รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การประดิษฐ์เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลประเภทชนิดเดียว p-type $CuCrO_2$ และวัดค่าการผันพลังงานไฟฟ้าจากความร้อน

Invention of uni p-type $CuCrO_2$ thermoelectric module and measurement of energy conversion of electric from heat

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชรษฐา รัตนพันธ์

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2558
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์

การประดิษฐ์เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลประเภทชนิดเดียว p-type $CuCrO_2$ และวัดค่าการผันพลังงานไฟฟ้าจากความร้อน

Invention of uni p-type $CuCrO_2$ thermoelectric module and measurement of energy conversion of electric from heat

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เชรษฐา รัตนพันธ์

สขพมู.....
เลขทะเบียน 142203
วัน.เดือน.ปี 27 เมย. 2559

b 12769782
i.....

ได้รับทุนสนับสนุนงานวิจัยจากเงินงบประมาณเงินรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2558
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) **การประดิษฐ์เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลประเภทชนิดเดียว p-type $CuCrO_2$ และวัดค่าการผันพลังงานไฟฟ้าจากความร้อน**

แหล่งเงิน **งบประมาณเงินรายได้ประจำปี 2558 คณะวิทยาศาสตร์**

ประจำปีงบประมาณ **2558** จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน **200,000** บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย **1** ปี ตั้งแต่ **1 ต.ค. 2557** ถึง **30 ก.ย. 2558**

1) หัวหน้าโครงการวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เชรษฐา รัตนพันธ์

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะ วิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

2) ผู้ร่วมวิจัย

ดร.เอนก เจริญภักดี

คณะ วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

60 หมู่ที่ 3 ถนนสายเอเซีย ตำบลหันตรา พระนครศรีอยุธยา พระนครศรีอยุธยา 13000

3) ผู้ร่วมวิจัย

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.หมุดดอเล็บ หนิสอ

สำนักวิชาวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์ 222 ตำบลไทยบุรี อำเภอท่าศาลา

นครศรีธรรมราช 80160

บทคัดย่อ

โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดประเภทขาเดี่ยวชนิต p-type ถูกประดิษฐ์จากสารประกอบ $CuCrO_2$ ซึ่งได้สังเคราะห์ขึ้นในการวิจัยนี้ด้วยวิธีปฏิกิริยาสถานะแข็ง โดยสารประกอบดังกล่าวแสดงสมบัติการเป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก มีค่าสัมประสิทธิ์ซิเบคเป็นบวกซึ่งแสดงถึงการเป็น วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิด p-type มีค่าสัมประสิทธิ์ซิเบคตั้งแต่ 950 μV/K จนถึง 620 μV/K ค่าสภาพการนำไฟฟ้า มีค่าระหว่าง 0.01 S/cm ถึง 1 S/cm ค่าสภาพนำความร้อนมีค่าประมาณ 8.5 W/mK ถึง 5.5 W/mK ที่อุณหภูมิ 300 K ถึง 600K และ ZT มีค่ามากที่สุด เป็น 0.0014 ที่อุณหภูมิ 550 K โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกขนาด 9 ขาได้ถูกประดิษฐ์ขึ้นโดยต่อวงจรแบบอนุกรมแบบวัสดุชนิดเดี่ยว มีค่าการผันไฟฟ้า ได้ค่ากระแส 0.99 mA และค่าแรงดันไฟฟ้า 4.7 μV ที่ผลต่างอุณหภูมิ 35 °C

คำสำคัญ : $CuCrO_2$เดลาฟอสไซท์; เทอร์โมอิเล็กทริกโมดู; โมอิเล็กทริกประเภทขาชนิดเดี่ยว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Research Title: Invention of uni p-type $CuCrO_2$ thermoelectric module and measurement of energy conversion of electric from heat

Researcher: Asists.Prof.Dr.Chesta Ruttanapun

Faculty: Science **Department:** Physics

ABSTRACT

The uni p-type thermoelectric module was invented from $CuCrO_2$ delafossite compound which was synthesized by a solid-state reaction method in this work. The compound displayed thermoelectric properties with showed the positive sign of Seebeck coefficient as p-type thermoelectric material. The Seebeck coefficient is ranged of 950 μV/K to 620 μV/K, the electrical conductivity ranged of 0.01 S/cm ถึง 1 S/cm and the thermal conductivity ranged of 8.5 W/mK to 5.5 W/mK with temperatures range of 300 K to 600K. The ZT was maximum 0.0014 at the temperatures 550 K. The thermoelectric module was invented from 9 legs with series circuit for electric conduction by uni p-type module. The energy conversion of the module was 0.99 mA for Current and 4.7 μV for voltage at temperature difference 35 °C

Keywords : $CuCrO_2$ Delafossite; Thermoelectric module; Single type thermoelectric.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง จากแหล่งทุนทุนอุดหนุนการวิจัย งบประมาณเงินรายได้ คณะวิทยาศาสตร์ ประเภทงานวิจัยเชิงบูรณาการและพาณิชย์ ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญรูป V

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 6

1.3 ขอบเขตของการวิจัย 6

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย 6

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 7

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 8

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 8

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 11

3.1 วิธีการดำเนินการวิจัย 11

บทที่ 4 ผลการวิจัย 15

4.1 การตรวจสอบโครงสร้างผลึก 15

4.2 สมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริก 15

4.3 ผลการวัดค่าการผลิตไฟฟ้าของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก 19

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 20

5.1 สรุปผลการวิจัย 20

5.2 ข้อเสนอแนะ 20

เอกสารอ้างอิง 21

ภาคผนวก 22

ภาคผนวก ก 22

ประวัตินักวิจัย 31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

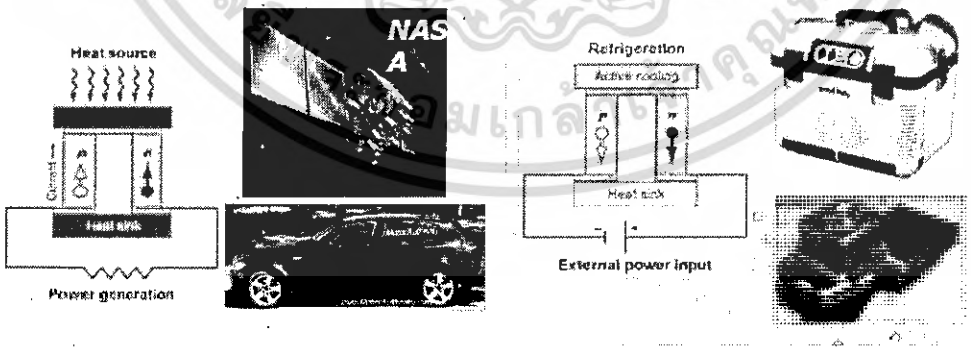
รูปที่	หน้า
1.1 แสดงการประยุกต์ใช้งานของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก	2
1.2 (ก) แสดงโมดูลของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก (ข) แสดงโครงสร้างขององค์ประกอบของ p-n โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก 1 โมดูลของเทอร์โมอิเล็กทริก (ค)แสดงโครสร้างโมดูลของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกหลาย p-n โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก	3
1.3 แสดงการออกแบบโมดูลของเทอร์โมอิเล็กทริกในรูปแบบต่างๆกัน	4
1.4 (ก) อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกสร้างไฟฟ้าจากความร้อนท่อไอเสียรถยนต์(ข) อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกสร้างไฟฟ้าจากท่อน้ำร้อนและท่อน้ำเย็นเหลือทิ้ง	5
2.1 โครงสร้างของสารประกอบตระกูลเดลาฟอสไซด์	8
2.2 ค่าสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริกของสารประกอบ $CuCrO_2$ และดัวถูกโด๊ป	9
2.3 เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลแบบหรือ p-type เพียงเดียว	10
3.1 แสดงบล็อกอัดสารทรงกระบอก เครื่องอัดสาร (Hydraulic) และ เม็ดสารที่อัดขึ้นรูปเป็นทรงกระบอกขนาน	12
4.1 ผงและตัวอย่างสารประกอบ $CuCrO_2$ ที่ผ่าน Calcine และ Sinter	15
4.2 กราฟ XRD ของสารตัวอย่าง $CuCrO_2$ ที่ผ่านการสังเคราะห์	16
4.3 Seebeck coefficient ของ $CuCrO_2$	16
4.4 Electrical conductivity ของ $CuCrO_2$	17
4.5 Thermal conductivity ของ $CuCrO_2$	18
4.6 Figure of Merit (ZT) ของ $CuCrO_2$	18
4.7 โมดูล เทอร์โมอิเล็กทริก ขนาด 9 ขา และการวัดการผลิดไฟฟ้าของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก	19

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

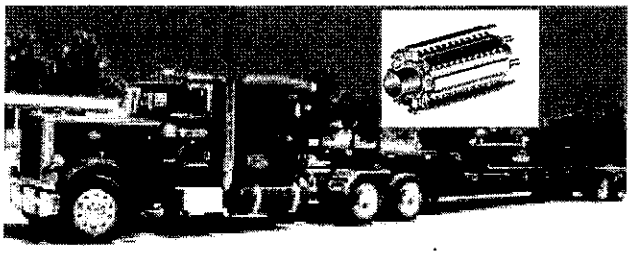
วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกเป็นวัสดุที่สามารถผันพลังงานความร้อนที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิที่เกิดขึ้นบนวัสดุเป็นพลังงานไฟฟ้าได้โดยตรงทันทีในตัวเอง และยังสามารถสร้างปรากฏการณ์ผันกลับได้ คือการสร้างความแตกต่างอุณหภูมิให้เกิดกับวัสดุได้เมื่อมีการให้พลังงานไฟฟ้าแก่วัสดุนั้น ในการประยุกต์ใช้งานของเทอร์โมอิเล็กทริก สามารถประยุกต์ใช้งานได้หลากหลาย เช่นประยุกต์เทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อเป็นตัวกำเนิดไฟฟ้าจากความร้อนในท่อไอเสียรถยนต์ และ ผลิตพลังงานไฟฟ้าให้กับดาวเทียมโดยใช้ความร้อนจากปฏิกิริยานิวเคลียร์ ดังแสดงในรูปที่ 1.1 (ก) ประยุกต์เทอร์โมอิเล็กทริกในด้านความเย็น โดยสร้างตู้เย็นขนาดเล็กที่พกพาเคลื่อนที่ได้ โดยใช้พลังงานไฟฟ้าจากการแบตเตอรี และใช้สำหรับการระบายความร้อนในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ดังแสดงในรูปที่ 1.1 (ข) ประยุกต์เทอร์โมอิเล็กทริกสร้างไฟฟ้าจากความร้อนจากแสงแดด โดยการรวมความร้อนจากแสงแดดไปยังอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก ดังแสดงในรูปที่ 1.1 (ค) ประยุกต์เทอร์โมอิเล็กทริกเป็นตัวกำเนิดไฟฟ้าจากความร้อนในท่อไอเสียรถบรรทุก ดังแสดงในรูปที่ 1.1 (ง) ประยุกต์เทอร์โมอิเล็กทริกเป็นตัวกำเนิดไฟฟ้าให้กับนาฬิกาโดยอาศัยความร้อนจากผิวหนังของมนุษย์ ดังแสดงในรูปที่ 1.1 (จ) ประยุกต์เทอร์โมอิเล็กทริกเพื่อเป็นตัวกำเนิดไฟฟ้าจากความร้อนแสงแดดแทนเซลล์แสงอาทิตย์ ดังแสดงในรูปที่ 1.1 (ช)



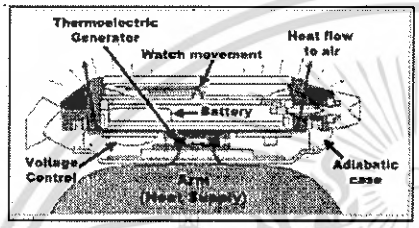
(ก) (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

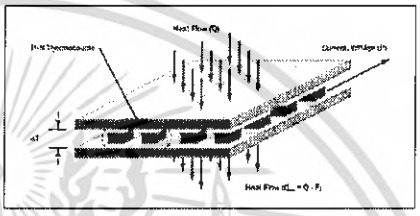
(ค)



(ง)



(จ)



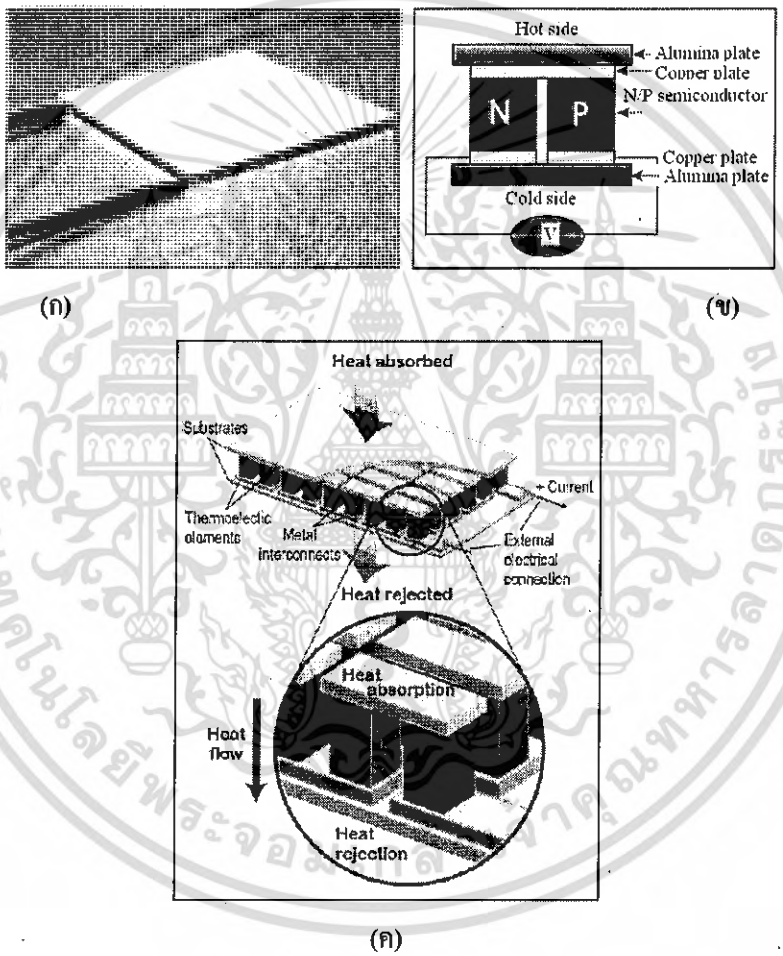
(ช)

รูปที่ 1.1 แสดงการประยุกต์ใช้งานของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก

