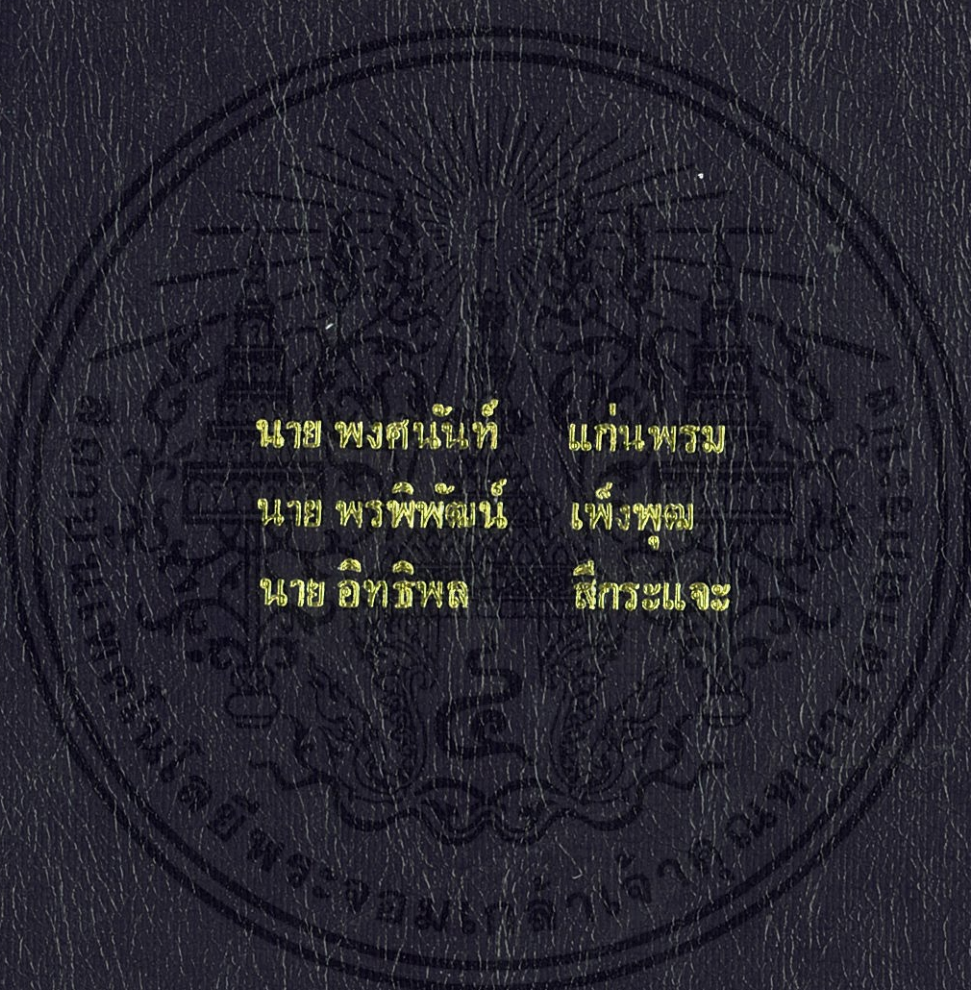


การสร้างต้นแบบระบบวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคในห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษา
วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกส์

CONSTRUCTION OF PROTOTYPE SEEBECK COEFFICIENT
MEASURING SYSTEM IN LABORATORY FOR STUDYING THE
THERMOELECTRIC MATERIAL



นาย พงศนันท์ แก่นพรม
นาย พรพิพัฒน์ เพ็งพยอม
นาย อธิวิพล สีกระแจจะ

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาค้นคว้าระดับผู้ครุวิชาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์
คณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา ๒๕๕๘

การสร้างต้นแบบระบบวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคในห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษา
วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกส์

CONSTRUCTION OF PROTOTYPE SEEBECK COEFFICIENT
MEASURING SYSTEM IN LABORATORY FOR STUDYING THE
THERMOELECTRIC MATERIAL



โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานภายในคณะวิทยาศาสตร์ ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังเป็นการคุ้มครองและรักษาชื่อเสียงของมหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2556

**CONSTRUCTION OF PROTOTYPE SEEBECK COEFFICIENT
MEASURING SYSTEM IN LABORATORY FOR STUDYING THE
THERMOELECTRIC MATERIAL**



Mr. PONGSANUN KANPROM

Mr. PRONPIPAT PENGPOOT

Mr. ITTHIPON SRIKRAJUE

**A SPECIAL PROJECT SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIRMENT FOR THE DEGREE OF BACHELOR OR SCIENCE
IN PHYSICS**

FACULTY OF SCIENCE

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับกรณที่ประสงค์จะขอใช้เอกสารนี้ในกรณีที่ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆก็ตาม

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2013

หัวข้อโครงการพิเศษ การสร้างต้นแบบระบบวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคในห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกส์

CONSTRUCTION OF PROTOTYPE SEEBECK COEFFICIENT MEASURING SYSTEM IN LABORATORY FOR STUDYING THE THERMOELECTRIC MATERIAL

ชื่อนักศึกษา

นาย พงศนันท์ แก่นพรม

นาย พรพิพัฒน์ เฟื่องพุด

นาย อธิธิพล ลีกระจะ

ปริญญา

วิทยาศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชา

ฟิสิกส์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร.อาภาภรณ์ สกฤตการะเวก

อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

ดร.ราชศักดิ์ ศักดานุภาพ

คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง อนุมัติให้โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ ประยุกต์ ประจำปีการศึกษา 2556

คณะกรรมการสอบ	ลายมือชื่อ
รศ. สาหรัย เล็กชะอุ่ม	
อ. กางปัญญา สุวรรณสุโข	
ดร.ณัฐพร พรหมรส	
ดร.อาภาภรณ์ สกฤตการะเวก	
ดร.ราชศักดิ์ ศักดานุภาพ	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลิขสิทธิ์ของคณะวิทยาศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

หัวข้อโครงการพิเศษ	การสร้างต้นแบบระบบวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคในห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกส์	
ชื่อนักศึกษา	นาย พงศนันท์ แก่นพรม	
	นาย พรพิพัฒน์ เฟื่องฟูฒ	
	นาย อธิธิพล สีกระแจะ	
ปริญญา	วิทยาศาสตรบัณฑิต	
สาขาวิชา	ฟิสิกส์	
ปีการศึกษา	2556	
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร.อาภาภรณ์	สกุลการะเวก
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.ราชศักดิ์	ศักดิ์คานูภาพ

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ ศึกษาและออกแบบระบบวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคอย่างง่าย เพื่อนำไปใช้ในการวัดสมบัติของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกส์ในห้องปฏิบัติการ ระบบดังกล่าวประกอบด้วย ส่วนให้ความร้อนและส่วนระบายความร้อนที่ทำจากแผ่นทองแดง โดยข้อมูลอุณหภูมิและความต่างศักย์จะถูกบันทึกโดย NI cDAQ-9174 และ Digital Multimeter (DMM) ตามลำดับ ผลจากการวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของวัสดุมาตรฐาน BiTe_2 ชนิดเอ็นและชนิดพีมีค่าเท่ากับ $-145.52 \mu\text{V/K}$ และ $135.23 \mu\text{V/K}$ ตามลำดับ เมื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคจากเครื่องมือวัดมาตรฐาน (ZEM3) พบว่ามีความคลาดเคลื่อนสำหรับวัสดุมาตรฐาน BiTe_2 ชนิดเอ็น 0.65% และชนิดพี 10.62% จากผลทดลองสามารถสรุปได้ว่า ระบบวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคที่สร้างขึ้น สามารถนำไปใช้ในการทดสอบระดับห้องปฏิบัติการได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสำคัญ : ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค, วัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกส์, BiTe_2

Title CONSTRUCTION OF PROTOTYPE SEEBECK COEFFICIENT
MEASURING SYSTEM IN LABORATORY FOR STUDYING THE
THERMOELECTRIC MATERIAL

Students Mr. Pongsanun Kanprom
Mr. Pronpipat Pengpoot
Mr. Itthipon Srikrajue

Degree Bachelor of Science

Major Program Physics

Academic Year 2012

Advisor Dr. Apaporn Sakulkalavek

Co-Advisor Dr. Rachasak Sakdanupan

ABSTRACT

This special project studied and designed a simple Seebeck coefficient measurement to use in the laboratory. The system consists of Heater and Cooling, which are made of copper. Temperature and Voltage are saved by NI cDAQ-9174 and Digital Multimeter (DMM) respectively, The result of Seebeck coefficients measured of the n-type and p-type BiTe₂ are -145.52 $\mu\text{V}/\text{K}$ and 135.23 $\mu\text{V}/\text{K}$. respectively, When compared with Standard (ZEM3), It showed a difference of BiTe₂ to 0.65 % for n-type and p-type 10.62 %

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Keywords: Seebeck Coefficient ,Thermoelectric material , BiTe₂

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือจาก ดร.อาภาภรณ์ สกฤตการะเวก อาจารย์ที่ปรึกษา ที่กรุณาให้ความรู้ คำปรึกษา คำแนะนำ และตรวจแก้ข้อบกพร่องต่างๆ ตลอดระยะเวลาในการทำวิจัย

ขอขอบคุณคณาจารย์สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ตลอดระยะเวลาการศึกษา จนผู้วิจัยสามารถนำความรู้มาใช้ในการดำเนินงานวิจัยจนสำเร็จ

ขอขอบคุณเพื่อนๆ นักศึกษาปริญญาตรี สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังทุกท่าน ที่ให้คำปรึกษา ช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจในการทำวิจัยนี้

สุดท้ายนี้ ขอน้อมรำลึกถึงพระคุณของบิดา มารดา และทุกคนในครอบครัวที่ให้กำลังใจ และสนับสนุนในการศึกษา จนสามารถทำวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ดี

นาย พงศนันท์ แก่นพรม

นาย พรพิพัฒน์ เฟื่องพูน

นาย อธิธิพล สีกระแจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	V
สารบัญรูป	VI
คำย่อและสัญลักษณ์	VII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีดำเนินงาน	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ปრაกฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริกส์	4
2.1.1 ปრაกฏการณ์ซีเบค	4
2.2 เทอร์โมคัปเปิล	5
2.2.1 คุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน	6
2.2.2 การใช้งานเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐาน	7
2.3 โปรแกรม LABVIEW	9
2.3.1 โปรแกรม LABVIEW มีองค์ประกอบสำคัญ 3 ส่วน	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งยังมีลิขสิทธิ์สงวนเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ(ต่อ)

2.3.2 Hardware	9
2.4 เครื่อง DMM	10
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	
3.1 ระบบควบคุมอุณหภูมิความร้อน	14
3.1.1 ส่วนให้ความร้อน	14
3.1.2 ส่วนจ่ายกระแสไฟ	14
3.1.3 ส่วนประกอบของ Heater Controller ที่สำคัญ	15
3.2 ระบบระบายความร้อน	16
3.2.1 ส่วนระบายความร้อน	16
3.3 ระบบวัดอุณหภูมิ	17
3.4 ระบบวัดความต่างศักย์	18
3.5 ระบบของเครื่องวัด	19
3.6 วิธีการทดลอง	20
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผล	
4.1 การเขียน โปรแกรม	22
4.2 การศึกษาระบบทำความร้อน (Heater) และระบายความร้อน (Heat pipe)	25
4.3 การวัดสัมประสิทธิ์ซีเบคของทองแดง (Cu) และบิตม์สเทลลูไรด์ (BiTe ₂)	26
4.3.1 ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของทองแดง (Cu)	26
4.3.2 ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของบิตม์สเทลลูไรด์ (BiTe ₂)	27
บทที่ 5 สรุปผลวิจัยข้อเสนอแนะ	

เอกสารอ้างอิง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ หากผู้ใดคัดลอกหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่

หน้า

1 แนวทางการดำเนินงาน

3



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 Thomas JohamSeebeckUndated engraving, Deutsches Museum, Munich	3
2.2 ความต่างศักย์ซีเบคและการไหลของกระแสไฟฟ้า	3
2.3 เทอร์โมคัปเปิล	5
2.4 โครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิล	6
2.5 หน้าต่างโปรแกรม Lab VIEW	10
2.6 เครื่อง DMM 2001 $6\frac{1}{2}$ Digit USB Digital Multimeter	10
2.7 โหมดการทำงานของโปรแกรม	12
3.1 Heater	14
3.2 Heater Controller	15
3.3 Temperature controller	15
3.4 ภาพส่วนประกอบภายใน Power supply	16
3.5 Heat pipe	17
3.6 NI cDAQ-9174 ที่ทำการต่อ NI 9211	17
3.7 ช่องต่อขั้วเทอร์โมคัปเปิล	18
3.8 Digital Multimeter	18
3.9 ระบบของเครื่องวัดอุณหภูมิและความต่างศักย์	19
3.10 โครงงานวิจัยที่จัดทำขึ้น	19
3.11 การติดตั้งระบบต่างๆ	20
4.1 Front Panel ของโปรแกรม LABVIEW	22
4.2 แสดงหน้าการแสดงผลของโปรแกรม LABVIEW ทั้ง 6 ส่วน	23
4.3 ตารางแสดงค่าทั้งหมดที่วัดได้ในโปรแกรม Excel	24
4.4 รังสีความร้อนบนแผ่นทองแดง	25

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิด้านเย็น (T_c) กับเวลา (t) เมื่อกำหนด(T_H) เป็น 50°C , 75°C และ 100°C	26
4.6 สัมประสิทธิ์ซีเบคของทองแดง	26
4.7 สัมประสิทธิ์ซีเบคของบิตม์สเทลลูไรด์ชนิดพี	27
4.8 สัมประสิทธิ์ซีเบคของบิตม์สเทลลูไรด์ชนิดเอ็น	28



