

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสร้างไมโครอิตเตอร์สำหรับตัวตรวจวัดทางชีวภาพ



นายรณกร เจียมสกุล
นายวิศรุต ศรีพุ่มไข

รพ.
ม 2317
2550

เลขที่.....
81600
เลขทะเบียน.....
วัน,เดือน,ปี 19 ส.ย. 2551

b. 11934664
i.

โครงการพิเศษนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดมหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

คณะวิทยาศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานที่ปีการศึกษา 2550. ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Fabrication of Microheater for Biosensor Application



Mr.Thanakorn Jiemsakul

Mr.Witsaroot Sripumkhai

A Special Project Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the Degree of

Bachelor of Science

Department of Applied Physics


Faculty of Science

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง การสร้างไมโครฮีเตอร์สำหรับตัวตรวจวัดทางชีวภาพ
นักศึกษา นายชนากร เจียมสกุล
 นายวิศรุต ศรีพุ่มไต้
ภาควิชา ฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา ฟิสิกส์ประยุกต์
อาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.จิติ หนูแก้ว
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ดร.ศุภนิจ พรธีระภัทร
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม คุณสาเกต ระหงษ์

ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
 อนุมัติให้โครงการพิเศษฉบับนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต

คณะกรรมการตรวจสอบ		ลายมือชื่อ
ประธานกรรมการ	รศ.ดร.วิษณุ เพชรภา	
กรรมการ	ดร.ปิติพร ถนอมงาม	
กรรมการ	อ.เบญจพล ต้นธุ์	
กรรมการที่ปรึกษา	รศ.ดร.จิติ หนูแก้ว	



.....
 (รองศาสตราจารย์วิชาญ เตชะดีธีระ)
 หัวหน้าภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์

ลิขสิทธิ์ของภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โครงการพิเศษเรื่อง	การสร้างไมโครฮีทเตอร์สำหรับตัวตรวจวัดทางชีวภาพ	
นักศึกษา	นายธนากร เจียมสกุล นายวิศรุต ศรีพุ่มไฉ่	
ภาควิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์	คณะวิทยาศาสตร์
สาขาวิชา	ฟิสิกส์ประยุกต์	
ปีการศึกษา	2550	
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.จิตติ หนูแก้ว	
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ดร.ศุภนิจ พรธีระภัทร	
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	คุณสากล ระหงษ์	

บทคัดย่อ

โครงการพิเศษนี้ได้ทำการศึกษาการสร้างไมโครฮีทเตอร์ด้วยโลหะอะลูมิเนียมบนแผ่นซิลิกอน โดยเริ่มจากการออกแบบไมโครฮีทเตอร์ด้วยซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์แล้วจึงทำการสร้างลวดลายด้วยกระบวนการโฟโตลิโทกราฟี กระบวนการกัดโลหะอะลูมิเนียมด้วยสารเคมี หลังจากทำการสร้างไมโครฮีทเตอร์เสร็จแล้วจึงนำไปทำการวัดคุณสมบัติความต้านทานทางไฟฟ้าโดยเครื่องวัดกระแส-แรงดัน และศึกษาการนำความร้อนโดยให้กระแสไฟฟ้าแก่ไมโครฮีทเตอร์แล้วทำการวัดอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงรวมถึงเวลาในการตอบสนองทางความร้อนของไมโครฮีทเตอร์ จะพบว่าเวลาที่ใช้ทำให้อุณหภูมิของไมโครฮีทเตอร์มีค่าคงที่เมื่อทำการจ่ายกระแสค่าหนึ่งมีค่าเท่ากับ 5 นาที และช่วงกระแสที่ทำให้อุณหภูมิเปลี่ยนแปลง 25-130 องศาเซลเซียส จะมีค่าระหว่าง 300-700 มิลลิแอมแปร์ จากไมโครฮีทเตอร์ที่สร้างขึ้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับตัวตรวจวัดทางชีวภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Special Project Title	Fabrication of Microheater for Biosensor Application	
Name	Mr.Thanakorn Jiemsakul Mr.Witsaroot Sripumkhai	
Department	Applied Physics	Faculty of Science
program	Applied Physics	
Academic Year	2007	
Special Project Advisor	Assoc.Prof.Dr.Jiti Nukeaw	
Special Project co-advisor	Dr.Supanit Porntheeraphat	
Special Project co-advisor	Mr.Sakon Rahong	

ABSTRACT

This academic special project studies the fabrication of aluminum micro heater on silicon substrate. Micro heater is patterned with computer-aided design(L-edit), then photolithography process is used for transferring geometric shape on a thin film mask and chemical etching is the final step to obtain the heater. The electrical characteristic of micro heater is measured in terms of I-V curve through HP4156B Precision Semiconductor Parameter Analyzer. The capability of heat generation is carried out through temperature measurement with respect to the current flowing in the micro heater wire. The response time of heater to obtain stable temperature level is about 5 minutes. The current is required to produce 25°C – 130°C heat is about 300 – 700 milliampere. The obtained micro heater can be utilized in fabrication micro pump for biosensor.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้เนื่องจากความกรุณาของบุคคลต่างๆ ที่ช่วยให้ความรู้ให้คำปรึกษาและคำแนะนำต่าง ๆ ในการทำโครงการพิเศษให้สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ข้าพเจ้าจึงกราบขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.จิตติ หนูแก้ว

ขอขอบพระคุณ ดร. ศุภนิจ พรธีระภัทร ที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการทำโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณ คุณสากล ระหงษ์ ที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการทำโครงการพิเศษนี้

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.วิษณุ เพชรภา คร.ปิติพร ถนอมงาม และอาจารย์เบญจพล ต้นธุ์ กรรมการสอบโครงการพิเศษที่ให้คำชี้แนะและตรวจแก้ จนทำให้โครงการพิเศษฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความเรียบร้อย

ขอขอบพระคุณ ทีมนักวิจัยของสำนักนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

ขอขอบพระคุณ บุคลากรของห้องปฏิบัติการวิจัยควอนตัมและสารกึ่งตัวนำทางแสงที่คอยช่วยเหลือและให้คำแนะนำแก่ข้าพเจ้า

ขอขอบพระคุณ ทีมนักวิจัยของ Thai Microelectronics Center (TMEC)

ขอบคุณ เพื่อน ๆ ฟิสิกส์ - Solid รุ่นที่ 23 ทุกคนที่ให้กำลังใจเสมอมา

สุดท้ายขอขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ทำให้ข้าพเจ้ามีวันนี้และคอยเป็นกำลังใจและคอยสนับสนุนในทุกๆเรื่อง คุณประโยชน์ของรายงานฉบับนี้ ขออุทิศแด่ครูบาอาจารย์และผู้มีพระคุณทุกท่าน

นายธนากร เขียมสกุล

นายวิศรุต ศรีพุ่มไฉ่

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญรูป	ช
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	1
1.3 ขอบเขตงานวิจัย	2
1.4 ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย	4
บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานทางความร้อน	5
2.1 ทฤษฎีพื้นฐานทางความร้อน	5
2.1.1 กลไกการถ่ายเทความร้อน	5
2.1.2 การถ่ายเทความร้อน โดยการนำความร้อน	5
2.1.3 กฎเบื้องต้นของการนำความร้อน	6
2.1.4 ความต้านทานของโลหะที่นำมาใช้ทำเป็นไมโครฮีทเตอร์	7
2.2 ขบวนการสร้างไมโครฮีทเตอร์	8
2.2.1 กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี (Photolithography Process)	8
2.2.2 ขั้นตอนการล้าง Dry film	9
2.2.3 กระบวนการกัดอะลูมิเนียมด้วยสารเคมี	9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	10
3.1 การสร้างไมโครฮีเตอร์โดยใช้โลหะ	11
3.1.1 การทำความสะอาดฐานรองรับที่เป็นอะลูมิเนียม/ซิลิกอน	11
3.1.2 การรีดฟิล์มบนฐานรองรับที่เป็นซิลิกอน	11
3.1.3 การฉายแสงยูวี	11
3.1.4 การ develop ฟิล์มที่ไม่ต้องการออก	12
3.1.5 กระบวนการกัดอะลูมิเนียมด้วยสารเคมี	12
3.1.6 การนำ Dry film ออก	12
บทที่ 4 ผลการทดลองและอภิปรายผล	13
4.1 ความต้านทานไฟฟ้าของไมโครฮีเตอร์แต่ละตัว	13
4.2 การหาค่าเวลาการตอบสนองที่ทำให้อุณหภูมิของไมโครฮีเตอร์คงที่	26
4.3 การวิเคราะห์ผลทางความร้อนของไมโครฮีเตอร์แต่ละตัว	28
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	34
เอกสารอ้างอิง	35

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 สภาพนำความร้อน k	6
4.1 แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าของ ไมโครฮีทเตอร์ที่มีลวดลายเป็นวงกลมของแต่ละตัว	14
4.2 แสดงค่าของกระแสและแรงดันที่ให้กับไมโครฮีทเตอร์ลวดลายวงกลม	16
4.3 แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าของ ไมโครฮีทเตอร์ที่มีลวดลายเป็นสี่เหลี่ยมของแต่ละตัว	18
4.4 แสดงค่าของกระแสและแรงดันที่ให้กับไมโครฮีทเตอร์ลวดลายสี่เหลี่ยมใหญ่	20
4.5 แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าของ ไมโครฮีทเตอร์ที่มีลวดลายเป็นสี่เหลี่ยมของแต่ละตัว	22
4.6 แสดงค่าของกระแสและแรงดันที่ให้กับไมโครฮีทเตอร์ลวดลายสี่เหลี่ยมเล็ก	24
4.7 แสดงค่าเวลาคงตัวที่ทำให้อุณหภูมิของไมโครฮีทเตอร์คงที่	26
4.8 แสดงอุณหภูมิของตัวไมโครฮีทเตอร์ลวดลายวงกลม	28
4.9 แสดงอุณหภูมิของตัวไมโครฮีทเตอร์ลวดลายสี่เหลี่ยมใหญ่	30
4.10 แสดงอุณหภูมิของตัวไมโครฮีทเตอร์ลวดลายสี่เหลี่ยมเล็ก	32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 เครื่องหมายแสดงทิศทางการไหลของความร้อนในกฎของ Fourier	6
2.2 แสดงการฉายแสงผ่านโฟโตมาส์ก	8
3.1 แสดงการฉายแสง UV expose ในการสร้างไมโครฮีทเตอร์ด้วยโลหะ	12
4.1 แสดงตำแหน่งของการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของไมโครฮีทเตอร์ ที่มีลวดหลายเป็นวงกลมของแต่ละตัว	13
4.2 แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าของไมโครฮีทเตอร์ลวดหลายวงกลมตัวที่ 1	15
4.3 แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าของไมโครฮีทเตอร์ลวดหลายวงกลมตัวที่ 2	15
4.4 แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าของไมโครฮีทเตอร์ลวดหลายวงกลมตัวที่ 3	16
4.5 แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าของไมโครฮีทเตอร์ลวดหลายวงกลมตัวที่ 2 จากการทดลอง	17
4.6 แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าของไมโครฮีทเตอร์ลวดหลายวงกลมตัวที่ 3 จากการทดลอง	17
4.7 แสดงตำแหน่งของการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของไมโครฮีทเตอร์ ที่มีลวดหลายเป็นสี่เหลี่ยมใหญ่ของแต่ละตัว	18
4.8 แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าของไมโครฮีทเตอร์ลวดหลายสี่เหลี่ยมใหญ่ตัวที่ 1	19
4.9 แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าของไมโครฮีทเตอร์ลวดหลายสี่เหลี่ยมใหญ่ตัวที่ 2	19
4.10 แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าของไมโครฮีทเตอร์ลวดหลายสี่เหลี่ยมใหญ่ตัวที่ 3	19
4.11 ค่าความต้านทานไฟฟ้าของไมโครฮีทเตอร์ลวดหลายสี่เหลี่ยมใหญ่ตัวที่ 2 จากการทดลอง	21
4.12 ค่าความต้านทานไฟฟ้าของไมโครฮีทเตอร์ลวดหลายสี่เหลี่ยมใหญ่ตัวที่ 3 จากการทดลอง	21
4.13 แสดงตำแหน่งของการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของไมโครฮีทเตอร์ ที่มีลวดหลายเป็นสี่เหลี่ยมเล็กของแต่ละตัว	22
4.14 แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าของไมโครฮีทเตอร์ลวดหลายสี่เหลี่ยมเล็กตัวที่ 2	23
4.15 แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าของไมโครฮีทเตอร์ลวดหลายสี่เหลี่ยมเล็กตัวที่ 3	23
4.16 ค่าความต้านทานไฟฟ้าของไมโครฮีทเตอร์ลวดหลายสี่เหลี่ยมเล็กตัวที่ 2 จากการทดลอง	25
4.17 ค่าความต้านทานไฟฟ้าของไมโครฮีทเตอร์ลวดหลายสี่เหลี่ยมเล็กตัวที่ 3 จากการทดลอง	25
4.18 แสดงค่าเวลาการตอบสนองที่ทำให้อุณหภูมิของไมโครฮีทเตอร์คงที่	27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับอุณหภูมิตำแหน่งที่ 2 ของลวดลายวงกลม	29
4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับอุณหภูมิตำแหน่งที่ 3 ของลวดลายวงกลม	29
4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับอุณหภูมิของตำแหน่งที่ 3	30
4.21 แสดงตำแหน่งของการวัดอุณหภูมิของตัวไมโครฮีทเตอร์ลวดลายสี่เหลี่ยมใหญ่	31
4.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับอุณหภูมิของตำแหน่งที่ 2 ลวดลายสี่เหลี่ยมใหญ่	31
4.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับอุณหภูมิของตำแหน่งที่ 3 ลวดลายสี่เหลี่ยมใหญ่	31
4.24 แสดงตำแหน่งของการวัดอุณหภูมิของไมโครฮีทเตอร์ลวดลายสี่เหลี่ยมเล็ก	32
4.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับอุณหภูมิของตำแหน่งที่ 2 ลวดลายสี่เหลี่ยมเล็ก	33
4.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับอุณหภูมิของตำแหน่งที่ 3 ลวดลายสี่เหลี่ยมเล็ก	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ไมโครฟลูอิดิก (Microfluidic) เป็นศาสตร์ในการควบคุมการไหลของของไหลในระดับไมโครเมตร โดยการควบคุมของไหลในขนาดเล็กจำเป็นต้องมีท่อ (Channel) ปั๊ม (Pump) และ วาล์ว (Valve) ขนาดเล็ก เพื่อใช้ในการควบคุมของไหล อุปกรณ์ขนาดเล็กดังกล่าวได้ถูกนำมาประยุกต์สร้างเป็นสิ่งประดิษฐ์อุปกรณ์ตรวจวัดของไหลในระดับไมโครเมตร (Microfluidic chip) หรือ ห้องปฏิบัติการบนชิพ (Lab on a chip) เพื่อจุดประสงค์ต่างๆเช่น เพื่อนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านเคมีวิเคราะห์ การแพทย์ และอุตสาหกรรมอาหาร โดยมีข้อดีคือ

