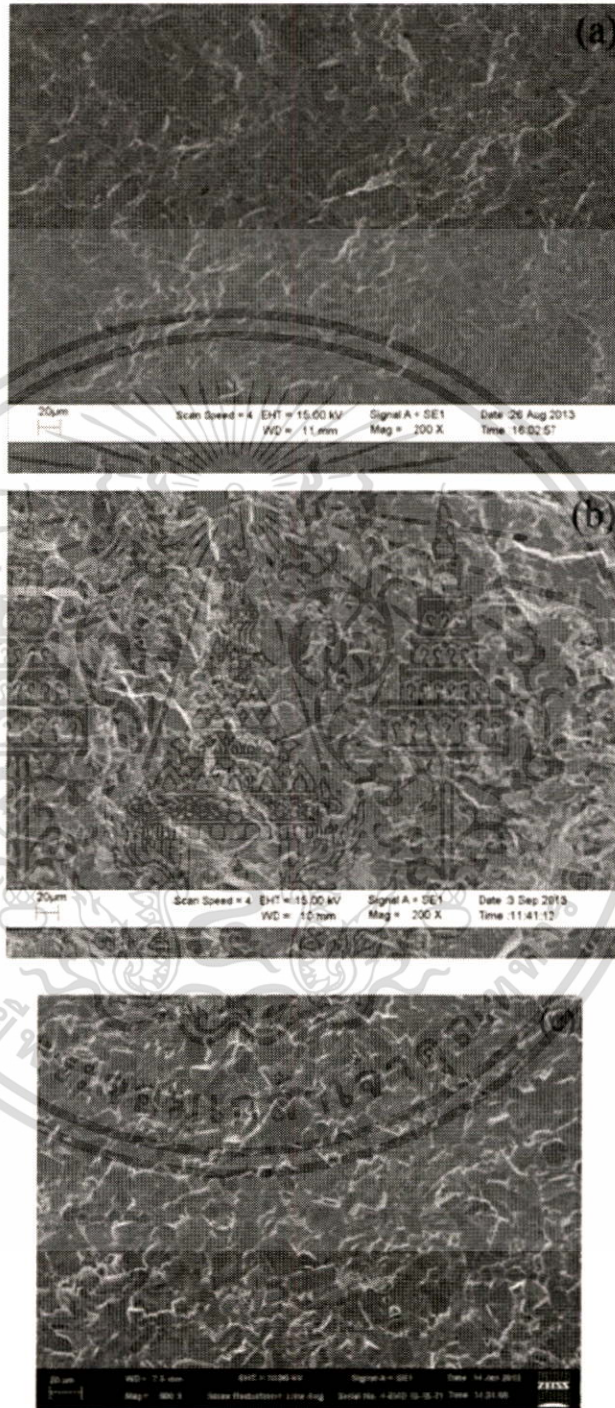


Figure 2. Image SEM of the  $\text{CuFe}_{1-x}\text{Sn}_x\text{O}_2$  (a)  $x = 0.005$  (b)  $0.01$  and (c)  $0.03$  samples.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

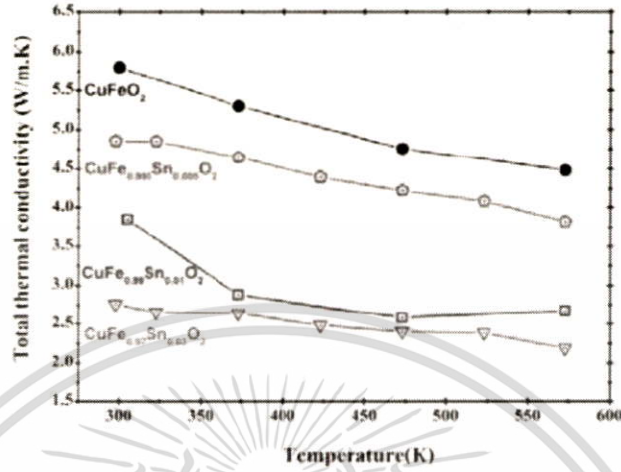


Figure 4. Total thermal conductivity of the  $\text{CuFe}_{1-x}\text{Sn}_x\text{O}_2$  ( $x = 0.005, 0.010$  and  $0.030$ ) samples.

lattice phonon causing by point effect was strongly controlled by the mass difference and weakly depended on the bond length difference. These results were corresponded with the lattice thermal conductivity ( $\kappa_l$ ) by Keyes's relation [14] as written by equation (5)

$$\kappa_l = B \left( \frac{T_m^{3/2} \rho^{2/3}}{M^{7/6}} \right) \frac{1}{T}, \quad B = \frac{R^{3/2}}{(3\gamma^2 E^3 N_0^{1/3})} \quad (5)$$

where  $B$  is the proportionality constant,  $T_m$  is the melting point of temperature,  $M$  is the average atomic mass,  $\rho$  is the density of material,  $T$  is the temperature,  $\gamma$  is the Grüneisen constant,  $E$  is the fractional amplitude of inter-atomic thermal vibration,  $R$  is the gas constant,  $N_0$  is Avogadro number. This relation described that the  $\kappa_l$  can be reduced by the large  $M$  and high  $T$ . Thus, this experiment can be summarized that the large atomic mass of Sn substitution for Fe sites caused to reduce thermal conductivity for  $\text{CuFe}_{1-x}\text{Sn}_x\text{O}_2$  affecting from the major part of the mass fluctuation.

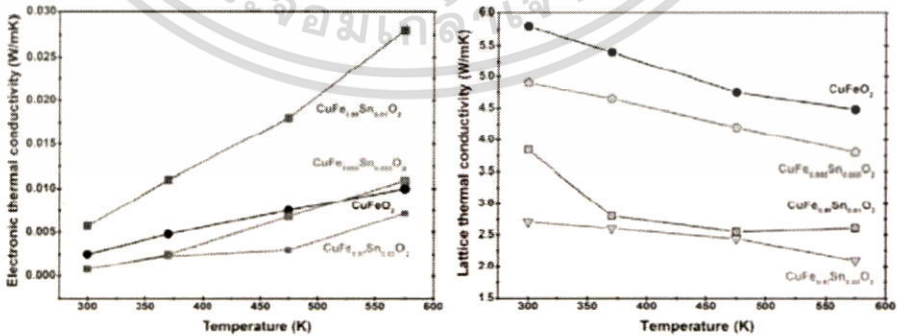


Figure 5. Electronic and lattice thermal conductivity of the  $\text{CuFe}_{1-x}\text{Sn}_x\text{O}_2$  ( $x = 0.005, 0.010$  and  $0.030$ ) samples.

Table 2

Cross-section of phonon scattering due to mass difference ( $\Gamma_m$ ) and lattice strain ( $\Gamma_s$ )

$\text{CuFe}_{1-x}\text{Sn}_x\text{O}_2$	$\Gamma_m$	$\Gamma_s$
$x = 0.000$	0	-
$x = 0.005$	0.0062	0.0019
$x = 0.010$	0.0123	0.0039
$x = 0.030$	0.0345	0.0115

#### 4. Conclusions

The polycrystalline  $\text{CuFe}_{1-x}\text{Sn}_x\text{O}_2$  ( $x = 0.005, 0.01, 0.03$ ) were synthesized by a solid state reaction method. The XRD pattern confirmed the crystal structure of hexagonal delafossite-type structure. And abrupt weight loss of TGA was observed at the temperature above 1323K indicating the forming phase of the  $\text{CuFeO}_2$ . The SEM image displayed the grain size of more than  $5 \mu\text{m}$ . The thermal conductivity was reduced by the large atomic mass of Sn doped into the  $\text{CuFeO}_2$ . Thermal transport was a major effect from phonon scattering part of the point defect by the mass difference part. Totally, thermal conductivity was decreased from 5.8 to 4.5 W/mK at the temperature from 298 to 573K, and the minimum thermal conductivity was 2.1 W/mK at 573K for Sn = 0.03.

#### Funding

Financial support was provided by a grant from the KMITL Research Fund of King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Ministry of Education, Thailand. C. Ruttanapun would like to acknowledge the Thailand Research Fund (TRF) and King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang (KMITL) (Contract Number: TRG5880013) for financial support.

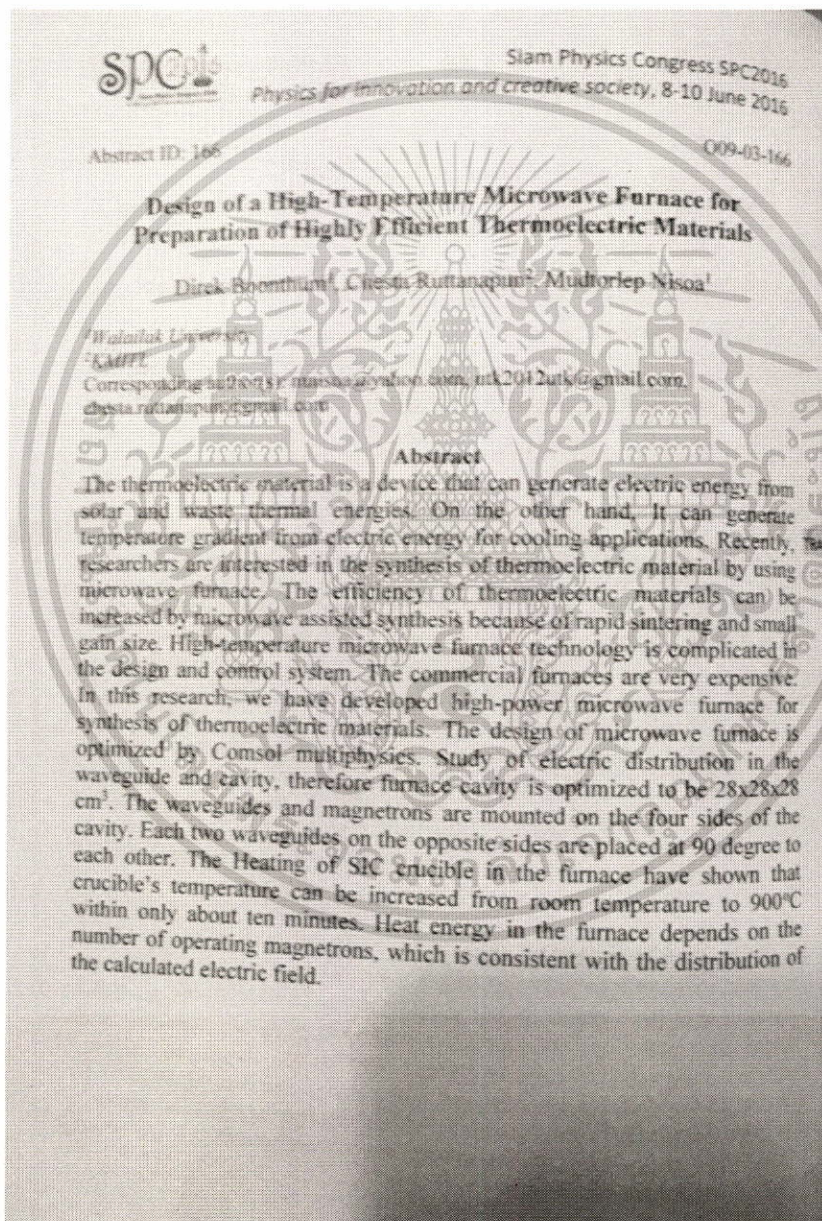
#### References

1. C. Ruttanapun, A. Wichainchai, W. Prachamon, A. Yangthaisong, A. Charoenphakdee, and T. Seetawan, *J. Alloy. Comp.*, **509**, 4588–4594 (2011).
2. G. Jiang and J. He, *Adv. Funct. Mater.*, **24**, 3776–3781 (2014).
3. P. Zhu and Y. Imai, *Materials Transactions.*, **45**, 3102–3105 (2004).
4. T. Nozaki, K. Hayashi, and T. Kajitani, *J. Chem. Eng. Jpn.*, **40**, 1205–1209 (2007).
5. M. Younsi, A. Aider, A. Bouguelia, and M. Trari, *Sol. Energy.*, **78**, 574–580 (2005).
6. O. A. Petrenko, G. Balakrishnan, M. R. Lees, D. M. Paul, and A. Hoser, *Phys Rev B.*, **62**, 8983–8988 (2000).
7. S. Yamanaka, H. Kobayashi, and K. Kurosaki, *J Alloy Comp.*, **349**, 321–324 (2003).
8. C. Ruttanapun, B. Boonchom, N. Vittayakorn, A. Harnwungmoung and A. Charoenphakdee, *Ferroelectrics*, **453** 75–83 (2013).
9. C. Ruttanapun, P. Jindajitawat, P. Buranasiri, D. Naenkieng, N. Boonyopakorn, A. Harnwungmoung, W. Thowladda, W. Neeyakorn, C. Thanachayanont, and A. Charoenphakdee, *Integrated Ferroelectrics*, **156** 102–114, (2014).
10. C. Ruttanapun, *J. Solid State Chem.*, **215**, 43–49 (2014).

11. C. Ruttanapun, P. Jindajitawat, P. Buranasiri, A. Harnwungmoung, A. Charoenphakdee, and V. Amornkitbamrung, (2015). *Journal of the American Ceramic Society*, **98**, 437–442, (2015).
12. A. K. Zak and W. H. Majid, *Solid State Sci.*, **13**, 251–256 (2011).
13. T. Nozaki, K. Hayashi, and T. Kajitani, *J Elec Mat.*, **39**, 1798–1802 (2010).
14. R.W. Keyes, *J. Phys Rev.*, **115**, 564–567 (1959).

