

การศึกษาปัจจัยอันเนื่องมาจากรูปร่างกระบอกของ CuFeO_2
เพื่อนำไปทำเป็นเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

THE STUDY OF CYLINDRICAL CONFIGURATION OF
 CuFeO_2 FOR MAKING THERMOELECTRIC MODULES



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตร์บัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2558

การศึกษาปัจจัยอันเนื่องมาจากรูปร่างกระบอกของ CuFeO_2
เพื่อนำไปทำเป็นเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

THE STUDY OF CYLINDRICAL CONFIGURATION OF
 CuFeO_2 FOR MAKING THERMOELECTRIC MODULES



T149070



จักรพงษ์ คำจันทร์

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี.....

149070

27 S.F. 2560



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิทยาศาสตร์บัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)
ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการปีการศึกษา 2558 นี้ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

THE STUDY OF CYLINDRICAL CONFIGURATION OF CuFeO_2 FOR MAKING THERMOELECTRIC MODULES



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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับ **ACADEMIC YEAR 2558** อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการพิเศษ

การศึกษาปัจจัยอันเนื่องมาจากรูปทรงกระบอกของ CuFeO_2 เพื่อนำไปทำเป็นเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

THE STUDY OF CYLINDRICAL CONFIGURATION OF CuFeO_2 FOR MAKING THERMOELECTRIC MODULES

ชื่อนักศึกษา

นายจักรพงษ์ คำจันทร์ รหัสนักศึกษา 55051463

ปริญญา

วิทยาศาสตร์บัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์)

ภาควิชา

ฟิสิกส์

ปีการศึกษา

2558

อาจารย์ที่ปรึกษา

อ.ภูมินทร์ จินดาจิธาวัฒน์

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ผศ.ดร.เชษฐา รัตนพันธ์

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์) ประจำปีการศึกษา 2558

| คณะกรรมการสอบ | ลายมือชื่อ |
|---|------------|
| ผศ.ดร.ประธาน บุรณศิริ ประธานกรรมการ | |
| ดร.วิฑูรย์ ยินดีสุข กรรมการ | |
| อ.ธรรมรัตน์ แต่งตั้ง กรรมการ | |
| อ.ภูมินทร์ จินดาจิธาวัฒน์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา | |
| ผศ.ดร.เชษฐา รัตนพันธ์ กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม | |

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | |
|----------------------|--|
| หัวข้อโครงการพิเศษ | การศึกษาปัจจัยอันเนื่องมาจากรูปทรงกระบอกของ CuFeO_2 เพื่อนำไปทำเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล |
| ชื่อนักศึกษา | นายจักรพงษ์ คำจันทร์ รหัสนักศึกษา 5505146 |
| ปริญญา | วิทยาศาสตร์บัณฑิต(ฟิสิกส์ประยุกต์) |
| ภาควิชา | ฟิสิกส์ |
| คณะ | วิทยาศาสตร์ |
| มหาวิทยาลัย | สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง(สจล.) |
| ปีการศึกษา | 2558 |
| อาจารย์ที่ปรึกษา | อ.ภูมินทร์ จินดาจิธาวัฒน์ |
| อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม | ผศ.ดร.เชษฐา รัตนพันธ์ |

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปัจจัยอันเนื่องมาจากรูปทรงกระบอกของ CuFeO_2 เพื่อนำไปทำเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล เป็นการหาความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่หน้าตัดกับความสูงของชั้น CuFeO_2 ประเภท P-type ชนิดเดียว ซึ่งมีพื้นที่หน้าตัดและความสูงที่แตกต่างกันในการทดลองเราได้ทำการทดลองชั้น CuFeO_2 15 ชั้น โดยมีพื้นที่หน้าตัดที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 ขนาด คือ 10 mm., 20 mm., 40 mm. แต่ละพื้นที่หน้าตัดมีความสูงตั้งแต่ 10 mm., 15 mm., 20 mm., 25 mm., 30 mm. จากผลการทดลองพบว่าชั้น CuFeO_2 ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. มีแนวโน้มที่จะนำไปทำเป็นเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

คำสำคัญ : เทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล

| | |
|---------------|--|
| Title | THE STUDY OF CYLINDRICAL CONFIGURATION OF CuFeO_2 FOR MAKING THERMOELECTRIC MODULES |
| Student | Mr.Jakkapong Khamjan Student ID 55051463 |
| Degree | Bachelor of Science(Applied Physics) |
| Department | Physics |
| Faculty | Science |
| University | King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang(KMITL) |
| Academic Year | 2558 |
| Advisor | Phumin Jindajitawat |
| Co-advisor | Assist.prof.Dr.Chesta Ruttanapun |

Abstract

This research is the study of cylindrical configuration of CuFeO_2 for making thermoelectric modules. The purpose is studying relationship between the cross-sectional area and the height of CuFeO_2 of P-type single species. Which have difference in cross-sectional area and height. In the experiment, we have CuFeO_2 15 pieces by the cross-sectional area with a diameters of three sizes: 10 mm. 20 mm. 40 mm. Each section has a height of 10 mm.,15 mm.,20 mm.,25 mm. and 30 mm.The results showed that CuFeO_2 with a diameter of 10 mm.Tends to be made of thermoelectric modules.

Keyword: thermoelectric modules

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษเล่มนี้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดีด้วยความกรุณาของ อาจารย์ภูมินทร์ จินดาจิธาวัฒน์และ ผศ.ดร.เชษฐา รัตนพันธ์ ที่อำนวยความสะดวกในการใช้เครื่องมืออุปกรณ์ในการทดลอง รวมถึงให้ความรู้ ทุนสนับสนุน คำปรึกษาทางวิชาการตลอดจนปลูกฝังคุณธรรม จริยธรรม และคอยช่วยเหลือในทุกๆ ด้านตลอดมาจนเสร็จสมบูรณ์

ขอขอบคุณพี่ๆ นักศึกษาปริญญาเอก ปริญญาโท และเพื่อนๆ นักศึกษาในห้องปฏิบัติการเทอร์โมอิเล็กทริก สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่คอยแนะนำและให้ความช่วยเหลือในการทำงานเสมอมา

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ทุกท่านที่เมตตาประสาทวิชาตั้งแต่การศึกษาระดับมัธยมจนถึงปัจจุบัน ตลอดจนขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อคุณแม่และผู้มีพระคุณทุกท่านที่ให้ความอุปการะทุนในการศึกษาเล่าเรียนและเป็นกำลังใจที่ดีตลอดมา

จักรพงษ์ คำจันทร์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

| | หน้า |
|--|-----------|
| บทคัดย่อภาษาไทย | ก |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | ข |
| กิตติกรรมประกาศ | ค |
| สารบัญ | ง |
| สารบัญตาราง | ช |
| สารบัญรูป | ซ |
| คำย่อ/สัญลักษณ์ | ฎ |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย | 1 |
| 1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย | 1 |
| 1.3 ขอบเขตของงานวิจัย | 1 |
| 1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน | 2 |
| 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ | 2 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 3 |
| 2.1 หลักการพื้นฐาน (Basic principle) | 3 |
| 2.1.1 ปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck Effect) | 4 |
| 2.1.2 ปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier Effect) | 6 |
| 2.1.3 ปรากฏการณ์ทางเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric Effect) | 8 |
| 2.2 ประสิทธิภาพวัสดุทางเทอร์โมอิเล็กทริก (The efficiency of Thermoelectric materials) | 9 |
| 2.3 สมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric properties) | 10 |
| 2.3.1 สภาพต้านทานไฟฟ้า (resistivity) | 10 |
| 2.3.2 สภาพการนำความร้อน (Thermal conductivity) | 11 |
| 2.3.3 สัมประสิทธิ์ซีเบค (Seebeck coefficient) | 11 |
| 2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 12 |
| 2.4.1 สมบัติทางโครงสร้างดีลาฟอไซต์ CuFeO_2 (Delafossite structure properties) | 12 |
| บทที่ 3 การดำเนินงานวิจัย | 14 |
| 3.1 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย | 14 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

| | หน้า |
|---|-----------|
| 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ | 15 |
| 3.3 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย | 17 |
| 3.4 เครื่องมือวัดที่ใช้ในงานวิจัย | 18 |
| 3.5 ขั้นตอนการทดลอง | 19 |
| บทที่ 4 ผลการวิจัยและอภิปรายผล | 21 |
| 4.1 ผลการทดลองแท่งโมดูลที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. | 21 |
| 4.1.1 แท่งโมดูลของเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ความสูง 10 mm. Load 13 Ω | 21 |
| 4.1.2 แท่งโมดูลของเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ความสูง 15 mm. Load 30 Ω | 23 |
| 4.1.3 แท่งโมดูลของเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ความสูง 20 mm. Load 16 Ω | 24 |
| 4.1.4 แท่งโมดูลของเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10mm. ความสูง 25 mm. Load 112 Ω | 26 |
| 4.1.5 แท่งโมดูลของเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10mm. ความสูง 30 mm. Load 514 k Ω | 27 |
| 4.2 ผลการทดลองแท่งโมดูลที่มีพื้นที่หน้าตัดวงกลม โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. | 29 |
| 4.2.1 แท่งโมดูลของเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. ความสูง 10 mm. Load 514 k Ω | 29 |
| 4.2.2 แท่งโมดูลของเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. ความสูง 15 mm. Load 4.4 k Ω | 30 |
| 4.2.3 แท่งโมดูลของเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. ความสูง 20 mm. Load 38 k Ω | 32 |
| 4.2.4 แท่งโมดูลของเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. ความสูง 25 mm. Load 24 k Ω | 33 |
| 4.2.5 แท่งโมดูลของเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. ความสูง 30 mm. Load 68 Ω | 35 |

สารบัญ(ต่อ)

| | หน้า |
|---|-----------|
| 4.3 ผลการทดลองแท่งโมดูลที่มีพื้นที่หน้าตัดวงกลม โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. | 36 |
| 4.3.1 แท่งโมดูลของเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. ความสูง 10 mm. Load 2.4 Ω | 36 |
| 4.3.2 แท่งโมดูลของเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. ความสูง 15 mm. Load 15 Ω | 38 |
| 4.3.3 แท่งโมดูลของเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. ความสูง 20 mm. Load 190Ω | 39 |
| 4.3.4 แท่งโมดูลของเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. ความสูง 25 mm. Load 15 Ω | 41 |
| 4.3.5 แท่งโมดูลของเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. ความสูง 30 mm. Load 10 Ω | 42 |
| บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ | 44 |
| 5.1 สรุปผลการวิจัย | 44 |
| 5.1.1 ชิ้นงาน | 44 |
| 5.1.2 ความสูงต่างๆของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. | 44 |
| 5.1.3 ความสูงต่างๆของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. | 46 |
| 5.1.4 ความสูงต่างๆของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. | 47 |
| 5.2 ข้อเสนอแนะ | 49 |
| 5.2.1 การระบวนการเตรียมสาร | 49 |
| 5.2.2 ชิ้นงาน | 49 |
| เอกสารอ้างอิง | |
| ภาคผนวก | |
| ภาคผนวก ก | |
| ภาคผนวก ข | |

สารบัญตาราง

ตารางที่

1.1 แสดงแผนงานดำเนินการ

หน้า

2



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

| รูปที่ | หน้า |
|--|------|
| 2.1 โทมัสโจแฮน ซีเบค (Thomas Johann Seebeck) | 4 |
| 2.2 วงจรการเกิดปรากฏการณ์ซีเบค | 4 |
| 2.3 แสดงภาพการเคลื่อนที่ของพาหะข้างมากในสารกึ่งตัวนำที่มีอุณหภูมิสองด้านไม่เท่ากัน | 5 |
| 2.4 ปรากฏการณ์เพลเทียร์ | 6 |
| 2.5 ยีน ชาร์เลสเอธานเนสซี เฟลเทียร์ (Jean Char AthanasePeltier) | 6 |
| 2.6 แผ่นเพลเทียร์ชนิดลูกเต๋า | 7 |
| 2.7 แสดงการเคลื่อนที่ของโฮลในวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดพี | 8 |
| 2.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า ZT กับ Temperature ของสารต่างๆ | 9 |
| 2.9 แสดงโครงสร้างโคออดิเนชันของ (ก) Cu-O (ข) Fe-O (ค) Cu-O-Fe | 12 |
| 2.10 โครงสร้างดีลาฟอสไฟท์ | 12 |
| 3.1 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย | 14 |
| 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย | 15 |
| 3.3 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย | 17 |
| 3.4 เครื่องมือวัดที่ใช้ในงานวิจัย | 18 |
| 3.5 วงจรสมมูล | 20 |
| 3.6 วงจรทดสอบกระแสและแรงดันที่ Load มีค่าเท่ากับตัวต้านทานภายใน | 20 |
| 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส (I) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น $CuFeO_2$ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ความสูง 10 mm. | 21 |
| 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ (V) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น $CuFeO_2$ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ความสูง 10 mm. | 22 |
| 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลัง (P) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น $CuFeO_2$ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ความสูง 10 mm | 22 |
| 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส (I) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น $CuFeO_2$ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ความสูง 15mm. | 23 |
| 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ (V) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น $CuFeO_2$ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ความสูง 15 mm. | 23 |
| 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลัง (P) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น $CuFeO_2$ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ความสูง 15 mm. | 24 |
| 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส (I) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น $CuFeO_2$ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ความสูง 20 mm. | 24 |
| 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ (V) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น $CuFeO_2$ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ความสูง 20 mm. | 25 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลัง (P) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชิ้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ความสูง 20 mm. | 25 |
| 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส (I) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชิ้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ความสูง 25mm. | 26 |
| 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ (V) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชิ้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ความสูง 25mm. | 26 |
| 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลัง (P) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชิ้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ความสูง 25 mm. | 27 |
| 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส (I) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชิ้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ความสูง 30mm. | 27 |
| 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ (V) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชิ้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ความสูง 30mm. | 28 |
| 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลัง (P) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชิ้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ความสูง 30mm. | 28 |
| 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส (I) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชิ้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. ความสูง 10 mm. | 29 |
| 4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ (V) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชิ้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. ความสูง 10 mm. | 29 |
| 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลัง (P) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชิ้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. ความสูง 10 mm. | 30 |
| 4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส (I) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชิ้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. ความสูง 15mm. | 30 |
| 4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ (V) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชิ้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. ความสูง 15mm. | 31 |
| 4.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลัง (P) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชิ้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. ความสูง 15mm. | 31 |
| 4.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส (I) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชิ้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. ความสูง 20 mm. | 32 |
| 4.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ (V) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชิ้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. ความสูง 20 mm. | 32 |
| 4.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลัง (P) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชิ้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. ความสูง 20 mm. | 33 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 4.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส (I) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชิ้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. ความสูง 25 mm. | 33 |
| 4.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ (V) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชิ้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. ความสูง 25 mm. | 34 |
| 4.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลัง (P) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชิ้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. ความสูง 25 mm. | 34 |
| 4.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส (I) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชิ้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. ความสูง 30 mm. | 35 |
| 4.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ (V) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชิ้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. ความสูง 30 mm. | 35 |
| 4.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลัง (P) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชิ้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. ความสูง 30 mm. | 36 |
| 4.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส (I) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชิ้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. ความสูง 10 mm. | 36 |
| 4.32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ (V) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชิ้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. ความสูง 10 mm. | 37 |
| 4.33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลัง (P) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชิ้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. ความสูง 10 mm. | 37 |
| 4.34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส (I) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชิ้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. ความสูง 15mm. | 38 |
| 4.35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ (V) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชิ้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. ความสูง 15mm. | 38 |
| 4.36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลัง (P) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชิ้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. ความสูง 15 mm. | 39 |
| 4.37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส (I) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชิ้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. ความสูง 20mm. | 39 |
| 4.38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ (V) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชิ้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. ความสูง 20 mm. | 40 |
| 4.39 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลัง (P) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชิ้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. ความสูง 20mm. | 40 |
| 4.40 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส (I) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชิ้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. ความสูง 25mm. | 41 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

| รูปที่ | หน้า |
|---|------|
| 4.41 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ (V) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชิ้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. ความสูง 25 mm. | 41 |
| 4.42 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลัง (P) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชิ้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. ความสูง 25 mm. | 42 |
| 4.43 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส (I) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชิ้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. ความสูง 30mm. | 42 |
| 4.44 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ (V) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชิ้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. ความสูง 30 mm. | 43 |
| 4.45 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลัง (P) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชิ้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. ความสูง 30mm. | 43 |
| 5.1 แสดงความเปรียบเทียบระหว่างกระแส (I) กับผลต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชิ้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ที่ความสูงต่างๆ | 44 |
| 5.2 แสดงความเปรียบเทียบระหว่างความต่างศักย์ (V) กับผลต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชิ้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ที่ความสูงต่างๆ | 45 |
| 5.3 แสดงความเปรียบเทียบระหว่างกำลัง (P) กับผลต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชิ้นงาน CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ที่ความสูงต่างๆ | 45 |
| 5.4 แสดงความเปรียบเทียบระหว่างกระแส (I) กับผลต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชิ้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. ที่ความสูงต่างๆ | 46 |
| 5.5 แสดงความเปรียบเทียบระหว่างความต่างศักย์ (V) กับผลต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชิ้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. ที่ความสูงต่างๆ | 46 |
| 5.6 แสดงความเปรียบเทียบระหว่างกำลัง (P) กับผลต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชิ้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. ที่ความสูงต่างๆ | 47 |
| 5.7 แสดงความเปรียบเทียบระหว่างกระแส (I) กับผลต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชิ้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. ที่ความสูงต่างๆ | 47 |
| 5.8 แสดงความเปรียบเทียบระหว่างความต่างศักย์ (V) กับผลต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชิ้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. ที่ความสูงต่างๆ | 48 |
| 5.9 แสดงความเปรียบเทียบระหว่างกำลัง (P) กับผลต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชิ้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ที่ความสูงต่างๆ | 48 |

คำย่อ/สัญลักษณ์

| คำย่อ/สัญลักษณ์ | คำอธิบาย |
|-----------------|---|
| V | แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างจุดต่อทั้งสอง (V) |
| S | สัมประสิทธิ์ซีเบคหรือค่าการเหนี่ยวนำไฟฟ้าต่ออุณหภูมิของโลหะชนิดต่างๆ (V/ K) |
| ΔT | ผลต่างของอุณหภูมิที่จุดต่อทั้งสอง (K) |
| V_h | แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากด้านร้อน (V) |
| V_c | แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากด้านเย็น (V) |
| T_h | อุณหภูมิด้านร้อน (K) |
| T_c | อุณหภูมิด้านเย็น (K) |
| σ | สภาพนำไฟฟ้าของวัสดุ ($A/m \cdot V$) |
| κ | สภาพนำความร้อนของวัสดุ ($W/m \cdot K$) |
| ρ | สภาพต้านทานไฟฟ้า ($\Omega \cdot m$) |
| A | พื้นที่หน้าตัดของสารตัวอย่าง (m^2) |
| L | ความยาวของสารตัวอย่าง (m) |
| ZT | บ่งบอกประสิทธิภาพเทอร์โมอิเล็กทริก |
| D | ความหนาแน่น (kg/m^3) |
| d | เส้นผ่านศูนย์กลาง (m) |
| m | มวล (kg) |
| v | ปริมาตร (m^3) |
| T_H | อุณหภูมิด้านร้อน ($^{\circ}C$) |
| T_C | อุณหภูมิด้านเย็น ($^{\circ}C$) |
| ΔT | ผลต่างของอุณหภูมิ ($^{\circ}C$) |
| T_{EV} | อุณหภูมิสิ่งแวดล้อม ($^{\circ}C$) |
| r | ความต้านทานภายใน (Ω) หรือ ($k\Omega$) |
| V_o | แรงดันเอาต์พุต (mV) |
| I_o | กระแสเอาต์พุต (mA) หรือ (μA) |
| P_o | กำลังเอาต์พุต (μW) หรือ (nW) |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันปัญหา เรื่องของพลังงาน เป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อการดำรงชีวิตประจำวันของมนุษย์ ทำให้ทางหน่วยงานหลายๆ หน่วยงาน รวมทั้งนักวิจัยในด้านพลังงานต่างๆ ร่วมกันค้นคว้าเพื่อสรรหาพลังงานชนิดอื่นที่จะมาทดแทนพลังงานหลักที่ใช้กันอยู่ในทุกวันนี้ ทางผู้จัดทำจึงได้สนใจศึกษาค้นคว้าพลังงานทางเลือกใหม่ ซึ่งก็คือ วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก จากการศึกษางานวิจัยที่มีมาก่อนหน้า ทำให้ทราบว่า CuFeO_2 มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าสามารถทำเป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกได้ วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก คือ วัสดุที่สามารถผันพลังงานความร้อนที่เกิดจากความแตกต่างของอุณหภูมิในวัสดุที่เกิดขึ้นระหว่างด้านหนึ่งกับอีกด้านหนึ่งเป็นพลังงานไฟฟ้าและสามารถสร้างปรากฏการณ์ผันกลับจากปรากฏการณ์นี้ วัสดุที่มีคุณสมบัติเหมาะสมสำหรับประติสฐ์โมดูลเทอร์โมอิเล็กทริกนั้น ปัจจุบันอยู่ในช่วงของการวิจัยศึกษาค้นคว้าวัสดุที่มีประสิทธิภาพในการผันพลังงานได้สูง จากที่ผู้จัดทำได้ศึกษาค้นคว้ามาก่อนหน้า จึงสนใจใช้วัสดุ CuFeO_2 มาทำเป็นโมดูลของเทอร์โมอิเล็กทริก ดังนั้นจึงศึกษาปัจจัยอันเนื่องมาจากรูปทรงเรขาคณิตของ CuFeO_2 เพื่อนำไปทำเทอร์โมอิเล็กทริกโมดูล โดยทำการออกแบบโมดูลเป็นเรขาคณิตทรงกระบอกที่มีความสูงและพื้นที่หน้าตัดที่ต่างกัน ให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 หาความสัมพันธ์พื้นที่หน้าตัดกับความสูงที่มีผลต่อแรงดัน
- 1.2.2 เพื่อศึกษาคูณสมบัติทางไฟฟ้าแต่ละโมดูลรูปทรงกระบอกจาก CuFeO_2 ที่ออกแบบไว้ต่างกัน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

- 1.3.1 วิเคราะห์โมดูลรูปทรงกระบอกจาก CuFeO_2 ที่สังเคราะห์ขึ้น
- 1.3.2 หาแรงดันไฟฟ้า กระแสไฟฟ้าและสมบัติของเทอร์โมอิเล็กทริกจาก CuFeO_2 ในโมดูลแบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนการวิจัยและวิธีการดำเนินงาน

ขั้นตอนการวิจัย

ขั้นตอนที่ 1 เตรียมสารประกอบ CuFeO_2

ขั้นตอนที่ 2 ทำการออกแบบโมดูลพื้นที่หน้าตัดที่ต่างกันและอัดแท่งโมดูลที่กำหนดไว้

ขั้นตอนที่ 3 ทำการทดลองแต่ละแท่งโมดูล CuFeO_2 เพื่อหาค่าแรงดันไฟฟ้า

ขั้นตอนที่ 4 รวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ผล

ตารางที่ 1.1 แสดงแผนงานดำเนินการ

| ระยะเวลา | การดำเนินงาน | | | |
|------------|--------------|--------------|--------------|--------------|
| | ขั้นตอนที่ 1 | ขั้นตอนที่ 2 | ขั้นตอนที่ 3 | ขั้นตอนที่ 4 |
| กันยายน | | | | |
| ตุลาคม | | | | |
| พฤศจิกายน | | | | |
| ธันวาคม | | | | |
| มกราคม | | | | |
| กุมภาพันธ์ | | | | |
| มีนาคม | | | | |
| เมษายน | | | | |

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.5.1 เป็นอีกทางเลือกสำหรับการคิดค้นพลังงานทดแทน

1.5.2 สังเกตและศึกษาสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริกของสารประกอบ CuO กับ Fe_2O_3

1.5.3 เพิ่มประสิทธิภาพให้กับโมดูลของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริก

1.5.4 นำเอาความรู้ใหม่ที่ได้ไปประยุกต์กับงานวิจัยต่างๆ และก่อให้เกิดประโยชน์แก่ผู้ที่สนใจ

ศึกษางานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 2 นำเสนอทฤษฎีที่เกี่ยวข้องที่ใช้อธิบายปรากฏการณ์ทางเทอร์โมอิเล็กทริกและสิ่งประดิษฐ์ทางเทอร์โมอิเล็กทริก โดยหัวข้อในการนำเสนอมีดังนี้

2.1 หลักการพื้นฐาน (Basic principle)

2.1.1 ปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck Effect)

2.1.2 ปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier Effect)

2.1.3 ปรากฏการณ์ทางเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric Effect)

2.2 ประสิทธิภาพวัสดุทางเทอร์โมอิเล็กทริก (The efficiency of Thermoelectric materials)

2.3 สมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric properties)

2.3.1 สภาพต้านทานไฟฟ้า (resistivity)

2.3.2 สภาพการนำความร้อน (Thermal conductivity)

2.3.3 สัมประสิทธิ์ซีเบค (Seebeck coefficient)

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Related reseach)

2.4.1 สมบัติทางโครงสร้างดีลาฟอสไซต์ CuFeO_2 (Delafossite structure properties)

ความหมายของเทอร์โมอิเล็กทริก เป็นคำที่เกิดจากการผสมกันระหว่างคำว่า เทอร์โม (Thermo) ซึ่งมีความหมายว่า ร้อน และอิเล็กทริก (electric) ซึ่งมีความหมายว่า ไฟฟ้า ดังนั้น จึงเป็นปรากฏการณ์ที่เกี่ยวกับความร้อนและไฟฟ้า จึงอธิบายตามหัวข้อที่เสนอไปก่อนหน้านี้

2.1 หลักการพื้นฐาน (Basic principle)

2.1.1 ปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck Effect)

หลักการของซีเบคเป็นหลักการทางไฟฟ้า โดยซีเบคนำเอาสายไฟ 3 ชั้นที่ทำมาจากโลหะที่ต่างกัน 2 ชนิด มาต่อเป็นวงจรโดยการทดลองเมื่อนำเอาลวดต่างชนิด (ชนิด B) มาต่อเข้าระหว่างลวดชนิดเดียวกัน (ชนิด A) ทำให้เกิดรอยต่อระหว่างลวดทั้งคู่รอยต่อที่ว่าเป็นนี้ คือ รอยต่อ A และรอยต่อ B เมื่อเริ่มให้ความร้อนกับรอยต่อด้านหนึ่ง และพบว่ามีการแสไฟฟ้าเล็กๆ ไหลได้เมื่อต่อครบวงจร ซึ่งในที่นี้ใช้การแสดงผลของมิเตอร์วัดกระแสเป็นค่าหน่วยไมโครแอมป์ต่อเป็นโวลต์ในวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 โทมัสโจแฮน ซีเบค (Thomas Johann Seebeck)