1. สามารถย่อส่วนห้องปฏิบัติการอยู่บนชิพขนาดเล็ก จึงง่ายต่อการพกพาในการใช้งาน สำหรับการตรวจวิเคราะห์ภาคสนาม
2. ใช้สารตัวอย่าง (Sample) ในปริมาณน้อย
3. มีความรวดเร็วในการตรวจวิเคราะห์
4. มีราคาถูกเมื่อเทียบกับเครื่องมือที่มีอยู่ในห้องปฏิบัติการ

ไมโครฮีทเตอร์ (Microheater) เป็นอุปกรณ์ที่ให้ความร้อน เพื่อใช้ในการขับเคลื่อนของไหลให้ไหลในอุปกรณ์ ซึ่งการออกแบบไมโครฮีทเตอร์จะต้องสอดคล้องกับไมโครแชนแนล (Microchannel) ที่ออกแบบไว้เช่นกัน

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. ออกแบบและสร้างไมโครฮีทเตอร์เพื่อเป็นส่วนประกอบของไมโครปั๊มเพื่อใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจวัดของไหลในระดับไมโครเมตร
 - ศึกษาการออกแบบมาร์คโดยใช้โปรแกรม L-edit
 - ศึกษากระบวนการโฟโตลิโทกราฟี (Photolithography)
2. ศึกษาวัสดุที่เหมาะสมที่ใช้ทำเป็นไมโครฮีทเตอร์ เช่น อะลูมิเนียม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

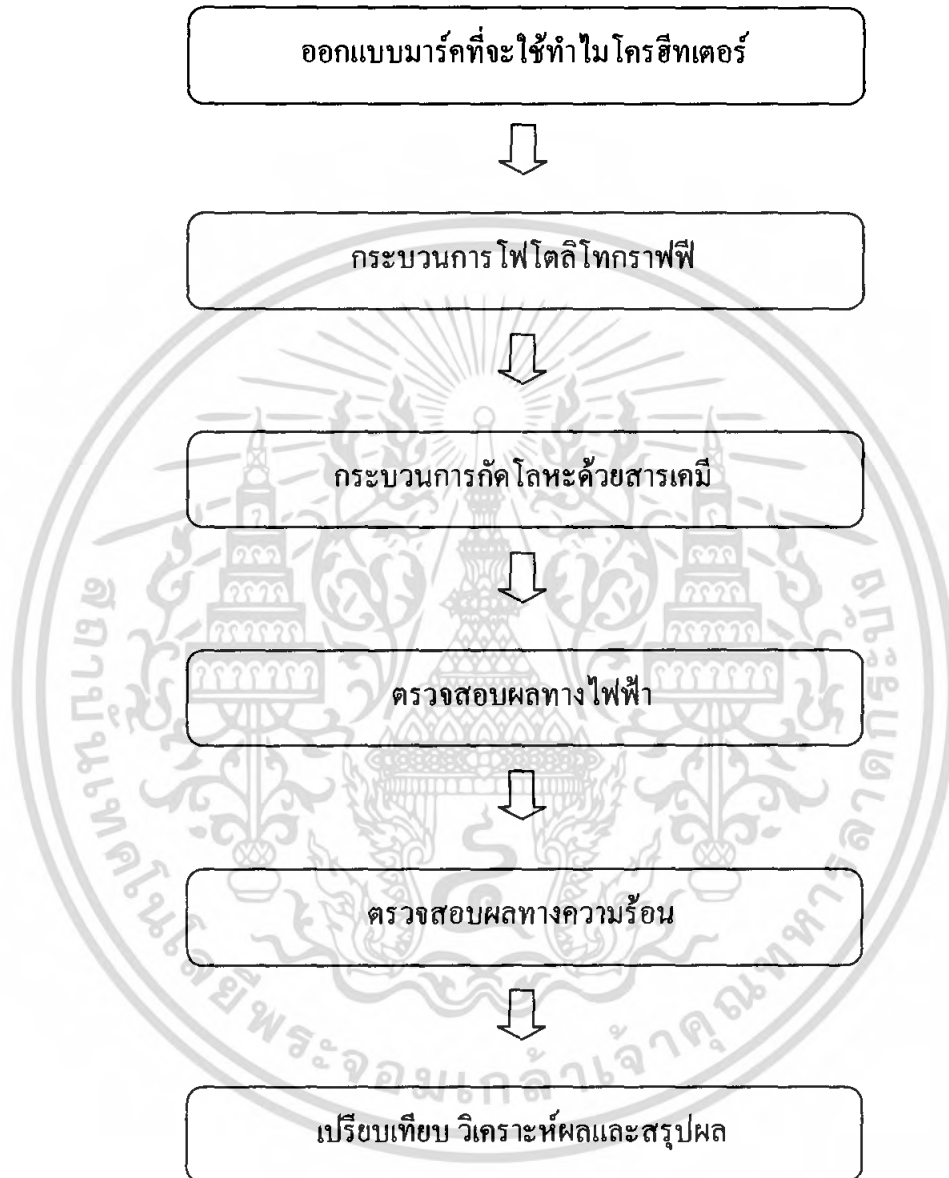
1.3 ขอบเขตการวิจัย

ไมโครฮีทเตอร์เป็นอุปกรณ์พื้นฐานหนึ่งของอุปกรณ์ตรวจวัดของไหลในระดับไมโครเมตร โดยไมโครฮีทเตอร์จะเป็นอุปกรณ์ที่ให้ความร้อนบนชิพ และยังเป็นองค์ประกอบส่วนหนึ่งของ ไมโครปั๊มอีกด้วย ในการออกแบบเพื่อสร้างไมโครฮีทเตอร์จะใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบ โดยไมโครฮีทเตอร์จะมีลักษณะเป็นฟิล์มบาง ซึ่งจะต้องมีความสัมพันธ์กับโครงสร้างของไมโครปั๊ม ซึ่งไมโครฮีทเตอร์ที่ถูกออกแบบไว้ จะถูกนำมาจำลองกับโปรแกรม เพื่อที่จะทำการวิเคราะห์ทางทฤษฎีเพื่อศึกษา ถึงผลของความร้อนที่ให้ออกมาเมื่อทำการจ่ายแรงดันและกระแสไฟฟ้าให้กับไมโครฮีทเตอร์ซึ่งจะช่วยทำให้การออกแบบและสร้างไมโครฮีทเตอร์ถูกต้องตามวัตถุประสงค์มากขึ้น

วัสดุที่จะนำมาสร้างเป็นฟิล์มบางไมโครฮีทเตอร์ที่ดีต้องเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติที่ให้ความร้อนสูง, ตอบสนองเร็วและ ใช้กำลังไฟน้อย โดยการสร้างไมโครฮีทเตอร์จะต้องอาศัยกระบวนการโฟโตลิโทกราฟี และ กระบวนการกัดโลหะด้วยสารเคมี (chemical etching)

ทำการทดลองและนำผลที่ได้มาวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้ความสามารถในการใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ช่วยในการออกแบบไมโครฮาร์ดแวร์รวมทั้งกระบวนการโฟโตลิโทกราฟี
2. สามารถที่จะวิเคราะห์คุณสมบัติของไมโครฮาร์ดแวร์ที่สร้างขึ้นมาได้
3. สามารถนำไมโครฮาร์ดแวร์ไปประยุกต์ใช้งานเป็นส่วนประกอบของไมโครปรีม



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ทฤษฎีพื้นฐานทางความร้อน

2.1.1 กลไกการถ่ายเทความร้อน ซึ่งมีด้วยกัน 3 ประเภทคือ

- การนำความร้อน เป็นการส่งถ่ายความร้อน โดยที่โมเลกุลไม่มีการเคลื่อนย้ายตำแหน่ง โดยทิศทางการไหลของความร้อนจะมีทิศทางที่อุณหภูมิสูง ไปที่อุณหภูมิต่ำ
- การพาความร้อน เกิดจากการเคลื่อนที่ของ โมเลกุลของตัวกลางที่พาความร้อนไปด้วย ซึ่งอาจเกิดจากการพาความร้อนอย่างธรรมชาติ เช่น การเกิดลมหรือการพาความร้อนที่ถูกแรงบังคับ เช่น การระบายความร้อนของหม้อน้ำรถยนต์
- การแผ่รังสีความร้อน เป็นการส่งผ่านความร้อนโดยไม่ต้องอาศัยตัวกลาง

2.1.2 การถ่ายเทความร้อนโดยการนำความร้อน

การถ่ายเทความร้อน โดยการนำ เป็นกลไกของการแลกเปลี่ยนพลังงานภายใน จากวัตถุหนึ่งไปยังวัตถุหนึ่ง หรือจากส่วนหนึ่งของวัตถุไปยังส่วนอื่นๆของวัตถุ โดยการแลกเปลี่ยนพลังงานที่เกิดจากการสั่นของ โมเลกุลที่อยู่ติดกัน หรือ เกิดจากการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนอิสระจากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูง ไปสู่บริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า การถ่ายเทความร้อน โดยการนำนั้นความร้อนจะไหลจาก โมเลกุลของวัตถุที่อุณหภูมิสูง ไปสู่โมเลกุลที่มีอุณหภูมิต่ำกว่าโดยที่วัตถุนั้นไม่มีการเคลื่อนที่ การนำความร้อนจะเกิดขึ้นได้ดีในวัสดุที่เป็นของแข็ง ตัวอย่างของการนำความร้อน ได้แก่

แท่งโลหะที่ผูกเผาให้ร้อนที่ปลายข้างหนึ่งเมื่อเวลาผ่านไปที่ปลายอีกข้างหนึ่งจะร้อนขึ้น เพราะเกิดการถ่ายเทความร้อนโดยการนำ

โลหะส่วนใหญ่ที่เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดีจะเป็นตัวนำความร้อนที่ดีด้วย ตัวอย่างเช่น เงิน ทองแดง อลูมิเนียม และทองคำ เพราะโลหะมีอิเล็กตรอนอิสระที่เป็นตัวช่วยเสริมให้กลไกการถ่ายโอนความร้อนมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

2.1.3 กฎเบื้องต้นของการนำความร้อน

กฎเบื้องต้นที่ใช้อธิบายถึงวิธีการถ่ายเทความร้อน โดยการนำก็คือ กฎของ Fourier ซึ่งกล่าวไว้ว่าอัตราการไหลของความร้อน โดยการนำโดยทิศทางที่กำหนดจะเป็นสัดส่วนกับอัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิกับระยะทาง dT/dn พื้นที่ที่ตั้งฉากกับทิศทางการไหลของความร้อน A ดังนั้นอัตราการถ่ายเทความร้อน โดยการนำในทิศทาง n ก็คือ

$$Q_n = -kA \frac{dT}{dn} \quad (1)$$

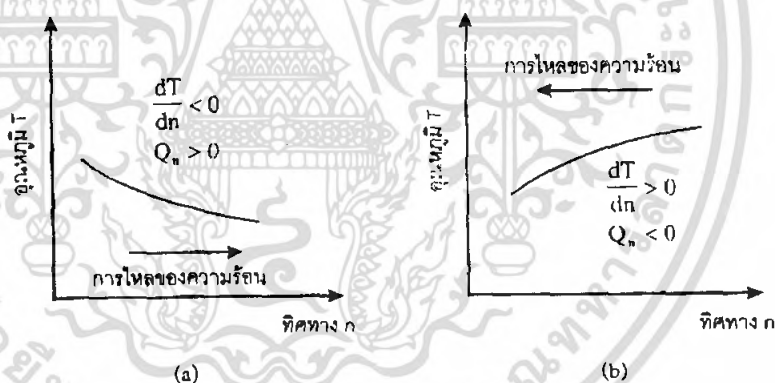
เมื่อ

Q_n คือ อัตราการไหลของความร้อนในทิศทาง n บวก

A คือ พื้นที่ที่ตั้งฉากกับทิศทาง n

dT/dn เป็นเกรเดียนต์ของอุณหภูมิในทิศทางการไหลของความร้อน

k คือ สภาพนำความร้อน (thermal conductivity) เป็นคุณสมบัติของสสาร มีหน่วยคือ 1 J(s m C)^{-1}



รูปที่ 2.1 เครื่องหมายแสดงทิศทางการไหลของความร้อนในกฎของ Fourier

ตารางที่ 2.1 สภาพนำความร้อน k

โลหะ	ค่า k
อลูมิเนียม	205.0
ทองเหลือง	109.0
ทองแดง	385.0
ตะกั่ว	34.7
ปรอท	8.3
เงิน	406.0
เหล็กกล้า	50.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับผู้ใช้ **เหล็กกล้า** ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข้อสังเกต ตัวนำความร้อนที่ดีจะมีค่า k สูง ส่วนฉนวนที่ดีมีค่า k ต่ำ ความต้านทานความร้อน (R) ของแผ่นวัสดุหนา L นิยามได้ว่า $R = \frac{L}{k}$

2.1.4 ความต้านทานของโลหะที่นำมาใช้ทำเป็นไมโครฮีทเตอร์

การสร้างไมโครฮีทเตอร์ด้วยโลหะนั้น จะต้องคำนึงถึงความต้านทานของโลหะ ซึ่งความต้านทานของโลหะจะไปสอดคล้องกับอุณหภูมิของไมโครฮีทเตอร์ โดยเราสามารถอธิบายความต้านทานของโลหะที่นำมาใช้ทำเป็นไมโครฮีทเตอร์ ได้ดังสมการ

$$R = \frac{\rho l}{A} (\Omega) \quad (2)$$

เมื่อ ρ คือ สภาพความต้านทานของโลหะ ($\Omega \cdot \text{cm}$)

l คือ ความยาวของโลหะ (cm)

A คือ พื้นที่ของโลหะ (cm^2)