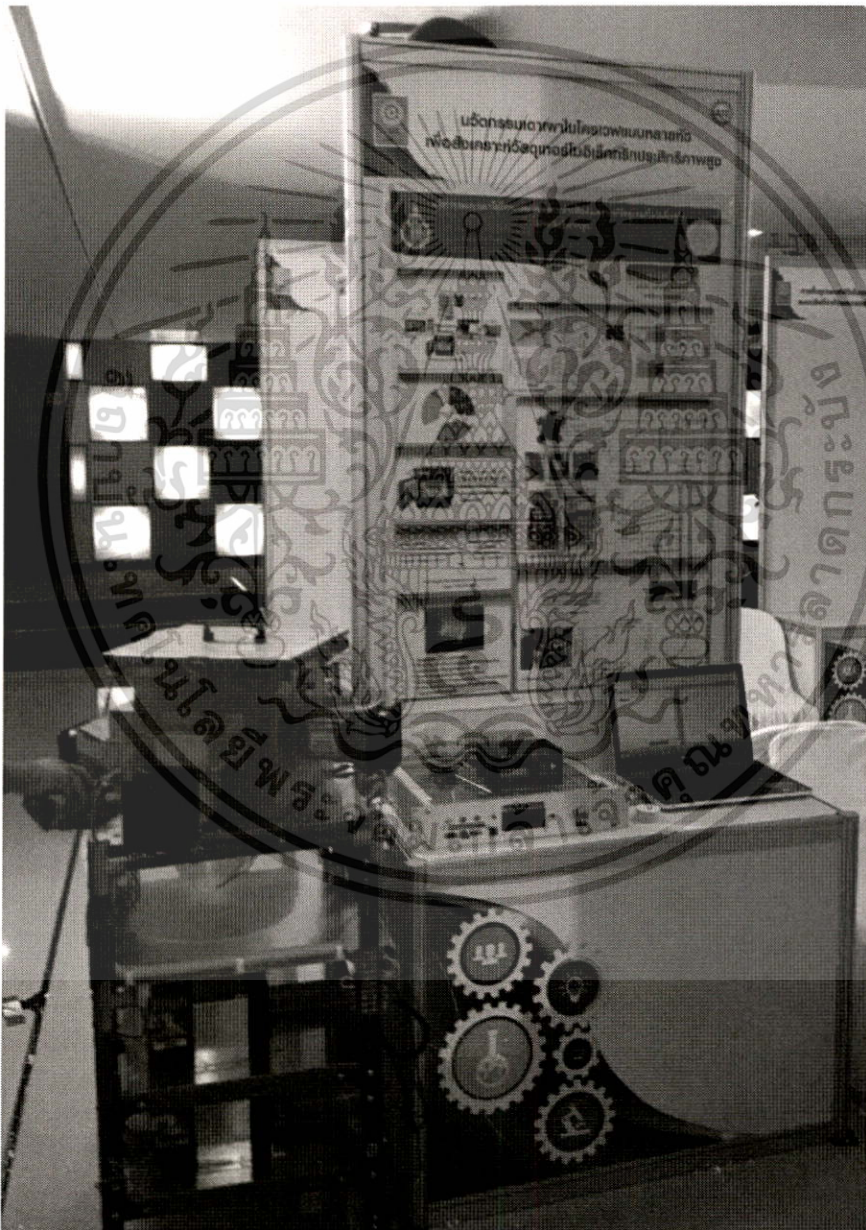


- [1] Direk Boonthum, Chesta Ruttanapun, Mudtorlep NiSoa, "Design of a high temperature microwave furnace for preparation of highly efficient thermoelectric materials", The 11<sup>th</sup> Annual conference of the physic society, 8-10, June 2016, Ubon Ratchathani, Thailand. Abstract ID 166 pp. 68.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้นำเสนอผลงานประดิษฐ์คิดค้น ในงานประกวดผลงานประดิษฐ์คิดค้น ประจำปี 2556 เพื่อขอรับรางวัล  
 สภาวิจัยแห่งชาติ : รางวัลผลงานประดิษฐ์คิดค้น  
 สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

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: ฟิสิกส์วัสดุค้ำาน เทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์

### 1.2 ผลงาน

#### ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์/สิ่งประดิษฐ์/สิทธิบัตร

- การจดสิทธิบัตร
  - 1) ได้ยื่นขอสิทธิบัตร 1 เรื่อง “คอนกรีตบล็อกชนิดทนความร้อนที่มีแท่งผลิตไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์อยู่ภายใน” เลขที่คำขอ 1601000523
- รางวัล
 

[1] ได้รับรางวัลบทความดีเด่น จากบทความเรื่อง การสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทรอนิกส์ "Mg<sub>2</sub>Si" โดยใช้สารตั้งต้น SiO<sub>2</sub> สกัดจากแกลบข้าว "ในการประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ครั้งที่ 12, “12th conference on energy network of Thailand”, ระหว่างวันที่ 8-10 มิถุนายน 2559 จ  
พิชญ โลก

[2] ได้รับโล่ยกย่องเชิดชูเกียรติและประกาศเกียรติคุณบุคคลที่ได้ทำประโยชน์และชื่อเสียง ให้แก่  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วันที่ 26 สิงหาคม 2556

[3] ได้รับโล่ยกย่องเชิดชูเกียรติ และ ประกาศเกียรติคุณบุคคลที่ได้ทำประโยชน์และชื่อเสียง ให้แก่  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง วันที่ 27 สิงหาคม 2557

[4] ได้รับรางวัลเป็นประกาศนียบัตรและเข็มเกียรติยศเพื่อแสดงว่าเป็นผู้สอบได้คะแนนยอดเยี่ยม  
อันดับ 3 ในปี 2555 (26 สิงหาคม 2555) ในหลักสูตรวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต จาก มุลนิธิ ศ.ดร.แถบ  
นิละนิต โดยเป็นรางวัลการศึกษายอดเยี่ยมชั้นวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต พิจารณาจากผลงานได้รับ  
การตีพิมพ์แล้วในวารสารที่มี Impact factor รวมกันแล้วได้สูงสุด 3 อันดับแรกของประเทศ (สาขา  
ฟิสิกส์) จากผู้จบการศึกษาในประเทศ ปี 2554 ที่ส่งประกวด

[5] ได้รับรางวัล Best Paper Award ในงานประชุมวิชาการนานาชาติ International Conference on  
Engineering, Applied Sciences, and Technology (ICEAST 2013) ระหว่างวันที่ 21-24 สิงหาคม  
2556 จากบทความวิจัยเรื่อง “Thermoelectric Properties of  $\text{Sn}^{2+}$ -Substituted  $\text{CuFeO}_2$  Delafossite-  
Oxide”

[6] ได้รับรางวัล Best Paper Award ในงานประชุมวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งชาติแห่งประเทศไทย  
ครั้งที่ 9 วันที่ 9 พฤษภาคม 2556 จากบทความวิจัยเรื่อง “สมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกของวัสดุ  
ออกไซด์  $\text{CuFeO}_2$  เดลาฟอสไซด์ที่เจือด้วยอะตอม Al, Sn, Ti, Au”

- งานวิจัย (โปรดระบุชื่อโครงการวิจัย คณะผู้ดำเนินการ แหล่งทุน งบประมาณปีที่ได้รับ การ  
สนับสนุนและปีที่แล้วเสร็จ)

#### 7.1 หัวหน้าโครงการวิจัย:

[1] หัวหน้าโครงการวิจัย

“การผลิตและสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริกของซีเมนต์  $12\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3$  ถูกเติมด้วยโลหะ (Mg, Ca, Sr,  
Sc, Ti) ในที่ว่างของกรงขนาดระดับ นาโนเมตร”

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแหล่งทุนส่งเสริมนักวิจัยรุ่นใหม่ ประจำปี 2558 ของสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)  
ต่อเนื่อง 2 ปี 2558-2559

[2] หัวหน้าโครงการวิจัย

**“การศึกษาและพัฒนาอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกอุณหภูมิสูงจากสารประกอบ  $\text{CuFeO}_2$  เพื่อผลิตไฟฟ้า  
จากความร้อนสูญเสียเปล่า”**

จากแหล่งทุนเงินงบประมาณแผ่นดิน (วช.) ต่อเนื่อง 3 ปี 2557-2559

[3] หัวหน้าโครงการวิจัย

**โครงการ “การพัฒนาเตาเผาไมโครเวฟเพื่อสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก”**

แหล่งเงินทุน: เงินรายได้(ทุนวิจัยและพัฒนาเพื่อผลิตอุปกรณ์ฯ)คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี  
พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เสร็จสิ้นเมื่อปี พ.ศ. 2559

หัวหน้าโครงการ: ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เจริญฐา รัตนพันธ์ (55%)

[4] หัวหน้าโครงการวิจัย

**“สังเคราะห์และศึกษาสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริกของสารประกอบ  $\text{Cu}_{1-x}\text{Pd}_x\text{FeO}_2$ ”** ปี 2556 ระยะเวลา 1  
ปี แหล่งทุน: ทุนพัฒนานักวิจัยใหม่: กองทุนวิจัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหาร

[5] หัวหน้าโครงการ

**“การประดิษฐ์เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลประเภทชนิดเดียว p-type  $\text{CuCrO}_2$  และวัดค่าการผันพลังงาน  
ไฟฟ้าจากความร้อน”**

แหล่งเงินทุน เงินรายได้(ทุนวิจัยและพัฒนาเพื่อผลิตอุปกรณ์ฯ)คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยี

พระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เสร็จสิ้นเมื่อปี พ.ศ. 2558

[6] หัวหน้าโครงการวิจัย

**“การพัฒนาระบบเตาเผาอัตโนมัติสำหรับสังเคราะห์วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก”** ปี 2557 ระยะเวลา 1 ปี

แหล่งทุน: เงินรายได้คณะวิทยาศาสตร์ (ทุนวิจัยและพัฒนาเพื่อผลิตอุปกรณ์ฯ)

[7] หัวหน้าโครงการวิจัย

**“Synthesis and studying of optical properties of  $\text{CuBO}_2$  compound”** ปี 2556 ระยะเวลา 1 ปี

แหล่งทุน: เงินรายได้คณะวิทยาศาสตร์

[8] หัวหน้าโครงการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

“Synthesis and studying of thermoelectric properties of  $\text{CuCoO}_2$  compound” ปี 2556

ระยะเวลา 1 ปี

แหล่งทุน: เงินรายได้คณะวิทยาศาสตร์

- ผลงานตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ

#### ระดับชาติ

[1] **เชษฐา รัตนพันธ์**, การปรับปรุงสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริกของเดลฟาออสไตท์ฐานทองแดง ด้วยการเจือแทนที่บางส่วน, วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบังปีที่ 23 ฉบับที่ 2 เดือนกรกฎาคม-ธันวาคม 2557

#### ระดับนานาชาติ

ปี 2559 (2016)

[1] Hongaromkij, Y., Rudradawong, C., Ruttanapun, C., “Effect of Ga-substitution for Fe sites of delafossite  $\text{CuFe}_{1-x}\text{Ga}_x\text{O}_2$  ( $x = 0.0, 0.1, 0.3, 0.5$ ) on thermal conductivity, Journal of Materials Science: Materials in Electronics, 27 (2016), pp. 6438-6444 (**Corresponding: Chesta Ruttanapun**) (ISI, Scopus) (IF:1.569).

ปี 2558 (2015)

[1] **Chesta Ruttanapun** and Santi Maensiri, “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, 48 (2015), 495103, (**Corresponding: Chesta Ruttanapun**) (ISI, Scopus) (IF: 2.721)

[2] **C. Ruttanapun**, P. Jindajitawat, P. Buranasiri, A. Harnwunggmoung, A. Charoenphakdee and V. Amornkitbamrung, “*p*-Type Optoelectronic and Transparent Conducting Oxide Properties of Delafossite  $\text{CuAl}_{1/2}\text{Fe}_{1/2}\text{O}_2$ ”, J. Am. Ceram. Soc., 98, pp. 437–442 (2015), (**Corresponding: Chesta Ruttanapun**) (ISI) (IF: 2.428)

[3] Hongaromkij, C. Rudradawong, A. Wichainchai & **C. Ruttanapun**, “Improvement of Thermoelectric Material by Reduction Thermal Conductivity of Sn-doped  $\text{CuFeO}_2$  Delafossite Compound”, Integrated Ferroelectrics: An International Journal, Volume 165, Issue 1, 2015, pages 73-80, (**Corresponding: Chesta Ruttanapun**) (ISI, Scopus)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[4] **Chesta Ruttanapun**, Anek Charoenphakdee, Mudtorlep Nisoa, Pennapa Muthitamongkol, Chanchana Thanachayanont & Santi Maensiri, “Effect of Strong Correlation of Mg<sup>2+</sup>-doped into Cr<sup>3+</sup> Sites of CuCrO<sub>2</sub> on Thermoelectric Properties”, *Integrated Ferroelectrics: An International Journal*, Volume 165, Issue 1, 2015 , pages 45-52, (**Corresponding: Chesta Ruttanapun**) (ISI, Scopus) (IF: 0.36).

ปี 2558 (2014)

[1] **C. Ruttanapun**, “Effects of Pd substitution on the thermoelectric and electronic properties of delafossite Cu<sub>1-x</sub>Pd<sub>x</sub>FeO<sub>2</sub> (x = 0.01, 0.03 and 0.05)”, *Journal of Solid State Chemistry*, 215, pp. 43–49 (2014). (**Corresponding: C. Ruttanapun**) (ISI) (IF:2.04 0 ) (Citation: 1)

[2] **Ruttanapun C.**, Jindajitawat, P., Buranasiri, P., Naenkieng, D., Boonyopakorn, N., Harnwungmoung, A., Thowladda, W., Neeyakorn, W., Thanachayanont, C., Charoenphakdee, A., “Preparation, characterization and finite element computation of Cu(Al<sub>1/2</sub>Fe<sub>1/2</sub>)O<sub>2</sub> Delafossite-oxide thermoelectric generator module”, *Integrated Ferroelectrics*, 156, (2014), pp.102-114. (**Corresponding: C. Ruttanapun**)(ISI) (IF:0.371)

[3] Plaipichit, S. , Buranasiri, P., **Ruttanapun, C.**, Jindajitawat, P. “The direct measurement of the photorefractive grating on anisotropic self diffraction using digital holography”, *Integrated Ferroelectrics*, 156, (2014), pp.160-167. (IF:0.371)

[4] Wicharn, S., Buranasiri, P. , **Ruttanapun, C.**, Jindajitawat, P.,” A computational investigation of third-harmonic generation in one-dimensional photonic band-gap materials with multiple-scale method”, *Integrated Ferroelectrics*, 156, (2014), pp. 45-52. (IF:0.371)

[5] **Ruttanapun, C.** , Kosalwat, W., Rudradawong, C., Jindajitawat, P., Buranasiri, P., Naenkieng, D., Boonyopakorn, N., Harnwungmoung, A., Thowladda, W., Neeyakorn, W., Thanachayanont, C., Charoenphakdee, A., Wichainchai, A. , Reinvestigation thermoelectric properties of CuAlO<sub>2</sub>, *Energy Procedia*, Volume 56, Issue C, 2014, Pages 65-71. (Corresponding: C. Ruttanapun)

[6] Rudradawong, C. , Wichainchai, A., Sakulkalavek, A., Hongaromkid, Y., **Ruttanapun, C.**, Method of high active preparation and electrical properties of CuFeO<sub>2</sub> delafossite-type , *Advanced Materials Research*, Volume 979, 2014, Pages 302-306

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[7] **Chesta Ruttanapun**, Phumin Jindajitawat, Prathan Buranasiri, Warawoot Thowladda, Worakarn Neeyakorn, Daengdesh Naenkieng, Adul Harnwunggmoung, Anek Charoenphakdee, Narongchai Boonyopakorn, Chanchana Thanachayanont, "High temperature thermoelectric properties of delafossite  $\text{CuBO}_2$ ", IEEE 978-1-4799-3855-1/14/\$31.00 (2014)

[8] W. Kosalwat, **C. Ruttanapun**, The effect of Mn substituted on Cr site of delafossite  $\text{CuCrO}_2$  on thermal conductivity, Journal of Material Science and Applied Energy 3(3) (2014) 16-19.