รูปที่ 2.2 วงจรการเกิดปรากฏการณ์ซีเบค

จากภาพที่ 2.2 เส้นลวดโลหะสองชนิด (Conductor 1 และ Conductor 2) ถูกเชื่อมต่อโดยจุดเชื่อมต่อ X_h ซึ่งมีอุณหภูมิสูง (T_h) และจุด X_c ซึ่งมีอุณหภูมิต่ำ (T_c) พาหะไฟฟ้า (Carrier) ในตัวนำจะมีทิศทางการแพร่ (diffusion) ไปในทิศทางเดียวกันกับการถ่ายเทอุณหภูมิ (Temperature Gradient) ตามทิศทาง x ที่บริเวณฝั่งด้านร้อนพาหะจะมีพลังงานสูง จึงพยายามแพร่ไปหาด้านที่เย็นกว่าเพื่อลดพลังงานลงทำให้พาหะไฟฟ้าอยู่ในภาวะสมดุล เนื่องจากลวดตัวนำทั้งสองเป็นโลหะต่างชนิดกัน จึงมีค่าสัมประสิทธิ์การเหนี่ยวนำไฟฟ้าต่ออุณหภูมิ (S) ไม่เท่ากัน และทำให้เกิดแรงดันคร่อมจุดเชื่อมต่อทั้งสองสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ต่างกันของจุดต่อทั้งสองกับแรงดันที่เกิดขึ้น

$$V = (S_2 - S_1) \Delta T \quad (2.1)$$

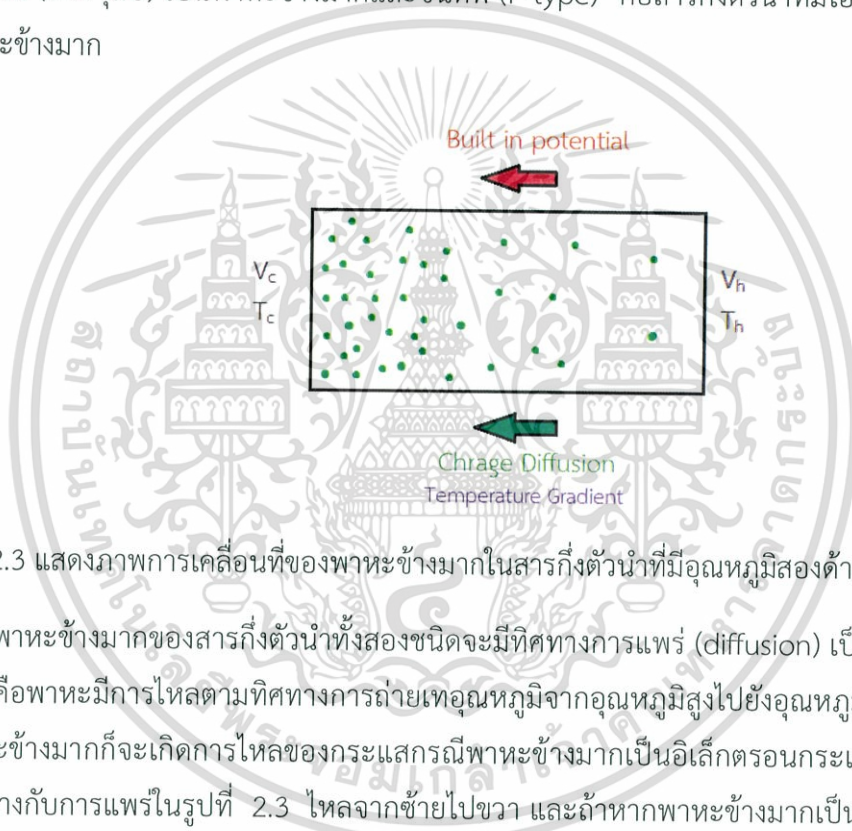
V = แรงดันไฟฟ้าที่เกิดขึ้นระหว่างจุดต่อทั้งสองมีหน่วยโวลต์
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

S = สัมประสิทธิ์ซีเบคหรือค่าการเหนี่ยวนำไฟฟ้าต่ออุณหภูมิของโลหะชนิดต่างๆ หน่วย V/K

ΔT = ผลต่างของอุณหภูมิที่จุดต่อทั้งสองมีหน่วย K

ค่า S จะขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ คือ อุณหภูมิ โครงสร้างอะตอม และชนิดของตัวนำ ซึ่งหากใช้ตัวนำต่างชนิดจะได้ค่า S ไม่เท่ากันทำให้ V ที่ได้จะมีค่าไม่เป็นศูนย์

อุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริกในยุคปัจจุบันจะใช้สารกึ่งตัวนำ (Semiconductor) มาผ่านกระบวนการโด๊ป (Doping) เพื่อให้ได้เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (n-type) คือสารกึ่งตัวนำที่มีอิเล็กตรอน (ประจุลบ) เป็นพาหะข้างมากและชนิดพี (P-type) คือสารกึ่งตัวนำที่มีโฮล (ประจุบวก) เป็นพาหะข้างมาก



รูปที่ 2.3 แสดงภาพการเคลื่อนที่ของพาหะข้างมากในสารกึ่งตัวนำที่มีอุณหภูมิสองด้านไม่เท่ากัน

พาหะข้างมากของสารกึ่งตัวนำทั้งสองชนิดจะมีทิศทางการแพร่ (diffusion) เป็นไปตามภาพที่ 2.3 คือพาหะมีการไหลตามทิศทางการถ่ายเทอุณหภูมิจากอุณหภูมิสูงไปยังอุณหภูมิต่ำ การแพร่ของพาหะข้างมากก็จะเกิดการไหลของกระแสกรณีพาหะข้างมากเป็นอิเล็กตรอนกระแสก็จะไหลในทิศสวนทางกับการแพร่ในรูปที่ 2.3 ไหลจากซ้ายไปขวา และถ้าหากพาหะข้างมากเป็นโฮลกระแสที่เกิดขึ้นจะไหลทิศทางเดียวกันกับทางแพร่ ในรูปที่ 2.3 จะไหลจากขวาไปซ้าย และแรงดัน (Built-in potential) ที่เกิดขึ้นระหว่างด้านทั้งสองที่มีอุณหภูมิแตกต่างกันสามารถอธิบายเป็นความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$S = \frac{-\Delta V}{\Delta T} = \frac{V_h - V_c}{T_h - T_c} \quad (2.2)$$

V_h = แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากด้านร้อน หน่วย V

V_c = แรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากด้านเย็น หน่วย V

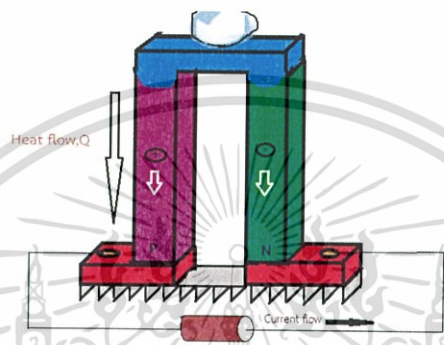
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

T_h = อุณหภูมิด้านร้อน หน่วย K

T_c = อุณหภูมิด้านเย็น หน่วย K

S = Seebeck Coefficient หน่วย V / K

2.1.2 ปปรากฏการณ์เพลเทียร์ (Peltier Effect)



รูปที่ 2.4 ปปรากฏการณ์เพลเทียร์

เทอร์โมอิเล็กทริกหรือเรียกกันอีกชื่อหนึ่งว่าเพลเทียร์ (Peltier) เป็นอุปกรณ์ทางเลือกหนึ่งสำหรับทำความเย็น หลักการทำงานของเพลเทียร์คือเมื่อป้อนไฟฟ้ากระแส ตรงให้กับเพลเทียร์ที่สารกึ่งตัวนำแบบพี-เอ็น (p-n type) กระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่านวัสดุที่ทำจากสารกึ่งตัวนำต่างชนิดกัน ทำให้เกิดการดูดกลืนของอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่จากพลังงานระดับต่ำในสารกึ่งตัวนำแบบพี สู่วงงานระดับสูงในสารกึ่งตัวนำแบบเอ็น ส่งผลให้เกิดการดูดกลืนความร้อนที่ด้านเย็น (Heat absorbed at cold side) และในขณะเดียวกันก็เกิดการดูดกลืนของอิเล็กตรอนที่เคลื่อนที่จากพลังงานระดับสูงในสารกึ่งตัวนำแบบเอ็นสู่วงงานระดับต่ำในสารกึ่งตัวนำแบบพี ส่งผลให้เกิดการคายความร้อนที่ด้านร้อนขึ้น



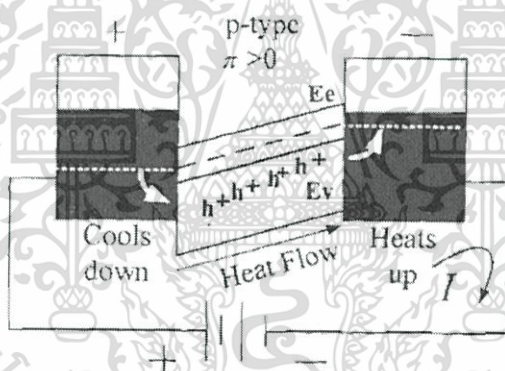
รูปที่ 2.5 ยีน ชาร์ เอธานาสซี เพลเทียร์ (Jean Char Athanase Peltier)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่นับผู้ใดเห็นว่าเป็นประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกระแสไหลผ่านตัวโมดูล มันจะพยายามสร้างคุณภาพ (Attempts to establish) ขึ้นในมวลภายในกระแสที่กระทำกับสารชนิดพี ทำให้รอยต่อเกิดความร้อนขึ้นต้องการทำให้เกิดความเย็นและสารชนิดเอ็นเกิดความร้อนขึ้นต้องการทำให้เกิดความร้อน ทั้งนี้เพื่อบำรุงคุณภาพตัวเองไว้ให้ได้ เมื่ออุปกรณ์นี้ทำงานในระดับอุณหภูมิเดียวกัน ทำให้ด้านที่เกิดความร้อนเพิ่มขึ้นและด้านที่เกิดความเย็นมีความเย็นมากขึ้น โดยทั่วไปเพลเทียร์ทำงานด้วยกระแส 4-10 แอมป์ที่แรงดันไฟ 12 โวลต์ แต่ในการผลิตเพื่องานอุตสาหกรรมผลิตเพลเทียร์ให้ทำงานด้วยกระแส 100 แอมป์หรือมากกว่านี้

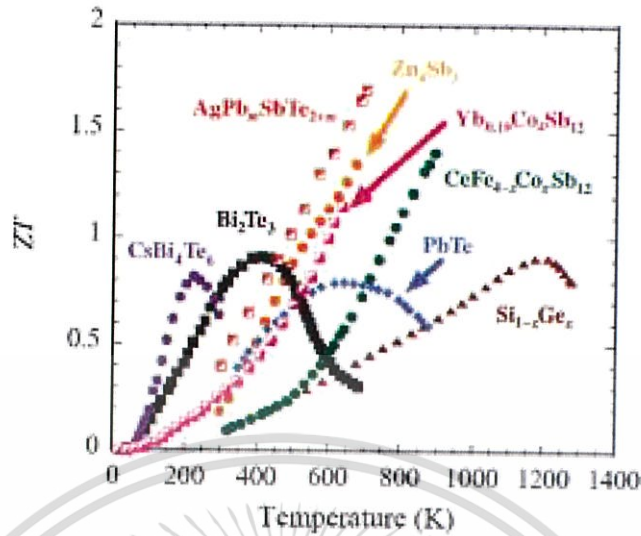
2.1.3 ปรากฏการณ์ทางเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric Effect)

วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดพีเป็นวัสดุที่มีพาหะโฮลอิสระมากหรือมีประจุบวกจะทำให้ อิเล็กตรอนวงนอกสุดของแต่ละอะตอมแลกเปลี่ยนอิเล็กตรอนซึ่งกันและกัน หรือใช้อิเล็กตรอนร่วมกันได้ครบ แต่ในกรณีนี้ทำให้ขาดอิเล็กตรอนหนึ่งตัว ที่จะจับกับอะตอมข้างเคียงจึงทำให้เกิดหลุมว่างของอิเล็กตรอนซึ่ง เรียกหลุมว่างนี้ว่าโฮล และมีประจุเป็นบวกเมื่อมีความแตกต่างอุณหภูมิเกิดขึ้นในวัสดุ จะทำให้โฮลเกิดการเคลื่อนที่จะได้กระแสไฟฟ้าออกมา



รูปที่ 2.7 แสดงการเคลื่อนที่ของโฮลในวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกชนิดพี

ปรากฏการณ์ทางเทอร์โมอิเล็กทริกข้างต้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้หลายรูปแบบเช่น ตู้เย็นระบบระบายความร้อน เทอร์โมคัปเปิล เป็นต้น ซึ่งการประยุกต์ที่น่าสนใจรูปแบบหนึ่งคือการนำไปผลิตพลังงานไฟฟ้า ปัจจุบันเทอร์โมอิเล็กทริกสามารถผันพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าได้ ยังคงมีประสิทธิภาพต่ำและต้นทุนสูง ดังนั้นจึงได้รับความสนใจในการพัฒนาประสิทธิภาพเทอร์โมอิเล็กทริกให้สูงขึ้นและต้นทุนต่ำลงโดยประสิทธิภาพเทอร์โมอิเล็กทริกขึ้นอยู่กับผลต่างของอุณหภูมิทั้งสองด้านและค่า ZT ควรมีค่ามากเท่าที่เป็นไปได้และช่วงอุณหภูมิที่กว้างที่เป็นไปได้เช่นกัน



รูปที่ 2.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า ZT กับ Temperature (K) ของสารต่างๆ

ปัจจัยการผันพลังงานของเทอร์โมอิเล็กทริกที่สำคัญคือการเพิ่มค่า ZT โดยการปรับปรุงสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกจะถูกกล่าวในข้อถัดไป

2.2 ประสิทธิภาพวัสดุทางเทอร์โมอิเล็กทริก (The efficiency of Thermoelectric materials)

ประสิทธิภาพของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกจากผลการวิจัยและพัฒนาด้านวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกประเภทสารกึ่งตัวนำ มีการพบว่าประสิทธิภาพของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกจะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

2.2.1 สามารถให้สภาพนำไฟฟ้าสูงแต่เกิดความร้อนภายในเนื้อวัสดุเพียงเล็กน้อย (ความร้อนเกิดจากความต้านทานการไหลของกระแสไฟฟ้า)

2.2.2 สามารถแปลงพลังงานความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าหรือแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นความเย็นได้มากที่สุด

2.2.3 มีสภาพนำความร้อนต่ำเพื่อป้องกันการนำความร้อนผ่านวัสดุ

คุณสมบัติทั้ง 3 ประการ มีความสัมพันธ์กันด้วยหลักการทางฟิสิกส์ตามสมการที่ 2.3 สำหรับใช้บ่งชี้คุณสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกของวัสดุ (Z)

$$z = \frac{s^2 \sigma}{\kappa} \quad (2.3)$$

โดยที่ s คือ สัมประสิทธิ์ซีเบค (V/K)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

σ คือ สภาพนำไฟฟ้าของวัสดุ $(\Omega \cdot m)^{-1}$

และ κ คือ สภาพนำความร้อนของวัสดุ $(W / m.K)$

เนื่องจาก z มีหน่วยต่ออุณหภูมิแต่ในทางปฏิบัติค่าบ่งชี้ที่เปรียบเทียบกันได้ง่ายควรจะไม่ มีหน่วยเรียก ค่า figure-of-merit ดังนั้นจึงมีการคูณสมการ 2.3 ด้วย T ได้สมการใหม่เป็น ZT ดัง สมการที่ 2.4 โดยที่ T คืออุณหภูมิเฉลี่ยขณะทำงาน ค่า ZT จึงเป็นค่า figure-of-merit ที่ใช้บ่ง บอกระดับคุณสมบัติการเปลี่ยนความร้อนเป็นพลังงานไฟฟ้าสูงสุดและคุณสมบัติการทำความร้อนสูงสุด ของวัสดุที่ใช้ผลิตชิ้นส่วนองค์ประกอบ (Thermo-Element) ของอุปกรณ์เทอร์โมอิเล็กทริก

$$ZT = \frac{s^2 \sigma}{\kappa} \quad (2.4)$$

2.3 สมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริก (Thermoelectric properties)

2.3.1 สภาพต้านทานไฟฟ้า (resistivity)

สภาพต้านทานไฟฟ้า (resistivity) คือ ส่วนกลับของสภาพนำไฟฟ้าสามารถอธิบายได้ในรูป ของอิเล็กตรอน วัสดุที่เป็นฉนวน เช่น ยาง แก้ว อิเล็กตรอนในอะตอมจะถูกยึดเหนี่ยวไว้ไม่ให้เคลื่อนที่ ผ่าน ดังนั้นวัสดุฉนวนจึงมีความต้านทานสูง ส่วนอิเล็กตรอนในตัวนำจะถูกยึดเหนี่ยวไว้ในหลวมๆ จึงเคลื่อนที่ในตัวนำได้ แต่ไม่มีความเป็นระเบียบเนื่องจากยังมีการชนกันอยู่บ้างความต้านทานของ ตัวนำจึงเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิ เพราะความร้อนมีผลให้อิเล็กตรอนชนกันมากขึ้นสำหรับในตัวนำที่มี สภาพนำยอดเยี่ยม ไม่มีความต้านทานไฟฟ้าเหลืออยู่เลย เพราะอิเล็กตรอนเคลื่อนที่เป็นคู่ๆ โดยไม่มีการ ชนกัน จึงไม่เกิดพลังงานความร้อนในตัวนำยอดเยี่ยม จากการที่ตัวนำยอดเยี่ยมมีความต้านทานเป็นศูนย์ ซึ่งจะพบในกลุ่มของสารตัวนำยอดเยี่ยม แสดงถึงการนำไฟฟ้าได้ดีถ้าให้ไฟฟ้ากระแสตรงแก่สารตัวนำ ยอดเยี่ยมที่ขดเป็นวงจรปิด (closed loop) กระแสย่อมไหลอยู่เช่นนั้นตลอดไป โดยไม่มีการสูญเสียไป เป็นพลังงานความร้อน โดยไม่จำเป็นต้องให้แรงเคลื่อนไฟฟ้าจากภายนอก หรืออีกนัยหนึ่งถ้าให้วง ตัวนำยิ่งยวดมีความต้านทานที่วัดได้เป็นค่าจำกัดค่าหนึ่ง กระแสที่ไหลในวงนั้นจะค่อยๆ ลดลงจนเป็น ศูนย์ซึ่งสมการสภาพต้านทานไฟฟ้าคือ

$$\rho = \frac{RA}{L} \quad (2.5)$$

$$\sigma = \frac{1}{\rho} = \frac{L}{RA} \quad (2.6)$$

เมื่อ ρ คือ สภาพต้านทานไฟฟ้า $(\Omega \cdot m)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| | | |
|----------|-----|--|
| A | คือ | พื้นที่หน้าตัดของสารตัวอย่าง (m^2) |
| R | คือ | ความต้านทานของสารตัวอย่าง (Ω) |
| L | คือ | ความยาวของสารตัวอย่าง (m) |
| σ | คือ | สภาพนำไฟฟ้า (S/m) |

2.3.2 สภาพการนำความร้อน (Thermal conductivity)

สภาพการนำความร้อน (thermal conductivity) เป็นการถ่ายโอนความร้อนจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปยังบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าภายในตัวกลางเดียวกัน หรือระหว่างตัวกลางต่างชนิดที่อยู่ติดกันโดยอาศัยผลของการเคลื่อนที่ของโมเลกุลภายในตัวกลาง การนำความร้อนในของแข็งเกิดจากการสั่นของโมเลกุลและการถ่ายโอนพลังงานเนื่องจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระการวัดสมบัติสภาพนำความร้อน จากการส่งผ่านความร้อนตัวกลาง ถ้าตัวกลางเป็นอากาศ เราสามารถส่งผ่านความร้อนได้ 3 แบบคือ การนำความร้อน การพาความร้อน การแผ่รังสีความร้อนในระบบสุญญากาศที่มีความดันต่ำกว่า 10 ทอร์ การส่งผ่านความร้อนต่อหน่วยพื้นที่มีค่าเท่ากับการนำความร้อนระหว่างสองพื้นผิวที่อุณหภูมิ T_0 และ T_1

2.3.3 สัมประสิทธิ์ซีเบค (Seebeck coefficient)

สัมประสิทธิ์ซีเบค (Seebeck coefficient ; S) เกิดขึ้นเนื่องจากมีความต่างของอุณหภูมิความต่างของอุณหภูมินั้นจะทำให้โฟนอนเคลื่อนที่จากบริเวณที่ร้อนกว่าสู่บริเวณที่เย็นกว่า แต่อิเล็กตรอนอิสระสามารถเคลื่อนที่ได้ทั้งสองทิศทาง โดยอิเล็กตรอนกลุ่มแรกจะเคลื่อนที่จากบริเวณที่ร้อนกว่าไปสู่บริเวณที่เย็นกว่า เนื่องจากถูกขับเคลื่อนโดยพลังงานความร้อนที่ได้รับ ต่อมาการสะสมของอิเล็กตรอนร้อนนี้ จะทำให้อุณหภูมิในเขตเย็นสูงขึ้น และก่อให้เกิดแรงดันไฟฟ้า (V)

และค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคจึงถูกนิยามว่า เป็นอัตราส่วนของผลต่างของความต่างศักย์ (ΔV) กับผลต่างของอุณหภูมิ (ΔT) ดังสมการ 2.5 และ 2.6

$$S = \frac{\Delta V}{\Delta T} \quad (2.7)$$

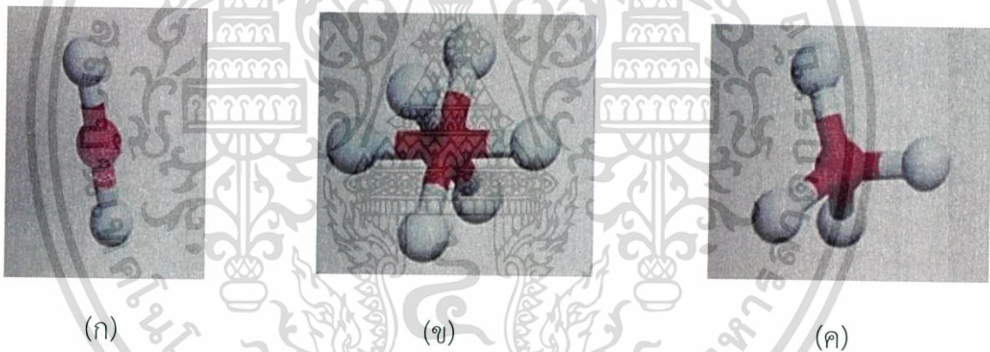
$$S = \frac{V_2 - V_1}{T_2 - T_1} \quad (2.8)$$

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Related research)

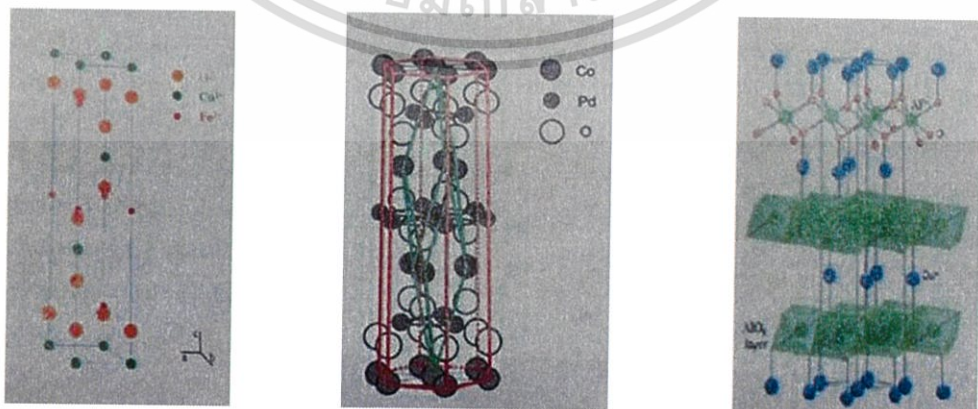
2.4.1 สมบัติทางโครงสร้างดีลาฟอสไซต์ CuFeO_2 (Delafossite structure properties)

สารประกอบ CuFeO_2 ถูกจัดอยู่ในกลุ่มของดีลาฟอสไซต์ มีหน่วยเซลล์แบบเฮกซะโกนอล เซลล์พื้นฐาน (Primitive Cell) แบบบรอมโบฮีตรัล และมีสเปซกรุป (Spacegroup) โดย สารประกอบ CuFeO_2 นี้จะประกอบด้วยเลขออกซิเดชัน (Oxidation number) และเลขโคออดิเนชัน (Coordination number) ดังนี้

- Cu มีเลขออกซิเดชัน +1 และเลขโคออดิเนชันเท่ากับ 2 โดย Cu จะจับกับออกซิเจน 2 อะตอมอย่างเส้นเชิง (O-Cu-O) ขนาดตามแกน c ดังภาพที่ 2.9 (ก)
- Fe มีเลขออกซิเดชัน +3 และเลขโคออดิเนชันเท่ากับ 6 โดย Fe จะจับกับออกซิเจน 6 อะตอมเป็นหกเหลี่ยมแปดหน้า (Octahedral) ดังภาพที่ 2.9 (ข)
- O มีเลขออกซิเดชัน -2 และเลขโคออดิเนชันเท่ากับ 4 โดย O จะจับกับ Cu 1 อะตอมและ Fe 3 อะตอมเป็นรูปเตตระฮีดรัล (Tetrahedral) ดังภาพที่ 2.9 (ค)



รูปที่ 2.9 แสดงโครงสร้างโคออดิเนชันของ (ก) Cu-O (ข) Fe-O (ค) Cu-O-Fe



รูปที่ 2.10 โครงสร้างดีลาฟอสไซต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยชั้นออกตระฮีดรัล (FeO_6) และชั้น Cu จะเรียงตัวสลับกันไปตามแกน C ดังรูป และสารประกอบ CuFeO_2 มีคุณสมบัติพื้นฐานดังนี้

- ค่าคงที่โครงผลึก (Lattice parameter) $a=b=3.035 \text{ \AA}$ และ $c=17.166 \text{ \AA}$
- สภาพนำไฟฟ้าที่อุณหภูมิห้องประมาณ 2 S/cm
- สภาพนำความร้อนที่อุณหภูมิห้องประมาณ $6-11 \text{ W/mK}$
- สัมประสิทธิ์ซีเบคที่อุณหภูมิห้องประมาณ $250 \text{ } \mu\text{V/K}$
- ช่องว่างแถบพลังงาน (Energy gap) 3.45 eV
- จุดหลอมเหลว (Melting point) 1365 K
- ความหนาแน่น (Density) 5.5 g/cm^3
- สารประกอบ CuFeO_2 มีสภาพเป็นสารกึ่งตัวนำ (โดยทั่วไปเป็นชนิด P)
- สมบัติแอนไอโซทรอปี้ (Anisotropy) กล่าวคือมีสมบัติแต่ละทิศทางไม่เหมือนกัน เช่น สภาพการนำไฟฟ้า CuFeO_2 ในทิศทางขนานกับแกน c มีค่าน้อยกว่าในทิศตั้งฉาก ซึ่งแสดงถึงสมบัติแอนไอโซทรอปี้

ที่มา ศึกษาสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกของสารประกอบดีลาฟอไซด์



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ในบทที่ 3 นี้เป็นการนำเสนอการดำเนินการวิจัยและหลักการเครื่องมือที่ใช้ในการวิเคราะห์สมบัติทางโครงสร้างผลึก รวมถึงสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริก โดยมีหัวข้อดังนี้

- 3.1 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย
- 3.2 อุปกรณ์ที่ใช้
- 3.3 เครื่องมือที่ใช้
- 3.4 ขั้นตอนการทดลอง

3.1 สารเคมีที่ใช้ในงานวิจัย



(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ 3.1 (ก) เหล็กออกไซด์น้ำตาล (Fe_2O_3)

(ข) คอปเปอร์ออกไซด์ (CuO)

(ค) แอลกอกซอล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อุปกรณ์ที่ใช้ในงานวิจัย



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)



(ช)



(ซ)



(ฌ)

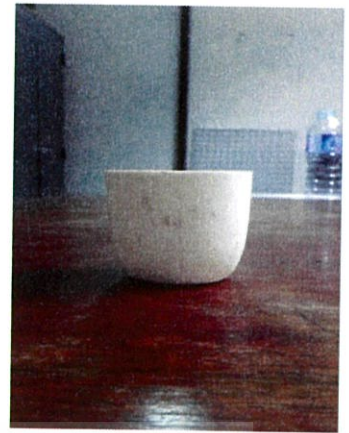
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ญ)



(ฎ)



(ฏ)



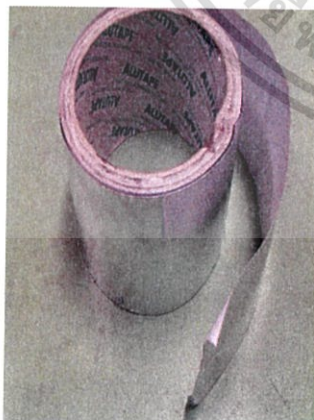
(ฐ)



