

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

แอลพีจีเซ็นเซอร์โดยใช้ฟิล์มบางทินออกไซด์

LPG Sensors Using Thin film SnO₂



T104303



เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 104303
วัน,เดือน,ปี..... 2 พ.ย. 2552

b.....
i.....

ปฏิญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอลพีจีเซ็นเซอร์โดยใช้ฟิล์มบางทินออกไซด์

LPG Sensors Using Thin film SnO₂



ปริญญาานิพนธ์สำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2551

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโทปีการศึกษา 2551

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

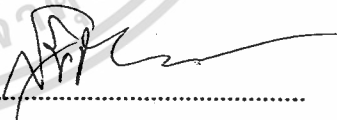
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง แอลพีจีเซ็นเซอร์โดยใช้ฟิล์มบางทินออกไซด์

ผู้จัดทำ

นายสัตยัญญ์ หงษ์ประสิทธิ์

นายอนุสรณ์ ทองปฐมวงศ์



.....
(ผศ.ดร.สุรัชชัย ชัยสิทธิ์ศักดิ์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอลพีจีเซ็นเซอร์โดยใช้ฟิล์มบางทินออกไซด์

นายสัญญาลักษณ์ หงษ์ประสิทธิ์ รหัส 49015256
นายอนุสรณ์ ทองปฐมวงศ์ รหัส 49015261
ผศ.ดร.สุทธิชัย ชัยสิทธิ์ศักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษา

บทคัดย่อ

โครงการนี้เป็นการศึกษาการสร้างเซ็นเซอร์จากฟิล์มบางทินออกไซด์ เพื่อใช้ตรวจจับก๊าซแอลพีจี โดยใช้วิธีการเคลือบจุ่ม ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถเคลือบฟิล์มได้อย่างสม่ำเสมอและมีค่าใช้จ่ายต่ำ การเคลือบจุ่มจะใช้สารเคมีคือ $\text{SnCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ และ Ethanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) โดยใช้ NH_4F , SbCl_3 และ Ferrocene เป็นสารโด๊ปของ F, Sb, Fe ตามลำดับ และใช้อะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้าสำหรับวัดค่าความต้านทาน โดยทำการทดสอบก๊าซแอลพีจีปริมาณความเข้มข้นที่ 1.7%, 3.3%, 4.9% และ 6.4% ในการทดลองนี้ได้ทำการหาค่าพารามิเตอร์ในการเคลือบที่ดีที่สุด โดยการเปลี่ยนค่าตัวแปรต่างๆ อาทิเช่น ความหนาของชั้นฟิล์ม, ชนิดของฐานรองและอัตราส่วนผสมของสารเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

LPG Sensors Using Thin film SnO₂

Mr. Sunyaluk Hongprasit ID.49015256

Mr. Anuson Thongpathomvong ID.49015261

Asst. Prof. Dr.Sutichai Chaisitsak (Advisor)

Abstract

The purpose of the project is to fabricate SnO₂ LPG Sensors by dip – coating method which is a method that can coat the film uniformly with low expenses. SnCl₂·2H₂O and ethanol are used for starting solutions. NH₄F , SbCl₃ and Ferrocene are used for doping substances. Aluminium interdigit electrode is applied for resistance measurement. Some dipping parameters , such as film thickness , substrate type (glass/alumina) and concentration of starting solutions are optimized. The obtained sensors are tested by varying concentration of LPG at 1.7% , 3.3% , 4.9% and 6.4%.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการเล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างยิ่งของ ผศ.ดร.สุริชัย ชัยสิทธิ์ศักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆของการวิจัยมาโดยตลอด ขอบขอบคุณที่โอ ฬานีเอตและเพื่อนๆในห้องแล็บนาโนอิเล็กทรอนิกส์(Nano Electronic Material and Device : NEMD Lab) ที่คอยให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้ตลอดมา

คณะผู้จัดทำโครงการนี้ จึงใคร่ขอกราบขอบพระคุณทุกท่านดังที่กล่าวไว้ข้างต้น ณ ที่นี้เป็นอย่างสูง



นายสัตยัญลักษณ์ หงษ์ประสิทธิ์

นายอนุสรณ์ ทองปฐมวงศ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทที่ 1 ความมุ่งหมายของรายงาน	
1.1 บทนำ	1
1.2 ขอบเขตและความสำคัญของงาน	1
1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ	1
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 แนวโน้มและการประยุกต์ใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับทางเคมีในอนาคต	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและเซ็นเซอร์ตรวจจับก๊าซแอลพีจี	
2.1 ความรู้เกี่ยวกับก๊าซแอลพีจี	3
2.2 เซ็นเซอร์ก๊าซ	4
2.3 การตรวจวัดปริมาณสาร	7
2.4 นิยามของก๊าซเซ็นเซอร์	7
2.5 ทिनออกไซด์ก๊าซเซ็นเซอร์	10
2.6 ปฏิกริยาของการดูดซับก๊าซที่ผิวของสารกึ่งตัวนำ	12
บทที่ 3 การสร้างเซ็นเซอร์แอลพีจี	
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างฟิล์มบางทินออกไซด์	14
3.2 ขั้นตอนในการเตรียมสารละลาย	17
3.3 ขั้นตอนการสร้างฟิล์มบางทินออกไซด์	18
3.4 ขั้นตอนการสร้างลวดลาย	20
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	
4.1 การทดลอง	23
4.2 ผลการทดลอง	28
บทที่ 5 สรุปผลการทดสอบ	51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบของเซ็นเซอร์ก๊าซ	5
รูปที่ 2.2 แสดงการจัดกลุ่มของทรานสดิวเซอร์ (Transducers)	9
รูปที่ 2.3 โครงสร้างของก๊าซเซ็นเซอร์แบบสารกึ่งตัวนำ	11
รูปที่ 2.4 การตรวจจับ C_2H_5OH ของทินออกไซด์ จะได้ CH_3COOH และ H_2O	12
รูปที่ 2.5 การตรวจจับ O_3 ของทินออกไซด์ จะได้ O_2	13
รูปที่ 2.6 การตรวจจับ NO_2 ของทินออกไซด์ จะได้ NO	13
รูปที่ 3.1 ภาพถ่ายกระจกที่นำมาใช้เป็นฐานรอง	14
รูปที่ 3.2 ภาพถ่ายของเครื่องจุ่มอัตโนมัติสั่งงานผ่านคอมพิวเตอร์	15
รูปที่ 3.3 วงจรเชื่อมต่อระหว่างพอร์ตปริ้นซ์เตอร์และสเต็ปมอเตอร์	15
รูปที่ 3.4 ภาพถ่ายเตาอบความร้อน	16
รูปที่ 3.5 ภาพตัดขวางการทำงานของเครื่องจุ่มอัตโนมัติ	16
รูปที่ 3.6 หน้าจอควบคุมการทำงาน	17
รูปที่ 3.7 ภาพถ่ายแสดงการคนสารละลาย	18
รูปที่ 3.8 ภาพถ่ายแสดงการอัลตราโซนิก	18
รูปที่ 3.9 ภาพถ่ายการติดตั้งชิ้นงานกับเครื่องจุ่ม	18
รูปที่ 3.10 การถ่ายต่อเครื่องจ่ายไฟให้กับเตาอบ	18
รูปที่ 3.11 เตาอบมีอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส	18
รูปที่ 3.12 กำหนดสภาวะจากโปรแกรมในคอมพิวเตอร์	19
รูปที่ 3.13 ภาพถ่ายเครื่องเคลือบจุ่มในตู้ดูดอากาศ	20
รูปที่ 3.14 ภาพถ่ายชิ้นงานที่เคลือบด้วยฟิล์มบาง SnO_2	20
รูปที่ 3.15 ภาพถ่ายเครื่อง Evaporation	21
รูปที่ 3.16 ภาพถ่ายชิ้นงานที่ทำการเคลือบด้วยอะลูมิเนียมและทาทาเวเนียมที่ชั่วทั้ง 2 ข้าง	21
รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายโดยรวมของระบบที่จะทำการทดสอบ	22
รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ	22
รูปที่ 4.3 ภาพถ่ายเครื่องวัดและจ่ายแรงดัน/กระแสไฟฟ้า	23
รูปที่ 4.4 ภาพถ่ายภาชนะที่บรรจุเซ็นเซอร์	23
รูปที่ 4.5 ภาพถ่ายปั๊มดูดก๊าซและเครื่องแปลงไฟฟ้า	23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 4.6 ภาพโปรแกรม Lab View	24
รูปที่ 4.7 ภาพถ่ายถังบรรจุก๊าซแอลพีจีที่ถูกเก็บไว้ในที่ปลอดภัย	24
รูปที่ 4.8 ภาพถ่ายการทากาวเงิน	24
รูปที่ 4.9 ภาพถ่ายการวางเซ็นเซอร์ที่แท่น	24
รูปที่ 4.10 ภาพถ่ายเซ็นเซอร์พร้อมที่จะทดสอบ	25
รูปที่ 4.11 แสดงความเข้มข้นของก๊าซแอลพีจีที่ความเข้มข้นต่างๆเทียบกับก๊าซไนโตรเจน	25
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงผลการจุ่ม 10 ครั้ง แบบไม่ไดป์ บนฐานรองอะลูมิน่า (WT = 180s , HT=30s)	27
รูปที่ 4.13 กราฟแสดงผลการจุ่ม 15 ครั้ง แบบไม่ไดป์ บนฐานรองอะลูมิน่า (WT = 180s , HT=30s)	28
รูปที่ 4.14 กราฟแสดงผลการจุ่ม 10 ครั้ง แบบไม่ไดป์ บนฐานรองกระจก (WT = 180s , HT=30s)	29
รูปที่ 4.15 กราฟแสดงผลการจุ่ม 15 ครั้ง แบบไม่ไดป์ บนฐานรองกระจก (WT = 180s , HT=30s)	30
รูปที่ 4.16 การตอบสนองของเซ็นเซอร์แบบไม่ไดป์ NH ₄ F เปรียบเทียบระหว่าง กระจกกับอะลูมิน่าที่ 400 องศาเซลเซียส	31
รูปที่ 4.17 กราฟแสดงผลการจุ่ม 10 ครั้ง ไดป์ NH ₄ F 4.5% บนฐานรองอะลูมิน่า (WT = 180s , HT=30s)	32
รูปที่ 4.18 กราฟแสดงผลการจุ่ม 15 ครั้ง ไดป์ NH ₄ F 4.5% บนฐานรองอะลูมิน่า (WT = 180s, HT = 30s)	33
รูปที่ 4.19 กราฟแสดงผลการจุ่ม 15 ครั้ง ไดป์ NH ₄ F 4.5% บนฐานรองอะลูมิน่า (WT = 90s, HT = 30s)	34
รูปที่ 4.20 กราฟแสดงผลการจุ่ม 15 ครั้ง ไดป์ NH ₄ F 4.5% บนฐานรองอะลูมิน่า (WT = 20s, HT = 30s)	35
รูปที่ 4.21 กราฟแสดงผลการจุ่ม 15 ครั้ง ไดป์ NH ₄ F 4.5% บนฐานรองอะลูมิน่า (WT = 0s, HT = 30s)	36