จากการประยุกต์ของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกที่ได้กล่าวมาข้างต้นนั้น วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกใช้หลักการผ่านปรากฏการณ์การสร้างไฟฟ้าจากความต่างของอุณหภูมิในวัสดุ เรียกว่าปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck effect) ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์เป็นตัวกำเนิดไฟฟ้าได้ (Thermoelectric Generator) ส่วนปรากฏการณ์การสร้างความต่างของอุณหภูมิจากพลังงานไฟฟ้าว่านั้น เรียกว่าปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier effect) ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์เป็นตัวทำความเย็น (thermoelectric cooler) สำหรับปรากฏการณ์ซีเบคนั้นจะมีค่าคงที่ของวัสดุซึ่งเป็นสัดส่วนระหว่างความต่างศักย์ไฟฟ้ากับผลต่างของอุณหภูมิ เรียกว่า สัมประสิทธิ์ซีเบค โดยมีค่าทั้งบวกและลบ ขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุของเทอร์โมอิเล็กทริก ดังเช่นในวัสดุสารกึ่งตัวนำจะมีสัมประสิทธิ์ ซีเบคเป็นบวกสารกึ่งตัวนำชนิด p-type และ สัมประสิทธิ์ซีเบคเป็นลบสารกึ่งตัวนำชนิด n-type สำหรับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่ประดิษฐ์เป็นตัวกำเนิดไฟฟ้าหรือตัวทำความเย็นนั้นจะประดิษฐ์ขึ้นจากโมดูลของเทอร์โมอิเล็กทริกที่ประกอบขึ้นจากเซลล์เทอร์โมอิเล็กทริกหลายๆเซลล์ ดังแสดงในรูปที่ 1.2(ก) โดยโมดูลของเทอร์โมอิเล็กทริก 1 โมดูลจะประดิษฐ์จากวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกที่ประกอบด้วยขา(เซลล์)ที่เป็นชนิด n-type และขา(เซลล์)ที่เป็นชนิด p-type อย่างละ1 ขา(เซลล์) มาเชื่อมต่อกันด้วยแผ่นตัวนำบาง เช่น แผ่นทองแดง สำหรับให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่านได้สะดวก จากนั้นประกบด้านบนและล่างด้วยแผ่นเซรามิค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บางเพื่อเป็นตัวดูดซับหรือคายความร้อนให้ไหลผ่านโมดูลของเทอร์โมอิเล็กทริกได้ดีและเสริมความแข็งแรง ได้เป็นอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก p-n เทอร์โมอิเล็กทริก 1 โมดูล ดังแสดงในรูปที่ 1.2(ข) และในการประดิษฐ์อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่มีโมดูลประกอบจำนวนมากนั้น สร้างได้โดย นำ p-n โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกจำนวนหลายๆอันมาต่ออนุกรม ดังแสดงในรูปที่ 1.2(ค)

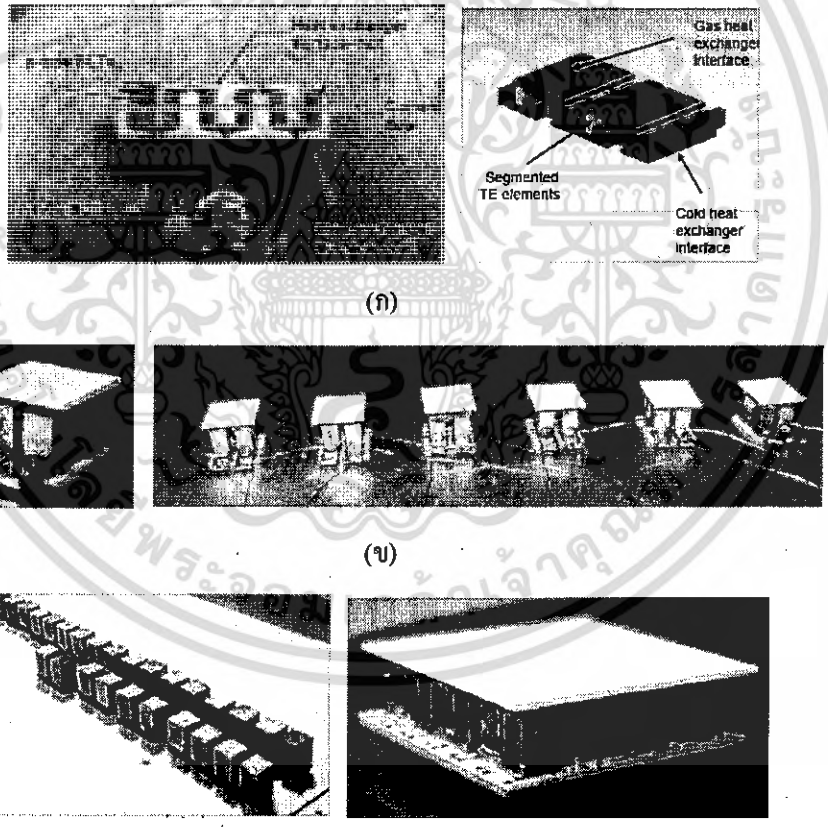


รูปที่ 1.2 (ก) แสดงโมดูลของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก **(ข)** แสดงโครงสร้างขององค์ประกอบของ p-n โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก 1 โมดูลของเทอร์โมอิเล็กทริก **(ค)**แสดงโครสร้างโมดูลของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกหลาย p-n โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประยุกต์ในปรากฏการณ์ซีเบคนั้น สามารถนำวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกมาประดิษฐ์เป็นตัวกำเนิดพลังงานไฟฟ้าจากความร้อน ดังนั้นจึงสามารถนำมาใช้ผันไฟฟ้าจากความร้อนที่เหลือทิ้งหรือความร้อนส่วนเกินจากกิจกรรมประจำวันของมนุษย์ เช่น ความร้อนจากท่อไอเสียรถยนต์ ความร้อนจากหมอต้มน้ำความร้อนสูง ความร้อนจากร่างกายมนุษย์ หรือแม้แต่ความร้อนที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ความร้อนจากแสงแดด ความร้อนจากน้ำพุร้อน ความร้อนจากดินหรือความร้อนที่เกิดจากสภาวะโลกร้อน

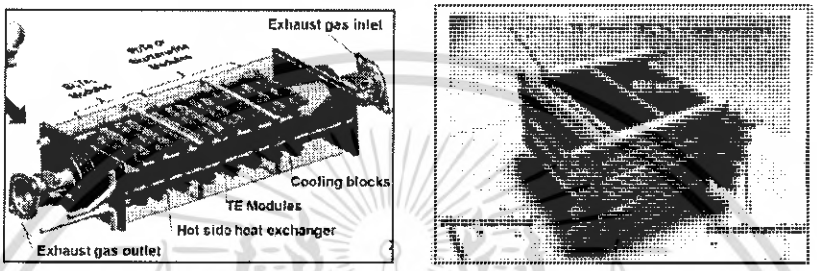
สำหรับการสร้างอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก เพื่อเป็นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากความร้อน สามารถออกแบบและสร้างอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกในรูปทรง แบบต่างๆ ที่ประกอบขึ้นจาก p-n โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก ดังแสดงในรูปที่ 1.3



รูปที่ 1.3 แสดงการออกแบบโมดูลของเทอร์โมอิเล็กทริกในรูปแบบต่างๆกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อได้โมดูลของเทอร์โมอิเล็กทริกแล้วก็สามารถนำมาสร้างเป็นอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกประยุกต์สำหรับการใช้งานในแบบต่างๆ เช่น อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกผันไฟฟ้าจากความร้อนท่อไอเสียดังแสดงในรูปที่ 1.4(ก) และอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกสร้างไฟฟ้าจากท่อน้ำร้อนและท่อน้ำเย็นเหลือทิ้งจากโรงงานดังแสดงในรูปที่ 1.4(ข)



(ก) (ข)

รูปที่1.4 (ก) อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกสร้างไฟฟ้าจากความร้อนท่อไอเสียรถยนต์
(ข) อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกสร้างไฟฟ้าจากท่อน้ำร้อนและท่อน้ำเย็นเหลือทิ้ง

วัสดุที่แสดงความเป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกนั้น มีค่าบ่งชี้ความเป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก คือค่า $ZT = \sigma S^2 T/K$ เมื่อ S คือ สัมประสิทธิ์ซีเบค, σ คือ ค่าสภาพความนำไฟฟ้า K คือ ค่าสภาพความนำความร้อน และ T คือ ค่าอุณหภูมิ โดยวัสดุที่มีค่า ZT สูงก็แสดงความเป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกสูง คือสามารถผันพลังงานไฟฟ้าได้สูงตามไปด้วย โดยค่า ZT จะมีค่าสูงเมื่อวัสดุมีค่าของ S และ σ มีค่าสูงมาก แต่สำหรับค่า K ต้องมีค่าน้อยมาก และวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกควรสามารถใช้งานที่อุณหภูมิ (T) สูงได้ด้วย (ไม่หลอมละลายที่จุดอุณหภูมิทำงาน หรือไม่หลอมละลายที่ความร้อนเหลือทิ้ง)

ประสิทธิภาพของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกของตัวผันไฟฟ้าจากความร้อน(thermoelectric generator) พิจารณาจากสัดส่วนระว่างพลังงานไฟฟ้าที่ได้กับพลังงานความร้อนที่ป้อนเข้าไป เขียนความสัมพันธ์ของ ประสิทธิภาพของตัวเทอร์โมอิเล็กทริกตัวผันไฟฟ้าความร้อน(η) ได้เป็น

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

เมื่อ P_{out} คือ พลังงานไฟฟ้าที่ได้ออกมา และQ_{in} คือพลังงานความร้อนที่ให้เข้าไป

สำหรับอุปกรณ์ thermoelectric generator พลังงานไฟฟ้าที่ได้ออกมาจะวัดเป็นค่า แรงดันไฟฟ้า และค่ากระแสไฟฟ้า โดยพลังงานไฟฟ้าที่ผันได้จะขึ้นอยู่กับการเลือกชนิดวัสดุ และความต่างของอุณหภูมิที่ป้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้แก่อุปกรณ์ ยิ่งป้อนผลต่างอุณหภูมิให้แก่อุปกรณ์สูงขึ้นก็จะได้ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงขึ้น และเมื่อสร้างอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกโดยใช้จำนวน p-n โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกที่มีจำนวนมากขึ้น จะได้แรงดันไฟฟ้าสูงขึ้นตามด้วย สำหรับอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกที่มีจำนวน p-n โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกจำนวนมากได้แสดงในรูปที่ 1.3

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1) เพื่อสังเคราะห์สารประกอบ $CuCoO_2$

2) เพื่อศึกษาสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริกของสารประกอบ $CuCoO_2$

3) เพื่อนำผลการวิจัยที่ได้ไปนำเสนอในงานวิชาการระดับชาติ

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1) ทำการสังเคราะห์สารประกอบ เดลาฟอสไซท์ $CuCrO_2$ ด้วยวิธีsolid state reaction

2) ทำการวัดสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกของสารประกอบที่ได้สังเคราะห์ขึ้น

3) ทำการสร้างต้นแบบโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกแบบชนิดเดียว Uni-type จากสารประกอบ $CuCrO_2$

4) ทำการวัดประสิทธิ์ภาพการผันไฟฟ้าจากความร้อนของโมดูล

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

ประกอบด้วย 4 ขั้นตอนดังนี้

1) <u>การสังเคราะห์สารประกอบ $CuCrO_2$</u>

ทำการสังเคราะห์ด้วยวิธีปฏิกิริยาสถานะของแข็ง จากสารตั้งต้น CuO และ Cr_2O_3 ตามสูตรเคมี

$$2CuO + Cr_2O_3 \longrightarrow 2CuCrO_2 + (½)O_2$$

มีกระบวนการสังเคราะห์เริ่มจากนำสารตั้งต้นชั่งน้ำหนักสูตร ผสมโดยการหมุนบดแบบ ball milling ที่มีเม็ดเซอร์โคเนียร์ ให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยส่วนผสมทั้งหมดอยู่ภายในขวดพลาสติกที่มีของเหลวแอลกอฮอล์ช่วยให้เนื้อผสมกันดีขึ้น จากนั้นนำผงที่ผ่านการหมุนบดไป หลังจากนั้นนำไปขึ้นรูปเม็ดยาแล้ว sinter อีกที่อุณหภูมิ 1100 C เป็นเวลา 6 ชม.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) ตรวจสอบโครงสร้างผลึกและวัดค่าสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริก

ก่อนที่จะทำการสังเคราะห์สารประกอบ $CuCrO_2$ ในปริมาณมาก สำหรับประกอบโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกนั้น ในเบื้องต้นจะต้องยืนยันความถูกต้องของเฟสโครงสร้าง $CuCrO_2$ ก่อนว่าสามารถสังเคราะห์ได้จริงโดยเทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray powder diffraction; XRD) จากนั้นนำไปวัดค่าสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริก วัดค่าสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริกที่อุณหภูมิสูง ซึ่งประกอบด้วยค่า Seebeck coefficient, Electrical conductivity, Thermal conductivity ด้วย เครื่องวัด ULVAC-RIKO ZEM-3 และ the ULVAC SINKU RIKO Inc. model: TC-7000 laser-flash

3) ทำการประดิษฐ์โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก

ทำการประกอบโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก โดยในการวิจัยนี้จะสร้างเทอร์โมอิเล็กทริกแบบชนิดเดียว Uni- type ชนิด p-type เพราะสารประกอบ $CuCrO_2$ ที่ไม่ได้เจือจะแสดงสมบัติสารกึ่งนำชนิดบวก ในการประกอบโมดูลทำได้โดยการนำสารที่สังเคราะห์ได้จากข้อ 2 มาทำการตัดเป็นดังรูปข้างล่าง แล้วต่อขั้วระหว่างขา ด้วยแผ่นทองแดงบาง จากนั้นประกบด้านบนและล่างบนแผ่นเซรามิคบาง ดังแสดงในรูปข้างล่าง

15 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1) ได้สังเคราะห์และศึกษาสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริกของสารประกอบ $CuCoO_2$

2) ได้เป็นองค์ความรู้ใหม่สามารถนำไปเสนอในงานวิชาการต่างๆได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

วัสดุเทอร์ที่มีศักยภาพที่จะนำมาสร้างเป็นอุปกรณ์โมอิเล็กทริกนั้นมีหลายชนิดด้วยกันซึ่งมีทั้งที่เป็นสารประกอบนำไฟฟ้าชนิด n-type และ p-type [1-3]ได้แก่

Classic thermoelectric materials ได้แก่สารประกอบ n-Bi_2Te_3, p-Sb_2Te_3, p-PbTe, n-PbTe, p-SiGe และ n-SiGe

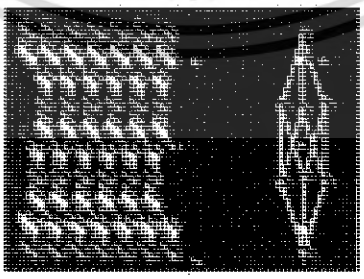
Skutterudites compound ได้แก่สารประกอบ $CoAs_3$, $CoSb_3$, $Ce_{0.9}Fe_3CoSb_{12}$, $La_{0.9}Fe_3CoSb_{12}$, $Ba_yCo_4Sb_{12}$, p-type $Ce_{0.28}Fe_{1.5}Co_{2.5}Sb_{12}$ และ n-$Ba_{0.30}Ni_{0.05}Co_{3.95}Sb_{12}$

Metal Oxide compounds ได้แก่

สารประกอบตระกูล **Perovskite oxide** [$NaCo_2O_4$, $Ca_3Co_4O_9$, $Bi_2Sr_2O_4$, $SrTiO_3$]

สารประกอบตระกูล **Delafossite oxide** [$CuFeO_2$, $CuCrO_3$, $CuInO_2$]