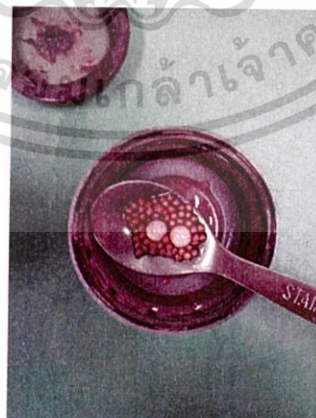
(ฑ)



(ฒ)



(ณ)



(ด)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- รูปที่ 3.2 (ก) ปีกเกอร์ขนาด 500 มิลลิลิตร (ข) ทิชชู (ค) บล็อกอัดสาร
 (ง) ขวดใสสารพลาสติก (จ) กรวยกรองสาร (ฉ) ครกตำ/บด สาร
 (ช) กระดาษฟอยล์ (ซ) ซ้อนตักสาร (ฌ) แหนบคลิบสาร
 (ญ) ถุงมือ (ฎ) หน้ากากอนามัย (ฏ) ถ้วยเซรามิก
 (ฐ) ตระแกรง (ฑ) นี้อต M 1 (ฒ) ขั้วสแตนเลส
 (ณ) ฟอยด์อลูมิเนียมแบบสติ๊กเกอร์ (ด) เม็ดเซอร์โคเมียร์

3.3 เครื่องมือที่ใช้ในงานวิจัย



(ก)



(ข)



(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเฉพาะเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

149070

รูปที่ 3.3 (ก) เครื่องชั่งสารดิจิตอลความละเอียด 0.0001 กรัม

(ข) เต้าเผาไฟฟ้า

(ค) ตู้อบสาร

(ง) เครื่องบดละเอียดหรือกระบวนกรบดมิลล์

(จ) เครื่องอัดไฮโดรลิก

(ฉ) เครื่องเจียร/ขัด

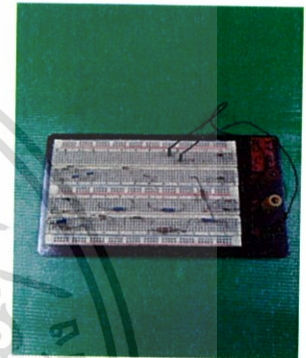
3.4 เครื่องมือวัดที่ใช้ในงานวิจัย



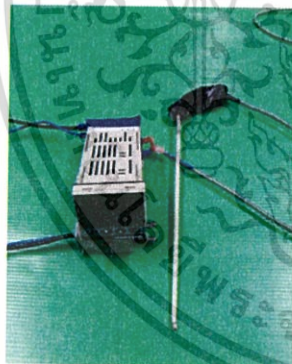
(ก)



(ข)



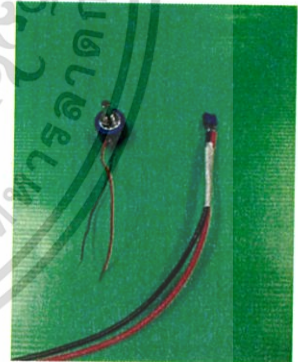
(ค)



(ง)



(จ)



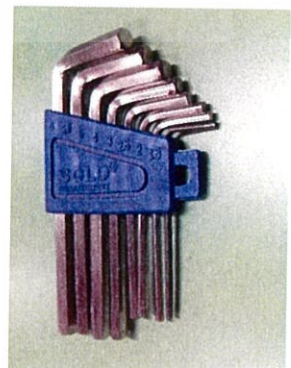
(ฉ)



(ช)

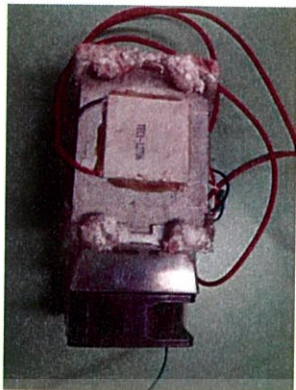


(ซ)



(ฌ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ญ)

- รูปที่ 3.4 (ก) มัลติมิเตอร์ รุ่น Agilent 34461A (ข) มัลติมิเตอร์ รุ่น Agilent U2421B
 (ค) Wish board (ง) เครื่องวัดอุณหภูมิ ยี่ห้อ Shimaden
 (จ) เครื่องวัดอุณหภูมิ UT 323 (ฉ) ตัวต้านทานปรับค่าได้
 (ช) สายไฟ (ซ) เตา Hot Plate
 (ฌ) ทกเหลี่ยม (ญ) เทอร์โมอิเล็กทริก TEC 12706

3.5 ขั้นตอนการทดลอง

3.4.1 เตรียมสารตั้งต้น CuO และ Fe₂O₃

นำมาคำนวณตามสมการสมดุลเคมี $2\text{CuO} + \text{Fe}_2\text{O}_3 \rightarrow 2\text{CuFeO}_2 + \frac{1}{2}\text{O}_2$

3.4.2 นำมาผสมสารทั้งสองให้เข้ากันโดยกระบวนการบดมิลล์ (ball mill) ซึ่งใส่แอลกอฮอล์ช่วยในการผสมด้วย เป็นเวลาประมาณ 24 ชม.

3.4.3 แยกสารประกอบออกจากกระบวนการบดมิลล์ โดยใช้แอลกอฮอล์เป็นตัวแยกสารประกอบออกจากเม็ดเซอร์โคเนีย ซึ่งใช้ตระแกรงขนาดเล็กมากเพื่อไม่ให้สารประกอบกับเม็ดเซอร์โคเนียอยู่ด้วยกัน แล้วนำบีกเกอร์รองไว้เพื่อรับสารประกอบกับแอลกอฮอล์

3.4.4 นำบีกเกอร์จากข้อ 3.4.3 ไปให้ความร้อนด้วยอุณหภูมิประมาณ 100 °C เพื่อให้แอลกอฮอล์เกิดการระเหยออกเหลือแต่สารประกอบ CuFeO₂ เพียงอย่างเดียว

3.4.5 นำสารประกอบ CuFeO₂ มาบดให้เป็นผงละเอียด แล้วใส่ในถ้วยเซรามิก จากนั้นเข้าเตาอบด้วยอุณหภูมิ 1010 °C เป็นเวลา 1 ชม. เมื่อครบ 1 ชม.แล้วก็นำออกจากตู้อบตั้งทิ้งไว้จนให้เย็น

3.4.6 จากนั้นก็นำ CuFeO₂ ที่เป็นก้อนแข็งมาบดให้ละเอียด เมื่อบดละเอียดแล้วก็ทำการอัดบล็อก ซึ่งบล็อกที่ใช้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. 20 mm. 40 mm. โดยแต่ละเส้นผ่านศูนย์กลาง มีความสูง 10 mm. 15 mm. 20 mm. 25 mm. และ 30 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.7 เมื่ออัปเดตบล็อกเรียบร้อยแล้วก็นำไปเผาอีกครั้งหนึ่งที่อุณหภูมิ 1010°C เป็นเวลา 1 ชม. แล้วนำออกจากเตาเผาทิ้งไว้ให้เย็น

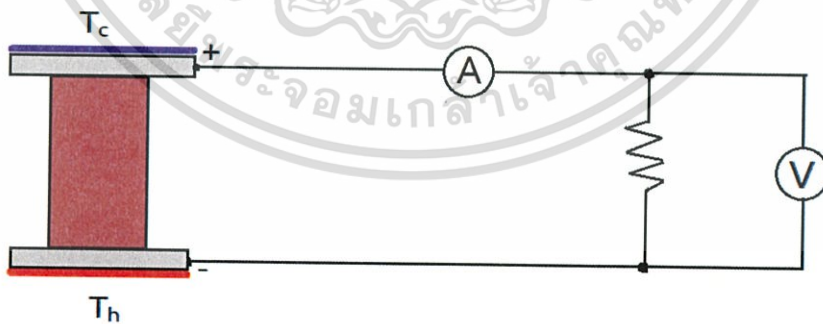
3.4.8 จากนั้นก็นำแท่งสารที่เผาเสร็จแล้ว ทำการติดขั้วด้วยฟอยด์อลูมิเนียมแบบสติกเกอร์ แล้วนำไปอัดกับบล็อกแตนเลสให้แน่น จากนั้นก็นำไปเผาที่อุณหภูมิ 1010°C เป็นเวลา 20 นาที เพื่อให้ฟอยด์อลูมิเนียมแบบสติกเกอร์หลอมละลายซึ่งจะเป็นตัวเชื่อมระหว่างบล็อกแตนเลสกับแท่งสาร แล้วนำไปขัดออกไซด์ออกจากบล็อกแตนเลสเพื่อวัดค่าทางไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก

3.4.9 วัดค่าความต่างศักย์ เพื่อหา Load ที่ใช้งานได้จริง โดยใช้ตัวต้านทานปรับค่าได้ โดยแรงดันเอาต์พุต $\frac{V_{oc}}{2}$



รูปที่ 3.5 วงจรสมมูล

3.4.10 นำตัวต้านทานที่ปรับได้จากข้อที่ผ่านมา มาใช้เป็น Load ที่แท้จริง แล้ววัดค่าทางไฟฟ้าของเทอร์โมอิเล็กทริก ดังรูป



รูปที่ 3.6 วงจรทดสอบกระแสและแรงดันที่ Load มีค่าเท่ากับตัวต้านทานภายใน

3.4.11 บันทึกข้อมูลลงในตารางที่ออกแบบไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

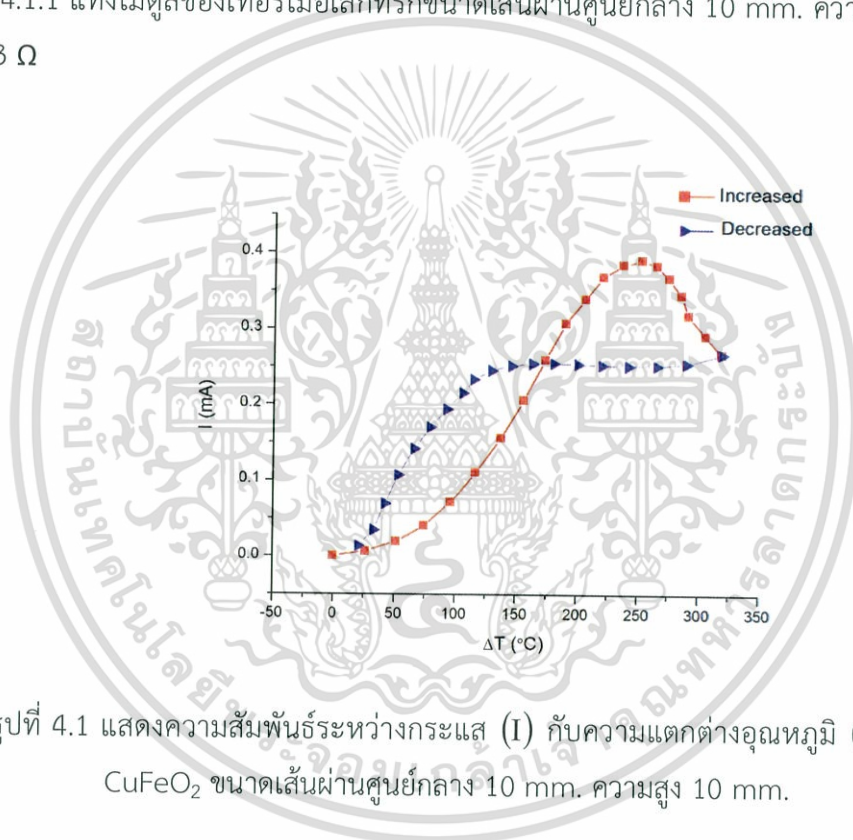
บทที่ 4

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการทดลองแท่งโมดูลที่มีพื้นที่หน้าตัดลักษณะวงกลมโดยมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 3 ขนาด ได้แก่ 10 mm, 20 mm, 40 mm. และความสูง 5 ขนาด ได้แก่ 10 mm, 15 mm, 20 mm, 25 mm. และ 30 mm. เพื่อเหมาะสำหรับการนำไปใช้งานช่วงอุณหภูมิต่างๆ

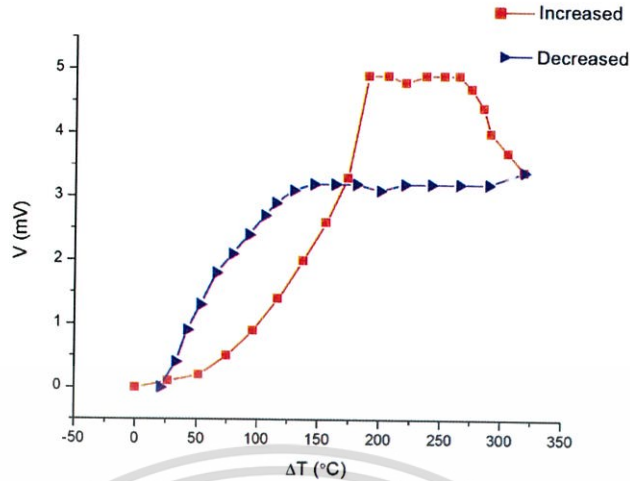
4.1 ผลการทดลองแท่งโมดูลที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm.

4.1.1 แท่งโมดูลของเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ความสูง 10 mm. Load 13 Ω

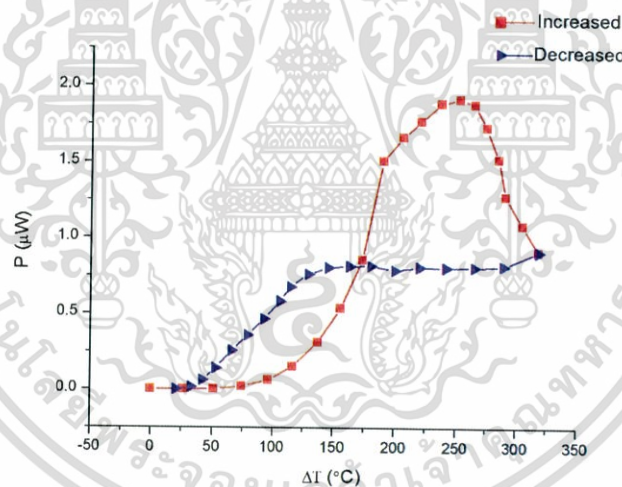


รูปที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส (I) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชิ้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ความสูง 10 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ (V) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ความสูง 10 mm.

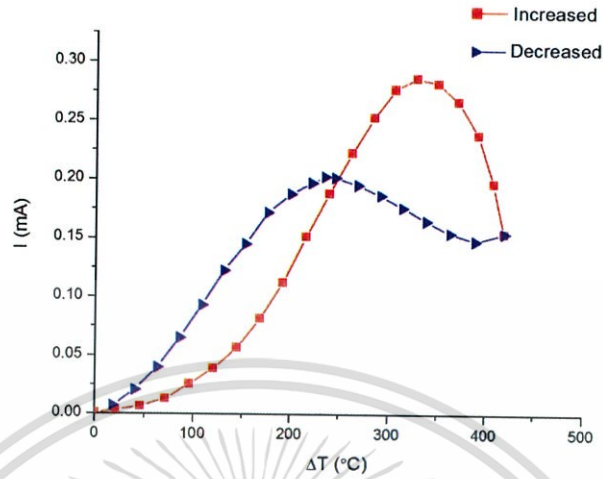


รูปที่ 4.3 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลัง (P) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ความสูง 10 mm.

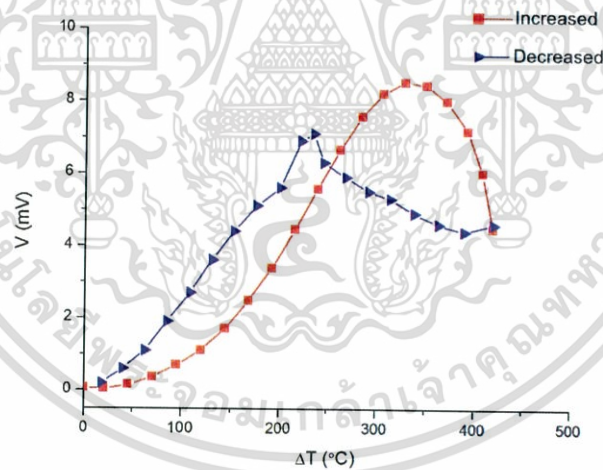
ชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ความสูง 10 mm. เหมาะสมหรับการใช้งาน ช่วงผลต่างอุณหภูมิ 250°C จะได้แรงดันสูงสุด 4.9 mV กระแสที่ได้สูงสุด 0.39 mA เมื่อช่วงอุณหภูมิ ลดลงซึ่งผลต่างอุณหภูมิตั้งแต่ 318°C จนถึง 145°C จะเห็นได้ว่ากราฟกระแสและแรงดันมีลักษณะ คงที่ หลังจากนั้นก็จะตกลงเรื่อยๆ และได้กำลังสูงสุด $1.9 \mu\text{W}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ความสูง 15 mm. Load 30 Ω

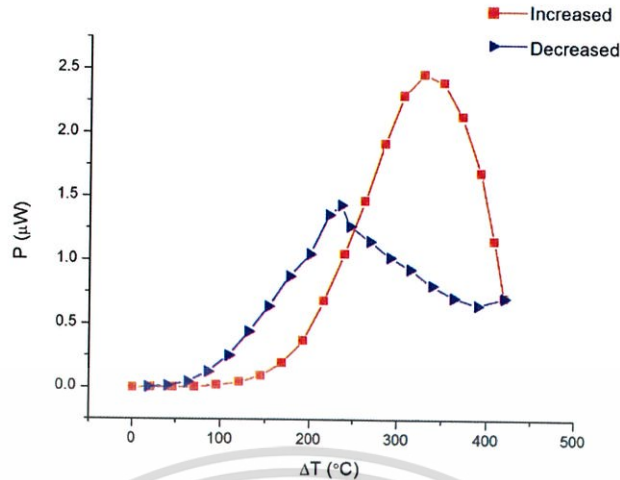


รูปที่ 4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส (I) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ความสูง 15mm.



รูปที่ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ (V) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ความสูง 15 mm.

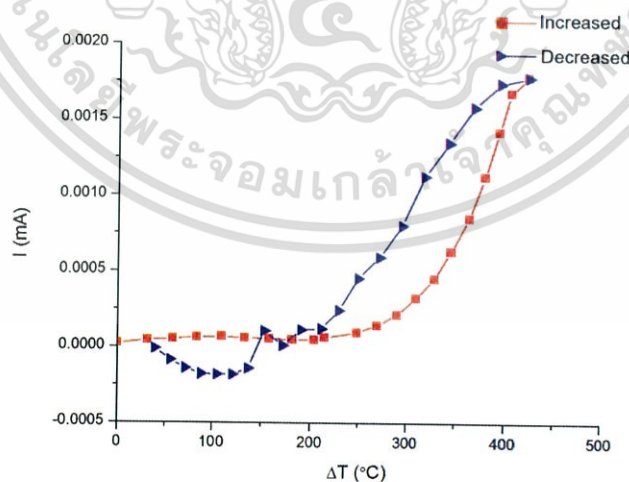
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลัง (P) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ความสูง 15mm.

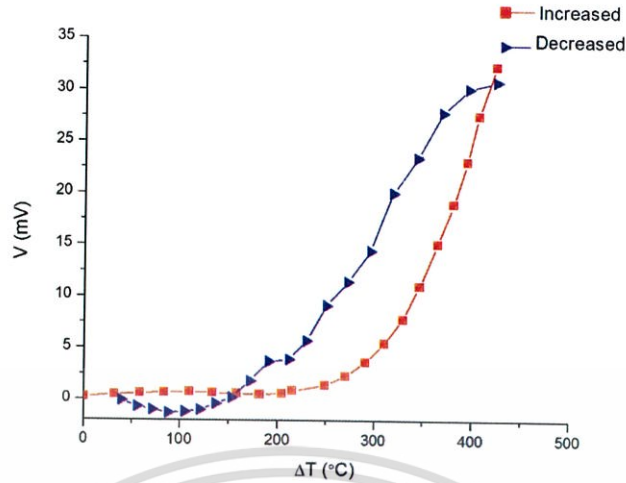
ชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ความสูง 15 mm. เหมาะสมหรับการใช้งาน ช่วงผลต่างอุณหภูมิ 328 °C จะได้แรงดันสูงสุด 8.6 mV กระแสที่ได้สูงสุด 0.28 mA และได้กำลังสูงสุด 2.4 μW

4.1.3 ชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ความสูง 20 mm. Load 16 Ω

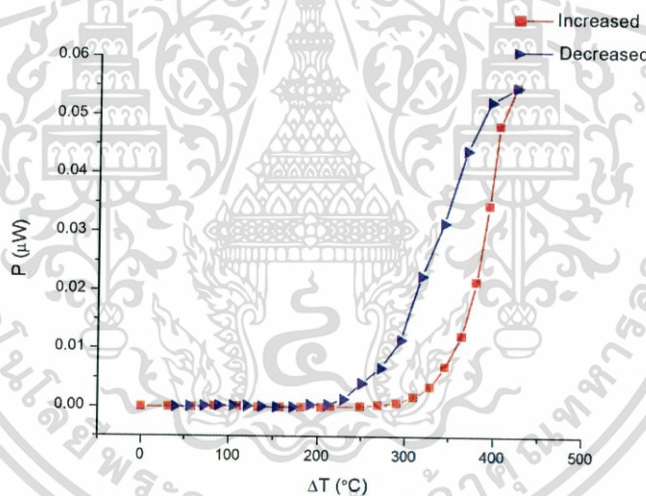


รูปที่ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส (I) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ความสูง 20 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ (V) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ความสูง 20 mm.

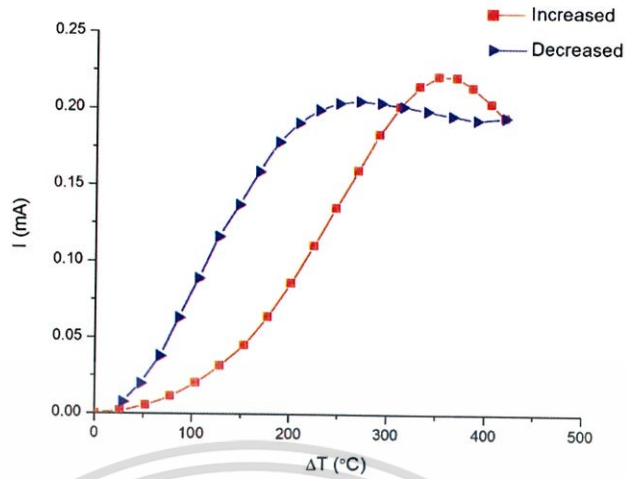


รูปที่ 4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลัง (P) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ความสูง 20 mm.

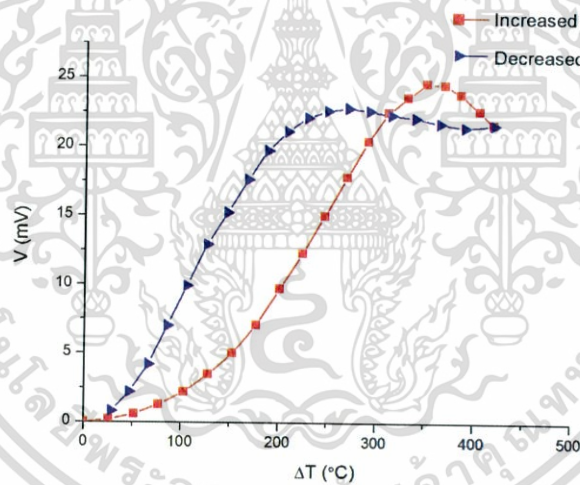
ชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ความสูง 20 mm. พบว่ารูปที่ 4.7 ถึงรูปที่ 4.9 ผลต่างอุณหภูมิตั้งแต่ 300°C กระแสและแรงดันจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เป็นเส้นตรง แต่จะเห็นว่ารูปที่ 4.7 กระแสที่วัดได้มีค่าน้อยมาก แทบจะไม่สามารถนำไปใช้งานได้

4.1.4 ชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ความสูง 25 mm. Load 112Ω

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

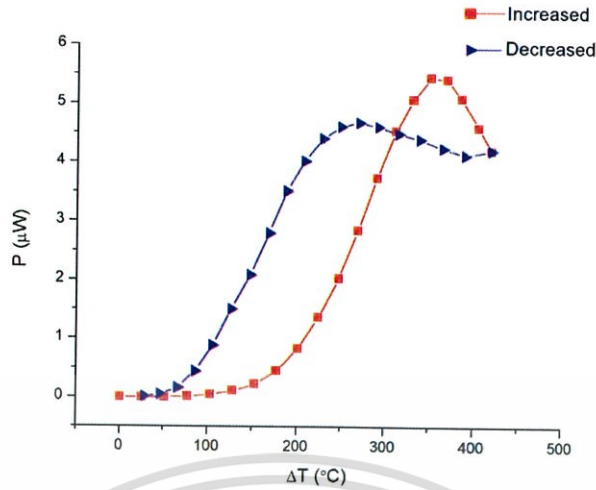


รูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส (I) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ความสูง 25 mm.



รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ (V) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ความสูง 25 mm.

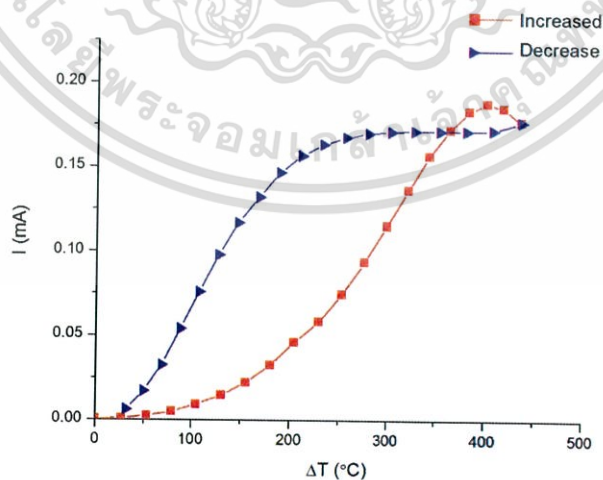
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลัง (P) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ความสูง 25 mm.

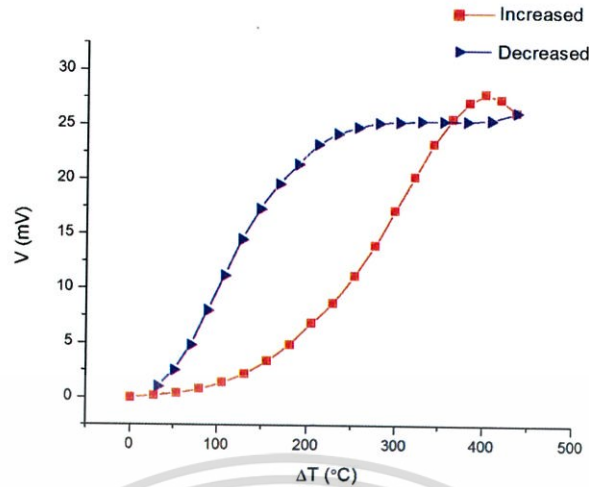
ชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ความสูง 25 mm. เหมาะสมสำหรับการใช้งาน ช่วงผลต่างอุณหภูมิ 369 °C จะได้แรงดันสูงสุด 24 mV กระแสที่ได้สูงสุด 0.22 mA และได้กำลังสูงสุด 5.4 μW

4.1.5 ชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10mm. ความสูง 30 mm. Load 514 $\text{k}\Omega$

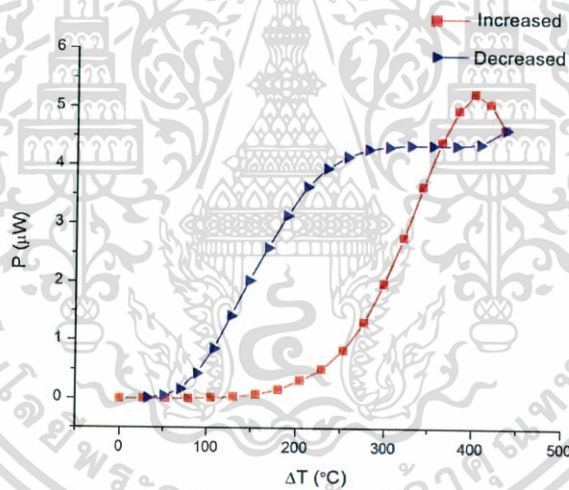


รูปที่ 4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส (I) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ความสูง 30 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ (V) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ความสูง 30 mm.