### ปี 2557 (2013)

[1] **C. Ruttanapun**, "Optical and electronic properties of delafossite  $\text{CuBO}_2$  p-type transparent conducting oxide", Journal of Applied Physics, 114, pp. 113108 (2013). (Corresponding: **C. Ruttanapun**) (ISI) (IF: 2.210) (Citation: 5)

[2] **C. Ruttanapun**, B. Boonchom, M. Thongkam, S. Kongtaweelert, C. Thanachayanont, A. Wichainchai, "Electrical and optical properties of p-type  $\text{CuFe}_{1-x}\text{Sn}_x\text{O}_2$  ( $x = 0.03, 0.05$ ) delafossite-oxide", Journal of Applied Physics, 113, pp. 023103 (2013). (Corresponding: **C. Ruttanapun**) (ISI) (IF: 2.210) (Citation: 13)

[3] **C. Ruttanapun**, B. Boonchom, N. Vittayakorn, A. Harnwunggmoung, A. Charoenphakdee, "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, 453:1, 75-83, 2013. (Corresponding: **C. Ruttanapun**) (ISI) (IF:0.415)

[4] **C. Ruttanapun**, S. Kahatta, B. Boonchom, N. Vittayakorn, M. Thongkam, S. Kongteweelert, S. Woramongkonchai, and P. Chaiyasith, "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 717 (2013) pp. 15-10. (Corresponding author: **Chesta Ruttanapun**)

[5] B. Boonchom, **C. Ruttanapun**, M. Thongkam, P. Chaiyasith, S. Woramongkonchai, S. Kongteweelert and N. Vittayakorn, "A new synthesis of  $\text{BaHPO}_4$  precipitated by  $\text{BaCO}_3\text{-H}_3\text{PO}_4\text{-NaOH}$  system at room temperature", Advanced Materials Research 717 (2013) pp 37-43. (Citation: 1)

[6] P. Chaiyasith, **C. Ruttanapun**, M. Thongkam, S. Kongteweelert, S. Woramongkonchai and B. Boonchom, "A Simple Route to Synthesize Ferromagnetic Binary

Calcium Iron Pyrophosphate  $\text{CaFeP}_2\text{O}_7$  Using Aqueous-Acetone Media”, *Advanced Materials Research* 717 (2013) pp 44-48.

[7] S. Kongteweelert, **C. Ruttanapun**, M. Thongkam, P. Chaiyasith, and S. Woramongkonchai, “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 (2013) pp 49-53.

[8] **C. Ruttanapun**, P. Jindajitawat, W. Thowladda, W. Neeyakorn, C. Thanachayanont, A. Charoenphakdee, “Thermoelectric properties of  $\text{Sn}^{2+}$ -substituted  $\text{CuFeO}_2$  delafossite-oxide”, *Advanced Materials Research*, Volume 802, 2013, Pages 17-21.

[9] Kahatta, S., Chaiyo, N., **Ruttanapun, C.**, Techitdheera, W., Pecharapa, W., Vittayakorn, N. “Microwave-assisted solution combustion synthesis and characterization of thermoelectric  $\text{Ca}_3\text{Co}_2\text{O}_6$  powder”, *Advanced Materials Research*, 802, 2013, pp. 84-88.

[10] Charoenphakdee, A., Harnwungmoung, A., Seetawan, T., **Ruttanapun, C.**, Amornkitbamrung, V., Kurosaki, K., Yamanaka, S., “Reinvestigation the thermal and electrical transport properties of  $\text{Tl}_7\text{Sb}_2$ ”, *Advanced Materials Research*, Volume 802, 2013, Pages 284-288.

[11] **C. Ruttanapun**, B. Boonchom, M. Thongkam, S. Kongtaweelert, A. Wichainchaia, C. Thanachayanont, A. Charoenphakdee, “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* 2(2), pp. 1-5 (2013)

[12] **C. Ruttanapun**, Y. Hongaromkid, W. Thowladda and A. Wichainchai, "Alcohol sensing of p-type  $\text{CuFeO}_2$  delafossite oxide ", *Proc. SPIE* 8883, ICPS 2013, 88831L; doi:10.1117/12.2021102.

[13] **C. Ruttanapun**, M. Sa-nguan-cheep, S. Kahatta, P. Buranasiri and P. Jindajitawat, "Optical and electronic transport properties of p-type  $\text{CuCoO}_2$  transparent conductive oxide ", *Proc. SPIE* 8883, ICPS 2013 88831O; doi:10.1117/12.2021992.

[14] Wicharn, S., Buranasiri, P., **Ruttanapun, C.**, Jindajitawat, P., “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.**, Jindajitawat, P., "Fingerprint verification by using low coherence digital holography", Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, 8883, 2013.

[16] Sidakum, K. , Buranasiri, P., Plaipichit, S., **Ruttanapun, C.**, Jindajithawat, P., "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, 2013,

[17] Wicharn, S., Buranasiri, P. , **Ruttanapun, C.**, Jindajitawat, P., "Optical parametric amplification in one-dimensional photonic bandgap structures", 52, 2013, pp. 6090-6099.

ปี 2558 (2012)

[1] **C. Ruttanapun\***, W. Prachamon, A. Wichainchai, "Optoelectronic properties of  $\text{Cu}_{1-x}\text{Pt}_x\text{FeO}_2$  ( $0 \leq x \leq 0.05$ ) delafossite for p-type transparent conducting oxide" Current Applied Physics, Vol 12, No1, (2012), pp.166-170. **Impact Factor: 1.74**, (Corresponding author: **C. Ruttanapun**).

ปี 2558 (2011)

[1] **C. Ruttanapun\***, A. Wichainchai, W. Prachamon, A. Yangthaisong, A. Charoenphakdee and T. Seetawan, "Thermoelectric properties of  $\text{Cu}_{1-x}\text{Pt}_x\text{FeO}_2$  ( $0.0 \leq x \leq 0.05$ ) delafossite-type transition oxide", Journal of Alloys and Compounds 509 (2011), pp. 4588-4594. **Impact factor: 2.134**, (Corresponding author: **C. Ruttanapun**).

[2] P. Poopanya, A. Yangthaisong, **C. Ruttanapun**, and A. Wichainchai "Theoretical Study of Electronic Structure and Thermoelectric Properties of Doped  $\text{CuAlO}_2$ ", Journal of ELECTRONIC MATERIALS, 40, (2011), pp. 987-991. **Impact factor: 1.428**. (Corresponding author: A. Yangthaisong).

- ผลงานที่ได้รับการอ้างอิงในวงวิชาการ (จำแนกระดับชาติและระดับนานาชาติหรือเทียบเท่า)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปี 2558 (2015)

[1] **Chesta Ruttanapun** and Santi Maensiri, "Effects of spin entropy and lattice strain from mixed-trivalent Fe<sup>3+</sup>/Cr<sup>3+</sup> on the electronic, thermoelectric and optical properties of delafossite CuFe<sub>1-x</sub>Cr<sub>x</sub>O<sub>2</sub> (x = 0.25, 0.5, 0.75)", Journal of Physics D: Applied Physics, 48 (2015), 495103, (**Corresponding: Chesta Ruttanapun**) (ISI, Scopus) (IF: 2.721) ได้รับการอ้างอิง 2 ครั้ง

[2] **C. Ruttanapun**, P. Jindajitawat, P. Buranasiri, A. Harnwungmoung, A. Charoenphakdee and V. Amornkitbamrung, "*p*-Type Optoelectronic and Transparent Conducting Oxide Properties of Delafossite CuAl<sub>1/2</sub>Fe<sub>1/2</sub>O<sub>2</sub>", J. Am. Ceram. Soc., 98, pp. 437-442 (2015), (**Corresponding: Chesta Ruttanapun**) (ISI) (IF: 2.428) ได้รับการอ้างอิง 1 ครั้ง

ปี 2558 (2014)

[1] **C. Ruttanapun**, "Effects of Pd substitution on the thermoelectric and electronic properties of delafossite Cu<sub>1-x</sub>Pd<sub>x</sub>FeO<sub>2</sub> (x = 0.01, 0.03 and 0.05)", Journal of Solid State Chemistry, 215, pp. 43-49 (2014). (**Corresponding: C. Ruttanapun**) (ISI) (IF:2.040) (Citation: 1) ได้รับการอ้างอิง 6 ครั้ง

[2] **Ruttanapun C.**, Jindajitawat, P., Buranasiri, P., Naenkieng, D., Boonyopakorn, N., Harnwungmoung, A., Thowladda, W., Neeyakorn, W., Thanachayanont, C., Charoenphakdee, A., "Preparation, characterization and finite element computation of Cu(Al<sub>1/2</sub>Fe<sub>1/2</sub>)O<sub>2</sub> Delafossite-oxide thermoelectric generator module", Integrated Ferroelectrics, 156, (2014), pp.102-114. (**Corresponding: C. Ruttanapun**)(ISI) (IF:0.371) ได้รับการอ้างอิง 2 ครั้ง

[3] **Ruttanapun, C.**, Kosalwat, W., Rudradawong, C., Jindajitawat, P., Buranasiri, P., Naenkieng, D., Boonyopakorn, N., Harnwungmoung, A., Thowladda, W., Neeyakorn, W., Thanachayanont, C., Charoenphakdee, A., Wichainchai, A., Reinvestigation thermoelectric properties of CuAlO<sub>2</sub>, Energy Procedia, Volume 56, Issue C, 2014, Pages 65-71. (**Corresponding: C. Ruttanapun**) ได้รับการอ้างอิง 2 ครั้ง

[4] Rudradawong, C., Wichainchai, A., Sakulkalavek, A., Hongaromkid, Y., **Ruttanapun, C.**, Method of high active preparation and electrical properties of CuFeO<sub>2</sub> delafossite-type, Advanced Materials Research, Volume 979, 2014, Pages 302-306 ได้รับการอ้างอิง 1 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ปี 2557 (2013)

[1] **C. Ruttanapun**, “Optical and electronic properties of delafossite  $\text{CuBO}_2$  p-type transparent conducting oxide”, Journal of Applied Physics, 114, pp. 113108 (2013). (Corresponding: C. Ruttanapun) (ISI) (IF: 2.210) ได้รับการอ้างอิง 6 ครั้ง

[2] **C. Ruttanapun**, B. Boonchom, M. Thongkam, S. Kongtaweelert, C. Thanachayanont, A. Wichainchai, “Electrical and optical properties of p-type  $\text{CuFe}_{1-x}\text{Sn}_x\text{O}_2$  ( $x = 0.03, 0.05$ ) delafossite-oxide”, Journal of Applied Physics, 113, pp. 023103 (2013). (Corresponding: C. Ruttanapun) (ISI) (IF: 2.210) ได้รับการอ้างอิง 14 ครั้ง

[3] **C. Ruttanapun**, S. Kahatta, B. Boonchom, N. Vittayakorn, M. Thongkam, S. Kongtaweelert, S. Woramongkonchai, and P. Chaiyasith, “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 717 (2013) pp. 15-10. (Corresponding author: **Chesta Ruttanapun**) ได้รับการอ้างอิง 2 ครั้ง

[4] B. Boonchom, **C. Ruttanapun**, M. Thongkam, P. Chaiyasith, S. Woramongkonchai, S. Kongtaweelert and N. Vittayakorn, “A new synthesis of  $\text{BaHPO}_4$  precipitated by  $\text{BaCO}_3\text{-H}_3\text{PO}_4\text{-NaOH}$  system at room temperature”, Advanced Materials Research 717 (2013) pp 37-43. (Citation: 1) ได้รับการอ้างอิง 2 ครั้ง

[5] S. Kongtaweelert, **C. Ruttanapun**, M. Thongkam, P. Chaiyasith, and S. Woramongkonchai, “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 (2013) pp 49-53. ได้รับการอ้างอิง 1 ครั้ง

[6] **C. Ruttanapun**, P. Jindajitawat, W. Thowladda, W. Neeyakorn, C. Thanachayanont, A. Charoenphakdee, “Thermoelectric properties of  $\text{Sn}^{2+}$ -substituted  $\text{CuFeO}_2$  delafossite-oxide”, Advanced Materials Research, Volume 802, 2013, Pages 17-21. ได้รับการอ้างอิง 1 ครั้ง

[7] Plaipichit, S. , Atta, P., Buranasiri, P., **Ruttanapun, C.**, Jindajitawat, P., “Fingerprint verification by using low coherence digital holography”, Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering, 8883, 2013. ได้รับการอ้างอิง 1 ครั้ง

## ปี (2012)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [1] Ruttanapun, C., Wichainchai, A., Prachamon, W., Yangthaisong, A., Charoenphakdee, A., Seetawan, T., "Thermoelectric properties of  $\text{Cu}_{1-x}\text{PtxFeO}_2$  ( $0.0 \leq x \leq 0.05$ ) delafossite-type transition oxide", Journal of Alloys and Compounds, 509, 13, 4588, 2011. ได้รับการอ้างอิง 28 ครั้ง
- [2] Ruttanapun, C., Wichainchai, A., Prachamon, W., Yangthaisong, A., Charoenphakdee, A., Seetawan, T., "Thermoelectric properties of  $\text{Cu}_{1-x}\text{PtxFeO}_2$  ( $0.0 \leq x \leq 0.05$ ) delafossite-type transition oxide", Journal of Alloys and Compounds, 509, 13, 4588, 2012. ได้รับการอ้างอิง 13 ครั้ง
- [3] Seetawan, T., Seetawan, U., Ratchasin, A., Srichai, S., Singsoog, K., Namhongsa, W., Ruttanapun, C., Siridejachai, S. "Analysis of thermoelectric generator by finite element method", Procedia Engineering, 32, 1006, 2012, ได้รับการอ้างอิง 4 ครั้ง