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สิ่งที่ท้าทายมนุษย์ในยุคปัจจุบันคือการมีวิถีชีวิตอยู่กับสิ่งแวดล้อมที่ดีปราศจากมลภาวะที่เป็นพิษและมีพลังงานใช้ในการดำรงชีวิตอย่างยั่งยืน ในอดีตที่ผ่านมาได้มีการนำเอาทรัพยากรธรรมชาติที่เป็นฟอสซิลมาผลิตเป็นน้ำมันเชื้อเพลิง และนำเอาถ่านหินมาใช้เป็นพลังงานในการดำรงชีวิตอย่างต่อเนื่องมาเป็นเวลานานจนถึงปัจจุบัน แต่ในอนาคตอันใกล้นี้ แหล่งทรัพยากรส่วนนี้กำลังจะหมดสิ้นลงจึงได้มีการแสวงหาแหล่งพลังงานใหม่ที่เรียกว่าแหล่งพลังงานทางเลือก (Alternative Energy Source) ได้แก่ พลังงานจากแสงอาทิตย์ พลังงานจากลมพลังงานน้ำ พลังงานความร้อนใต้พิภพและพลังงานนิวเคลียร์ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม พลังงานทางเลือกเหล่านี้ ในปัจจุบันยังคงมีประสิทธิภาพต่ำและยังคงพัฒนาวิธีการทำให้พลังงานส่วนนี้มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น ในส่วนของการใช้พลังงานต่างๆในชีวิตประจำวันนั้น ส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับพลังงานความร้อน อย่างเช่น ในเครื่องยนตรถยนต์ โรงงานอุตสาหกรรมที่มีการใช้พลังงานความร้อนไปส่วนหนึ่ง พลังงานความร้อนส่วนที่เหลือหรือพลังงานความร้อนสูญเปล่า จะถูกปล่อยออกไปยังสิ่งแวดล้อม ซึ่งมักจะเป็นมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อม แต่พลังงานความร้อนที่สูญเปล่านี้สามารถนำเอากลับมาใช้ใหม่ได้ ด้วยการแปลงผันพลังงานความร้อนมาเป็นพลังงานไฟฟ้า ด้วยวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกส์ การแปลงผัน พลังงานความร้อนมาเป็นพลังงานไฟฟ้าจะให้ประสิทธิภาพสูงๆนั้นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกส์ จะต้องมีค่า ZT(Dimensionless figure of merits) มีค่าสูง โดยพิจารณาจากความสัมพันธ์พื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับพารามิเตอร์พื้นฐานหลักของวัสดุ คือ

$$ZT = \frac{S^2 \sigma T}{K}$$

เมื่อ S คือ สัมประสิทธิ์ซีเบค (V/K)

σ คือ สภาพนำไฟฟ้า (S/m)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดก็ตาม กรุณาติดต่อขอสงวนสิทธิ์และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

K คือ สภาพนำความร้อน (W/m·K)

T คือ อุณหภูมิสัมบูรณ์ (K)

จากสมการจะเห็นได้ว่าค่า S คือตัวแปรสำคัญโดยที่ S ขึ้นกับอุณหภูมิโดยทั่วไปจะวัด S โดยใช้เครื่องมือ ZEM-3 เป็นเครื่องวัดแต่เนื่องจากเครื่องมีราคาแพง ในงานวิจัยด้านเทอร์โมอิเล็กทริกส์ จำเป็นต้องมีการวัดคุณสมบัติของวัสดุที่สังเคราะห์ขึ้นมาในงานวิจัยนี้ ได้มีแนวคิดที่จะออกแบบและสร้างเครื่องวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคซึ่งสามารถวัดค่าได้ตั้งที่อุณหภูมิห้องเนื่องจากปริมาณดังกล่าวเป็นปริมาณพื้นฐานที่จะบ่งบอกถึงประสิทธิภาพของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกส์ โดยเครื่องมือวัดที่มีในปัจจุบันคือเครื่อง ZEM-3 ซึ่งสามารถวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคได้ตั้งแต่อุณหภูมิห้องถึง 800 °C เครื่อง ZEM-3 ตั้งอยู่ที่สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์แห่งชาติ มีค่าบริการชิ้นงานละ 1500 บาท แต่อย่างไรก็ตามเพื่อความสะดวก รวดเร็ว และประหยัดค่าใช้จ่าย ผู้วิจัยเห็นว่าควรมีเครื่องมือเพื่อวัดคุณสมบัติพื้นฐานก่อนที่จะตัดสินใจส่งชิ้นงานที่สังเคราะห์ได้ไปวัดด้วยเครื่อง ZEM-3

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาการคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค
- 1.2.2 เพื่อศึกษาคุณสมบัติของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกส์
- 1.2.3 ออกแบบระบบวัดค่าอุณหภูมิและแรงดันไฟฟ้า
- 1.2.4 ออกแบบระบบควบคุมเครื่องวัดสมบัติเทอร์โมอิเล็กทริกส์ของชิ้นงาน
- 1.2.5 นำโปรแกรม Labview มาประยุกต์ควบคุมระบบของเครื่องวัด

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

ศึกษาและออกแบบระบบเครื่องวัดสัมประสิทธิ์ซีเบคของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกส์

1.4 ขั้นตอนของการวิจัยและวิธีดำเนินงาน

โครงการมีระยะเวลาจัดทำ รวมทั้งสิ้น 12 เดือน โดยเริ่มตั้งแต่เดือนมีนาคม 2556 ถึง เดือนเอกสารนี้เป็นภาพพิมพ์ 2557 ซึ่งมีการดำเนินการดังนี้ จากแนวทางการดำเนินงานข้างต้น สามารถแสดงด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ระยะเวลาดำเนินงานได้ตามตารางที่ 1 และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 แนวทางการดำเนินงาน

แผนการดำเนินงาน	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.
1.ศึกษาและรวบรวมข้อมูล												
2.ออกแบบระบบ												
3.ประกอบชิ้นงานให้เป็นระบบ												
4.ทดสอบประสิทธิภาพ												
5.สรุปผล												

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 ทำให้ทราบถึงค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกส์
- 1.5.2 เข้าใจถึงคุณสมบัติของของสารที่นำมาเป็นวัสดุในการทำเทอร์โมอิเล็กทริกส์
- 1.5.3 สามารถวัดและบันทึกค่าอุณหภูมิและแรงดันไฟฟ้าของชิ้นงานได้
- 1.5.4 นำโปรแกรม LABVIEW มาประยุกต์ใช้ในการควบคุมการวัด
- 1.5.5 สามารถนำระบบวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคไปใช้ในการทดสอบวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกส์ในระดับห้องปฏิบัติการได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ปραกฏการณ์เทอร์โมอิเล็กทริกส์

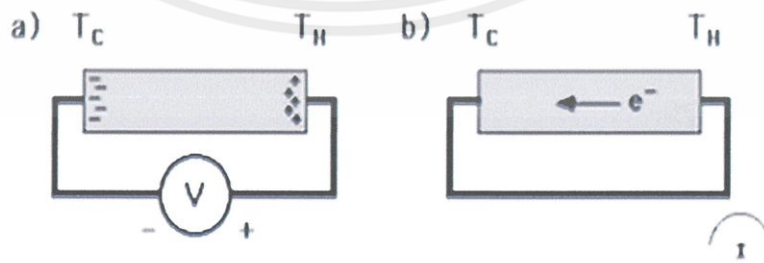
ปรากฏการณ์การผันไฟฟ้าจากความร้อน คือ ปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck effect) ปรากฏการณ์เพลทีเยอร์ (Peltier effect) และปรากฏการณ์ทอมสัน (Thomson effect) ทั้งสามปรากฏการณ์นี้ มีรากฐานอยู่ที่การผันความร้อนไปเป็นพลังงานไฟฟ้า หรืออาจผันไฟฟ้าไปเป็นความร้อน

2.1.1 ปรากฏการณ์ซีเบค (Seebeck effect)

ในปี 1821 โทมัสโจแฮนน์ ซีเบค (Thomas Johann Seebeck) นักฟิสิกส์ชาวเยอรมันกล่าวว่า “เมื่อให้ความร้อนที่รอยต่อของตัวนำสองชนิดจะเกิดกระแสไฟฟ้าไหลในวงจรปิด”



รูปที่ 2.1 Thomas Johann Seebeck Undated engraving, Deutsches Museum, Munich



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.2 ความต่างศักย์ซีเบคและการไหลของกระแสไฟฟ้า

ปรากฏการณ์ซีเบคเป็นปรากฏการณ์ที่มีรากฐานคือการผันความร้อนเป็นไฟฟ้ามีความสำคัญทางกายภาพของมันสามารถเห็นได้โดยการพิจารณาปรากฏการณ์ของการบังคับเกรเดียนต์ของอุณหภูมิสม่ำเสมอให้ไหลไปตามตัวนำจำกัด ซึ่งในตอนเริ่มแรกตัวนำจะควบคุมการกระจายอย่างสม่ำเสมอของตัวพาหะประจุ แต่ภายใต้เกรเดียนต์อุณหภูมิหนึ่งพาหะอิสระต่าง ๆ ที่ปลายด้านร้อน (Hot end) จะมีพลังงานจลน์มากกว่าที่ปลายด้านเย็น (Cold end) และมีแนวโน้มที่จะแพร่ไปปลายด้านเย็น การเกิดขึ้นของประจุทำให้เกิดแรงเคลื่อนไฟฟ้ากลับ (Back electromotive force หรือ back e.m.f) ซึ่งตรงกันข้ามกับการไหลของประจุ ความต่างศักย์วงจรเปิดเมื่อไม่มีกระแสไหลที่เกิดขึ้นเรียกว่าความต่างศักย์ซีเบค (Seebeck voltage) สำหรับสมการของ Seebeck effect ถ้าเขียนในรูปของความต่างศักย์และค่าความแตกต่างระหว่างอุณหภูมิ จะได้ว่า

$$E = \alpha \Delta T$$

โดย

V = ความต่างศักย์ไฟฟ้า, V

E^r = เวกเตอร์สนามไฟฟ้า, V/m

α = สัมประสิทธิ์ซีเบค, V/K

T = อุณหภูมิ, K

วัสดุที่มีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค (Seebeck coefficient) ไม่เท่ากับศูนย์จะเป็นวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกส์และจะมีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคเป็นได้ทั้งบวกและลบ ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุนั้นๆ เช่นในกรณีของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น (N-type) จะมีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคเป็นลบ ส่วนชนิดพี (P-type) จะมีค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคเป็นบวก

2.2 เทอร์โมคัปเปิล (Thermocouple)



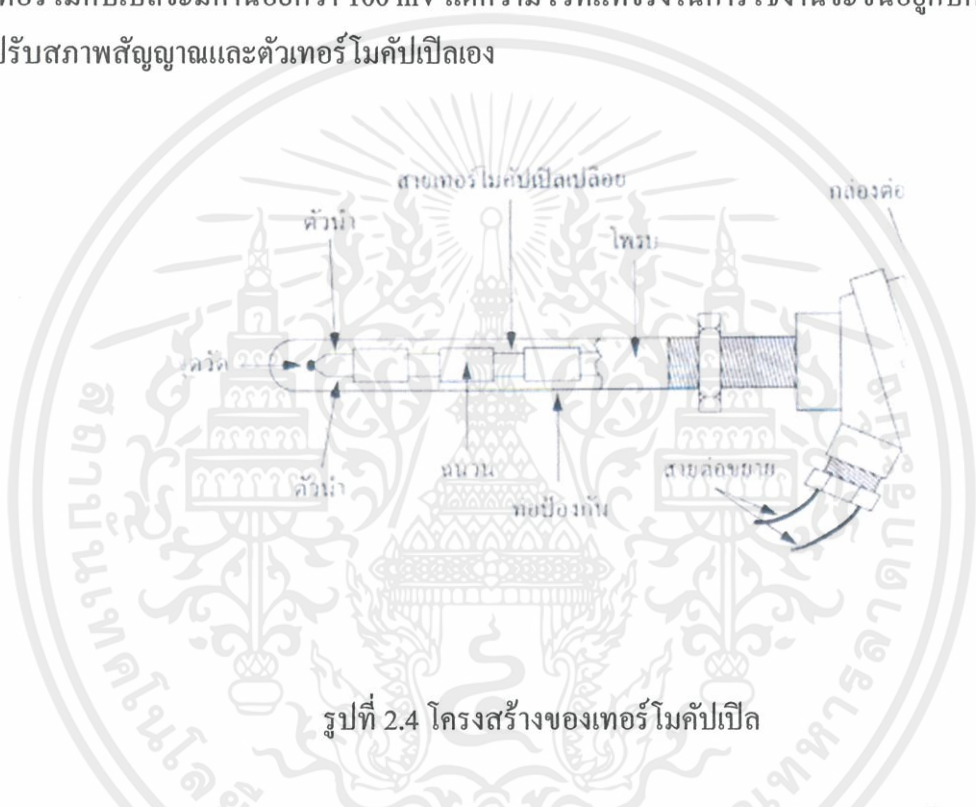
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้า ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.3 เทอร์โมคัปเปิล

เทอร์โมคัปเปิล คืออุปกรณ์วัดอุณหภูมิโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิหรือความร้อนเป็นแรงเคลื่อนไฟฟ้า (emf) เทอร์โมคัปเปิลทำมาจากโลหะตัวนำที่ต่างชนิดกัน 2 ตัว (แตกต่างกันทางโครงสร้างของอะตอม) นำมาเชื่อมต่อปลายทั้งสองเข้าด้วยกันที่ปลายด้านหนึ่ง เรียกว่าจุดวัดอุณหภูมิ ส่วนปลายอีกด้านหนึ่งปล่อยให้เปิดไว้ เรียกว่าจุดอ้างอิง หากจุดวัดอุณหภูมิและจุดอ้างอิงมีอุณหภูมิต่างกันก็จะทำให้มีการนำกระแสในวงจรเทอร์โมคัปเปิลทั้งสองข้าง

2.2.1 คุณสมบัติของเทอร์โมคัปเปิลแบบมาตรฐาน (Characteristic of Standard Thermocouples)

1. ความไว (Sensitivity) จากตารางแรงเคลื่อนของ NBS แสดงว่าย่านของแรงเคลื่อนจากเทอร์โมคัปเปิลจะมีค่าน้อยกว่า 100 mV แต่ความไวที่แท้จริงในการใช้งานจะขึ้นอยู่กับการใช้งาน ปรับสภาพสัญญาณและตัวเทอร์โมคัปเปิลเอง