โดยค่าสภาพความต้านทานของโลหะจะขึ้นกับอุณหภูมิของโลหะด้วย ซึ่งถ้าค่าสภาพความต้านทานของโลหะเพิ่มขึ้น อุณหภูมิของโลหะก็จะเพิ่มสูงขึ้นด้วย โดยค่าสภาพความต้านทานไฟฟ้าจากสมการ A อุณหภูมิของโลหะจะอยู่ที่ 20 องศาเซลเซียส ซึ่งถือเป็นค่าที่อ้างอิงและใช้กันทั่วไป แต่ในกรณีที่อุณหภูมิของโลหะไม่เป็น 20 องศาเซลเซียสหรือสูงกว่านั้น สามารถอธิบายได้โดยสมการ

$$\frac{\Delta R}{R_{ref}} = \alpha \Delta T \quad \text{โดยที่} \quad \Delta R = R - R_{ref}$$

$$\Delta T = T - T_{ref}$$

$$\frac{R - R_{ref}}{R_{ref}} = \alpha (T - T_{ref})$$

$$R = R_{ref} [1 + \alpha (T - T_{ref})] \quad (3)$$

เมื่อ α คือ สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของโลหะ

R_{ref} คือ ความต้านทานของโลหะที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส

T_{ref} คือ อุณหภูมิอ้างอิงที่ 20 องศาเซลเซียส

2.2 ขบวนการสร้างไมโครฮิเตอร์

2.2.1 กระบวนการโฟโตลิโทกราฟี (Photolithography Process)

การออกแบบมาสก์ (Master Mask)

การออกแบบไมโครฮิเตอร์สามารถออกแบบโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ I-Edit ช่วยในการออกแบบลวดลายไมโครฮิเตอร์ในระดับไมโครเมตรเพื่อนำลวดลายที่ออกแบบไว้สร้างเป็นหน้ากาถัดไป

การเตรียมผิวหน้าแผ่น (Surface Preparation)

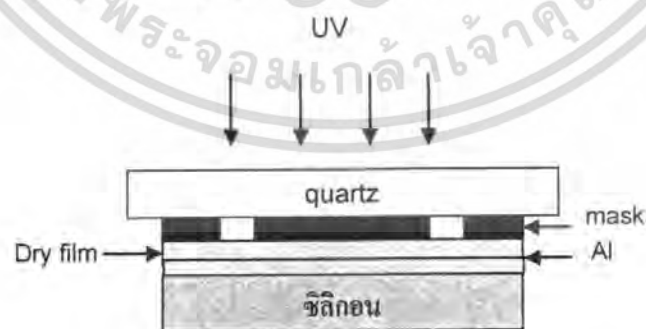
เป็นขั้นตอนที่สำคัญเพื่อป้องกันสิ่งปนเปื้อนหรืออนุภาคที่อยู่ในอากาศซึ่งมีผลทำให้ชิ้นงานสกปรกทำให้ได้อุปกรณ์ที่มีความบกพร่องไม่สมบูรณ์ เนื่องจากสิ่งปนเปื้อนมักมีขนาดใหญ่เมื่อเทียบกับลวดลายไมโครฮิเตอร์

การทำความสะอาดแผ่นฐานรองรับซิลิกอน

นำซิลิกอนเวเฟอร์ที่ใช้เป็นฐานรองมาทำความสะอาดเพื่อกำจัดคราบไขมัน ฟุ้งผง หรือคราบสกปรกที่เกาะอยู่บนแผ่นซิลิกอน โดยกระบวนการทำความสะอาดดังนี้

1. ล้างแผ่นซิลิกอนด้วยสารละลายระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) กับกรดซัลฟิวริก (H_2SO_4) ด้วยอัตราส่วน คือ 1:4 ตามลำดับ เป็นเวลา 10 นาที
2. ล้างด้วยน้ำ DI 3 ครั้ง ครั้งละ 5 นาที
3. เป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน
4. อบด้วย hotplate ที่อุณหภูมิ $120^\circ C$ เป็นเวลานาน 10 นาที
5. นำแผ่นซิลิกอนมาทำความสะอาดด้วยเครื่อง Plasma Cleaner เป็นเวลานาน 3 นาที

ขั้นตอนการฉายแสง (Exposure)



รูปที่ 2.2 แสดงการฉายแสงผ่านโฟโตมาสก์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.2 ขั้นตอนการล้าง Dry film (Development)

การกำจัด dry film ในส่วนที่ไม่ต้องการออกไปและคงเหลือ dry film ในส่วนที่ต้องการไว้ ลวดลายที่เหลืออยู่บนแผ่นกระจกสไลด์คือลวดลายที่ถูกกำหนดโดยโฟโตมาส์กนั่นเอง โดยทำการล้างด้วยสารละลายโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3) หลังจากนั้นล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์ แล้วเป่าให้แห้ง

2.2.3 กระบวนการกัดอะลูมิเนียมด้วยสารเคมี (Aluminium chemical etching)

- Phosphoric Acid (H_3PO_4)
- Acetic Acid (CH_3COOH)
- Nitric Acid (HNO_3)
- DI



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย สามารถแบ่งเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

1. ทำการศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ทำการออกแบบมาส์กที่จะนำไปใช้ในงานวิจัย
3. ออกแบบการทดลองเตรียมอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทดลอง
4. ทำการทดลองตามขั้นตอนที่ออกแบบไว้
5. ตรวจสอบลักษณะของไมโครฮีเตอร์
6. วิเคราะห์และสรุปผล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 การสร้างฟิล์มไมโครฮีเทออร์โดยใช้โลหะ

3.1.1 การทำความสะอาดฐานรองรับที่เป็นอะลูมิเนียม/ซิลิกอน

นำซิลิกอนเวเฟอร์ที่ใช้เป็นฐานรองมาทำความสะอาดเพื่อกำจัดคราบไขมัน ฝุ่นผง หรือ คราบสกปรกที่เกาะอยู่บนแผ่นซิลิกอน โดยกระบวนการทำความสะอาดดังนี้

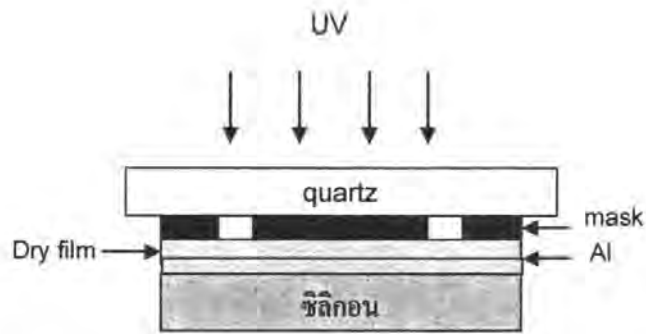
1. ล้างแผ่นซิลิกอนด้วยสารละลายระหว่างไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) กับกรด ซัลฟิวริก (H_2SO_4) ด้วยอัตราส่วน คือ 1: 4 ตามลำดับ เป็นเวลา 10 นาที
2. ล้างด้วยน้ำ DI 3 ครั้ง ครั้งละ 5 นาที
3. เป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน
4. อบด้วย hotplate ที่อุณหภูมิ 120 °C เป็นเวลานาน 10 นาที
5. นำแผ่นซิลิกอนมาทำความสะอาดด้วยเครื่อง Plasma Cleaner เป็นเวลานาน 3 นาที

3.1.2 การรีดฟิล์มบนฐานรองรับที่เป็นซิลิกอน

1. ลอกแผ่นพลาสติกที่ติดอยู่กับแผ่น dry film ด้านในออกด้านหนึ่ง
2. นำ dry film มาทำการรีดบนฐานรองรับที่เป็นซิลิกอน ที่ทำความสะอาดเรียบร้อยแล้ว โดยทำการรีดในตู้ Lamina flow ด้วยเครื่องรีดบัตร พยายามไม่ให้เกิดฟองอากาศ
3. ลอกพลาสติกอีกด้านหนึ่งของ dry film ออก
4. นำฐานรองรับที่รีดฟิล์มแล้วไปอบด้วย hot plate 80 °C นาน 1 นาทีเพื่อให้ฟิล์มติดแน่น กับฐานรองรับ

3.1.3 การฉายแสงยูวี (UV Expose)

1. นำ Negative mask มาทำความสะอาดโดยใช้แอลกอฮอล์เช็ดเบา ๆ
2. นำแผ่นควอทซ์มาประกบ แผ่น Negative mask กับแผ่นฐานรองรับ
3. นำไปฉายแสง UV เป็นเวลา 40 วินาที
4. นำไปอบด้วยเครื่อง Hotplate



รูปที่ 3.1 แสดงการฉายแสง UV expose ในการสร้างไมโครชิพเตอร์ด้วยโลหะ

3.2.4 การ develop ฟิล์์มที่ไม่ต้องการออก

1. นำฐานรองรับที่ผ่านการฉายแสงแล้วมาแช่ในน้ำยา develop ที่ให้มากับ dry film
2. Develop ด้วยโซเดียมคาร์บอเนต (Na_2CO_3)
3. ล้างด้วยน้ำ DI ถ้าฟิล์์มยังออกไม่หมดให้นำไปแช่ใหม่ ทำไปเรื่อยๆ จนฟิล์์มที่ไม่ต้องการออกหมด

3.2.5 กระบวนการกัดอะลูมิเนียมด้วยสารเคมี (Aluminium chemical etching)

- Phosphoric Acid (H_3PO_4)
- Acetic Acid (CH_3COOH)
- Nitric Acid (HNO_3)
- DI

3.1.6 นำ Dry film ออก

โดยการนำไปล้างด้วยอะซิโตนจะทำให้ได้ไมโครชิพเตอร์ที่เป็นโลหะอลูมิเนียมบนฐานรองรับที่เป็นซิลิกอน

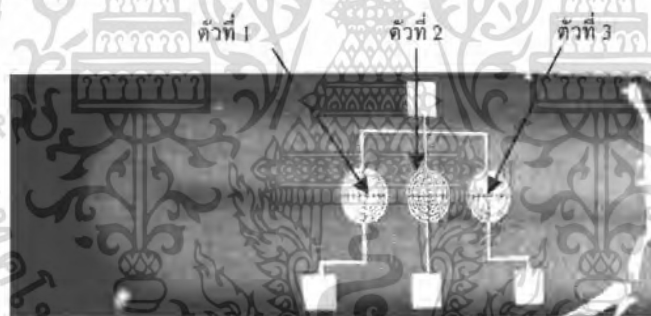
บทที่ 4

ผลการทดลองและอภิปรายผล

4.1 ความต้านทานไฟฟ้าของไมโครฮีเตอร์แต่ละตัว

ในการทดลองครั้งนี้เป็นการวัดความต้านทานไฟฟ้าของไมโครฮีเตอร์ ซึ่งได้ถูกออกแบบมาทั้งหมด 3 ลวดลายคือ วงกลม สีเหลี่ยมเล็กและสีเหลี่ยมใหญ่ โดยทำการให้กระแสไฟฟ้าจากแหล่งจ่ายไฟฟ้า (power supply) เข้าไปในไมโครฮีเตอร์ แล้วบันทึกค่าแรงดันไฟฟ้าและกระแสไฟฟ้า หลังจากนั้นพล็อตกราฟระหว่างกระแสไฟฟ้าและแรงดันไฟฟ้าก็จะได้ความชันของกราฟคือความต้านทานไฟฟ้า จากนั้น ทำการเปรียบเทียบค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ได้จากความชันของกราฟเทียบกับค่าความต้านทานไฟฟ้าที่วัดด้วยเครื่อง HP4156B Precision Semiconductor Parameter Analyzer

4.1.1 ไมโครฮีเตอร์ที่มีลวดลายเป็นวงกลม



รูปที่ 4.1 แสดงตำแหน่งของการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของไมโครฮีเตอร์ที่มีลวดลายเป็นวงกลมของแต่ละตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

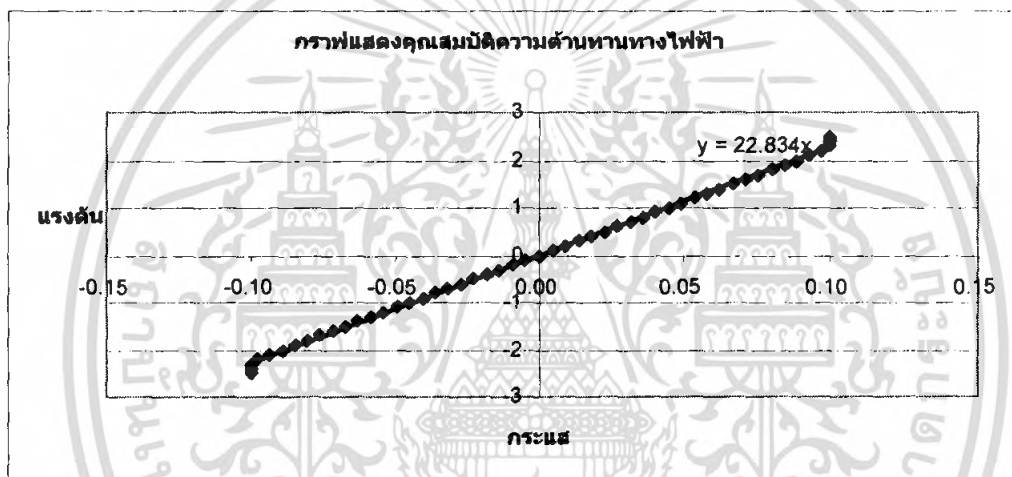
4.1.1.1 การวัดค่าความต้านทานด้วยเครื่อง HP4156B Precision Semiconductor Parameter Analyzer

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าของไมโครซีทเตอร์ที่มีลวดกลายเป็นวงกลมของแต่ละตัว

