

ชื่อโครงการ (ภาษาไทย) การสร้างตัวตรวจรู้อัตราการไหลของก๊าซแบบความ

ต้านทาน (RTD) โดยใช้เทคโนโลยีระบบกลไฟฟ้าจุลภาค

แหล่งเงิน งบประมาณแผ่นดิน

ประจำปีงบประมาณ 2556

จำนวนเงินที่ได้รับการสนับสนุน 720,000 บาท

ระยะเวลาทำการวิจัย 1 ปี

ตั้งแต่ ตุลาคม 2555 ถึง กันยายน 2556

ดร.รังสรรค์ เมืองเหลือ

หัวหน้าโครงการ

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอ การสร้างตัวตรวจรู้อัตราการไหลของก๊าซแบบความต้านทาน โดยการใช้เทคโนโลยีระบบกลไฟฟ้าจุลภาค ตัวตรวจรู้อัตราการไหลของก๊าซในการศึกษานี้ได้ออกแบบให้ใช้เทคโนโลยีระบบกลไฟฟ้าจุลภาค(MEMS)ร่วมกับเทคโนโลยีวงจรรวม(IC) นำแผ่นซิลิคอนชนิดพีระนาบ (100) มาสร้างไดอะแฟรมด้วยกระบวนการกัดเนื้อซิลิคอนแบบแอนไอโซทรอปิกในสารละลาย เมื่อได้ไดอะแฟรมแล้วสร้างไมโครฮีตเตอร์และตัวความต้านทาน โดยการสร้างฟิล์มบางโลหะ ไททาเนียมและทองคำ ในระบบสุญญากาศ โดยไมโครฮีตเตอร์เป็นแหล่งกำเนิดความร้อนให้อุณหภูมิอยู่ในช่วง 25-295 °C สำหรับการใช้เป็นตัวตรวจรู้อัตราการไหลของก๊าซ โดยให้ก๊าซไหลผ่าน 0-1000 sccm พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิเมื่ออัตราการไหลของก๊าซเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ : อุณหภูมิ, ทองคำ, ไมโครฮีตเตอร์, ไดอะแฟรม

Research Title: Fabrication of gas flow microsensor based on Resistance Temperature Detector (RTD) using MicroElectroMechanical Systems(MEMS) technology

Researcher: Dr.Rangson Muanghlua

Faculty: Engineering **Department:** Electronisc

King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Abstract

This reseach presents Fabrication of gas flow microsensor based on Resistance Temperature Detector (RTD) using MicroElectroMechanical Systems(MEMS). The gas flow microsensor in this study was designed by using the MEMS and Integrated Circuit technology (IC). The microheater and the resistor were fabricated on the (100) crystal plane of P-type Si diaphragm. The anisotropic etching was used in this process. The titanium film was applied by evaporation process and then the gold film was applied as a second layer on the titanium film. This microheater can generate the temperature between 25-295 °C. In the gas flow rate between 0 to 1000 sccm, the temperature of the microsensor decreased with increasing the flow rate of the gas.

Keywords : temperature, Au, microheater, diaphragm

กิตติกรรมประกาศ

การวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง งบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2556

งานวิจัยนี้สำเร็จได้ด้วยดี ผู้เขียนขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้สถานที่และอุปกรณ์เครื่องมือต่างๆในห้องปฏิบัติการสารกึ่งตัวนำ

ขอขอบพระคุณ ดร.รุ่งเรือง พัฒนากุล ที่ช่วยเหลือในการทำวิจัยจนบรรลุเป้าหมาย

ขอขอบพระคุณ อาจารย์ เจ้าหน้าที่ และ นักศึกษา ทุกท่าน ที่ช่วยเหลือในการทำวิจัยจนบรรลุเป้าหมาย