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปภาพ	หน้า
รูปที่ 4.22 กราฟแสดงผลการจุ่ม 15 ครั้ง โค้ป NH_4F 4.5% บนฐานรองอะลูมิน่า (WT = 180s, HT = 5s)	37
รูปที่ 4.23 การตอบสนองของเซ็นเซอร์แบบ โค้ป NH_4F 4.5%บนฐานรองอะลูมิน่าที่ใช้เวลา เวลาอบ(Heat time)เท่ากัน และ เวลารอเย็น(Wait time)ที่ต่างกัน	38
รูปที่ 4.24 การตอบสนองเซ็นเซอร์แบบ โค้ป NH_4F 4.5% บนฐานรองอะลูมิน่าที่ใช้เวลาใน เวลารอเย็น(Wait time)เท่ากัน และ เวลาอบ(Heat time) ที่ 5 วินาที กับ 30 วินาที	39
รูปที่ 4.25 กราฟแสดงผลการจุ่ม 15 ครั้ง โค้ป SbCl_3 0.25% บนฐานรองกระจก (WT = 180s , HT = 30s)	40
รูปที่ 4.26 กราฟแสดงผลการจุ่ม 15 ครั้ง โค้ป SbCl_3 0.5% บนฐานรองกระจก (WT = 180s , HT = 30s)	41
รูปที่ 4.27 กราฟแสดงผลการจุ่ม 15 ครั้ง โค้ป SbCl_3 1% บนฐานรองกระจก (WT = 180s , HT = 30s)	42
รูปที่ 4.28 กราฟแสดงผลการจุ่ม 15 ครั้ง โค้ป SbCl_3 1.5% บนฐานรองกระจก (WT = 180s , HT = 30s)	43
รูปที่ 4.29 กราฟแสดงผลการจุ่ม 15 ครั้ง โค้ป SbCl_3 2.5% บนฐานรองกระจก (WT = 180s , HT = 30s)	44
รูปที่ 4.30 เปรียบเทียบการตอบสนองของเซ็นเซอร์แบบ โค้ป SbCl_3 ที่เงื่อนไขการ โค้ปที่ ต่างกันบนฐานรองกระจก ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส	45
รูปที่ 4.31 เปรียบเทียบการตอบสนองของเซ็นเซอร์ที่ทำการจุ่ม 15 ครั้ง แบบ โค้ป SbCl_3 1.5% บนฐานรองแบบกระจก กับ แบบ โค้ป NH_4F 4.5% บนฐานรองอะลูมิน่า ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส	46
รูปที่ 4.32 กราฟแสดงผลการจุ่ม 15 ครั้ง โค้ป Fe 1% ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส	47
รูปที่ 4.33 รูปภาพของฮีตเตอร์ที่หุ้มด้วยแผ่นฉนวนกันความร้อน , แผ่นสแตนเลสสำหรับ ประกบฮีตเตอร์ และ เซ็นเซอร์บนฐานรองแบบกระจก	48
รูปที่ 4.34 ลวดฮีตเตอร์ก่อนการจุ่มเปรียบเทียบกับเหรียญบาท	49
รูปที่ 4.35 ลวดฮีตเตอร์หลังการจุ่ม	49

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
ตารางที่ 2.1 แสดงคุณสมบัติของก๊าซLPG	3
ตารางที่ 2.2 แสดงตัวอย่างชนิดของเซ็นเซอร์และวัสดุที่ใช้ทำเซ็นเซอร์	9
ตารางที่ 4.1 แสดงผลการทดสอบกลุ่ม 10 ครั้ง โดย $R = 9.888 K\Omega$	27
ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบกลุ่ม 15 ครั้ง โดย $R = 123.526K\Omega$	28
ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบกลุ่ม 10 ครั้ง โดย $R = 105K\Omega$	29
ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบกลุ่ม 15 ครั้ง โดย $R = 28.25K\Omega$	30
ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดสอบกลุ่ม 10 ครั้ง โค้ป NH_4F 4.5% โดย $R = 1K\Omega$	32
ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดสอบกลุ่ม 15 ครั้ง โค้ป NH_4F 4.5% โดย $R = 9.735K\Omega$	33
ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบกลุ่ม 15 ครั้ง โค้ป NH_4F 4.5% โดย $R = 4.546K\Omega$	34
ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดสอบกลุ่ม 15 ครั้ง โค้ป NH_4F 4.5% โดย $R = 5.24K\Omega$	35
ตารางที่ 4.9 แสดงผลการทดสอบกลุ่ม 15 ครั้ง โค้ป NH_4F 4.5% โดย $R = 6.487M\Omega$	36
ตารางที่ 4.10 แสดงผลการทดสอบกลุ่ม 15 ครั้ง โค้ป NH_4F 4.5% โดย $R = 24.298K\Omega$	37
ตารางที่ 4.11 แสดงผลการทดสอบกลุ่ม 15 ครั้ง โค้ป $SbCl_3$ 0.25% โดย $R = 14.542K\Omega$	40
ตารางที่ 4.12 แสดงผลการทดสอบกลุ่ม 15 ครั้ง โค้ป $SbCl_3$ 0.5% โดย $R = 20.68K\Omega$	41
ตารางที่ 4.13 แสดงผลการทดสอบกลุ่ม 15 ครั้ง โค้ป $SbCl_3$ 1% โดย $R = 4.545K\Omega$	42
ตารางที่ 4.14 แสดงผลการทดสอบกลุ่ม 15 ครั้ง โค้ป $SbCl_3$ 1.5% โดย $R = 46.43K\Omega$	43
ตารางที่ 4.15 แสดงผลการทดสอบกลุ่ม 15 ครั้ง โค้ป $SbCl_3$ 2.5% โดย $R = 5.14K\Omega$	44

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

ความมุ่งหมายของรายงาน

1.1 บทนำ

ในปัจจุบันนี้ก๊าซแอลพีจี ได้เข้ามาเป็นส่วนหนึ่งของชีวิตประจำวันของเรามากขึ้น เพื่อนำมาใช้เป็นเชื้อเพลิงหุงต้มในครัวเรือนใช้เป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์รวมไปถึงใช้เป็นแหล่งพลังงานในโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น เนื่องจากน้ำมันมีราคาสูงขึ้นนั่นเอง จะเห็นได้ว่าก๊าซแอลพีจี มีความสำคัญอย่างมากในการดำรงชีวิตของมนุษย์ ดังนั้นแล้วหากว่าก๊าซเกิดการรั่วไหลขึ้นก็จะเป็นอันตรายต่อชีวิตได้ ดังนั้นแล้วเซ็นเซอร์ก๊าซจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมาก เพื่อนำมาตรวจจับปริมาณก๊าซแอลพีจี