#### การเสนอผลงานวิชาการ

- [1] Phonlakit Khowjalern, Thanyaluck, Lungprasert and Chesta Ruttanapun, "Finite element computation of p-type Mg-doped  $\text{CuCrO}_3$  Uni-leg thermoelectric module", March 26-29, 2014 at Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima, Thailand.
- [2] Wattana Kosalwat, Chalermopol Rudradawong, Adul Harnwungmoung, Anek Charoenphakdee, Tosawat Seetawan and Chesta Ruttanapun, "Fabrication of delafossite  $\text{CuCr}_{0.99}\text{Mg}_{0.01}\text{O}_2$  p-type Uni-Leg Thermoelectric Generator", March 26-29, 2014 at Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima, Thailand.
- [3] C. Ruttanapun\*, P. Jindajitawat, P. Buranasiri, W. Thowladda, W. Neeyakorn, D. Naenkieng, A. Harnwungmoung, N. Boonyopakorn, C. Thanachayanont, A. Charoenphakdee, "High temperature thermoelectric Properties of Delafossite  $\text{CuBO}_2$ ", The forth joint international conference on information and communication technology, electronic and electric al engineering, March 5-8, 2014, Chiang Rai, Thailand.
- [4] Chesta Ruttanapun\*, Phumin Jindajitawat, Prathan Buranasiri, Daengdesh Naenkieng, Narongchai Boonyopakorn, Adul Harnwungmoung, Warawoot Thowladda, Worakarn Neeyakorn, Chachana Thanachayanont, Anek Charoenphakdee, Aree Wichainchai, "Thermal transport properties and ZT value of delafossite Sn-doped  $\text{CuFeO}_2$  thermoelectric materials", March 26-29, 2014 at Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima, Thailand.
- [5] C. Ruttanapun\*, W. Kosalwata, C. Rudradawonga, P. Jindajitawata, P. Buranasiria, D. Naenkiengb, N. Boonyopakorn, A. Harnwungmoungb, W. Thowladda, W. Neeyakorna, C. Thanachayanontd, A. Charoenphakdeeb, A. Wichainchai, "Reinvestigation thermoelectric properties of  $\text{CuAlO}_2$ ", The 11th Eco-Energy and Materials Science and Engineering (11th EMSES) 18-21 December, 2013 Phuket, Thailand.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [6] **Chesta Ruttanapun** and Anek Charoenphakdee. "Preparation, Characterization and Finite Element Computing of  $\text{Cu}(\text{AlI}/2\text{FeI}/2)\text{O}_2$  Delafossite-oxide Thermoelectric Generator Module", The 7th Conference of the Asian Consortium on Computational Materials Science (ACCMS-7), Nakhon Ratchasima, Thailand, July, 23 – 28, 2013.
- [7] C. Ruttanapun, D. Naenkieng, A. Harnwungmoung, and A. Charoenphakdee, "Temperature dependence of thermoelectric properties of p-type  $\text{CuCoO}_2$  delafossite oxide", The 32<sup>nd</sup> international conference on thermoelectrics, Jun 30 to July 4, 2013, Kobe, Japan.
- [8] A. Harnwungmoung, K. Kurosaki, A. Charoenphakdee, C. Ruttanapun, A. Kosuga, M. Ishimaru, Y. Ohishi, H. Muta, and S. Yamanaka. "Thermoelectric properties of (Ga, In) double-filed skutterudites", The 32<sup>nd</sup> international conference on thermoelectrics, Jun 30 to July 4, 2013, Kobe, Japan.
- [9] A. Charoenphakdee, K. Kurosaki, A. Harnwungmoung, S. Maensiri, C. Ruttanapun, H. Muta, and S. Yamanaka, "Thermoelectric properties of gold telluride:  $\text{AuTe}_2$ ", The 32<sup>nd</sup> international conference on thermoelectrics, Jun 30 to July 4, 2013, Kobe, Japan.
- [10] **C. Ruttanapun**, S. Kahatta. "Synthesis and Characterization of  $\text{CuBO}_2$  delafossite oxide", Siam Physics Congress SPC2013 Thai Physics Society on the Road to ASEAN Community 21-23 March 2013, Chiang Mai, Thailand, pp. 278.
- [11] A. Charoenphakdee, A. Harnwungmoung, T. Worrakitpoonpon, N. Wongdamern, T. Plirdpring, J. Junpha, S. Pol-in, S. Musikajaroen, A. Marutaphan, D. Nankaeng, C. Ruttanapun, T. Sreetawan, K. Kurosaki, H. Muta, and S. Yamanka, "Thermoelectric properties of the  $\text{Ag-xTe}$  ternary compounds with low thermal conductivity", Siam Physics Congress SPC2013 Thai Physics Society on the Road to ASEAN Community 21-23 March 2013, Chiang Mai, Thailand, pp. 36.
- [12] S. Plaipichit, R. Nuansri, P. Buranasiri, C. ruttanapun, and P. Jindajitawat. "The effect of incorehent in multi-higher-order anisotropic self diffraction on  $\text{Ce:BaTiO}_3$  crystal", Siam Physics Congress SPC2013 Thai Physics Society on the Road to ASEAN Community 21-23 March 2013, Chiang Mai, Thailand, pp. 356.
- [13] C. Rudradawong, C. Ruttanapun, Y. Hongaromlud, A. SaKulkalavek. "The effect of Sn Substitution on the structure and electrical properties of  $\text{CuFeO}_2$ ", Siam Physics Congress SPC2013 Thai Physics Society on the Road to ASEAN Community 21-23 March 2013, Chiang Mai, Thailand, pp. 284.
- [14] **Chesta Ruttanapun**, Sagulthai Kahatta, Banjong Boonchom, Naratip Vittayakorn, Montree Thongkam, Samart Kongteweelert, Somsak Woramongkonchai, and Pachernchaipat Chaiyasith. "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", 2013 2<sup>nd</sup> international conference on key engineering materials and computer science (KEMCS 2013), March 3-4, 2013, Phuket, Thailand, pp 11. (Abstract book)
- [15] Banjong Boonchom, **Chesta Ruttanapun**, Montree Thongkam, Pachernchaipat Chaiyasith, Somsak Woramongkonchai, Samart Kongteweelert and Naratip Vittayakorn, "A new synthesis of  $\text{BaHPO}_4$  precipitated by  $\text{BaCO}_3\text{-H}_3\text{PO}_4\text{-NaOH}$  system at room temperature", 2013 2<sup>nd</sup> international conference on key engineering materials and computer science (KEMCS 2013), March 3-4, 2013, Phuket, Thailand, pp 2. (Abstract book)
- [16] Pachernchaipat Chaiyasith, **Chesta Ruttanapun**, Montree Thongkam, Samart Kongteweelert, Somsak Woramongkonchai and Banjong Boonchom, "A Simple Route to Synthesize Ferromagnetic Binary Calcium Iron Pyrophosphate  $\text{CaFe}_2\text{P}_2\text{O}_7$  Using Aqueous-Acetone Media", 2013 2<sup>nd</sup> international conference on key engineering materials and computer science (KEMCS 2013), March 3-4, 2013, Phuket, Thailand, pp 2. (Abstract book)
- [17] Samart Kongteweelert, **Chesta Ruttanapun**, Montree Thongkam, Pachernchaipat Chaiyasith, and Somsak Woramongkonchai, "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", 2013 2<sup>nd</sup> international conference on key engineering materials and computer science (KEMCS 2013), March 3-4, 2013, Phuket, Thailand, pp 2. (Abstract book)
- [18] **Chesta Ruttanapun\***, Sagulthai Kahatta, Wicharn Techitdheera, Naratip Vittayakorn, Banjong Boonchom, Montree Thongkam, Samart Kongteweelert, Aree Wichainchai, Adul Harnwungmoung, Anek Charoenphakdee, "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", The 8th Asian Meeting on Ferroelectrics (AMF8), 9-14 Dec 1012, Pattaya, Thailand, pp. 48-49.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [19] Sagulthai Kahatta, Nopsori Chaiyo, **Chesta Ruttanapun**, Wicharn Techitdheera, Wisanu pecharapa, Banjong Boonchom, Naratip Vittayakorn, "Synthesis and Thermoelectric Properties of  $\text{Ca}_3\text{Co}_2\text{O}_6$  Ceramics by microwave-assisted solution combustion synthesis", The 8th Asian Meeting on Ferroelectrics (AMF8), 9-14 Dec 1012, Pattaya, Thailand, pp. 141.
- [20] **C. Ruttanapun**, B. Boonchom, M. Thongkam, S. Kongtaweelert, A. Wichainchai, C. Thanachayanont, A. Charoenphakdee, "Thermoelectric properties of n-Type  $\text{CuFe}_{0.95}\text{Pb}_{0.05}\text{O}_2$  Delafossite type-oxide", 2<sup>nd</sup> Southeast Asia Conference on Thermoelectrics 2012 (SACT 2012), 30<sup>th</sup> October, 2012, Sakon Nakhon Rajabhat University, Sakon Nakhon, Thailand. (Oral) (abstract book)
- [21] Sagulthai Kahatta, Nopsiri Chaiyo, **Chesta Ruttanapun**, Wicharn Techitdheera, Wisanu Pecharapa, Banjong Boonchom, Naratip Vittayakorn, "Reparation and thermoelectric properties of  $\text{Ca}_3\text{Co}_2\text{O}_6$  ceramics by microwave-assisted solution combustion method", 38th Congress on Science and Technology of Thailand, October 17-19 2012 Empress convention centre, Chiang Mai, Thailand (STT 38). (abstract book)
- [22] A. Plodkeaw, M. Nisoa, P. Kerdtongmee, **C. Ruttanapun**, S. Siridejachai, "Design of Large Scale Microwave Oven by FEM", 1<sup>st</sup> International Symposium on Technology for Sustainability. (ISTS 2011), 26-29 January, 2012, KMITL, Bangkok Thailand.
- [23] **Chesta Ruttanapun\***, Wutthisak Prachamon, and Aree Wichainchai, "Synthesis and Thermoelectric Properties of p-type  $\text{CuFeO}_2$  Delafossite-Type Oxide" 6th Thailand Materials Science and Technology Conference, MSAT-6, Miracle Grand Hotel, Bangkok, Thailand, 26- 27 September 2010, pp. 135-137. (Oral) (Proceeding book)
- [24] **Chesta Ruttanapun\***, Wutthisak Prachamon, and Aree Wichainchai, "Synthesis and Thermoelectric, Electrical and Optical properties of p-type  $\text{CuAlO}_2$  Delafossite", 36th Congress on Science and Technology of Thailand, STT.36, Bangkok International Trade & Exhibition Center (BITEC), Bangkok, Thailand, 26-28 October 2010. (Oral) (abstract book & Full only)
- [25] **Chesta Ruttanapun\***, Wutthisak Prachamon, and Aree Wichainchai, "Synthesis, Thermoelectric Properties of  $\text{CuFe}_{0.5}\text{Al}_{0.5}\text{O}_2$  Delafossite and Finite Element Computing for Power Generator on Its Module", SPC2011; Siam Physics Congress, The 6th Annual Conference of the Thai Physics Society, Pattaya, Chonburi, Thailand, 23-26 March, 2011, pp. 196- 199. (Oral) (abstract book)
- [26] **Chesta Ruttanapun\*** and Aree Wichainchai, "Preparation and Comparison of Thermoelectric Properties of  $\text{CuFeO}_2$ ,  $\text{CuAlO}_2$ , and  $\text{CuFe}_{0.5}\text{Al}_{0.5}\text{O}_2$  Delafossite Structure", The 1st Southeast Asia Conference on Thermoelectrics, Krungsri River Hotel, Ayutthaya, Thailand, 20-21 July 2011, pp. 34. (Oral) (abstract book)
- [27] Sapon Budngam, **Chesta Ruttanapun\***, Wutthisak Prachamon, Anucha Yangthaisong, and Aree Wichainchai, "THERMOELECTRIC PROPERTIES OF N- AND P-TYPE OF  $\text{CuAlO}_2$ ", Pure and Applied Chemistry International Conference (PACCON2010), Sunee Grand Hotel and Convention Center, Ubonratchathani, Thailand, 21-23 January 2010. (Oral) (abstract book)
- [28] **เชษฐา รัตนพันธุ์** อารณณ์ วรธิต สงกรานต์ ศิริเดชาชัย ศรีเทพ วรณรัตน์ ทศวรรษ สีตะวัน "การวิเคราะห์ n-type  $\text{SrTiO}_3$  และ p-type  $\text{Ca}_3\text{Co}_2\text{O}_6$  โมดูลของเทอร์โมอิเล็กทริกสำหรับตัวกำเนิดไฟฟ้าและตัวสร้างความเย็นด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์", งานประชุมวิชาการพลังงานแห่งชาติ ครั้งที่ 1 ณ ศูนย์การประชุมไบเทค บางนา 18-19 กพ. 2552.
- [29] **Chesta Ruttanapun**, Songkarn Siridejachai, Sornthep Vannarat, Athorn Vora-ud, Tosawat Seetawan, "Finite Element Analysis of the n-type  $\text{SrTiO}_3$  and p-type  $\text{Ca}_3\text{Co}_2\text{O}_6$  Thermoelectric Generator", The 3<sup>rd</sup> Technology and Innovation for Sustainable Development International Conference (TISD2010) Faculty of Engineering Khon Kaen University, Royal Mekong Nongkhai Hotel, Nong Khai, Thailand, 4-6 March 2010, pp 738-741.
- [30] **Chesta Ruttanapun**, Suriya Srichai, Kunchit Singsoog, Songkran Siridejachai, Phitak haenkaew, Tosawat Seetawan and Sornthep Vannarat, "ANALYSIS OF n- $\text{CaMnO}_3$  AND p- $\text{Ca}_3\text{Co}_2\text{O}_6$  THERMOELECTRIC GENERATOR BY USING FINITE ELEMENT TECHNIQUE", The 25th International Technical Conference on Circuits/Systems, Computers and Communications (ITC-CSCC 2010), Ambassador City Jomtien Hotel, Pattaya, Thailand, July 4-7, 2010, pp 867-869.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [31] ปิยวัฒน์ ทัพสนิท, **เชษฐา รัตนพันธ์**, สงกรานต์ ศิริเดชาชัย, สรเทพ วรรณรัตน์ และ ทีปานิศ ชาติโย, "ผลเฉลยเชิงวิเคราะห์และเชิงตัวเลขของตัวทำความเย็นเส้นลวดนาโนชนิดคอนเทอร์โมอิเล็กทริกในสภาวะคงตัว", NECTEC Technical Journal, NECTEC-ACE2010 Special Edition, No. 22, July-October, 2010, pp. 218-223.
- [32] S. Srichai, T. Seetawan, **C. Ruttanapun**, S. Siridejachai, S. Vannarat., "Analysis of thermoelectric modules by Finite Element method", (Poster) SPC2011: Siam Physics Congress, The 6th Annual Conference of the Thai Physics Society, March 23-26, 2011 Pattaya, Thailand.
- [33] S. Srichai, **C. Ruttanapun**, S. Siridejachai, T. Seetawan, "simulation thermoelectric generator by finite element method", (Oral), The 1st Southeast Asia Conference on hermoelectrics, 20-21 July 2011, Krunsi River Hotel, Ayutthaya, Thailand.
- [34] A. Vora-ud, P. Tapsanit, **C. Ruttanapun**, S. Siridejachai, S. Vanarat Using and T. Seetawan, "Finite Element Method to Analyze Thermoelectric Device", The Second Nation Conference on Science and Technology (NCST 2009), 9-12 July 2009, Sakon Nakhon Rajabhat Univerity.
- [35] Apinun Plodkeaw, Mudtorlep Nisoa, Praiwan Kerdtongmee, **Chesta Ruttanapun**, Songkran Siridejachai, "Design of Large Scale Microwave Oven by FEM", 1st International Symposium on Technology for Sustainability, (ISTS 2011), 26-29 January, 2012, KMITL, Bangkok Thailand.
- [36] Siridejachai S., **Ruttanapun C.**, Vannarat S., "A numerical study of the waveguide length affects Power distribution inside the microwave oven", 13th International Annual Symposium on Computational Science and Engineering, 2009, p.374-378.
- [37] **Chesta Ruttanapun**, Songkran Siridejachai, Sornthep Vannarat, Priwan Keadthongmee and Mudtorlep Nisoa, "Simulation of Microwave Oven for Drying Sea Fish using FEM", Proceedings of the 2009 International Symposium on Antennas and Propagation (ISAP 2009), Imperial Queen's Park Hotel, Bangkok, Thailand, October 20-23, 2009, p.1071-1074.
- [38] S. Siridejachai, **C. Ruttanapun**, S. Vannarat, and M. Nisoa, "A numerical study on microwave oven with multiple waveguide", 15th International Annual Symposium on Computational Science and Engineering (ANSCSE15), Bangkok University, Thailand, 30 March to 2 April 2011, pp 177-182.
- [39] **Ruttanapun C.**, Siridejachai S., Vannarat S., Pattanadech N., "Simulation of electric field in stator bar by using finite element method", 31st Electrical Engineering Conference, 2008, p.323-326.
- [40] **Ruttanapun C.**, Siridejachai S., Vannarat S., Pattanadech N., "Finite element simulation of electric Field patterns inside the high voltage underground cable", 6th International Joint Conference on Computer Science and Software, 2009.
- [41] Siridejachai S., **Ruttanapun C.**, Vannarat S., Tuantranont A., Wisitsoraat A., "3D Finite element modeling of MEMS gas sensor", 10th Annual National Symposium on Computational Science and Engineering, 2006, p.296-301.
- [42] **Ruttanapun C.**, Siridejachai S., Vannarat S., "A comparison of preconditioners effect to the large system FEM problems", 11th Annual National Symposium on Computational Science and Engineering, 2007, p.1-5.
- [43] Siridejachai S., **Ruttanapun C.**, Vannarat S., "The behavior study of piezoelectric transformer by using finite element method", 12th Annual National Symposium on Computational Science and Engineering, 2008, p.336-339.
- [44] Songkran Siridejachai, **Chesta Ruttanapun** and Somthep Vannarat, "Filling Incomplete Wind Speed Data by Using Kriging Interpolation", 14th International Annual Symposium on Computational Science and Engineering (ANSCSE14), Mae Fah Luang University, Chiang Rai, Thailand, 23 - 26 March 2010, pp 229-233.
- [45] **C. Ruttanapun**, S. Siridejachai, S. Vannarat, A. Tuantranont, "Finite Element Modeling o Micromirror," 9th Annual National Symposium on Computational Science and Engineering (ANSCSE- 9), pp. 233-239, 2005.
- [46] S. Siridejachai, **C. Ruttanapun** and S. Vannarat, "Finite Element Model of Thermal Multimorph Actuator", 8th Annual National Symposium on Computational Science and Engineering (ANSCSE-8), 2004.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