รูปที่ 2.4 โครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิล

2. โครงสร้าง(Construction) โครงสร้างของเทอร์โมคัปเปิลมีลักษณะดังรูปที่ 4 โดยต้องมีลักษณะดังนี้คือ: มีความต้านทานต่ำ ให้สัมประสิทธิ์อุณหภูมิสูง ต้านทานต่อการเกิดออกไซด์ที่อุณหภูมิสูงๆ ทนต่อสภาวะแวดล้อมที่นำไปใช้วัดค่า และเป็นเชิงเส้นสูงที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ตัวฝักหรือท่อป้องกันส่วนมากจะทำจากสแตนเลส ความไวของเทอร์โมคัปเปิลขึ้นอยู่กับความหนาของท่อป้องกันทั้งเยอรมันเนียมและซิลิคอนจะทำให้คุณสมบัติการเกิดเทอร์โมอิเล็กทริกส์จึงใช้กันมากในอุปกรณ์ทำความเย็น (peltier element) มากกว่าที่จะใช้เป็นเทอร์โมคัปเปิลวัดอุณหภูมิ

ขนาดของสายเทอร์โมคัปเปิลกำหนดได้จากการใช้งานแต่ละอย่าง และมีขนาดจาก #10 ในเอกสารนี้เป็นสภาวะแวดล้อมที่ไม่คงที่ จนถึงขนาด # 30 หรือแม้กระทั่ง 0.02 mm ซึ่งเป็นสายแบบไมโครไวร์ (microwire) ที่ใช้กับการวัดอุณหภูมิการกลั่นในงานทางชีววิทยา เอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ย่านการใช้งาน (Range) ย่านอุณหภูมิการใช้งานและความไวในการวัดของเทอร์โมคัปเปิล แต่ละตัว จะแตกต่างกันตามแต่ละสมาคมจะกำหนด ในส่วนที่สำคัญคือค่าแรงเคลื่อนที่ออกมาจากแต่ละอุณหภูมิ จะต้องอ้างอิงกับตารางค่ามาตรฐานของแต่ละสมาคมที่ใช้ให้ถูกต้องเป็นเอกภาพเดียวกันหมดทั้งระบบ

4. เวลาตอบสนอง (Time Response) เวลาตอบสนองของเทอร์โมคัปเปิลขึ้นอยู่กับขนาดของสายและวัสดุที่นำมาทำท่อป้องกันตัวเทอร์โมคัปเปิล

5. การปรับสภาพสัญญาณ (Signal Conditioning) ปกติแรงเคลื่อนของเทอร์โมคัปเปิลจะมีขนาดเล็กน้อยมากจึงจำเป็นต้องมีการขยายสัญญาณ โดยใช้ออฟแอมป์ขยายความแตกต่างที่มีอัตราขยายสูงๆ

2.2.2 การใช้งานเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐาน (Characteristic in Application of Thermocouple Standard Type)

ในปัจจุบัน พบว่ามีเทอร์โมคัปเปิลมาตรฐานอยู่หลาย ชนิดตามมาตรฐานของ ANSI และ ASTM โดยการจำแนกตามประเภทแต่ในงานวิจัยนี้ได้ใช้เทอร์โมคัปเปิลแบบ K

เทอร์โมคัปเปิลแบบ K มาตรฐานหนึ่งที่เป็นฐานสำหรับการสร้างคือ นิกเกิล เทอร์โมคัปเปิลชนิดนี้เริ่มผลิตให้เป็นมาตรฐานตั้งแต่ปี ค.ศ. 1916 โดยพื้นฐานการผลิต ขั้วหนึ่งจะเป็นนิกเกิลที่เจือปนด้วยอะลูมิเนียมส่วนอีกด้านที่เจือปนด้วยโครเมียม เพราะว่าในปี ค.ศ. 1916 ยังไม่สามารถสร้างนิกเกิลบริสุทธิ์ได้จึงได้เติมสารไม่บริสุทธิ์ต่าง ๆ ในส่วนผสมของวัสดุชนิด K แต่ในปัจจุบันได้มีการระมัดระวังส่วนผสมที่จะทำให้เกิดความไม่บริสุทธิ์ดังกล่าวเพื่อเหตุผลในการบำรุงรักษาและสอบเทียบ

ด้วยเหตุนี้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K ที่กำหนดเป็นค่ามาตรฐานจะไม่ใช้โลหะผสมแต่โดยทั่วไปจะผสมธาตุพิเศษเข้าไปเพื่อปรับปรุงคุณภาพของแรงเคลื่อน/อุณหภูมิของจุดหลอมละลายที่กำหนดไว้ ข้อควรระวังในการใช้งานของชนิด K มีดังนี้

1. ขั้วลบของเทอร์โมคัปเปิลจะเป็นวัสดุเฟอร์โรแมกเนติก(เหล็กที่เป็นสารแม่เหล็ก) ที่อุณหภูมิห้อง แต่ที่จุดคิวรีของมัน (curie point คืออุณหภูมิที่มันเปลี่ยนจากคุณสมบัติเหล็กไปเป็นแม่เหล็ก) อยู่ในช่วงที่ใช้งานพอดี ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนทางเอาต์พุตอย่างทันทีทันใด ยิ่งไปกว่านั้นพบว่าจุดคิวรีดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของโลหะผสม จุดคิวรีนี้จะเปลี่ยนคุณสมบัติจากเทอร์โมคัปเปิลตัวหนึ่งให้เป็นเทอร์โมคัปเปิลอีกตัวหนึ่ง ดังนั้นจึงต้องทดลองหาการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนที่ไม่ทราบค่า ณ อุณหภูมิที่เราไม่ทราบค่านี้

2. ที่อุณหภูมิสูง ๆ (ช่วง 200°C ถึง 600°C) เทอร์โมคัปเปิลชนิด K จะมีผลของฮิสเตอร์เรซิสเกิดขึ้นขณะที่มันอ่านค่าเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นและในช่วงที่อุณหภูมิลดลง ซึ่งเป็นช่วงที่ไม่สามารถจะคาดเดาการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนได้

3. ที่อุณหภูมิ 1000°C ขั้วของเทอร์โมคัปเปิลชนิด K จะเกิดออกไซด์ เป็นเหตุให้มีการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อน

4. การใช้โคบอลต์เป็นโลหะผสมสำหรับเทอร์โมคัปเปิลชนิด K จะทำให้เกิดปัญหาในอุตสาหกรรมนิวเคลียร์ หรือในพื้นที่อื่น ๆ ที่มีฟลักซ์นิวตรอนสูง ๆ ธาตุบางตัวจะรับเอาการปลดปล่อยนิวเคลียร์ จึงทำให้เปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนทางค่านเอาต์พุต

ย่านการทำงานและความแน่นอนของเทอร์โมคัปเปิลในงานอุตสาหกรรม ที่กำหนดโดยมาตรฐาน IEC 584(รหัสสำหรับการวัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัปเปิล) ช่วงการวัดอุณหภูมิต่อเนื่องของเทอร์โมคัปเปิลแบบนี้จะเป็น -270°C ถึง $+1,370^{\circ}\text{C}$

โดยมีระดับความแน่นอนซึ่งกำหนดโดยมาตรฐาน IEC 584 (ตารางอ้างอิงสำหรับเทอร์โมคัปเปิลนานาชาติ เป็นดังนี้

1. Class 1 = -40°C ถึง $+1,000^{\circ}\text{C}$ $\pm 0.004 \times t$ หรือ $\pm 1.5^{\circ}\text{C}$
2. Class 2 = -40°C ถึง $+1,200^{\circ}\text{C}$ $\pm 0.0075 \times t$ หรือ $\pm 2.5^{\circ}\text{C}$
3. Class 1 = -200°C ถึง $+40^{\circ}\text{C}$ $\pm 0.015 \times t$ หรือ $\pm 2.5^{\circ}\text{C}$

เมื่อ t อุณหภูมิจริงที่ทำการวัด

รหัสสี่สำหรับสายเทอร์โมคัปเปิลกำหนดโดยมาตรฐาน BS 4937 part 30 ,1993

(รหัสสี่ตามมาตรฐานอังกฤษสำหรับสายขดเชยแบบคู่ของเทอร์โมคัปเปิล) สำหรับชนิด K ขั้วบวกจะเป็นสีเขียว ขั้วลบจะเป็นสีขาว ถ้าตลอดทั้งตัวจะเป็นสีเขียว ส่วนสายขดเชยสัญญาณ (ชนิด vx) ก็เหมือนกับสีค่านบนที่กล่าวมา โดยสรุป

ข้อดีของแบบ K

- เป็นแบบที่นิยมใช้แพร่หลายมากที่สุด
- สำหรับการวัดอุณหภูมิช่วงสั้น ๆ จะวัดได้จาก -180°C ถึงประมาณ $1,350^{\circ}\text{C}$
- สามารถใช้วัดในงานที่มีปฏิริยาออกซิไดซิง หรือสถานะแบบเฉื่อย (inert) ได้ดีกว่าแบบอื่น ๆ
- สามารถใช้กับสภาพงานที่มีการแผ่รังสีความร้อนได้ดี
- ให้อัตราการเปลี่ยนแปลงแรงเคลื่อนไฟฟ้าต่ออุณหภูมิดีกว่าแบบอื่น ๆ (ความชันเกือบเป็น 1) และมีความเป็นเชิงเส้นมากที่สุดในบรรดาเทอร์โมคัปเปิลด้วยกัน

ข้อเสียของแบบ K

- ไม่เหมาะกับการวัดที่ต้องสัมผัสกับปฏิริยารีดิวซิงและออกซิไดซิงโดยตรง
- ไม่เหมาะกับการงานที่มีไอของซัลเฟอร์
- ไม่เหมาะกับการสภาพงานที่เป็นสุญญากาศ (ยกเว้นจะใช้ในระยะเวลาสั้น ๆ)
- หลังการใช้งานไป 30 ปี ทำให้ส่วนผสมทางเคมีเปลี่ยนแปลงไป เป็นผลทำให้คุณสมบัติของแรงเคลื่อนไฟฟ้าเปลี่ยนแปลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 โปรแกรม LABVIEW

LABVIEW เป็นโปรแกรมที่ใช้ติดต่อสื่อสารกับเครื่องมือต่างๆที่อยู่ภายนอกผ่านบอร์ด Data Acquisition ใช้งานเป็น Monitoring หรือในการควบคุมการวัดค่าต่างๆ เช่น ความต่างศักย์ อุณหภูมิ หรือสัญญาณอื่นๆ โดยมีตัวเซนเซอร์รับสัญญาณเข้ามา โดยเอาต์พุตที่ได้จากเซนเซอร์เหล่านี้จะมีค่าเป็นแรงดันหรือกระแสซึ่ง LABVIEW สามารถอ่านค่าที่ผ่านเข้ามาทางDAQ Card แล้วบันทึกค่าเป็นไฟล์ข้อมูลได้ ดังนั้นการนำ LABVIEW ไปใช้จะต้องพิจารณาถึงวัตถุประสงค์และการประยุกต์ที่จะใช้ก่อนว่ามี Input เป็นอะไร และต้องการ Output อะไร จากนั้นจึงทำการเลือก Hardware ให้ตรงตามต้องการ การใช้งาน LABVIEW ผู้ใช้ควรมีพื้นฐานด้านการเขียนโปรแกรมพอสมควร เนื่องจากการติดต่อสื่อสารระหว่างโปรแกรมกับเครื่องมือต่างๆที่อยู่ภายนอกนั้น ผู้ใช้ต้องเขียนโปรแกรมคำสั่งการทำงานเพื่อเรียกข้อมูลการวัดแล้วนำมาเข้ากระบวนการให้เป็น Monitoring หรือการเขียนคำสั่งเพื่อการควบคุมระบบเช่น ให้โปรแกรมสามารถตรวจสอบค่าอุณหภูมิที่อ่านได้ว่าถ้ามีค่าไม่เกินกว่าที่กำหนดแล้วจึงค่อยส่งคำสั่งไปควบคุมให้อุปกรณ์อื่นๆทำงานต่อไปได้ เป็นต้น

2.3.1 โปรแกรม LABVIEW มีองค์ประกอบสำคัญ3 ส่วน คือ

1. Block diagram เป็นส่วนตั้งค่าการวัดและอ่านค่าตัวเลขหรือกราฟที่ออกมาจากFront panel จึงทำหน้าที่เสมือนเครื่องมือวัดจริง โดย Input ที่ป้อนเข้าไปจะเป็นตัวควบคุม ส่วน Output ที่ออกมาจะเป็นตัวแสดงผล
2. Front panel ทำหน้าที่เสมือนเป็น Sourcecode โดยใช้โปรแกรมภาษากราฟฟิก องค์ประกอบของ Front panel นี้จะแทนโปรแกรม Node เช่น for loop, Casestructure และฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ เป็นต้น
3. Icon/Connector ภายใน Front panel จะประกอบด้วยไอคอนต่างๆและมีสายเชื่อมต่อถึงกันในแต่ละไอคอนซึ่งเมื่อเชื่อมต่อกันแล้วจะสามารถเปลี่ยน Virtualinstrument (VI) นี้ให้เป็น Sub VI หรือ Object ที่นำกลับมาใช้ใน block diagram ได้อีก

ความสามารถของโปรแกรม LABVIEW เนื่องจากบริษัท National Instrument (NI) ซึ่งเป็นผู้พัฒนาโปรแกรม LABVIEW มีการพัฒนาอยู่มามายทั้ง Hardware และ Software จึงทำให้โปรแกรม LABVIEW มีความสามารถในการติดต่อ Hardware อย่างหลากหลายเช่น

2.3.2 Hardware

การใช้ โปรแกรม LABVIEW เพื่อเชื่อมต่อกับฮาร์ดแวร์ภายนอกทำได้โดยผ่านทางการ์ด

DAQ (Data Acquisition) การเชื่อมต่อสามารถเชื่อมต่อกับพอร์ต(port) ได้หลายชนิด เช่น พอร์ตขนาน (Paralelport), พอร์ตอนุกรม (Serial port), GPIB, และHPIB เป็นต้น จึงมีแนวความคิดในการออกแบบวงจรขึ้นมา โดยกำหนดคุณสมบัติให้เป็นบอร์ดแบบภายนอกเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านทางพอร์ตอนุกรม(RS-232) มีจำนวนอินพุต-เอาต์พุต16 ช่อง (channel) อินพุตทำงานได้ทั้งหมด

ดิจิทัลอินพุตและอนาล็อกอินพุต สำหรับเข้าที่พุดกำหนด ให้เป็นแบบดิจิทัลเข้าที่พุด ออกแบบให้สร้างง่ายและต้นทุนต้องไม่สูงมากจนเกินไป