1.2 ขอบเขตและความสำคัญของงาน

จากการศึกษาเซ็นเซอร์ก๊าซพบว่าทินออกไซด์ เป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น เมื่อมีโมเลกุลของก๊าซเข้ามาติดเกาะที่ผิวของสารกึ่งตัวนำ มีผลทำให้ความต้านทานของสารกึ่งตัวนำเปลี่ยนแปลงไป คุณสมบัติเด่นของทินออกไซด์ ก็คือมีความสามารถในการตอบสนองต่อก๊าซได้ดี สามารถตรวจวัดก๊าซที่มีความเข้มข้นต่ำได้ และนำมาใช้ตรวจจับก๊าซต่างๆ ได้ เช่น ก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์(CO) แอลกอฮอล์(C_2H_5OH), แอมโมเนีย(NH_3), ก๊าซไฮโดรเจน(H_2)และไฮโดรเจนซัลไฟด์(H_2S) เป็นต้น ในรายงานเล่มนี้เราได้ศึกษาก๊าซเซ็นเซอร์เพื่อตรวจจับก๊าซแอลพีจีเท่านั้น โดยใช้เทคนิคการ dip-coating โดยทำการศึกษาเงื่อนไขต่างๆ เช่น อุณหภูมิ จำนวนครั้งที่ใช้ในการ dip-coating และส่วนผสมของสารตั้งต้น ที่มีผลต่อความต้านทานของฟิล์ม จากนั้นนำมาทำเป็นเซ็นเซอร์ตรวจจับก๊าซแอลพีจี เซ็นเซอร์ที่สร้างขึ้นจะถูกนำมาทดสอบ ที่ความเข้มข้น และที่อุณหภูมิทดสอบต่างๆ

1.3 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.3.1 เพื่อศึกษาคุณสมบัติของทินออกไซด์ที่จะนำมาสร้างเป็นเซ็นเซอร์
- 1.3.2 เพื่อศึกษาการตอบสนองของทินออกไซด์ต่อก๊าซแอลพีจี
- 1.3.3 เพื่อพัฒนาเซ็นเซอร์ตรวจจับก๊าซแอลพีจีให้สามารถนำมาใช้งาน ได้จริง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ได้ทราบถึงความสำคัญและความจำเป็นของก๊าซเซินเซอร์
- 1.4.2 สร้างเซ็นเซอร์ก๊าซแอลพีจีได้
- 1.4.3 รู้จักวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดสอบการวัดเซ็นเซอร์กับก๊าซแอลพีจี
- 1.4.4 รู้จักปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้น และหาวิธีการแก้ไขปัญหาได้
- 1.4.5 เรียนรู้การทำงานเป็นกลุ่ม เพื่อต่อไปจะได้สามารถทำงานร่วมกับบุคคลคนอื่นได้

1.5 แนวโน้มและการประยุกต์ใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับทางเคมีในอนาคต

เนื่องจากความจำเป็นที่ต้องมีเซ็นเซอร์ตรวจจับก๊าซในสถานที่ต่างๆ เช่น ในโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่, โรงเก็บสารเคมี, ห้องปฏิบัติการ, แหล่งชุมชน, โรงพยาบาล, ปั้มน้ำมัน, เรือ, รถยนต์, ที่ใกล้ตัวที่สุดคือบ้านที่อยู่อาศัย จำเป็นอย่างมากที่ต้องมีเครื่องตรวจจับทางเคมี เพื่อวัดระดับสารเคมีสูงสุดที่มนุษย์ทนได้ เห็นได้ว่าได้มีการออกกฎหมายคุ้มครองและควบคุมสารเคมีที่เป็นอันตราย โดยโครงการนี้เราได้สร้างเซนเซอร์ตรวจจับก๊าซแอลพีจี โดยมีโครงสร้างอย่างง่ายด้วยวิธีการ dip-coating ซึ่งเป็นวิธีการสร้างเซ็นเซอร์ที่ประหยัดค่าใช้จ่าย เมื่อสร้างเป็นเซนเซอร์แล้วราคาเซนเซอร์ที่สร้างด้วยวิธีนี้จะถูกมาก ดังนั้นแล้วหากมีการนำมาใช้งานได้จริงก็จะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในโรงงานอุตสาหกรรม หรือในแหล่งต่างๆที่มีก๊าซแอลพีจี

บทที่ 2

ทฤษฎีและเซ็นเซอร์ตรวจจับก๊าซแอลพีจี

2.1 ความรู้เกี่ยวกับก๊าซแอลพีจี

2.1.1 คุณสมบัติของก๊าซLPG

ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (LPG: Liquefied Petroleum Gas) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ซึ่งมีองค์ประกอบของก๊าซโพรเพน (Propane) เป็นส่วนใหญ่ จึงเป็นก๊าซที่หนักกว่าอากาศ โดยตัว LPG เองไม่มีสี ไม่มีกลิ่นเช่นเดียวกับก๊าซธรรมชาติ แต่เนื่องจากเป็นก๊าซที่หนักกว่าอากาศจึงมีสารผสมและลูกเหม็นได้ง่าย ดังนั้น จึงมีข้อกำหนดให้เติมสารมีกลิ่น เพื่อเป็นการเตือนภัยหากเกิดการรั่วไหล LPG ส่วนใหญ่จะใช้เป็นเชื้อเพลิงในครัวเรือนและกิจการอุตสาหกรรม โดยบรรจุเป็นของเหลวใส่ถังที่ทนความดันเพื่อให้ขนถ่ายง่าย นอกจากนี้ยังนิยมใช้แทนน้ำมันเบนซินในรถยนต์ เนื่องจากราคาถูกกว่าและมีค่าออกเทนสูงถึง105RON(Research Octane Number = เป็นค่าออกเทนที่มีประสิทธิภาพต่อต้านการน็อกในเครื่องยนต์หลายสูบที่ทำงานอยู่ในรอบของช่วงหมุนต่ำ โดยใช้เครื่องยนต์ทดสอบมาตรฐานภายใต้สภาวะมาตรฐาน 600 รอบ ต่อนาที) ก๊าซแอลพีจีนั้นสามารถจุดระเบิดในอากาศที่อุณหภูมิ 400 และต้องค่าความเข้มข้นของก๊าซแอลพีจีในอากาศเกิน 2000 ppm

ตารางที่2.1 แสดงคุณสมบัติของก๊าซ LPG

คุณสมบัติ	LPG	
สถานะปกติ	ก๊าซ (หนักกว่าอากาศ)	
จุดเดือด (องศาเซลเซียส)		-50-0
อุณหภูมิจุดระเบิดในอากาศ (องศาเซลเซียส)		400
ช่วงติดไฟในอากาศ (ร้อยละโดยปริมาตร)	ต่ำสุด	15
	ต่ำสุด	1.5
ค่าออกเทน 1/	RON2/	105
	MON3/	97

2.1.2 ประโยชน์ของก๊าซ

- ใช้เป็นเชื้อเพลิง เราสามารถใช้ก๊าซธรรมชาติได้โดยตรง ด้วยการใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า หรือในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น อุตสาหกรรมเซรามิก อุตสาหกรรมสุกัณฑ์ ฯลฯ และเมื่อนำไปอัดใส่ถังด้วยความดันสูงก็สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์ได้ เรียกว่า ก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์ (Natural Gas for Vehicles - NGV)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- **นำไปผ่านกระบวนการแยกในโรงแยกก๊าซ** เพราะในตัวเนื้อก๊าซธรรมชาติ มีสารประกอบที่เป็นประโยชน์อยู่มากมาย เมื่อนำมาผ่านกระบวนการแยกที่โรงแยกก๊าซแล้ว ก็จะได้ผลิตภัณฑ์ต่างๆ มาใช้ประโยชน์ได้ดังนี้ ก๊าซมีเทน (C1) : ใช้เป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้า ในโรงงานอุตสาหกรรม และนำไปอัดใส่ถังด้วยความดันสูง เรียกว่าก๊าซธรรมชาติอัด สามารถใช้เป็นเชื้อเพลิงในรถยนต์ รู้จักกันในชื่อว่า "ก๊าซธรรมชาติสำหรับยานยนต์" (Natural Gas for Vehicles : NGV) เช่นเดียวกัน และหากนำเอาก๊าซโพรเพนกับก๊าซบิวเทนมาผสมกัน อัดใส่ถังเป็น ก๊าซปิโตรเลียมเหลว (Liquefied Petroleum Gas - LPG) หรือที่เรียกว่าก๊าซหุงต้ม สามารถนำไปใช้เป็นเชื้อเพลิงในครัวเรือน เป็นเชื้อเพลิงสำหรับรถยนต์ และใช้ในการเชื่อม โลหะได้ รวมทั้งยังนำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมบางประเภทได้อีกด้วย