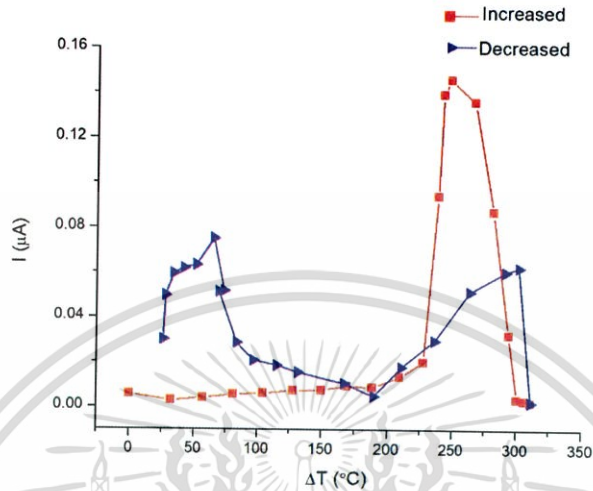
รูปที่ 4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลัง (P) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ความสูง 30 mm.

ชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ความสูง 30 mm. เหมาะสมหรับการใช้งาน ช่วงผลต่างอุณหภูมิ 401 °C จะได้แรงดันสูงสุด 27 mV กระแสที่ได้สูงสุด 0.18 mA และได้กำลัง สูงสุด 5.2 μW

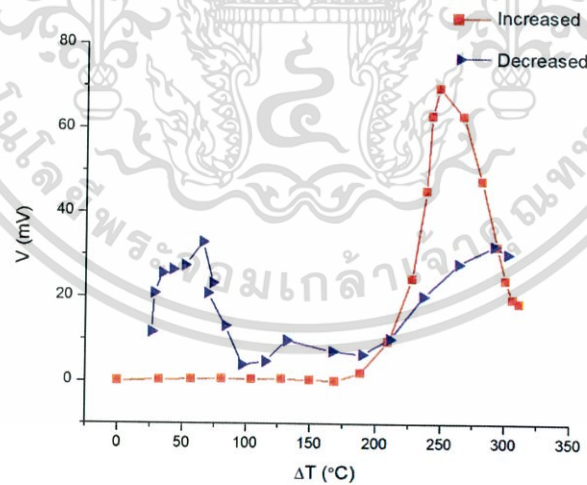
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 ผลการทดลองแห่งโมดูลที่มีพื้นที่หน้าตัดวงกลม โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm.

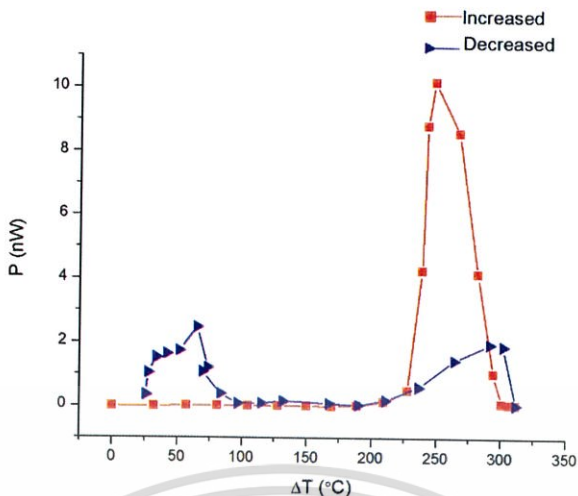
4.2.1 ชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. ความสูง 10 mm. Load 514 k Ω



รูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส (I) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. ความสูง 10 mm.



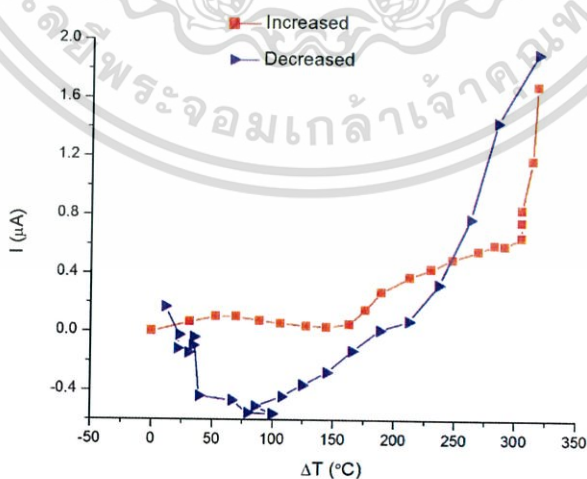
รูปที่ 4.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ (V) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. ความสูง 10 mm.



รูปที่ 4.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลัง (P) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น CuFeO₂ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. ความสูง 10 mm.

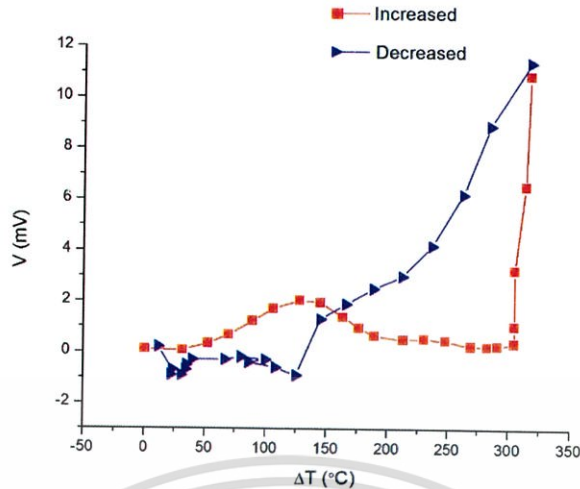
ชั้น CuFeO₂ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. ความสูง 10 mm. เหมาะสมหรับการใช้งาน ช่วงผลต่างอุณหภูมิ 244 °C จะได้แรงดันสูงสุด 69 mV กระแสที่ได้สูงสุด 0.14 μA และได้กำลังสูงสุด 10.1 nW

4.2.2 ชั้น CuFeO₂ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. ความสูง 15 mm. Load 4.4 kΩ

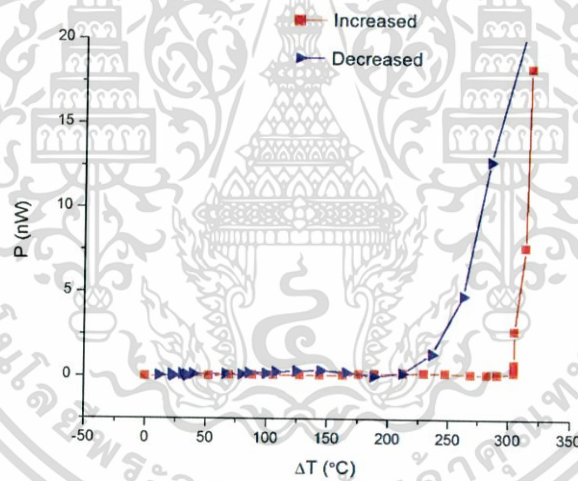


รูปที่ 4.19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส (I) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น CuFeO₂ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. ความสูง 15 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



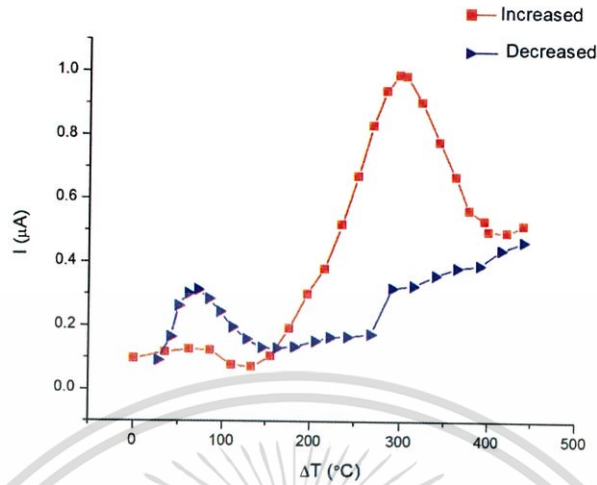
รูปที่ 4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ (V) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น CuFuO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. ความสูง 15mm.



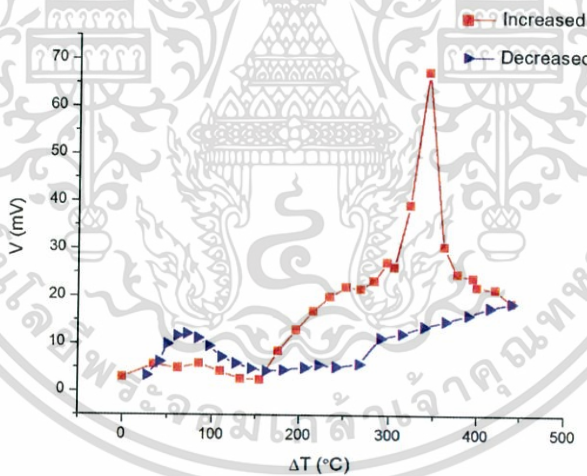
รูปที่ 4.21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลัง (P) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. ความสูง 15 mm.

ชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. ความสูง 15 mm. จากรูปที่ 4.19 ถึง รูปที่ 4.21 วิเคราะห์ไม่ได้ เนื่องจากว่าที่ความแตกต่างอุณหภูมิที่ 300°C จะพบว่ากระแส แรงดัน และ กำลัง เพิ่มขึ้นเป็นเส้นตรง

4.2.3 ชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. ความสูง 20 mm. Load 38 k Ω

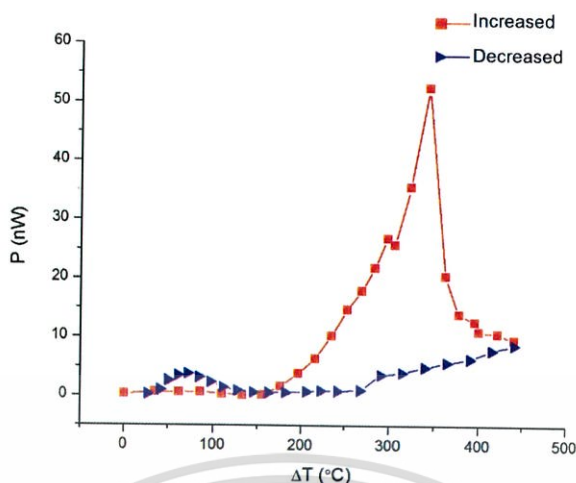


รูปที่ 4.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส (I) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. ความสูง 20 mm.



รูปที่ 4.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ (V) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. ความสูง 20 mm.

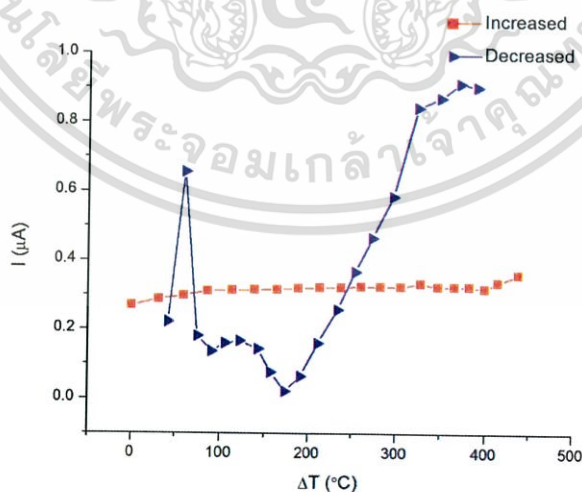
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลัง (P) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. ความสูง 20 mm.

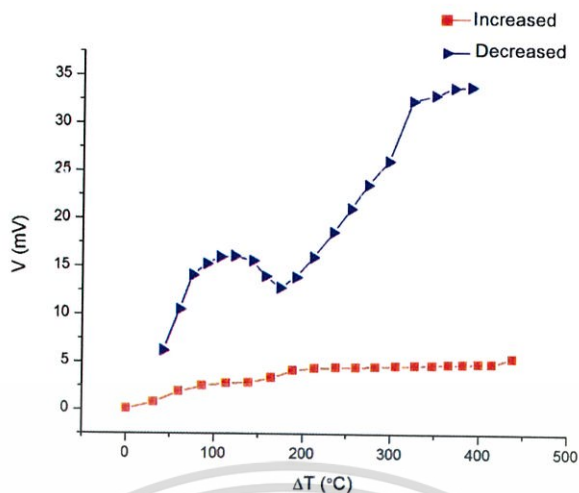
ชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. ความสูง 20 mm. เหมาะสมหรับการใช้งาน ช่วงผลต่างอุณหภูมิ 323°C จะได้แรงดันสูงสุด 39 mV กระแสที่ได้สูงสุด $0.9\ \mu\text{A}$ และได้กำลังสูงสุด 35.5 nW

4.2.4 ชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. ความสูง 25 mm. Load $24\ \text{k}\Omega$

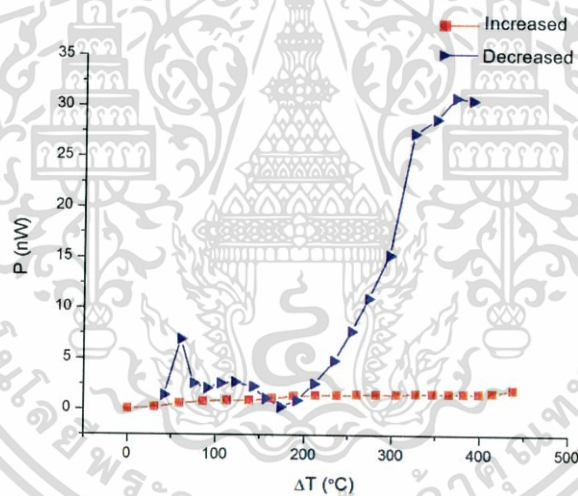


รูปที่ 4.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส (I) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. ความสูง 25 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



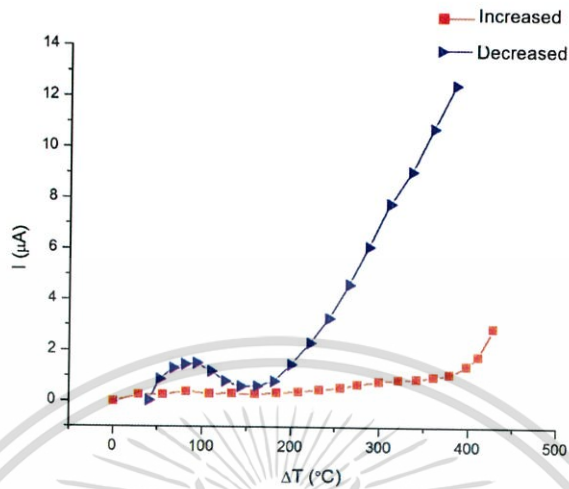
รูปที่ 4.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ (V) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. ความสูง 25 mm.



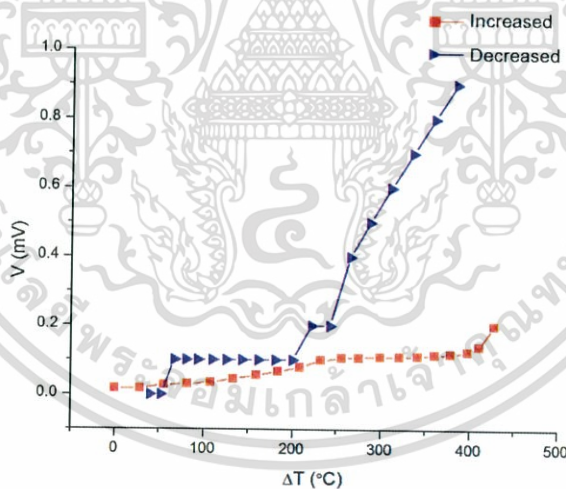
รูปที่ 4.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลัง (P) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. ความสูง 25 mm.

ชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. ความสูง 25 mm. จากรูปที่ 4.25 ถึง รูปที่ 4.27 วิเคราะห์ไม่ได้ เนื่องจากว่ากระแส แรงดัน และกำลัง มีลักษณะเป็นเส้นตรง

4.2.5 ชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. ความสูง 30 mm. Load 68 Ω

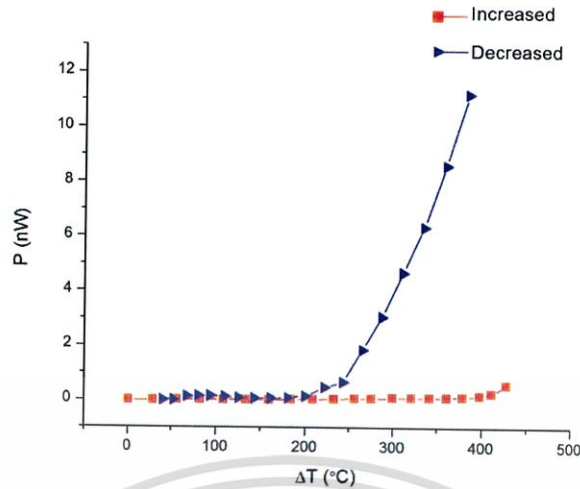


รูปที่ 4.28 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส (I) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. ความสูง 30 mm.



รูปที่ 4.29 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ (V) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. ความสูง 30 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

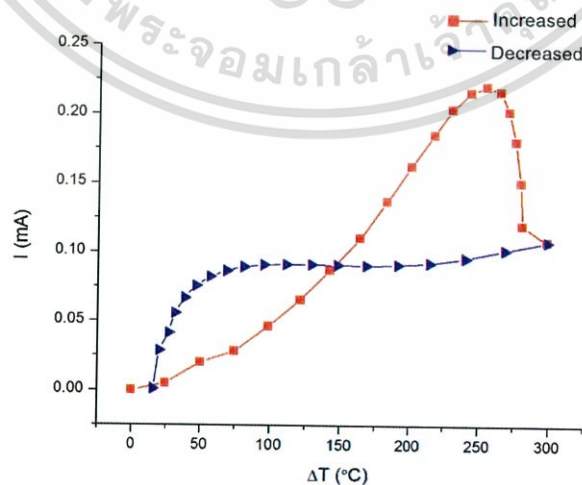


รูปที่ 4.30 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลัง (P) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. ความสูง 30 mm.

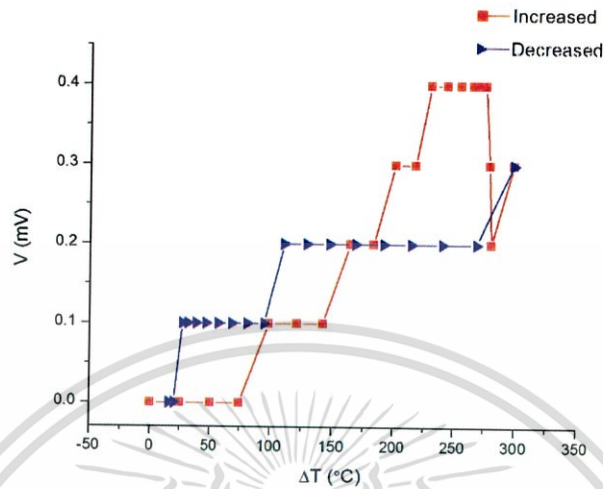
ชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. ความสูง 30 mm. จากรูปที่ 4.28 ถึง รูปที่ 4.30 วิเคราะห์ไม่ได้ จะพบว่ากระแส แรงดัน และกำลัง เพิ่มขึ้นมาน้อยมากแทบจะมีลักษณะเป็นเส้นตรง

4.3 ผลการทดลองชั้น CuFeO_2 ที่มีพื้นที่หน้าตัดวงกลม โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm.

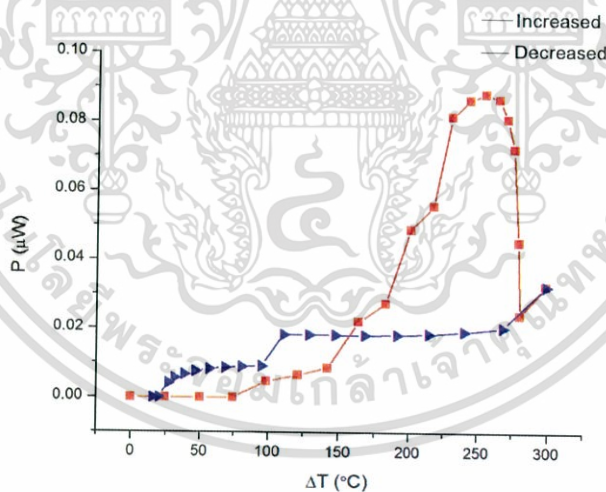
4.3.1 ชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. ความสูง 10 mm. Load 2.4 Ω



รูปที่ 4.31 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส (I) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. ความสูง 10 mm.



รูปที่ 4.32 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ (V) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. ความสูง 10 mm.

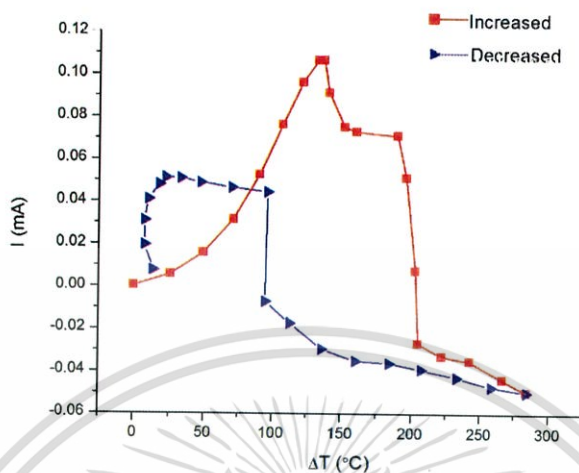


รูปที่ 4.33 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลัง (P) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. ความสูง 10 mm.

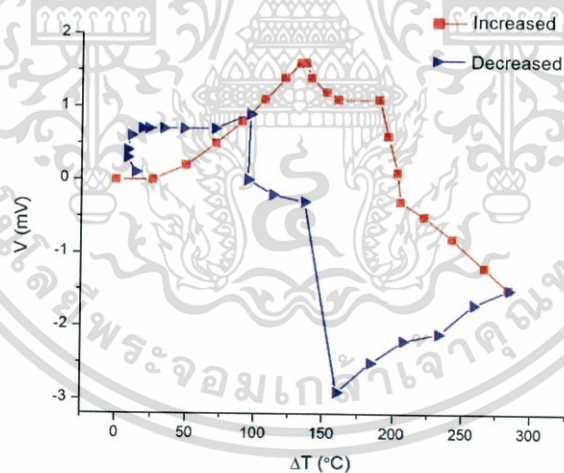
ชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. ความสูง 10 mm. เหมาะสมหรับการใช้งาน ช่วงผลต่างอุณหภูมิ 254°C จะได้แรงดันสูงสุด 0.4 mV กระแสที่ได้สูงสุด 0.2 mA และได้กำลังสูงสุด 0.08 μW

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 ชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. ความสูง 15 mm. Load 15 Ω

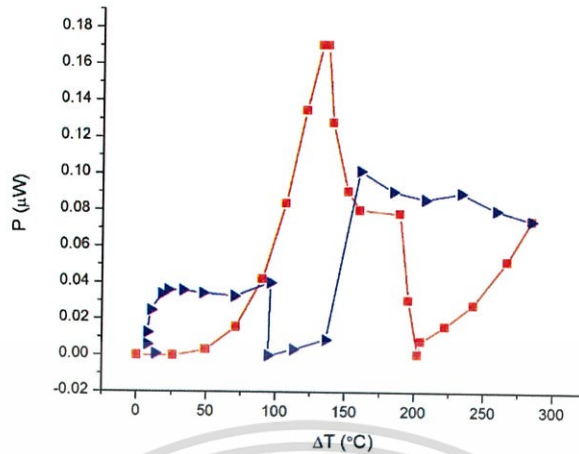


รูปที่ 4.34 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส (I) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. ความสูง 15 mm.



รูปที่ 4.35 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ (V) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. ความสูง 15 mm.

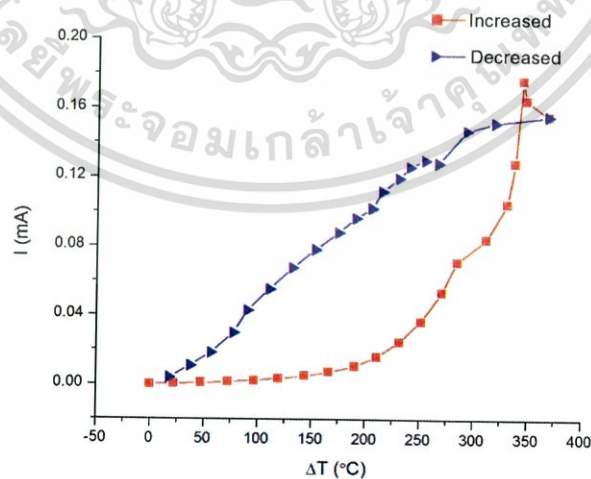
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.36 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลัง (P) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. ความสูง 15mm.

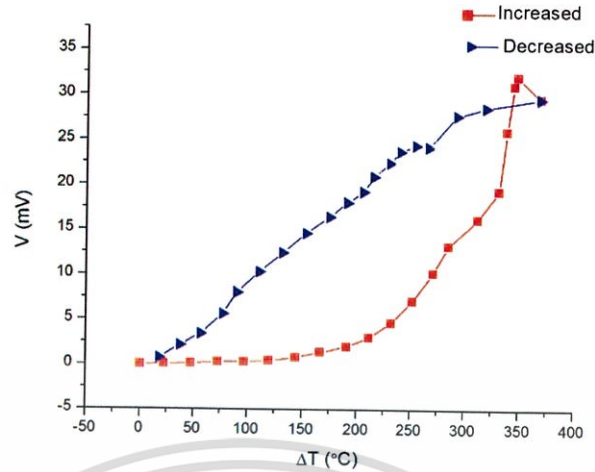
ชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. ความสูง 15 mm. เหมาะสมสำหรับการใช้งาน ช่วงผลต่างอุณหภูมิ 132°C จะได้แรงดันสูงสุด 1.6 mV กระแสที่ได้สูงสุด 0.1 mA และได้กำลังสูงสุด $0.17 \mu\text{W}$

4.3.3 ชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. ความสูง 20 mm. Load 190Ω

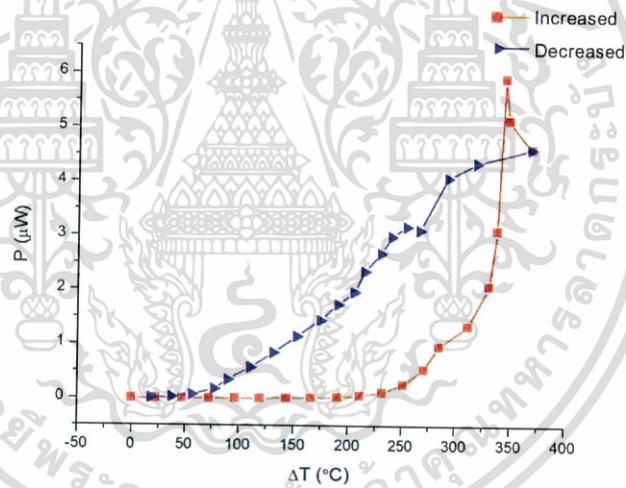


รูปที่ 4.37 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส (I) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. ความสูง 20 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



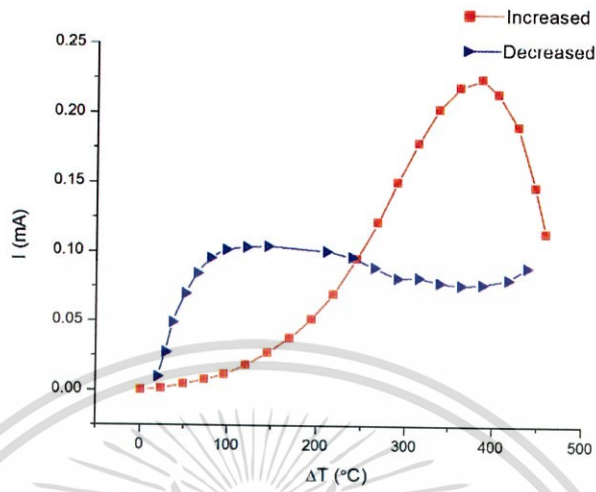
รูปที่ 4.38 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ (V) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. ความสูง 20 mm.