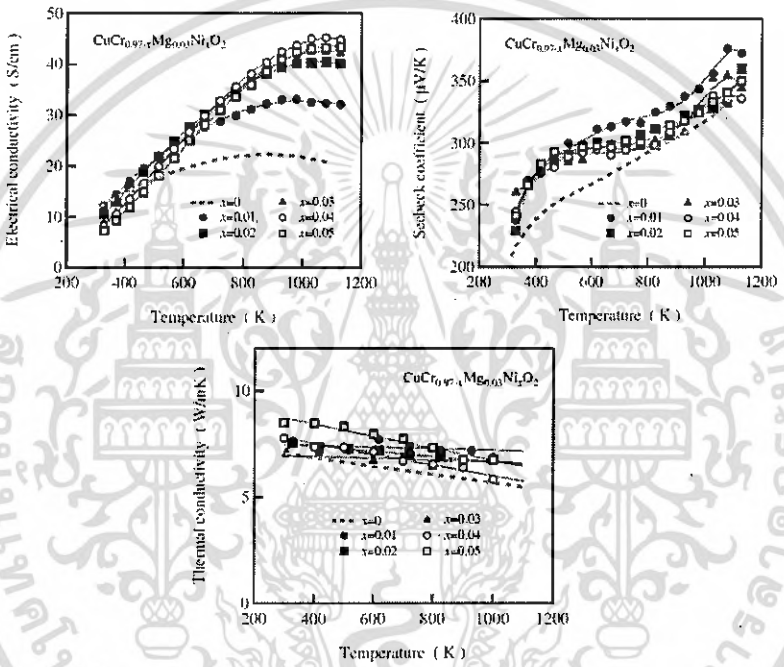
ในงานวิจัยนี้สนใจวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกในของสารประกอบออกไซด์ในโครงสร้างของดีลาฟอสไซท์ (Delafossite) [4-9] โดยสารประกอบดีลาฟอสไซท์มีสูตรทั่วไปคือ ABO_2 และ สูตรทางเคมีคือ $A^+B^{3+}(O^{2-})_2$ โครงสร้างสร้างมีอิออน A ที่เป็นได้ก็คือ Cu^+, Ag^+, Pt^+ และ Pd^+ และอิออน B^{3+} นั้นที่เป็นได้มี 4 กลุ่ม คือ 1) Trivalent transition metals ได้แก่ Cr, Mn, Fe, Co, Ni, Rh 2) Group III metal elements ได้แก่ Sc, Y, La 3) Group 13 metal elements ได้แก่ Al, Ga, In, Tl และ 4) Rare earth elements ได้แก่ Pr, Nd, Sm, Eu ดังนั้นสูตรเคมีของสารประกอบชนิดชนิดนี้ จึงมีได้หลายสูตรเช่น $CuAlO_2$ $CuBO_2$ $CuCrO_2$, $PdCoO_2$ และ $PtCoO_2$ โดยโครงสร้างผลึกของประกอบออกไซด์ ดีลาฟอสไซด์นั้น มี unit cell เป็นแบบ hexagonal ของ space group (R3m) และ มี primitive cell เป็นแบบ Rhombohedral ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่2.1 โครงสร้างของสารประกอบตระกูลเดลาฟอสไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในบทความของ Duncan [10] ได้รายงานว่า สารประกอบออกไซด์ $CuCrO_2$ ซึ่งเป็นสารประกอบประเภท delafossite แสดงสมบัติการนำไฟฟ้าชนิด p-type และแสดงสมบัติการเป็นวัตุเทอร์อิเล็ทริกที่สูง โดยมีค่า *ZT* 0.1 ที่ อุณหภูมิ 700 C ซึ่งเป็นสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริกในระดับที่สูงพอสามารถสร้างเป็นโมดูลเทอร์อิเล็กทริกได้ K. Hayashi[11] ได้รายงานสมบัติของค่า σ S และ κ ดังนี้ σ มีค่า ประมาณ 10 ถึง 20 S/cm Sมีค่า ประมาณ 200 ถึง 350 uV/K และκ ประมาณ 6 ถึง 7 W/mK ที่อุณหภูมิ 250 ถึง 1100 K และได้รายงานการผลจากการโด๊ปด้วย Mg และ Ni ดังแสดงในรูปที่

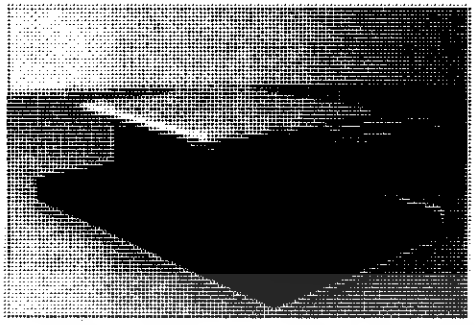


รูปที่2.2 ค่าสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริกของสารประกอบ $CuCrO_2$ และตัวถูกโด๊ป

ในการสังเคราะห์สารประกอบดีลาฟอสไซด์ R. D. Shannon [14] รายงานว่าสามารถเตรียมได้หลายวิธีได้แก่ วิธีHydrothermal Reactions, วิธีMetathetical Reactions, วิธีSolid-state Reactions และ วิธี Oxidizing Flux Reactions สำหรับ สารประกอบ $CuCrO_2$ นั้น มีงานวิจัยของ[11-13] รายงานว่า สารมารถเตรียมได้จากวิธีSolid-state Reactions จากสารตั้งต้น Cu_2O และ Cr_3O_2 ทำการเผาที่อุณหภูมิ 1100 C

สำหรับการประยุกต์ใช้ประโยชน์จากสารประกอบสารประกอบ $CuCrO_2$ นั้น มีรางานวิจัยว่ามีการนำไปประยุกต์เป็นวัสดุเป็นขั้วไฟฟ้าโปร่งแสงชนิด p-type [15]และยังมีนำไปประยุกต์เป็นเซนเซอร์วัดก๊าซโอโซน แต่สำหรับการนำวัสดุดังกล่าวมาสร้างโมดูลเทอร์ไมอิเล็กทริกนั้นยังไม่มีการรายงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลแบบหรือ p-type เพียงเดียว

ในการสร้างโมดูลของเทอร์โมอิเล็กทริกนั้นจะต้องใช้วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก 2ชนิด มาประกอบกันชนิด n-type และชนิด p-type แต่ในปัจจุบันนั้นการพัฒนาเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลนั้น มีการศึกษา วิจัย พัฒนา เป็นโมดูลที่ใช้สารประกอบเพียงชนิดเดียว อาจเป็น n-type หรือ p-type เพียงอย่างเดียว แต่ในไม่กี่ปีที่ผ่านมานั้น Nemoto และคณะ[16]ได้ทำการประดิษฐ์โมดูลของเทอร์โมอิเล็กทริก แบบชนิดเดียว (Uni-type) จากสารประกอบ Mg_2Si ชนิด n-type โดยการประดิษฐ์โมดูลของเทอร์โมอิเล็กทริกแบบดังกล่าวนี้จะลดปัญหาการขยายตัวทางความร้อนที่ไม่เท่ากันของ ขา N และ P และลดปัญหาการหาวัสดุที่ไม่เท่ากันทางด้านค่า สภาพนำไฟฟ้าและซีเบค และ สภาพนำความร้อน ซึ่งมีผลด้านการลดประสิทธิภาพการผันไฟฟ้าของอุปกรณ์

จากหลักการข้างต้นที่กล่าวมานั้น จะเห็นได้ว่าสารประกอบ $CuCrO_2$ มีศักยภาพการเป็นสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริกในระดับที่สูงพอสามารถสร้างเป็นโมดูลเทอร์อิเล็กทริกได้และการโมดูลของเทอร์โมอิเล็กทริกนั้นสามารถประดิษฐ์ได้จากวัสดุชิดนำไฟฟ้าชนิดเดียวได้

ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จึงสนใจสร้างต้นแบบเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูลแบบชนิดเดียว Uni-type นำไฟฟ้าชนิด p-type จากสารประกอบ $CuCrO_2$ โดยสังเคราะห์จากวิธี Solid-state Reactions

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 การสังเคราะห์สารประกอบ

การสังเคราะห์สารประกอบ $CuCrO_2$ ใช้วิธี solid state reaction โดยมีขั้นตอนการสังเคราะห์ ดังนี้

- เริ่มต้นจากสารเคมีตั้งต้น CuO และ Cr_2O_3 แล้วทำการสังเคราะห์ตามสูตรเคมี

$$2CuO + Cr_2O_3 \longrightarrow 2CuCrO_2 + (½)O_2$$

กระบวนการสังเคราะห์เริ่มต้นจากการนำสารตั้งต้นที่เป็นผงชั่งตามสัดส่วนโมลและผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วนำมาบรรจุในขวดพลาสติกเพื่อหมุนด้วยระบบหมุนผสมบด ball milling ที่มีเม็ดเซอร์โคเนียร์ เป็นตัวบดอยู่ภายในขวดและมีแอลกอฮอล์ช่วยในการบด จากนั้นนำผงเคมีที่ถูกผสมบดเปียกด้วยแอลกอฮอล์ไปอบจนได้ผงเคมีที่แห้งสนิท นำผงไปที่อบแห้งแล้วเผา *calcine* ที่อุณหภูมิ 1100 C เป็นเวลา 6 ชม. หลังจากนั้นนำไปขึ้นรูปเป็นเม็ด และ แท่งลูกบาศก์ 4 เหลี่ยมเพื่อเผา sinter ที่อุณหภูมิ 1100 C เป็นเวลา 12 ชม.

จากนั้น ตรวจสอบโครงสร้างผลึกโดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray powder diffraction; XRD) เพื่อยืนยันความถูกต้องของเฟส delafossite โดยผล XRD และวัดสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กประกอบด้วยค่า สภาพการนำความร้อน สภาพการนำไฟฟ้า และ สัมประสิทธิ์ซีเบค

3.2 การขึ้นรูปแท่งเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้า

ในการสังเคราะห์แท่งเทอร์โมอิเล็กทริกผลิตไฟฟ้ามีขั้นตอนดังนี้

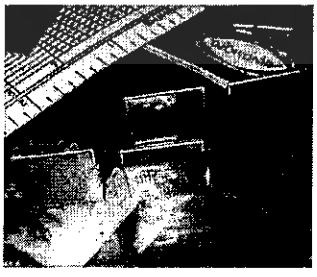
นำสารประกอบ $CuCrO_2$ จากข้อ 3.1 มาบดเป็นเม็ดละเอียดผสม PVA ความเข้มข้น 5% ด้วยอัตราส่วน 1 กรัมต่อ 1 หยด แล้วนาสารประกอบข้างต้น จานวน 5 กรัม มาขึ้นรูปโดยนำผงสารประกอบใส่ลงในบล็อกอัดขึ้นรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12mm แล้วอัดด้วยเครื่องอัดสาร (Hydraulic) ที่แรงดัน 250 kg/cm^2 เป็นเวลา 5 นาที เมื่ออัดสารเสร็จจะได้เป็นแท่งทรงกระบอกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 12mm สูง 11 mm แล้วนำแท่งสารเข้าเตาเผาที่อุณหภูมิ 1050 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่3.1 แสดงบล็อกอัดสารทรงกระบอก เครื่องอัดสาร (Hydraulic) และ เม็ดสารที่อัดขึ้นรูปเป็นทรงกระบอกขนาด

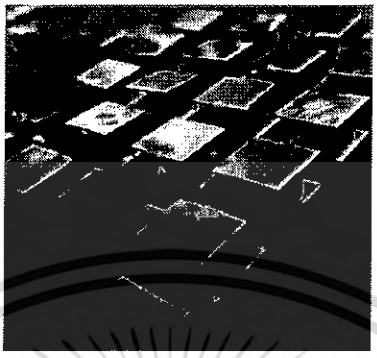
3.3 การประกอบโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก

1. นำแผ่นสแตนเลสมาทาการตัดและดัดเป็นรูปตัว z ให้ได้ขนาดที่ต้องการเพื่อเป็นขั้วไฟฟ้าดังรูปข้างล่าง



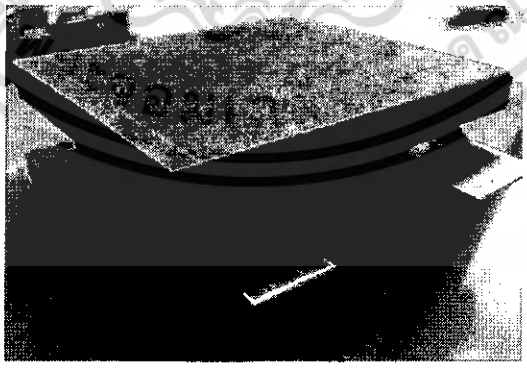
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.นำแผ่นสแตนเลสมาประกอบเข้ากับแท่งผลิตไฟฟ้าดังรูปข้างล่าง



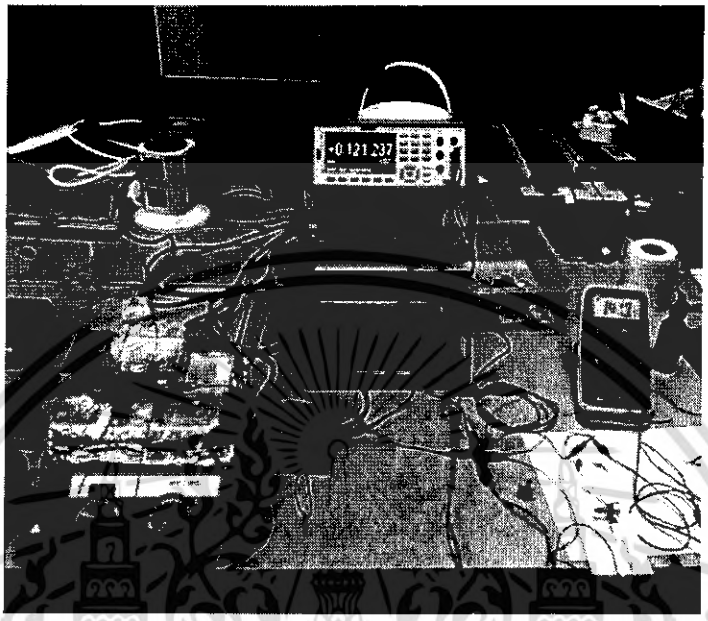
3.ทำการเชื่อมด้วยเลเซอร์กำลังสูงเพื่อประกอบด้วยแท่งนำไฟฟ้าเข้ากับขั้วไฟฟ้า ดังรูปข้างล่าง

4.นำโมดูลมาประกอบเข้ากับแผ่นซิลิกอนคาไบด์ ทั้งด้านบนและด้านล่างของโมดูลเพื่อตัวรับความร้อนและใช้กาว Fiber Adhesive หยึดติดโมดูลกับแผ่นซิลิกอนคาไบด์ ดังรูปข้างล่าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.ทำการวัดค่าการผลิตไฟฟ้าของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก ดังรูปข้างล่าง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลการวิจัย

ผลการดำเนินงานในการการสังเคราะห์สารประกอบ $CuCrO_2$ ด้วยวิธี solid state reaction มีขั้นตอนการสังเคราะห์ จากสารเคมีดั้งต้น CuO และ Cr_2O_3 แล้วทำการสังเคราะห์ตามสูตรเคมี

$$2CuO + Cr_2O_3 \longrightarrow 2CuCrO_2 + (½)O_2$$

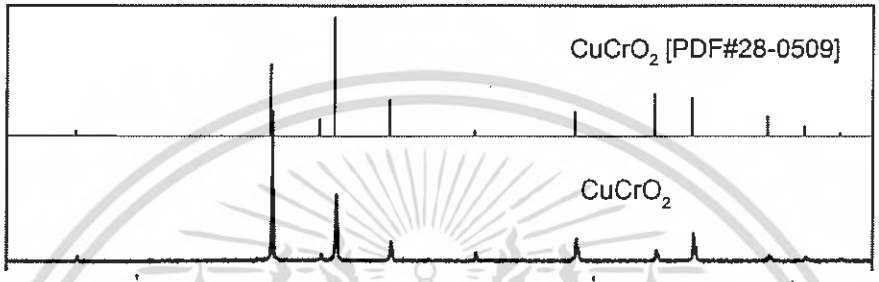
กระบวนการสังเคราะห์เริ่มต้นจากการนำสารดั้งต้นที่เป็นผงชั่งตามสัดส่วนโมลและผสมให้เป็นเนื้อเดียวกัน แล้วนำมาบรรจุในขวดพลาสติกเพื่อหมุนด้วยระบบหมุนผสมบด ball milling ที่มีเม็ดเซอร์โคเนียร์ เป็นตัวบดอยู่ภายในขวดและมีแอลกอฮอล์ช่วยในการบด จากนั้นนำผงเคมีที่ถูกผสมบดเปียกด้วยแอลกอฮอล์ไปอบจนได้ผงเคมีที่แห้งสนิท นำผงไปที่อบแห้งแล้วเผา *calcine* ที่อุณหภูมิ 1100 C เป็นเวลา 6 ชม. หลังจากนั้นนำไปขึ้นรูปเป็นเม็ด และ แท่งลูกบาศก์ 4 เหลี่ยมเพื่อเผา sinter ที่อุณหภูมิ 1100 C เป็นเวลา 12 ชม. สารประกอบที่ได้จากการเผาแสดง ดังรูปที่ 4.1