2.1.3 ข้อระวังในการใช้ก๊าซ

อันตรายเนื่องจากคุณสมบัติเฉพาะตัวคือ ความไม่มีพิษ โดยทั่วไปก๊าซธรรมชาติ จะไม่เป็นพิษต่อร่างกาย แต่ในกรณีที่ก๊าซธรรมชาติมีก๊าซไข่เน่า (ก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์) เจือปนอยู่มาก อาจก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้ที่ได้สัมผัสหรือสูดหายใจเอาก๊าซนั้นได้ เนื่องจากก๊าซไฮโดรเจนซัลไฟด์จะทำลายเนื้อเยื่ออ่อน เช่น เยื่อตา เนื้อเยื่อระบบทางเดินหายใจและปอด หากเกิดไฟไหม้/ระเบิด (fire / explosion) ก๊าซธรรมชาติเป็นก๊าซติดไฟ กรณีที่มีก๊าซรั่วไหลผสมกับอากาศ อาจก่อให้เกิดการลุกไหม้ได้ ถ้าอัตราส่วนผสมของก๊าซและอากาศพอเหมาะจะติดไฟ และมีแหล่งความร้อนหรือเปลวไฟหรือประกายไฟในบริเวณนั้น นอกจากนี้ อาจก่อให้เกิดการระเบิดได้ ถ้าเกิดการสะสมของก๊าซธรรมชาติในบริเวณใดบริเวณหนึ่ง โดยเฉพาะที่อับต่างๆ เช่น ภายในอาคารสถานที่ที่ไม่มีการระบายอากาศที่ดีพอ

2.2 เซ็นเซอร์ก๊าซ

2.2.1 ส่วนประกอบของ เซ็นเซอร์ก๊าซ

เซนเซอร์ก๊าซ ประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก 2 ส่วนดังแสดงในรูปที่ 2.1 คือ



Sensing Transducer Membrane

รูปที่ 2.1 แสดงส่วนประกอบของเซ็นเซอร์ก๊าซ

1. Sensing Membrane เป็นส่วนที่ทำหน้าที่จับหรือทำปฏิกิริยาเคมีกับก๊าซที่ต้องการวัด
- 2 Transducer ทำหน้าที่วัดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับ sensing membrane เมื่อ membrane จับหรือทำปฏิกิริยากับก๊าซ (sensing Membrane กับ Transducer อาจจะเป็นตัวเดียวกันก็ได้)

2.2.2 คุณสมบัติของเซ็นเซอร์ก๊าซ

เราสามารถแบ่งคุณสมบัติของก๊าซเซ็นเซอร์ ออกเป็น 5 อย่างที่สำคัญคือ

1. ความไวการตอบสนอง (Response)
2. ความไวในการวัด (Sensitivity)
3. ความจำเพาะ (Selectivity)
4. ความเสถียรภาพ (Stability)
5. พิสัยการวัด (Dynamic Range)

1. ความไวการตอบสนอง (Response) คือ ความสามารถในการตอบสนองอย่างรวดเร็ว ในทันทีเมื่อก๊าซที่เราทำการวัดมาสัมผัสกับเซ็นเซอร์ก๊าซ คุณสมบัติข้อนี้มีความสำคัญมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อก๊าซ ที่เราทำการวัดเป็นก๊าซพิษหรือก๊าซไวไฟ เพื่อเราจะ ได้หลีกเลี่ยงและแก้ไข ได้ทันที ก่อนที่จะได้รับอันตรายหรือเกิดเหตุร้ายแรง ในบริเวณที่ทำการวัดก๊าซ หากก๊าซรั่วไหลออกมา

2. ความไวในการวัด (Sensitivity) คือ ความสามารถของเซ็นเซอร์ก๊าซ ที่จะบอกความแตกต่างของปริมาณก๊าซที่จะทำการวัด เช่น เซ็นเซอร์ก๊าซบางชนิด ไม่สามารถบอกความแตกต่างของ ก๊าซ ปริมาณน้อย ๆ เช่น 10 ppm กับ 11 ppm ได้ ดังนั้นเมื่อนำไปวัด ก๊าซ 2 บริเวณที่มี ก๊าซ

แตกต่างกันน้อย ๆ ก็จะทำให้เราเข้าใจผิดคิดว่าบริเวณทั้ง 2 มีก๊าซในปริมาณเท่ากัน คุณสมบัติชนิดนี้จะสำคัญเฉพาะกรณีก๊าซที่เราวัดมีปริมาณน้อย ๆ หรือต้องการความถูกต้องในการวัดสูงเท่านั้น

3. ความจำเพาะ (Selectivity) คือ ความสามารถในการแยกแยะความแตกต่างระหว่างก๊าซที่เราต้องการวัดกับก๊าซที่เราไม่ต้องการ วัดได้ กล่าวคือ เช่น เซอร์ก๊าซ ชนิดหนึ่ง ๆ ควรมีความสามารถในการตอบสนองต่อก๊าซชนิดหนึ่งชนิดเดียวที่เราต้องการวัด และไม่ควรที่จะตอบสนองต่อก๊าซชนิดอื่น เพราะจะทำให้สัญญาณรบกวนการวัดได้ ในทางปฏิบัติเราต้องพยายามหาวัสดุที่เหมาะสมที่ไวเฉพาะต่อก๊าซที่เราต้องการวัดมาใช้ทำ Sensing membrane หรืออาจจะเจือสารบางตัวลงไปในวัสดุที่ใช้ทำ membrane เพื่อให้ membrane มีความไวในการตอบสนองต่อก๊าซที่เราต้องการวัดขึ้นมาได้ หรือเนื่องต่อการตอบสนองต่อก๊าซที่เราไม่ต้องการที่จะวัด Selectivity เป็นคุณสมบัติที่สำคัญมาก ซึ่งเซ็นเซอร์ก๊าซที่ดีต้องมีค่า Selectivity สูง

4. ความเสถียรภาพ (Stability) คือ ผลในการวัดคงที่ไม่เสื่อมสภาพเร็วในการใช้งาน เพื่อให้เซ็นเซอร์ สามารถใช้วัดได้อย่างต่อเนื่อง โดยทั่วไป Sensing Membrane ทำจาก Polymer มักมีปัญหาในการใช้งาน

5. พิสัยการวัด (Dynamic Range) คือ ช่วงกว้างของการวัดของ Sensor ซึ่ง Sensor บางตัวสามารถวัดก๊าซปริมาณตั้งแต่ 100-10000 ppm แต่บางตัวใช้วัดในระยะ 10-50 ppm

2.2.3 ชนิดหลัก ๆ ของเซ็นเซอร์ก๊าซ

แบ่งเซ็นเซอร์ก๊าซ ตามลักษณะการทำงานออกเป็น 3 ชนิดหลัก ๆ คือ

1. Gas Adsorption Gas Sensor
2. Gas Reaction Gas Sensor
3. Selective Membrane Gas Sensor

1. Gas Adsorption Gas Sensor Gas Sensor ในกลุ่มนี้ทำงานโดยวัดการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น เมื่อมีโมเลกุลของก๊าซถูกดูดซับเข้าไปบนผิวของวัสดุทำใช้ทำเซ็นเซอร์ ซึ่งเมื่อผิววัสดุที่ใช้ทำ เซ็นเซอร์ ถูกดูดซับโมเลกุลของก๊าซ เข้าไปที่ผิวทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง

- surface potential ทำให้เกิดการนำไฟฟ้า
- เกิดการเปลี่ยนแปลงมวล ทำให้น้ำหนักของวัสดุเปลี่ยนแปลงไป เป็นผลให้ความถี่ ไซเรนซ์ของระบบที่เปลี่ยนแปลงไป

2. Gas Reaction Gas Sensor Gas Sensor แบบนี้ทำการวัดผลการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นเมื่อก๊าซที่ต้องการวัดเกิดปฏิกิริยา เช่น การจัดการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิของเซรามิกที่มีตัวคะตะลิสต์ผสมอยู่ เมื่อเซรามิกสัมผัสกับก๊าซที่เผาไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. Selective Membrane Gas Sensor ซึ่งทำงานโดยใช้ประโยชน์ของ Sensing membrane ที่ยอมให้ก๊าซบางชนิดเท่านั้นผ่านเข้าไปได้ เช่น เซอร์ก้าซ ชนิดที่ใช้วัด Oxygen จะมีแผ่น membrane แบบ solid electrolyte ที่ทำมาจาก Y_2O_3 dope ZrO_2 ส่วนที่ใช้วัด SO_2 จะมีแผ่น membrane แบบ Solid electrolyte ที่ทำมาจาก $K_2 SO_4$ โดยเมื่อมีก๊าซ ช่างเดินซึมผ่านเข้าไปก็จะทำให้วัสดุคงกล่าวเปลี่ยนแปลงไป เราที่วัดปริมาณการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นหากเปลี่ยนแปลงมากก็แสดงว่ามีก๊าซดังกล่าวมาก นอกจากนี้เรายังสามารถแบ่งเซ็นเซอร์ก้าซ ชนิดหลักๆ ออกเป็น เซ็นเซอร์ก้าซ ชนิดย่อยๆ ได้ดังแสดงในตารางที่ 2.2