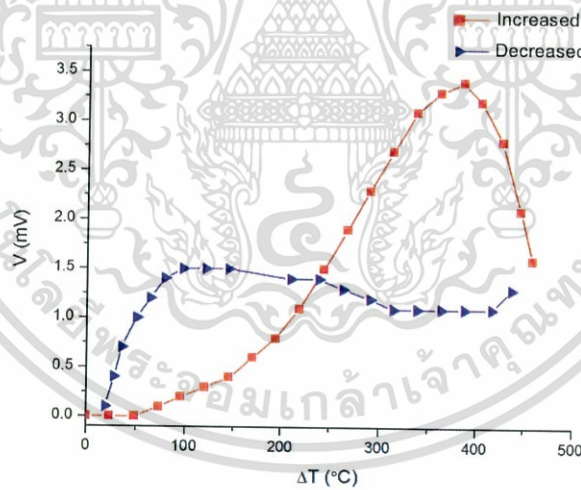
รูปที่ 4.39 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลัง (P) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. ความสูง 20 mm.

ชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. ความสูง 20 mm. เหมาะสมหรับการใช้งาน ช่วงผลต่างอุณหภูมิ 344°C จะได้แรงดันสูงสุด 33.5 mV กระแสที่ได้สูงสุด 0.17 mA และได้กำลัง สูงสุด 5.9 μW

4.3.4 ชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. ความสูง 25 mm. Load 15 Ω

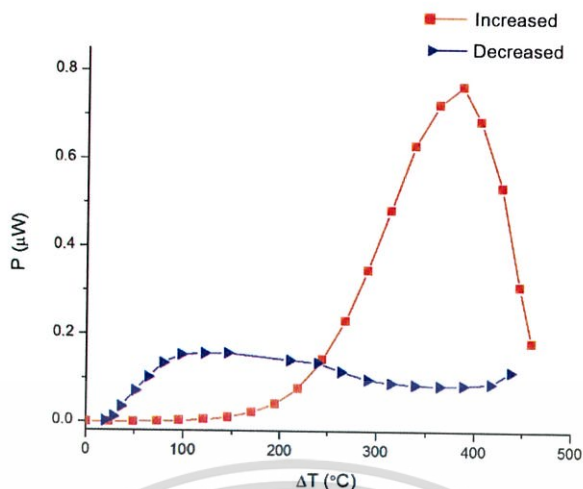


รูปที่ 4.40 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส (I) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. ความสูง 25 mm.



รูปที่ 4.41 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ (V) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. ความสูง 25 mm.

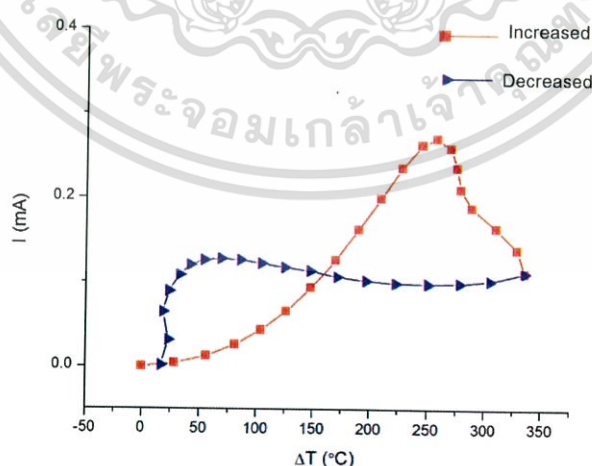
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.42 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลัง (P) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. ความสูง 25 mm.

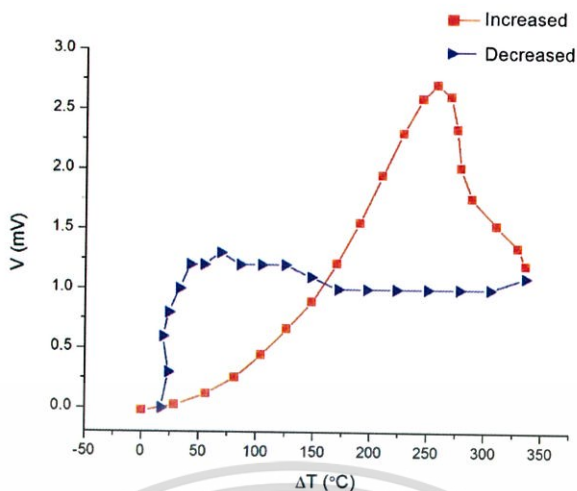
ชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. ความสูง 25 mm. เหมาะสมหรับการใช้งาน ช่วงผลต่างอุณหภูมิ 385°C จะได้แรงดันสูงสุด 33.5 mV กระแสที่ได้สูงสุด 0.2 mA และได้กำลังสูงสุด $0.7 \mu\text{W}$

4.3.5 แท่งโมดูลของเทอร์โมอิเล็กทริกขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. ความสูง 30 mm. Load 10Ω

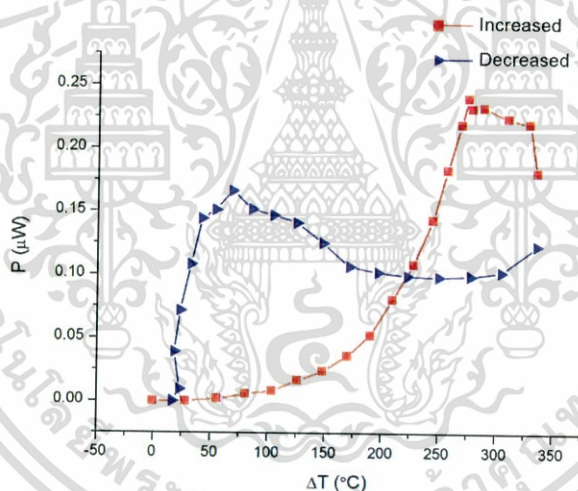


รูปที่ 4.43 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแส (I) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. ความสูง 30 mm.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.44 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต่างศักย์ (V) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. ความสูง 30 mm.



รูปที่ 4.45 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลัง (P) กับความแตกต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. ความสูง 30 mm.

ชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. ความสูง 30 mm. เหมาะสมหรับการใช้งาน ช่วงผลต่างอุณหภูมิ 268°C จะได้แรงดันสูงสุด 2.7 mV กระแสที่ได้สูงสุด 0.08 mA และได้กำลัง สูงสุด 0.21 μW

บทที่ 5

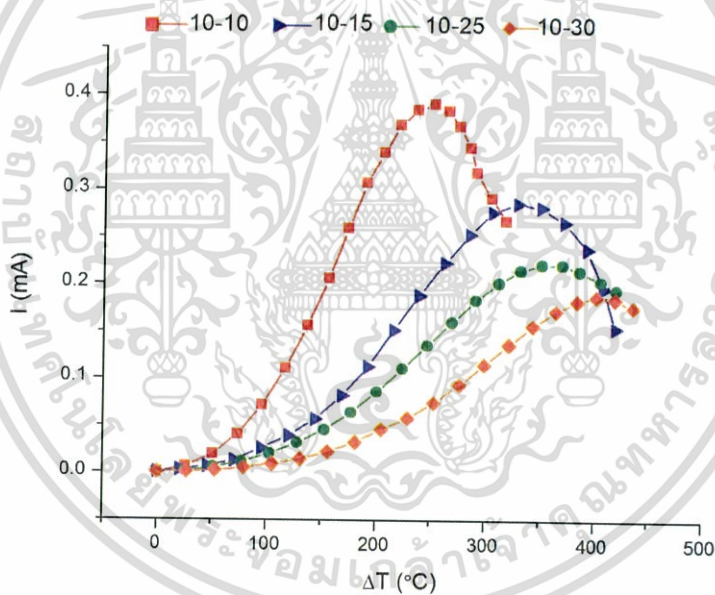
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

5.1.1 ชิ้นงาน

ชิ้นงาน CuFeO_2 ที่เราทำขึ้นมา มีลักษณะเป็นแท่งทรงกระบอก มีพื้นที่หน้าตัด 3 ขนาด ได้แก่ เส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm 20 mm และ 40 mm ซึ่งแต่ละเส้นผ่านศูนย์กลางมีความสูง 10 mm 15 mm 20 mm 25 mm และ 30 mm

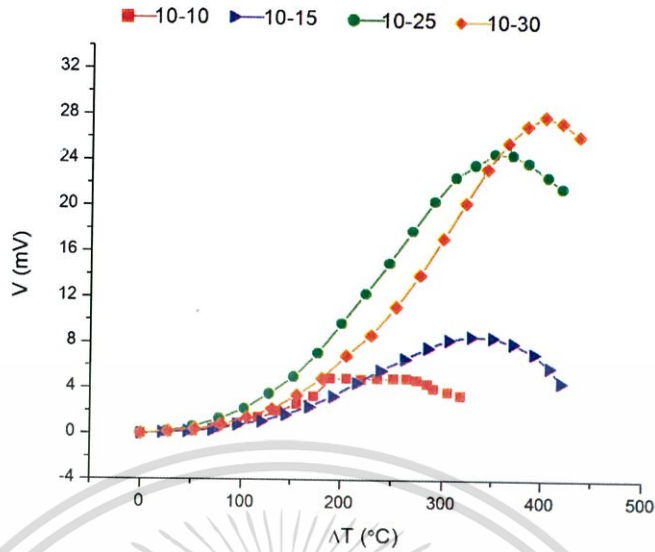
5.1.2 ความสูงต่างๆของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm



รูปที่ 5.1 แสดงความเปรียบเทียบระหว่างกระแส (I) กับผลต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชิ้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ที่ความสูงต่างๆ

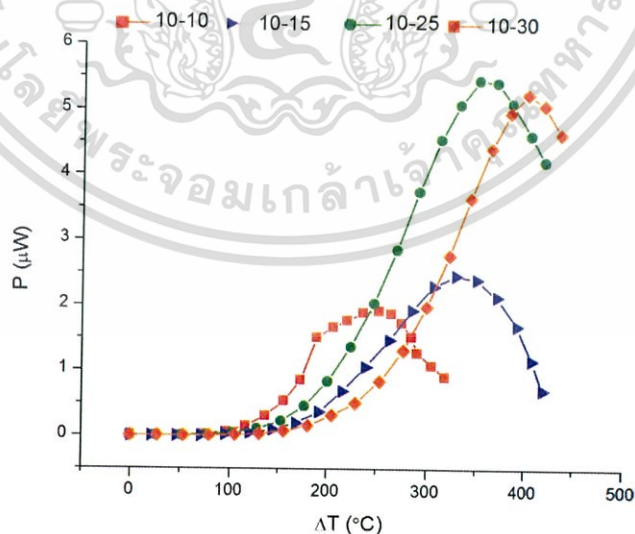
สรุปชิ้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ที่ความสูงต่างๆ ในรูปที่ 5.1 สังเกตได้ว่าความสูงจะแปรผกผันกับกระแสที่ได้ และอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับช่วงการนำไปใช้งานก็แปรผกผันกับความสูงด้วยเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 แสดงความเปรียบเทียบระหว่างความต่างศักย์ (V) กับผลต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชิ้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ที่ความสูงต่างๆ

สรุปชิ้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ที่ความสูงต่างๆ ในรูปที่ 5.2 ความสูงแปรผันตรงกับแรงดัน และแปรผันตรงกับอุณหภูมิที่สามารถนำไปใช้ เนื่องจากว่าผลต่างของอุณหภูมิมากก็จะเกิดความต่างศักย์มากขึ้นไปด้วย

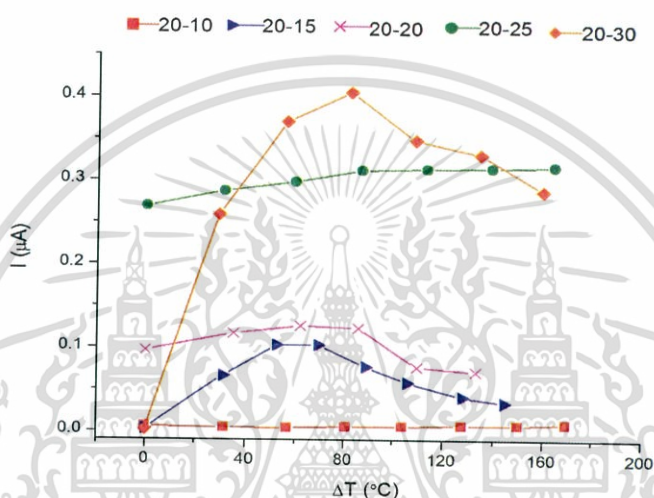


รูปที่ 5.3 แสดงความเปรียบเทียบระหว่างกำลัง (P) กับผลต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชิ้นงาน CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ที่ความสูงต่างๆ

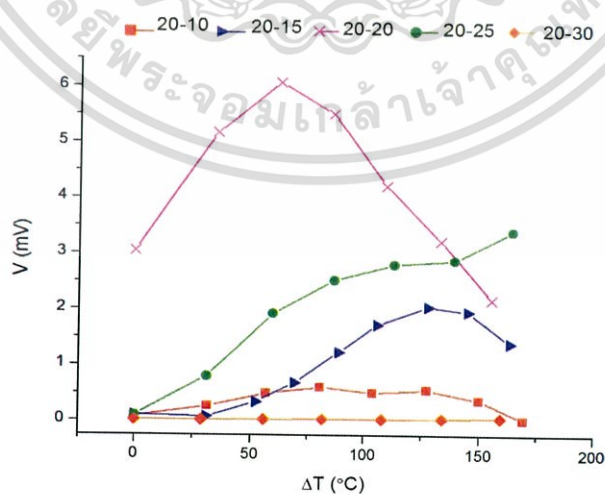
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองพบว่ากระแสสูงสุดมีค่า 0.3936mA ขนาดความสูง 10mm เหมาะสำหรับการนำไปใช้งานที่ความต่างอุณหภูมิ 251.9°C ความต่างศักย์สูงสุดมีค่า 30.8 mV ขนาดความสูง 20 mm เหมาะสำหรับการนำไปใช้งานที่ความต่างอุณหภูมิ 423.1°C และกำลังสูงสุดมีค่า 5.4464 μ W ขนาดความสูง 25 mm เหมาะสำหรับการนำไปใช้งานที่ความต่างอุณหภูมิ 250.9°C

5.1.3 ความสูงต่างๆของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm.

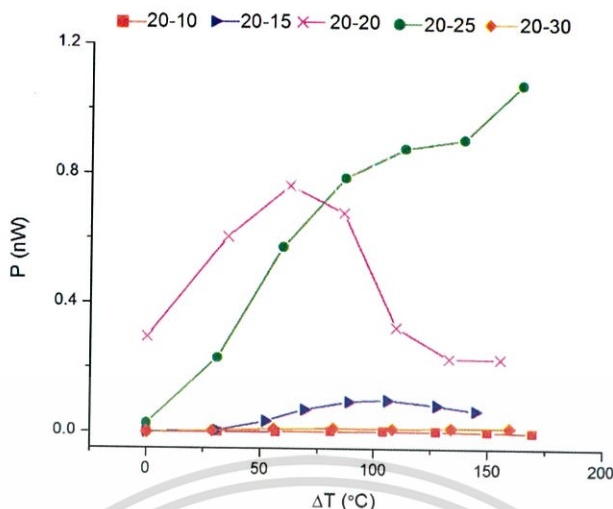


รูปที่ 5.4 แสดงความเปรียบเทียบระหว่างกระแส (I) กับผลต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. ที่ความสูงต่างๆ



รูปที่ 5.5 แสดงความเปรียบเทียบระหว่างความต่างศักย์ (V) กับผลต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. ที่ความสูงต่างๆ

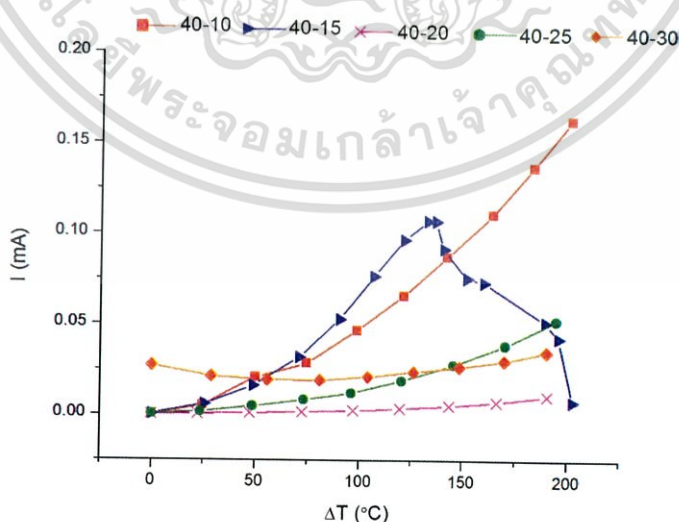
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.6 แสดงความเปรียบเทียบระหว่างกำลัง (P) กับผลต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชิ้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20 mm. ที่ความสูงต่างๆ

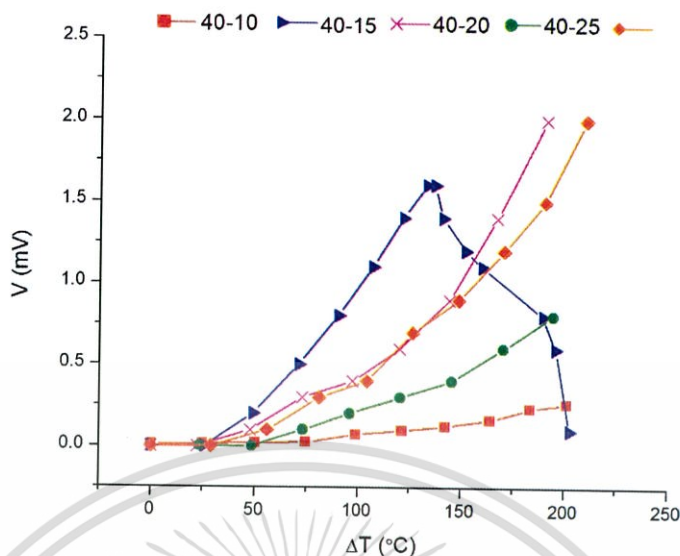
จากผลการทดลองพบว่ากระแสสูงสุดมีค่า 18.0622 μA ขนาดความสูง 30 mm ความต่างอุณหภูมิมอยู่ที่ 508.9°C ความต่างศักย์สูงสุดมีค่า 69.5694 mV ขนาดความสูง 10 mm ความต่างอุณหภูมิมอยู่ที่ 247.6°C และกำลังสูงสุดมีค่า 99.6266 nW ขนาดความสูง 25 mm ความต่างอุณหภูมิมอยู่ที่ 485.8°C ซึ่งจะเห็นว่ารูปที่ 5.4 ถึงรูปที่ 5.6 ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ตามขนาดความสูงได้

5.1.4 ความสูงต่างๆของขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm.

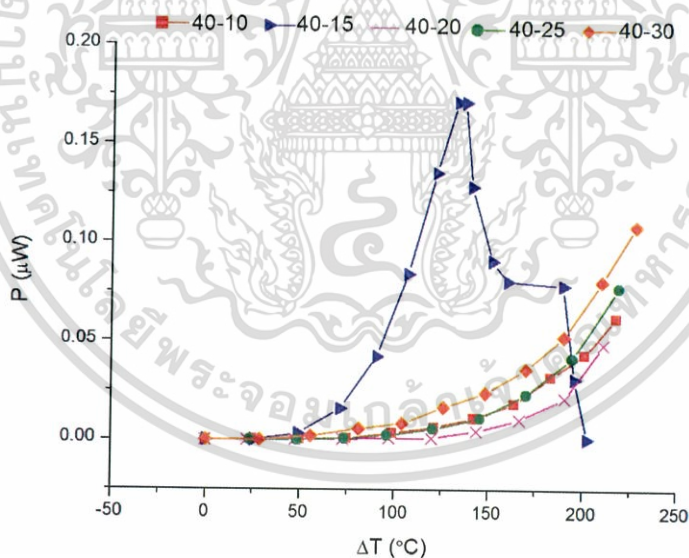


รูปที่ 5.7 แสดงความเปรียบเทียบระหว่างกระแส (I) กับผลต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชิ้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. ที่ความสูงต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 แสดงความเปรียบเทียบระหว่างความต่างศักย์ (V) กับผลต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 40 mm. ที่ความสูงต่างๆ



รูปที่ 5.9 แสดงความเปรียบเทียบระหว่างกำลัง (P) กับผลต่างอุณหภูมิ (ΔT) ของชั้น CuFeO_2 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 mm. ที่ความสูงต่างๆ

จากผลการทดลองพบว่ากระแสสูงสุดมีค่า 0.2250 mA ขนาดความสูง 25 mm ความต่างอุณหภูมิอยู่ที่ 385.5°C ความต่างศักย์สูงสุดมีค่า 33.5 mV ขนาดความสูง 20 mm ความต่างอุณหภูมิอยู่ที่ 344.2°C และกำลังสูงสุดมีค่า $5.9081 \mu\text{W}$ ขนาดความสูง 20 mm ความต่างอุณหภูมิอยู่ที่ 344.2°C ซึ่งจะเห็นว่ารูปที่ 5.7 ถึงรูปที่ 5.9 ไม่สามารถวิเคราะห์ตามขนาดความสูงได้ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 การระบวนการเตรียมสาร

ในขั้นตอนการเผาสารให้ขึ้นเฟสเพื่อให้เป็นสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริก ที่อุณหภูมิ 1010°C เมื่อนำภาชนะที่ใส่สารออกจากเตา แล้วทิ้งไว้ให้ได้อุณหภูมิห้อง พบว่าสารหลอมละลายติดกับภาชนะ จึงทำให้ใช้ภาชนะเผาสารได้เพียงไม่กี่ครั้ง

5.2.2 ชิ้นงาน

- ในขั้นตอนการอัดสารลงบล็อกนั้นสารอาจจะมีบางส่วนที่หลุดออกจากชิ้นงานที่มีลักษณะทรงกระบอก ทำให้ไม่สวย

- ในการเชื่อมขั้วสแตนเลส ถ้าชิ้นงานสูงเมื่อตีเดบเพลยอลูมิเนียมแล้วนำไปเผา จะทำให้ขั้วสแตนเลสเบี้ยว

- การทำงานทดลองยังคงควบคุมผลต่างของอุณหภูมิไม่ได้

- ในเรื่องของการเชื่อมรอยต่อระหว่างชิ้น CuFeO_2 กับขั้วสแตนเลส โดยให้เทบเพลยอลูมิเนียมแบบสติกเกอร์เป็นวัสดุที่อยู่กึ่งกลางระหว่างชิ้น CuFeO_2 กับขั้วสแตนเลส เมื่อให้ความร้อนไปจนถึงอุณหภูมิประมาณ 400°C ปัญหาส่วนใหญ่พบว่ากระแสและแรงดันจะมีค่าลดลง ดังนั้นควรมีวิธีการเชื่อมรอยต่อแบบใหม่

เอกสารอ้างอิง

ทศวรรษ สีตะวัน. 2558. เทคโนโลยีเทอร์โมอิเล็กทริก. กรุงเทพฯ : จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ชัยวัช ชูชัย และสรอรรถ ธนูศิลป์. 2556. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าเทอร์โมอิเล็กทริก. [online]
Available : <https://app.enit.kku.ac.th/mis/administrator>

พิมพ์เพ็ญ พรเฉลิมพงศ์ และนวกัทธา หนูนาถ. 2555. ปรากฎการณ์ชีเบค [online] Available :
<http://www.foodnetworksolution.com>

ภาณุพงศ์ ศิริกุล. 2553. การทดสอบวิเคราะห์ระบบระบายความร้อนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพด้วย
แผ่นเพลเทียร์. [online] Available : <http://www.research.rmutt.ac.th/?p=6697>

เฉลิมพล รุจรวางศ์. 2556. “ศึกษาสมบัติทางเทอร์โมอิเล็กทริกของสารประกอบดีลาฟอส.”
วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบัน
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

ตารางบันทึกผลการทดลอง

Date : 7/5/59

Load ที่ใช้จริง 13 Ω

size : D=10 h= 10 mm

Load ที่วัดได้ 13 Ω

r ก่อนการทดลอง 546 Ω

| ช่วงอุณหภูมิเพิ่มขึ้น | | | | | | | |
|-----------------------|-------|------------|----------|-------------|-----------|-----------|--------------|
| T_H | T_C | ΔT | T_{EV} | $r(\Omega)$ | $V_o(mV)$ | $I_o(mA)$ | $P_o(\mu W)$ |
| 26 | 26.0 | 0.0 | 30.5 | 568.2 | 0.0 | 0.0004 | 0.0000 |
| 50 | 23.5 | 26.5 | 30.5 | 544.0 | 0.1 | 0.0064 | 0.0006 |
| 75 | 23.7 | 51.3 | 30.5 | 451.7 | 0.2 | 0.0195 | 0.0039 |
| 100 | 25.8 | 74.2 | 30.5 | 390.6 | 0.5 | 0.0406 | 0.0203 |
| 125 | 29.0 | 96.0 | 30.5 | 306.8 | 0.9 | 0.0712 | 0.0641 |
| 150 | 33.3 | 116.7 | 30.5 | 239.9 | 1.4 | 0.1107 | 0.1549 |
| 175 | 38.0 | 137.0 | 30.5 | 187.2 | 2.0 | 0.1561 | 0.3122 |
| 200 | 44.1 | 155.9 | 30.5 | 152.3 | 2.6 | 0.2063 | 0.5364 |
| 225 | 51.9 | 173.1 | 30.5 | 126.2 | 3.3 | 0.2594 | 0.8559 |
| 250 | 60.4 | 189.6 | 30.5 | 108.5 | 4.9 | 0.3078 | 1.5081 |
| 275 | 69.4 | 205.6 | 30.6 | 93.0 | 4.9 | 0.3397 | 1.6646 |
| 300 | 79.6 | 220.4 | 30.7 | 83.9 | 4.8 | 0.3687 | 1.7699 |
| 325 | 88.6 | 236.4 | 30.8 | 75.3 | 4.9 | 0.3851 | 1.8869 |
| 350 | 98.1 | 251.9 | 30.8 | 68.7 | 4.9 | 0.3906 | 1.9139 |
| 375 | 110.6 | 264.4 | 30.8 | 61.9 | 4.9 | 0.3838 | 1.8808 |
| 400 | 125.7 | 274.3 | 30.8 | 57.6 | 4.7 | 0.3676 | 1.7277 |
| 425 | 140.2 | 284.8 | 30.8 | 54.1 | 4.4 | 0.3453 | 1.5192 |
| 450 | 159.4 | 290.6 | 30.8 | 48.8 | 4.0 | 0.3185 | 1.2742 |
| 475 | 170.4 | 304.6 | 30.8 | 44.2 | 3.7 | 0.2920 | 1.0806 |
| 500 | 181.6 | 318.4 | 30.9 | 39.4 | 3.4 | 0.2673 | 0.9090 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ช่วงอุณหภูมิลดลง | | | | | | | |
|------------------|-------|------------|----------|-------------|-----------|-----------|--------------|
| T_H | T_C | ΔT | T_{EV} | $r(\Omega)$ | $V_o(mV)$ | $I_o(mA)$ | $P_o(\mu W)$ |
| 500 | 181.6 | 318.4 | 30.9 | 39.4 | 3.4 | 0.2673 | 0.9090 |
| 475 | 185.8 | 289.2 | 30.9 | 36.6 | 3.2 | 0.2544 | 0.8140 |
| 450 | 184.9 | 265.1 | 31.0 | 36.1 | 3.2 | 0.2518 | 0.8059 |
| 425 | 183.8 | 241.2 | 31.0 | 36.2 | 3.2 | 0.2514 | 0.8044 |
| 400 | 180.4 | 219.6 | 31.0 | 37 | 3.2 | 0.2523 | 0.8074 |
| 375 | 175.6 | 199.4 | 31.0 | 37.9 | 3.1 | 0.2537 | 0.7864 |
| 350 | 169.7 | 180.3 | 31.0 | 39.3 | 3.2 | 0.2546 | 0.8146 |
| 325 | 162.2 | 162.8 | 31.0 | 40.9 | 3.2 | 0.2543 | 0.8138 |
| 300 | 154.6 | 145.4 | 30.9 | 42.8 | 3.2 | 0.2512 | 0.8037 |
| 275 | 146.1 | 128.9 | 31.0 | 44.2 | 3.1 | 0.2449 | 0.7593 |
| 250 | 135.6 | 114.4 | 31.0 | 46.9 | 2.9 | 0.2331 | 0.6761 |
| 225 | 119.5 | 105.5 | 31.0 | 50.5 | 2.7 | 0.2152 | 0.5812 |
| 200 | 107.6 | 92.4 | 30.9 | 55.7 | 2.4 | 0.1936 | 0.4645 |
| 175 | 96.0 | 79.0 | 30.9 | 63.7 | 2.1 | 0.1698 | 0.3566 |
| 150 | 84.3 | 65.7 | 30.8 | 76.8 | 1.8 | 0.1417 | 0.2550 |
| 125 | 72.4 | 52.6 | 31.0 | 99.1 | 1.3 | 0.1066 | 0.1386 |
| 100 | 57.9 | 42.1 | 31.0 | 141.4 | 0.9 | 0.0692 | 0.0623 |
| 75 | 42.2 | 32.8 | 31.1 | 219.5 | 0.4 | 0.0345 | 0.0138 |
| 50 | 29.4 | 20.6 | 31.0 | 400.4 | 0 | 0.0134 | 0.0000 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Date : 7/5/59