147 **เชรชญา รัตนพันธ์**, สงกรานต์ ศิริเดชาชัย, สรเทพ วรรณรัตน์, นรเศรษฐ พัฒนาเดช และ เรืองยุทธ เรืองสกุล "การประยุกต์ใช้วิธีไฟไนต์เอลิเมนต์เพื่อวิเคราะห์สนามไฟฟ้าในสายส่งไฟฟ้าแรงสูงแบบเชิงอากาศและแบบใต้ดิน", งานสัมมนาวิชาการสายงานระบบตั้ง ปี 2552, 5-7 สิงหาคม 2552, ณ ศูนย์ฝึกอบรมบางประกง จ. ฉะเชิงเทรา.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 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](mailto:kjphumin@kmitl.ac.th), [phumin@yahoo.com](mailto: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  
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  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 21.3 ผู้ร่วมวิจัย

1.1 ชื่อ – สกุล (ไทย)	นาย หมุดคอเล็บ หนิสอ
วันเดือนปีเกิด	29 มิถุนายน 2511
วุฒิการศึกษา	ปริญญาเอก(พลาสมาฟิสิกส์)
ตำแหน่งทางวิชาการ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์( มิถุนายน 2548 - )
ตำแหน่งอื่นๆ	- หัวหน้าห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีพลาสมาเพื่อการประยุกต์ทางกสิกรรม ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์ สกอ. (กุมภาพันธ์ 2552 – ปัจจุบัน) - กรรมการสภาวิชาการ(2551 – 2555) - ประธานคณะกรรมการบัณฑิตศึกษาประจำหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิตและปรัชญาคณะศึกษาศาสตร์สาขาฟิสิกส์ (2550 – ปัจจุบัน) - ผู้ประสานงานสาขาฟิสิกส์ (2550 – 2553) - คณบดีสำนักวิชาวิทยาศาสตร์
1.2 สถานที่ทำงาน	สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ 222 ต. ไทยบุรี อ.ท่าศาลา จ.นครศรีธรรมราช 80160 โทรศัพท์ 084-137-3988 โทรสาร (075)- 672-004
สถานที่อยู่	207/89 หมู่3 ต.ท่าศาลา อ.ท่าศาลา จ.นครศรีธรรมราช 80160
E-mail Address	<a href="mailto:nmudiorl@wu.ac.th">nmudiorl@wu.ac.th</a>
Website	<a href="http://thep-center.org/src/activity6.php">http://thep-center.org/src/activity6.php</a>
1.3 หน้าที่ปัจจุบัน	- หัวหน้าห้องปฏิบัติการพลาสมาประยุกต์เพื่อการกสิกรรม มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ - คณบดีสำนักวิชาวิทยาศาสตร์
1.4 ประวัติการศึกษา	
ปีการศึกษา 2529	มัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนมหาวิทยาลัยราชูจ.สงขลา
ปีการศึกษา 2533	ปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์) (เกียรตินิยมอันดับสอง) จากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ปีการศึกษา 2537	ปริญญาโท พลาสมาฟิสิกส์ จากมหาวิทยาลัยนาโยา ประเทศญี่ปุ่น
ปีการศึกษา 2544	ปริญญาเอก พลาสมาฟิสิกส์ จากมหาวิทยาลัยนาโยา

## 2. ประวัติการทำงาน

## 2.1 งานสอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 2.1.1 ปริญญาตรี

- หลักฟิสิกส์ 1
- หลักฟิสิกส์ 2
- ปฏิบัติการฟิสิกส์ 1
- ปฏิบัติการฟิสิกส์ 2
- ฟิสิกส์เชิงสถิติ
- พลาสมาฟิสิกส์เชิงคำนวณ
- คณิตศาสตร์สำหรับฟิสิกส์
- กลศาสตร์ยุคเก่า

## 2.1.2 ปริญญาโท

- การกำเนิดพลาสมาและการประยุกต์ - กลศาสตร์ 1
- กลศาสตร์ 2
- หัวข้อพิเศษทางฟิสิกส์ประยุกต์ (การให้ความร้อนด้วยคลื่นวิทยุ)
- กระบวนการวิจัย
- ปฏิบัติการฟิสิกส์ขั้นสูง
- หลักพลาสมาฟิสิกส์
- ฟิสิกส์ของพลังงาน
- ฟิสิกส์และเทคโนโลยีของคลื่นไมโครเวฟ

## 2.2.2 อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

- เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลักของนักศึกษาปริญญาโท 5 คน จบการศึกษาแล้ว 4 คน
- เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลักของนักศึกษาปริญญาเอก 3 คน จบการศึกษาแล้ว 1 คน

## 2.2 งานวิจัย

## โครงการวิจัย 10 ปีย้อนหลัง

ชื่อโครงการ	แหล่งทุน	งบประมาณ (บาท)	สถานภาพ	ระยะเวลา
1. การพัฒนาไอออนบีมสำหรับการเซาะร่องในโซลาร์เซลล์แบบกลับแกนควิซ	สกว.	2,631,200	หัวหน้าโครงการ	พย.45- พย.47
2. การพัฒนาระบบเครื่องกำเนิดไอโซนโดยใช้เทคนิค Barrier discharge สำหรับการจัดเก็บเงาะ ทุเรียนและพืชผัก	สกอ.	876,700	ผู้ร่วมวิจัย	มีย. 47- มีย.48
3. การพัฒนาเตาอบปลาแห้งไมโครเวฟประสิทธิภาพสูง	สกอ.	420,200	หัวหน้าโครงการ	เมย.48- เมย.49
4. การพัฒนาไอออนบีมสำหรับการเซาะร่องในโซลาร์เซลล์แบบกลับแกนควิซ	สกว.	2,109,323	หัวหน้าโครงการ	กย.48-กย.49
5. การพัฒนาระบบการผลิตน้ำไอโซนอัดโนมิตีเพื่อการเพาะเลี้ยงกุ้งอย่างยั่งยืน	มูลนิธิโทเรฯ	190,000	หัวหน้าโครงการ	กพ. 49 – กพ.50
6. การพัฒนาไอออนบีมความหนาแน่นและความคมสูงของอะตอมธาตุชนิดต่าง ๆ	พพ. ร่วมกับ สกว.	1,438,657	หัวหน้าโครงการ	กย. 2549 – กย. 2550

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

7. การพัฒนาระบบอบปลาแห้ง กึ่งอัตโนมัติด้วยคลื่นไมโครเวฟ	สกอ.	84,000	หัวหน้า โครงการ	ม.ย.50- ม.ย.51
8. การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่ออธิบายการคูดกลืนคลื่นวิทยุของตัว อ่อนแมลงในผลเงาะ	สวทช.	150,000	ผู้ร่วม โครงการ	ต.ค.50 – ต.ค.51
9. การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตอาหาร สัตว์อ้วนเม็ดด้วยคลื่นไมโครเวฟ	บริษัทโทรอัมพ์ เอ็นจิเนียริงจำกัด	330,000	หัวหน้า โครงการ	ต.ค. 50- ม.ย.51
10. การพัฒนาชุดขยายคลื่นวิทยุชนิดส เตทแบบมอดูลาร์ความถี่ 118 เมกะเฮิร์ต ขนาด 2.5 กิโลวัตต์	สถาบันวิจัยแสง ซินโครตรอน	2,120,800	ผู้ร่วม โครงการ	พ.ย.50- พ.ย.52
11. เทคโนโลยีพลาสติกสำหรับการทำให้ ปราศจากเชื้อสำหรับเครื่องมือ ทางการแพทย์ในประเทศไทยปีที่ 1	วช.	3,00,000	ผู้ร่วมวิจัย	ค.ค. 51 – ค.ค. 52
12. การพัฒนาเทคโนโลยีคลื่นวิทยุและ คลื่นไมโครเวฟเพื่อการประยุกต์ทางกลีกร รมปีที่ 1	ศูนย์ความเป็นเลิศ ด้านฟิสิกส์(สกอ.)	608,000	หัวหน้า โครงการ	ก.พ. 52 – ม.ค. 53
13. การพัฒนาแหล่งกำเนิดไอออนบีม ความหนาแน่นสูงเพื่อการปรับปรุงพันธ์ พืช และการปรับปรุงเมมเบรนปีที่ 1	ศูนย์ความเป็นเลิศ ด้านฟิสิกส์(สกอ.)	525,000	หัวหน้า โครงการ	ก.พ. 52 – ม.ค. 53
14. เครื่องแยกสปอร์ของราเพื่อการควบคุม ศัตรูพืชจากเมล็ดข้าว ด้วยเทคโนโลยี ไซโคลนและพลังงานไมโครเวฟปีที่ 1	วช.	100,000	หัวหน้า โครงการ	ม.ย.52 – ก.พ. 53
15. การพัฒนาเทคโนโลยีเครื่องกำเนิด คลื่นวิทยุกำลังสูงสำหรับอุตสาหกรรม	อุทยาน วิทยาศาสตร์ ภาคใต้(สวทช.)	199000	หัวหน้า โครงการ	ส.ค.52 – ส.ค.53
16. การพัฒนาเทคโนโลยีคลื่นวิทยุและ คลื่นไมโครเวฟเพื่อการประยุกต์ทางกลีกร รมปีที่ 2	ศูนย์ความเป็นเลิศ ด้านฟิสิกส์(สกอ.)	400,000	หัวหน้า โครงการ	ก.พ. 53 – ม.ค. 54
17. การพัฒนาแหล่งกำเนิดไอออนบีม ความหนาแน่นสูงเพื่อการปรับปรุงพันธ์ พืช และการปรับปรุงเมมเบรนปีที่ 2	ศูนย์ความเป็นเลิศ ด้านฟิสิกส์(สกอ.)	500,000	หัวหน้า โครงการ	ก.พ. 53 – ม.ค. 54
19. เครื่องแยกสปอร์ของราเพื่อการควบคุม ศัตรูพืชจากเมล็ดข้าว ด้วยเทคโนโลยี	วช.	166,000	หัวหน้า โครงการ	พ.ย.53 – เม.ย. 54