รูปที่ 2.5 หน้าต่างโปรแกรม LABVIEW

2.4 ดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (Digital Multimeter)



รูปที่ 2. 6 เครื่อง DMM20016¹/₂-Digit USB Digital Multimeter

1 6-Digit USB Digital Multimeter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รุ่น 2100 USB ดิจิตอลมัลติมิเตอร์เป็นรุ่นใหม่ล่าสุดของ Keithley ซึ่งมีประสิทธิภาพและ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ผู้ที่พิมพ์และเผยแพร่เอกสารนี้จะต้องรับผิดชอบต่อเอกสารที่พิมพ์และ
ความถูกต้องแม่นยำสูง (38ppm), ความละเอียด 6 หลักเหมาะสำหรับงานวัดที่ต้องการความละเอียด

รุ่น 2100 มี 11 ฟังก์ชันในการวัดและ 8 ฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์ได้อย่างง่ายและรองรับการวัดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ได้สูงสุด 2.4.1 อุปกรณ์ทั้งหมดเช่นสาย USB, ฟังก์ชันในการวัด, และซอฟต์แวร์ที่มีอยู่ในรุ่น 2100 รวมกันเป็นเอกลักษณ์มีความแม่นยำสูงและต้นทุนต่ำรุ่น 2100 ยังเหมาะสำหรับการทดสอบค่า R & D ของวิศวกรนักวิทยาศาสตร์ และนักศึกษา

2.4.1 ความแม่นยำสูงต้นทุนต่ำ

รุ่น 2100 มีเสถียรภาพ ความถูกต้องและความเร็ว ในราคาต่ำมาก มีความถูกต้อง 0.0038% 1 ปี แรงดัน DC ในช่วง 10V 0.013% 1 ปี ความถูกต้องด้านทานพื้นฐานคือ 10kW อ่านค่าได้ 6 หลัก รุ่น 2100 ให้ 50 ทริกเกอร์ rdgs / s ผ่านทางอินเตอร์เฟส USB มีการตั้งค่าอย่างรวดเร็ว การอ่านค่า 4 หลักจะอ่านกว่า 2000 rdgs / s 2000 เป็นบัฟเฟอร์ภายในของการอ่านค่า

2.4.3 รุ่น 2100 มีช่วงในการวัดและฟังก์ชันดังนี้

•แรงดัน DC: 0.1V, 1V, 10V, 100V และ 1000V

•แรงดันไฟฟ้า: 0.1V, 1V, 10V, 100V และ 750V

•กระแส DC: 10mA, 100mA, 1A และ 3A

•กระแส AC: 1A และ 3A

•มีความต้านทาน: 100Ω, 1k Ω, 10kΩ, 100k Ω, 1MΩ, 10M Ω, and 100M Ω

•ความถี่: จาก 3 Hz ถึง 300 kHz

•การวัดระยะเวลา

•การวัดไดโอด

•แปลง AD และตัวกรองการตั้งค่าโปรแกรมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของสัญญาณเสียง

นอกจากนี้การดำเนินการทางคณิตศาสตร์สามารถดำเนินการเกี่ยวกับการอ่านการวัดอัตราส่วน,%

Min/Max, NULL, Limits, mX+b, dB, และการทดสอบdBm Microsoft Office, Word, Excel และ

เพิ่มเครื่องมือช่วยให้การจัดเก็บข้อมูลระยะและการเรียกคืนของค่าที่วัดจากการใช้งานได้

2.4.2 ง่ายต่อการใช้งาน

รุ่น 2100 สามารถติดตั้งได้อย่างรวดเร็วและใช้งานง่าย มีแผงด้านหน้าแสดงฟังก์ชันในการวัดต่างๆ

ปุ่มกดที่ใช้งานง่าย จอแสดงผลชนิดหลอดสูญญากาศ

(VFD) มี annunciatorsแบบสามสีเพื่อให้ผู้ใช้สามารถแยกความแตกต่างสัญลักษณ์แต่ละฟังก์ชัน

ความแข็งแรงและความคล่องตัว

สร้างด้วยขงกันกระแทกที่ทนทาน รุ่น 2100 คงทนต่อการใช้งาน และง่ายต่อการพกพาหรือการใช้งานด้วยสามารถวางซ้อน ได้มีที่จับที่ทนทานอำนวยความสะดวกในการขนส่ง

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และตั้งอ่านถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

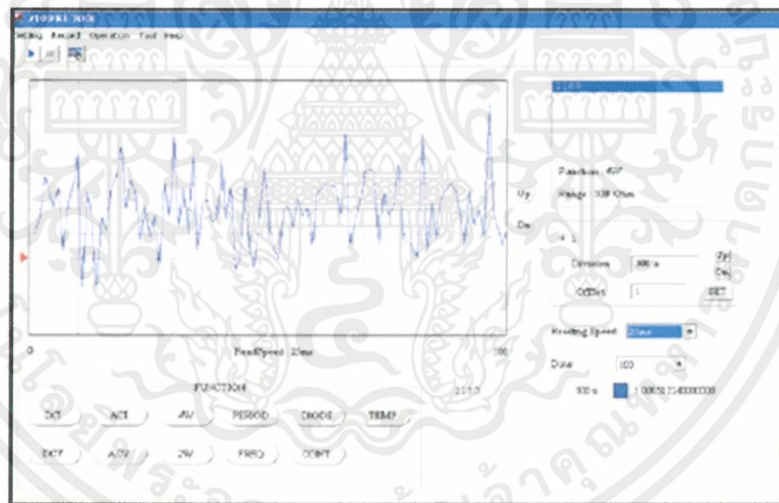
•DMM ความแม่นยำสูง 6 หลัก สำหรับการวัดที่สำคัญใน 5 หลัก

• การวัดพารามิเตอร์ครอบคลุมมากที่สุดถึง 11 ฟังก์ชัน

- ความถูกต้องที่ระบุไว้อย่างเต็มที่ในฟังก์ชันทั้งหมดสำหรับ ISO ที่สอดคล้องผล
- รวมถึงโปรแกรมซอฟต์แวร์ที่คอมพิวเตอร์เพื่อกราฟและการใช้ข้อมูลร่วมกันทั้งใน Microsoft ® Word และ Excel
- การสร้างที่ทนทานเพื่อความทนทานใน / งานแบบพกพา
- เลือกรุ่น / ปัจจัยการผลิตหรืออำนาจความสะดวกในการใช้งาน
- รวมอุปกรณ์ทั้งหมดเช่นซอฟต์แวร์เริ่มต้น, สาย USB, สายไฟและนำไปสู่การทดสอบความปลอดภัยสำหรับค่าใช้จ่ายรวมต่ำสุด
- CE ตามมาตรฐานและ UL ที่ระบุไว้
- TMC ตามมาตรฐาน USB 2.0 สำหรับการใช้งานกับโปรแกรมทดสอบ SCPI

2.4.3 การประยุกต์ใช้

รุ่น 2100 USB ดิจิตอลมัลติมิเตอร์เหมาะสำหรับการใช้งานในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์วงจร โมดูลและการทดสอบผลิตภัณฑ์ต้นทุนต่ำของชิ้นส่วนไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ประกอบด้วยการใช้งานในห้องปฏิบัติการต่างๆถึงการใช้งานทั่วไป



รูปที่ 2.7 โหมดการทำงานของโปรแกรม

เครื่องมือการสร้างแผนภูมิและกราฟโดยการเขียน โปรแกรมเพื่อให้ง่ายต่อการติดตั้งและการประยุกต์ใช้การวัดขั้นพื้นฐาน การวัดการใช้งาน มีการแสดงข้อมูลแบบกราฟิกขนาดและระดับที่สามารถขยายปรับปรับแต่งภาพสำหรับการประเมินภาพของสัญญาณและเสียง องค์ประกอบของสัญญาณและเสียง เมื่อเวลาผ่านไปนอกจากนี้ยังรวมถึงข้อมูลตารางและSCPI พร้อมทั้งคำสั่งหน้าตาเพื่อความยืดหยุ่นสูงสุดชุดข้อมูลจะถูกบันทึกไว้ในแฟ้มดิสก์Microsoft Excel เพิ่มใน utility ให้บริการข้อมูลด่วนเข้าเป็นมาตรฐาน Microsoft Excel สเปรดชีตรวมทั้งเลือกกราฟ,

เครื่องมือการตั้งค่า, และจำนวนของจุดข้อมูลที่เก็บรวบรวมข้อมูลจากนั้นจะสามารถใช้มาตรฐานหรือเลือก Microsoft Excel ฟังก์ชันรวมทั้งกราฟิกสถิติและแนวโน้มการสร้างแผนภูมิรุ่นที่สนับสนุน Microsoft Word จะรวมอยู่สำหรับนำเข้าข้อมูลในรายงานโดยตรง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

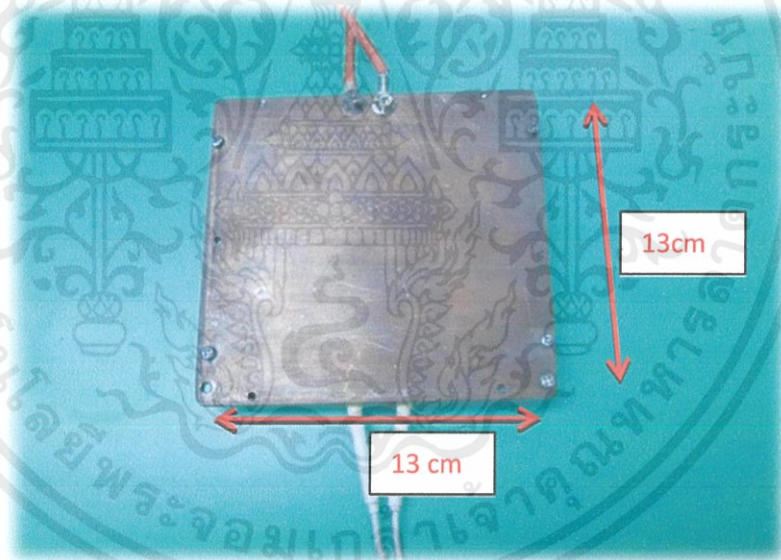
อุปกรณ์และวิธีดำเนินงาน

โครงการพิเศษนี้ศึกษาและออกแบบระบบวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคอย่างง่ายเพื่อนำไปใช้ในห้องปฏิบัติการซึ่งระบบดังกล่าวประกอบด้วยอุปกรณ์ดังต่อไปนี้

3.1 ระบบควบคุมอุณหภูมิด้านร้อน

3.1.1 ส่วนให้ความร้อน

อุปกรณ์ที่ให้ความร้อนที่ใช้คือฮีตเตอร์ประกบแผ่นทองแดงด้านบนที่มีขนาด 13cm×13cm ทำการวัดอุณหภูมิโดยใช้เทอร์โมคัปเปิลชนิด K



รูปที่ 3.1 Heater

3.1.2 ส่วนจ่ายกระแสไฟ

Heater Controller เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการจ่ายกระแสไฟให้กับฮีตเตอร์เมื่อมีการแสไหล เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ผ่านขดลวดตัวนำที่มีค่าความต้านทาน จะทำให้ลวดตัวนำร้อน และถ่ายเทความร้อนให้กับโหลด ก็ ไม่ว่าจะฉนวนใดๆก็ตาม อีกทั้งยังมีให้คิดแบบอื่นอีก และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้ จะทำให้ฮีตเตอร์มีอุณหภูมิสูงขึ้น

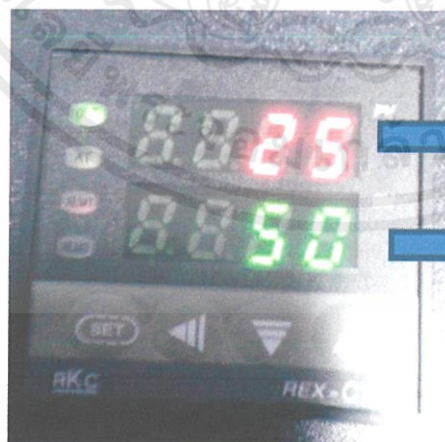


รูปที่ 3.2 Heater Controller

3.1.3 ส่วนประกอบของ Heater Controller ที่สำคัญ

1. Temperature controller

ใช้ในการควบคุมอุณหภูมิ หลักการทำงานคือเมื่อเราทำการตั้งค่าอุณหภูมิที่เราต้องการไว้ค่าหนึ่ง เทอร์โมคัปเปิ้ลจะทำหน้าที่เป็นเซ็นเซอร์วัดค่าอุณหภูมิจากฮีตเตอร์ เมื่ออุณหภูมิได้ตามที่ตั้งไว้เซ็นเซอร์จะส่งงานให้โซลิดสเตทรีเลย์ทำการตัดกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับฮีตเตอร์เพื่อให้ได้อุณหภูมิตามที่ต้องการ



อุณหภูมิปัจจุบันที่วัดค่าได้

อุณหภูมิที่ทำการตั้งค่า

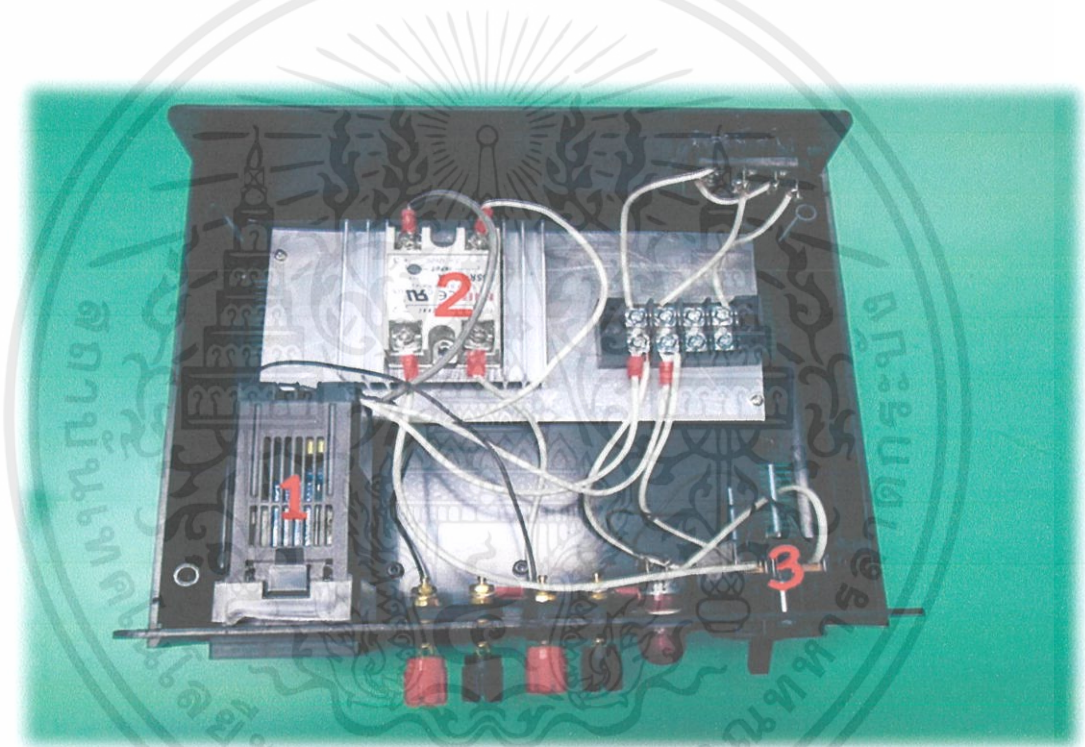
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 3.3 Temperature controller
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. Solid state relay