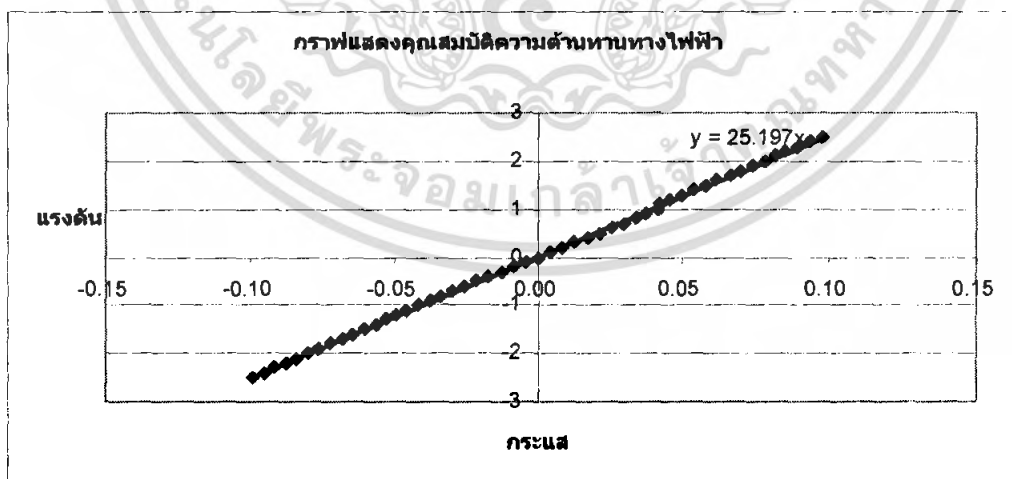
ตัวที่ 1		ตัวที่ 2		ตัวที่ 3	
V (Volt)	I (A)	V (Volt)	I (A)	V (Volt)	I (A)
-2.5	-0.0999999	-2.5	-0.099162	-2.5	-0.100001
-2.4	-0.0999999	-2.4	-0.095383	-2.4	-0.100001
-2.3	-0.1	-2.3	-0.091601	-2.3	-0.098308
-2.2	-0.097733	-2.2	-0.087753	-2.2	-0.094236
-2.1	-0.093463	-2.1	-0.083907	-2.1	-0.090168
-2	-0.089136	-2	-0.08002	-2	-0.086034
-1.9	-0.084821	-1.9	-0.076131	-1.9	-0.081905
-1.8	-0.08045	-1.8	-0.072234	-1.8	-0.077715
-1.7	-0.076097	-1.7	-0.068279	-1.7	-0.073543
-1.6	-0.071692	-1.6	-0.06431	-1.6	-0.06931
-1.5	-0.067313	-1.5	-0.060284	-1.5	-0.065098
-1.4	-0.062877	-1.4	-0.056323	-1.4	-0.060825
-1.3	-0.058461	-1.3	-0.052714	-1.3	-0.056569
-1.2	-0.053994	-1.2	-0.04913	-1.2	-0.052261
-1.1	-0.049555	-1.1	-0.045617	-1.1	-0.047975
-1	-0.045068	-1	-0.041602	-1	-0.043641
-0.9	-0.040606	-0.9	-0.03784	-0.9	-0.039326
-0.8	-0.036098	-0.8	-0.033823	-0.8	-0.034967
-0.7	-0.031619	-0.7	-0.029678	-0.7	-0.030634
-0.6	-0.027099	-0.6	-0.025468	-0.6	-0.026256
-0.5	-0.022607	-0.5	-0.021273	-0.5	-0.021906
-0.4	-0.018074	-0.4	-0.017027	-0.4	-0.017516
-0.3	-0.013574	-0.3	-0.012802	-0.3	-0.013157
-0.2	-0.009033	-0.2	-0.008526	-0.2	-0.008755
-0.1	-0.004528	-0.1	-0.004274	-0.1	-0.004388
0	1.54E-05	0	1.54E-05	0	1.59E-05
0.1	0.0045235	0.1	0.0042693	0.1	0.0043859
0.2	0.0090283	0.2	0.0085162	0.2	0.0087513
0.3	0.013568	0.3	0.012783	0.3	0.01315
0.4	0.018104	0.4	0.017037	0.4	0.017545
0.5	0.022601	0.5	0.021236	0.5	0.0219
0.6	0.027127	0.6	0.02546	0.6	0.026284
0.7	0.031613	0.7	0.029652	0.7	0.030627
0.8	0.036124	0.8	0.033856	0.8	0.034998
0.9	0.040593	0.9	0.037731	0.9	0.03932
1	0.045088	1	0.041486	1	0.043667
1.1	0.04953	1.1	0.042688	1.1	0.047966
1.2	0.053994	1.2	0.045974	1.2	0.052281
1.3	0.058406	1.3	0.04993	1.3	0.056541
1.4	0.062834	1.4	0.054016	1.4	0.060824
1.5	0.067207	1.5	0.058052	1.5	0.065052

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี โดยไม่ให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ขออนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวที่ 1		ตัวที่ 2		ตัวที่ 3	
V (Volt)	I (A)	V (Volt)	I (A)	V (Volt)	I (A)
1.6	0.071588	1.6	0.06211	1.6	0.069278
1.7	0.075922	1.7	0.066334	1.7	0.073456
1.8	0.080278	1.8	0.070394	1.8	0.077637
1.9	0.084593	1.9	0.074337	1.9	0.08178
2	0.088918	2	0.07814	2	0.085947
2.1	0.093202	2.1	0.081804	2.1	0.09006
2.2	0.097511	2.2	0.085493	2.2	0.094191
2.3	0.099999	2.3	0.089433	2.3	0.098267
2.4	0.099998	2.4	0.093739	2.4	0.1
2.5	0.1	2.5	0.098036	2.5	0.100001

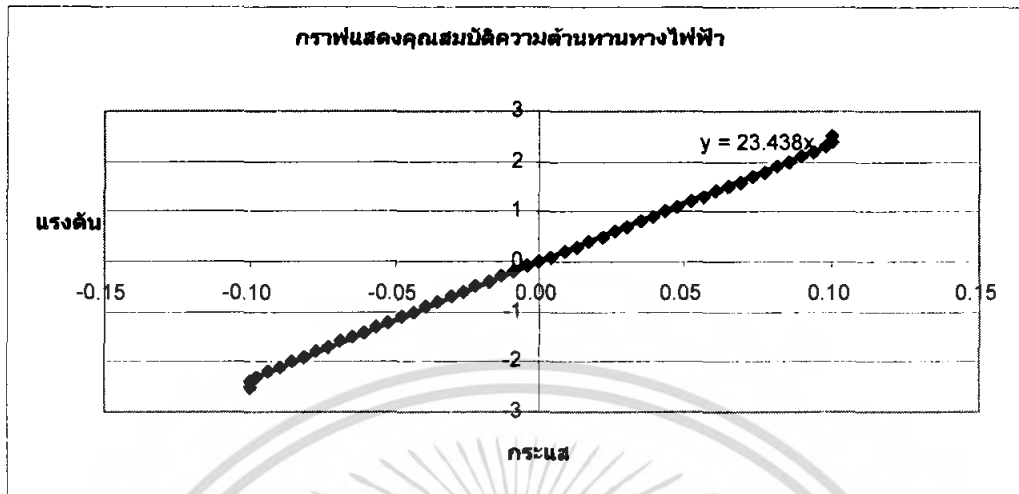


รูปที่ 4.2 แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าของไมโครฮิเตอร์ลวดลายวงกลมตัวที่ 1



รูปที่ 4.3 แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าของไมโครฮิเตอร์ลวดลายวงกลมตัวที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าของไมโครฮีเตอร์ที่มีลวดลายนวงกลมตัวที่ 3

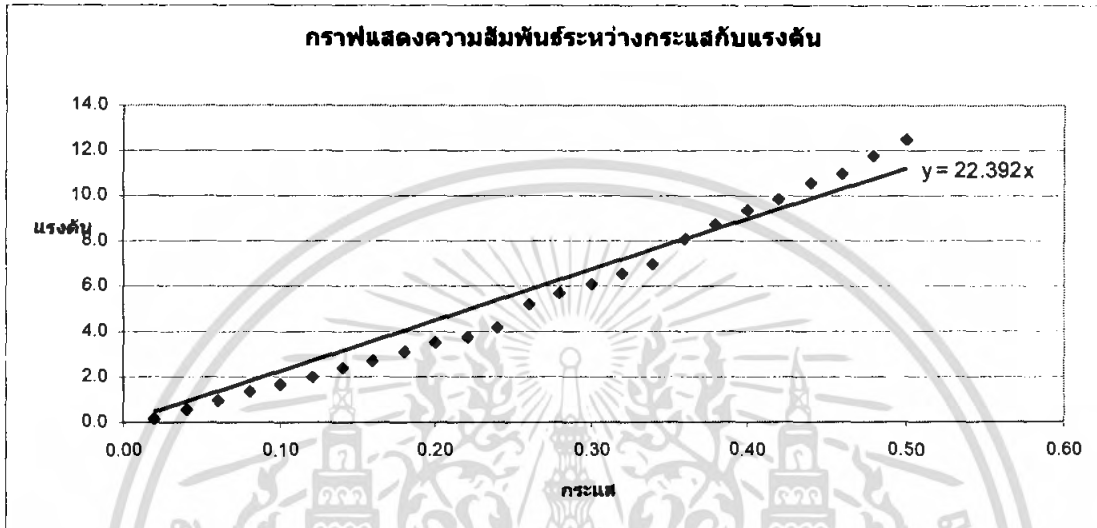
4.1.1.2 ผลจากการวัดโดยการทดลองของไมโครฮีเตอร์ลวดลายนวงกลม

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าของกระแสและแรงดันที่ให้กับไมโครฮีเตอร์ลวดลายนวงกลม

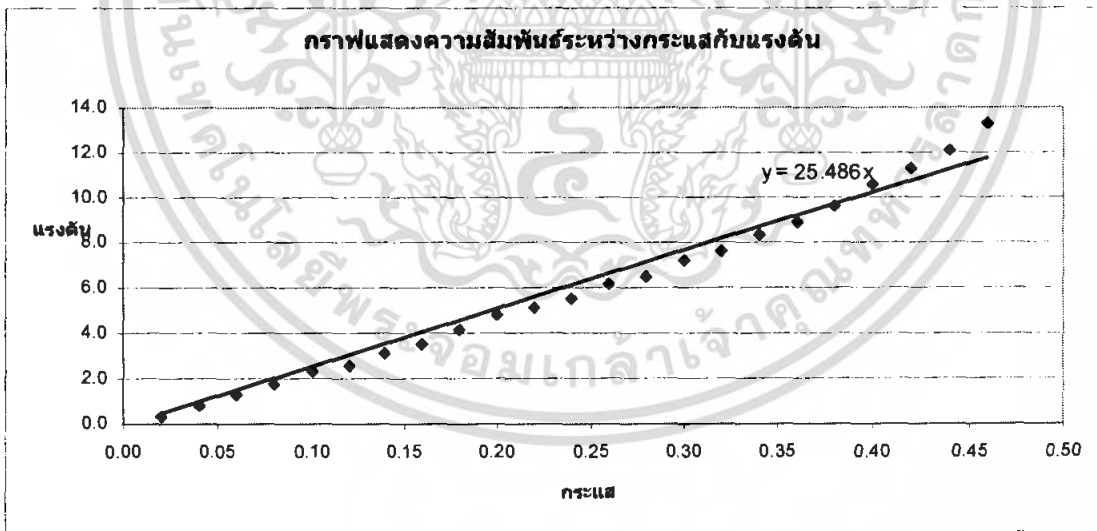
ตัวที่ 2		ตัวที่ 3	
V (Volt)	I (A)	V (Volt)	I (A)
0.2	0.02	0.3	0.02
0.6	0.04	0.8	0.04
1.0	0.06	1.3	0.06
1.4	0.08	1.8	0.08
1.7	0.10	2.3	0.10
2.0	0.12	2.6	0.12
2.4	0.14	3.1	0.14
2.7	0.16	3.5	0.16
3.1	0.18	4.2	0.18
3.5	0.20	4.8	0.20
3.8	0.22	5.1	0.22
4.2	0.24	5.5	0.24
5.2	0.26	6.2	0.26
5.7	0.28	6.5	0.28
6.1	0.30	7.2	0.30
6.6	0.32	7.6	0.32
7.0	0.34	8.3	0.34
8.1	0.36	8.9	0.36
8.7	0.38	9.6	0.38
9.4	0.40	10.6	0.40
9.8	0.42	11.3	0.42
10.6	0.44	12.1	0.44
11.0	0.46	13.3	0.46
11.8	0.48		
12.5	0.50		

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หมายเหตุ : จากตารางจะเห็นได้ว่าทำการวัดเฉพาะตัวที่ 2 กับตัวที่ 3 เนื่องจากค่าความต้านทานของตัวที่ 1 และ ตัวที่ 3 มีค่าใกล้เคียงกัน



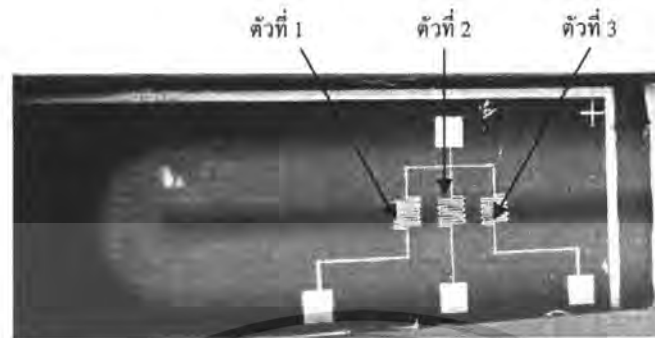
รูปที่ 4.5 แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าของไมโครฮีทเตอร์ลวดลายวงกลมตัวที่ 2 จากการทดลอง



รูปที่ 4.6 แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าของไมโครฮีทเตอร์ลวดลายวงกลมตัวที่ 3 จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ **81600** เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 ไมโครฮีทเตอร์ที่มีลวดลายเป็นสี่เหลี่ยมใหญ่



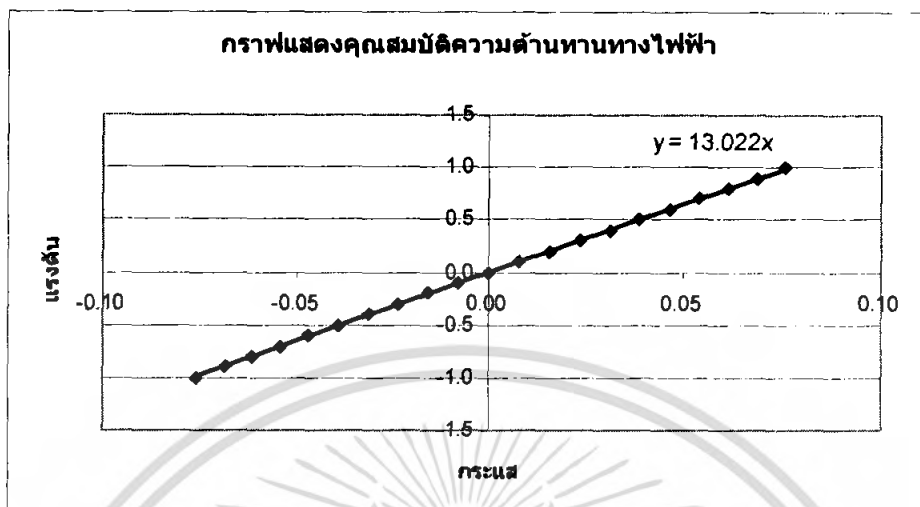
รูปที่ 4.7 แสดงตำแหน่งของการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของไมโครฮีทเตอร์ที่มีลวดลายเป็นสี่เหลี่ยมใหญ่ของแต่ละตัว