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไซโคลนและพลังงานไมโครเวฟปีที่ 2				
20. เทคโนโลยีพลาสติกมาเพื่อการทำให้ปราศจากเชื้อสำหรับเครื่องมือทางการแพทย์ในประเทศไทยปีที่ 2	วช.	500,000	ผู้ร่วมวิจัย	พ.ย. 53 – ต.ค. 54
21. การพัฒนาเครื่องอบแห้งรังนกแอ่นด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ความดันต่ำ	สกอ.	463,900	หัวหน้าโครงการ	ก.ย. 52 – มิ.ย. 54
22. การพัฒนาเทคโนโลยีพลาสติกมาเพื่อเคลือบถ่านกัมมันต์ด้วยพลาสติกชนิดนาโนสำหรับขี้ควาโทดประสิทธิภาพสูงของเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ	วช.	313,258	หัวหน้าโครงการ	พ.ย.52 –พ.ค. 54
การพัฒนาเทคโนโลยีการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟต้นแบบในระดับอุตสาหกรรม	สวทช.	1,400,000	หัวหน้าโครงการ	1 ม.ค.54 – 31 เม.ย. 55
การพัฒนาเทคโนโลยีพลาสติกมาขึ้นที่ความดันบรรยากาศเพื่อการทำความสะดวกผลมังคุด	ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์	1,145,000	หัวหน้าโครงการ	1 พ.ค.54 – 30 ส.ค. 56
การพัฒนาบรรจุภัณฑ์ด้านเชื้อราจากวัสดุเซลลูโลสโดยใช้พลาสติกมาขึ้นที่ความดันบรรยากาศร่วมกับน้ำมันหอมระเหย	ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์	1,675,000	ผู้ร่วมวิจัย	1 พ.ค.54 – 30 ส.ค. 56
การถ่ายทอดเทคโนโลยีและนวัตกรรมการอบแห้งประสิทธิภาพสูงเพื่อเพิ่มมูลค่าผลผลิตการเกษตร	วช.	377,000	หัวหน้าโครงการ	18 มิ.ย.56 -18 ธ.ค.56

โครงการวิจัยที่กำลังดำเนินการอยู่ในปัจจุบัน

ชื่อโครงการ	แหล่งทุน	งบประมาณ (บาท)	สถานภาพ	ระยะเวลา
การพัฒนาเทคโนโลยีการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนเพื่อเป็นต้นแบบในการผลิตยางแห้ง STR20 ระดับอุตสาหกรรม	สกว.	400,000	หัวหน้าโครงการ	1 ก.ย.56 – 31 ส.ค. 57
ชุดโครงการ “การวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีพลาสติกและคลื่น	สกว. ABC	990000	หัวหน้าโครงการ	25 ก.ย.56 – 24 มี.ค. 58

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อพัฒนานวัตกรรมทาง การเกษตร”				
---	--	--	--	--

### 2.3 งานบริการวิชาการ

- โครงการ โอลิมปิกวิชาการ
- นักวิทยาศาสตร์ที่เลี้ยงนักเรียน โครงการ JSTP
- ถ่ายทอดเทคโนโลยีการทำแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ
- วิทยากรการพัฒนางานวิจัยสำหรับอุตสาหกรรมของสภาอุตสาหกรรมสุราษฎร์ฯและนครฯ
- การอบรมครูมัธยม
- การจักแสดงเครื่องมือวิทยาศาสตร์ในอุทยานวิทยาศาสตร์
- การงานวันวิทยาศาสตร์ และวันเด็ก
- การพิจารณาโครงการถ่ายทอดเทคโนโลยีของเครือข่ายภาคใต้ตอนบนของ สกอ.
- การจัดประชุมประจำปีฟิสิกส์ SPC

### 2.4 งานอื่นๆ

- 2.4.1 หัวหน้าห้องปฏิบัติการ หน่วยวิจัยฟิสิกส์ทดลอง ตั้งแต่ปี 2546 ถึง ปัจจุบัน
- 2.4.2 ผู้คุมทีมฟิสิกส์โอลิมปิก ในการแข่งขันระดับประเทศปี 2545 และ 2546
- 2.4.3 กรรมการบัณฑิตศึกษา
- 2.4.4 กรรมการสภาวิชาการ
- 2.4.5 ผู้ประสานงานสาขาฟิสิกส์ สำนักวิทยาศาสตร์

## 3. ผลงานวิชาการ

### 3.1 ประเภทวิจัย

#### 3.1.1 บทความวิจัยตีพิมพ์ในวารสารวิชาการ

##### 3.1.1.1 งานวิจัยที่เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาเพื่อรับปริญญา

1. M. Nisoa, Y. Sakawa and T. Shoji, *Compact high-density plasma source produced by using standing helicon waves*: Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 38 (1999) L777-L779
2. M. Nisoa, Y. Sakawa and T. Shoji, *Plasma production by  $m = 0$  standing helicon waves*: Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 39 (2000) L429-L432
3. M. Nisoa, Y. Sakawa and T. Shoji, *Characterization of plasma production by  $m = 0$  standing helicon waves*: Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 40 (2001) 3396-3404

##### 3.1.1.2 งานวิจัยที่ไม่เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาเพื่อรับปริญญา

1. M. Nisoa, D. Srinoum and P. Kerdthongmee, *Development of high voltage high frequency resonant inverter power supply for surface glow barrier discharges*: Solid State Phenomena, 107(2005), 81 – 86

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Y. Pianroj, P. Kerdtonmee and M. Nisoa, *Development of heating system by using microwave field*, การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 1 (2005)
3. P. Kerdtonmee, M. Nisoa and et.al., *Developemnt of compact cylindrical microwave plasma source for ion beam production*, *J. Fiz. Mal.*27, 39(2006)
4. Y. Pianroj, P. Keardthongmee, Pr. Keardthongmee, J. Galakarn and M. Nisoa, *Development of microwave system for high-efficient drying technology for fishes*: *Walailak J. Sci. Tech.* 3(2), 237 – 250 (2006)
5. P. Kerdtonmee, D. Srinuam, Ch. Tehsanu and M. Nisoa, *Development of compact high voltage switching power supply for CW mode microwave generator*, *Thai journal of physics series 2*(2007)
6. Y. Pianroj, P. Kerdtonmee and M. Nisoa, *Automatic microwave fishes Drying system using feedback control of surface temperature with infrared sensor*, *Thai journal of physics series 2*, 119 – 122(2007)
7. P. Wanichapichart, R. Sungkum, W. Taweeprada, and M. Nisoa, *Characteristics of chitosan membranes modified by argon plasmas*, *Surface & Coatings Technology* 203, 2531–2535(2009) (ISI: Impact factor 1.941)
8. M. Nisoa and T. Srinoum, *Characteristics of ozone production by using atmospheric surface glow barrier discharge*, *Walailak J. Sci. Tech.* 6(2), 283 – 292 (2009)(TC1)
9. P. Kerdtonmee, M. Nisoa, D. Srinuam, Pr. Kerdtonmee and J. Galakarn, *Development of a Microwave Heating System using Slotted Waveguide Antenna*, *Thai journal of physics series 4*, 113 – 115(2009)
10. Pansak Kerdtonmee, Mudtorlep Nisoa and Dhammanoon Srinoum, *Design of permanent-magnet compact helicon plasma source for ion beam breeding*, *Advances in applied plasma science*, vol.7,215-218(2009)
11. Mudtorlep Nisoa and Pikul Wanichapichart, *Surface hydrophobic modification of cellulose membrane by plasma-assisted deposition of hydrocarbon films*, *Songklanakar J. Sci. Technol.* 32(1), 97 -101 (2010)(SCOPUS)
12. P. Kerdtonmee ,1 D. Srinoum and M. Nisoa, *Development of compact high voltag e switched mode power supply for microwave plasma sources supply for low pressure plasma*, *JINST*, 6, 2011(ISI: Impact factor 1.656)
13. P. Kerdtonmee, D. Srinoum and M. Nisoa, *Development of a compact permanent magnet helicon plasma source for ion beam bioengineering*, *Rev. Sci. Instrum.* 82, 103503 (2011) (ISI: Impact factor 1.729)
14. Chontisa Sukkasem, Sunee Laehlah, Adilan Hniman, Sompong O'thong, Piyarat Boonsawang, Athirat Rarngrarong, Mudtorlep Nisoa and Pansak Kirdtonmee, *Upflow Bio-Filter Circuit (UBFC): Biocatalyst Microbial Fuel Cell (MFC) Configuration and Application for Biodiesel Wastewater Treatment*, *Bioresource Technology* 102 (2011) 10363–10370(ISI: Impact factor 5.172)
15. Narumol Matan, Nirundorn Matan and Mudtorlep Nisoa, *Enhancement of antifungal activity of clove oil against Aspergillus niger on the surface of rubberwood (Hevea brasiliensis) using low pressure RF plasma*, *Journal of Essential Oil Research* 17, 2011(abstract) (ISI:Impact factor: 0.643)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

16. Kitiya Suhem, Wassana Nilrath, Narumol Matan and Mudtorlep Nisoa, *Effect of microwave and sun drying on the quality of red chili*, *International Journal of Food Science Technology and Nutrition* 5(2): 29-40, 2011
17. Narumol Matan, Nirundorn Matan, Mudtorlep Nisoa, Saifon Phothisuwan, *Effect of low pressure RF plasma containing clove oil against the growth formation by Aspergillus niger in culture media*, *Acta Horticulturae*, 2011(SCOPUS)
18. Praphatsorn Jaroenkit, Narumol Matan and Mudtorlep nisoa, *In vitro and in vivo of citronella oil for the control of spoilage bacteria of semi dried round scad (Decapterus maruadsi)*, *International Journal of Medicinal and Aromatic Plants*, 1(3), 234-239, 2011
19. อภินันท์ ปลดอดแก้ว และหมุดตอเล็บ หนีโส, *การกำจัดองคลิ่นไมโครเวฟแบบ 3 มิติในห้องคลิ่นมัลติโหมดด้วย Meep*, *วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา*. 17 (2555) 2 : 95-105(TCI)
20. ธรรมบุญ ศรีน่วม พันธุ์ศักดิ์ เกิดทองมี สัมภาส ฉิดเกตุ และหมุดตอเล็บ หนีโส, *การพัฒนาโมดูลขยายคลิ่นวิทยุแบบพฤษภาคม ความถี่ 118 เมกะเฮิรตซ์กำลัง 300 วัตต์ ประสิทธิภาพสูง*, *วารสารวิจัยและพัฒนา มจร*. ปีที่ 35 ฉบับที่ 4 ตุลาคม - ธันวาคม 2555(TCI)
21. Chantana Suwanchote, Jariya Weerakul, Chitnarong Sirisathitkul, and Mudtorlep Nisoa, *Color and Hardness of Durian Chips Irradiated by Controlled Low Power Microwave*, *Food Sci. Biotechnol.* 21(6): 1767-1770 (2012) (ISI: Impact factor 0.695)
22. Kitiya Suhem, Narumol Matan, Mudtorlep Nisoa, Nirundorn Matan, 2013 *In vitro and in vivo antifungal activities of various gas species under plasma jet treatment against brown rice cereal spoilage molds*, *International Food Research Journal*, *Volume 20(2)*, p.947-951(SCOPUS)
23. Kitiya Suhem, Narumol Matan, Mudtorlep Nisoa, Nirundorn Matan. *Inhibition of Aspergillus flavus on agar media and brown rice cereal bars using cold atmospheric plasma treatment*, *International Journal of Food Microbiology*, *Volume 161*, Feb. 2013(ISI: Impact factor 3.847)
24. Kitiya Suhem, Narumol Matan, Mudtorlep Nisoa and Nirundorn Matan, *Low pressure RF plasma effects on the mould control, physical quality, nutritional value, mineral content and trace element content of a brown rice snack bar*, *Journal of Food and Nutrition Research*, *Vol. 52*, 2013, No. 2, pp. 87-94(ISI: Impact factor 0.679)
25. Jaroenkit, P., Matan, N. and Nisoa, M., *Microwave drying of cooked brown rice and the effect on the nutrient composition and trace elements*, *International Food Research Journal* 20(1): 351-355 (2013)(SCOPUS)
26. Narumol Matan, Mudtorlep Nisoa and Nirundorn Matan, *Antibacterial activity of essential oils and their main components enhanced by atmospheric RF plasma*, *Food Control*, 39 (2014) 97-99 (ISI: Impact factor 2.738)
27. Narumol Matan, Mudtorlep Nisoa, Nirundorn Matan and Tanong Aewsiri, *Effect of cold atmospheric plasma on antifungal activities of clove oil and eugenol against molds on areca palm (Areca catechu) leaf sheath*, *International Biodeterioration & Biodegradation* 86 (2014) 196-201 (ISI: Impact factor 2.059 )

### 3.1.2 บททวามวิจัยเสนอในการประชุมวิชาการและมีการพิมพ์รวมเล่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. M. Nisoa and et.al., **Microwave heating of materials:** Proceeding of the 29<sup>th</sup> congress on science and technology of Thailand, Thailand, 24 – 26 October 2003
2. P. Kirdtongmee, M. Nisoa and et.al., **Atmospheric microwave glow plasma for ozonization:** Proceeding of the 29<sup>th</sup> congress on science and technology of Thailand, Thailand, 24 – 26 October 2003
3. M. Nisoa, D. Srinoum and P. Kerdthongmee, **Development of High-Voltage High-Frequency Resonant Inverter Power Supply for Atmospheric Surface Glow Barrier Discharges,** 2<sup>nd</sup> International Workshop on Particle Beams & Plasma Interaction on Materials and 2<sup>nd</sup> Asia Symposium on Ion & Plasma Surface Finishing, Chiang Mai, Thailand, November 2004
4. M. Nisoa and et.al., **Atmospheric glow barrier discharge for high-efficiency ozone production,** International meeting on frontier physics 2005, Kuala-lumpur, Malaysia, 25-29 July 2005
5. P. Kerdthongmee and M. Nisoa, **Development of compact cylindrical microwave plasma source for ion beam production,** International meeting on frontier of physics 2005, Kuala-lumpur, Malaysia, July 2005
6. Y. Pianroj, P. Kerdthongmee and M. Nisoa, **Automatic Microwave Fishes Drying System using Feedback Control of Surface Temperature from Infrared Sensor,** Siam Physics Congress 2006, March 2006, Chonburi, Thailand
7. P. Kerdthongmee, D. Srinoum, Ch. Tehsanu and M. Nisoa, **Development of compact high voltage swithching power supply for CW mode microwave generator,** Siam Physics Congress 2006, Chonburi, 23 – 25 March 2006
8. M. Nisoa, Y. Pianroj, P. Kerdthongmee, Pr. Kerdthongmee and J. Galakarn, **Development of microwave system for high-efficient drying technology for fishes,** Siam Physics Congress 2006, March 2006, Chonburi, Thailand
9. Pr. Kerdthongmee, D. Srinoum and M. Nisoa, **Production of ozone by using atmospheric surface glow barrier discharge for post-harvest technology of fruits and vegetables,** Siam Physics Congress 2006, March 2006, Chonburi, Thailand
10. M. Nisoa, Pa. Kerdthongmee, Pr. Kerdthongmee, D. Srinoum, C. Tehsanu and J. Galakarn, **Development of a RF and DC Magnetron Sputtering Plasma for Material Processing,** Siam Physics Congress 2007, March 2007, Nakorn Pathom, Thailand
11. M. Nisoa, Y. Pianroj, Pa. Kerdthongmee, Pr. Kerdthongmee, N. Kuaklung and J. Galakarn, **Development of a Microwave System for Highly-Efficient Drying of Fish,** Siam Physics Congress 2007, March 2007, Nakorn Pathom, Thailand
12. M. Nisoa, C. Tehsanu, Pa. Kerdthongmee, Pr. Kerdthongmee, D. Srinoum, N. Kuaklung and J. Galakarn, **Development of Constant Current Source for Experimental Physics,** Siam Physics Congress 2007, March 2007, Nakorn Pathom, Thailand
13. Pa. Kerdthongmee, M. Nisoa, D. Srinoum, Pr. Kerdthongmee and J. Galakarn, **Development of a Compact Microwave Plasma Source for Material Processing,** Siam Physics Congress 2007, March 2007, Nakorn Pathom, Thailand