รูปที่4.1 ผงและตัวอย่างสารประกอบ $CuCrO_2$ ที่ผ่าน Calcine และ Sinter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 การตรวจสอบโครงสร้างผลึก

นำสารประกอบที่ผ่านการ sinter ไปตรวจสอบโครงสร้างผลึกโดยใช้เทคนิคการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ (X-ray powder diffraction; XRD) เพื่อยืนยันความถูกต้องของเฟส delafossite โดยผล XRD แสดงดังรูปที่4.2

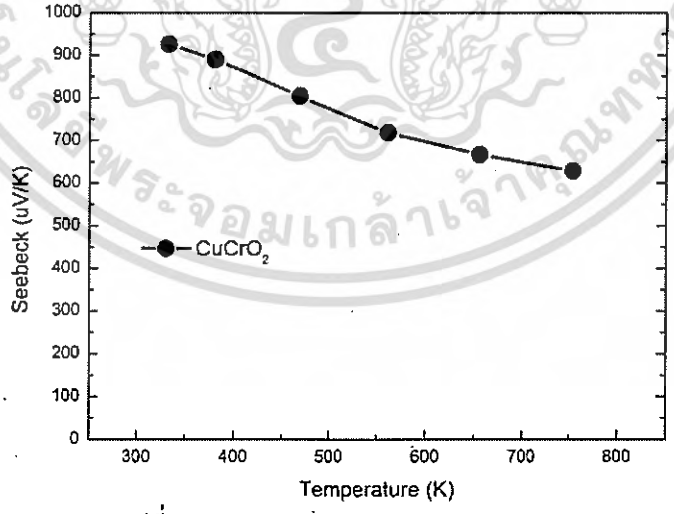


รูปที่ 4.2 กราฟ XRD ของสารตัวอย่าง $CuCrO_2$ ที่ผ่านการสังเคราะห์

จากกราฟแสดงเฟสของสารประกอบ CuCrO2 ยืนยันว่าสามารถสังเคราะห์สารประกอบ $CuCrO_2$ ได้

4.2 **สมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริก**

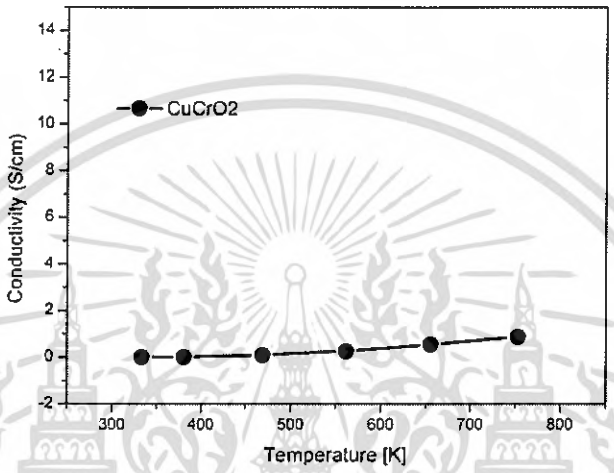
ค่าสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกนั้นประกอบด้วยค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค (Seebeck coefficient: S) สภาพการนำไฟฟ้า (Electrical conductivity: σ) และ thermal conductivity (K)



รูปที่ 4.3 Seebeck coefficient ของ $CuCrO_2$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปค่า S ของสารประกอบ $CuCrO_2$ ที่ได้สังเคราะห์ขึ้น ได้ถูกวัดค่าในช่วงของอุณหภูมิ 300 K ถึง 750 K ค่า S มีค่าตั้งแต่ 950 uV/K ที่ อุณหภูมิ 300 K จนถึง 620 uV/K ที่ อุณหภูมิ 750 K เป็นค่าทางเทอร์โมอิเล็กทริกที่สูงมากและทุกช่วงอุณหภูมิค่าของ S มีค่าเป็นบวก แสดงว่าสารประกอบ $CuCrO_2$ แสดงสมบัติของเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดบวก

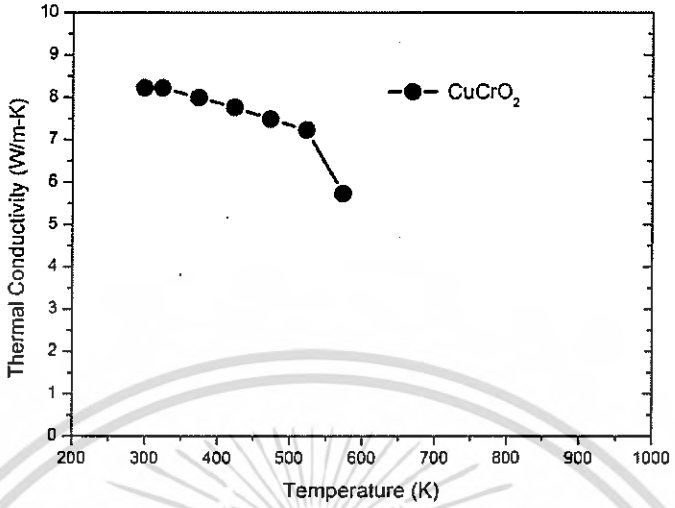


รูปที่ 4.4 Electrical conductivity ของ $CuCrO_2$

สำหรับค่าสภาพนำไฟฟ้า (σ) ของสารประกอบ $CuCrO_2$ ที่สังเคราะห์นั้น ค่า σ ได้ถูกวัดในช่วงของอุณหภูมิ 330 K ถึง 760 K จากกราฟค่าของσ เพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ โดยค่าของ σ มีค่าตั้งแต่ 0.01 S/cm ที่อุณหภูมิ 330 K จนถึง 1 S/cm ที่ อุณหภูมิ 760 K ซึ่งค่าดังกล่าวนั้นเป็นค่าที่แสดงการนำไฟฟ้าแบบสารกึ่งตัวนำ

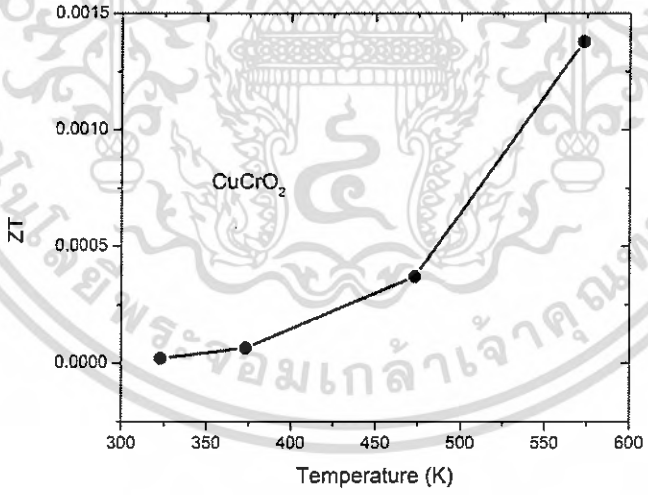
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

142203



รูปที่ 4.5 Thermal conductivity ของ $CuCrO_2$

ค่าสภาพนำความร้อน (**Thermal conductivity ของ *K***) ของสารประกอบ $CuCrO_2$ ที่สังเคราะห์ซึ่งมีมีค่าประมาณ 8.5 W/mK ถึง 5.5 W/mK ที่อุณหภูมิ 300 K ถึง 600K



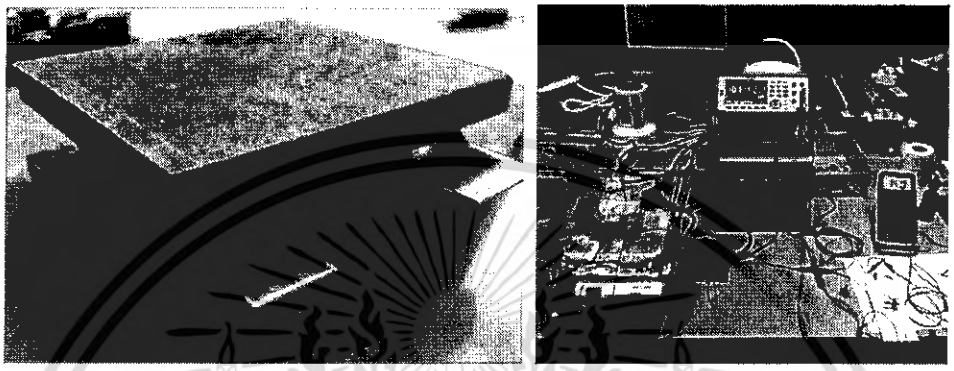
รูปที่ 4.6 Figure of Merit (ZT) ของ $CuCrO_2$

ค่า dimension less Figure of Merit (ZT) ของสารประกอบ $CuCrO_2$ ที่สังเคราะห์ขึ้น มีค่ามากที่สุดในการทดลองนี้ คือ 0.0014 ที่อุณหภูมิ 550 K

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 ผลการวัดค่าการผลิตไฟฟ้าของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก

ผลการแสดงดังตารางที่ 4.7



รูปที่ 4.7 โมดูล เทอร์โมอิเล็กทริก ขนาด 9 ขา และการวัดการผลิตไฟฟ้าของโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก

ตารางที่ 1 แสดงค่าของศักย์และกระแสไฟฟ้าที่เกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างอุณหภูมิบนโมดูล

T high (C)	T low (C)	delta T (C)	Volt (uV)	I (mA)
140	12	128	48.7	10.1224
130	14	116	46.7	9.7002
120	16	104	31.3	6.492
110	15	95	10.3	2.1502
100	15	85	1.4	0.309
90	14	76	2.9	0.5355
80	15	65	5.2	1.0639
70	15	55	5	1.0505
60	16	44	5.5	1.1615
50	7	43	2.9	0.6087
40	5	35	4.7	0.9876

ผลจากตารางจะเห็นได้ว่าโมดูลสามารถผลิตไฟฟ้าได้เมื่อผลต่างของอุณหภูมิเกิด โดยจะมีค่าความต่างศักย์และค่ากระแสไฟฟ้า เพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีความแตกต่างอุณหภูมิสูงขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้ทำการสังเคราะห์สารประกอบ $CuCrO_2$ ด้วยวิธีปฏิกิริยาของแข็ง จากสารตั้งต้น CuO และ Cr2O3 เผาผนึกที่อุณหภูมิ 1050 C เพื่อประดิษฐ์โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริก โดยวัดลักษณะเฉพาะการเป็นสารประกอบ $CuCrO_2$ ด้วยวิธี XRD และวัดสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกประกอบด้วยค่า ความนำไฟฟ้า ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค และค่าสภาพนำความร้อน โดยวัดตามอุณหภูมิตั้งแต่ 300 C จนถึง 750 C

จากผลการตรวจสอบด้วย XRD ยืนยันได้ว่า วิธีปฏิกิริยาของแข็งสามารถสังเคราะห์สารประกอบ $CuCoO_2$ ชนิด และมีสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริก ที่มีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคแสดงตัวนำชนิดบวก และมีค่าลดลงตามการเพิ่มของอุณหภูมิ (มีค่าตั้งแต่ 950 uV/K ที่ อุณหภูมิ 300 K จนถึง 620 uV/K ที่ อุณหภูมิ 750 K) ค่าสภาพการนำไฟฟ้า มีค่าเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ มีค่าระหว่าง ตั้งแต่ 0.01 S/cm ที่ อุณหภูมิ 330 K จนถึง 1 S/cm ที่ อุณหภูมิ 760 K ค่าสภาพนำความร้อนมีค่าคงที่กับอุณหภูมิ มีค่าประมาณ 8.5 W/mK ถึง 5.5 W/mK ที่อุณหภูมิ 300 K ถึง 600K และ ZT ของ CuCrO2 มีค่ามากที่สุด คือ คือ 0.0014 ที่อุณหภูมิ 550 K

เมื่อนำมาประดิษฐ์เป็นโมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกขนาด 9 ขา ที่มีการต่อวงจรแบบอนุกรมแบบวัสดุชนิดเดี่ยว มาทำการวัดค่าการผันนำไฟฟ้า ได้ค่ากระแส 0.99 mA และค่าแรงดันไฟฟ้า 4.7 uV ที่ผลต่างอุหหภูมิ 35 C จะเห็นได้ว่า ค่า กระแส และค่า แรงดันไฟฟ้ามีค่าเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของค่าผลต่างอุณหภูมิ ตาค่ายังมีค่าน้อยมากตืออยู่ในระกับ ไมโครโวล์ และ มิลลิแอมป์

5.2 ข้อเสนอแนะ

สารประกอบ CuCrO2 ที่สังเคราะห์แสดงความเป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก ที่มีค่า า ZT ต่ำกว่า 0.1 จึงทำให้ค่าการผันความร้อนเป็นไฟฟ้าได้ค่าที่น้อยมาก ดังนั้นจึงควรปรับวัสดุดังกล่าวให้มีค่า ZT ให้สูงขึ้นอีก ซึ่งจะส่งให้ค่าการผันพลังงานได้ค่าสูงขึ้นอีก

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] G. S. Nolas, J. Sharp and H. J. Goldsmind, "Thermoelectric basic principles and new materials developments", Germany, Spinger, 2011.

[4] เชรษฐา รัตนพันธ์, วิทยานิพนธ์ปรัชญาดุษฎีบัณฑิต, "Thermoelectric properties at high temperature of $CuFeO_2$ Delafossite compound doped with Pt, Al, Sn and Pb", สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2554.

[5] T. Kajitani, T. Nozaki and K. Hayashi, Advances in Science and Technology, 74(2010) 66–71.

[6] M. A. Marquardt, N.A. Ashmore, D.P. Cann, Thin Solid Films 496 (2006) 146–156.

[7] M. Beekman, J. Salvador, X. Shi, G.S. Nolas, J. Yang, J. Alloy Compd. 489 (2010) 336–338.

[8] V. Eyert, R. Frésard, A. Maignan, Phys. Rev. B 78 (2008) 052402.

[9] K. Hayashi, T. Nozaki, T. Kajitani, Jpn. J. Appl. Phys. 46 (2007) 5226–5229.

[10] D. W. Bruce, D. O. Hare and R. I. walon, "Functional oxides", John wiley and Sond Ltd, Publication 2010, United Kingdom.

[11] K. Hayashi,K. Sato, T. Nozaki, T. Kajitani, J.J. Appl. Phys. 47 2008, 59-63.

[12] S. Kim, J. Lee, J. Kim, Y. Heo, Current Applied Physics (2012), doi:10.1016/j.cap.2012.05.010.

[13] Shu Zhou, XiaodongFang, ZanhongDeng, DaLi, WeiweiDong, RuhuaTao , GangMeng, TaoWang, XuebinZhu, Journal of Crystal Growth 310 (2008) 5375–5379.