Load ที่ใช้จริง 30 Ω

size : D=10 h= 15 mm

Load ที่วัดได้ 30 Ω

r ก่อนการทดลอง 1.15 k Ω

| ช่วงอุณหภูมิเพิ่มขึ้น | | | | | | | |
|-----------------------|-------|------------|----------|-------------|-----------|-----------|--------------|
| T_H | T_C | ΔT | T_{EV} | $r(\Omega)$ | $V_o(mV)$ | $I_o(mA)$ | $P_o(\mu W)$ |
| 29 | 29.0 | 0.0 | 32.5 | 1135.4 | 0.0 | 0.0008 | 0.0000 |
| 50 | 28.8 | 21.2 | 32.9 | 1097.4 | 0.1 | 0.0033 | 0.0003 |
| 75 | 28.8 | 46.2 | 32.9 | 702.0 | 0.2 | 0.0067 | 0.0013 |
| 100 | 29.0 | 71.0 | 32.9 | 592.1 | 0.3 | 0.0131 | 0.0039 |
| 125 | 29.6 | 95.4 | 32.8 | 469.7 | 0.8 | 0.0257 | 0.0206 |
| 150 | 29.9 | 120.1 | 32.8 | 359.9 | 1.1 | 0.0391 | 0.0430 |
| 175 | 30.6 | 144.4 | 32.8 | 248.7 | 1.7 | 0.0567 | 0.0964 |
| 200 | 31.7 | 168.3 | 32.8 | 217.8 | 2.4 | 0.0816 | 0.1959 |
| 225 | 32.7 | 192.3 | 32.8 | 180.9 | 3.3 | 0.1124 | 0.3709 |
| 250 | 34.0 | 216.0 | 32.8 | 152.2 | 4.5 | 0.1516 | 0.6820 |
| 275 | 35.9 | 239.1 | 32.8 | 130.2 | 5.6 | 0.1882 | 1.0542 |
| 300 | 37.8 | 262.2 | 32.8 | 113.6 | 6.6 | 0.2225 | 1.4684 |
| 325 | 40.3 | 284.7 | 32.9 | 98.7 | 7.6 | 0.2527 | 1.9207 |
| 350 | 44.2 | 305.8 | 32.9 | 87.0 | 8.3 | 0.2766 | 2.2961 |
| 375 | 46.8 | 328.2 | 32.9 | 76.1 | 8.6 | 0.2861 | 2.4601 |
| 400 | 49.9 | 350.1 | 32.9 | 66.1 | 8.5 | 0.2817 | 2.3949 |
| 425 | 54.2 | 370.8 | 32.9 | 55.8 | 8.0 | 0.2663 | 2.1306 |
| 450 | 58.0 | 392.0 | 33.1 | 47.5 | 7.1 | 0.2380 | 1.6896 |
| 475 | 67.1 | 407.9 | 33.2 | 40.3 | 5.9 | 0.1963 | 1.1584 |
| 500 | 80.9 | 419.1 | 33.3 | 32.8 | 4.6 | 0.1543 | 0.7098 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ช่วงอุณหภูมิลดลง | | | | | | | |
|------------------|-------|------------|----------|-------------|-----------|-----------|--------------|
| T_H | T_C | ΔT | T_{EV} | $r(\Omega)$ | $V_o(mV)$ | $I_o(mA)$ | $P_o(\mu W)$ |
| 500 | 80.9 | 419.1 | 33.3 | 32.8 | 4.6 | 0.1543 | 0.7098 |
| 475 | 85.8 | 389.2 | 33.3 | 31.6 | 4.4 | 0.1477 | 0.6500 |
| 450 | 87.6 | 362.4 | 33.2 | 33.8 | 4.6 | 0.1543 | 0.7096 |
| 425 | 86.8 | 338.2 | 33.2 | 37 | 4.9 | 0.1645 | 0.8062 |
| 400 | 86.1 | 313.9 | 33.2 | 40.6 | 5.3 | 0.1758 | 0.9318 |
| 375 | 83.7 | 291.3 | 33.3 | 45.4 | 5.5 | 0.1862 | 1.0238 |
| 350 | 81.8 | 268.2 | 33.3 | 50.7 | 5.9 | 0.1952 | 1.1514 |
| 325 | 79.9 | 245.1 | 33.2 | 56.2 | 6.3 | 0.2013 | 1.2683 |
| 300 | 65.3 | 234.7 | 33.2 | 62.8 | 7.1 | 0.2021 | 1.4350 |
| 275 | 53.5 | 221.5 | 33.2 | 70.2 | 6.9 | 0.1969 | 1.3586 |
| 250 | 50.1 | 199.9 | 33.3 | 77.7 | 5.6 | 0.1875 | 1.0502 |
| 225 | 48.6 | 176.4 | 33.3 | 90.5 | 5.1 | 0.1717 | 0.8756 |
| 200 | 47 | 153 | 33.3 | 106.4 | 4.4 | 0.1447 | 0.6368 |
| 175 | 44 | 131 | 33.3 | 128.5 | 3.6 | 0.1223 | 0.4402 |
| 150 | 41.5 | 108.5 | 33.3 | 162 | 2.7 | 0.0928 | 0.2505 |
| 125 | 39.1 | 85.9 | 33.3 | 203.1 | 1.9 | 0.0650 | 0.1235 |
| 100 | 36.7 | 63.3 | 33.4 | 290.6 | 1.1 | 0.0398 | 0.0438 |
| 75 | 34.3 | 40.7 | 33.3 | 436.8 | 0.6 | 0.0205 | 0.0123 |
| 50 | 31.3 | 18.7 | 32.9 | 759.3 | 0.2 | 0.0070 | 0.0014 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Date : 27/4/59

Load ที่ใช้จริง 16 Ω

size : D=10 h= 20 mm

Load ที่วัดได้ 18 Ω

r ก่อนการทดลอง 179 k Ω

| ช่วงอุณหภูมิเพิ่มขึ้น | | | | | | | |
|-----------------------|-------|------------|----------|-------------|-----------|-----------|--------------|
| T_H | T_C | ΔT | T_{EV} | $r(\Omega)$ | $V_o(mV)$ | $I_o(mA)$ | $P_o(\mu W)$ |
| 27 | 27.0 | 0.0 | 30.5 | 112.95 | 0.2 | 0.0000 | 0.0000 |
| 50 | 18.3 | 31.7 | 30.5 | 106.13 | 0.5 | 0.0000 | 0.0000 |
| 75 | 16.7 | 58.3 | 30.5 | 88.47 | 0.6 | 0.0001 | 0.0000 |
| 100 | 15.8 | 84.2 | 30.6 | 70.19 | 0.8 | 0.0001 | 0.0000 |
| 125 | 15.5 | 109.5 | 30.6 | 62.74 | 0.8 | 0.0001 | 0.0001 |
| 150 | 16.1 | 133.9 | 30.7 | 67.52 | 0.7 | 0.0001 | 0.0000 |
| 175 | 17.0 | 158.0 | 30.6 | 59.73 | 0.6 | 0.0001 | 0.0000 |
| 200 | 18.5 | 181.5 | 30.6 | 42.95 | 0.5 | 0.0000 | 0.0000 |
| 225 | 20.9 | 204.1 | 30.5 | 36.47 | 0.6 | 0.0000 | 0.0000 |
| 250 | 35.5 | 214.5 | 30.5 | 38.88 | 0.8 | 0.0001 | 0.0000 |
| 275 | 26.4 | 248.6 | 30.5 | 25.42 | 1.5 | 0.0001 | 0.0001 |
| 300 | 30.5 | 269.5 | 30.5 | 31.99 | 2.4 | 0.0001 | 0.0003 |
| 325 | 34.6 | 290.4 | 30.5 | 38.19 | 3.6 | 0.0002 | 0.0008 |
| 350 | 39.7 | 310.3 | 30.5 | 40.52 | 5.5 | 0.0003 | 0.0018 |
| 375 | 46.2 | 328.8 | 30.5 | 42.70 | 7.7 | 0.0004 | 0.0035 |
| 400 | 54.1 | 345.9 | 30.5 | 53.42 | 11.1 | 0.0006 | 0.0070 |
| 425 | 60.6 | 364.4 | 30.5 | 71.22 | 14.5 | 0.0008 | 0.0123 |
| 450 | 69.8 | 380.2 | 30.7 | 63.40 | 19.1 | 0.0011 | 0.0215 |
| 475 | 81.1 | 393.9 | 30.8 | 58.75 | 24.3 | 0.0014 | 0.0345 |
| 500 | 94.6 | 405.4 | 30.8 | 48.07 | 28.8 | 0.0017 | 0.0482 |
| 525 | 101.9 | 423.1 | 30.9 | 35.87 | 30.8 | 0.0018 | 0.0548 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ช่วงอุณหภูมิลดลง | | | | | | | |
|------------------|-------|------------|----------|--------------|-----------|-----------|--------------|
| T_H | T_C | ΔT | T_{EV} | $r(k\Omega)$ | $V_o(mV)$ | $I_o(mA)$ | $P_o(\mu W)$ |
| 525 | 101.9 | 423.1 | 30.9 | 35.87 | 30.8 | 0.0018 | 0.0548 |
| 500 | 105.5 | 394.5 | 31 | 32.88 | 30.1 | 0.0017 | 0.0523 |
| 475 | 106.9 | 368.1 | 31 | 25.65 | 27.8 | 0.0016 | 0.0440 |
| 450 | 107.3 | 342.7 | 31 | 25.34 | 23.4 | 0.0013 | 0.0315 |
| 425 | 107.2 | 317.8 | 31.1 | 27.02 | 20.0 | 0.0011 | 0.0225 |
| 400 | 105.6 | 294.4 | 31.1 | 28.55 | 14.4 | 0.0008 | 0.0115 |
| 375 | 103.7 | 271.3 | 31.1 | 34.93 | 11.4 | 0.0006 | 0.0067 |
| 350 | 100.6 | 249.4 | 31.1 | 24.17 | 9.1 | 0.0005 | 0.0041 |
| 325 | 96 | 229 | 31.1 | 21.61 | 5.7 | 0.0002 | 0.0014 |
| 300 | 89.1 | 210.9 | 31.1 | 23.79 | 3.9 | 0.0001 | 0.0005 |
| 275 | 84.5 | 190.5 | 31.1 | 21.25 | 3.7 | 0.0001 | 0.0004 |
| 250 | 78.5 | 171.5 | 31.1 | 15.33 | 1.8 | 0.0000 | 0.0000 |
| 225 | 71.4 | 153.6 | 31.1 | 17.38 | 0.2 | 0.0001 | 0.0000 |
| 200 | 63 | 137 | 31.1 | 19.77 | -0.4 | -0.0001 | 0.0001 |
| 175 | 54.2 | 120.8 | 31.1 | 23.26 | -1.0 | -0.0002 | 0.0002 |
| 150 | 44.9 | 105.1 | 31.1 | 28.13 | -1.2 | -0.0002 | 0.0002 |
| 125 | 36.6 | 88.4 | 31.1 | 34.87 | -1.3 | -0.0002 | 0.0002 |
| 100 | 28.2 | 71.8 | 31.2 | 44.07 | -1.0 | -0.0001 | 0.0001 |
| 75 | 18.9 | 56.1 | 31.3 | 61.12 | -0.7 | -0.0001 | 0.0001 |
| 50 | 10.5 | 39.5 | 31.3 | 83.20 | -0.1 | 0.0000 | 0.0000 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Date : 6/5/59

Load ที่ใช้จริง 112 Ω

size : D=10 h= 25 mm

Load ที่วัดได้ 112 Ω

r ก่อนการทดลอง 2.15 k Ω

| ช่วงอุณหภูมิเพิ่มขึ้น | | | | | | | |
|-----------------------|-------|------------|----------|-------------|-----------|-----------|--------------|
| T_H | T_C | ΔT | T_{EV} | $r(\Omega)$ | $V_o(mV)$ | $I_o(mA)$ | $P_o(\mu W)$ |
| 27 | 27.0 | 0.0 | 30.8 | 2022 | 0.0 | 0.0002 | 0.0000 |
| 50 | 24.3 | 25.7 | 30.8 | 2072.6 | 0.2 | 0.0019 | 0.0004 |
| 75 | 23.2 | 51.8 | 30.8 | 2007.7 | 0.6 | 0.0056 | 0.0034 |
| 100 | 22.3 | 77.7 | 30.8 | 1896.1 | 1.3 | 0.0116 | 0.0151 |
| 125 | 21.9 | 103.1 | 30.8 | 1772.1 | 2.2 | 0.0203 | 0.0447 |
| 150 | 21.8 | 128.2 | 30.9 | 1586.2 | 3.5 | 0.0317 | 0.1111 |
| 175 | 22.0 | 153.0 | 30.9 | 1422.9 | 5.0 | 0.0454 | 0.2268 |
| 200 | 22.8 | 177.2 | 30.9 | 1388.1 | 7.1 | 0.0639 | 0.4540 |
| 225 | 24.0 | 201.0 | 30.9 | 1204.7 | 9.7 | 0.0860 | 0.8342 |
| 250 | 25.7 | 224.3 | 30.9 | 1142.8 | 12.3 | 0.1106 | 1.3609 |
| 275 | 27.9 | 247.1 | 31 | 1099.1 | 15.0 | 0.1352 | 2.0279 |
| 300 | 30.6 | 269.4 | 31 | 1056.9 | 17.8 | 0.1599 | 2.8463 |
| 325 | 34.1 | 290.9 | 31.1 | 1025.3 | 20.4 | 0.1833 | 3.7389 |
| 350 | 38.1 | 311.9 | 31.2 | 333.2 | 22.5 | 0.2018 | 4.5403 |
| 375 | 43.4 | 331.6 | 31.2 | 287 | 23.6 | 0.2150 | 5.0740 |
| 400 | 49.1 | 350.9 | 31.2 | 243.8 | 24.6 | 0.2214 | 5.4464 |
| 425 | 55.7 | 369.3 | 31.3 | 213.4 | 24.5 | 0.2209 | 5.4113 |
| 450 | 64.6 | 385.4 | 31.4 | 177.8 | 23.8 | 0.2142 | 5.0972 |
| 475 | 70.1 | 404.9 | 31.6 | 161.4 | 22.6 | 0.2037 | 4.6026 |
| 500 | 80.6 | 419.4 | 31.9 | 138.6 | 21.6 | 0.1946 | 4.2034 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ช่วงอุณหภูมิลดลง | | | | | | | |
|------------------|-------|------------|----------|-------------|-----------|-----------|--------------|
| T_H | T_C | ΔT | T_{EV} | $r(\Omega)$ | $V_o(mV)$ | $I_o(mA)$ | $P_o(\mu W)$ |
| 500 | 80.6 | 419.4 | 31.9 | 138.6 | 21.6 | 0.1946 | 4.2034 |
| 475 | 85.2 | 389.8 | 31.9 | 117 | 21.4 | 0.1928 | 4.1261 |
| 450 | 85.5 | 364.5 | 31.8 | 117.6 | 21.7 | 0.1956 | 4.2442 |
| 425 | 86 | 339 | 31.6 | 118.8 | 22.1 | 0.1988 | 4.3927 |
| 400 | 85.3 | 314.7 | 31.7 | 123 | 22.3 | 0.2016 | 4.4947 |
| 375 | 83.3 | 291.7 | 31.8 | 127.6 | 22.6 | 0.2039 | 4.6086 |
| 350 | 80.1 | 269.9 | 31.8 | 132.7 | 22.8 | 0.2050 | 4.6737 |
| 325 | 76.2 | 248.8 | 31.7 | 141.4 | 22.6 | 0.2037 | 4.6047 |
| 300 | 71.9 | 228.1 | 31.8 | 142.3 | 22.1 | 0.1992 | 4.4018 |
| 275 | 67.4 | 207.6 | 31.7 | 155.5 | 21.1 | 0.1905 | 4.0197 |
| 250 | 62.5 | 187.5 | 31.5 | 173 | 19.7 | 0.1781 | 3.5084 |
| 225 | 57.3 | 167.7 | 31.6 | 197.5 | 17.6 | 0.1587 | 2.7936 |
| 200 | 52.8 | 147.2 | 31.5 | 231.9 | 15.2 | 0.1369 | 2.0806 |
| 175 | 48.7 | 126.3 | 31.8 | 278.6 | 12.9 | 0.1161 | 1.4977 |
| 150 | 44.1 | 105.9 | 31.8 | 339.6 | 9.9 | 0.0888 | 0.8795 |
| 125 | 38.9 | 86.1 | 31.7 | 430.6 | 7 | 0.0630 | 0.4408 |
| 100 | 33.2 | 66.8 | 31.8 | 594.8 | 4.2 | 0.0379 | 0.1590 |
| 75 | 28.1 | 46.9 | 31.7 | 920.5 | 2.2 | 0.0199 | 0.0438 |
| 50 | 21.2 | 28.8 | 31.2 | 1689.4 | 0.8 | 0.0077 | 0.0061 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Date : 6/5/59

Load ที่ใช้จริง 150 Ω

size :D=10 h= 30 mm

Load ที่วัดได้ 150 Ω

r ก่อนการทดลอง 2.59 k Ω

| ช่วงอุณหภูมิเพิ่มขึ้น | | | | | | | |
|-----------------------|-------|------------|----------|-------------|-----------|-----------|--------------|
| T_H | T_C | ΔT | T_{EV} | $r(\Omega)$ | $V_o(mV)$ | $I_o(mA)$ | $P_o(\mu W)$ |
| 26 | 26.0 | 0.0 | 29.7 | 2436.5 | 0.0 | 0.0003 | 0.0000 |
| 50 | 22.9 | 27.1 | 29.7 | 2128 | 0.2 | 0.0009 | 0.0002 |
| 75 | 21.3 | 53.7 | 29.7 | 2187 | 0.4 | 0.0025 | 0.0010 |
| 100 | 20.3 | 79.7 | 29.8 | 2036.1 | 0.8 | 0.0051 | 0.0041 |
| 125 | 19.5 | 105.5 | 29.8 | 1875.9 | 1.4 | 0.0093 | 0.0131 |
| 150 | 19.1 | 130.9 | 29.8 | 1714 | 2.2 | 0.0148 | 0.0325 |
| 175 | 18.9 | 156.1 | 29.8 | 1542.1 | 3.4 | 0.0224 | 0.0762 |
| 200 | 19.2 | 180.8 | 29.8 | 1418.5 | 4.9 | 0.0327 | 0.1602 |
| 225 | 19.9 | 205.1 | 29.8 | 1300.5 | 6.9 | 0.0462 | 0.3189 |
| 250 | 20.6 | 229.4 | 29.8 | 1219.3 | 8.7 | 0.0582 | 0.5062 |
| 275 | 21.8 | 253.2 | 29.8 | 1505.8 | 11.2 | 0.0746 | 0.8355 |
| 300 | 23.6 | 276.4 | 29.8 | 1101.7 | 14.0 | 0.0938 | 1.3127 |
| 325 | 25.6 | 299.4 | 29.8 | 1042.8 | 17.2 | 0.1151 | 1.9789 |
| 350 | 28.2 | 321.8 | 29.8 | 323.7 | 20.3 | 0.1363 | 2.7661 |
| 375 | 31.7 | 343.3 | 29.8 | 287 | 23.3 | 0.1564 | 3.6444 |
| 400 | 35.8 | 364.2 | 30.2 | 217.3 | 25.6 | 0.1722 | 4.4081 |
| 425 | 41.5 | 383.5 | 30.5 | 187.8 | 27.1 | 0.1829 | 4.9574 |
| 450 | 48.4 | 401.6 | 30.1 | 179.3 | 27.9 | 0.1876 | 5.2353 |
| 475 | 56.4 | 418.6 | 30.1 | 136.6 | 27.4 | 0.1850 | 5.0689 |
| 500 | 64.0 | 436.0 | 30.4 | 101.8 | 26.2 | 0.1767 | 4.6283 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ช่วงอุณหภูมิลดลง | | | | | | | |
|------------------|-------|------------|----------|-------------|-----------|-----------|--------------|
| T_H | T_C | ΔT | T_{EV} | $r(\Omega)$ | $V_o(mV)$ | $I_o(mA)$ | $P_o(\mu W)$ |
| 500 | 64.0 | 436.0 | 30.4 | 101.8 | 26.2 | 0.1767 | 4.6283 |
| 475 | 67.9 | 407.1 | 30.5 | 100.4 | 25.5 | 0.1718 | 4.3802 |
| 450 | 69.7 | 380.3 | 30.7 | 98.8 | 25.4 | 0.1713 | 4.3521 |
| 425 | 71.4 | 353.6 | 30.7 | 104.9 | 25.4 | 0.1713 | 4.3520 |
| 400 | 72.3 | 327.7 | 30.8 | 107.6 | 25.4 | 0.1713 | 4.3519 |
| 375 | 72.3 | 302.7 | 30.8 | 130.3 | 25.3 | 0.1709 | 4.3236 |
| 350 | 71.0 | 279.0 | 30.7 | 143 | 25.2 | 0.1698 | 4.2802 |
| 325 | 69.4 | 255.6 | 30.5 | 130.1 | 24.8 | 0.1673 | 4.1493 |
| 300 | 67.4 | 232.6 | 30.5 | 138.7 | 24.2 | 0.1631 | 3.9481 |
| 275 | 64.5 | 210.5 | 30.6 | 154.3 | 23.2 | 0.1565 | 3.6308 |
| 250 | 61.4 | 188.6 | 30.8 | 1831 | 21.4 | 0.1464 | 3.1324 |
| 225 | 57.0 | 168.0 | 30.9 | 2045 | 19.6 | 0.1320 | 2.5866 |
| 200 | 52.9 | 147.1 | 30.9 | 285 | 17.3 | 0.1168 | 2.0198 |
| 175 | 47.7 | 127.3 | 30.4 | 330 | 14.5 | 0.0977 | 1.4164 |
| 150 | 42.2 | 107.8 | 30.1 | 421 | 11.2 | 0.0757 | 0.8482 |
| 125 | 36.5 | 88.5 | 29.9 | 597 | 8 | 0.0539 | 0.4314 |
| 100 | 30.7 | 69.3 | 29.7 | 957 | 4.8 | 0.0325 | 0.1562 |
| 75 | 24.7 | 50.3 | 29.8 | 1729 | 2.5 | 0.0170 | 0.0425 |
| 50 | 18.1 | 31.9 | 30.5 | 1942 | 1 | 0.0062 | 0.0062 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Date : 25/4/59

Load ที่ใช้จริง 514 k Ω

size : D=20 h=10 mm

Load ที่วัดได้ 530 k Ω

r ก่อนการทดลอง 226 k Ω

| ช่วงอุณหภูมิเพิ่มขึ้น | | | | | | | |
|-----------------------|-------|------------|----------|--------------|-----------|--------------|-----------|
| T_H | T_C | ΔT | T_{EV} | $r(k\Omega)$ | $V_o(mV)$ | $I_o(\mu A)$ | $P_o(nW)$ |
| 26 | 26.0 | 0.0 | 26.8 | 75.0 | 0.1 | 0.0057 | 0.0004 |
| 50 | 18.3 | 31.7 | 26.8 | 52.0 | 0.3 | 0.0047 | 0.0012 |
| 75 | 18.2 | 56.8 | 27.7 | 41.1 | 0.5 | 0.0041 | 0.0020 |
| 100 | 19.1 | 80.9 | 27.7 | 37.7 | 0.6 | 0.0057 | 0.0035 |
| 125 | 21.0 | 104.0 | 27.8 | 33.6 | 0.5 | 0.0063 | 0.0032 |
| 150 | 22.4 | 127.6 | 27.8 | 31.3 | 0.6 | 0.0074 | 0.0042 |
| 175 | 25.0 | 150.0 | 27.8 | 41.7 | 0.4 | 0.0077 | 0.0029 |
| 200 | 30.6 | 169.4 | 27.9 | 66.4 | 0.0 | 0.0095 | 0.0003 |
| 225 | 36.4 | 188.6 | 28.1 | 158.4 | 2.1 | 0.0089 | 0.0186 |
| 250 | 40.6 | 209.4 | 28.2 | 190.6 | 9.4 | 0.0136 | 0.1278 |
| 275 | 47.4 | 227.6 | 28.2 | 211.8 | 24.4 | 0.0203 | 0.4947 |
| 300 | 61.6 | 238.4 | 28.1 | 289.0 | 45.1 | 0.0942 | 4.2513 |
| 325 | 82.9 | 242.1 | 27.9 | 399.8 | 63.0 | 0.1396 | 8.7990 |
| 350 | 102.4 | 247.6 | 27.8 | 396.0 | 69.6 | 0.1461 | 10.1641 |
| 375 | 108.5 | 266.5 | 27.8 | 802.9 | 62.9 | 0.1361 | 8.5634 |
| 400 | 118.3 | 281.7 | 27.8 | 1041.3 | 47.5 | 0.0873 | 4.1493 |
| 425 | 131.0 | 294.0 | 27.8 | 1770.9 | 32.0 | 0.0325 | 1.0403 |
| 450 | 149.3 | 300.7 | 27.8 | 1628.2 | 23.9 | 0.0037 | 0.0886 |
| 475 | 168.9 | 306.1 | 27.7 | 875.0 | 19.4 | 0.0031 | 0.0603 |
| 490 | 178.7 | 311.3 | 27.6 | 526.5 | 18.5 | 0.0024 | 0.0445 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ช่วงอุณหภูมิลดลง | | | | | | | |
|------------------|-------|------------|----------|--------------|-----------|--------------|-----------|
| T_H | T_C | ΔT | T_{EV} | $r(k\Omega)$ | $V_o(mV)$ | $I_o(\mu A)$ | $P_o(nW)$ |
| 490 | 178.7 | 311.3 | 27.6 | 526.5 | 18.5 | 0.0024 | 0.04447 |
| 475 | 183.7 | 291.3 | 27.6 | 875.0 | 32.2 | 0.0605 | 1.94810 |
| 450 | 186.6 | 263.4 | 27.5 | 2371.8 | 27.9 | 0.0515 | 1.43685 |
| 425 | 188.9 | 236.1 | 27.5 | 2000.5 | 20.2 | 0.0297 | 0.59994 |
| 400 | 189.7 | 210.3 | 27.5 | 390.5 | 10.1 | 0.0178 | 0.17978 |
| 375 | 185.5 | 189.5 | 27.5 | 530.7 | 6.4 | 0.0049 | 0.03136 |
| 350 | 182.8 | 167.2 | 27.5 | 526.6 | 7.1 | 0.0105 | 0.07455 |
| 325 | 193.6 | 131.4 | 27.5 | 605.1 | 9.7 | 0.0156 | 0.15132 |
| 300 | 185.4 | 114.6 | 27.5 | 549.3 | 4.7 | 0.0186 | 0.08728 |
| 275 | 178.4 | 96.6 | 27.5 | 331.6 | 3.9 | 0.0208 | 0.08112 |
| 250 | 166.9 | 83.1 | 27.4 | 275.7 | 13.1 | 0.0288 | 0.37728 |
| 225 | 155.7 | 69.3 | 27.3 | 314.1 | 20.8 | 0.0514 | 1.06912 |
| 200 | 126.6 | 73.4 | 27.3 | 248.2 | 23.2 | 0.0517 | 1.19944 |
| 175 | 109.9 | 65.1 | 27.5 | 218.5 | 32.9 | 0.0751 | 2.47079 |
| 150 | 98.6 | 51.4 | 27.5 | 186.1 | 27.4 | 0.0633 | 1.73442 |
| 125 | 83.2 | 41.8 | 27.4 | 163.9 | 26.4 | 0.0618 | 1.63152 |
| 100 | 66 | 34.0 | 27.3 | 140.1 | 25.5 | 0.0594 | 1.51470 |
| 75 | 47.3 | 27.7 | 27.5 | 132.0 | 20.8 | 0.0497 | 1.03376 |
| 50 | 24.1 | 25.9 | 27.5 | 193.2 | 11.6 | 0.0301 | 0.34916 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Date : 23/4/59