2.3 การตรวจวัดปริมาณสาร

การตรวจวัดปริมาณสารมีจุดมุ่งหมายสำคัญ เพื่อการวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์หรือตัวแปรต่างๆ ทั้งในระหว่างกระบวนการผลิตและเมื่อสิ้นสุดกระบวนการ รูปแบบและวิธีการวัดมีการพัฒนาอย่างรวดเร็ว ไม่ว่าจะเป็นการวัดตัวแปรทางกายภาพและทางเคมี ตัวอย่างการวัดทางกายภาพ เช่น การวัดปริมาตร, มวล, ความหนาแน่น, อัตราการไหล, ความดันและอุณหภูมิ เป็นต้น ในการวัดตัวแปรทางเคมี ในปัจจุบัน มีเครื่องมือต่างๆ เช่น ก๊าซและลิควิด โครมาโตกราฟี (Gas-Liquid chromatography) พีเอชมิเตอร์ (pH meter) อีออนซีเลคทีฟอิเล็กโทรด (Ion-selective electrode) และสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectro photo meter) เป็นต้น เครื่องมือวัดเหล่านี้ทำงานได้ดี ทั้งการวัดตัวแปร หรือสารตัวอย่าง โดยตรงหรือมีการทำตัวอย่างเปลี่ยนแปลงสภาพที่ทำให้เครื่องมือวัดหรือเซ็นเซอร์ตอบสนอง

การใช้วัสดุในการวิเคราะห์ปริมาณสารที่เรียกว่า Chemical assay มักใช้เวลาในการวิเคราะห์ เช่น TGS sensors ของ Figaro Engineering company ที่ใช้เนื้อสารของดีบุกออกไซด์ (SnO_2) เป็นตัวเพื่อวิเคราะห์ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) จากท่อไอเสียรถ ปัจจุบันมีการใช้หัววัดทางเคมี ไปติดเข้ากับเครื่องมือทางไฟฟ้าในการหาปริมาณสารตัวอย่าง ได้ภายในระยะเวลาอันรวดเร็ว เครื่องมือวัดแบบนี้ เรียกว่า เคมีเซ็นเซอร์ (chemsensors)

2.4 นิยามของก๊าซเซ็นเซอร์

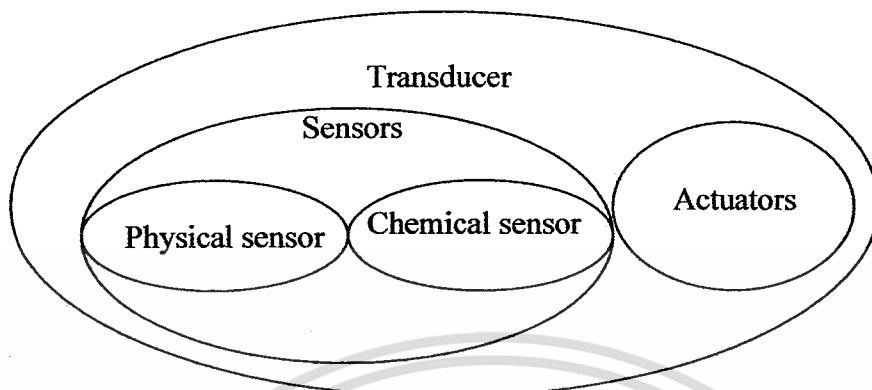
เซ็นเซอร์จะเป็นส่วนสำคัญสำหรับระบบการควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถแสดงผลออกมาแทนการตอบสนองของประสาทสัมผัสของมนุษย์ ที่นอกจากเราจะสามารถได้ยินสัมผัสคมกลิ่น การลิ้มรสและการมองเห็น เราอาจจะได้รับอันตรายจากการสัมผัสหรือได้รับสิ่งเหล่านั้นโดยตรงในปริมาณที่มากเกินไปจนเกิดอาการเจ็บปวดที่ร่างกายจะได้รับ เซ็นเซอร์จะสามารถแสดงเป็นทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ให้ค่าที่เท่ากับการตอบสนองของร่างกาย อย่างไรก็ตามอาจกล่าวได้ว่าการพัฒนาเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซ็นเซอร์มีการพัฒนาเป็นอุปกรณ์ไมโครอิเล็กทรอนิกส์ที่ให้สัญญาณเป็นดิจิทัลอย่างมาก โดยเฉพาะการทำตัวตรวจจับ ที่สามารถตอบสนองต่อสารเคมี และในกรณีที่มีการทำกล้อง CCD ที่สามารถแยกประสาทในการมอง ได้สูงมากหรือน้อยแม้แต่การทำไมโครโฟนที่มีความไวในการตอบสนองเสียงได้ดี ซึ่งสิ่งเหล่านี้ยังเป็นขั้นเริ่มต้น

สัญญาณดิจิทัลในทางอิเล็กทรอนิกส์ของตัวตรวจจับทางเคมีซึ่งจะสามารถรู้รสและได้กลิ่นของสิ่งไม่มีชีวิต ถึงแม้แต่ในระบบชีววิทยายังมีระบบภูมิคุ้มกัน และการวัดปริมาณกลูโคส การวัดความเข้มข้นสารเคมีและการควบคุมปริมาณที่ต้องใช้ความถูกต้องสูง เพื่อที่จะแทนที่หรือเป็นตัววัดระบบทางชีววิทยาเหล่านี้จนในที่สุดจะได้ตรวจจับที่มีการตอบสนองและการแยกแยะที่ดี วัสดุตรวจจับทางเคมีในเชิงพาณิชย์จะต้องสามารถปรับค่าเริ่มต้นแต่ยังไม่สามารถแยกแยะและมีความไวในการตอบสนองได้ดีพอ อย่างไรก็ตามถ้ามีสารชีววิทยาที่สามารถเป็นตัวตรวจจับทางเคมีและทางชีววิทยาที่สามารถแยกแยะสารและการตอบสนองที่ดีที่เหมือนระบบชีววิทยานั้นได้รับการยอมรับในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาได้มีการวิจัยทางนี้อย่างกว้างขวางและจนกระทั่งในปัจจุบันได้มีเซ็นเซอร์ออกสู่ตลาดหลายชนิด

ตัวอย่างเซ็นเซอร์ที่ได้รับการแพร่หลายมากที่สุดก็คือ กลูโคส เซ็นเซอร์ ในปัจจุบัน เซ็นเซอร์ชนิดสามารถสร้างได้ง่าย มีราคาถูก จนสามารถใช้แล้วทิ้งได้ เพื่อให้การตอบสนองที่ดี และมีความถูกต้อง และยังมีการแสดงผลเป็นสัญญาณดิจิทัลเพื่ออำนวยความสะดวก

ความหมายของคำว่า ทรานสดิวเซอร์ (Transducers) มีรากศัพท์มาจาก ภาษาลาติน จากคำว่า “transduco-traduco” ซึ่งหมายถึง “การเปลี่ยนแปลงสภาพ-การแปลงสภาพ” ดังนั้น อุปกรณ์จะต้องเป็นการเปลี่ยนแปลงหรือการแปลงสภาพ พลังงานจากระบบหนึ่ง ไปเป็นระบบอื่น โดยที่รูปแบบอาจจะเปลี่ยนไปก็ได้ ซึ่งจะเป็นความหมายของทรานสดิวเซอร์ การวัดค่าต่างๆ ในสิ่งแวดล้อม ทรานสดิวเซอร์จะเป็นอุปกรณ์ที่แสดงการเปลี่ยนแปลงสัญญาณจากพลังงานรูปหนึ่งไปเป็นพลังงานอีกรูป โดยพลังงานมีอยู่หลายรูป เช่น ทางไฟฟ้า, ทางกลศาสตร์, ทางแสง, ทางความร้อน, ทางแม่เหล็ก และทางการแผ่รังสี



รูปที่ 2.2 แสดงการจัดกลุ่มของทรานสดิวเซอร์ (Transducers)