ดร.รังสรรค์ เมืองเหลือ

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญภาพ.....	VI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	2
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
บทที่ 2 ทฤษฎี.....	7
2.1 วัสดุซิลิคอน.....	7
2.2 การถ่ายเทความร้อน.....	13
2.3 ระบบกลไฟฟ้าจุลภาค.....	19
2.4 การกักซิลิคอนในสารละลายแบบแอนไอโซโทรปิก.....	20
บทที่ 3 การออกแบบและกระบวนการสร้าง.....	31
3.1 การออกแบบไดอะแฟรม.....	31
3.2 การออกแบบไมโครฮีตเตอร์.....	32
3.3 กระบวนการสร้างไมโครฮีตเตอร์ด้วยฟิล์มอลูมิเนียม.....	34
3.4 กระบวนการสร้างฮีตเตอร์ด้วยฟิล์มโลหะทองคำ.....	43
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	50
4.1 การสร้างไดอะแฟรมซิลิคอน.....	50
4.2 การศึกษาอลูมิเนียมไมโครฮีตเตอร์บนฐานรองซิลิคอน.....	52
4.3 การศึกษาทองคำไมโครฮีตเตอร์บนฐานรองซิลิคอน.....	55
4.4 การประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจรู้อัตราการไหลของก๊าซ.....	63
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	65
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	65

สารบัญ(ต่อ)

5.2 ข้อเสนอแนะ.....	67
บทที่ 6 ผลผลิต.....	68
6.1 ผลงานเชิงวิชาการ.....	68
6.2 ผลงานเชิงสาธารณะ.....	68
6.3 ผลงานที่ได้นำเสนอในการประชุมวิชาการ.....	68
เอกสารอ้างอิง.....	69
ประวัตินักวิจัย.....	71

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 มุมระหว่างระนาบ {HKL} และ {hkl} และความอัดแน่นของอะตอมของแต่ละระนาบต่างๆ.....	24
2.2 ตัวอย่างสารละลายกัดสำหรับซิลิคอน และหน้ากากป้องกันที่เหมาะสม.....	26
4.1 ค่าความต้านทานของไมโครฮีตเตอร์อลูมิเนียม.....	54
4.2 ค่าความต้านทานของไมโครฮีตเตอร์ทองคำ.....	56
5.1 แสดงขนาดไมโครฮีตเตอร์อลูมิเนียม กำลังงาน และอุณหภูมิ.....	66
ที่ความหนาไดอะแฟรมซิลิคอน 25 ไมครอน และกระแส 200 mA	
ความหนาของไมโครฮีตเตอร์อลูมิเนียม 1.2 ไมครอน	
5.1 แสดงขนาดไมโครฮีตเตอร์ทองคำ กำลังงาน และอุณหภูมิ.....	67
ที่ความหนาไดอะแฟรมซิลิคอน 20 ไมครอน และกระแส 200 mA	
ความหนาของไมโครฮีตเตอร์ทองคำ 0.276 ไมครอน	

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 แสดงโครงสร้างเสมือนอะตอมซิลิคอน.....	8
2.2 แสดงแบบจำลองพันธะโควาเลนต์ระหว่างอะตอมซิลิคอน.....	8
2.3 แสดงโครงสร้างของผลึกซิลิคอน.....	9
2.4 แสดงลักษณะโครงสร้างพลังงานของผลึกซิลิคอนบริสุทธิ์.....	10
2.5 แสดงการเกิดอิเล็กตรอนอิสระและโฮลภายในโครงสร้างแถบพลังงาน.....	11
2.6 แสดงการเกิดอิเล็กตรอนอิสระและโฮลภายในโครงสร้างแถบพลังงานชนิดเอ็น.....	12
2.7 แสดงการเกิดอิเล็กตรอนอิสระและโฮลภายในโครงสร้างแถบพลังงานชนิดพี.....	13
2.8 แสดงการนำความร้อนผ่านของแข็งที่มีพื้นที่ A.....	15
2.9 แสดงการพาความร้อนจากผิววัสดุ.....	17
2.10 แสดงหลักการทำงานของเซนเซอร์.....	20
2.11 แสดงหน่วยเซลล์ในระบบ x y z.....	21
2.12 แสดงหน่วยเซลล์ระนาบ (100).....	22
2.13 แสดงพันธะในอะตอมซิลิคอนระนาบต่าง ๆ (ก) ระนาบ(100) (ข) ระนาบ(110).....	23
(ค) ระนาบ(111) (ลูกศรแสดงทิศทางการเข้าไปกีดของสารละลายไอโซโทรปิก)	
2.14 แสดงลักษณะคล้ายผิวสัมผัสของไดอะแฟรมซิลิคอนระนาบ (100) เมื่อถูกกีดด้วย.....	29
EPD อัตราส่วน 50 : 8 : 16 ที่ 100 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง (กำลังขยาย 200 เท่า)	
2.15 แสดงซิลิคอนระนาบ (100) เมื่อถูกกีดด้วย EPD อัตราส่วน 50 : 12 : 16.....	29
ที่ 100 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง (กำลังขยาย 400 เท่า)	
2.16 แสดงภาพ SEM ของภาคตัดขวางไดอะแฟรมซิลิคอนระนาบ (100) เมื่อถูกกีดด้วย.....	30
อัตราส่วน 50 : 8 : 16 ที่ 100 °C เป็นเวลา 5 ชั่วโมง แสดงให้เห็นถึงความลาดเอียง	
3.1 รายละเอียดการกัดซิลิคอนโดยสารละลาย.....	32
3.2 การออกแบบไมโครฮีตเตอร์.....	33
3.3 โครงสร้างของไมโครฮีตเตอร์.....	34
3.4 แสดงภาพตัดขวางของแผ่นผลึกซิลิคอนเริ่มแรก.....	34
3.5 แสดงภาพตัดขวางของแผ่นผลึกที่ผ่านกระบวนการออกซิเดชันเริ่มแรก.....	35
3.6 แสดงภาพตัดขวางของแผ่นผลึกที่ผ่านขั้นตอนที่ 7.....	39
3.7 แสดงภาพตัดขวางของแผ่นผลึกที่ผ่านขั้นตอนที่ 11.....	40
3.8 แสดงการสร้างแถบไททาเนียม.....	41
3.9 แสดงภาพถ่ายด้านบนไมโครฮีตเตอร์ขั้นสุดท้าย.....	43