Load ที่ใช้จริง 4.4 k Ω

size : D=20 h=15 mm

Load ที่วัดได้ 5.8252 k Ω

r ก่อนการทดลอง 14 k Ω

| ช่วงอุณหภูมิเพิ่มขึ้น | | | | | | | |
|-----------------------|----------------|------------|-----------------|----------------|---------------------|----------------------------|---------------------|
| T _H | T _C | ΔT | T _{EV} | r(k Ω) | V _o (mV) | I _o (μA) | P _o (nW) |
| 24 | 24 | 0.0 | 27.3 | 13.48 | 0.11 | 0.0029 | 0.0003 |
| 50 | 18.9 | 31.1 | 27.3 | 13.41 | 0.08 | 0.0665 | 0.0052 |
| 75 | 22.7 | 52.3 | 27.3 | 13.65 | 0.34 | 0.1030 | 0.0353 |
| 100 | 30.7 | 69.3 | 27.3 | 14.12 | 0.69 | 0.1030 | 0.0706 |
| 125 | 36.2 | 88.8 | 27.3 | 14.26 | 1.23 | 0.0773 | 0.0953 |
| 150 | 44.1 | 105.9 | 27.3 | 13.35 | 1.72 | 0.0583 | 0.1005 |
| 175 | 47.2 | 127.8 | 27.4 | 13.33 | 2.05 | 0.0413 | 0.0846 |
| 200 | 55.5 | 144.5 | 27.3 | 12.88 | 1.96 | 0.0344 | 0.0674 |
| 225 | 62 | 163.0 | 27.4 | 10.93 | 1.40 | 0.0536 | 0.0751 |
| 250 | 73.9 | 176.1 | 27.4 | 5.89 | 0.97 | 0.1516 | 0.1473 |
| 275 | 86.1 | 188.9 | 27.4 | 4.84 | 0.67 | 0.2735 | 0.1823 |
| 300 | 87.2 | 212.8 | 27.4 | 4.06 | 0.51 | 0.3749 | 0.1910 |
| 325 | 94.9 | 230.1 | 27.4 | 3.39 | 0.53 | 0.4323 | 0.2306 |
| 350 | 102.1 | 247.9 | 27.4 | 2.78 | 0.47 | 0.4984 | 0.2349 |
| 375 | 106 | 269.0 | 27.4 | 2.46 | 0.26 | 0.5565 | 0.1431 |
| 400 | 117.3 | 282.7 | 27.5 | 1.95 | 0.25 | 0.5970 | 0.1478 |
| 425 | 133.9 | 291.1 | 27.5 | 1.54 | 0.27 | 0.5917 | 0.1578 |
| 450 | 145.2 | 304.8 | 27.5 | 1.16 | 0.38 | 0.6496 | 0.2444 |
| 475 | 170.2 | 304.8 | 27.5 | 1.03 | 1.05 | 0.7515 | 0.7873 |
| 500 | 195.3 | 304.7 | 27.5 | 7.67 | 3.26 | 0.8402 | 2.7366 |
| 525 | 211.7 | 313.3 | 27.5 | 8.05 | 6.54 | 1.1770 | 7.6926 |
| 550 | 233.3 | 316.7 | 27.5 | 5.07 | 11.4 | 1.9063 | 21.73182 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ช่วงอุณหภูมิลดลง | | | | | | | |
|------------------|-------|------------|----------|--------------|-----------|--------------|-----------|
| T_H | T_C | ΔT | T_{EV} | $r(k\Omega)$ | $V_o(mV)$ | $I_o(\mu A)$ | $P_o(nW)$ |
| 550 | 233.3 | 316.7 | 27.5 | 5.07 | 11.4 | 1.90630 | 21.73182 |
| 525 | 240.9 | 284.1 | 27.5 | 8.05 | 8.9 | 1.4361 | 12.78129 |
| 500 | 238.3 | 261.7 | 27.5 | 6.08 | 6.2 | 0.776 | 4.81120 |
| 475 | 238.9 | 236.1 | 27.6 | 6.23 | 4.2 | 0.3273 | 1.37466 |
| 450 | 238.5 | 211.5 | 27.6 | 6.51 | 3 | 0.0751 | 0.22530 |
| 425 | 237.3 | 187.7 | 27.6 | 7.47 | 2.5 | 0.0127 | 0.03175 |
| 400 | 234.7 | 165.3 | 27.6 | 8.19 | 1.9 | 0.1281 | 0.24339 |
| 375 | 230.5 | 144.5 | 27.6 | 7.51 | 1.3 | 0.2768 | 0.35984 |
| 350 | 225.3 | 124.7 | 27.6 | 7.56 | -0.9 | -0.3621 | 0.32589 |
| 325 | 217.6 | 107.4 | 27.6 | 9.58 | -0.6 | -0.4416 | 0.26496 |
| 300 | 214.5 | 85.5 | 27.6 | 22.74 | -0.4 | -0.5096 | 0.20384 |
| 275 | 175.4 | 99.6 | 27.6 | 28.80 | -0.3 | -0.5605 | 0.16815 |
| 250 | 170.5 | 79.5 | 27.6 | 37.00 | -0.2 | -0.5546 | 0.11092 |
| 225 | 158.7 | 66.3 | 27.6 | 44.66 | -0.3 | -0.4683 | 0.14049 |
| 200 | 161 | 39.0 | 27.6 | 44.04 | -0.3 | -0.4394 | 0.13182 |
| 175 | 140.5 | 34.5 | 27.6 | 41.69 | -0.5 | -0.0393 | 0.01965 |
| 150 | 116.2 | 33.8 | 27.6 | 38.59 | -0.7 | -0.0963 | 0.06741 |
| 125 | 95 | 30.0 | 27.6 | 33.63 | -0.9 | -0.1453 | 0.13077 |
| 100 | 78.6 | 21.4 | 27.5 | 34.92 | -0.9 | -0.1171 | 0.10539 |
| 75 | 52.3 | 22.7 | 27.5 | 36.34 | -0.7 | -0.023 | 0.01610 |
| 50 | 38.9 | 11.1 | 27.5 | 62.13 | 0.2 | 0.1695 | 0.03390 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Date : 22/4/59

Load ที่ใช้จริง 38 k Ω

size : D=20 h=20 mm

Load ที่วัดได้ 41.28 k Ω

r ก่อนการทดลอง 106 k Ω

| ช่วงอุณหภูมิเพิ่มขึ้น | | | | | | | |
|-----------------------|----------------|------------|-----------------|----------------|---------------------|----------------------------|---------------------|
| T _H | T _C | ΔT | T _{EV} | r(k Ω) | V _o (mV) | I _o (μA) | P _o (nW) |
| 25 | 25 | 0.0 | 27.1 | 105.5343 | 3.1 | 0.0969 | 0.2955 |
| 50 | 14.8 | 35.2 | 27 | 116.5094 | 5.2 | 0.1172 | 0.6057 |
| 75 | 13 | 62.0 | 27 | 114.493 | 6.1 | 0.1261 | 0.7641 |
| 100 | 14.3 | 85.7 | 27 | 113.002 | 5.5 | 0.1237 | 0.6804 |
| 125 | 15.5 | 109.5 | 27 | 110.4721 | 4.2 | 0.0773 | 0.3253 |
| 150 | 17.1 | 132.9 | 27 | 108.4915 | 3.2 | 0.0716 | 0.2306 |
| 175 | 19.9 | 155.1 | 27 | 101.5126 | 2.2 | 0.1051 | 0.2292 |
| 200 | 24 | 176.0 | 27 | 93.5483 | 8.5 | 0.1921 | 1.6325 |
| 225 | 28.6 | 196.4 | 27 | 82.1531 | 12.9 | 0.3016 | 3.8906 |
| 250 | 33.9 | 216.1 | 27 | 66.7962 | 16.9 | 0.3810 | 6.4389 |
| 275 | 40 | 235.0 | 27.1 | 53.4273 | 19.9 | 0.5194 | 10.3353 |
| 300 | 47.4 | 252.6 | 27.1 | 47.7765 | 22.0 | 0.6722 | 14.7880 |
| 325 | 56 | 269.0 | 27.1 | 40.2842 | 21.6 | 0.8320 | 17.9708 |
| 350 | 66.2 | 283.8 | 27.1 | 34.828 | 23.3 | 0.9402 | 21.9067 |
| 375 | 77.4 | 297.6 | 27.2 | 28.9096 | 27.2 | 0.9885 | 26.8880 |
| 400 | 94.3 | 305.7 | 27.2 | 24.9906 | 26.2 | 0.9855 | 25.8188 |
| 425 | 101.9 | 323.1 | 27.3 | 23.0888 | 39.3 | 0.9046 | 35.5508 |
| 450 | 106.6 | 343.4 | 27.3 | 25.9443 | 67.3 | 0.7792 | 52.4429 |
| 475 | 113.1 | 361.9 | 27.3 | 27.6222 | 30.5 | 0.6699 | 20.4323 |
| 500 | 122.7 | 377.3 | 27.3 | 34.2484 | 24.7 | 0.5640 | 13.9303 |
| 525 | 129.1 | 395.9 | 27.4 | 49.3528 | 23.9 | 0.5305 | 12.6792 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ช่วงอุณหภูมิลดลง | | | | | | | |
|------------------|-------|------------|----------|--------------|-----------|--------------|-----------|
| T_H | T_C | ΔT | T_{EV} | $r(k\Omega)$ | $V_o(mV)$ | $I_o(\mu A)$ | $P_o(nW)$ |
| 525 | 129.1 | 395.9 | 47.714 | 49.3528 | 23.9 | 0.5305 | 12.6792 |
| 500 | 160.9 | 339.1 | 27.8 | 46.75 | 13.7 | 0.3601 | 4.93337 |
| 475 | 160.5 | 314.5 | 27.8 | 45.93 | 12.2 | 0.3269 | 3.98818 |
| 450 | 159.5 | 290.5 | 27.8 | 48.93 | 11.3 | 0.3194 | 3.60922 |
| 425 | 157.8 | 267.2 | 27.8 | 51.37 | 5.8 | 0.1739 | 1.00862 |
| 400 | 158.8 | 241.2 | 27.8 | 54.61 | 5.2 | 0.1663 | 0.86476 |
| 375 | 152.6 | 222.4 | 27.8 | 58.89 | 5.6 | 0.1646 | 0.92176 |
| 350 | 144.2 | 205.8 | 27.8 | 64.85 | 5 | 0.1519 | 0.7595 |
| 325 | 143.7 | 181.3 | 27.8 | 70.57 | 4.5 | 0.1342 | 0.6039 |
| 300 | 138.3 | 161.7 | 27.8 | 75.36 | 4.3 | 0.1296 | 0.55728 |
| 275 | 130.5 | 144.5 | 27.8 | 80.04 | 4.8 | 0.1309 | 0.62832 |
| 250 | 123.3 | 126.7 | 27.8 | 85.58 | 5.9 | 0.1573 | 0.92807 |
| 225 | 114.2 | 110.8 | 27.8 | 88.77 | 7.2 | 0.1957 | 1.40904 |
| 200 | 103.5 | 96.5 | 27.8 | 85.70 | 9.5 | 0.2436 | 2.3142 |
| 175 | 91.2 | 83.8 | 27.8 | 75.43 | 11.2 | 0.284 | 3.1808 |
| 150 | 78.6 | 71.4 | 27.8 | 64.90 | 12.1 | 0.3129 | 3.78609 |
| 125 | 64.2 | 60.8 | 27.8 | 61.38 | 11.6 | 0.3012 | 3.49392 |
| 100 | 50 | 50 | 27.6 | 59.05 | 9.9 | 0.2625 | 2.59875 |
| 75 | 33.5 | 41.5 | 27.4 | 74.85 | 6.2 | 0.1646 | 1.02052 |
| 50 | 22.7 | 27.3 | 27.4 | 122.13 | 3.3 | 0.0907 | 0.29931 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Date : 19/4/59

Load ใช้จริง 24 k Ω

size : D=20 h=25 mm

Load ที่วัดได้ 26 k Ω

r ก่อนการทดลอง 17 k Ω

| ช่วงอุณหภูมิเพิ่มขึ้น | | | | | | | |
|-----------------------|----------------|------------|-----------------|----------------|---------------------|----------------------------|---------------------|
| T _H | T _C | ΔT | T _{EV} | r(k Ω) | V _o (mV) | I _o (μA) | P _o (nW) |
| 25 | 25.0 | 0.0 | 26.9 | 58.11 | 0.1 | 0.2690 | 0.0269 |
| 50 | 18.8 | 31.2 | 26.9 | 48.58 | 0.8 | 0.2876 | 0.2301 |
| 75 | 15.5 | 59.5 | 26.9 | 77.11 | 1.9 | 0.2980 | 0.5734 |
| 100 | 13.3 | 86.7 | 27.0 | 176.86 | 2.5 | 0.3119 | 0.7867 |
| 125 | 12.0 | 113.0 | 27.0 | 108.91 | 2.8 | 0.3137 | 0.8787 |
| 150 | 11.2 | 138.8 | 27.0 | 69.39 | 2.9 | 0.3148 | 0.9067 |
| 175 | 11.1 | 163.9 | 27.0 | 60.85 | 3.4 | 0.3166 | 1.0764 |
| 200 | 11.2 | 188.8 | 27.0 | 66.02 | 4.2 | 0.3200 | 1.3295 |
| 225 | 11.7 | 213.3 | 27.1 | 62.67 | 4.4 | 0.3209 | 1.4129 |
| 250 | 12.3 | 237.7 | 27.2 | 77.08 | 4.5 | 0.3215 | 1.4352 |
| 275 | 14.1 | 260.9 | 27.2 | 80.07 | 4.5 | 0.3247 | 1.4612 |
| 300 | 16.7 | 283.3 | 27.2 | 84.21 | 4.6 | 0.3244 | 1.4816 |
| 325 | 18.9 | 306.1 | 27.3 | 77.45 | 4.6 | 0.3245 | 1.5057 |
| 350 | 21.7 | 328.3 | 27.4 | 80.94 | 4.7 | 0.3346 | 1.5726 |
| 375 | 27.3 | 347.7 | 27.5 | 86.60 | 4.8 | 0.3247 | 1.5465 |
| 400 | 33.9 | 366.1 | 27.5 | 95.95 | 4.8 | 0.3245 | 1.5542 |
| 425 | 42.2 | 382.8 | 27.5 | 87.39 | 4.8 | 0.3248 | 1.5694 |
| 450 | 50.2 | 399.8 | 27.4 | 64.16 | 4.9 | 0.3185 | 1.5575 |
| 475 | 60.2 | 414.8 | 27.8 | 85.23 | 4.9 | 0.3374 | 1.6536 |
| 500 | 62.2 | 437.8 | 27.8 | 92.33 | 5.5 | 0.3594 | 1.9628 |
| 525 | 71.4 | 453.6 | 27.9 | 45.25 | 7.7 | 0.4116 | 3.1637 |
| 550 | 77.2 | 472.8 | 27.9 | 36.42 | 21.5 | 0.6621 | 14.2352 |
| 575 | 96.1 | 478.9 | 28.0 | 29.11 | 32.0 | 0.9372 | 29.9904 |
| 600 | 114.2 | 485.8 | 28.1 | 17.71 | 52.9 | 1.8833 | 99.6266 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ช่วงอุณหภูมิลดลง | | | | | | | |
|------------------|-------|------------|----------|--------------|-----------|--------------|-----------|
| T_H | T_C | ΔT | T_{EV} | $r(k\Omega)$ | $V_o(mV)$ | $I_o(\mu A)$ | $P_o(nW)$ |
| 600 | 111.2 | 488.8 | 28.2 | 17.71 | 51.7 | 1.6794 | 86.82498 |
| 575 | 111.6 | 463.4 | 28.2 | 16.28 | 44.5 | 1.3106 | 58.32170 |
| 550 | 114.4 | 435.6 | 28.2 | 16.06 | 40.3 | 1.1731 | 47.27593 |
| 525 | 111.7 | 413.3 | 28.2 | 16.08 | 35.5 | 0.9840 | 34.93200 |
| 500 | 111.3 | 388.7 | 28.1 | 16.50 | 33.9 | 0.9031 | 30.61509 |
| 475 | 105.5 | 369.5 | 28.1 | 18.01 | 33.8 | 0.9135 | 30.87630 |
| 450 | 102.3 | 347.7 | 28.1 | 19.00 | 33.0 | 0.8711 | 28.74630 |
| 425 | 101.9 | 323.1 | 28 | 22.09 | 32.4 | 0.8428 | 27.30672 |
| 400 | 103.9 | 296.1 | 28 | 28.49 | 26.1 | 0.5856 | 15.28416 |
| 375 | 102.3 | 272.7 | 27.9 | 34.07 | 23.6 | 0.4657 | 10.99052 |
| 350 | 96.8 | 253.2 | 27.8 | 43.42 | 21.1 | 0.3670 | 7.74370 |
| 325 | 91.6 | 233.4 | 27.8 | 49.51 | 18.6 | 0.2579 | 4.79694 |
| 300 | 89.5 | 210.5 | 27.7 | 57.37 | 16.0 | 0.1602 | 2.56320 |
| 275 | 84 | 191.0 | 27.6 | 62.23 | 13.9 | 0.0649 | 0.90211 |
| 250 | 77.1 | 172.9 | 27.5 | 64.67 | 12.8 | 0.0219 | 0.28032 |
| 225 | 68.4 | 156.6 | 27.5 | 48.33 | 14.0 | 0.0765 | 1.07100 |
| 200 | 57.8 | 142.2 | 27.3 | 35.76 | 15.6 | 0.1442 | 2.24952 |
| 175 | 53.3 | 121.7 | 27.3 | 26.79 | 16.1 | 0.1673 | 2.69353 |
| 150 | 44.3 | 105.7 | 27.2 | 21.25 | 16.0 | 0.1607 | 2.57120 |
| 125 | 34.5 | 90.5 | 27.2 | 18.43 | 15.3 | 0.1368 | 2.09304 |
| 100 | 25.2 | 74.8 | 27.2 | 13.86 | 14.1 | 0.1812 | 2.55492 |
| 75 | 14.7 | 60.3 | 27.1 | 12.64 | 10.5 | 0.6560 | 6.88800 |
| 50 | 8.2 | 41.8 | 26.9 | 20.04 | 6.2 | 0.2223 | 1.37826 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Date : 18/4/59

Load ที่ใช้จริง 68 Ω

size : D=20 h=30 mm

Load ที่วัดได้ 68 k Ω

r ก่อนการทดลอง 46 k Ω

| ช่วงอุณหภูมิเพิ่มขึ้น | | | | | | | |
|-----------------------|-------|------------|----------|--------------|-----------|--------------|-----------|
| T_H | T_C | ΔT | T_{EV} | $r(k\Omega)$ | $V_o(mV)$ | $I_o(\mu A)$ | $P_o(nW)$ |
| 23 | 23.0 | 0.0 | 27.2 | 46.45 | 0.0169 | 0.0019 | 0.0000 |
| 50 | 21.0 | 29.0 | 27.2 | 38.28 | 0.0185 | 0.2588 | 0.0048 |
| 75 | 19.2 | 55.8 | 27.2 | 110.90 | 0.0276 | 0.3699 | 0.0102 |
| 100 | 18.1 | 81.9 | 27.2 | 228.00 | 0.0313 | 0.4051 | 0.0127 |
| 125 | 16.8 | 108.2 | 27.2 | 199.00 | 0.0360 | 0.3480 | 0.0125 |
| 150 | 16.0 | 134.0 | 27.2 | 144.00 | 0.0463 | 0.3310 | 0.0153 |
| 175 | 15.6 | 159.4 | 27.2 | 119.00 | 0.0573 | 0.2877 | 0.0165 |
| 200 | 15.7 | 184.3 | 27.2 | 103.00 | 0.0683 | 0.3518 | 0.0240 |
| 225 | 16.2 | 208.8 | 27.2 | 75.24 | 0.0798 | 0.4054 | 0.0324 |
| 250 | 17.4 | 232.6 | 27.2 | 96.35 | 0.1000 | 0.4688 | 0.0469 |
| 275 | 18.6 | 256.4 | 27.2 | 90.15 | 0.1071 | 0.5636 | 0.0604 |
| 300 | 24.7 | 275.3 | 27.2 | 140.00 | 0.1089 | 0.6988 | 0.0761 |
| 325 | 25.4 | 299.6 | 27.2 | 174.00 | 0.1096 | 0.8059 | 0.0883 |
| 350 | 28.5 | 321.5 | 27.3 | 183.00 | 0.1104 | 0.8692 | 0.0960 |
| 375 | 33.1 | 341.9 | 27.3 | 253.00 | 0.1118 | 0.9091 | 0.1016 |
| 400 | 39.1 | 360.9 | 27.3 | 282.00 | 0.1156 | 0.9953 | 0.1151 |
| 425 | 45.8 | 379.2 | 27.3 | 231.00 | 0.1188 | 1.0899 | 0.1295 |
| 450 | 51.6 | 398.4 | 27.4 | 200.00 | 0.1256 | 1.4162 | 0.1779 |
| 475 | 64.4 | 410.6 | 27.5 | 205.00 | 0.1405 | 1.7939 | 0.2520 |
| 500 | 72.1 | 427.9 | 27.5 | 177.00 | 0.2000 | 2.8985 | 0.5797 |
| 525 | 77.3 | 447.7 | 27.6 | 167.59 | 0.3121 | 5.8713 | 1.8324 |
| 550 | 84.2 | 465.8 | 27.7 | 66.92 | 0.6000 | 8.8742 | 5.3245 |
| 575 | 83.0 | 492.0 | 27.8 | 76.40 | 0.9000 | 14.1764 | 12.7588 |
| 600 | 91.1 | 508.9 | 27.8 | 22.96 | 1.2000 | 18.0622 | 21.6746 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ช่วงอุณหภูมิลดลง | | | | | | | |
|------------------|-------|------------|----------|--------------|-----------|--------------|-----------|
| T_H | T_C | ΔT | T_{EV} | $r(k\Omega)$ | $V_o(mV)$ | $I_o(\mu A)$ | $P_o(nW)$ |
| 600 | 117.3 | 482.7 | 24.2 | 22.96 | 1.5 | 23.2160 | 34.82400 |
| 575 | 117.0 | 458.0 | 24.2 | 21.66 | 1.3 | 19.8224 | 25.76912 |
| 550 | 116.0 | 434.0 | 24.2 | 19.35 | 1.2 | 16.7465 | 20.09580 |
| 525 | 116.9 | 408.1 | 24.2 | 18.82 | 1.0 | 14.4467 | 14.44670 |
| 500 | 116.9 | 383.1 | 24.2 | 17.84 | 0.9 | 12.4523 | 11.20707 |
| 475 | 116.8 | 358.2 | 24.2 | 17.59 | 0.8 | 10.7527 | 8.60216 |
| 450 | 115.8 | 334.2 | 24.2 | 17.23 | 0.7 | 9.0561 | 6.33927 |
| 425 | 114.7 | 310.3 | 24.2 | 17.08 | 0.6 | 7.7973 | 4.67838 |
| 400 | 113.3 | 286.7 | 24.2 | 17.1 | 0.5 | 6.1081 | 3.05405 |
| 375 | 110.5 | 264.5 | 24.2 | 18.54 | 0.4 | 4.6150 | 1.84600 |
| 350 | 107.5 | 242.5 | 24.2 | 19.28 | 0.2 | 3.2833 | 0.65666 |
| 325 | 103.8 | 221.2 | 24.2 | 22.88 | 0.2 | 2.3129 | 0.46258 |
| 300 | 100.5 | 199.5 | 24.2 | 26.07 | 0.1 | 1.4578 | 0.14578 |
| 275 | 95.0 | 180.0 | 24.2 | 29.41 | 0.1 | 0.7992 | 0.07992 |
| 250 | 88.9 | 161.1 | 24.2 | 37.3 | 0.1 | 0.6049 | 0.06049 |
| 225 | 82.1 | 142.9 | 24.2 | 39.22 | 0.1 | 0.5959 | 0.05959 |
| 200 | 74.5 | 125.5 | 24.2 | 39.42 | 0.1 | 0.8036 | 0.08036 |
| 175 | 65.5 | 109.5 | 24.2 | 35.35 | 0.1 | 1.1900 | 0.11900 |
| 150 | 56.3 | 93.7 | 24.1 | 26.78 | 0.1 | 1.5009 | 0.15009 |
| 125 | 44.5 | 80.5 | 24.1 | 18.6 | 0.1 | 1.4497 | 0.14497 |
| 100 | 32.7 | 67.3 | 24.1 | 16.78 | 0.1 | 1.2980 | 0.12980 |
| 75 | 22.4 | 52.6 | 24.1 | 17.24 | 0.0 | 0.8630 | 0.00000 |
| 50 | 9.8 | 40.2 | 24.2 | 21.79 | 0.0 | 0.0287 | 0.00000 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Date : 14/5/59