เซ็นเซอร์ (Sensor) เป็นทรานสดิวเซอร์ที่แปลงสัญญาณในรูปแบบต่างๆ เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ส่วนแอกชูเอเตอร์ (Actuators) จะเป็นทรานสดิวเซอร์ที่แปลงจากสัญญาณทางไฟฟ้าไปเป็นสัญญาณในรูปอื่น โดยทั่วไปจะเป็นสัญญาณในรูปกลศาสตร์ ตัวอย่างของเซ็นเซอร์ เช่น เซ็นเซอร์วัดความดัน pH เซนเซอร์ และไฟโด้ทรานซิลเลเตอร์ ตัวอย่างแอกชูเอเตอร์ (Actuators) เช่น โซลินอยด์ อุปกรณ์เพียร์โซอิเล็กทริก และเลเซอร์ไดโอด ส่วนในเคมีคอลแอกชูเอเตอร์ (Chemical Actuators) เมื่อป้อนศักดาทางไฟฟ้าจะทำให้เกิด ไฮโดรเจน และออกซิเจน จอภาพจะเป็นทรานสดิวเซอร์ชนิดพิเศษที่แปลงจากสัญญาณทางไฟฟ้าไปเป็นรูปแบบที่มองเห็น เช่น จอภาพ CRT, จอ LCD array ซึ่งจะเป็นอุปกรณ์แสดงผลที่สามารถพบเห็นได้ทั่วไป

โดยทั่วไประบบควบคุมการทำงานของทรานสดิวเซอร์ในทางอิเล็กทรอนิกส์จะประกอบด้วยเซ็นเซอร์ที่อยู่ในส่วนอินพุตต่อไปยังสัญญาณทางไฟฟ้า จากนั้นสัญญาณทางไฟฟ้าจะผ่านการขยายสัญญาณ โดยแอกชูเอเตอร์เพื่อแสดงบนหน้าจอ ส่วนชนิดและวัสดุที่ทำเป็นเซ็นเซอร์

ตารางที่ 2.2 แสดงตัวอย่างชนิดของเซนเซอร์และวัสดุที่ใช้ทำเซ็นเซอร์

ชนิดเซ็นเซอร์	วัสดุเซ็นเซอร์	Sensor Function
อุณหภูมิ	$(\text{Mn,Cu})(\text{Mn,Co,Ni})_2\text{O}_4$	NTC thermistor
	$\text{CoAl}_2\text{O}_4, \text{NiAl}_2\text{O}_4$	PTC thermistor
	$\text{Mg}(\text{Al,Cr,Fe})_4\text{O}_4$	Temperature switch
	SiC,	
	BaTiO ₃ ,	
	$\text{VO}_2, (\text{Mn,Zn})\text{Fe}_2\text{O}_4$	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความชื้น	MgCr ₂ O ₄ -TiO ₂ , V ₂ O ₅ -TiO ₂ , ZnCr ₂ O ₄ -LiZnVO ₄ ,Al ₂ O ₃ , Ca ₁₀ (PO ₄)(OH) ₂ ZrO ₂ -MgO	ความนำไฟฟ้า
ก๊าซ	SnO ₂ ,ZnO,γ-Fe ₂ O ₃ , α-Fe ₂ O ₃ ,TiO ₂ MgO CoO-Mgo,Zro ₂ -CaO	ความนำไฟฟ้า
อ็อน	AgX(X:Cl,Br,I,CN,SCN) Pbs-Ag2,CdS-AgS CuS-Ag2S	อ็อน ซีเล็คทีฟ อ็เล็กโตรด
ระยะทาง-ความเร็ว	Pb(Zr,Ti)O3	เปียร์ โซอ็เล็กตริก (Piezoelectricity)
แสง	PbTi3,LiTaO3 LiNbO3,Pb(Zr,Ti)O3 CaF2,Li2B4O7	Pyroelectricity (Infrared detection) Thermoluminescence

2.5 ทินออกไซด์ก๊าซเซ็นเซอร์

สารกึ่งตัวนำทินออกไซด์เซนเซอร์ (SnO₂) เริ่มสร้างขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1968 โดยเซ็นเซอร์ชนิดนี้เริ่มพัฒนาเพื่อใช้ในการตรวจจับก๊าซ LPG ในเวลาต่อมาได้มีการพัฒนาเพื่อที่จะใช้ในการตรวจจับก๊าซชนิดอื่นด้วย เช่น ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) แอลกอฮอล์ (C₂H₅OH) แอมโมเนีย (NH₃) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H₂S) และก๊าซไฮโดรเจน (H₂) เป็นต้น

ความสำเร็จดังกล่าวนี้ ได้มีการศึกษาอย่างละเอียดถึงความแตกต่างของชนิดวัสดุสารกึ่งตัวนำที่ใช้สร้างเซ็นเซอร์ พบว่ามีเพียงทินออกไซด์ก๊าซเซ็นเซอร์เพียงชนิดเดียวเท่านั้นที่สามารถตรวจจับก๊าซจากท่อไอเสียรถยนต์ได้ดี รวมทั้งในการตรวจจับก๊าซชนิดอื่นด้วย

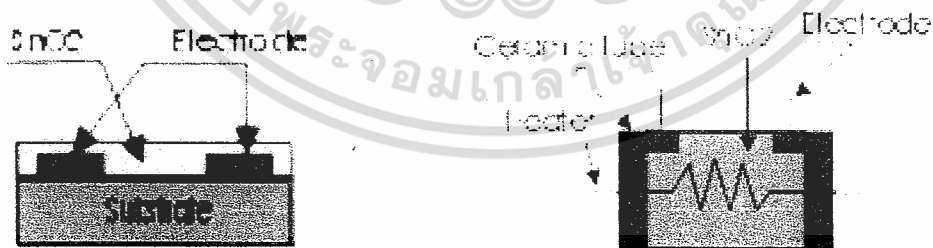
การเริ่มวินิจฉัยในการหาวัสดุที่มาสสร้างเป็นก๊าซเซ็นเซอร์นั้น ในเริ่มแรกทินออกไซด์ไม่ได้รับการยอมรับเท่าที่ควร เพราะเนื่องจากปัญหาในเรื่องคุณสมบัติของทินออกไซด์เอง เช่น ความไวในการตรวจจับก๊าซที่อุณหภูมิห้อง ความจำเพาะในการตรวจจับก๊าซและผลของความชื้นซึ่งปัญหาเหล่านี้ จะส่งผลกระทบต่อความน่าเชื่อถือ ความน่าเชื่อถือของก๊าซเซ็นเซอร์จะมีความสำคัญในด้านความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาติให้นำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถูกต้องของการวัดในอุตสาหกรรมและความปลอดภัยต่อร่างกายของมนุษย์ ดังนั้น จึงมีการพัฒนา ทินไดออกไซด์ในเงื่อนไขต่างและเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติบางประการจนทำให้ออกไซด์มี คุณสมบัติที่เหมาะสม และมีความไวในการตรวจก๊าซได้เร็ว ซึ่งจะแสดงว่า ทินออกไซด์ก๊าซ เซ็นเซอร์สามารถตรวจจับก๊าซที่มีปริมาณของสารที่ความเข้มข้นต่ำได้

ตัวตรวจจับก๊าซแบบสารกึ่งตัวนำ (Semiconductor gas sensor) คือ เซ็นเซอร์ก๊าซที่อาศัย ประโยชน์จากลักษณะสมบัติของสารกึ่งตัวนำ กล่าวคือเมื่อมี โมเลกุลของก๊าซเข้ามาดูดเกาะ (adsorb) ที่ผิวของสารกึ่งตัวนำ จะทำให้เกิดการถ่ายเทอิเล็กตรอนระหว่าง โมเลกุลของก๊าซกับสารกึ่งตัวนำ นั้นขึ้น ซึ่งจะมีผลทำให้ค่าความต้านทานของสารกึ่งตัวนำเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้น โดยการวัดการนำ จะทำให้เราทราบความเข้มข้นของก๊าซได้

ลักษณะการนำไฟฟ้าที่เกิดขึ้นนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ 1) การเปลี่ยนแปลง การนำไฟฟ้าที่ผิว และ 2) การเปลี่ยนแปลงการนำไฟฟ้าในบัลค์ (Bulk) แบบแรกนั้นส่วนใหญ่จะมี ลักษณะเป็น ฟิล์มบางหรือฟิล์มหนา ส่วนแบบหลังนั้นจะมีความหนามาก โดยมีลักษณะเป็นก้อน เซรามิก (sintered block) ลักษณะการตอบสนองของก๊าซเซ็นเซอร์ ต่อชนิดของก๊าซนั้นจะขึ้นกับ ชนิดขององค์ประกอบของวัสดุที่ใช้ในการประดิษฐ์และอุณหภูมิการทำงาน ตัวอย่างของวัสดุ ที่ใช้ ทำก๊าซเซ็นเซอร์แบบนี้ได้แก่ SnO_2 , ZnO เป็นต้น สารเหล่านี้สามารถนำมาใช้ประดิษฐ์ก๊าซเซ็นเซอร์ สำหรับวัดก๊าซ Nox , Co , H_2 , alcohol และอื่น ๆ อีกมากมาย โครงสร้างของก๊าซเซ็นเซอร์แบบสาร กึ่งตัวนำ แสดงได้ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 โครงสร้างของก๊าซเซ็นเซอร์แบบสารกึ่งตัวนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