[14] R. D. SHANNOX, D. B. ROGERS, C. T. PREWITT, *Inorganic Chemistry, Vol. 10, No. 4, 1971* **713**

[15] Michael Snure and Ashutosh Tiwari, Applied Physics Letters 91, (2007) 092123 .

[16]T. Nemoto, T. Iida, J. Sato, T Skamoto, N. Hirayama, T. Nakajima, Y. Takanashi, J. Elec. Mat. 42, 2013.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

บทความเผยแพร่ระดับนานาชาติ

1) **C. Ruttanapun**, A. Charoenphakdee, M. Nisoa, P. Muthitamongkol, C. Thanachayanont, and S Maensiri, "**Effect of Strong Correlation of Mg^{2+}-doped into Cr^{3+} Sites of $CuCrO_2$ on Thermoelectric Properties**", *Integrated Ferroelectrics*, 165: , 2015, Accepted. **(IF:0.371)**

4) Poster ที่จัดแสดงในงานนิทรรศการวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

701xml GINF_A_1062679 June 26, 2015 16:0

Integrated Ferroelectrics, 165:1–8, 2015
Copyright © Taylor & Francis Group, LLC
ISSN: 1058-4587 print / 1607-8489 online
DOI: 10.1080/10584587.2015.1062679

Taylor & Francis

Effect of Strong Correlation of Mg^{2+}-doped into Cr^{3+} Sites of $CuCrO_2$ on Thermoelectric Properties

CHESTA RUTTANAPUN,[1,*] ANEK CHAROENPHAKDEE,[2] MUDTORLEP NISOA,[3] PENNAPA MUTHITAMONGKOL,[4] CHANCHANA THANACHAYANONT,[4] AND SANTI MAENSIRI[5]

[1]Department of Physics, Faculty of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Ladkrabang, Bangkok 10520, Thailand
[2]Thermoelectrics and Nano Technology Research Center, Faculty of Science and Technology, Rajamangala University of Technology Suvarnabhumi, Asian Highway, Huntra Phranakhon Si Ayutthaya 13000, Thailand
[3]Plasma Technology for Agricultural Applications Research Laboratory, School of Science, Walailak University Thaiburi, Thasala District Nakhonsithammarat 80161, Thailand
[4]National Metal and Materials Technology Center, Pathumthani 12120, Thailand
[5]School of Physics, Institute of Science, Suranaree University, Nakhon Ratchasima 30000, Thailand

This study aims to investigate the strong correlation effect of spin and charge carriers for the Mg^{2+}-substituted into Cr^{3+} sites of $CuCrO_2$ delafossite on thermoelectric properties. The $CuCr_{0.95}Mg_{0.05}O_2$ sample was synthesized by a solid state reaction. The starting powder CuO, Cr_2O_3 and MgO were ball milled with poly vinyl alcohol solution for 24 h. The ball milled powder was pressed and sintered in air atmosphere at temperature 1050 C for 6 h. The crystal structure was characterized by XRD, TGA, XPS and the thermoelectric properties were measured at high temperature. The XRD displayed peaks of the pure phase $CuCrO_2$ structure as hexagonal delafossite-type structure space group: R3m. The Seebeck coefficient of the samples displayed positive sign as p-type (hole) conductor. The XPS results displayed Mg^{2+}, Cu^{1+}, Cr^{3+} and Cr^{4+} ion states. The Mg^{2+} induced mixed-valance Cr^{3+}/Cr^{4+} states resulting in enhanced Seebeck coefficient due to a strong correlation of the spin-entropy. The experimental results of Seebeck value were close to calculated results by the extended Heikes formula confirming of the strong correlation effect. In addition, the Mg-doped $CuCrO_2$ resulted in increased electrical conductivity and reduced thermal conductivity with increasing temperature. These indicate that the Mg^{2+}-substituted for Cr^{3+} of $CuCrO_2$ delafossite enhance the thermoelectric properties.

Keywords Thermoelectric properties; $CuCrO_2$; mixed-valence Cr^{3+}/Cr^{4+} state; Mg^{2+}-substituted

Received December 22, 2014; in final form May 22, 2015.
*Corresponding author. E-mail: krchesta@kmitl.ac.th; chesta.ruttanapun@gmail.com;
Color versions of one or more of the figures in the article can be found online at www.tandfonline.com/ginf.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

701xml GINF_A_1062679 June 26, 2015 16:0

1. Introduction

The thermoelectric materials performance [1–4] is dependent on a dimensionless Figure of Merit, $ZT = \sigma S^2 T/\kappa$, where S is the Seebeck coefficient, σ is the electrical conductivity and κ is the thermal conductivity, and T is the absolute temperature respectively. The large ZT occurs in materials containing two large values of σ and S, and a small value of κ. Koshibae et al. [5] have predicted upper limit of Seebeck coefficient for the Na_xCoO_2 compound, i.e. 150 μV/K at the high temperature by using the approach of electron strong correlation. The Na_xCoO_2 crystal structure is composed of the Na and the CoO_6 octahedral layer alternate stacking along the c-axis. The important role to control for enhancing of the Seebeck value of the Na_xCoO_2 is the mixed valence state of the Co^{3+}/Co^{4+} ion state in CoO_6 octahedral layer. In addition, $CuCrO_2$ delafossite crystal structure is similar to Na_xCoO_2. The $CuCrO_2$ compound [6] is described by the Cu^+ layer and the CrO_6 octahedral layer. The Cr^{+} ions are linearly bonded with 2 O^{2-} ions with a dumbbell-shape. The CrO_6 octahedrals are formed by sharing of the $[CrO_2]^-$ edges. There are experimental reports that the Seebeck value of the $CuCrO_2$ compound can be increased by substitution of Mg^{2+} for Cr^{3+} site.

Our previous work [7] has described behavior of Seebeck value of $CuFeO_2$ delafossite by substitution of Sn^{2+} for the Fe^{3+} sites into the $CuFeO_2$ compound by using approaching of the electron strong correlation of the mixed valence state of the Fe^{3+}/Fe^{4+} ions state in FeO_6 octahedral.

Therefore, this work is aimed to describe the enhancing of thermoelectric properties of the p-typed $CuCrO_2$ delafossite by Mg^{2+} substitution for the Cr^{3+} sites with approach of the strong correlation of electron of the mixed valence state in the compound. The $CuCr_{0.98}Mg_{0.02}O_2$ was prepared by the solid state relation. The XRD, TGA, the XPS, thermoelectric properties were characterized and discussed.

2. Experimental Details

Sample of $CuCr_{0.98}Mg_{0.02}O_2$ was prepared by a solid-state reaction method. Starting powders of CuO, Cr_2O_3, and MgO were mixed and ground in an agate mortar. Then, a homogenous powder was cold pressed into pellets having diameters of 12 mm and thicknesses of 2-3 mm. Next, the pellets were sintered in furnace at 1050°C under air atmosphere for 24 h. and were rapidly quenched to room temperature. The pure phase of the $CuCr_{0.98}Mg_{0.02}O_2$ samples was characterized by the XRD of PHILIPS model: X'Pert MPD using Cu Kα radiation with 2θ = 10° to 80° with 0.02 steps. The oxygen content was analyzed by using TGA by the Perkin Elmer TGA7 under N_2 atmosphere. The XPS was performed on AXIS Ultra DLD with Al Kα (150 W) X-ray source with photon energy 1486.6 eV. The Seebeck coefficient was simultaneously measured on the sample bar using the ULVAC-RIKO ZEM-3 thermoelectric property measurement system under a low-pressure helium atmosphere. The thermal conductivity was measured by using the ULVAC SINKU RIKO TC-7000 laser-flash method on pellets of 12 mm diameter with thickness of 1.6 mm.

3. Results and Discussion

The XRD patterns of the $CuCr_{0.98}Mg_{0.02}O_2$ sample are shown in Fig. 1. The standard phase for the $CuCrO_2$ delafossite from the Inorganic PDF#00-039-0247 is added for the reference. The XRD peaks display all peaks corresponding to the referent peaks of the $CuCrO_2$ reference [8]. This confirmed that the prepared $CuCr_{0.98}Mg_{0.02}O_2$ formed a delafossite structure as an $R\bar{3}m$ space group.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

701xml GINF_A_1062679 June 26, 2015 16:0

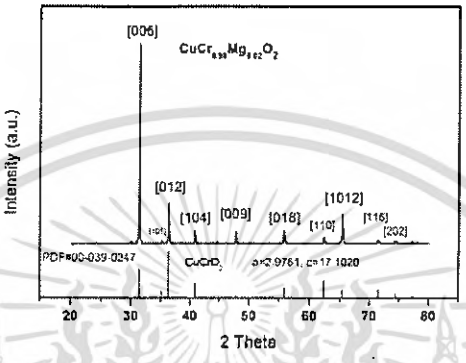


Figure 1. XRD patterns for the $CuCr_{0.98}Mg_{0.02}O_2$ sample, with data from the PDF file (00-039-0247) for $CuCrO_2$ delafossite inserted.

Figure 2 shows thermogravimetric analysis (TGA) weight loss of the $CuCr_{0.98}Mg_{0.02}O_2$ sample. The weight loss of TGA line was determined from finding of the content of excess oxygen insertion at central of Cu triangles layers of $CuCr_{0.98}Mg_{0.02}O_2$ structure. The results show that the total weight loss of $CuCr_{0.98}Mg_{0.02}O_2$ is 0.5% as assuming chemical formula $CuCr_{0.98}Mg_{0.02}O_{2+\delta}$ ($\delta = 0.5$). In the report [9], the total weight loss for $CuCrO_2$ is close to zero% resulting from ionic radii of Cr^{3+} (0.615 Å) which is relating to the area of Cu^{1+} triangular as smaller the critical ionic radii (0.665 Å) for oxygen insertion. The 0.5% weight loss of $CuCr_{0.98}Mg_{0.02}O_2$ is affected from the large Mg (ionic radii 0.72 Å) substitution for Cr (ionic radii 0.615 Å) sites contributing to large than the critical ionic radii for oxygen insertion.

The XPS spectra of Cu, Cr, and Mg for $CuCr_{0.98}Mg_{0.02}O_2$ are shown in Fig. 3. The binding energy of XPS spectra were was used to determine the oxidation number of

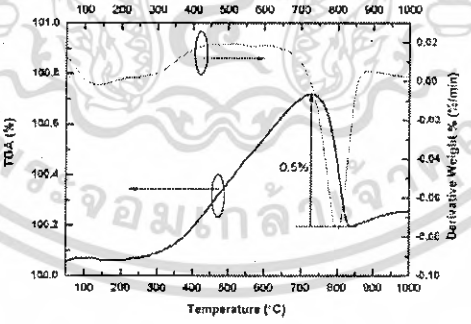


Figure 2. The TGA and DTA curve of the $CuCr_{0.98}Mg_{0.02}O_2$ sample.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

701xml GINF_A_1062679 June 26, 2015 16:0

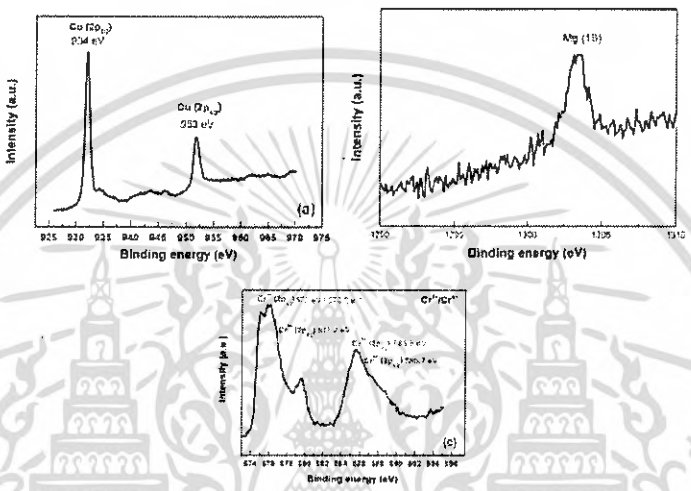


Figure 3. XPS spectrum for (a) $Cu(2p_{3/2})$, $Cu(2p_{1/2})$, (b) Mg(1s) and (b) $Cr^{3+}(2p)$, $Cr^{4+}(2p)$ in the $CuCr_{0.98}Mg_{0.02}O_2$ sample.

components of the sample. In Fig. 3(a), the binding energy for $Cu(2p_{3/2})$ and $Cu(2p_{1/2})$ were centered at 934 eV, and 953 eV, respectively, confirming the existence of Cu^+ state in $CuCr_{0.98}Mg_{0.02}O_2$. In Fig. 3(b), the Mg(1s) was assigned at 1303 eV as the position of Mg^{2+} ions state. In Fig. 3(c), the $Cr^{3+}(2p_{1/2})$, and $Cr^{3+}(2p_{3/2})$ states were centered at 586.9 eV.5, and 575.9 eV (and 576.9)[10], respectively and the $Cr^{4+}(2p_{1/2})$ and $Cr^{4+}(2p_{3/2})$ states were centered at ~577.2 eV and ~585.5 eV[10], respectively. This indicated that a mixture of states for the $Cr^{3+}$and Cr^{4+} ions occurred in the $CuCr_{0.98}Mg_{0.02}O_2$ sample.

From the XPS results, the nature of *p*-type $CuCr_{0.98}Mg_{0.02}O_2$ was effected by the Mg^{2+} substitution for the Cr^{3+} site as relating to the chemical formula [11] of $Cu[Cr^{3+}]_{1-2x}[Cr^{4+}]_x[Mg^{2+}]_xO_2$. This indicated that the mixing of the valence state between the Cr^{3+} and Cr^{4+} ions existed in the octahedral block layers. The results showed that the Mg^{2+}-doped $CuCrO_2$ possessed electron strong correlation from orbital and spin degeneracy of the Cr^{3+} and Cr^{4+} ions.

The Seebeck coefficient(*S*) of the $CuCr_{0.98}Mg_{0.02}O_2$ sample as a function of the temperature in the range of 300 to 573 K is shown in Fig. 4. The *S* value of the $CuCr_{0.98}Mg_{0.02}O_2$ sample was in the range of 255 to 315 μV/K with temperature from 300K to 800 K. The results showed the Seebeck coefficients as a positive sign indicating p-type conductivity [12]. The *S* of the $CuCr_{0.98}Mg_{0.02}O_2$ sample was lower than that of $CuCrO_2$ reference. In addition, the *S* of $CuCr_{0.98}Mg_{0.02}O_2$ sample was slightly increased as the temperature increased implying the semiconductor behavior. The reducing of *S* was influenced from the increasing of the hole carriers due to the Mg^{2+} substituted for Cr^{3+}site, and rising with temperature increasing.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

701xml GINF_A_1062679 June 26, 2015 16:0

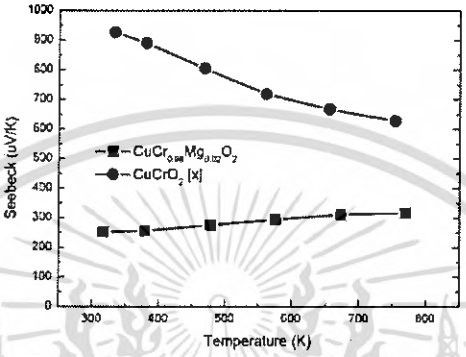


Figure 4. The Seebeck coefficient as a function of temperature of the $CuCr_{0.98}Mg_{0.02}O_2$ sample.

To describe the Seebeck behavior, the S can be described by the Hekes formula as: $S = -\frac{k_B}{|e|}\frac{\partial \ln g}{\partial N}$[5], where k_B is the Boltzmann's constant, e is the electronic charge, g is the degeneracy of the system, and N is the number of particles. For the case of g for the strong correlation of orbital and spin degeneracy of carrier, the S is satisfied the extended Heikes formula following as: $S = -\frac{k_B}{|e|}\ln(\frac{g^{3+}}{g^{4+}}\frac{x}{1-x})$[5], where g^{3+} and $g^{4+}$are the spin and orbital degeneracy for Cr^{3+} and Cr^{4+} state, respectively, and x is the ratio of the number of carriers to available sites.