Load ที่ใช้จริง 2.4 Ω

size : D=40 h= 10 mm

Load ที่วัดได้ 2.2 Ω

r ก่อนการทดลอง 62 Ω

| ช่วงอุณหภูมิเพิ่มขึ้น | | | | | | | |
|-----------------------|-------|------------|----------|-------------|-----------|-----------|--------------|
| T_H | T_C | ΔT | T_{EV} | $r(\Omega)$ | $V_o(mV)$ | $I_o(mA)$ | $P_o(\mu W)$ |
| 28 | 28.0 | 0.0 | 30.9 | 62.5 | 0 | 0.0002 | 0.0000 |
| 50 | 25.1 | 24.9 | 31.0 | 60.9 | 0 | 0.0051 | 0.0000 |
| 75 | 24.7 | 50.3 | 31.1 | 59.0 | 0 | 0.0204 | 0.0000 |
| 100 | 25.4 | 74.6 | 31.1 | 56.9 | 0 | 0.0282 | 0.0000 |
| 125 | 26.3 | 98.7 | 31.0 | 49.6 | 0.1 | 0.0467 | 0.0047 |
| 150 | 28.7 | 121.3 | 31.0 | 46.1 | 0.1 | 0.0656 | 0.0066 |
| 175 | 32.7 | 142.3 | 30.9 | 43.5 | 0.1 | 0.0871 | 0.0087 |
| 200 | 36.0 | 164.0 | 30.9 | 41.0 | 0.2 | 0.1104 | 0.0221 |
| 225 | 41.8 | 183.2 | 30.9 | 38.7 | 0.2 | 0.1368 | 0.0274 |
| 250 | 49.0 | 201.0 | 30.9 | 36.5 | 0.3 | 0.1624 | 0.0487 |
| 275 | 57.6 | 217.4 | 30.9 | 34.2 | 0.3 | 0.1854 | 0.0556 |
| 300 | 69.7 | 230.3 | 30.9 | 31.8 | 0.4 | 0.2038 | 0.0815 |
| 325 | 81.3 | 243.7 | 30.9 | 29.7 | 0.4 | 0.2159 | 0.0864 |
| 350 | 95.4 | 254.6 | 30.9 | 27.5 | 0.4 | 0.2205 | 0.0882 |
| 375 | 110.2 | 264.8 | 30.9 | 25.1 | 0.4 | 0.2165 | 0.0866 |
| 400 | 129.3 | 270.7 | 30.9 | 29.2 | 0.4 | 0.2024 | 0.0810 |
| 425 | 149.3 | 275.7 | 30.9 | 19.3 | 0.4 | 0.1806 | 0.0723 |
| 450 | 170.7 | 279.3 | 30.9 | 15.0 | 0.3 | 0.1508 | 0.0452 |
| 475 | 194.3 | 280.7 | 31.3 | 14.5 | 0.2 | 0.1199 | 0.0240 |
| 500 | 201.6 | 298.4 | 31.2 | 12.9 | 0.3 | 0.1080 | 0.0324 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่วงอุณหภูมิลดลง

| T_H | T_C | ΔT | T_{EV} | $r(\Omega)$ | $V_o(mV)$ | $I_o(mA)$ | $P_o(\mu W)$ |
|-------|-------|------------|----------|-------------|-----------|-----------|--------------|
| 500 | 201.6 | 298.4 | 31.2 | 12.9 | 0.3 | 0.1080 | 0.0324 |
| 475 | 206.4 | 268.6 | 31.1 | 13.9 | 0.2 | 0.1020 | 0.0204 |
| 450 | 209.5 | 240.5 | 31 | 15.2 | 0.2 | 0.0961 | 0.0192 |
| 425 | 210.6 | 214.4 | 30.9 | 19.0 | 0.2 | 0.0926 | 0.0185 |
| 400 | 208.6 | 191.4 | 30.9 | 21.3 | 0.2 | 0.0911 | 0.0182 |
| 375 | 207 | 168 | 30.9 | 25.5 | 0.2 | 0.0906 | 0.0181 |
| 350 | 202.7 | 147.3 | 30.9 | 28.6 | 0.2 | 0.0908 | 0.0182 |
| 325 | 196.4 | 128.6 | 30.9 | 31.8 | 0.2 | 0.0912 | 0.0182 |
| 300 | 189.2 | 110.8 | 30.9 | 43.1 | 0.2 | 0.0912 | 0.0182 |
| 275 | 180 | 95 | 30.9 | 46.0 | 0.1 | 0.0908 | 0.0091 |
| 250 | 169.1 | 80.9 | 30.8 | 48.7 | 0.1 | 0.0894 | 0.0089 |
| 225 | 156.5 | 68.5 | 30.8 | 50.3 | 0.1 | 0.0866 | 0.0087 |
| 200 | 143.1 | 56.9 | 30.9 | 52.0 | 0.1 | 0.0823 | 0.0082 |
| 175 | 128.3 | 46.7 | 30.8 | 52.0 | 0.1 | 0.0756 | 0.0076 |
| 150 | 111.5 | 38.5 | 30.5 | 56.6 | 0.1 | 0.0667 | 0.0067 |
| 125 | 93.6 | 31.4 | 30.7 | 58.1 | 0.1 | 0.0557 | 0.0056 |
| 100 | 73 | 27 | 30.8 | 60.5 | 0.1 | 0.0415 | 0.0041 |
| 75 | 55 | 20 | 30.6 | 62.6 | 0 | 0.0286 | 0.0000 |
| 50 | 34.4 | 15.6 | 30.5 | 65.4 | 0 | 0.0011 | 0.0000 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Date : 1/5/59

Load ที่ใช้จริง 15 Ω

size : D=40 h= 15 mm

Load ที่วัดได้ 15 Ω

r ก่อนการทดลอง 349 Ω

| ช่วงอุณหภูมิเพิ่มขึ้น | | | | | | | |
|-----------------------|-------|------------|----------|-------------|-----------|-----------|--------------|
| T_H | T_C | ΔT | T_{EV} | $r(\Omega)$ | $V_o(mV)$ | $I_o(mA)$ | $P_o(\mu W)$ |
| 26 | 26.0 | 0.0 | 29.2 | 257 | 0.0 | 0.0005 | 0.0000 |
| 50 | 24.3 | 25.7 | 29.2 | 251 | 0.0 | 0.0058 | 0.0000 |
| 75 | 25.7 | 49.3 | 29.2 | 225 | 0.2 | 0.0160 | 0.0032 |
| 100 | 28.9 | 71.1 | 29.2 | 177 | 0.5 | 0.0316 | 0.0158 |
| 125 | 34.8 | 90.2 | 29.2 | 139 | 0.8 | 0.0527 | 0.0422 |
| 150 | 43.2 | 106.8 | 29.1 | 99.59 | 1.1 | 0.0763 | 0.0840 |
| 175 | 53.6 | 121.4 | 29.1 | 82.79 | 1.4 | 0.0965 | 0.1351 |
| 200 | 67.3 | 132.7 | 29.1 | 67.47 | 1.6 | 0.1067 | 0.1708 |
| 225 | 88.4 | 136.6 | 29.1 | 55.52 | 1.6 | 0.1067 | 0.1707 |
| 250 | 109.5 | 140.5 | 29.1 | 47.28 | 1.4 | 0.0915 | 0.1281 |
| 275 | 123.3 | 151.7 | 29 | 40.87 | 1.2 | 0.0754 | 0.0905 |
| 300 | 140.0 | 160.0 | 28.9 | 35.6 | 1.1 | 0.0730 | 0.0803 |
| 325 | 135.8 | 189.2 | 30.3 | 30.51 | 1.1 | 0.0711 | 0.0782 |
| 350 | 154.4 | 195.6 | 30.3 | 24.8 | 0.6 | 0.0514 | 0.0308 |
| 375 | 172.5 | 202.5 | 30.3 | 20.1 | 0.1 | 0.0074 | 0.0007 |
| 400 | 195.1 | 204.9 | 30.4 | 14.42 | -0.3 | -0.0267 | 0.0080 |
| 425 | 202.9 | 222.1 | 30.4 | 8.58 | -0.5 | -0.0328 | 0.0164 |
| 450 | 207.5 | 242.5 | 30.4 | 4.32 | -0.8 | -0.0352 | 0.0281 |
| 475 | 208.4 | 266.6 | 30.5 | 1.11 | -1.2 | -0.0436 | 0.0523 |
| 500 | 215.8 | 284.2 | 30 | 4.23 | -1.5 | -0.0498 | 0.0746 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ช่วงอุณหภูมิลดลง | | | | | | | |
|------------------|-------|------------|----------|-------------|-----------|-----------|--------------|
| T_H | T_C | ΔT | T_{EV} | $r(\Omega)$ | $V_o(mV)$ | $I_o(mA)$ | $P_o(\mu W)$ |
| 500 | 215.8 | 284.2 | 30 | 4.2 | -1.5 | -0.0498 | 0.0746 |
| 475 | 216.5 | 258.5 | 30.1 | 5.9 | -1.7 | -0.0472 | 0.0802 |
| 450 | 217.1 | 232.9 | 30.1 | 5.1 | -2.1 | -0.0427 | 0.0897 |
| 425 | 217.8 | 207.2 | 30.2 | 3.9 | -2.2 | -0.0391 | 0.0861 |
| 400 | 215.8 | 184.2 | 30.4 | 2.4 | -2.5 | -0.0361 | 0.0903 |
| 375 | 214.8 | 160.2 | 30.4 | 0.9 | -2.9 | -0.0350 | 0.1016 |
| 350 | 214.1 | 135.9 | 30.4 | 1.0 | -0.3 | -0.0295 | 0.0088 |
| 325 | 212.7 | 112.3 | 30.4 | 2.8 | -0.2 | -0.0173 | 0.0035 |
| 300 | 205.5 | 94.5 | 30 | 4.6 | 0 | -0.0071 | 0.0000 |
| 275 | 179 | 96 | 29.1 | 6.4 | 0.9 | 0.0444 | 0.0400 |
| 250 | 180 | 70 | 29.1 | 8.4 | 0.7 | 0.0464 | 0.0325 |
| 225 | 177.9 | 47.1 | 29 | 10.3 | 0.7 | 0.0488 | 0.0342 |
| 200 | 167.1 | 32.9 | 28.9 | 12.0 | 0.7 | 0.0510 | 0.0357 |
| 175 | 152.8 | 22.2 | 28.9 | 14.6 | 0.7 | 0.0512 | 0.0359 |
| 150 | 132.2 | 17.8 | 28.8 | 18.4 | 0.7 | 0.0481 | 0.0336 |
| 125 | 115 | 10 | 28.6 | 25.0 | 0.6 | 0.0410 | 0.0246 |
| 100 | 92.6 | 7.4 | 28.6 | 36.7 | 0.4 | 0.0311 | 0.0124 |
| 75 | 67.6 | 7.4 | 28.5 | 61.0 | 0.3 | 0.0196 | 0.0059 |
| 50 | 36.6 | 13.4 | 28.5 | 127.9 | 0.1 | 0.0077 | 0.0008 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Date : 6/5/59

Load ที่ใช้จริง 190 Ω

size : D=40 h= 20 mm

Load ที่วัดได้ 190 Ω

r ก่อนการทดลอง 12.2 Ω

| ช่วงอุณหภูมิเพิ่มขึ้น | | | | | | | |
|-----------------------|-------|------------|----------|-------------|-----------|-----------|--------------|
| T_H | T_C | ΔT | T_{EV} | $r(\Omega)$ | $V_o(mV)$ | $I_o(mA)$ | $P_o(\mu W)$ |
| 29 | 29.0 | 0.0 | 31.7 | 11.640 | 0.0 | 0.0001 | 0.0000 |
| 50 | 27.6 | 22.4 | 31.6 | 12.616 | 0.0 | 0.0004 | 0.0000 |
| 75 | 27.1 | 47.9 | 31.5 | 14.261 | 0.1 | 0.0009 | 0.0001 |
| 100 | 27.3 | 72.7 | 31.5 | 16.330 | 0.3 | 0.0016 | 0.0005 |
| 125 | 27.9 | 97.1 | 31.4 | 19.559 | 0.4 | 0.0024 | 0.0010 |
| 150 | 30.2 | 119.8 | 31.5 | 21.955 | 0.6 | 0.0036 | 0.0011 |
| 175 | 31.2 | 143.8 | 31.4 | 25.029 | 0.9 | 0.0051 | 0.0046 |
| 200 | 33.4 | 166.6 | 31.5 | 28.416 | 1.4 | 0.0073 | 0.0102 |
| 225 | 34.5 | 190.5 | 31.4 | 31.949 | 2.0 | 0.0106 | 0.0213 |
| 250 | 39.1 | 210.9 | 31.5 | 35.168 | 3.0 | 0.0161 | 0.0484 |
| 275 | 43.0 | 232.0 | 31.5 | 39.009 | 4.7 | 0.0247 | 0.1159 |
| 300 | 48.2 | 251.8 | 31.5 | 42.265 | 7.0 | 0.0368 | 0.2579 |
| 325 | 54.2 | 270.8 | 31.5 | 45.859 | 10.2 | 0.0535 | 0.5458 |
| 350 | 65.0 | 285.0 | 31.5 | 49.060 | 13.5 | 0.0713 | 0.9625 |
| 375 | 63.2 | 311.8 | 31.5 | 51.771 | 15.9 | 0.0841 | 1.3377 |
| 400 | 68.8 | 331.2 | 31.5 | 54.008 | 19.8 | 0.1049 | 2.0765 |
| 425 | 87.2 | 337.8 | 31.6 | 55.279 | 24.2 | 0.1284 | 3.1080 |
| 450 | 105.8 | 344.2 | 31.7 | 56.789 | 33.5 | 0.1764 | 5.9081 |
| 475 | 127.5 | 347.5 | 31.7 | 57.245 | 31.2 | 0.1648 | 5.1409 |
| 500 | 131.7 | 368.3 | 31.7 | 58.994 | 29.6 | 0.1558 | 4.6109 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ช่วงอุณหภูมิลดลง | | | | | | | |
|------------------|-------|------------|----------|-------------|-----------|-----------|--------------|
| T_H | T_C | ΔT | T_{EV} | $r(\Omega)$ | $V_o(mV)$ | $I_o(mA)$ | $P_o(\mu W)$ |
| 500 | 131.7 | 368.3 | 31.7 | 58.994 | 29.6 | 0.1558 | 4.6109 |
| 475 | 156.2 | 318.8 | 31.7 | 56.9 | 28.6 | 0.1520 | 4.3458 |
| 450 | 158 | 292 | 31.7 | 49.55 | 27.7 | 0.1471 | 4.0751 |
| 425 | 159 | 266 | 31.6 | 46.086 | 24.2 | 0.1284 | 3.1080 |
| 400 | 146.1 | 253.9 | 31.9 | 43.513 | 24.4 | 0.1300 | 3.1725 |
| 375 | 135.6 | 239.4 | 31.8 | 41.017 | 23.7 | 0.1262 | 2.9908 |
| 350 | 120.6 | 229.4 | 31.8 | 38.688 | 22.4 | 0.1196 | 2.6786 |
| 325 | 110.7 | 214.3 | 31.8 | 36.508 | 20.9 | 0.1121 | 2.3419 |
| 300 | 95.3 | 204.7 | 31.6 | 34.188 | 19.2 | 0.1021 | 1.9605 |
| 275 | 85.1 | 189.9 | 31.5 | 31.823 | 18 | 0.0964 | 1.7346 |
| 250 | 76 | 174 | 31.5 | 29.748 | 16.4 | 0.0880 | 1.4424 |
| 225 | 72.4 | 152.6 | 31.3 | 27.454 | 14.6 | 0.0782 | 1.1418 |
| 200 | 68.6 | 131.4 | 31.2 | 25.149 | 12.4 | 0.0676 | 0.8383 |
| 175 | 64.7 | 110.3 | 31.2 | 29.165 | 10.3 | 0.0552 | 0.5685 |
| 150 | 60.2 | 89.8 | 31.1 | 19.283 | 8 | 0.0427 | 0.3418 |
| 125 | 48.2 | 76.8 | 31.1 | 14.976 | 5.6 | 0.0297 | 0.1666 |
| 100 | 43.7 | 56.3 | 30.9 | 14.506 | 3.4 | 0.0184 | 0.0625 |
| 75 | 37.7 | 37.3 | 30.8 | 12.948 | 2.1 | 0.0109 | 0.0228 |
| 50 | 32.1 | 17.9 | 30.7 | 12.702 | 0.7 | 0.0040 | 0.0028 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Date : 3/5/59

Load ที่ใช้จริง 15 Ω

size : D=40 h= 25 mm

Load ที่วัดได้ 15 Ω

r ก่อนการทดลอง 454 Ω

| ช่วงอุณหภูมิเพิ่มขึ้น | | | | | | | |
|-----------------------|-------|------------|----------|-------------|-----------|-----------|--------------|
| T_H | T_C | ΔT | T_{EV} | $r(\Omega)$ | $V_o(mV)$ | $I_o(mA)$ | $P_o(\mu W)$ |
| 27 | 27 | 0 | 30.8 | 468 | 0 | 0.0005 | 0.0000 |
| 50 | 26.4 | 23.6 | 30.8 | 456 | 0 | 0.0016 | 0.0000 |
| 75 | 26.2 | 48.8 | 30.8 | 421 | 0 | 0.0047 | 0.0000 |
| 100 | 26.6 | 73.4 | 30.7 | 356 | 0.1 | 0.0082 | 0.0008 |
| 125 | 28.9 | 96.1 | 30.7 | 296 | 0.2 | 0.0119 | 0.0024 |
| 150 | 29.4 | 120.6 | 30.8 | 236 | 0.3 | 0.0187 | 0.0056 |
| 175 | 29.4 | 145.6 | 30.8 | 189 | 0.4 | 0.0275 | 0.0110 |
| 200 | 29.8 | 170.2 | 30.8 | 149 | 0.6 | 0.0383 | 0.0230 |
| 225 | 30.7 | 194.3 | 30.8 | 132 | 0.8 | 0.0519 | 0.0416 |
| 250 | 31.5 | 218.5 | 30.8 | 111 | 1.1 | 0.0701 | 0.0772 |
| 275 | 31 | 244 | 30.7 | 95 | 1.5 | 0.0957 | 0.1436 |
| 300 | 32.4 | 267.6 | 30.8 | 81 | 1.9 | 0.1217 | 0.2312 |
| 325 | 35.2 | 289.8 | 30.7 | 71 | 2.3 | 0.1509 | 0.3471 |
| 350 | 36.8 | 313.2 | 30.7 | 62 | 2.7 | 0.1790 | 0.4833 |
| 375 | 38 | 337 | 30.7 | 52 | 3.1 | 0.2036 | 0.6313 |
| 400 | 38.9 | 361.1 | 30.7 | 44 | 3.3 | 0.2193 | 0.7238 |
| 425 | 39.5 | 385.5 | 30.6 | 37 | 3.4 | 0.2250 | 0.7652 |
| 450 | 45.6 | 404.4 | 30.6 | 30 | 3.2 | 0.2147 | 0.6870 |
| 475 | 48.2 | 426.8 | 30.6 | 21 | 2.8 | 0.1910 | 0.5348 |
| 500 | 53.7 | 446.3 | 30.7 | 12 | 2.1 | 0.1477 | 0.3101 |
| 515 | 56.4 | 458.6 | 30.7 | 8 | 1.6 | 0.1144 | 0.1831 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ช่วงอุณหภูมิลดลง | | | | | | | |
|------------------|-------|------------|----------|-------------|-----------|-----------|--------------|
| T_H | T_C | ΔT | T_{EV} | $r(\Omega)$ | $V_o(mV)$ | $I_o(mA)$ | $P_o(\mu W)$ |
| 500 | 62.4 | 437.6 | 30.6 | 12 | 1.3 | 0.0895 | 0.1164 |
| 475 | 58.3 | 416.7 | 30.7 | 6.134 | 1.1 | 0.0810 | 0.0891 |
| 450 | 62.2 | 387.8 | 30.8 | 7.125 | 1.1 | 0.0774 | 0.0851 |
| 425 | 61.5 | 363.5 | 30.8 | 8.885 | 1.1 | 0.0767 | 0.0844 |
| 400 | 61.6 | 338.4 | 30.8 | 11.313 | 1.1 | 0.0785 | 0.0863 |
| 375 | 60.9 | 314.1 | 30.8 | 14.414 | 1.1 | 0.0821 | 0.0903 |
| 350 | 59.8 | 290.2 | 30.7 | 17.755 | 1.2 | 0.0816 | 0.0980 |
| 325 | 61.8 | 263.2 | 30.8 | 21.317 | 1.3 | 0.0892 | 0.1160 |
| 300 | 61.7 | 238.3 | 30.8 | 25.646 | 1.4 | 0.0967 | 0.1353 |
| 275 | 65.3 | 209.7 | 30.9 | 31.022 | 1.4 | 0.1008 | 0.1412 |
| 250 | 105.8 | 144.2 | 30.8 | 37.196 | 1.5 | 0.1044 | 0.1566 |
| 225 | 104.7 | 120.3 | 30.8 | 36.911 | 1.5 | 0.1036 | 0.1555 |
| 200 | 102.9 | 97.1 | 30.8 | 36.378 | 1.5 | 0.1018 | 0.1528 |
| 175 | 96.2 | 78.8 | 30.7 | 44.795 | 1.4 | 0.0956 | 0.1338 |
| 150 | 86.2 | 63.8 | 30.8 | 59.723 | 1.2 | 0.0845 | 0.1014 |
| 125 | 74.6 | 50.4 | 30.8 | 88.504 | 1 | 0.0699 | 0.0699 |
| 100 | 64.1 | 35.9 | 30.8 | 144.48 | 0.7 | 0.0491 | 0.0344 |
| 75 | 46.8 | 28.2 | 30.6 | 300 | 0.4 | 0.0275 | 0.0110 |
| 50 | 30.6 | 19.4 | 30.8 | 763 | 0.1 | 0.0100 | 0.0010 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Date : 29/4/59

Load ที่ใช้จริง 10 Ω

size : D=40 h= 30 mm

Load ที่วัดได้ 9 Ω

r ก่อนการทดลอง 515 Ω

| ช่วงอุณหภูมิเพิ่มขึ้น | | | | | | | |
|-----------------------|-------|------------|----------|-------------|-----------|-----------|--------------|
| T_H | T_C | ΔT | T_{EV} | $r(\Omega)$ | $V_o(mV)$ | $I_o(mA)$ | $P_o(\mu W)$ |
| 27 | 27.0 | 0.0 | 30.1 | 480 | 0.0 | 0.0270 | 0.0000 |
| 50 | 21.1 | 28.9 | 30.2 | 474 | 0.0 | 0.0211 | 0.0000 |
| 75 | 19.1 | 55.9 | 30.2 | 442 | 0.1 | 0.0191 | 0.0019 |
| 100 | 19.0 | 81.0 | 30.2 | 385 | 0.3 | 0.0190 | 0.0057 |
| 125 | 20.9 | 104.1 | 30.2 | 325 | 0.4 | 0.0209 | 0.0084 |
| 150 | 23.7 | 126.3 | 30.2 | 626 | 0.7 | 0.0237 | 0.0166 |
| 175 | 26.5 | 148.5 | 30.1 | 208 | 0.9 | 0.0265 | 0.0239 |
| 200 | 29.9 | 170.1 | 30.1 | 161 | 1.2 | 0.0299 | 0.0359 |
| 225 | 34.9 | 190.1 | 30.1 | 125 | 1.5 | 0.0349 | 0.0524 |
| 250 | 40.2 | 209.8 | 30.1 | 105 | 2.0 | 0.0402 | 0.0804 |
| 275 | 47.1 | 227.9 | 30.1 | 89 | 2.3 | 0.0471 | 0.1083 |
| 300 | 55.2 | 244.8 | 30.1 | 84 | 2.6 | 0.0552 | 0.1435 |
| 325 | 67.7 | 257.3 | 30.1 | 76 | 2.7 | 0.0677 | 0.1828 |
| 350 | 81.1 | 268.9 | 30.2 | 69 | 2.7 | 0.0811 | 0.2190 |
| 375 | 100.0 | 275.0 | 30.2 | 64 | 2.4 | 0.1000 | 0.2400 |
| 400 | 122.0 | 278.0 | 30.2 | 59 | 1.9 | 0.1220 | 0.2318 |
| 425 | 136.9 | 288.1 | 30.2 | 54 | 1.7 | 0.1369 | 0.2327 |
| 450 | 139.9 | 310.1 | 30.2 | 49 | 1.6 | 0.1399 | 0.2238 |
| 475 | 146.4 | 328.6 | 30.3 | 21 | 1.5 | 0.1464 | 0.2196 |
| 500 | 164.7 | 335.3 | 30.3 | 38 | 1.1 | 0.1647 | 0.1812 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

| ช่วงอุณหภูมิลดลง | | | | | | | |
|------------------|-------|------------|----------|-------------|-----------|-----------|--------------|
| T_H | T_C | ΔT | T_{EV} | $r(\Omega)$ | $V_o(mV)$ | $I_o(mA)$ | $P_o(\mu W)$ |
| 500 | 164.7 | 335.3 | 30.3 | 27 | 1.1 | 0.1121 | 0.1233 |
| 475 | 170 | 305.0 | 30.2 | 25 | 1 | 0.1026 | 0.1026 |
| 450 | 172.4 | 277.6 | 30.3 | 24 | 1 | 0.0995 | 0.0995 |
| 425 | 174.8 | 250.2 | 30.3 | 23 | 1 | 0.0987 | 0.0987 |
| 400 | 177.4 | 222.6 | 30.3 | 22 | 1 | 0.0993 | 0.0993 |
| 375 | 178.6 | 196.4 | 30.3 | 22 | 1 | 0.1022 | 0.1022 |
| 350 | 178.9 | 171.1 | 30.3 | 22 | 1 | 0.1068 | 0.1068 |
| 325 | 177.8 | 147.2 | 30.3 | 22 | 1.1 | 0.1138 | 0.1251 |
| 300 | 175.6 | 124.4 | 30.3 | 22 | 1.2 | 0.1176 | 0.1411 |
| 275 | 171.4 | 103.6 | 30.3 | 23 | 1.2 | 0.1225 | 0.1470 |
| 250 | 165.1 | 84.9 | 30.3 | 24 | 1.2 | 0.1263 | 0.1516 |
| 225 | 157 | 68.0 | 30.4 | 25 | 1.3 | 0.1278 | 0.1661 |
| 200 | 146.4 | 53.6 | 30.5 | 26 | 1.2 | 0.1260 | 0.1512 |
| 175 | 133.3 | 41.7 | 30.5 | 29 | 1.2 | 0.1202 | 0.1443 |
| 150 | 117.6 | 32.4 | 30.5 | 33 | 1 | 0.1081 | 0.1081 |
| 125 | 101.7 | 23.3 | 30.4 | 41 | 0.8 | 0.0892 | 0.0714 |
| 100 | 81.7 | 18.3 | 30.4 | 59 | 0.6 | 0.0646 | 0.0388 |
| 75 | 52 | 23.0 | 30.3 | 101 | 0.3 | 0.0312 | 0.0094 |
| 50 | 33.4 | 16.6 | 30.2 | 243 | 0 | 0.0016 | 0.0000 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ข

ความหนาแน่นของชั้น CuFeO_2

การหาความหนาแน่นของแท่งโมดูลแต่ละชั้นสามารถคำนวณได้จาก $D = \frac{m}{v}$ ซึ่งมวลได้จากมาจากเครื่องชั่งละเอียด

| มวลของชั้น CuFeO_2 : m (กิโลกรัม) | | | |
|--|--------------------------------|-------|-------|
| ความสูง : h (เมตร) | เส้นผ่านศูนย์กลาง : d (เมตร) | | |
| | 0.1 | 0.2 | 0.4 |
| 0.1 | 0.005 | 0.012 | 0.035 |
| 0.15 | 0.008 | 0.018 | 0.050 |
| 0.2 | 0.010 | 0.022 | 0.090 |
| 0.25 | 0.013 | 0.028 | 0.120 |
| 0.3 | 0.015 | 0.035 | 0.135 |

ปริมาตรได้จากการคำนวณของการหาพื้นที่รูปทรงกระบอกเท่ากับ $\pi \frac{d^2}{2} \times h$

| ปริมาตรของชั้น CuFeO_2 : v (ลูกบาศก์เมตร) | | | |
|--|--------------------------------|----------|----------|
| ความสูง : h (เมตร) | เส้นผ่านศูนย์กลาง : d (เมตร) | | |
| | 0.1 | 0.2 | 0.4 |
| 0.1 | 0.000785 | 0.000025 | 0.000003 |
| 0.15 | 0.001178 | 0.000037 | 0.000005 |
| 0.2 | 0.001570 | 0.000049 | 0.000006 |
| 0.25 | 0.001963 | 0.000062 | 0.000008 |
| 0.3 | 0.002355 | 0.000074 | 0.000009 |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นเมื่อรู้ค่ามวลและค่าปริมาตรก็สามารถหาค่าความหนาแน่นได้จาก $D = \frac{m}{v}$

| ความหนาแน่น : D (kg/m^3) | | | |
|--------------------------------|--------------------------------|----------|-----------|
| ความสูง : h (เมตร) | เส้นผ่านศูนย์กลาง : d (เมตร) | | |
| | 0.1 | 0.2 | 0.4 |
| 0.1 | 6.3694 | 486.8352 | 11305.222 |
| 0.15 | 6.3694 | 486.8352 | 10766.878 |
| 0.2 | 6.3694 | 446.2656 | 14535.286 |
| 0.25 | 6.3694 | 454.3795 | 15504.305 |
| 0.3 | 6.3694 | 473.3120 | 14535.286 |



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้