4.1.2.1 การวัดค่าความต้านทานด้วยเครื่องวัดกระแสแรงดัน

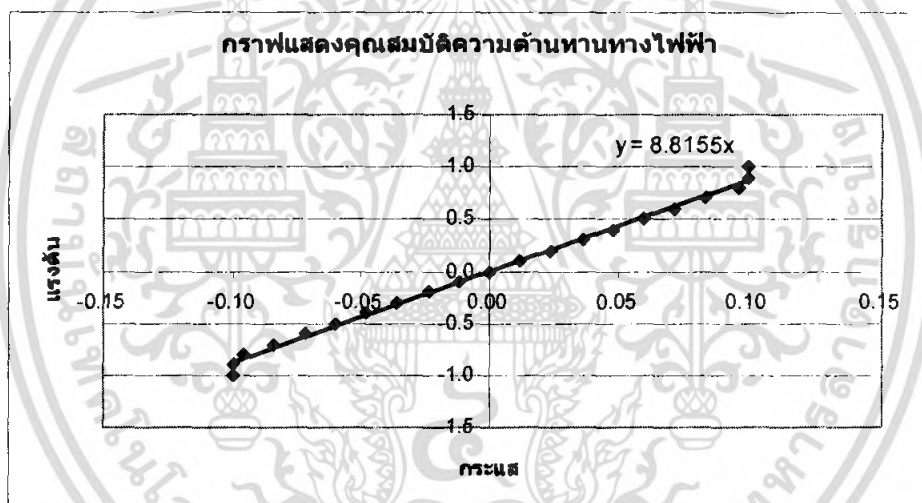
ตารางที่ 4.3 แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าของไมโครฮีทเตอร์ที่มีลวดลายเป็นสี่เหลี่ยมใหญ่ของแต่ละตัว

ตัวที่ 1		ตัวที่ 2		ตัวที่ 3	
V (Volt)	I (A)	V (Volt)	I (A)	V (Volt)	I (A)
-1	-0.075705	-1	-0.099997	-1	-0.084396
-0.9	-0.068685	-0.9	-0.099998	-0.9	-0.076156
-0.8	-0.061431	-0.8	-0.095808	-0.8	-0.067792
-0.7	-0.054092	-0.7	-0.083876	-0.7	-0.059452
-0.6	-0.04657	-0.6	-0.071852	-0.6	-0.051002
-0.5	-0.038998	-0.5	-0.059922	-0.5	-0.042585
-0.4	-0.031275	-0.4	-0.047892	-0.4	-0.034071
-0.3	-0.023546	-0.3	-0.03596	-0.3	-0.025605
-0.2	-0.015699	-0.2	-0.023934	-0.2	-0.017051
-0.1	-0.0078788	-0.1	-0.011997	-0.1	-0.0085523
0	1.70E-05	0	2.10E-05	0	1.84E-05
0.1	0.007859	0.1	0.01197	0.1	0.0085271
0.2	0.015678	0.2	0.023903	0.2	0.017025
0.3	0.023525	0.3	0.035928	0.3	0.025575
0.4	0.031316	0.4	0.047951	0.4	0.034108
0.5	0.03898	0.5	0.059882	0.5	0.042554
0.6	0.046615	0.6	0.071904	0.6	0.051036
0.7	0.054095	0.7	0.083839	0.7	0.059418
0.8	0.061504	0.8	0.095857	0.8	0.067819
0.9	0.068722	0.9	0.099997	0.9	0.076101
1	0.075879	1	0.099996	1	0.084385

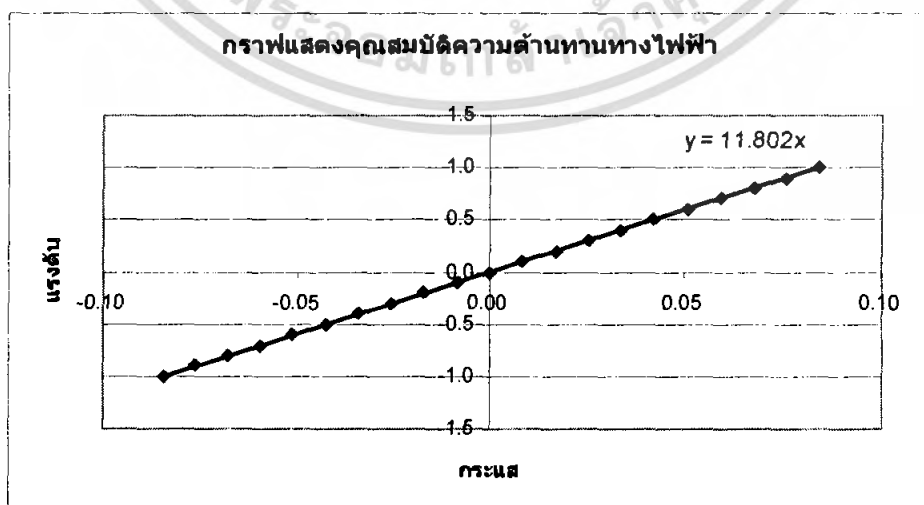
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าของไมโครฮีเตอร์ลวดลายสี่เหลี่ยมใหญ่ตัวที่ 1



รูปที่ 4.9 แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าของไมโครฮีเตอร์ลวดลายสี่เหลี่ยมใหญ่ตัวที่ 2



รูปที่ 4.10 แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าของไมโครฮีเตอร์ลวดลายสี่เหลี่ยมใหญ่ตัวที่ 3

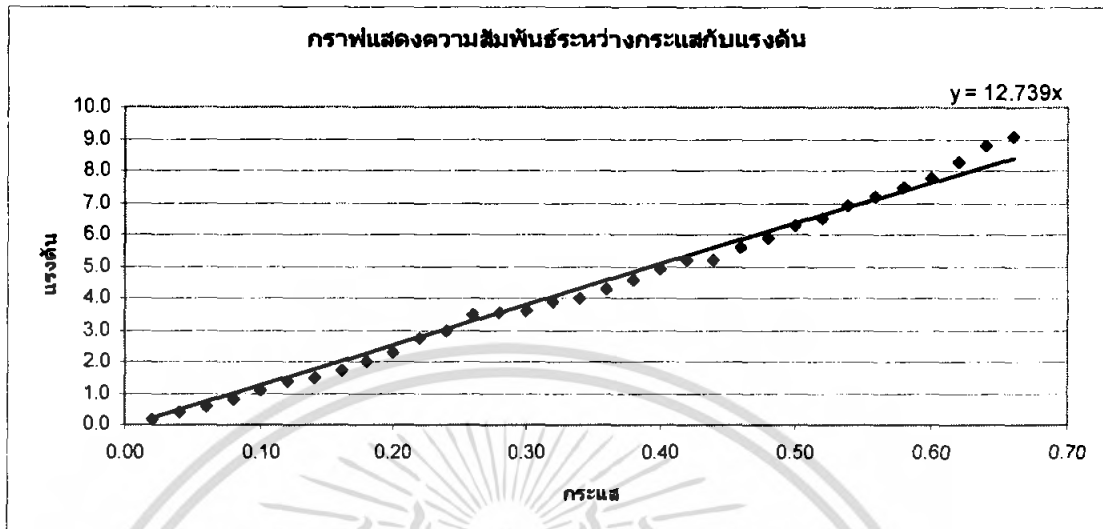
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อเผยแพร่ในเชิงพาณิชย์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2.2 ผลจากการวัดโดยการทดลองของไมโครฮีเตอร์ลวดลายสี่เหลี่ยมใหญ่
 ตารางที่ 4.4 แสดงค่าของกระแสและแรงดันที่ให้กับ ไมโครฮีเตอร์ลวดลายสี่เหลี่ยมใหญ่

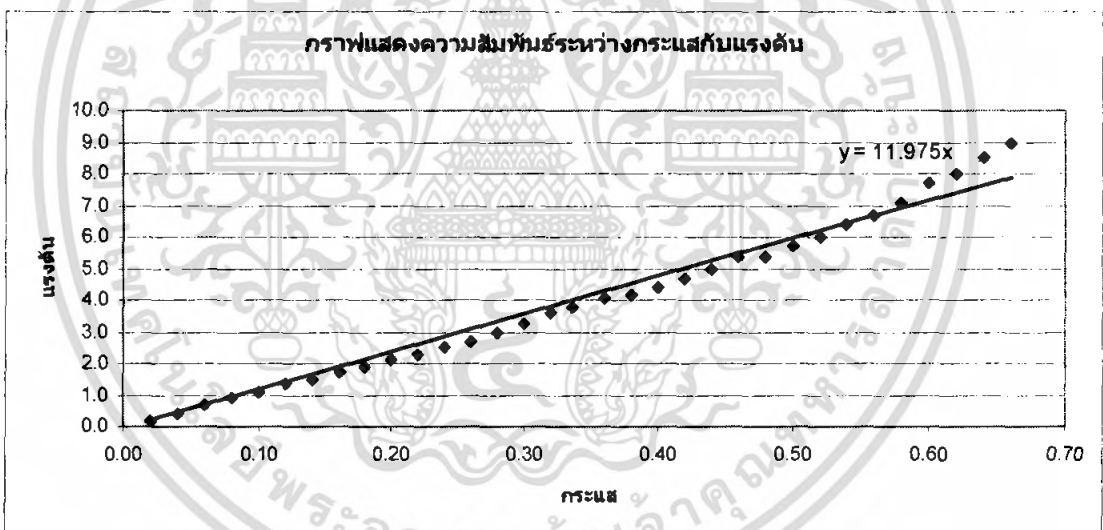
ตัวที่ 2		ตัวที่ 3	
V (Volt)	I (A)	V (Volt)	I (A)
0.2	0.02	0.2	0.02
0.4	0.04	0.4	0.04
0.6	0.06	0.7	0.06
0.8	0.08	0.9	0.08
1.1	0.10	1.1	0.10
1.4	0.12	1.4	0.12
1.5	0.14	1.5	0.14
1.7	0.16	1.7	0.16
2.0	0.18	1.9	0.18
2.3	0.20	2.1	0.20
2.7	0.22	2.3	0.22
3.0	0.24	2.5	0.24
3.5	0.26	2.7	0.26
3.5	0.28	3.0	0.28
3.6	0.30	3.3	0.30
3.9	0.32	3.6	0.32
4.0	0.34	3.8	0.34
4.3	0.36	4.1	0.36
4.6	0.38	4.2	0.38
4.9	0.40	4.4	0.40
5.2	0.42	4.7	0.42
5.2	0.44	5.0	0.44
5.6	0.46	5.4	0.46
5.9	0.48	5.4	0.48
6.3	0.50	5.7	0.50
6.5	0.52	6.0	0.52
6.9	0.54	6.4	0.54
7.2	0.56	6.7	0.56
7.5	0.58	7.1	0.58
7.8	0.60	7.7	0.60
8.3	0.62	8.0	0.62
8.8	0.64	8.5	0.64
9.1	0.66	9.0	0.66

หมายเหตุ : จากตารางจะเห็นได้ว่าการวัดเฉพาะตัวที่ 2 กับตัวที่ 3 เนื่องจากค่าความต้านทานของ
 ตัวที่ 1 และ ตัวที่ 3 มีค่าใกล้เคียงกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



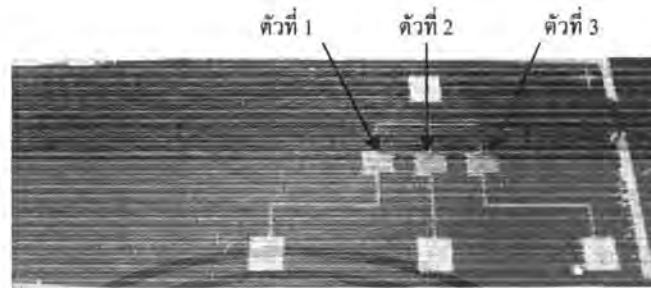
รูปที่ 4.11 ค่าความต้านทานไฟฟ้าของไมโครฮีทเตอร์ลวดลายนีเคลียมใหญ่ตัวที่ 2 จากการทดลอง



รูปที่ 4.12 ค่าความต้านทานไฟฟ้าของไมโครฮีทเตอร์ลวดลายนีเคลียมใหญ่ตัวที่ 3 จากการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 ไมโครฮีเตอร์ที่มีลวดลายเป็นสี่เหลี่ยมเล็ก



รูปที่ 4.13 แสดงตำแหน่งของการวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของไมโครฮีเตอร์ที่มีลวดลายเป็นสี่เหลี่ยมเล็กของแต่ละตัว

4.1.3.1 การวัดค่าความต้านทานด้วยเครื่องวัดกระแส-แรงดัน

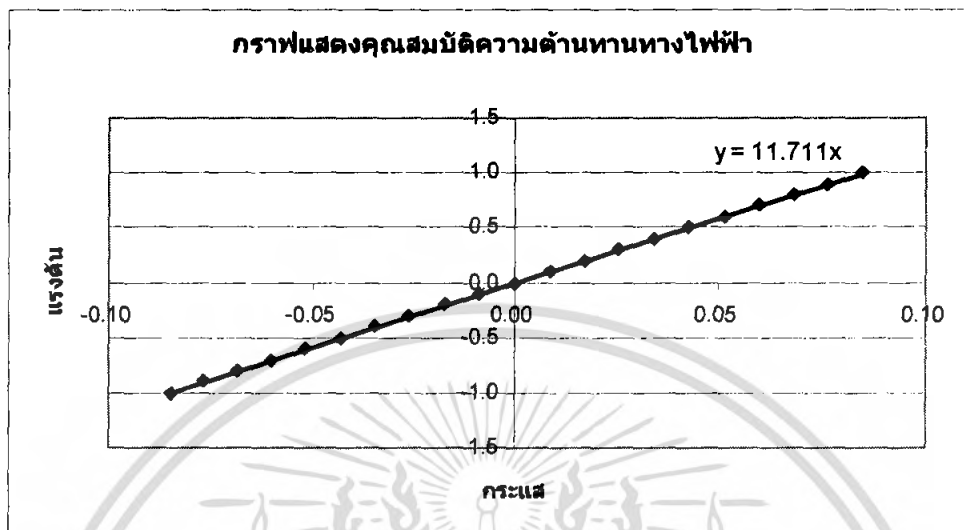
ตารางที่ 4.5 แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าของไมโครฮีเตอร์ที่มีลวดลายเป็นสี่เหลี่ยมของแต่ละตัว