For the $CuCr_{0.98}Mg_{0.02}O_2$ compound, the transition octahedral oxide of CrO_6 layer of the compound existed the degeneracy of electronic state due to the mixed state of Cr^{3+}/Cr^{4+} which affected splitting state into two the t_{2g} and e_g by the crystal filed effecting in the 3d energy state. The g^{3+} and g^{4+} values were calculated by production of $(2S+1)(2L+1)$, where S is total spin and L is total orbital for the Cr^{3+} ($3d^3$) and Cr^{4+} ($3d^2$) state. Totally, the S can be written [13] as:$S = -\frac{k_B}{|e|}(\ln(\frac{[(2S+1)(2L+1)]^{3+}}{[(2S+1)(2L+1)]^{4+}})(\frac{x}{1-x}))$. The value of $(2S+1)$ is 1, and 3 for the Cr^{3+} ($3d^3$) and Cr^{4+} ($3d^2$) state, respectively. $(2L+1)$ is 4, and 3 for the Cr^{3+} ($3d^3$) and Cr^{4+} ($3d^2$) state, respectively. The g^{3+} is obtained 9 and g^{4+} is obtained 4. The x value is approximated at 0.02. Finally, the results of S were obtained 268 μV/K, respectively. The results relate with the experimental result at temperature 760 K. The results imply that the extended Heikes formula can predict the S value at high temperature.

Figure 5 displays the temperature dependence of the electrical conductivity (σ) of the $CuCr_{0.98}Mg_{0.02}O_2$ sample and the $CuCrO_2$ reference. The values were measured in the temperature ranging from 300 to 760 K. The σ was ranging from 4 to 11 S/cm. The value of $CuCr_{0.98}Mg_{0.02}O_2$ was above that of the $CuCrO_2$ reference due to the carrier supporting from the substitution of Mg corresponding to the δ value of TGA weight loss.

Figure 6 shows the temperature dependence of the thermal conductivity (κ). The results show that theκ of $CuCr_{0.98}Mg_{0.02}O_2$ sample was lower than that of the $CuCrO_2$ based. The value of κ for the $CuCr_{0.98}Mg_{0.02}O_2$ was range of 1.2 W/mK to 2 W/mK with temperature of 300 K to 960 K. The κ values were lower approximately 3 to 4 times from the value of $CuCrO_2$ based. This effect was contributed by the Mg^{2+} substitution for Fe^{3+} sites as

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

701xml GINF_A_1062679 June 26, 2015 16:0

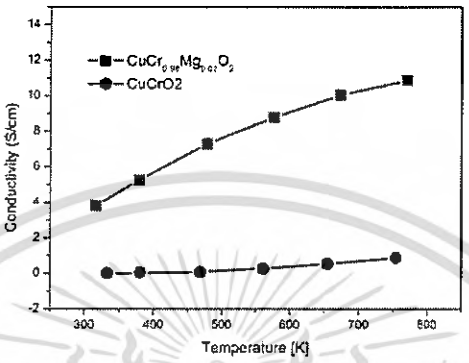


Figure 5. The temperature dependence of electrical conductivity of the $CuCr_{0.98}Mg_{0.02}O_2$ sample with $CuCrO_2$ based.

a center of the CrO_6 octahedral layer. The large atomic weight of Mg is a major effect to reduce thermal conductivity.

Figure 7 displays the temperature dependence of the ZT of the $CuCr_{0.98}Mg_{0.02}O_2$ sample. The ZT was calculated from the relation of $ZT = S^2\sigma T/\kappa$, where T is the absolute temperature. The results were in a range of 0.003 to 0.035 with the temperature ranging from 300 to 780 K. The results were increased with increasing temperature. The maximum ZT value in this experiment was 0.035 at a temperature of 780 K.

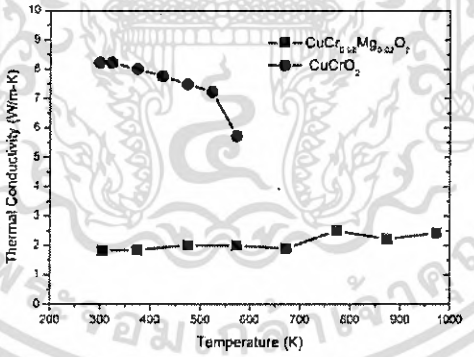


Figure 6. The temperature dependence of thermal conductivity of the $CuCr_{0.98}Mg_{0.02}O_2$ sample with $CuCrO_2$ based.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

701 xml GINF_A_1062679 June 26, 2015 16:0

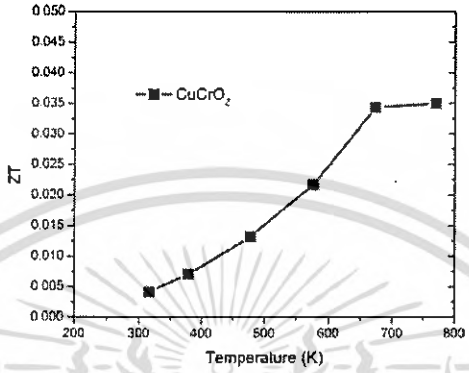


Figure 7. The temperature dependence of *ZT* of the $CuCr_{0.98}Mg_{0.02}O_2$ sample.

4. Conclusion

The $CuCr_{0.98}Mg_{0.02}O_2$ specimen was prepared by the solid state reaction method. The X-ray peaks corresponded with the $CuCrO_2$ delafossite structure. The XPS spectra showed that the Mg-substituted $CuCrO_2$ excited the Mg^{2+} state and the mixed Cr^{3+}/Cr^{4+} states. The Seebeck coefficient result by Extended Heikes formula was close to the experimental results at high temperature. The reducing of the Seebeck value of the $CuCr_{0.98}Mg_{0.02}O_2$ was due to the increasing of charge by Mg^{2+}-doped. The increasing of Seebeck value with increasing temperature was due to the strong correlation of charge carrier between the Cr^{3+} and Cr^{4+} ions in the octahedral CrO_6 layer. The enhanced electrical conductivity of $CuCr_{0.98}Mg_{0.02}O_2$ is due to the increasing of charge carrier by Mg^{2+}-doped. The low thermal conductivity of the $CuCr_{0.98}Mg_{0.02}O_2$ was an effect from the large atomic weight of Mg-doped. As a result, the rising of *ZT* of $CuCr_{0.98}Mg_{0.02}O_2$ from the $CuCrO_2$- based was due to the Mg^{2+}-substitution into Cr^{3+} at center of octahedral of CrO_6 layer.

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. Additional financial support was given via a research grant MT-B-57-MET-07-262I from the National Metal and Materials Technology Center, Thailand.

References

1. G. S. Nolas, J. Sharp and H. J. Goldsmind, *Thermoelectric basic principles and new materials developments*, Germany, Spinger, (2011).
2. G. J. Snyder, Small thermoelectric generator, *The Electrochemical Society interface*, (2008).
3. C. Ruttanapun, *Journal of Solid State Chemistry*, 215 43–49 (2014).
4. J. R. Sootsman, D. Y. Chung, and M. G. Kanatzidis, New and old concepts in thermoelectric materials, *Angew. Chem. Int. Ed.*, 48 8616–8639 (2009).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

701xml GINF_A_1062679 June 26, 2015 16:0

5. W. Koshibae, K. Tsutsui, and S. Maekawa, *J. Phys. Rev. B*, 62 6869–6872 (2000).
6. C. Ruttanapun, A. Wichainchai, W. Prachamon, A. Yangthaisong, A. Charoenphakdee, and T. Seetawan, *J. Alloys Compd.*, 509 4588–4594 (2011).
7. C. Ruttanapun, B. Boonchom, M. Thongkam, S. Kongtaweelert, C. Thanachayanont and A. Wichainchai, *J. Appl. Phys.*, 113 023103 (2013)
8. T. Okuda, N. Jufuku, S. Hidaka, and N. Terada, *Phys. Rev. B*, 72 144403-1–144403-5 (2005).
9. C. Ruttanapun, *Journal of Science Ladgrabang*, 23 112–119 (2014).
10. S. Zhou, X. Fang, Z. Deng, Da. Li, W. Dong, R. Tao, G. Meng, T. Wang, X. Zhu, *Journal of Crystal Growth*, 310 5375–5379 (2008).
11. C. Ruttanapun, B. Boonchom, N. Vittayakorn, A. Harnwunggmoung and A. Chaeonphakdee, *Ferroelectrics*, 453 75–83 (2013).
12. C. Ruttanapun, P. Jindajitawat, P. Buranasiri, D. Naenkieng, N. Boonyopakorn, A. Harnwunggmoung, W. Thowladda, W. Neeyakorn, C. Thanachayanont, and A. Charoenphakdee, *Integrated Ferroelectrics*, 156 102–114, (2014).
13. C. Ruttanapun, J. Solid *State Chem.*, 215 43–49 (2014).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อมูลประวัติคณะผู้วิจัย

ผศ.ดร.เชรษฐา รัตนพันธ์

Assits.Prof.Dr.Chesta Ruttanapun

ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพ 10520
มือถือ 0815104965
E-mail: krchesta@kmitl.ac.th, chesta.ruttanapun@gmail.com

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

1. ประสบการณ์งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และ/หรือที่ผ่านมา ทั้งภายในและภายนอกประเทศ โดยระบุสถานภาพ ในการทำวิจัย ว่าเป็นผู้อำนวยการแผนงานวิจัย หัวหน้าโครงการวิจัย หรือผู้ร่วมวิจัยในแต่ละข้อเสนอการวิจัย

<u>รางวัลที่ได้รับ</u>

ได้รับรางวัลเป็นประกาศนียบัตรและเข็มเกียรติยศเพื่อแสดงว่าเป็นผู้สอบได้คะแนนยอดเยี่ยม อันดับ 3 ในปี 2555 (26 สิงหาคม 2555) ในหลักสูตรวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต จาก มูลนิธิ ศ.ดร.แถบ นีละนิธิ โดยเป็นรางวัลการศึกษายอดเยี่ยมขั้นวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต พิจารณาจากผลงานได้รับการตีพิมพ์แล้วในวารสารที่มี Impact factor รวมกันแล้วได้สูงสุด 3 อันดับแรก ของประเทศ (สาขาฟิสิกส์) จากผู้จบการศึกษา ปี 2554

<u>ประสบการณ์งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</u>

พ.ศ. 2542 – 2546

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เป็นผู้ช่วยวิจัย: โครงการคอมพิวเตอร์จำลองแบบเซลล์แสงแดดคลับแซนด์วิชใน 2 มิติ ทุนสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการการวิจัยแห่งชาติ (สกว.) หนึ่งในชุดโครงการพัฒนาเซลล์แสงแดดไทยสู่ความเป็นเลิศ โดย ผศ. บำรุง สมสวัสดิ์ เป็นหัวหน้าโครงการ ปฏิบัติงาน ณ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น **พ.ศ. 2546 – 2555**

ดำรงตำแหน่งผู้ช่วยนักวิจัย

งาน: ห้องปฏิบัติการวิจัยการจำลองขนาดใหญ่ Large Scale Simulation Lab (LSR)

ฝ่าย: หน่วยวิจัยสารสนเทศ การสื่อสารและการคำนวณ

ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC)

สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.)

<u>มีงานวิจัยดังนี้</u>

1) โครงการพัฒนาโปรแกรมและจำลองแบบด้วยวิธีไฟไนต์เอลิเมนต์(2546-2552)

1.1) โครงการ 3-D Finite Element Solar Cell simulation

1.2) โครงการพัฒนาโค้ดคำนวณแบบขนาน Parallel FEM Toolkit

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

ผลงานวิจัย/งานสร้างสรรค์ที่ตีพิมพ์เผยแพร่(ระดับชาติและนานาชาติ)

<u>วารสารนานาชาติ</u>

1. C. Ruttanapun,"Effects of Pd substitution on the thermoelectric and electronic properties of delafossite $Cu_{1-x}Pd_xFeO_2$ (x = 0.01, 0.03 and 0.05)", Journal of Solid State Chemistry, volume 215, 2014, Pages 43–49. ISI Impact factor 2.0.

2. C. Ruttanapun, "Optical and electronic properties of delafossite $CuBO_2$ p-type transparent conducting oxide", Journal of Applied Physics 114, pp. 113108 (2013). ISI Impact Factor: 2.13

3. C. Ruttanapun, B. Boonchom, M. Thongkam, S. Kongtaweelert, C. Thanachayanont, A. Wichainchai, "Electrical and optical properties of p-type $CuFe_{1-x}Sn_xO_2$ (x = 0.03, 0.05) delafossite-oxide", journal of Applied Physics, 113 (2013), pp. 023103. **ISI Impact Factor: 2.13**

4. C. Ruttanapun, B. Boonchom, N. Vittayakorn, A. Harnwunggmoung, A. Charoenphakdee, "Synthesis and Thermoelectric Properties of $Cu_{0.95}Pt_{0.05}Fe_{0.97}Sn_{0.03}O_2$ Delafossite-Oxide", Ferroelectrics, 453:1, 75-83, 2013. ISI Impact factor: 0.391.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. Wicharn, S., Buranasiri, P., Ruttanapun, C., Jindajitawat, P., "Optical parametric amplification in one-dimensional photonic bandgap structures", Applied Optics, Volume 52, Issue 25, 1 September 2013, Pages 6090-6099.

6. Ruttanapun C., Jindajitawat P., Thowladda W., Neeyakorn W., Thanachayanont, C., Charoenphakdee A., "Thermoelectric properties of Sn^{2+}-substituted $CuFeO_2$ delafossite-oxide", Advanced Materials Research, Volume 802, 2013, Pages 17-21.

7. Kahatta S., Chaiyo N., Ruttanapun C., Techitdheera W., Pecharapa W., Vittayakorn, N., "Microwave-assisted solution combustion synthesis and characterization of thermoelectric $Ca_3Co_2O_6$ powders", Advanced Materials Research, Volume 802, 2013, Pages 84-88.

8. Charoenphakdee, A., Harnwunggmoung, A., Seetawan, T., Rattanapun, C., Amornkitbamrung, V., Kurosaki, K., Yamanaka, S., "Reinvestigation the thermal and electrical transport properties of Tl_2Sb_2", Advanced Materials Research, Volume 802, 2013, Pages 284-288.

9. C. Ruttanapun, S. Kahatta, B. Boonchom, N. Vittayakorn, M. Thongkam, S. Kongteweelert, S. Woramongkonchai, and P. Chaiyasith, "Optical Properties of $Cu_{0.95}Pt_{0.05}Fe_{0.97}Sn_{0.03}O_2$ for p-type Transparent Conducting Oxide Materials", Advanced Materilas Research 717 (2013) pp. 15-10.

10. B. Boonchom, C. Ruttanapun, M. Thongkam, P. Chaiyasith, S. Woramongkonchai, S. Kongteweelert and N. Vittayakorn, "A new synthesis of $BaHPO_4$ precipitated by $BaCO_3$-H_3PO_4-NaOH system at room temperature", Advanced Materilas Research 717 (2013) pp 37-43.

11. P. Chaiyasith, C. Ruttanapun, M. Thongkam, S. Kongteweelert, S. Woramongkonchai and B. Boonchom. "A Simple Route to Synthesize Ferromagnetic Binary Calcium Iron Pyrophosphate $CaFeP_2O_7$ Using Aqueous-Acetone Media", Advanced Materilas Research 717 (2013) pp 44-48.