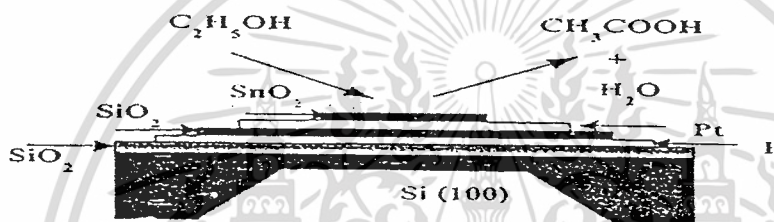
2.6 ปฏิริยาเคมีระหว่างทินออกไซด์กับก๊าซต่างๆ

เราจะแบ่งปฏิริยาเคมีที่เกิดขึ้นได้ 2 แบบ โดยดูได้จากว่าความต้านทานของทินออกไซด์ลดลงหรือเพิ่มขึ้น

2.6.1 ปฏิริยาออกซิเดชัน

ในปฏิริยาออกซิเดชัน ก๊าซทดสอบจะถูกออกซิไดซ์ (ให้อิเล็กตรอนแก่ทินออกไซด์) และทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์ ซึ่งจะมีผลทำให้ความต้านทานของทินออกไซด์ลดลง

- เอทิลแอลกอฮอล์ C_2H_5OH

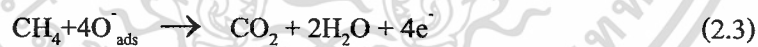


รูปที่ 2.4 การตรวจจับ C_2H_5OH ของทินออกไซด์ จะได้ CH_3COOH และ H_2O

- คาร์บอนมอนอกไซด์ CO



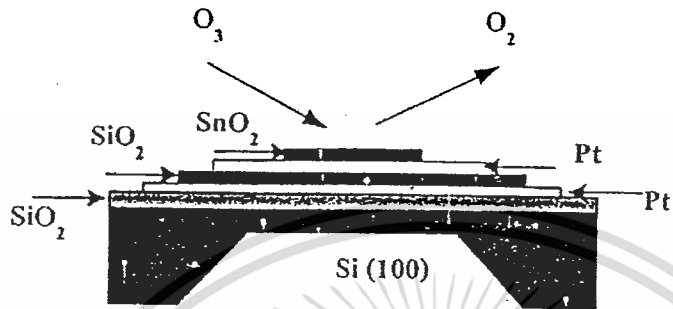
- มีเทน CH_4



2.6.2 ปฏิริยารีดักชัน

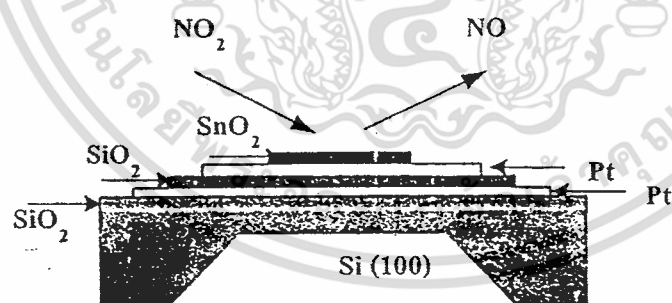
ในปฏิริยารีดักชัน ก๊าซทดสอบจะถูกรีดิวซ์ (ดึงอิเล็กตรอนจากทินออกไซด์) และทำหน้าที่เป็นตัวออกไซด์ ซึ่งจะมีผลทำให้ความต้านทานของทินออกไซด์เพิ่มขึ้น

-ไอโชน O_3



รูปที่ 2.5 การตรวจจับ O_3 ของทินออกไซด์ จะได้ O_2

-ไนเตรส NO_2



รูปที่ 2.6 การตรวจจับ NO_2 ของทินออกไซด์ จะได้ NO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

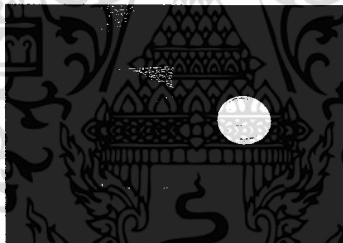
การสร้างเซ็นเซอร์แอลพีจี

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการสร้างฟิล์มบางทินออกไซด์

3.1.1 ฐานรอง

ฐานรองที่ใช้ในการทดลองเป็นกระจกใส(Clear Glass) กับอะลูมินา(Alumina) ขนาด 10 ซม. × 10 ซม. จากนั้นนำมาตัดให้มีขนาด 2.5 ซม. × 5 ซม. จากนั้นก็นำกระจกมาทำความสะอาด ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- นำฐานรองขนาด 2.5 ซม. × 5 ซม. มาอัลตราโซนิกในอะซิโตน 15 นาที
- นำฐานรองขนาด 2.5 ซม. × 5 ซม. มาอัลตราโซนิกในแอลกอฮอล์ 15 นาที
- นำฐานรองขนาด 2.5 ซม. × 5 ซม. มาอัลตราโซนิกในน้ำ DI 15 นาที
- เป่าลมให้กระจกแห้ง
- พร้อมที่จะนำมาใช้งาน



รูปที่ 3.1 ภาพถ่ายกระจกที่นำมาใช้เป็นฐานรอง

3.1.2. สารละลาย

การเตรียมสารเคมีนั้นต้องระวังอย่างมากเพราะว่าสารเคมีที่ใช้มีอันตรายต่อผิวหนัง ควรใส่ถุงมือทุกครั้งขณะที่ทำการผสมสาร ในการทดลองนี้สารตั้งต้นที่ใช้คือ SnCl_2 โดยเราได้ใช้เอทานอล 100 มิลลิลิตรคงที่

อัตราส่วนระหว่าง NH_4F : SnCl_2 มีดังนี้

- ได้ NH_4F 0% : SnCl_2 ปริมาณ 5.640 กรัม
- ได้ NH_4F 1% ปริมาณ 0.056 กรัม : SnCl_2 ปริมาณ 5.640 กรัม
- ได้ NH_4F 3.5% ปริมาณ 0.197 กรัม : SnCl_2 ปริมาณ 5.640 กรัม
- ได้ NH_4F 4.5% ปริมาณ 0.250 กรัม : SnCl_2 ปริมาณ 5.640 กรัม
- ได้ NH_4F 5.5% ปริมาณ 0.310 กรัม : SnCl_2 ปริมาณ 5.640 กรัม
- ได้ NH_4F 7.5% ปริมาณ 0.423 กรัม : SnCl_2 ปริมาณ 5.640 กรัม

- ได้ NH_4F 10% ปริมาณ 0.564 กรัม : SnCl_2 ปริมาณ 5.640 กรัม

อัตราส่วนระหว่าง $SbCl_3$: $SnCl_2$ มีดังนี้

- ได้ปี $SbCl_3$ 0.25% ปริมาณ 0.014 กรัม : $SnCl_2$ ปริมาณ 5.640 กรัม
- ได้ปี $SbCl_3$ 0.5% ปริมาณ 0.028 กรัม : $SnCl_2$ ปริมาณ 5.640 กรัม
- ได้ปี $SbCl_3$ 1% ปริมาณ 0.056 กรัม : $SnCl_2$ ปริมาณ 5.640 กรัม
- ได้ปี $SbCl_3$ 1.5% ปริมาณ 0.085 กรัม : $SnCl_2$ ปริมาณ 5.64 0 กรัม
- ได้ปี $SbCl_3$ 2.5% ปริมาณ 0.141 กรัม : $SnCl_2$ ปริมาณ 5.64 0 กรัม
- ได้ปี $SbCl_3$ 4.5% ปริมาณ 0.250 กรัม : $SnCl_2$ ปริมาณ 5.64 0 กรัม

อัตราส่วนระหว่าง Fe : $SnCl_2$ มีดังนี้

- ได้ปี Fe 0.5% ปริมาณ 0.028 กรัม : $SnCl_2$ ปริมาณ 5.640 กรัม
- ได้ปี Fe 4.5% ปริมาณ 0.250 กรัม : $SnCl_2$ ปริมาณ 5.64 0 กรัม