โซลิดสเตทรีเลย์ (Solid state Relay) เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เชื่อมต่อ (Interface) ระหว่างภาคควบคุม (Control) ซึ่งเป็นส่วนวงจรอิเล็กทรอนิกส์ กับวงจรภาคไฟฟ้ากำลัง (Power) โดยที่ภาคทั้งสองจะมีระบบกราวด์ (Ground) ที่แยกออกจากกันทำให้สามารถป้องกันการลัดวงจร (Short circuit) และการรบกวนซึ่งกันและกันได้

2. Breaker

เป็นอุปกรณ์ที่ติดตั้งเพื่อความปลอดภัย โดยทำงานเปิดและปิดวงจรไฟฟ้าแบบไม่อัตโนมัติ แต่สามารถเปิดวงจรได้อัตโนมัติ ถ้ามีกระแสไหลผ่านเกินกว่าค่าที่กำหนด



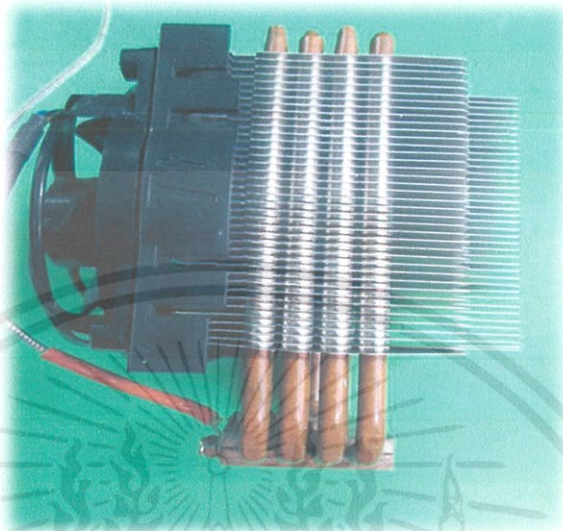
รูปที่ 3.4 ภาพส่วนประกอบภายใน Heater Controller

3.2 ระบบระบายความร้อน

3.2.1 ส่วนระบายความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ในงานวิจัยนี้เราได้ใช้ Heat pipe เป็นตัวที่ทำหน้าที่ในการระบายความร้อน เพราะถ้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น Heat pipe คือ อุปกรณ์ถ่ายเทความร้อนชนิดพิเศษ ซึ่งสามารถถ่ายเทความร้อนได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ แม้ในสภาพอุณหภูมิเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยก็จะรักษา

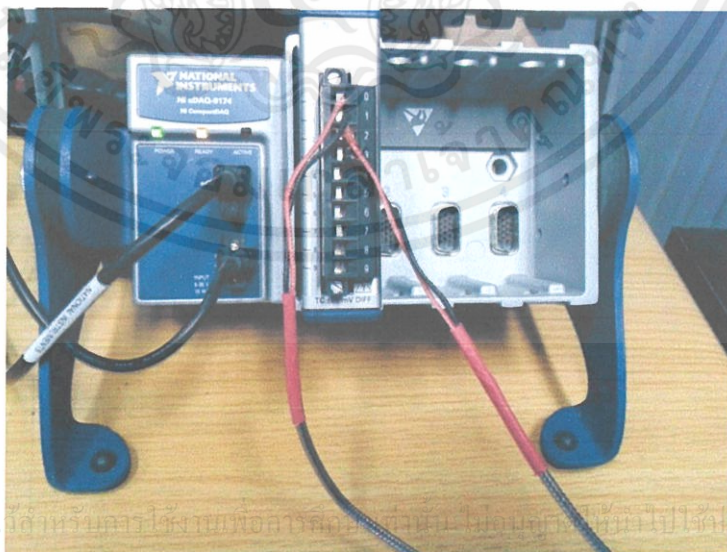
อุณหภูมิได้คงที่สม่ำเสมอจึงเป็นอุปกรณ์ที่เหมาะสมสำหรับใช้ในงานวิจัยนี้ที่ต้องการวัดค่าในอุณหภูมิที่ต่ำๆที่มีค่าความแตกต่างของอุณหภูมิด้านร้อน (T_C) และด้านเย็น (T_H) ไม่มาก



รูปที่ 3.5 Heat pipe

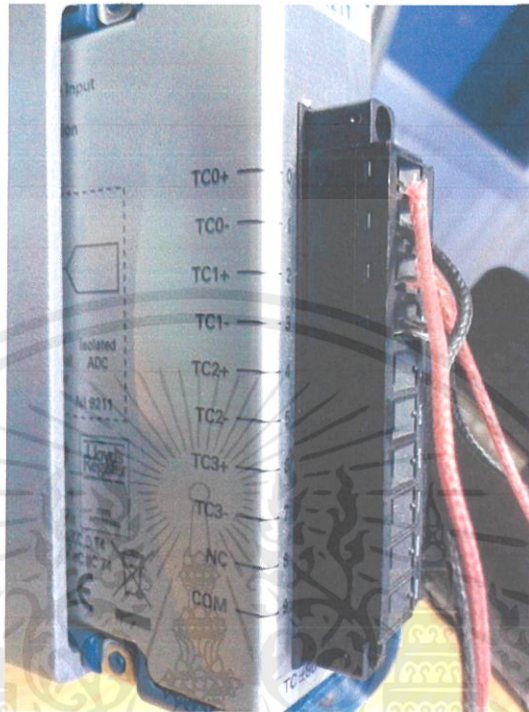
3.3 ระบบวัดอุณหภูมิ

ทำการวัดอุณหภูมิโดย NI cDAQ-9174 โดยทำการต่อ NI 9211 เพื่อวัดอุณหภูมิ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.6 NI cDAQ-9174 ที่ทำการต่อ NI 9211



รูปที่ 3.7 ช่องต่อขั้วเทอร์โมคัปเปิล

3.4 ระบบวัดความต่างศักย์

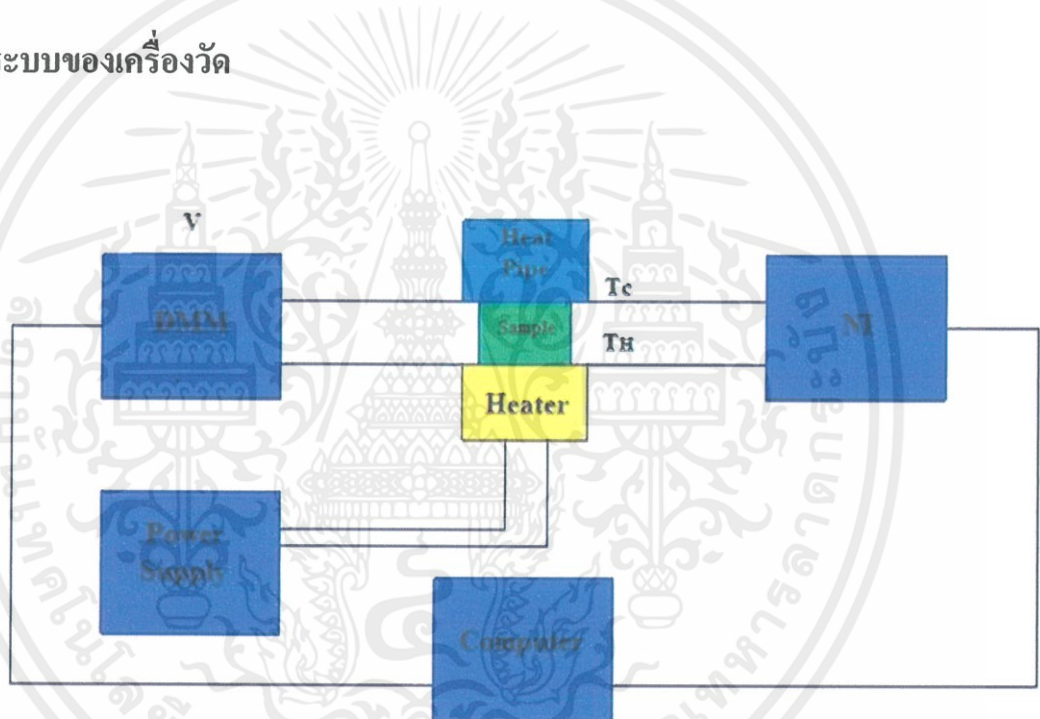
เนื่องจากโครงการพิเศษนี้ทำการวัดค่าสัญญาณความต่างศักย์ในระดับไมโครโวลต์ตั้งนั้น จึงต้องใช้เครื่องวัดที่มีความละเอียดสูง จึงเลือกใช้ Digital multimeter (DMM) โดยทำการอินเตอร์เฟสผ่าน USB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



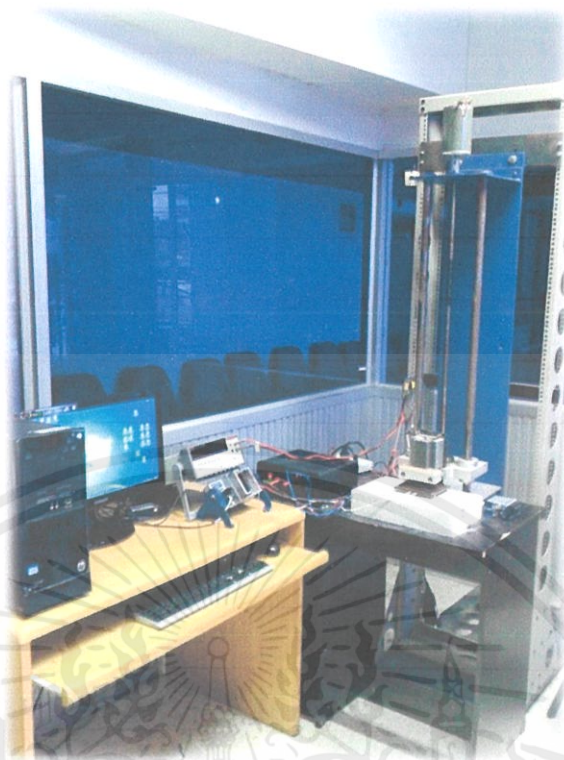
รูปที่ 3.8 Digital multimeter

3.5 ระบบของเครื่องวัด

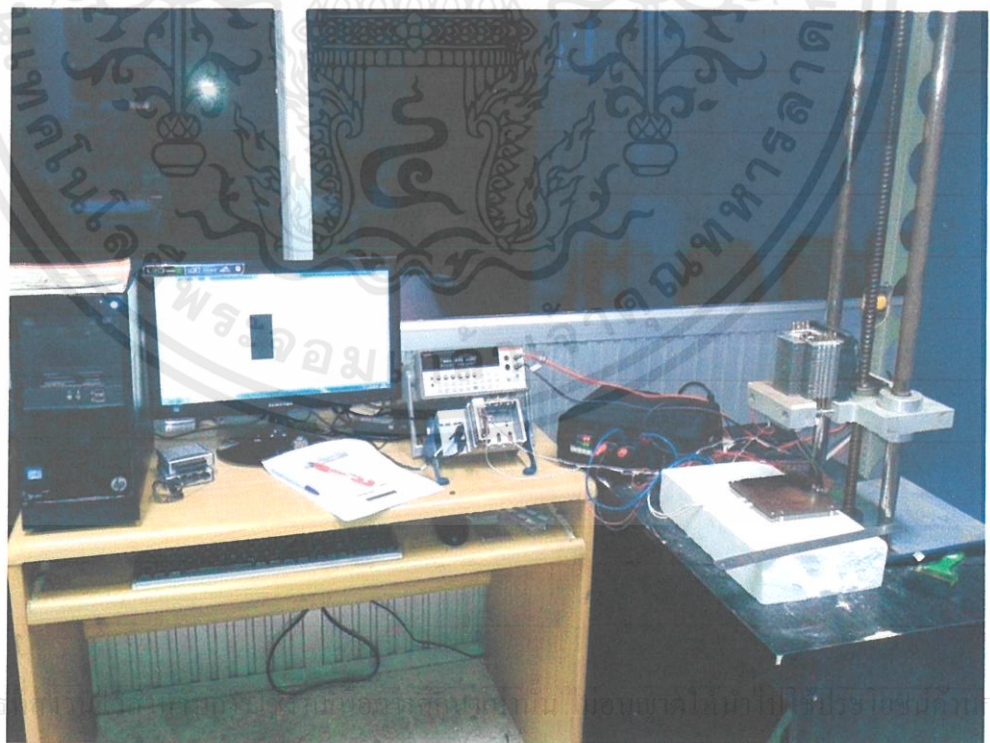


รูปที่ 3.9 ระบบของเครื่องวัดอุณหภูมิและความต่างศักย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 โครงการวิจัยที่จัดทำขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่จัดทำขึ้นเพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำออกจำหน่ายหรือทำซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.11 การติดตั้งระบบต่างๆ