12.S. Kongteweelert, C. Ruttanapun, M. Thongkam, P. Chaiyasith, and S. Woramongkonchai, "Facile, alternative synthesis of spherical-like $Ca(H_2PO_4)_2{\cdot}H_2O$ nanoparticle by aqueous-methanol media", Advanced Materilas Research 717 (2013) pp 49-53.

13. S. Wicharn; P. Buranasiri; C. Ruttanapun and P. Jindajitawat, "Efficient third-harmonic generation in one-dimensional photonic crystals, "Proc. SPIE 8883, ICPS 2013: International Conference on Photonics Solutions, 88830A (June 7, 2013); doi:10.1117/12.2022094.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

14. C. Ruttanapun; Y. Hongaromkid; W. Thowladda and A. Wichainchai, "Alcohol sensing of p-type CuFeO2 delafossite oxide ", Proc. SPIE 8883, ICPS 2013: International Conference on Photonics Solutions, 88831L (June 7, 2013); doi:10.1117/12.2021102.

15. C. Ruttanapun; M. Sa-nguan-cheep; S. Kahatta; P. Buranasiri and P. Jindajitawat, "Optical and electronic transport properties of p-type $CuCoO_2$ transparent conductive oxide ", Proc. SPIE 8883, ICPS 2013: International Conference on Photonics Solutions, 88831O (June 7, 2013); doi:10.1117/12.2021992.

16. S. Plaipichit; P. Atta; P. Buranasiri; C. Ruttanapun and P. Jindajitawat, "Fingerprint verification by using low coherence digital holography ", Proc. SPIE8883, ICPS 2013: International Conference on Photonics Solutions, 888315 (June 7, 2013); doi:10.1117/12.2021987.

17. K. Sidakum; P. Buranasiri; S. Plaipichit; C. Ruttanapun and P. Jindajitawat, "The generation of optical phase conjugation from cerium doped barium titanate at wavelength of 632.8 nm ", Proc. SPIE 8883, ICPS 2013: International Conference on Photonics Solutions, 88831P (June 7, 2013); doi:10.1117/12.2022123.

18. C. Ruttanapun, B. Boonchom, M. Thongkam, S. Kongtaweelert, A. Wichainchaia, C. Thanachayanont, A. Charoenphakdee," THERMOELECTRIC PROPERTIES OF n-TYPE $CuFe_{0.95}Pb_{0.05}O_2$ DELAFOSSITE TYPE-OXIDE", Journal of Material Science and Applied Energy 2(2) (2013) 1-5

19. **C.Ruttanapun*, W. Prachamon, A. Wichainchai, "Optoelectronic properties of $Cu_{1-x}Pt_xFeO_2$ ($0 \leq x \leq 0.05$) 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).**

20. **C.Ruttanapun*, A. Wichainchai, W. Prachamon, A. Yangthaisong, A. Charoenphakdee and T. Seetawan, "Thermoelectric properties of $Cu_{1-x}Pt_xFeO_2$ ($0.0 \leq x \leq 0.05$) delafossite-type transition oxide", Journal of Alloys and Compounds 509 (2011), pp. 4588-4594. Impact factor: 2.134, (Corresponding author:C. Ruttanapun).**

21. P. Poopanya, A. Yangthaisong, **C. Rattanapun**, and A. Wichainchai **"Theoretical Study of Electronic Structure and Thermoelectric Properties of Doped $CuAlO_2$", Journal of ELECTRONIC MATERIALS, 40, (2011), pp. 987-991. Impact factor: 1.428.**(Corresponding author:A. Yangthaisong).

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดร.เอนก เจริญภักดี

Dr.Anek Charoenphakdee

คณบดี คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาวิชาฟิสิกส์

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

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

7.ประวัติการศึกษา

ระดับประถมศึกษา โรงเรียนบ้านสองชั้น (ปัจจุบัน โรงเรียนเบญจคามวิทยา) ต. หินกอง อ. สวรรณภูมิ จ. ร้อยเอ็ด

ระดับมัธยมศึกษา โรงเรียนจันทรุเบกษาอนุสรณ์ อ. เกษตรวิสัย จ. ร้อยเอ็ด

ระดับปริญญาตรี (วทบ.) ฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น

ระดับปริญญาโท (วทม.) ฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จ.ขอนแก่น

ระดับปริญญาเอก (D. Phil.) in Engineering (Sustainable Energy and Environmental Engineering, Graduate School of Engineering, Osaka University, Japan)

ลงพิมพ์บทความในวารสารระดับนานาชาติ

2007

1. Tosawat Seetawan, Thaweewat Khuangthip, Vittaya Amornkitbamrung, Ken Kurosaki, Jun Adachi, Masahito Katayama, **Anek Charoenphakdee**, Shinsuke Yamanaka, Thermophysical Properties of PuO_2 and AmO_2 Solid Solutions Simulated by Molecular Dynamics, in Materials Innovations for Next-Generation Nuclear Energy. *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.*, 1043E (2007) 1043-T09-09 **มี impact factor-**

2008

2. **Anek Charoenphakdee**, Ken Kurosaki, Hiroaki Muta, Masayoshi Uno, and Shinsuke Yamanaka, Reinvestigation of the thermoelectric properties of Ag_8GeTe_6. *physica status solidi (RRL) - Rapid Research Letters*, 2 (2008) 65-67 **มี impact factor –**

3. Joseph P. Heremans, Vladimir Jovovic, Eric S. Toberer, Ali Saramat, Ken Kurosaki, **Anek Charoenphakdee**, Shinsuke Yamanaka, and G. Jeffrey Snyder, Enhancement of Thermoelectric Efficiency in PbTe by Distortion of the Electronic Density of States. *Science*, 25 (2008) 554-557 **มี impact factor 31.052**

4. Ken Kurosaki, Hideaki Matsumoto, **Anek Charoenphakdee**, Shinsuke Yamanaka, Manabu Ishimaru, and Yoshihiko Hirotsu, Unexpectedly Low Thermal Conductivity in Natural Nanostructured Bulk Ga_2Te_3. *Applied Physics Letters*, 93 (2008) 012101-1 – 012101-3 **มี impact factor 3.554**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. Ken Kurosaki, Atsuko Kosuga, **Anek Charoenphakdee**, Hideaki Matsumoto, Hiroaki Muta, and Shinsuke Yamanaka, Thermoelectric properties of Tl_xGeTe_y with low thermal conductivity. *Materials Transactions*, 49 (2008) 1728-1730 มี **impact factor 0.795**

6. Shinsuke Yamanaka, Ken Kurosaki, **Anek Charoenphakdee**, Hideaki Mastumoto, Hiroaki Muta, Thallium-Free Thermoelectric Materials with Extremely Low Thermal Conductivity. *Mater. Res. Soc. Symp. Proc.*, 1044 (2008) 1044-U08-02 มี **impact factor –**

7.Weerasak Somkhunthot, Thanusit Burinprakhon,Nuwat Pimpabute, TosawatSeetawan, **Anek Charoenphakdee**, Vittaya Amornkitbamrung, Characterization and Thermoelectric Properties of $Na_xCo_2O_4$ by the Polymerized Complex Method Physical Chemistry. *An Indion Journal*, 3 (2008) 2-3 มี **impact factor-**

2009

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

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

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

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

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

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

2010

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

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

2011

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

17. Heng Wang, **Anek Charoenphakdee**, Ken Kurosaki, Shinsuke Yamanaka, ansd G. Jeffrey Snyder, Reduction of thermal conductivity in PbTe: Tl by alloying with $TlSbTe_2$. *Physical Review B* 83, 024303 (2011) **มี impact factor**

การนำเสนองานวิจัยระดับนานาชาติ

1.Thermal and electrical transport properties of Tl_9Sb_2, The 26th International Conference on Thermoelectrics, Jeju Island, South Korea, June 3-7, (2007), **Anek Charoenphakdee**, Ken Kurosaki, Tosawat Seetawan, Thaweewat Khuangthip, Hiroaki Muta, Masayoshi Uno, and Shinsuke Yamanaka

2. Thermoelectric Properties of Ag_8GeTe_6 and Ag_8SiTe_6 with Low Thermal Conductivity

The 27th International Conference on Thermoelectrics, Corvallis, Oregon, USA, August 3-7, (2008), **Anek Charoenphakdee**, Ken Kurosaki, Hiroaki Muta, and ShinsukeYamanaka

3. Thermal conductivity analysis of the Ag-Ga-Te and Ag-In-Te ternary compounds 2008 Materials Research Society Fall Meeting, Boston, MA, USA, December 1-5, (2008), **Anek Charoenphakdee**, Ken Kurosaki, Hiroaki Muta, Masayoshi Uno, and Shinsuke Yamanaka

4. Thermoelectric Properties of $Ag_8GeTe_{6+\delta}$ with Extremely Low Thermal Conductivity TSJ 2007, Osaka University, Osaka, Japan, August 29-30, (2007), **Anek Charoenphakdee**, Ken Kurosaki, Hiroaki Muta, and Shinsuke Yamanaka

5. Thermal conductivity analysis of the Ag-(Ga,In)-Te ternary compounds TSJ 2008, Waseda University, Tokyo, Japan, August 21-22, (2008), **Anek Charoenphakdee**, Ken Kurosaki, Hiroaki Muta, and Shinsuka Yamanaka

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ หมุดตอเล็บ หนิสอ
หัวหน้าห้องปฏิบัติการเทคโนโลยีพลาสมาเพื่อการประยุกต์ทางกสิกรรม ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์ สกอ
คณบดีสำนักวิชาวิทยาศาสตร์ 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

1.3 หน้าที่ปัจจุบัน - หัวหน้าห้องปฏิบัติการพลาสมาประยุกต์เพื่อการกสิกรรม มหาวิทยาลัยวลัยลักษณ์
- คณบดีสำนักวิชาวิทยาศาสตร์

1.4 ประวัติการศึกษา

ปีการศึกษา 2529	มัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนมหาวชิราวุธ จ.สงขลา
ปีการศึกษา 2533	ปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต (ฟิสิกส์) (เกียรตินิยมอันดับสอง) จากมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์
ปีการศึกษา 2537	ปริญญาโท พลาสมาฟิสิกส์ จากมหาวิทยาลัยนาโงยา ประเทศญี่ปุ่น
ปีการศึกษา 2544	ปริญญาเอก พลาสมาฟิสิกส์ จากมหาวิทยาลัยนาโงยา

2. ประวัติการทำงาน

2.1 งานสอน

2.1.1 ปริญญาตรี

- หลักฟิสิกส์ 1 - หลักฟิสิกส์ 2
- ปฏิบัติการฟิสิกส์ 1 - ปฏิบัติการฟิสิกส์2
- 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาหลักของนักศึกษาปริญญาเอก 3 คน จบการศึกษาแล้ว 1 คน

2.2 งานวิจัย

โครงการวิจัย 10 ปีย้อนหลัง

ชื่อโครงการ	แหล่งทุน	งบประมาณ (บาท)	สถานภาพ	ระยะเวลา
1. การพัฒนาไอออนบีมสำหรับการเชาะร่องในโซลาร์เซลแบบคลับแซนด์วิช	สกว.	2,631,200	หัวหน้าโครงการ	พย.45- พย.47
2. การพัฒนาระบบเครื่องกำเนิดโอโซนโดยใช้เทคนิค Barrier discharge สำหรับการจัดเก็บเงาะ ทุเรียนและพืชผัก	สกอ.	876,700	ผู้ร่วมวิจัย	มิย. 47- มิย.48
3. การพัฒนาเตาอบปลาแห้งไมโครเวฟประสิทธิภาพสูง	สกอ.	420,200	หัวหน้าโครงการ	เมย.48- เมย.49
4. การพัฒนาไอออนบีมสำหรับการเชาะร่องในโซลาร์เซลแบบคลับแซนด์วิช	สกว.	2,109,323	หัวหน้าโครงการ	กย.48-กย.49
5. การพัฒนาระบบการผลิตน้ำโอโซนอัตโนมัติเพื่อการเพาะเลี้ยงกุ้งอย่างยั่งยืน	มูลนิธิโทเรฯ	190,000	หัวหน้าโครงการ	กพ. 49 – กพ.50
6. การพัฒนาไอออนบีมความหนาแน่นและความคมสูงของอะตอมธาตุชนิดต่าง ๆ	พพ. ร่วมกับ สกว.	1,438,657	หัวหน้าโครงการ	กย. 2549 – กย. 2550
7. การพัฒนาระบบอบปลาแห้งกึ่งอัตโนมัติด้วยคลื่นไมโครเวฟ	สกอ.	84,000	หัวหน้าโครงการ	มิย.50- มิย.51
8. การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่ออธิบายการดูดกลืนคลื่นวิทยุของตัวอ่อนแมลงในผลเงาะ	สวทช.	150,000	ผู้ร่วมโครงการ	ตค.50 – ตค.51
9. การเพิ่มประสิทธิภาพการผลิตอาหารสัตว์อัดเม็ดด้วยคลื่นไมโครเวฟ	บริษัทไทรอัมพ์เอ็นจิเนียริ่งจำกัด	330,000	หัวหน้าโครงการ	ตค. 50- มิย.51
10. การพัฒนาชุดขยายคลื่นวิทยุโซลิดสเตทแบบมอดูลาร์ความถี่ 118 เมกะเฮิร์ตขนาด 2.5 กิโลวัตต์	สถาบันวิจัยแสงซินโครตรอน	2,120,800	ผู้ร่วมโครงการ	พย.50- พย.52
11. เทคโนโลยีพลาสมาเพื่อการทำให้ปราศจากเชื้อสำหรับเครื่องมือทางการแพทย์ในประเทศไทยปีที่1	วช.	3,00,000	ผู้ร่วมวิจัย	ต.ค. 51 – ต.ค. 52
12. การพัฒนาเทคโนโลยีคลื่นวิทยุและ	ศูนย์ความเป็นเลิศ	608,000	หัวหน้า	ก.พ. 52 – ม.ค. 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คลื่นไมโครเวฟเพื่อการประยุกต์ทางกสิกรรมปีที่ 1	ด้านฟิสิกส์(สกอ.)		โครงการ	
13. การพัฒนาแหล่งกำเนิดไอออนบีมความหนาแน่นสูงเพื่อการปรับปรุงพันธ์พืช และการปรับปรุงเมมเบรนปีที่1	ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์(สกอ.)	525,000	หัวหน้าโครงการ	ก.พ. 52 – ม.ค. 53
14. เครื่องแยกสปอร์ของราเพื่อการควบคุมศัตรูพืชจากเม็ดข้าว ด้วยเทคโนโลยีไซโคลนและพลังงานไมโครเวฟปีที่ 1	วช.	100,000	หัวหน้าโครงการ	มิ.ย.52 – ก.พ. 53
15. การพัฒนาเทคโนโลยีเครื่องกำเนิดคลื่นวิทยุกำลังสูงสำหรับอุตสาหกรรม	อุทยานวิทยาศาสตร์ภาคใต้(สวทช.)	199000	หัวหน้าโครงการ	ส.ค.52 – ส.ค.53
16. การพัฒนาเทคโนโลยีคลื่นวิทยุและคลื่นไมโครเวฟเพื่อการประยุกต์ทางกสิกรรมปีที่ 2	ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์(สกอ.)	400,000	หัวหน้าโครงการ	ก.พ. 53 – ม.ค. 54
17. การพัฒนาแหล่งกำเนิดไอออนบีมความหนาแน่นสูงเพื่อการปรับปรุงพันธ์พืช และการปรับปรุงเมมเบรนปีที่2	ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์(สกอ.)	500,000	หัวหน้าโครงการ	ก.พ. 53 – ม.ค. 54
19. เครื่องแยกสปอร์ของราเพื่อการควบคุมศัตรูพืชจากเม็ดข้าว ด้วยเทคโนโลยีไซโคลนและพลังงานไมโครเวฟปีที่ 2	วช.	166,000	หัวหน้าโครงการ	พ.ย.53 – เม.ย. 54
20. เทคโนโลยีพลาสมาเพื่อการทำให้ปราศจากเชื้อสำหรับเครื่องมือทางการแพทย์ในประเทศไทยปีที่ 2	วช.	500,000	ผู้ร่วมวิจัย	พ.ย. 53 – ต.ค. 54
21. การพัฒนาเครื่องอบแห้งรังนกแอ่นด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ความดันต่ำ	สกอ.	463,900	หัวหน้าโครงการ	ก.ย. 52 – มิ.ย. 54
22. การพัฒนาเทคโนโลยีพลาสมาสปัตเตอริ่งเพื่อเคลือบถ่านกัมมันต์ด้วยพลาตินั่มในระดับนาโนสำหรับขั้วคาโทดประสิทธิภาพสูงของเซลล์เชื้อเพลิงจุลชีพ	วช.	313,258	หัวหน้าโครงการ	พ.ย.52 –พ.ค. 54
การพัฒนาเทคโนโลยีการให้ความร้อนด้วยไมโครเวฟต้นแบบในระดับอุตสาหกรรม	สวทช.	1,400,000	หัวหน้าโครงการ	1 ม.ค.54 – 31 เม.ย. 55
การพัฒนาเทคโนโลยีพลาสมาเย็นที่ความดันบรรยากาศเพื่อการทำความสะอาดผล	ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์	1,145,000	หัวหน้าโครงการ	1 พ.ค.54 – 30 ส.ค. 56