ตัวที่ 2		ตัวที่ 3	
V (Volt)	I (A)	V (Volt)	I (A)
-1	-0.084924	-1	-0.073853
-0.9	-0.076713	-0.9	-0.066504
-0.8	-0.068353	-0.8	-0.059089
-0.7	-0.059989	-0.7	-0.051736
-0.6	-0.051492	-0.6	-0.044321
-0.5	-0.043011	-0.5	-0.036964
-0.4	-0.034424	-0.4	-0.029543
-0.3	-0.025874	-0.3	-0.022184
-0.2	-0.017233	-0.2	-0.014761
-0.1	-0.0086436	-0.1	-0.0074007
0	1.94E-05	0	1.75E-05
0.1	0.0086215	0.1	0.0073841
0.2	0.017208	0.2	0.014747
0.3	0.025846	0.3	0.022161
0.4	0.034462	0.4	0.029582
0.5	0.042977	0.5	0.036937
0.6	0.051515	0.6	0.044355
0.7	0.059933	0.7	0.05171
0.8	0.068345	0.8	0.059123
0.9	0.076595	0.9	0.066473
1	0.084775	1	0.073882

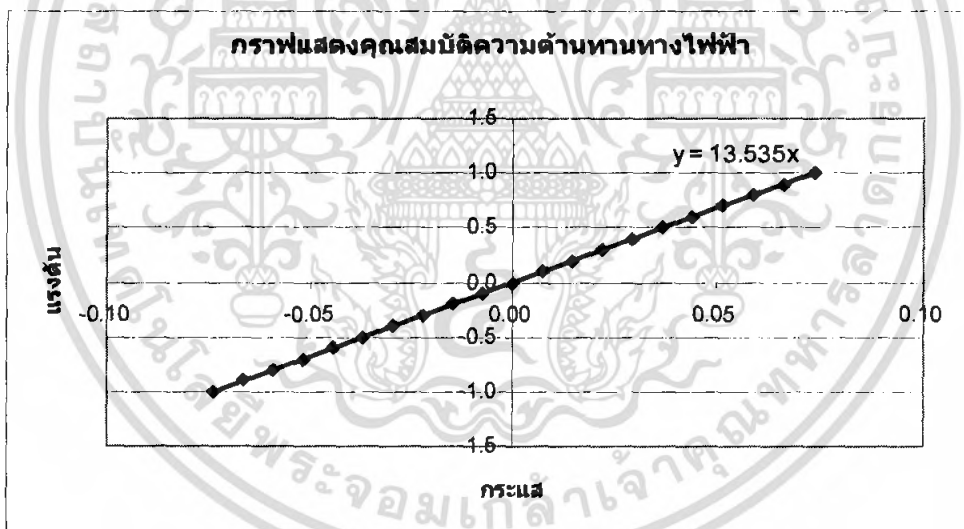
หมายเหตุ : จากตารางจะเห็นว่าทำการวัดเฉพาะตัวที่ 2 กับตัวที่ 3 เนื่องจากตัวที่ 1 ลวดลายไม่

สมบูรณ์ จึงไม่สามารถวัดได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ลงวันเวลาให้รับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.14 แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าของไมโครฮีทเตอร์ลวดลายสี่เหลี่ยมเล็กตัวที่ 2



รูปที่ 4.15 แสดงค่าความต้านทานไฟฟ้าของไมโครฮีทเตอร์ลวดลายสี่เหลี่ยมเล็กตัวที่ 3

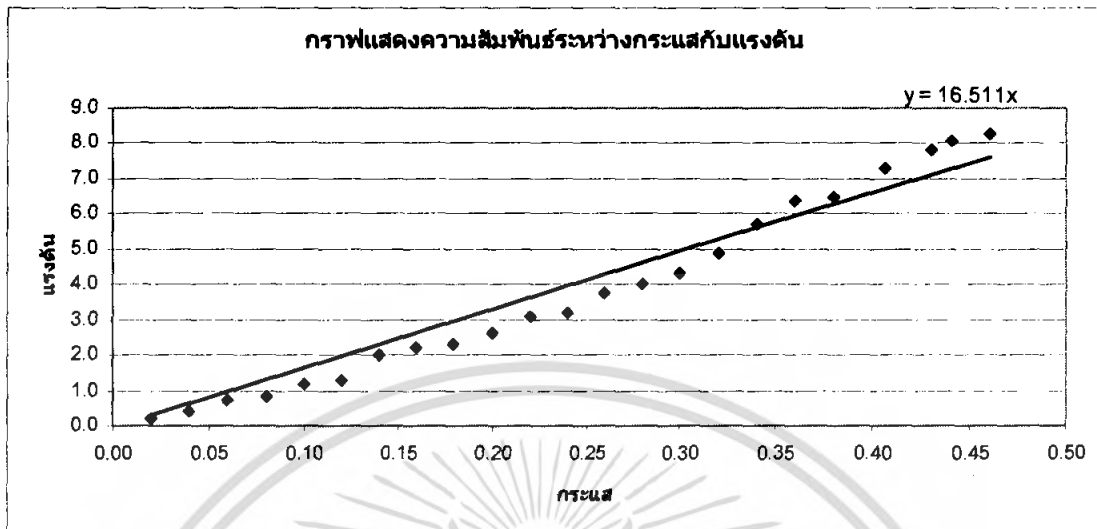
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3.2 ผลจากการวัดโดยการทดลองของไมโครฮีเตอร์ลวดลายสี่เหลี่ยมเล็ก

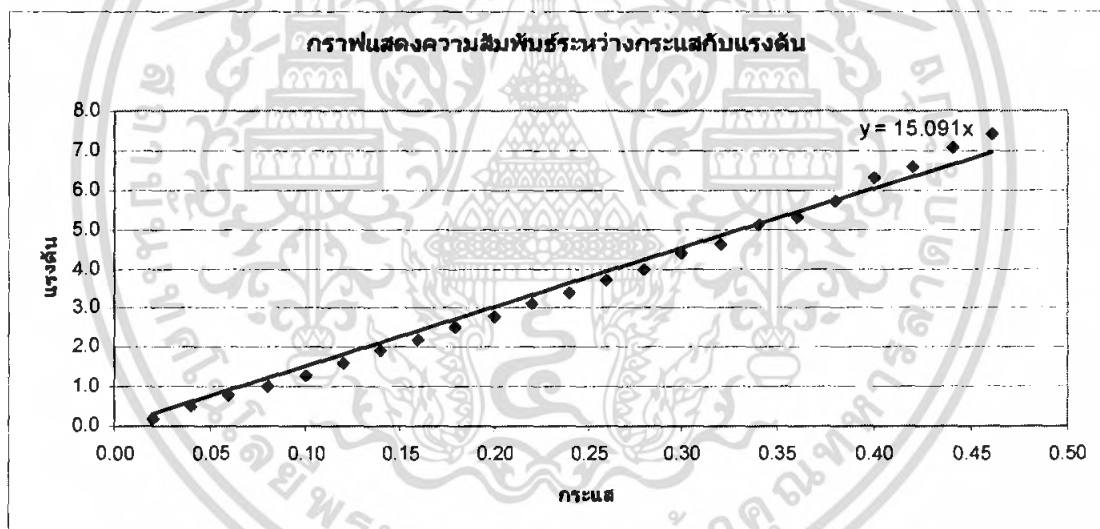
ตารางที่ 4.6 แสดงค่าของกระแสและแรงดันที่ให้กับไมโครฮีเตอร์ลวดลายสี่เหลี่ยมเล็ก

ตัวที่ 2		ตัวที่ 3	
V (Volt)	I (A)	V (Volt)	I (A)
0.2	0.02	0.2	0.02
0.4	0.04	0.5	0.04
0.7	0.06	0.8	0.06
0.8	0.08	1.0	0.08
1.2	0.10	1.3	0.10
1.3	0.12	1.6	0.12
2.0	0.14	1.9	0.14
2.2	0.16	2.2	0.16
2.3	0.18	2.5	0.18
2.6	0.20	2.8	0.20
3.1	0.22	3.1	0.22
3.2	0.24	3.4	0.24
3.8	0.26	3.7	0.26
4.0	0.28	4.0	0.28
4.3	0.30	4.4	0.30
4.9	0.32	4.6	0.32
5.7	0.34	5.1	0.34
6.4	0.36	5.3	0.36
6.5	0.38	5.7	0.38
7.3	0.41	6.3	0.40
7.8	0.43	6.6	0.42
8.1	0.44	7.1	0.44
8.3	0.46	7.4	0.46

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.16 ค่าความต้านทานไฟฟ้าของไมโครซีทเทอร์ลวดลายสี่เหลี่ยมเล็กตัวที่ 2 จากการทดลอง



รูปที่ 4.17 ค่าความต้านทานไฟฟ้าของไมโครซีทเทอร์ลวดลายสี่เหลี่ยมเล็กตัวที่ 3 จากการทดลอง

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ได้จากการทดลอง และค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ได้จากเครื่อง HP4156B Precision Semiconductor Parameter Analyzer มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก โดยค่าความต้านทานในแต่ละตำแหน่งการวัดจากรูปนั้น พบว่าของตัวที่ 1 และ 3 มีค่าความต้านทานไฟฟ้าใกล้เคียงกัน ส่วนในค่าความต้านทานไฟฟ้าของตัวที่ 2 จะมีค่าน้อยกว่าตัวที่ 1 และ 3 ซึ่งสอดคล้องกับความสัมพันธ์ $R = \rho l / A$ ซึ่งความยาวของตัวที่ 2 นั้นมีค่าน้อยกว่าของตัวที่ 1 และ 3 ซึ่งมีค่าเท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยค่าความต้านทานไฟฟ้าเฉลี่ยของทั้ง 3 ลวดลายนั้น ไมโครฮีทเตอร์ลวดลายวงกลมมีค่าความต้านทานไฟฟ้ามากที่สุดเนื่องจากมีพื้นที่หน้าตัดสูงที่สุด ส่วนค่าความต้านทานไฟฟ้าของไมโครฮีทเตอร์ลวดลายสี่เหลี่ยมใหญ่และลวดลายสี่เหลี่ยมเล็กก็มีค่าลดลงมา ตามลำดับ ซึ่งจากกฎของโอห์ม $R=V/I$ เมื่อทำการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับแรงดันจะทำให้ได้กราฟเป็นเชิงเส้น

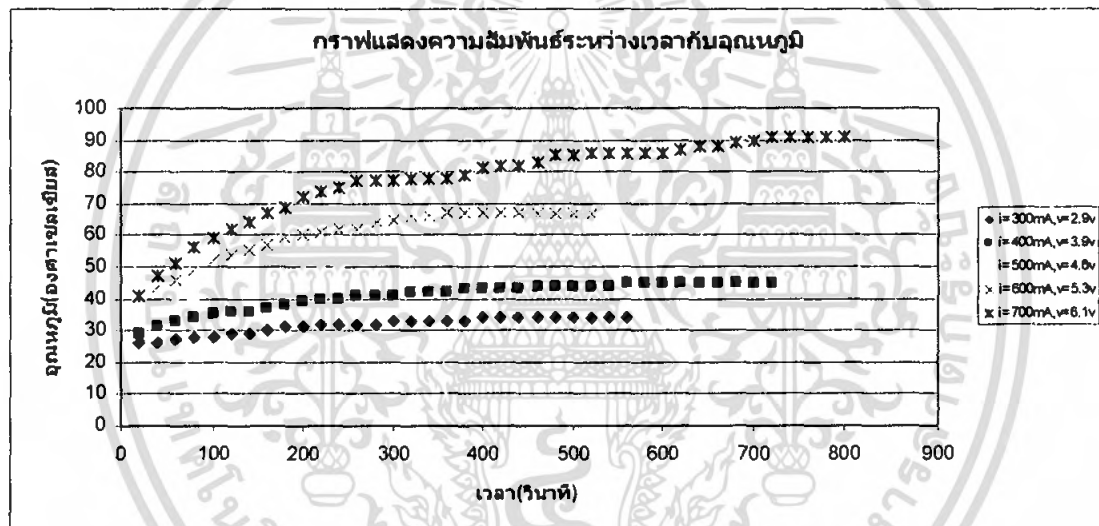
4.2 การหาค่าเวลาการตอบสนองที่ทำให้อุณหภูมิของไมโครฮีทเตอร์คงที่

ในการทดลองตอนนี้จะทำการให้กระแสไฟฟ้าคงที่กับไมโครฮีทเตอร์ค่าหนึ่ง แล้วทำการวัดอุณหภูมิทุกๆ 20 วินาที จนกระทั่งอุณหภูมิของไมโครฮีทเตอร์มีค่าคงที่ โดยกระแสไฟฟ้าที่จ่ายให้กับตัวไมโครฮีทเตอร์เริ่มตั้งแต่ 300 – 700 มิลลิแอมแปร์ (เพิ่มกระแสไฟฟ้าทีละ 100 มิลลิแอมแปร์)

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าเวลาคงตัวที่ทำให้อุณหภูมิของไมโครฮีทเตอร์คงที่

time second	I=300 mA V=2.9V temp	I=400 mA V=3.9V temp	I=500 mA V=4.6V temp	I=600 mA V=5.3V temp	I=700 mA V=6.1V temp
20	26	29	34	38	41
40	26	31	37	43	47
60	27	33	39	46	51
80	28	34	41	49	56
100	28	35	43	52	59
120	29	36	45	54	62
140	29	36	46	55	64
160	30	37	48	57	67
180	31	38	48	59	69
200	31	39	49	60	72
220	32	40	50	61	74
240	32	40	51	62	75
260	32	41	52	62	77
280	32	41	52	64	77
300	33	41	53	65	77
320	33	42	54	66	78
340	33	42	54	66	78
360	33	42	54	67	78
380	33	43	55	67	79
400	34	43	55	67	81
420	34	43	55	67	82
440	34	43	55	67	82
460	34	44	55	67	83
480	34	44	56	67	85
500	34	44	56	67	85
520	34	44	56	67	86
540	34	44	56	-	86

time second	I=300 mA V=2.9V temp	I=400 mA V=3.9V temp	I=500 mA V=4.6V temp	I=600 mA V=5.3V temp	I=700 mA V=6.1V temp
580	-	45	56	-	86
600	-	45	56	-	86
620	-	45	56	-	87
640	-	45	56	-	88
660	-	45	-	-	88
680	-	45	-	-	89
700	-	45	-	-	90
720	-	45	-	-	91
740	-	-	-	-	91
760	-	-	-	-	91



รูปที่ 4.18 แสดงค่าเวลาการตอบสนองที่ทำให้อุณหภูมิของไมโครฮีเตอร์คงที่

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าที่เวลาประมาณ 300 วินาทีหรือ 5 นาทีนั้น อุณหภูมิของไมโครฮีเตอร์ในแต่ละค่ากระแสจะมีค่าคงที่ ดังนั้นจึงใช้เวลา 5 นาทีในการวัดอุณหภูมิของไมโครฮีเตอร์แต่ละค่ากระแส