3.6 วิธีการทดลอง

1. นำ Heat pipe วางบนชิ้นงาน
2. เปิด Computer, Heater Controller, DMM, พัดลมระบายความร้อน และ NI ให้พร้อมใช้งาน
3. สร้างไฟล์ Excel โดยให้ Save เป็น Excel 97-2003 work book
4. เข้าโปรแกรม Seebeck Measurement เลือก Save file as แล้วกำหนดตำแหน่งที่เก็บไฟล์ไว้ตามข้อ (2)
5. นำชิ้นงานที่ต้องการวัดวางที่ตำแหน่งวัด
6. ทำการตั้งค่าอุณหภูมิของ Heater ที่ 50 °C (อุณหภูมิเริ่มต้นที่อุณหภูมิห้อง 25 °C)
7. สั่งเกต Heater Controller เมื่ออุณหภูมิกำลังเพิ่มขึ้นให้กด Run โปรแกรม แล้วโปรแกรมจะทำการวัดค่า จนครบตามเวลาที่ตั้งไว้ หรือผู้ใช้จากคหุคตนเอง ค่าที่วัดได้จะถูก Save ไว้ในไฟล์ที่เลือกตามข้อ (2)
8. เปิดไฟล์ที่เก็บไว้ตามข้อ (2) จะพบข้อมูล ความแตกต่างของอุณหภูมิ (ΔT) และ ความต่างศักย์ (ΔV) ที่เก็บค่าไว้
9. นำข้อมูลที่ได้ไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความต่างศักย์ (ΔV) และ ความแตกต่างของอุณหภูมิ (ΔT)
ในโปรแกรม Origin แล้วทำการหาค่าความชันซึ่งจะแสดงค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 1 ตั้งชื่อตารางเพื่อเก็บค่าตัวแปรต่างๆ ได้แก่ Temp H (อุณหภูมิด้านร้อน) TempC (อุณหภูมิด้านเย็น) Delta Temp (ความแตกต่างของอุณหภูมิด้านร้อนและด้านเย็น) และ Volt (ความต่างศักย์)

ส่วนที่ 2 วัดและอ่านค่าความต่างศักย์ (Volt)

ส่วนที่ 3 วัดและอ่านค่าอุณหภูมิด้านร้อน (Temp H) และด้านเย็น (Temp C) แล้วแสดงผลบนกราฟของโปรแกรม

ส่วนที่ 4 นำค่าอุณหภูมิด้านร้อนลบค่าอุณหภูมิด้านเย็น (Delta Temp)

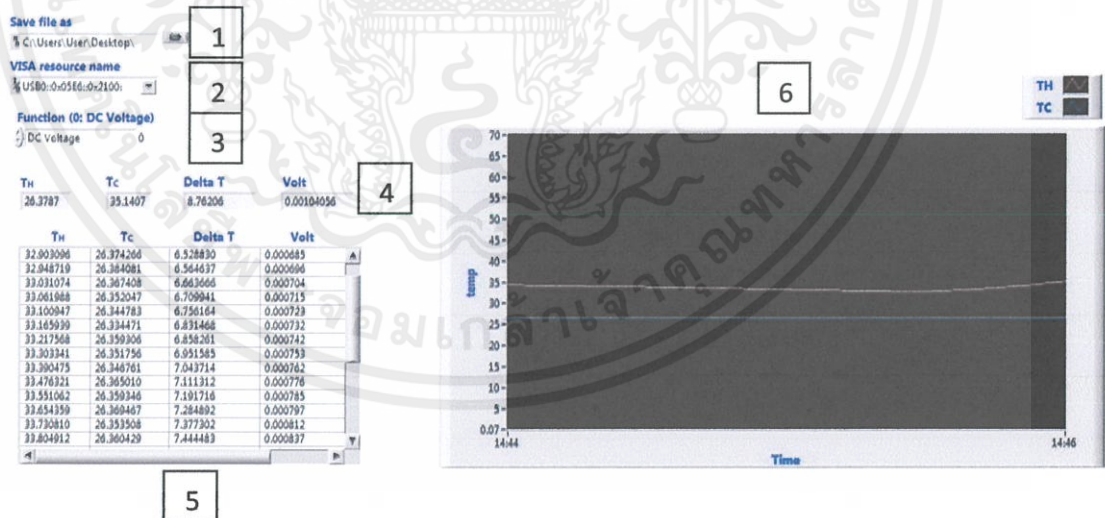
ส่วนที่ 5 นำค่าความต่างศักย์และอุณหภูมิที่วัดได้ แสดงบนตารางของโปรแกรม

ส่วนที่ 6 สั่งโปรแกรมให้ทำงานเป็นลูป เครื่องมือจะทำการอ่านและวัดค่าอย่างต่อเนื่อง

ส่วนที่ 7 ตั้งเวลาในการอ่านและวัดค่า ซึ่งถูกกำหนดโดยผู้ใช้

ส่วนที่ 8 นำข้อมูลที่วัดและอ่านค่าได้ทั้งหมดบันทึกไว้ในโปรแกรม Microsoft Office Excel

2. ส่วนการแสดงผลของโปรแกรม (Block Diagram) แสดงดังรูปที่ 8 ประกอบด้วย 6 ส่วนสามารถอธิบายได้ดังนี้



รูปที่ 4.2 แสดงหน้าการแสดงผลของโปรแกรม LABVIEW ทั้ง 6 ส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใด ส่วนที่ 1 ตำแหน่งเก็บไฟล์ข้อมูลผลการทดลอง จะอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่ 2 เลือกพอร์ตเชื่อมต่อ USB

ส่วนที่ 3 เลือกชนิดกระแสที่ต้องการวัด (ในโครงการพิเศษนี้วัดกระแสตรง (DC))

ส่วนที่ 4 ค่าปัจจุบันของ อุณหภูมิด้านร้อน (T_H) อุณหภูมิด้านเย็น (T_C) ผลต่างของอุณหภูมิ (ΔT) และความต่างศักย์ (ΔV)

ส่วนที่ 5 ค่าที่อ่านได้ทั้งหมดของอุณหภูมิด้านร้อน (T_H) อุณหภูมิด้านเย็น (T_C) ผลต่างของอุณหภูมิ (ΔT) และความต่างศักย์ (ΔV)

ส่วนที่ 6 แสดงกราฟของ อุณหภูมิด้านร้อน (T_H) อุณหภูมิด้านเย็น (T_C) กับเวลาที่วัดได้ในขณะนั้น

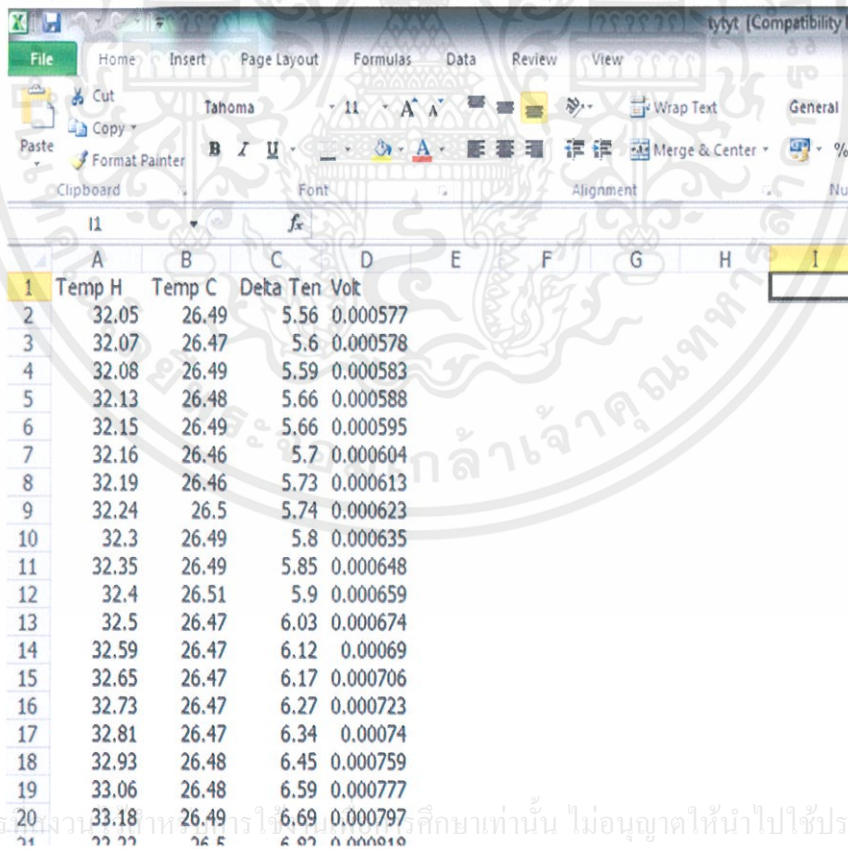
เมื่อโปรแกรม LABVIEW หยุดการวัดค่า (ผู้ทำการวัดอาจกดหยุดเองหรือโปรแกรมทำงานครบตามเวลาที่กำหนด) ค่าที่วัดได้ทั้งหมดจะถูกบันทึกไว้ในไฟล์ Excel ที่เลือกไว้ก่อนทำการวัด เมื่อทำการเปิดจะแสดงค่าออกมาในตารางดังรูปที่ 19 โดยที่

คอลัมน์ A บันทึกค่าอุณหภูมิด้านร้อน (T_H)

คอลัมน์ B บันทึกค่าอุณหภูมิด้านเย็น (T_C)

คอลัมน์ C บันทึกค่าผลต่างของอุณหภูมิ (ΔT)

คอลัมน์ D บันทึกค่าความต่างศักย์ (ΔV)

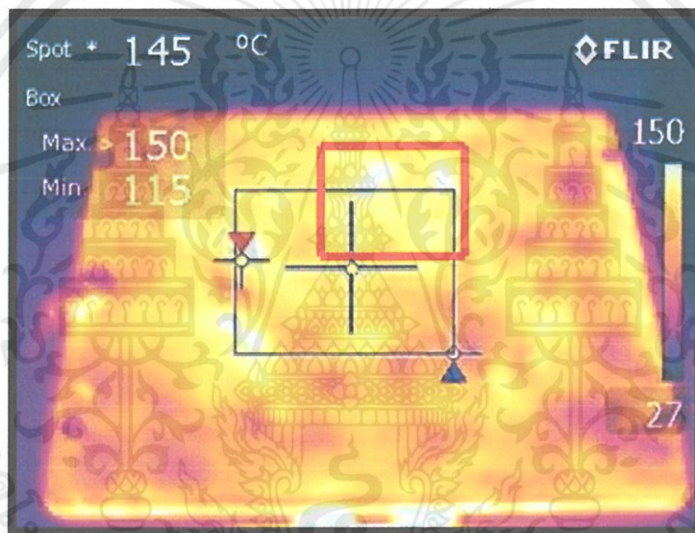


	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Temp H	Temp C	Delta Ten	Volt					
2	32.05	26.49	5.56	0.000577					
3	32.07	26.47	5.6	0.000578					
4	32.08	26.49	5.59	0.000583					
5	32.13	26.48	5.66	0.000588					
6	32.15	26.49	5.66	0.000595					
7	32.16	26.46	5.7	0.000604					
8	32.19	26.46	5.73	0.000613					
9	32.24	26.5	5.74	0.000623					
10	32.3	26.49	5.8	0.000635					
11	32.35	26.49	5.85	0.000648					
12	32.4	26.51	5.9	0.000659					
13	32.5	26.47	6.03	0.000674					
14	32.59	26.47	6.12	0.00069					
15	32.65	26.47	6.17	0.000706					
16	32.73	26.47	6.27	0.000723					
17	32.81	26.47	6.34	0.00074					
18	32.93	26.48	6.45	0.000759					
19	33.06	26.48	6.59	0.000777					
20	33.18	26.49	6.69	0.000797					

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
รูปที่ 4.3 ตารางแสดงค่าทั้งหมดที่วัดได้ใน โปรแกรม Excel

4.2 การศึกษาระบบทำความร้อน (Heater) และระบบระบายความร้อน (Heat sink)

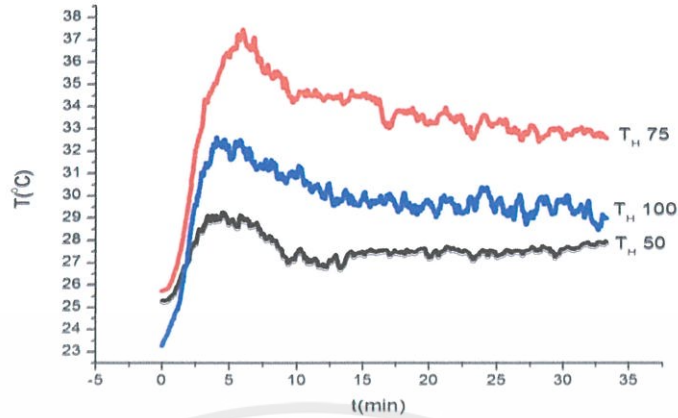
ในโครงการพิเศษนี้ ระบบความร้อนจะถูกออกแบบโดยนำ แผ่นทองแดงประกบบนฮีตเตอร์เนื่องจากแผ่นทองแดงสามารถนำความร้อนได้ดี แต่อย่างไรก็ตามแผ่นทองแดงที่ใช้จะมีขนาด 13x13 cm ดังนั้นในเบื้องต้นต้องทำการทดสอบตำแหน่งบนผิวทองแดงที่มีอุณหภูมิสม่ำเสมอ โดยการกำหนดให้อุณหภูมิของฮีตเตอร์เท่ากับ 150°C จากนั้นใช้กล้องถ่ายภาพความร้อน (IR Camera , FLIR) จับภาพความร้อนบนผิวทองแดงได้ผลดังรูปที่ 20 ซึ่งพบว่าบริเวณที่มีอุณหภูมิสม่ำเสมอ คือ บริเวณที่ห่างจากจุดศูนย์กลางไปทางด้านบนของแผ่นทองแดง 2.5 – 3 cm (ในกรอบสี่แดง) ซึ่งเป็นตำแหน่งที่เหมาะสมในการวางชิ้นงานเพื่อวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค



รูปที่ 4.4 รังสีความร้อนบนแผ่นทองแดง

จากนั้นทำการกำหนดให้อุณหภูมิของฮีตเตอร์ เป็น 50°C , 75°C , 100°C ตามลำดับ เพื่อหาประสิทธิภาพของระบบระบายความร้อนที่ใช้คือฮีตไปป์(Heat pipe) เมื่อนำข้อมูลอุณหภูมิด้านเย็น (T_C)ที่ได้มาเขียนเป็นกราฟความสัมพันธ์ระหว่างเวลากับอุณหภูมิด้านร้อน(T_H)จากกราฟก็จะพบว่าเมื่อเพิ่มอุณหภูมิด้านร้อน(T_H) ให้มีค่าเท่ากับ 50°C , 75°C , และ 100°C อุณหภูมิด้านเย็น (T_C) ก็จะมีค่าเฉลี่ยประมาณ 27°C , 33°C , และ 30°C ตามลำดับ จากกราฟจะเห็นว่าอุณหภูมิด้านเย็นมีค่าคงที่ชี้ให้เห็นว่าระบบระบายความร้อนที่ใช้ตัว Heat pipe มีประสิทธิภาพค่อนข้างดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