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มังคุด				
การพัฒนาบรรจุภัณฑ์ต้านเชื้อราจากวัสดุเซลลูโลสโดยใช้พลาสมาเย็นที่ความดันบรรยากาศร่วมกับน้ำมันหอมระเหย	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
การพัฒนาเทคโนโลยีการอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟร่วมกับลมร้อนเพื่อเป็นต้นแบบในการผลิตยางแท่ง STR20 ระดับอุตสาหกรรม	สกว.	400,000	หัวหน้าโครงการ	1 ก.ย.56 – 31 ส.ค. 57
ชุดโครงการ "การวิจัยและถ่ายทอดเทคโนโลยีพลาสมาและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อพัฒนานวัตกรรมทางการเกษตร"	สกว. ABC	990000	หัวหน้าโครงการ	25 ก.ย.56 – 24 มี.ค. 58

2.3 งานบริการวิชาการ

- โครงการโอลิมปิกวิชาการ
- นักวิทยาศาสตร์พี่เลี้ยงนักเรียนโครงการ JSTP
- ถ่ายทอดเทคโนโลยีการทำแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ
- วิทยากรการพัฒนางานวิจัยสำหรับอุตสาหกรรมของสภาอุตสาหกรรมสุราฎร์ฯและนครฯ
- การอบรมครูมัธยม
- การจัดแสดงเครื่องมือวิทยาศาสตร์ในอุทยานวิทยาศาสตร์
- การงานวันวิทยาศาสตร์ และวันเด็ก
- การพิจารณาโครงการถ่ายทอดเทคโนโลยีของเครือข่ายภาคใต้ตอนบนของ สกอ.
- การจัดประชุมประจำปีฟิสิกส์ SPC

2.4 งานอื่นๆ

2.4.1 หัวหน้าห้องปฏิบัติการ หน่วยวิจัยฟิสิกส์ทดลอง ตั้งแต่ปี 2546 ถึง ปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.2 ผู้คุมทีมฟิสิกส์โอลิมปิก ในการแข่งขันระดับประเทศ ปี 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

2. Y. Pianroj, P. Kerdtongmee 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. Kerdtongmee, 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. Kerdtongmee 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. Taweepreda, 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)(TCI)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. P. Kerdtongmee, M. Nisoa, D. Srinuam, Pr. Kerdtongmee and J. Galakarn, ***Development of a Microwave Heating System using Slotted Waveguide Antenna***, Thai journal of physics series 4, 113 – 115(2009)

10. Pansak Kerdtongmee, 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***, Songklanakarin J. Sci. Technol, 32(1), 97 -101 (2010)(SCOPUS)

12. P. Kerdtongmee ,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. Kerdtongmee, 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 Ramgnarong, Mudtorlep Nisoa and Pansak Kirdtongmee, ***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)

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 ปลอดแก้ว และหมุดดอเล็บ หนิสอ, ***การจำลองคลื่นไมโครเวฟแบบ 3 มิติในห้องคลื่นมัลติโหมดด้วย Meep,*** วารสารวิทยาศาสตร์บูรพา. 17 (2555) 2 : 95-105(TCI)

20. ธรรมนูญ ศรีน่วม พันธุ์ศักดิ์ เกิดทองมี สัมภาส ฉีดเกตุ และหมุดดอเล็บ หนิสอ, ***การพัฒนาโมดูลขยายคลื่นวิทยุแบบพุช-พูล ความถี่ 118 เมกะเฮิรตซ์กำลัง 300 วัตต์ ประสิทธิภาพสูง***, วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. ปีที่ 35 ฉบับที่ 4 ตุลาคม - ธันวาคม 2555(TCI)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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, Volumn 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 บทความวิจัยเสนอในการประชุมวิชาการและมีการพิมพ์รวมเล่ม

1. M. Nisoa and et.al., ***Microwave heating of materials:*** Proceeding of the 29th 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 29th 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,*** 2nd International Workshop on Particle Beams & Plasma Interaction on Materials and 2nd 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 physics2005, Kuala-lumpur, Malaysia, 25-29 July 2005

5. P. Kerdtongmee 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. Y. Pianroj, P. Keardthongmee 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. Keardthonmee, D. Srinuam, 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. Keardthongmee, Pr. Keardthongmee and J. Galakarn, ***Development of microwave system for high-efficient drying technology for fishes,*** Siam Physics Congress 2006, March 2006, Chonburi, Thailand

9. Pr. Keardthongmee, D. Srinuam 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

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***, 3rd 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***, 3rd 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 33th 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 33th congress on science and technology of Thailand, Thailand, October 2007

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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. Kerdtongmee, ***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. Kerdtongme 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. Kerdtongmee, 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

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. Kerdtongmee, ***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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

32. P. Kerdtongmee, and M. Nisoa, ***Microwave power system for plasma production,*** Intemational Workshop on Plasma Diagnostics and Applications, July 2009, National Institute of Education NTU, Singapore

33. หมุดตอลีบ หนิสอ, ***การพัฒนาเทคโนโลยีไมโครเวฟเพื่อการอบแห้งประสิทธิภาพสูง,*** การประชุมวิชาการของเครือข่ายการวิจัยสถาบันอุดมศึกษา ปี 2552

34. P. Kerdtongmee, 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. Kerdtongmee, 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. Kerdtongmee, 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

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. Kerdtongmee, 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. Kerdtongmee 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. Kerdtongmee, 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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. Kerdtongmee, 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 Kerdtongmee, 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

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

67. 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

68. 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

69. Praiwan Kerdtongmee, S. Sommano and Mudtrolep Nisoa, **Development of microwave heating system for Jasmine essential oil extraction technology,** Siam Physics Congress SPC2013, 21-23 March 2013, Chiang Mai, Thailand

70. Arlee Tamman, Thawatchai Onjun and Mudtorlep Nisoa, ***Preliminary study of plasma focus for ^{18}F production***, Siam Physics Congress SPC2013, 21-23 March 2013, Chiang Mai, Thailand

71. 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

72. 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)

73. Arlee Tamman, Mudtorlep Nisoa and Thawatchai Onjun, Preliminary Studies of small Plasma Focus for ^{18}F Production, International conference on plasma science and application 2013, 4-6 December 2013, Singapore (Poster)

74. 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)

75. 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)

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, ***การพัฒนาไอออนบีมสำหรับการเชาะร่องในโซลาร์เซลล์แบบคลับแซนวิชเฟสที่ 1*** , 1 พฤศจิกายน 2545 ถึง 30 กรกฎาคม 2548, สกว., 145 หน้า

2. หมุดตอเล็บ หนิสอ และคณะ, ***การพัฒนาระบบเครื่องกำเนิดโอโซนโดยใช้เทคนิค Barrier discharge สำหรับการจัดการหลังการเก็บเกี่ยวเงาะ ทุเรียน และพืช ผักของกลุ่มเกษตรกรในจังหวัดนครศรีธรรมราชและสุราษฎร์ธานี*** , 1 มิถุนายน 2547 ถึง 1 มิถุนายน 2548, สกอ., 176 หน้า

3. หมุดตอเล็บ หนิสอ และคณะ, ***การพัฒนาไอออนบีมสำหรับการเชาะร่องในโซลาร์เซลล์แบบคลับแซนวิชเฟสที่ 2*** , 15 กันยายน 2548 ถึง 15 กันยายน 2549, สกว., 172 หน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. หมุดตอเล็บ หนิสอ และคณะ, ***การพัฒนาเครื่องอบแห้งโดยใช้คลื่นไมโครเวฟเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมทำปลาแห้งของเกษตรกรขนาดย่อยในเขตจังหวัดนครศรีธรรมราช***, 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, ***การพัฒนาระบบทำปลากึ่งแห้งกึ่งอัตโนมัติด้วยคลื่นไมโครเวฟ***, 4 มิถุนายน 2550 ถึง 30 ตุลาคม 2551, สกอ., 75 หน้า

7. หมุดตอเล็บ หนิสอ และคณะ, ***การพัฒนาระบบอบแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟเพื่อใช้ในเครื่องทำอาหารสัตว์อัดเม็ด***, มิถุนายน 51 – สิงหาคม 52, บริษัทไทรอัมฟ์เอ็นจิเนียริ่ง, 43 หน้า

8. หมุดตอเล็บ หนิสอ และ คณะ, ***การพัฒนาเครื่องกำเนิดคลื่นวิทยุเพื่อกำเนิดพลาสมาในการทำความสะอาดอุปกรณ์การแพทย์***, ต.ค. 51 – ต.ค. 52, วช., 41 หน้า

9. หมุดตอเล็บ หนิสอ และคณะ, การพัฒนาชุดขยายคลื่นวิทยุโซลิดสเตทแบบมอดูลาร์ความถี่ 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, ***การพัฒนาเทคโนโลยีคลื่นวิทยุและคลื่นไมโครเวฟเพื่อการประยุกต์ทางกสิกรรม,*** ก.พ. 52 – ก.พ. 53, ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์ สกอ., 50 หน้า

12. หมุดตอเล็บ หนิสอ และคณะ, **การพัฒนาแหล่งกำเนิดไอออนบีมความหนาแน่นสูงเพื่อการปรับปรุงพันธ์พืชและการปรับปรุงเมมเบรน,** ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์ สกอ., 24 หน้า

3.1.3.2 สิทธิบัตร

1. พันธุ์ศักดิ์ เกิดทองมี หมุดตอเล็บ หนิสอ และคณะ, ***เครื่องอบรังนกแอ่นด้วยคลื่นไมโครเวฟที่ความดันต่ำ,*** ยื่นคำขอรับสิทธิบัตรการประดิษฐ์ต่อกรมทรัพย์สินทางปัญญาเมื่อวันที่ 24 มิถุนายน 2551 เลขที่คำขอ 0801003222

3.1.3.2 อนุสิทธิบัตรและสิทธิบัตร

1. ไพรวัลย์ เกิดทองมี หมุดตอเล็บ หนิสอ และคณะ, ***เครื่องให้ความร้อนเมลามีนด้วยคลื่นไมโครเวฟ,*** อนุสิทธิบัตรเลขที่6562, 5 กันยายน 2554 - วันที่ 6 กันยายน 2559
2. ไพรวัลย์ เกิดทองมี หมุดตอเล็บ หนิสอ และคณะ, ***เครื่องอบแห้งลูกเดือยสำหรับแปรรูปด้วยคลื่นไมโครเวฟ***, อนุสิทธิบัตรเลขที่8004, 8 เมษายน 2556 - วันที่ 12 มีนาคม 2561
3. ไพรวัลย์ เกิดทองมี หมุดตอเล็บ หนิสอ และคณะ, เครื่องให้ความร้อนวัสดุผสมยางก่อนขึ้นรูปด้วยคลื่นไมโครเวฟ, ยื่นคำขอรับอนุสิทธิบัตรการประดิษฐ์ต่อกรมทรัพย์สินทางปัญญาเมื่อวันที่ 13 ธันวาคม 2553 เลขที่คำขอ 1003001271

3.2 ประเภทหนังสือ ตำรา เอกสารคำสอน

1. หมุดตอเล็บ หนิสอ, ฟิสิกส์ 1 , วิชา 1201-101 ฟิสิกส์ 1 , 99 หน้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. หมุดดอเล็บ หนิสอ, ฟิสิกส์ 2 , วิชา 1201-103 ฟิสิกส์ 2

3.3 บทความวิชาการ -

3.4 บทความทั่วไป

1. วิทยาศาสตร์รอบตัว: น้ำตอนที่ 1, วารสาร science world, ปีที่1, ฉบับที่1, พฤษภาคม 2548, บริษัทบงกช พับลิชชิ่ง จำกัด-วิทยาศาสตร์รอบตัว: น้ำตอนที่ 1, วารสาร science world, ปีที่1, ฉบับที่1, พฤษภาคม 2548, บริษัทบงกช พับลิชชิ่ง จำกัด

2. วิทยาศาสตร์รอบตัว: น้ำตอนที่ 2, วารสาร science world, ปีที่1, ฉบับที่2, มิถุนายน 2548, บริษัทบงกช พับลิชชิ่ง จำกัด

3. วิทยาศาสตร์รอบตัว: น้ำตอนที่ 3, วารสาร science world, ปีที่1, ฉบับที่3, กรกฎาคม 2548, บริษัทบงกช พับลิชชิ่ง จำกัด

4. วิทยาศาสตร์รอบตัว: แสงตอนที่1 ธรรมชาติของแสง, วารสาร science world, ปีที่1, ฉบับที่4, สิงหาคม2548, บริษัทบงกช พับลิชชิ่ง จำกัด

5. วิทยาศาสตร์รอบตัว: แสงตอนที่2 เมื่อแสงเป็นคลื่น, วารสาร science world, ปีที่1, ฉบับที่5, กันยายน 2548, บริษัทบงกช พับลิชชิ่ง จำกัด

6. วิทยาศาสตร์รอบตัว: แสงตอนที่3 เมื่อแสงเป็นอนุภาค, วารสาร science world, ปีที่1, ฉบับที่6, ตุลาคม 2548, บริษัทบงกช พับลิชชิ่ง จำกัด

7. วิทยาศาสตร์รอบตัว: ฟิสิกส์ของการทำปลาแห้งด้วยคลื่นไมโครเวฟ, วารสาร science world, ปีที่ 2, ฉบับที่ 19, พฤศจิกายน 2549, บริษัทบงกชพับลิชชิ่ง จำกัด

8. วิทยาศาสตร์รอบตัว: โอโซน, วารสาร science world, ปีที่ 2, ฉบับที่ 20, ธันวาคม 2549, บริษัทบงกชพับลิชชิ่ง จำกัด

3.5 งานวิชาการประเภทอื่นๆ (เช่นสิ่งประดิษฐ์ ลิขสิทธิบัตร ฯลฯ) –

3.5.1 ชุดทดลองเพื่อศึกษาฟิสิกส์และเทคโนโลยีไมโครเวฟ

3.5.2 ชุดทดลองเพื่อศึกษากฎของฟาราเดย์

4. งานวิชาการในปัจจุบัน

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

5. รางวัลและทุนที่เคยได้รับ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้