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. R. Sangkam, P. Wanichapichart, W. Taweepreeda, M. Nisoa and P. Kerdthongmee, ***Physical Properties of Chitosan Membranes Modified by Argon Plasmas***, Siam Physics Congress 2007, March 2007, Nakorn Pathom, Thailand
15. M. Nisoa, Pa. Kerdthongmee, D. Srinoum, Pr. Kerdthongmee and J. Galakarn, ***Production of Ozone by Using Atmospheric Surface Glow Barrier Discharges for Post-harvest Technology of Fruit and Vegetables***, 3<sup>rd</sup> International Conference on the Frontiers of Plasma Physics and Technology, March 2007, Bangkok, Thailand
16. Pa. Kerdthongmee, D. Srinoum, Pr. Kerdthongmee, K. Kuaklung, J. Galakarn, and M. Nisoa, ***Development of Compact Microwave Plasma Source for Material Processing***, 3<sup>rd</sup> International Conference on the Frontiers of Plasma Physics and Technology, March 2007, Bangkok, Thailand
17. M. Nisoa and et.al., ***Physics and Technology of Microwave: High-efficient use of energy for Thai industries***, Proceeding of the 33<sup>th</sup> congress on science and technology of Thailand, Thailand, October 2007
18. P. Kirdtongmee, M. Nisoa and et.al., ***Development of a microwave heating system for dried-process study***, Proceeding of the 33<sup>th</sup> congress on science and technology of Thailand, Thailand, October 2007
19. Pa. Kerdthongmee, D. Srinoum, Pr. Kerdthongmee, J. Galakarn, and M. Nisoa, ***Development of a Microwave Heating System using Slotted Waveguide Antenna***, Siam Physics Congress 2008, March 2008, Nakorn Ratchasima, Thailand
20. D. Srinoum, Pr. Kerdthongmee, J. Galakarn, Pa. Kerdthongmee, and M. Nisoa, ***Development of high-power solid state RF amplifier for SIAM synchrotron light source***, Siam Physics Congress 2008, March 2008, Nakorn Ratchasima, Thailand
21. Pr. Kerdthongmee, D. Srinoum, J. Galakarn, Pa. Kerdthongmee, and M. Nisoa, ***Development of Microwave system for undergraduate laboratory in physics and engineering***, Siam Physics Congress 2008, March 2008, Nakorn Ratchasima, Thailand
22. M. Nisoa and Pr. Kerdthongmee, ***Physics of Microwave for Undergraduate Laboratory***, Siam Physics Congress 2009, March 2009, Cha-am, Phetchburi, Thailand
23. A. Plodkeaw and M. Nisoa, ***Physics and Mathematical Modeling of RF Energy Absorption by Larvae in Rambutan Fruit***, Siam Physics Congress 2009, March 2009, Cha-am, Phetchburi, Thailand
24. D. Srinoum, M. Nisoa, P. Kerdthongmee and S. Cheedket, ***Development of 118 MHz High Power Solid State RF Amplifier For Siam Photon Source***, Siam Physics Congress 2009, March 2009, Cha-am, Phetchburi, Thailand
25. K. Meebunmak, P. Kerdthongmee and M. Nisoa, ***Microwave Vacuum Drying System for Swiftlet's Nest***, Siam Physics Congress 2009, March 2009, Cha-am, Phetchburi, Thailand
26. P. Kerdthongmee, D. Srinoum and M. Nisoa, ***Characteristics of Permanent-Magnet Compact Helicon Plasma Source***, Siam Physics Congress 2009, March 2009, Cha-am, Phetchburi, Thailand
27. Pr. Kerdthongmee and M. Nisoa, ***Development of Microwave Drying System for Rubber Wood***, Siam Physics Congress 2009, March 2009, Cha-am, Phetchburi, Thailand

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น. อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

28. A. Plodkeaw and M. Nisoa, *Physics and mathematical modeling of rf energy absorption by dielectric materials*, International Workshop on Plasma Diagnostics and Applications, July 2009, National Institute of Education NTU, Singapore
29. D. Srinoum, M. Nisoa, *Development of 13.56 MHz High Power Solid State RF Amplifier for plasma production*, International Workshop on Plasma Diagnostics and Applications, July 2009, National Institute of Education NTU, Singapore
30. M. Nisoa, D. Srinoum and Pr. Kerdthongmee, *Characteristics of atmospheric plasma jet produced by resonant inverter power supply*, International Workshop on Plasma Diagnostics and Applications, July 2009, National Institute of Education NTU, Singapore
31. Pr. Kerdthongmee and M. Nisoa, *Compact microwave plasma source for material processing*, International Workshop on Plasma Diagnostics and Applications, July 2009, National Institute of Education NTU, Singapore
32. P. Kerdthongmee, and M. Nisoa, *Microwave power system for plasma production*, International Workshop on Plasma Diagnostics and Applications, July 2009, National Institute of Education NTU, Singapore
33. หมุดคอตีบ หนิสอ, *การพัฒนาเทคโนโลยีไมโครเวฟเพื่อการอบแห้งประสิทธิภาพสูง*, การประชุมวิชาการของเครือข่ายการวิจัยสถาบันอุดมศึกษา ปี 2552
34. P. Kerdthongmee, and M. Nisoa, *Development of permanent-magnet compact helicon plasma source for ion beam breeding*, 10th International workshop on plasma-based ion implantation and deposition, National Institute for Space Research, Brazil, September 2009
35. P. Kerdthongmee, and M. Nisoa, *Development of permanent-magnet compact helicon plasma source for ion beam breeding*, 10th International workshop on plasma-based ion implantation and deposition, National Institute for Space Research, Brazil, September 2009
36. P. Kerdthongmee, D. Srinoum and M. Nisoa, *Design of Compact Permanent-Magnet Helicon Plasma Source for Ion Beam Breeding*, The 17th Annual Meeting of IAPS International Workshop 2010, Heaundae Centum Hotel, Busan
37. D. Srinoum, M. Nisoa and S. Chedket, *Development of 2 kW, 118 MHz RF Power Source by Power Combinations Technique Using in Synchrotron Light Radiation*, Siam Physics Congress 2010, March 2010, Kanchanaburi, Thailand
38. P. Kerdthongmee, D. Srinoum and M. Nisoa, *Development of Compact Helicon Plasma Source Generating at Very High Radio Frequency*, Siam Physics Congress 2010, March 2010, Kanchanaburi, Thailand
49. Pr. Kerdthongmee, K. Meebunmaak and M. Nisoa, *Development of Herb Microwave Drying System*, Siam Physics Congress 2010, March 2010, Kanchanaburi, Thailand
40. A. Plodkeaw and M. Nisoa, *S-Parameter to Measure the Complex Permittivity of Dielectric Material Model*, Siam Physics Congress 2010, March 2010, Kanchanaburi, Thailand

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

41. M. Nisoa, P. Kerdthongmee and D. Srinoum, *Plasma-enhanced magnetron-sputtered deposition of platinum on powdered activated carbon for microbial fuel cell electrodes*, The 17th Annual Meeting of IAPS International Workshop 2010, Heaundae Centum Hotel, Busan
42. P. Kerdthongmee, D. Srinoum and M. Nisoa, *Development of Compact Permanent Magnet Helicon Plasma Source for Plant Breeding*. International Workshop on Plasma Science and Applications 25-26 Oct. 2010, Xiamen, Fujian Province, China
43. M. Nisoa, D. Srinoum, P. Kerdthongmee and C. Sukkasem, *Plasma-enhanced magnetron sputtered deposition of Cobalt on natural fiber for microbial fuel cell electrodes*, International Workshop on Plasma Science and Applications 25-26 Oct. 2010, Xiamen, Fujian Province, China
44. M. Nisoa, P. Kerdthongmee, D. Srinoum, C. Umongno and D. Boonyawan, *Development of Cold Atmospheric Plasmas jet for Sterilization of Fruits and Packaging*, The 4th International Workshop on Plasma Application & Hybrid Functionally Materials, March 11-13, 2011, Convention Centre of Victoria University, Melbourne, Australia
45. Mudtorlep Nisoa, Priwan Kerdthongmee and Kesinee Meebunmaak, *Development of microwave technology for agricultural industry*, SIAM Physics Congress , 23 – 26 March 2011, Pattaya ( Invited talk)
46. Mudtorlep Nisoa, Dhammanoon Srinoum, Pansak Kerdthongmee and Chontisa Sukkasem, *Development of natural fiber electrodes for microbial fuel cell by magnetron plasma sputtering*, SIAM Physics Congress , 23 – 26 March 2011, Pattaya
47. Kesinee Meebunmaak, Priwan Kerdthongmee and Mudtorlep Nisoa, *Development of low-pressure microwave heating system for drying of swiftlet's nest*, SIAM Physics Congress , 23 – 26 March 2011, Pattaya
48. Pansak Kerdthongmee, Dhammanoon Srinoum and Mudtorlep Nisoa, *Characteristics of compact permanent magnet helicon plasma source generating at very high radio frequency*, SIAM Physics Congress , 23 – 26 March 2011, Pattaya
49. Dhammanoon Srinoum, Mudtorlep Nisoa and Pansak Kerdthongmee, *Development of 500 W, VHF Frequency RF power source using for helicon plasma*, SIAM Physics Congress , 23 – 26 March 2011, Pattaya
50. Priwan Kerdthongmee, Kesinee Meebunmaak and Mudtorlep Nisoa, *Large scale microwave heating system for drying of herbs*, SIAM Physics Congress , 23 – 26 March 2011, Pattaya
51. Apinan Plodkeaw and Mudtorlep Nisoa, *Simulation of microwave propagation in multimode cavity mounted with antenna array*, SIAM Physics Congress , 23 – 26 March 2011, Pattaya
52. M. Nisoa, D. Srinoum and C. tesanu, *Development of RF technology for plasma applications*, First Asian Workshop on Plasma Technology, 11 - 12 August 2011, Chiangmai, Thailand.
53. P. Kerdthongmee, D. Srinoum and M. Nisoa, *Development of compact permanent magnet helicon plasma source for ion beam bioengineering*, First Asian Workshop on Plasma Technology, 11 - 12 August 2011, Chiangmai, Thailand.

54. Narumol Matan, Nirundorn Matan, Mudtorlep Nisoa, *Antifungal activity of an areca palm (Areca Catechu) leaf sheath treated with low pressure RF plasma in volatile clove oil atmospheres*, European Symposium on Food Safety, Warsaw, Poland 21-23 May 2012
55. Kitiya Suhem, Narumol Matan, Mudtorlep Nisoa, Nirundorn Matan, *Control of Aspergillus flavus in brown rice cereal using air plasma jet treatment*, European Symposium on Food Safety, Warsaw, Poland 21-23 May 2012
56. Praphatsorn Jaroenkit, Narumol Matan, Mudtorlep nisoa, *Control of food-borne pathogens in semi dried round scad fish (Decapterus maruadsi) using UV-C irradiation*, International Conference on Agriculture and Agro-Industry (food, health and trade), Mae Fah Luang University, Chiang Rai, 19-20 November 2010, Thailand
57. Kitiya Suhem, Narumol Matan, Mudtorlep Nisoa, Nirundorn Matan, *Effect of low pressure RF plasma on mineral content and other quality parameters of rice snack bar*, International Food Conference 2011, Surabaya, Indonesia, 28-29 October 2011
58. Kitiya Suhem, Narumol Matan, Mudtorlep Nisoa, Nirundorn Matan, *The impact of a rice breakfast on the body mass index and grade point average of primary school children in Thailand. International*, Conference on Food Science and Nutrition Kota Kinabalu, Sabah, Malaysia 1-4 April 2012
59. Apinun Plodkeaw and Mudtorlep Nisoa, *3D simulations of microwave field in multimode cavity for industrial microwave by Meep*, Siam Physics Congress SPC2012, 9-12 May 2012, Phranakhon Si Ayutthaya, Thailand
60. Arthit Panna, Apinun Plodkeaw and Mudtorlep Nisoa, *Design of waveguide for high efficiency of microwave power transfer*, Siam Physics Congress SPC2012, 9-12 May 2012, Phranakhon Si Ayutthaya, Thailand
61. Praiwan Kerdtongme, and Mudtrolep Nisoa, *Microwave heating systems for weevil control*, Siam Physics Congress SPC2012, 9-12 May 2012, Phranakhon Si Ayutthaya, Thailand
62. M. Nisoa, D. Srinoum and C. tesanu, Na Matan and Ni Matan, *Development of RF technology for cold atmospheric plasma jet productions*, Siam Physics Congress SPC2012, 9-12 May 2012, Phranakhon Si Ayutthaya, Thailand
63. Mudtorlep Nisoa, Thammanoon Srinuam, Chalerm Tehsanu Narumol Matan, Nirundorn Matan, *Development of cold atmospheric plasma jet for sterilization of foods*, Advanced Plasma Technology for Green Energy an Medical Applications (APT2012) จ. เชียงใหม่ ระหว่างวันที่ 24 - 26 สิงหาคม 2555
64. Narumol Matan, Mudtorlep Nisoa, Nirundorn Matan, *Synergistic effect of atmospheric argon plasma treatment on antibacterial activity of volatile clove oil against Escherichia coli*, Advanced Plasma Technology for Green Energy an Medical Applications (APT2012) จ. เชียงใหม่ ระหว่างวันที่ 24 - 26 สิงหาคม 2555
65. Kitiya Suhem, Narumol Matan, Mudtorlep Nisoa, Nirundorn Matan, *Modeling of atmospheric plasma effect on germination of Aspergillus flavus based on response surface methodology*, Advanced Plasma Technology for Green Energy an Medical Applications (APT2012) จ. เชียงใหม่ ระหว่างวันที่ 24 - 26 สิงหาคม 2555