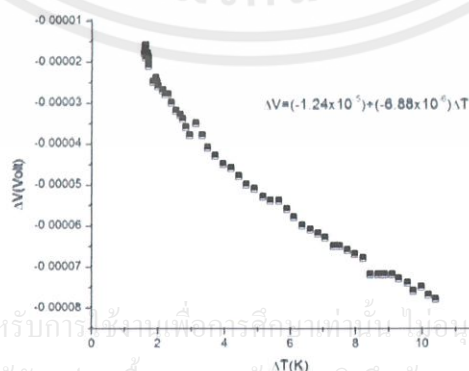


รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิด้านเย็น (T_C) กับเวลา (t)
เมื่อกำหนด (T_H) เป็น 50°C , 75°C และ 100°C

4.3 การวัดสัมประสิทธิ์ซีเบคของทองแดง (Cu) และบิตม์สเทลลูไรด์ (BiTe_2)

เนื่องจากการทำการทดลองในงานโครงการพิเศษนี้ไม่ได้วัดค่าความต่างศักย์และอุณหภูมิที่ตัวชิ้นงานโดยตรง แต่ทำการวัดค่าความต่างศักย์ ΔV และอุณหภูมิ ΔT จากผิวสัมผัสด้านบนของทองแดงบนฮีตเตอร์และจากผิวสัมผัสด้านล่างของทองแดงจากระบบระบายความร้อนฮีตไปป์ (Heat pipe) จึงได้ทำการวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของทองแดงก่อน โดยเมื่อทำการวัดและพลอตกราฟแล้วจึงทำการหาสมการเส้นตรง $y = mx + c$ ซึ่งค่าความชันจะแสดงถึงค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคและจุดตัดบนแกน y จะแสดงถึงประสิทธิภาพของเครื่องมือวัด โดยจุดตัดบนแกน y ควรมีค่าเข้าใกล้ศูนย์

4.3.1 ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของทองแดง (Cu)



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

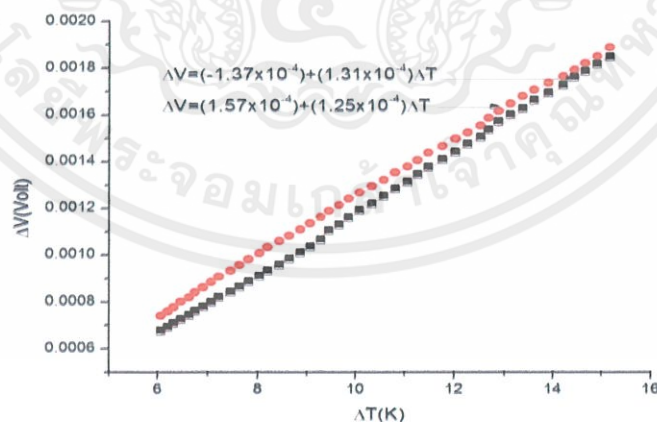
รูปที่ 4.6 สัมประสิทธิ์ซีเบคของทองแดง

จากกราฟเป็นการวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของทองแดงโดยทำการพิกกราฟเพื่อหาสมการเส้นตรง $y = mx+c$ ซึ่งความชันจะแสดงถึงค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคมีค่าเท่ากับ $-6.88\mu\text{V}/\text{K}$ เมื่อนำไปเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคมาตรฐานของทองแดงซึ่งมีค่าเท่ากับ $6.5\mu\text{V}/\text{K}$ [1] แสดงให้เห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของทองแดงที่วัดได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคมาตรฐานของทองแดง สาเหตุที่ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของทองแดงมีค่าติดลบเนื่องจากทำการวัดความต่างศักย์กลับขั้ว เหตุที่ต้องวัดความต่างศักย์กลับขั้ว เพื่อจะใช้ตรวจสอบว่าสารที่นำมาวัดเป็นชนิดเอ็นหรือชนิดพี ส่วนจุดตัดแกน y จะแสดงถึงความแม่นยำในการวัด จากกราฟที่ได้จะเห็นว่า จุดตัดบนแกน y มีค่าเท่ากับ -1.24×10^{-5} แสดงให้เห็นว่าเครื่องมือวัดมีประสิทธิภาพ

4.3.2 ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของบิตมัสเทลลูไรด์ (BiTe₂)

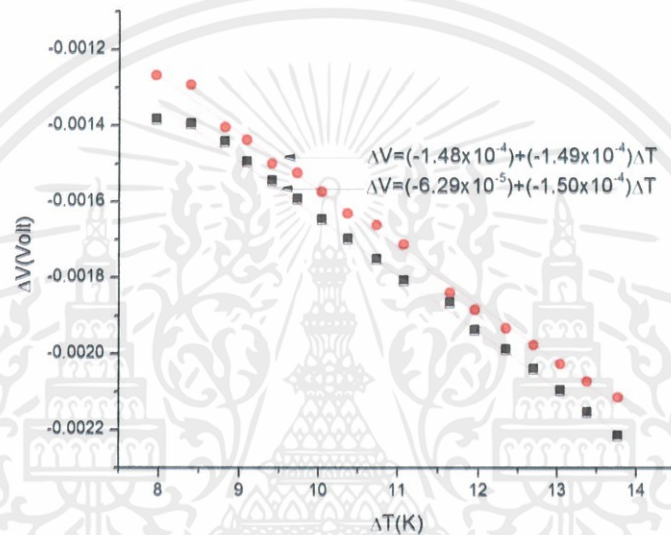
เนื่องจากเทอร์โมอิเล็กทริกส์ในท้องตลาด ส่วนใหญ่ทำมาจากสารประกอบบิตมัสเทลลูไรด์ (BiTe₂) จากการที่เราทราบค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคที่แน่นอนจากเทอร์โมอิเล็กทริกส์ในท้องตลาด เราจึงได้นำสารประกอบบิตมัสเทลลูไรด์ จากท้องตลาดมาทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคเพื่อที่จะทดสอบว่าเครื่องมือที่นำมาใช้ในโครงการพิเศษนี้มีความแม่นยำมากน้อยเพียงใด

เทอร์โมอิเล็กทริกส์ประกอบด้วยสารประกอบบิตมัสเทลลูไรด์ชนิดเอ็นและชนิดพี เราจึงได้ทำการวัดสารประกอบทั้งสองชนิดจำนวนสองครั้งจะได้สมการเส้นตรงที่มีความชันคือค่าสัมประสิทธิ์ซีเบค จากนั้นนำค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคที่ได้มาหาค่าเฉลี่ยแล้วเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคจากเครื่องมือวัดมาตรฐาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับรูปที่ 4.7 สัมประสิทธิ์ซีเบคของบิตมัสเทลลูไรด์ชนิดพี ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากกราฟที่ 4.7 เป็นการวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคบิตมัสเทลลูไรด์ชนิดพี โดยการทำการทดลองวัดสองครั้งเพื่อทดสอบว่าระบบการวัดมีความแม่นยำในการวัดมากน้อยเพียงใด เมื่อทำการวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคครั้งที่ 1 ได้ค่าเท่ากับ $131\mu\text{V}/\text{K}$ วัดครั้งที่ 2 ได้ค่าเท่ากับ $125\mu\text{V}/\text{K}$ ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์ซีเบคของสารประกอบบิตมัสเทลลูไรด์ชนิดพีคือ $128\mu\text{V}/\text{K}$ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคมาตรฐานของสารประกอบบิตมัสเทลลูไรด์ชนิดพีมีค่าเท่ากับ $150.39\mu\text{V}/\text{K}$ [1] เมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคมาตรฐานของสารประกอบบิตมัสเทลลูไรด์ชนิดพีมาเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์ซีเบคบิตมัสเทลลูไรด์ชนิดพีจะได้อัตราความแตกต่างจากค่ามาตรฐานเท่ากับ 16.08%



รูปที่ 4.8 สัมประสิทธิ์ซีเบคของบิตมัสเทลลูไรด์ชนิดเอ็น

จากกราฟที่ 4.8 เป็นการวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของสารประกอบบิตมัสเทลลูไรด์ชนิดเอ็น โดยการทำการวัดสองครั้งเพื่อทดสอบระบบการวัดว่ามีความแม่นยำในการวัดมากน้อยเพียงใดเมื่อทำการวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคครั้งที่ 1 ได้ค่าเท่ากับ $-149\mu\text{V}/\text{K}$ วัดครั้งที่ 2 ได้ค่าเท่ากับ $-150\mu\text{V}/\text{K}$ ตามลำดับ จากกราฟเมื่อ ค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์ซีเบคของสารประกอบบิตมัสเทลลูไรด์ชนิดเอ็นคือ $-149.5\mu\text{V}/\text{K}$ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคมาตรฐานของสารประกอบบิตมัสเทลลูไรด์ชนิดเอ็นมีค่าเท่ากับ $-144.57\mu\text{V}/\text{K}$ [1] เมื่อนำค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคมาตรฐานของสารประกอบบิตมัสเทลลูไรด์ชนิดเอ็นมาเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยสัมประสิทธิ์ซีเบคบิตมัสเทลลูไรด์ชนิดเอ็นจะได้อัตราความแตกต่างจากค่ามาตรฐานเท่ากับ 3.35%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

สำหรับงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการสร้างต้นแบบระบบวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคในห้องปฏิบัติการเพื่อศึกษาวัสดุเทอร์โมอิเล็กทริกส์

จากผลการวิจัยได้ทดสอบวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของ ทองแดง(Cu) และสารประกอบบิตมัสเทลลูไรด์ (BiTe₂) ทั้งชนิดเอ็นและชนิดพีอย่างละสองครั้งแล้วนำมาเฉลี่ยเพื่อเทียบกับค่าที่วัดได้จากเครื่องมือวัดมาตรฐาน โดยวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของทองแดงได้เท่ากับ $-6.88 \mu\text{V/K}$ และวัดค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคของบิตมัสเทลลูไรด์ได้เท่ากับ $-145.5 \mu\text{V/K}$ และ $128 \mu\text{V/K}$ ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับค่าที่วัดได้จากเครื่องมือวัดมาตรฐานพบว่าทองแดงมีความแตกต่างเท่ากับ 14.66% และสารประกอบบิตมัสเทลลูไรด์ชนิดพีและชนิดเอ็นมีค่าเท่ากับ 16.08%, 3.35% ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าระบบการวัดมีประสิทธิภาพ

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการนำชิ้นงานมาทำการวัดทุกครั้งต้องให้ผิวชิ้นงานสัมผัสกับผิวของทองแดงได้สนิทพอดีจะทำให้ค่าของความต่างศักย์ไฟฟ้า (ΔV) มีความคลาดเคลื่อนน้อย
2. เพื่อความละเอียดในการอ่านค่าความต่างศักย์ของดิจิตอลมัลติมิเตอร์ (DMM) โพรบวัดความต่างศักย์ควรมีจุดเชื่อมต่อเพียงจุดเดียว
3. การเพิ่มประสิทธิภาพของระบบการวัดให้ดีขึ้นอาจมีการใช้เทคโนโลยีที่ทันสมัย ทั้งนี้ควรพิจารณาในด้านความคุ้มค่าต่อการลงทุน ซึ่งเป็นแนวทางในการศึกษาต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์โครงการวิจัยและพัฒนาวัสดุ TE ชนิดผลึกเดี่ยว ศูนย์เทคโนโลยีโลหะและวัสดุแห่งชาติ สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2553
- [2] โสพล นุตรงาม อริย์ วิเชียรฉาย สายชล พิมพ์มงคล อุดม ทิพราช 2556. การตรวจสอบความบริสุทธิ์ของโลหะทองแดง ด้วยเครื่องมือวัดสภาพนำไฟฟ้าร่วมกับเครื่องมือวัดสัมประสิทธิ์ซีเบค วารสารวิทยาศาสตร์ลาดกระบัง
- [3] Telkes, M., 1993. Thermoelectric Power and Electrical Resistivity of Minerals. [online] Available at : <http://www.minsocam.org/ammin/AM35/AM35_536.pdf> [Accessed 26 July 2012].
- [4] Danielson, L., 1996. Measurement of the Thermoelectric Properties of Bulk and Thin Film Materials. [online] Available at: <<http://www.osti.gov/bridge/servlets/purl/663573-S3SuWo/webviewable/663573.pdf>>[Accessed 26 July 2012].
- [5] NolasGS,MorelliDT,TrittTM.KUTTERUDITES:aphonon-glass-electroncrystal approachtoadvancedthermoelectricenergyconversionapplications.Annu RevMaterSci1999;29:89–116.
- [6] Riffat SB,MaX.Thermoelectrics:areviewofpresentandpotentialapplica-tions. ApplThermEng2003;23:913–35.
- [7] Zhang HY,MuiYC,TarinM.Analysisofthermoelectriccoolerperformance forhighpowerelectronicpackages.ApplThermEng2010;30:561–8.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

ตารางที่ 1 ผลการวัดค่าอุณหภูมิด้านร้อน (T_H) อุณหภูมิด้านเย็น (T_C) ความแตกต่างของอุณหภูมิ (ΔT) และความต่างศักย์ (ΔV) ของทองแดง (Cu)