4.3 การวิเคราะห์ผลทางความร้อนของไมโครฮีตเตอร์แต่ละตัว

ในการทดลองตอนนี้จะทำการไบอัสกระแสไฟฟ้าให้กับไมโครฮีตเตอร์ โดยที่กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นอยู่ที่ 0.02 แอมแปร์แล้ววัดอุณหภูมิของไมโครฮีตเตอร์เมื่อเวลาผ่านไป 5 นาที หลังจากนั้นทำการปรับกระแสไฟฟ้าเพิ่มขึ้นทีละ 0.02 แอมแปร์จนกระทั่งไมโครฮีตเตอร์มีอุณหภูมิสูงกว่า 100 องศาเซลเซียสจึงหยุดทำการไบอัสกระแสไฟฟ้า โดยทำการบันทึกอุณหภูมิของไมโครฮีตเตอร์ตัวที่ได้รับการไบอัสกระแสไฟฟ้าและอุณหภูมิของไมโครฮีตเตอร์ตัวข้างเคียงในแต่ละค่ากระแสและแรงดัน เพื่อที่จะสังเกตการนำความร้อนของตัวไมโครฮีตเตอร์ นำค่ากระแสและแรงดันไปหาค่ากำลังไฟฟ้าจากความสัมพันธ์ $P = IV$ แล้วพล็อตกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิกับกำลังไฟฟ้า

4.3.1 การวัดอุณหภูมิของตัวไมโครฮีตเตอร์ลวดลายวงกลม



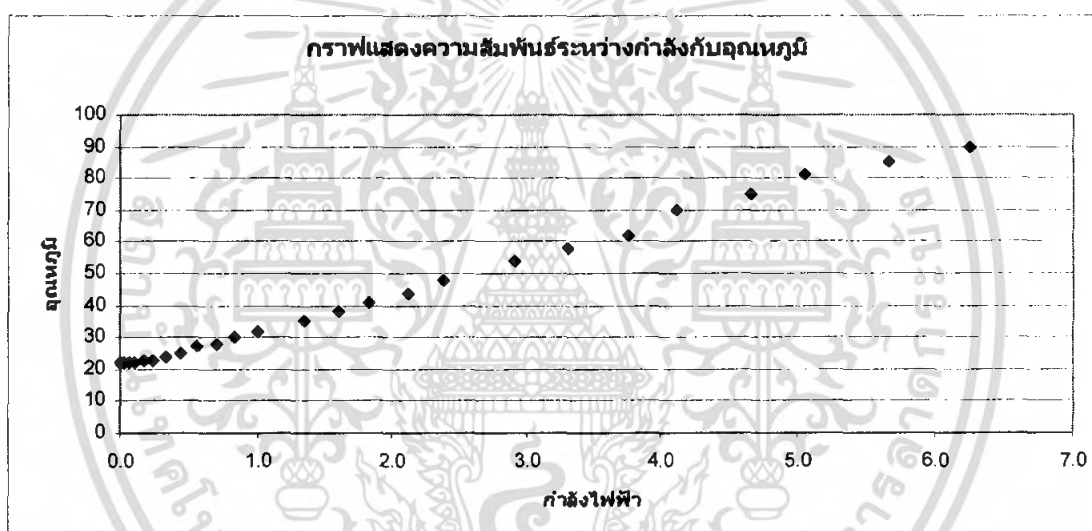
รูปที่ 4.19 แสดงตำแหน่งของการวัดอุณหภูมิของตัวไมโครฮีตเตอร์ลวดลายวงกลม

ตารางที่ 4.8 แสดงอุณหภูมิของตัวไมโครฮีตเตอร์ลวดลายวงกลม

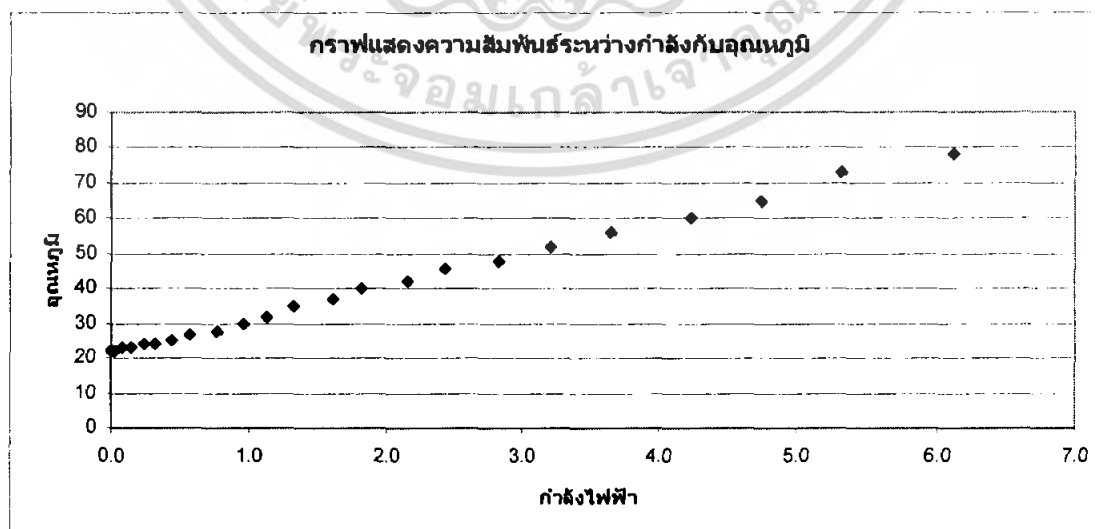
ไบอัสตำแหน่งที่ 2					ไบอัสตำแหน่งที่ 3				
V (volt)	I (A)	อุณหภูมิ ตำแหน่ง 2	อุณหภูมิ ตำแหน่ง 3	power (watt)	V (volt)	I (A)	อุณหภูมิ ตำแหน่ง 3	อุณหภูมิ ตำแหน่ง 1	power (watt)
0.2	0.02	22	22	0.004	0.3	0.02	22	22	0.006
0.6	0.04	22	22	0.024	0.8	0.04	22	22	0.032
1.0	0.06	22	22	0.060	1.3	0.06	23	23	0.078
1.4	0.08	22	22	0.112	1.8	0.08	24	23	0.144
1.7	0.10	23	23	0.170	2.3	0.10	24	24	0.230
2.0	0.12	24	23	0.240	2.6	0.12	25	24	0.312
2.4	0.14	25	24	0.336	3.1	0.14	27	25	0.434
2.7	0.16	26	25	0.432	3.5	0.16	28	27	0.560
3.1	0.18	28	27	0.558	4.2	0.18	31	28	0.756
3.5	0.20	30	28	0.700	4.8	0.20	33	30	0.960
3.8	0.22	32	30	0.836	5.1	0.22	36	32	1.122
4.2	0.24	34	32	1.008	5.5	0.24	40	35	1.320
5.2	0.26	37	35	1.352	6.2	0.26	42	37	1.612
5.7	0.28	42	38	1.596	6.5	0.28	47	40	1.820
6.1	0.30	45	41	1.830	7.2	0.30	51	42	2.160

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเนื้อหาไปใช้ประโยชน์ทางการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โวลต์ตำแหน่งที่ 2					โวลต์ตำแหน่งที่ 3				
V (volt)	I (A)	อุณหภูมิ ตำแหน่ง 2	อุณหภูมิ ตำแหน่ง 3	power (watt)	V (volt)	I (A)	อุณหภูมิ ตำแหน่ง 3	อุณหภูมิ ตำแหน่ง 1	power (watt)
6.6	0.32	49	44	2.112	7.6	0.32	55	46	2.432
7.0	0.34	53	48	2.380	8.3	0.34	58	48	2.822
8.1	0.36	62	54	2.916	8.9	0.36	65	52	3.204
8.7	0.38	68	58	3.306	9.6	0.38	71	56	3.648
9.4	0.40	71	62	3.760	10.6	0.40	76	60	4.240
9.8	0.42	80	70	4.116	11.3	0.42	83	65	4.746
10.6	0.44	87	75	4.664	12.1	0.44	94	73	5.324
11.0	0.46	95	81	5.060	13.3	0.46	103	78	6.118
11.8	0.48	101	85	5.664					
12.5	0.50	109	90	6.250					



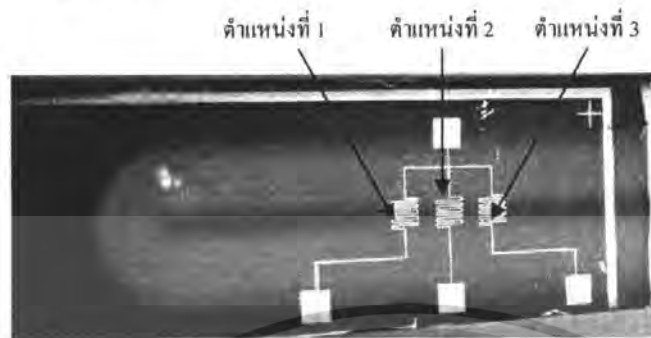
รูปที่ 4.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับอุณหภูมิตำแหน่งที่ 2 ของลวดลายวงกลม



รูปที่ 4.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับอุณหภูมิของตำแหน่งที่ 3 ของลวดลายวงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.2 การวัดอุณหภูมิของตัวไมโครฮีตเตอร์ลวดลายสี่เหลี่ยมใหญ่

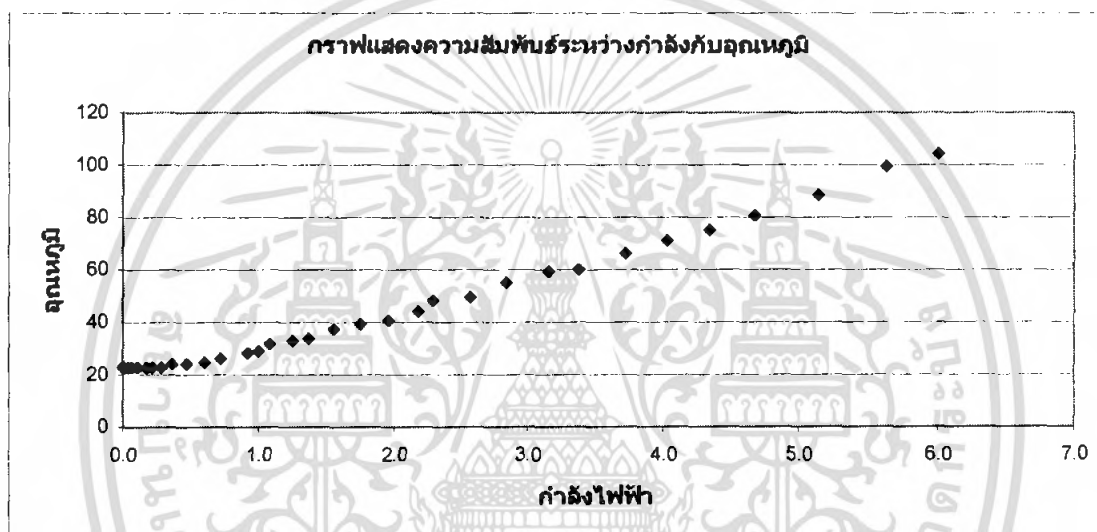


รูปที่ 4.21 แสดงตำแหน่งของการวัดอุณหภูมิของตัวไมโครฮีตเตอร์ลวดลายสี่เหลี่ยมใหญ่
ตารางที่ 4.9 แสดงอุณหภูมิของตัวไมโครฮีตเตอร์ลวดลายสี่เหลี่ยมใหญ่

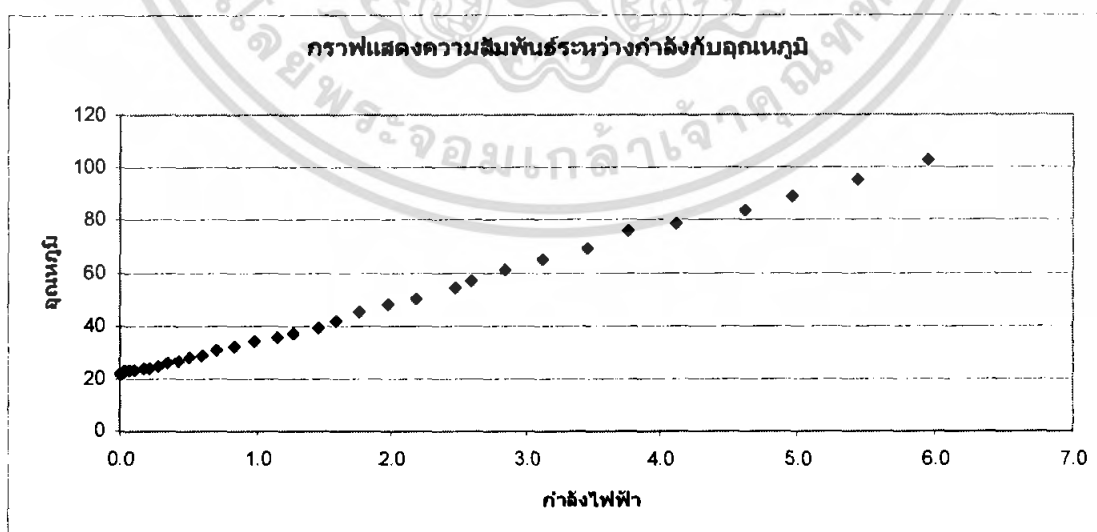
โวลต์ตำแหน่งที่ 2					โวลต์ตำแหน่งที่ 3				
V (volt)	I (A)	อุณหภูมิ ตำแหน่ง 2	อุณหภูมิ ตำแหน่ง 3	power (watt)	V (volt)	I (A)	อุณหภูมิ ตำแหน่ง 3	อุณหภูมิ ตำแหน่ง 1	power (watt)
0.2	0.02	23	23	0.004	0.2	0.02	22	22	0.004
0.4	0.04	23	23	0.016	0.4	0.04	22	22	0.016
0.6	0.06	23	23	0.036	0.7	0.06	23	22	0.042
0.8	0.08	23	23	0.064	0.9	0.08	23	23	0.072
1.1	0.10	23	23	0.110	1.1	0.10	23	23	0.110
1.4	0.12	23	23	0.168	1.4	0.12	24	23	0.168
1.5	0.14	23	23	0.210	1.5	0.14	24	24	0.210
1.7	0.16	24	23	0.272	1.7	0.16	25	24	0.272
2.0	0.18	24	24	0.360	1.9	0.18	26	25	0.342
2.3	0.20	25	24	0.458	2.1	0.20	27	26	0.420
2.7	0.22	26	25	0.603	2.3	0.22	28	27	0.506
3.0	0.24	26	26	0.713	2.5	0.24	29	28	0.600
3.5	0.26	29	28	0.910	2.7	0.26	31	29	0.702
3.5	0.28	30	29	0.991	3.0	0.28	32	30	0.840
3.6	0.30	32	32	1.080	3.3	0.30	34	32	0.978
3.9	0.32	34	33	1.248	3.6	0.32	36	34	1.152
4.0	0.34	35	34	1.360	3.8	0.34	37	35	1.267
4.3	0.36	38	37	1.548	4.1	0.36	39	37	1.462
4.6	0.38	40	39	1.748	4.2	0.38	42	39	1.585
4.9	0.40	42	41	1.960	4.4	0.40	45	41	1.760
5.2	0.42	46	44	2.184	4.7	0.42	48	44	1.970
5.2	0.44	49	48	2.288	5.0	0.44	50	46	2.187
5.6	0.46	52	50	2.576	5.4	0.46	54	48	2.470
5.9	0.48	57	55	2.832	5.4	0.48	57	51	2.592
6.3	0.50	61	59	3.150	5.7	0.50	61	55	2.850
6.5	0.52	63	60	3.380	6.0	0.52	65	58	3.120
6.9	0.54	69	66	3.726	6.4	0.54	69	61	3.456
7.2	0.56	74	71	4.032	6.7	0.56	76	66	3.752