สารบัญภาพ(ต่อ)

ภาพที่	หน้า
3.10 แสดงภาพตัดขวางของแผ่นผลึกซิลิคอนเริ่มแรก.....	43
3.11 แสดงภาพตัดขวางของแผ่นผลึกที่ผ่านกระบวนการออกซิเดชันเริ่มแรก.....	45
3.12 แสดงภาพตัดขวางของแผ่นผลึกที่ผ่านขั้นตอนที่ 7.....	46
3.13 แสดงภาพตัดขวางของแผ่นผลึกที่ผ่านขั้นตอนที่ 11.....	47
3.14 แสดงภาพถ่ายด้านบนไมโครฮีเตอร์ทองคำ.....	48
3.15 แสดงไมโครฮีเตอร์ทองคำ จำนวน 1 ตัว.....	49
4.1 แสดงลักษณะของไดอะแฟรมที่ได้จากการกัดด้วยสารละลาย EPD.....	52
4.2 แสดงภาพถ่ายตัดขวางของฟิล์มโลหะด้วย SEM.....	53
4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ฟิล์มโลหะด้วย EDS.....	53
4.4 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดความกว้างไมโครฮีเตอร์และค่าความต้านทาน.....	54
4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและอุณหภูมิและกำลังงานของไมโครฮีเตอร์ ที่มีขนาดความกว้าง (W) ต่างกัน.....	55
4.6 แสดงภาพถ่ายตัดขวางของฟิล์มโลหะด้วย เครื่อง veeco optical profiler.....	56
4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดความกว้างไมโครฮีเตอร์และค่าความต้านทาน.....	57
4.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและอุณหภูมิที่ขนาดไมโครฮีเตอร์ 40 ไมครอน.....	58
4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานและอุณหภูมิที่ขนาดไมโครฮีเตอร์ 40 ไมครอน.....	58
4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและอุณหภูมิที่ขนาดไมโครฮีเตอร์ 60 ไมครอน.....	59
4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานและอุณหภูมิที่ขนาดไมโครฮีเตอร์ 60 ไมครอน.....	60
4.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและอุณหภูมิที่ขนาดไมโครฮีเตอร์ 80 ไมครอน.....	60
4.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานและอุณหภูมิที่ขนาดไมโครฮีเตอร์ 80 ไมครอน.....	61
4.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและอุณหภูมิที่ขนาดไมโครฮีเตอร์ 100 ไมครอน.....	62
4.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังงานและอุณหภูมิที่ขนาดไมโครฮีเตอร์ 100 ไมครอน.....	62
4.16 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลของแก๊สกับอุณหภูมิของไมโครฮีเตอร์.....	64
ทองคำบนฐานรองซิลิคอน	