T_H	T_C	ΔT	ΔV
23.94	22.22	1.72	-0.000017
23.94	22.23	1.71	-0.000016
23.95	22.25	1.70	-0.000017
23.91	22.25	1.66	-0.000017
23.93	22.30	1.63	-0.000016
23.92	22.31	1.61	-0.000016
23.93	22.32	1.61	-0.000017
23.92	22.31	1.61	-0.000018
23.95	22.32	1.63	-0.000019
23.95	22.36	1.59	-0.000018
24.00	22.32	1.68	-0.000018
24.03	22.32	1.71	-0.000019
24.06	22.34	1.72	-0.000020
24.09	22.38	1.71	-0.000021
24.22	22.37	1.85	-0.000025
24.29	22.35	1.94	-0.000024
24.37	22.39	1.97	-0.000025
24.42	22.42	2.00	-0.000026
24.54	22.41	2.14	-0.000027
24.65	22.43	2.22	-0.000028
24.75	22.45	2.30	-0.000028
24.87	22.46	2.40	-0.000030
25.01	22.47	2.54	-0.000032
25.14	22.47	2.66	-0.000033
25.25	22.51	2.74	-0.000034
25.36	22.52	2.84	-0.000036
25.50	22.55	2.95	-0.000038
25.67	22.55	3.13	-0.000035
25.85	22.53	3.32	-0.000038
26.04	22.56	3.48	-0.000041
26.26	22.55	3.71	-0.000043
26.49	22.55	3.95	-0.000045
26.73	22.54	4.19	-0.000046
26.94	22.53	4.42	-0.000048
27.20	22.56	4.65	-0.000050
27.45	22.56	4.89	-0.000051
27.70	22.54	5.16	-0.000053

27.94	22.57	5.38	-0.000054
28.22	22.57	5.65	-0.000054
28.48	22.59	5.90	-0.000056
28.73	22.62	6.11	-0.000058
28.99	22.63	6.36	-0.000060
29.27	22.65	6.62	-0.000061
29.51	22.66	6.85	-0.000062
29.77	22.70	7.07	-0.000063
30.04	22.72	7.32	-0.000065
30.28	22.76	7.52	-0.000065
30.51	22.76	7.75	-0.000066
30.77	22.80	7.97	-0.000067
31.03	22.80	8.23	-0.000068
31.29	22.85	8.44	-0.000072
31.55	22.87	8.68	-0.000072
31.79	22.91	8.88	-0.000072
32.04	22.95	9.10	-0.000072
32.28	22.98	9.30	-0.000073
32.56	23.00	9.56	-0.000074
32.76	23.03	9.73	-0.000076
33.05	23.07	9.98	-0.000075
33.28	23.09	10.19	-0.000077
33.54	23.14	10.40	-0.000078

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2 ผลการวัดค่าอุณหภูมิด้านร้อน (T_H) อุณหภูมิด้านเย็น (T_C) ความแตกต่างของอุณหภูมิ (ΔT) และความต่างศักย์ (ΔV) ของบิตมัสเทลลูไรด์ชนิดพี (Bi_2Te_3 , P-type) ครั้งที่ 1

T_H	T_C	ΔT	ΔV
32.05	26.37	4.59	0.000486
32.07	26.33	4.67	0.000488
32.08	26.35	4.67	0.000493
32.13	26.35	4.75	0.000504
32.15	26.35	4.77	0.000514
32.16	26.34	4.83	0.000523
32.19	26.35	4.89	0.000536
32.24	26.35	4.95	0.000550
32.30	26.34	5.04	0.000564
32.35	26.32	5.12	0.000582
32.40	26.32	5.20	0.000598
32.50	26.33	5.25	0.000614
32.59	26.35	5.35	0.000631
32.65	26.34	5.41	0.000647
32.73	26.34	5.55	0.000666
32.81	26.35	5.65	0.000685
32.93	26.34	5.78	0.000703
33.06	26.33	5.92	0.000721
33.18	26.30	6.07	0.000742
33.33	26.32	6.21	0.000761
33.46	26.32	6.33	0.000779
33.61	26.33	6.47	0.000803
33.71	26.31	6.64	0.000821
33.89	26.34	6.76	0.000843
34.02	26.31	6.92	0.000864
34.19	26.34	7.08	0.000887
34.38	26.35	7.23	0.000909
34.54	26.34	7.46	0.000935
34.75	26.34	7.64	0.000959
34.92	26.34	7.82	0.000984
35.10	26.33	8.04	0.001010
35.31	26.36	8.20	0.001036
35.54	26.36	8.44	0.001063
35.72	26.37	8.64	0.001085
35.95	26.35	8.87	0.001112
36.20	26.37	9.07	0.001138
36.46	26.36	9.29	0.001165

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในการทำงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ หากมีข้อผิดพลาดประการใดขออภัยเป็นอย่างสูง และต้องอ้างถึงชื่อของเอกสารทุกครั้ง

36.68	26.41	9.46	0.001191
36.92	26.39	9.67	0.001216

ตารางที่ 3 ผลการวัดค่าอุณหภูมิด้านร้อน (T_H) อุณหภูมิด้านเย็น (T_C) ความแตกต่างของอุณหภูมิ (ΔT) และความต่างศักย์ (ΔV) ของบิตมัสเทลลูไรด์ชนิดพี (Bi_2Te_3 , P-type) ครั้งที่ 2

Temp H	Temp C	ΔT	ΔV
30.96	26.49	5.56	0.000577
31.00	26.47	5.60	0.000578
31.03	26.49	5.59	0.000583
31.10	26.48	5.66	0.000588
31.12	26.49	5.66	0.000595
31.17	26.46	5.70	0.000604
31.24	26.46	5.73	0.000613
31.30	26.50	5.74	0.000623
31.38	26.49	5.80	0.000635
31.45	26.49	5.85	0.000648
31.52	26.51	5.90	0.000659
31.59	26.47	6.03	0.000674
31.70	26.47	6.12	0.000690
31.75	26.47	6.17	0.000706
31.88	26.47	6.27	0.000723
32.00	26.47	6.34	0.000740
32.12	26.48	6.45	0.000759
32.24	26.48	6.59	0.000777
32.37	26.49	6.69	0.000797
32.54	26.50	6.83	0.000818
32.64	26.48	6.98	0.000841
32.80	26.50	7.11	0.000862
32.95	26.50	7.21	0.000885
33.11	26.49	7.40	0.000908
33.24	26.49	7.54	0.000931
33.42	26.49	7.70	0.000956
33.58	26.51	7.87	0.000981
33.80	26.50	8.04	0.001007
33.98	26.51	8.23	0.001034
34.15	26.50	8.42	0.001063
34.38	26.52	8.58	0.001102
34.56	26.53	8.78	0.001128
34.80	26.54	9.01	0.001159

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในวงกว้าง
 ไม่ว่าจะฉีกหรือดัดแปลงในลักษณะอื่น ๆ ก็ตามมิให้ละเมิดเนื้อหาและต้องอ้างอิงของเอกสารทุกฉบับไปใช้

35.01	26.52	9.20	0.001189
35.23	26.53	9.42	0.001218
35.44	26.50	9.70	0.001250
35.65	26.54	9.93	0.001282
35.87	26.54	10.15	0.001311
36.06	26.54	10.38	0.001344

ตารางที่ 4 ผลการวัดค่าอุณหภูมิด้านร้อน (T_H) อุณหภูมิด้านเย็น (T_C) ความแตกต่างของอุณหภูมิ (ΔT) และความต่างศักย์ (ΔV) ของบิตมัสเทลลูไรด์ชนิดเอ็น (Bi_2Te_3 , N-type) ครั้งที่ 1

Temp H	Temp C	ΔT	ΔV
31.92	23.95	7.97	-0.001380
32.37	23.97	8.40	-0.001400
32.79	23.98	8.82	-0.001440
33.08	23.99	9.09	-0.001500
33.41	24.00	9.41	-0.001550
33.74	24.02	9.73	-0.001590
34.09	24.05	10.04	-0.001650
34.42	24.05	10.37	-0.001700
34.79	24.05	10.74	-0.001750
35.15	24.07	11.08	-0.001810
35.69	24.05	11.65	-0.001870
36.04	24.08	11.96	-0.001940
36.44	24.09	12.35	-0.001990
36.81	24.11	12.70	-0.002040
37.16	24.12	13.04	-0.002100
37.51	24.13	13.38	-0.002160
37.90	24.13	13.77	-0.002220
38.30	24.15	14.15	-0.002280
38.68	24.16	14.52	-0.002340
39.09	24.18	14.91	-0.002400
39.54	24.17	15.37	-0.002460
40.07	24.19	15.87	-0.002530
40.52	24.20	16.32	-0.002610
40.94	24.22	16.73	-0.002670
41.39	24.25	17.15	-0.002730
41.83	24.26	17.57	-0.002790
42.27	24.26	18.01	-0.002860

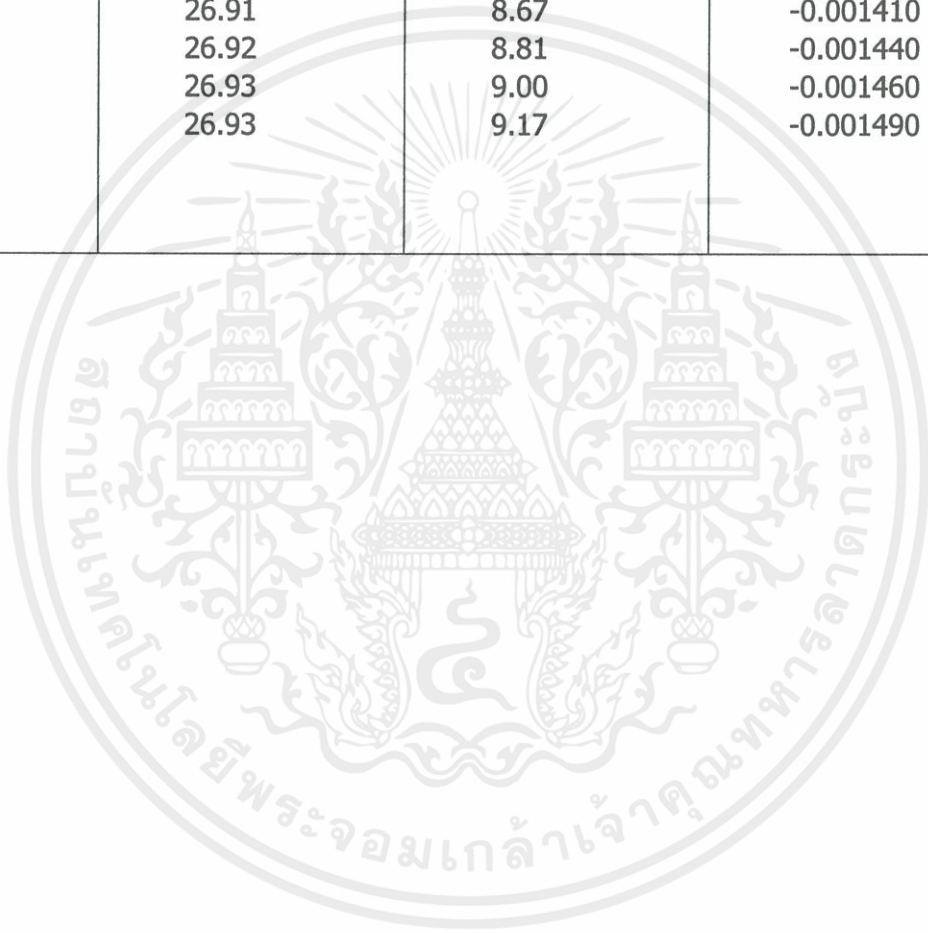
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ในงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในวงกว้าง
 ไม่ว่าจะฉีกไปใช้ในที่อื่น อื่นทั้งห้ามมิให้ลงเนื้อหาและต้องแจ้งเจ้าของเอกสารทุกครั้ง

42.93	24.28	18.65	-0.002930
43.46	24.30	19.16	-0.003000
44.07	24.32	19.75	-0.003070
44.72	24.34	20.39	-0.003140
45.30	24.38	20.93	-0.003220
45.78	24.40	21.38	-0.003290
46.21	24.44	21.77	-0.003370
46.70	24.48	22.22	-0.003430
47.26	24.49	22.77	-0.003500
47.88	24.54	23.34	-0.003570
48.30	24.52	23.78	-0.003640
48.75	24.55	24.20	-0.003700

ตารางที่ 5 ผลการวัดค่าอุณหภูมิด้านร้อน (T_H) อุณหภูมิด้านเย็น (T_C) ความแตกต่างของอุณหภูมิ (ΔT) และ ความต่างศักย์ (ΔV) ของบิตมัสเทลลูไรด์ชนิดเอ็น (Bi_2Te_3 , N-type) ครั้งที่ 2

Temp H	Temp C	ΔT	ΔV
32.21	26.88	5.33	-0.000770
32.20	26.89	5.31	-0.000770
32.22	26.88	5.34	-0.000770
32.25	26.85	5.40	-0.000780
32.27	26.87	5.40	-0.000790
32.26	26.86	5.41	-0.000800
32.34	26.85	5.49	-0.000810
32.37	26.85	5.51	-0.000820
32.41	26.85	5.56	-0.000830
32.45	26.84	5.61	-0.000840
32.49	26.84	5.65	-0.000860
32.53	26.86	5.67	-0.000870
32.59	26.83	5.76	-0.000890
32.63	26.88	5.76	-0.000910
32.74	26.85	5.89	-0.000930
32.87	26.87	6.00	-0.000940
32.96	26.86	6.10	-0.000960
33.02	26.85	6.17	-0.000980
33.10	26.84	6.26	-0.000990
33.18	26.83	6.36	-0.001010
33.31	26.85	6.47	-0.001030
33.41	26.85	6.56	-0.001050
33.56	26.85	6.71	-0.001070

33.66	26.86	6.80	-0.001090
33.76	26.87	6.90	-0.001110
33.90	26.88	7.03	-0.001140
34.02	26.88	7.14	-0.001160
34.11	26.90	7.21	-0.001180
34.24	26.88	7.36	-0.001210
34.39	26.87	7.52	-0.001230
34.63	26.89	7.73	-0.001260
34.81	26.89	7.92	-0.001290
35.00	26.90	8.10	-0.001320
35.21	26.89	8.31	-0.001350
35.39	26.92	8.46	-0.001380
35.57	26.91	8.67	-0.001410
35.73	26.92	8.81	-0.001440
35.93	26.93	9.00	-0.001460
36.10	26.93	9.17	-0.001490



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 6 ค่าสัมประสิทธิ์ซีเบคมาตรฐานของวัสดุชนิดต่าง

Metals	Seebeck Coefficient
	$\mu\text{V/K}$
Antimony	47
Nichrome	25
Molybdenum	10
Cadmium	7.5
Tungsten	7.5
Gold	6.5
Silver	6.5
Copper	6.5
Rhodium	6.0
Tantalum	4.5
Lead	4.0
Aluminum	3.5
Carbon	3.0
Mercury	0.6
Platinum	0
Sodium	-2.0
Potassium	-9.0
Nickel	-15
Constantan	-35
Bismuth	-72

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้