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

66. Narumol Matan, Saifon Phothisuwan, Mudtorlep Nisoa, Nirundorn Matan, **Combined effects of using essential oils and argon plasma on the antifungal activities of an areca palm (*Areca catechu*) leaf sheath**, International conference on microbial taxonomy, basic and applied microbiology, 4-6 October 2012, Khon Kaen, Thailand
67. Kitiya Suhem, Narumol Matan, Mudtorlep Nisoa, Nirundorn Matan, **Effects of atmospheric argon plasma, infrared-radiation, and UV-C radiation on the germination of *Aspergillus flavus***, International conference on microbial taxonomy, basic and applied microbiology, 4-6 October 2012, Khon Kaen, Thailand
68. Narumol Matan, Mudtorlep Nisoa and Nirundorn Matan, **Enhancement in antibacterial activity of essential oil using atmospheric pressure plasma**, International conference on antimicrobial research, 21-23 November 2012, Lisbon, Portugal
69. Narumol Matan, Mudtorlep Nisoa and Nirundorn Matan, **Enhancement of antifungal activity by using essential oil and atmospheric RF plasma on the surface of cellulose based food packaging**, International symposium for plasma biosciences-2013, 27-29 June, Jeju, South Korea
70. M. Nisoa, C. tesanu, K. Suhem, Na Matan and Ni Matan, **Characteristics of atmospheric plasma brush and its applications in biotechnology**, Siam Physics Congress SPC2013, 21-23 March 2013, Chiang Mai, Thailand
71. Praiwan Kerdtongmee, S. Sommano and Mudtorlep Nisoa, **Development of microwave heating system for Jasmine essential oil extraction technology**, Siam Physics Congress SPC2013, 21-23 March 2013, Chiang Mai, Thailand
72. Arlee Tamman, Thawatchai Onjun and Mudtorlep Nisoa, **Preliminary study of plasma focus for  $^{18}\text{F}$  production**, Siam Physics Congress SPC2013, 21-23 March 2013, Chiang Mai, Thailand
73. D. Boonthum, A. Panna and M. Nisoa, **Measurement of high-power microwave in cavity by using loop antenna and water load**, Siam Physics Congress SPC2013, 21-23 March 2013, Chiang Mai, Thailand
74. M. Nisoa, C. tesanu, K. Suhem, Na Matan and Ni Matan, **Atmospheric plasma brushes and their applications in food technology**, International conference on plasma science and application 2013, 4-6 December 2013, Singapore (Invited talk)
75. Arlee Tamman, Mudtorlep Nisoa and Thawatchai Onjun, **Preliminary Studies of small Plasma Focus for  $^{18}\text{F}$  Production**, International conference on plasma science and application 2013, 4-6 December 2013, Singapore (Poster)
76. M. Nisoa, C. tesanu, K. Suhem, Na Matan and Ni Matan, **Current status of atmospheric cold plasma sources for agricultural application**, Siam Physics Congress SPC2014, 26-29 March 2014, Nakhon Ratchasima, Thailand (Oral)
77. M. Nisoa, Pr. Kerdtongmee, A. Panna, A. Plodkeaw and S. Cheedket, **Engineering physics research: a case study of high-efficient microwave heating technology for agricultural applications**, Siam Physics Congress SPC2014, 26-29 March 2014, Nakhon Ratchasima, Thailand (Poster)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

76. Arlee Tamman, Thawatchai Onjun and Mudtorlep Nisoa, *Plasma Focus Capability used as an ion source*, Siam Physics Congress SPC2014, 26-29 March 2014, Nakhon Ratchasima, Thailand (Poster)
77. D. Boonthum, A. Panna and M. Nisoa, *Measurement of high-power microwave in cavity by using monopole antenna*, Siam Physics Congress SPC2014, 26-29 March 2014, Nakhon Ratchasima, Thailand (Poster)

### 3.1.3 ผลงานวิชาการอื่นๆ

#### 3.1.3.1 รายงานการวิจัย

1. หมุดตอเล็บ หนิสอ และคณะ, *การพัฒนาไอออนบีมสำหรับการเขาระงับในโซลาร์เซลล์แบบกลับแกนวิเศษที่ 1*, 1 พฤศจิกายน 2545 ถึง 30 กรกฎาคม 2548, สกว., 145 หน้า
2. หมุดตอเล็บ หนิสอ และคณะ, *การพัฒนากระบวนการกำเนิดไอออนโดยใช้เทคนิค Barrier discharge สำหรับการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวอะลูมิเนียม และฟอสฟอรัสของกลุ่มเกษตรกรในจังหวัดนครราชสีมาและสุราษฎร์ธานี*, 1 มิถุนายน 2547 ถึง 1 มิถุนายน 2548, สกอ., 176 หน้า
3. หมุดตอเล็บ หนิสอ และคณะ, *การพัฒนาไอออนบีมสำหรับการเขาระงับในโซลาร์เซลล์แบบกลับแกนวิเศษที่ 2*, 15 กันยายน 2548 ถึง 15 กันยายน 2549, สกว., 172 หน้า
4. หมุดตอเล็บ หนิสอ และคณะ, *การพัฒนาเครื่องอบแห้งโดยใช้คลื่นไมโครเวฟเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมทำปลาแห้งของเกษตรกรขนาดเล็กอยู่ในเขตจังหวัดนครราชสีมา*, 1 เมษายน 2548 ถึง 30 มิถุนายน 2549, สกอ., 63 หน้า
5. หมุดตอเล็บ หนิสอ และคณะ, *การพัฒนาไอออนบีม ความหนาแน่น และความคมสูง ของอะตอมธาตุต่างๆ*, 15 กันยายน 2549 ถึง 15 กันยายน 2550, สกว., 180 หน้า
6. หมุดตอเล็บ หนิสอ และคณะ, *การพัฒนากระบวนการทำปลาแห้งแห้งกึ่งอัตโนมัติด้วยคลื่นไมโครเวฟ*, 4 มิถุนายน 2550 ถึง 30 ตุลาคม 2551, สกอ., 75 หน้า
7. หมุดตอเล็บ หนิสอ และคณะ, *การพัฒนากระบวนการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟเพื่อใช้ในเครื่องทำอาหารสัตว์อัตโนมัติ*, มิถุนายน 51 – สิงหาคม 52, บริษัท ไทรอิมพีเอ็นเจเนียร์ริง, 43 หน้า
8. หมุดตอเล็บ หนิสอ และ คณะ, *การพัฒนาเครื่องกำเนิดคลื่นวิทยุเพื่อกำเนิดพลาสมาในการทำความสะอาดอุปกรณ์การแพทย์*, ต.ค. 51 – ต.ค. 52, วช., 41 หน้า
9. หมุดตอเล็บ หนิสอ และคณะ, *การพัฒนาชุดขยายคลื่นวิทยุโซลิตสเตนแบบมอดูเลชันความถี่ 118 เมกะเฮิร์ต ขนาด 2.5 กิโลวัตต์*, พ.ย. 50 – พ.ย. 52, สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน, 68 หน้า
10. หมุดตอเล็บ หนิสอ และคณะ, *เครื่องแยกสปอร์ของราจากเมล็ดข้าวด้วยเทคโนโลยีไซโคลนและพลังงานไมโครเวฟ*, มิ.ย. 52 – ก.พ. 53, วช., 5 หน้า
11. หมุดตอเล็บ หนิสอ และคณะ, *การพัฒนาเทคโนโลยีคลื่นวิทยุและคลื่นไมโครเวฟเพื่อการประยุกต์ทางสัณฐานวิทยา*, ก.พ. 52 – ก.พ. 53, ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์ สกอ., 50 หน้า
12. หมุดตอเล็บ หนิสอ และคณะ, *การพัฒนาแหล่งกำเนิดไอออนบีมความหนาแน่นสูงเพื่อการปรับปรุงพันธุ์พืชและการปรับปรุงเมมเบรน*, ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์ สกอ., 24 หน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า. ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.1.3.2 สิทธิบัตร

1. พันธุ์ศักดิ์ เกิดทองมี หมุดดอเล็บ หนิสอ และคณะ, เครื่องอบรังนกแอนด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ความดันต่ำ, ยื่นคำขอรับสิทธิบัตรการประดิษฐ์ต่อกรมทรัพย์สินทางปัญญาเมื่อวันที่ 24 มิถุนายน 2551 เลขที่คำขอ 0801003222

### 3.1.3.2 อนุสิทธิบัตรและสิทธิบัตร

1. ไพรวลัย เกิดทองมี หมุดดอเล็บ หนิสอ และคณะ, เครื่องให้ความร้อนนมถั่วเหลืองด้วยคลื่นไมโครเวฟ, อนุสิทธิบัตรเลขที่ 6562, 5 กันยายน 2554 - วันที่ 6 กันยายน 2559
2. ไพรวลัย เกิดทองมี หมุดดอเล็บ หนิสอ และคณะ, เครื่องอบแห้งลูกเดือยสำหรับแปรรูปด้วยคลื่นไมโครเวฟ, อนุสิทธิบัตรเลขที่ 8004, 8 เมษายน 2556 - วันที่ 12 มีนาคม 2561
3. ไพรวลัย เกิดทองมี หมุดดอเล็บ หนิสอ และคณะ, เครื่องให้ความร้อนวัสดุผสมยางก่อนขึ้นรูปด้วยคลื่นไมโครเวฟ, ยื่นคำขอรับอนุสิทธิบัตรการประดิษฐ์ต่อกรมทรัพย์สินทางปัญญาเมื่อวันที่ 13 ธันวาคม 2553 เลขที่คำขอ 1003001271

### 3.2 ประเภทหนังสือ ตำรา เอกสารคำสอน

1. หมุดดอเล็บ หนิสอ, ฟิสิกส์ 1, วิชา 1201-101 ฟิสิกส์ 1, 99 หน้า
2. หมุดดอเล็บ หนิสอ, ฟิสิกส์ 2, วิชา 1201-103 ฟิสิกส์ 2

### 3.3 บทความวิชาการ-

### 3.4 บทความทั่วไป

1. วิทยาศาสตร์รอบตัว: น้ำตอนที่ 1, วารสาร science world, ปีที่ 1, ฉบับที่ 1, พฤษภาคม 2548, บริษัทบงกช พับลิชชิ่ง จำกัด
1. วิทยาศาสตร์รอบตัว: น้ำตอนที่ 1, วารสาร science world, ปีที่ 1, ฉบับที่ 1, พฤษภาคม 2548, บริษัทบงกช พับลิชชิ่ง จำกัด
2. วิทยาศาสตร์รอบตัว: น้ำตอนที่ 2, วารสาร science world, ปีที่ 1, ฉบับที่ 2, มิถุนายน 2548, บริษัทบงกช พับลิชชิ่ง จำกัด
3. วิทยาศาสตร์รอบตัว: น้ำตอนที่ 3, วารสาร science world, ปีที่ 1, ฉบับที่ 3, กรกฎาคม 2548, บริษัทบงกช พับลิชชิ่ง จำกัด
4. วิทยาศาสตร์รอบตัว: แสงตอนที่ 1, ธรรมชาติของแสง, วารสาร science world, ปีที่ 1, ฉบับที่ 4, สิงหาคม 2548, บริษัทบงกช พับลิชชิ่ง จำกัด
5. วิทยาศาสตร์รอบตัว: แสงตอนที่ 2 เมื่อแสงเป็นคลื่น, วารสาร science world, ปีที่ 1, ฉบับที่ 5, กันยายน 2548, บริษัทบงกช พับลิชชิ่ง จำกัด
6. วิทยาศาสตร์รอบตัว: แสงตอนที่ 3 เมื่อแสงเป็นอนุภาค, วารสาร science world, ปีที่ 1, ฉบับที่ 6, ตุลาคม 2548, บริษัทบงกช พับลิชชิ่ง จำกัด
7. วิทยาศาสตร์รอบตัว: ฟิสิกส์ของการทำปลาแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ, วารสาร science world, ปีที่ 2, ฉบับที่ 19, พฤศจิกายน 2549, บริษัทบงกช พับลิชชิ่ง จำกัด
8. วิทยาศาสตร์รอบตัว: โอโซน, วารสาร science world, ปีที่ 2, ฉบับที่ 20, ธันวาคม 2549, บริษัทบงกช พับลิชชิ่ง จำกัด

### 3.5 งานวิชาการประเภทอื่นๆ (เช่น สิ่งประดิษฐ์ สิทธิบัตร ฯลฯ) -

- 3.5.1 ชุดทดลองเพื่อศึกษาฟิสิกส์และเทคโนโลยีไมโครเวฟ
- 3.5.2 ชุดทดลองเพื่อศึกษาภาวของพาราเดย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4. งานวิชาการในปัจจุบัน

การกำเนิดพลาสมาที่ความดันบรรยากาศ, การกำเนิดและควบคุมไอออนความหนาแน่นสูง, การวัดคุณสมบัติพลาสมา และ Plasma modeling, การพัฒนาเทคโนโลยีพลาสมาสำหรับสิ่งแวดล้อมและการเกษตร การศึกษาฟิสิกส์ของDust plasma การพัฒนาฟิสิกส์และเทคโนโลยีไมโครเวฟ การพัฒนาแบบจำลองของอันตรกิริยาระหว่างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ากับวัสดุ

#### 5. รางวัลและทุนที่เคยได้รับ

2529 - 2533	ทุนโครงการ พสวท.
2534 - 2535	ทุน Monbusho ของรัฐบาลญี่ปุ่น
2536 – 2537	ทุน บริษัทกระจกอาฮาชิ ของญี่ปุ่น
2538 – 2542	ทุนโครงการ พสวท.
2549	ทุนช่วยเหลือทางด้านวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มูลนิธิโทเร เพื่อการส่งเสริมวิทยาศาสตร์ ประเทศไทย
2551	รางวัลอาจารย์ดีเด่นด้านการวิจัยประจำปีการศึกษา 2550 ของมหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
2555	รางวัลขวัญใจมหาชน คน มวล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้