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการใช้งานเท่านั้น เมื่อผู้เช่าได้เข้าเว็บไซต์ระบบสารสนเทศด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โวลต์ตำแหน่งที่ 2					โวลต์ตำแหน่งที่ 3				
V (volt)	I (A)	อุณหภูมิ ตำแหน่ง 2	อุณหภูมิ ตำแหน่ง 3	power (watt)	V (volt)	I (A)	อุณหภูมิ ตำแหน่ง 3	อุณหภูมิ ตำแหน่ง 1	power (watt)
7.5	0.58	77	75	4.350	7.1	0.58	79	68	4.118
7.8	0.60	82	81	4.680	7.7	0.60	84	73	4.620
8.3	0.62	88	88	5.146	8.0	0.62	89	76	4.960
8.8	0.64	98	99	5.632	8.5	0.64	95	80	5.440
9.1	0.66	103	104	6.006	9.0	0.66	103	85	5.940



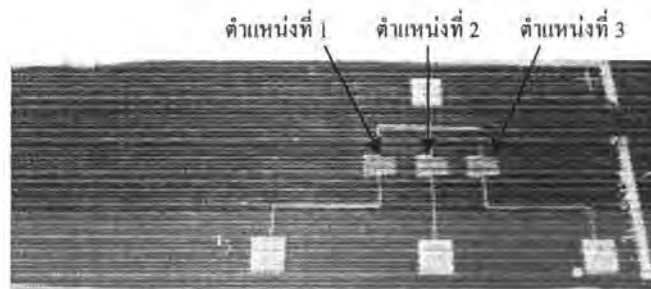
รูปที่ 4.22 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับอุณหภูมิของตำแหน่งที่ 2 ลวดลายสีเหลี่ยมใหญ่



รูปที่ 4.23 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับอุณหภูมิของตำแหน่งที่ 3 ลวดลายสีเหลี่ยมใหญ่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3.3 การวัดอุณหภูมิของตัวไมโครฮีตเตอร์ลวดลายสี่เหลี่ยมเล็ก

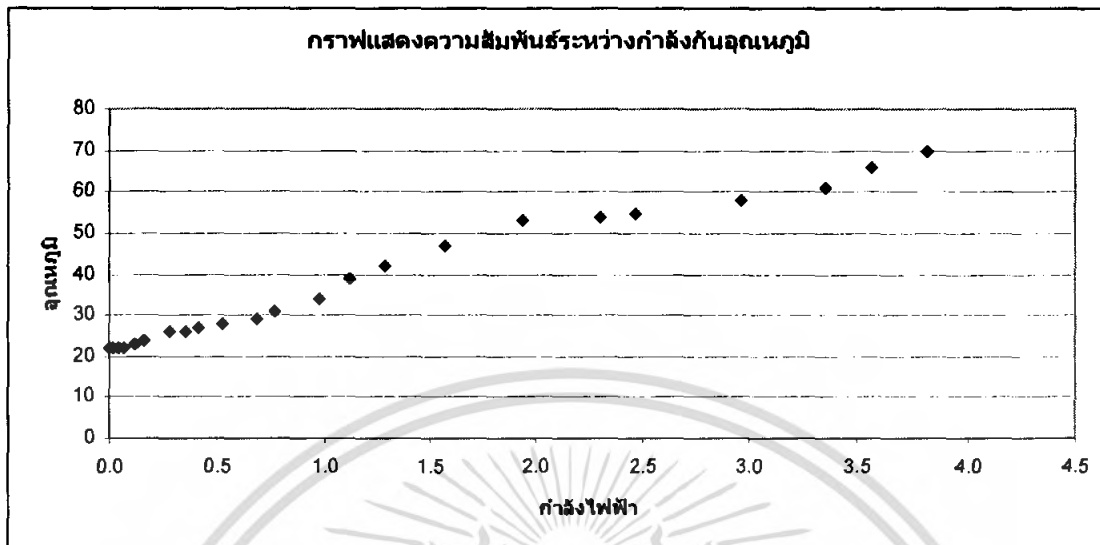


รูปที่ 4.24 แสดงตำแหน่งของการวัดอุณหภูมิของไมโครฮีตเตอร์ลวดลายสี่เหลี่ยมเล็ก

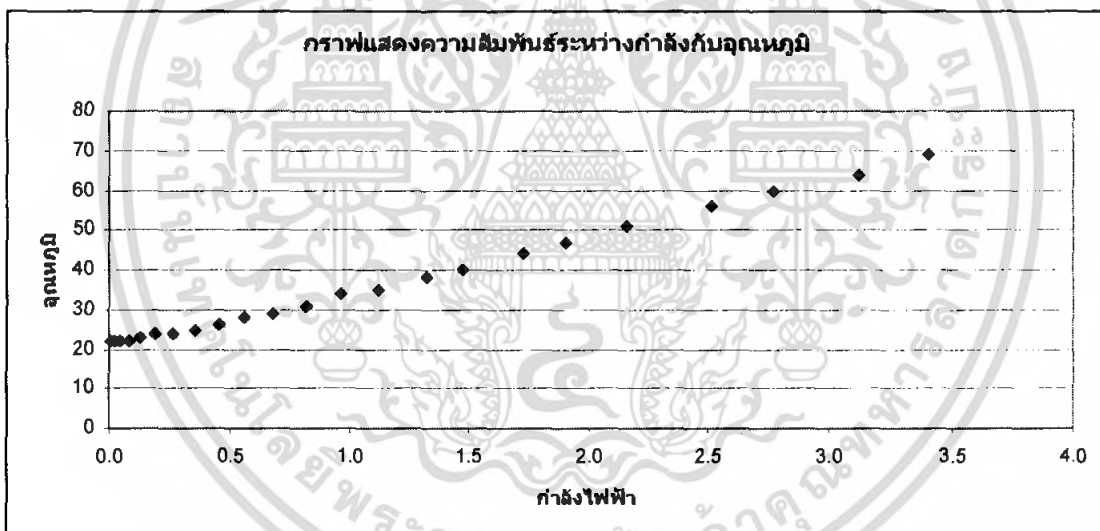
ตารางที่ 4.10 แสดงอุณหภูมิของตัวไมโครฮีตเตอร์ลวดลายสี่เหลี่ยมเล็ก

		โวลต์ตำแหน่งที่ 2			โวลต์ตำแหน่งที่ 3				
V (volt)	I (A)	อุณหภูมิ ตำแหน่ง 2	อุณหภูมิ ตำแหน่ง 3	power (watt)	V (volt)	I (A)	อุณหภูมิ ตำแหน่ง 3	อุณหภูมิ ตำแหน่ง 1	power (watt)
0.2	0.02	22	22	0.004	0.2	0.02	22	22	0.004
0.4	0.04	22	22	0.016	0.5	0.04	22	22	0.020
0.7	0.06	22	22	0.042	0.8	0.06	22	22	0.048
0.8	0.08	22	22	0.064	1.0	0.08	22	22	0.080
1.2	0.10	23	23	0.120	1.3	0.10	23	23	0.130
1.3	0.12	24	24	0.156	1.6	0.12	24	23	0.192
2.0	0.14	26	25	0.280	1.9	0.14	24	24	0.266
2.2	0.16	26	25	0.352	2.2	0.16	25	25	0.352
2.3	0.18	27	26	0.414	2.5	0.18	26	26	0.450
2.6	0.20	28	27	0.520	2.8	0.20	28	27	0.560
3.1	0.22	29	27	0.680	3.1	0.22	29	28	0.682
3.2	0.24	31	29	0.768	3.4	0.24	31	30	0.816
3.8	0.26	34	31	0.975	3.7	0.26	34	32	0.962
4.0	0.28	39	34	1.120	4.0	0.28	35	34	1.120
4.3	0.30	44	37	1.290	4.4	0.30	38	36	1.320
4.9	0.32	50	41	1.568	4.6	0.32	40	39	1.472
5.7	0.34	53	43	1.938	5.1	0.34	44	41	1.734
6.4	0.36	54	47	2.304	5.3	0.36	47	44	1.908
6.5	0.38	55	47	2.470	5.7	0.38	51	47	2.166
7.3	0.41	58	49	2.967	6.3	0.40	56	50	2.520
7.8	0.43	61	50	3.354	6.6	0.42	60	54	2.772
8.1	0.44	66	55	3.564	7.1	0.44	64	58	3.124
8.3	0.46	70	58	3.818	7.4	0.46	69	61	3.404

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.25 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับอุณหภูมิของตำแหน่งที่ 2 ลวดลายสี่เหลี่ยมเล็ก



รูปที่ 4.26 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังกับอุณหภูมิของตำแหน่งที่ 3 ลวดลายสี่เหลี่ยมเล็ก

วิเคราะห์ผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่าอุณหภูมิของไมโครฮีทเตอร์ตัวที่ได้รับการไปอัสกระแสไฟฟ้าและไมโครฮีทเตอร์ตัวข้างเคียงมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากการนำความร้อนของฐานรองรับที่เป็นซิลิกอนนั้นนำความร้อนได้ดี ซึ่งเป็นไปตามที่ต้องการคือให้ไมโครฮีทเตอร์ทั้ง 3 ตัวมีอุณหภูมิใกล้เคียงกัน เพื่อที่จะนำไมโครฮีทเตอร์ไปประยุกต์ใช้ทำเป็นไมโครปั๊มต่อไป ส่วนกราฟที่แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังไฟฟ้าและอุณหภูมินั้น พบว่า ถ้าต้องการให้ความร้อนของไมโครฮีทเตอร์สูงถึง 80 – 90 องศาเซลเซียส จะต้องใช้กำลังไฟฟ้าสูงถึง 5 – 6 วัตต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

ไมโครฮีตเตอร์เป็นอุปกรณ์ที่ให้ความร้อน เพื่อใช้ในการขับเคลื่อนของไหลให้ไหลในไมโครฟลูอิดิก ซึ่งมีการนำมาประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ตรวจวัดทางชีวภาพ เช่น ไมโครปั๊ม ไมโครวาล์ว โดยในการวิจัยจะทำการสร้างเป็นฟิล์มบางไมโครฮีตเตอร์โดยใช้โลหะอลูมิเนียมเพื่อจะศึกษาถึงผลของความร้อนเมื่อทำการไบอัสกระแสที่ค่าต่าง ๆ

ในการวิจัยนี้ทำการสร้างไมโครฮีตเตอร์ โดยเริ่มทำการออกแบบด้วยซอฟต์แวร์คอมพิวเตอร์ และทำการสร้างตัวไมโครฮีตเตอร์ด้วยกระบวนการโฟโตลิโทกราฟี, กระบวนการกัดโลหะด้วยสารเคมี ให้มีไมโครฮีตเตอร์ที่มีลวดลายแบบต่างๆ ซึ่งจากการทดลองเมื่อทำการไบอัสกระแสไฟฟ้าแล้วทำการวัดอุณหภูมิพบว่าไมโครฮีตเตอร์โลหะอลูมิเนียมสามารถทนอุณหภูมิได้สูงสุดประมาณ 130 องศาเซลเซียสแต่ใช้กำลังไฟฟ้าในช่วง 3 – 6 วัตต์ ซึ่งมีค่าสูงมากเกินไป

จากงานวิจัยสามารถที่จะทำการดัดแปลงรูปแบบและวัสดุที่ใช้ทำฟิล์มบางไมโครฮีตเตอร์เพื่อให้ได้ไมโครฮีตเตอร์ที่ใช้กำลังไฟฟ้าต่ำและได้อุณหภูมิตามต้องการ

เอกสารอ้างอิง

- ชลิตา คูหาเรือง. 2547. “กระบวนการโฟโตลิโธกราฟีสำหรับสร้างฉนวนขนาด 5 ไมครอนบน
ชนิดคอนไดออกไซด์และออลูมิเนียม” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
 สาขาวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้า
 คุณทหารลาดกระบัง.
- Chiyang Yu, Wenshian Liang, Iching Kuan, Chehung Wei, Weiguo Gu. **Fabrication and
 characterization of a flow-through PCR device with integrated chromium resistive
 heaters.** Journal of the Chinese Institute of Chemical Engineers (2007)
- K.L.Zhang, S.K.Chou, S.S. Ang. **Fabrication, modeling and testing of a thin film Au/Ti
 microheater.** International Journal of Thermal Science 46 (2007) 580-588
- Anders M.Jorgensen. **L-Edit(11.01) CAD tool for mask designs – beginners guide
 Vesion 1.3.**
- W Mamane, A Tuantranont, N V Afzulpurkar, N Porntheerapat, S Rahong and A
 Wisitsoraat. **PDMS Based Thermopneumatic Peristaltic Micropump for
 Microfluidic Systems.** Journal of Physics: Conference Series 34 (2006) 564–569
- Weiping Yan a, *, Henan Li a, Yongbian Kuang a, Liqun Dub, Jihong Guob.
Nickel membrane temperature sensor in micro-flow measurement. Journal of Alloys
 and Compounds 449 (2008) 210–213
- เอกสารประกอบการบรรยาย ห้องปฏิบัติการชีวภาพขนาดจิ๋ว ของ ดร.ศุภนิญ พรธีระภัทร