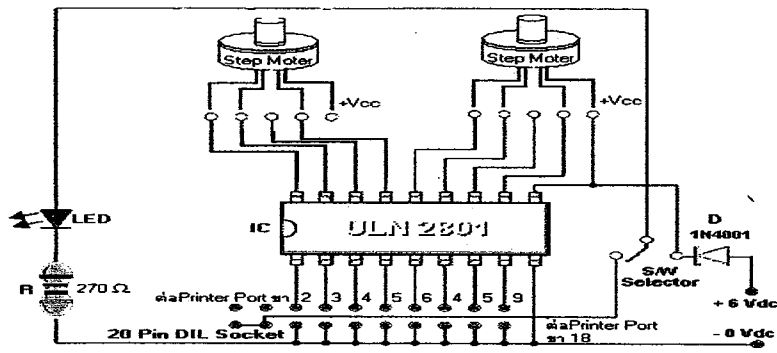
3.1.3 อุปกรณ์เคลื่อนที่

เครื่องจุ่มที่ใช้ในการทดลองนั้นเป็นเครื่องจุ่มที่รุ่นพีปริยญาโท ได้ออกแบบไว้ มีโครงสร้างและภาพการทำงานดังรูปที่ 3.2 โดยการทำงานของเครื่องจุ่มนั้นเป็นการควบคุมสเต็ปมอเตอร์ด้วยคอมพิวเตอร์ ผ่านพริ้นเตอร์พอร์ต (printer port) ซึ่งมีวงจรไฟฟ้าชุดหนึ่งเพื่อรับสัญญาณจากคอมพิวเตอร์แล้วเพิ่มแรงดันส่งต่อไปขับสเต็ปมอเตอร์อีกทีหนึ่ง



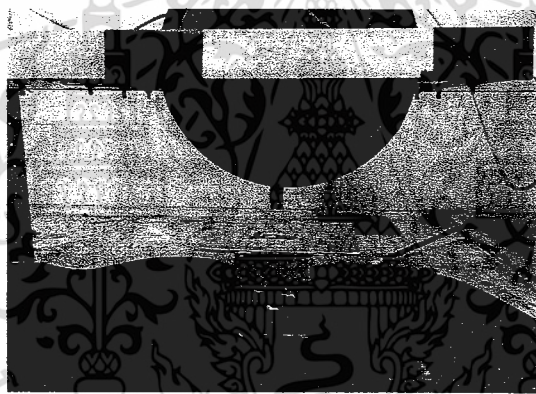
รูปที่ 3.2 ภาพถ่ายของเครื่องจุ่มอัตโนมัติสั่งงานผ่านคอมพิวเตอร์

วงจรเชื่อมต่อระหว่างพอร์ตพริ้นเตอร์และสเต็ปมอเตอร์โดยใช้ไฟดีซีเลี้ยงวงจร 6 โวลต์ จากแหล่งจ่ายไฟตรง ซึ่งการทำงานก็จะรับสัญญาณจากคอมพิวเตอร์และส่งข้อมูลไปขับสเต็ปมอเตอร์ ดังรูปที่ 3.3

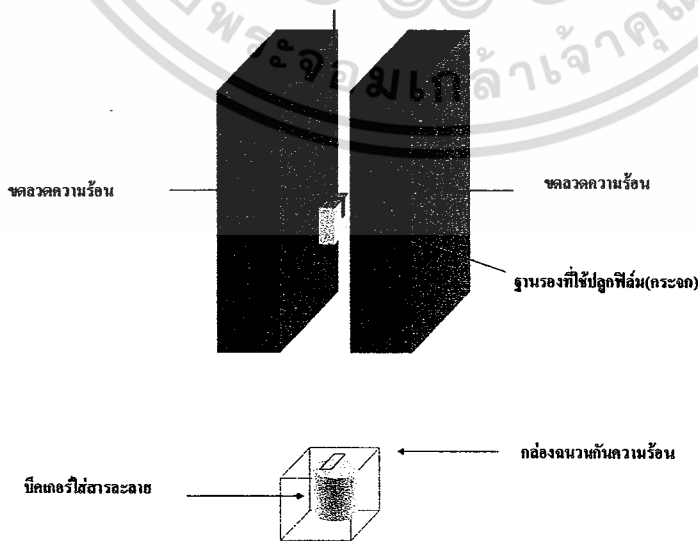


รูปที่ 3.3 วงจรเชื่อมต่อระหว่างพอร์ตปริ้นซ์เตอร์และสเต็ปมอเตอร์

เครื่องจุ่ม ประกอบด้วยเตาอบความร้อนซึ่งได้ใช้จากเหล็กให้ความร้อน 2 งานมาประกบกันเว้นช่องว่างระหว่างกลาง โดยได้ติดตั้งเทอร์โมคัปเปิลไว้ตรงกลางระหว่างเตา มีเส้นลวดยึดระหว่างกระจกกับโซ่เพื่อดึงขึ้นลง มีพาชนะใส่สารละลายและก่องฉนวนกันความร้อน เพื่อให้สารละลายระเหยน้อยที่สุดในระหว่างการจุ่มดังรูปที่ 3.4 และภาพตัดขวางเครื่องจุ่มดังแสดงในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.4 ภาพถ่ายเตาอบความร้อน

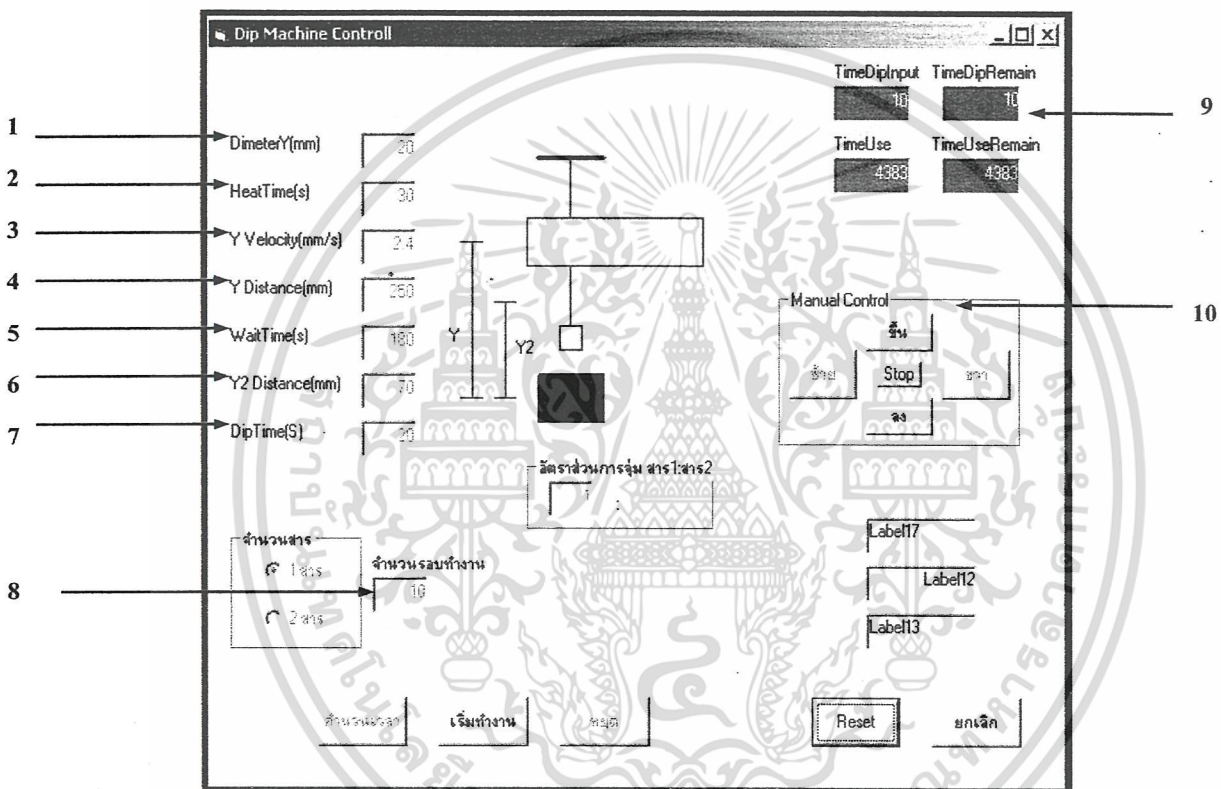


รูปที่ 3.5 ภาพตัดขวางการทำงาน of เครื่องจุ่มอัตโนมัติ ให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในวงจำกัดเท่านั้น ไม่ควรนำออกเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ หากมีข้อสงสัยหรือต้องการข้อมูลเพิ่มเติม กรุณาติดต่อฝ่ายวิจัยและพัฒนา

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

หน้าจอหลักของโปรแกรมควบคุมการทำงานนั้นจะมีการใส่ค่าเพื่อควบคุมการทำงานต่างๆ และจะมีการแสดงค่าต่างๆ ดังรูปที่ 3.6 ซึ่งแสดงรายละเอียดการใส่ค่าดังต่อไปนี้

การทำงานโดยการใช้ ค่าต่างๆ ที่กล่าวมาลงในช่องที่กำหนด หลังจากใส่ค่าตามที่กำหนดครบแล้ว กดคำนวณเวลา ซึ่งก็จะแสดงระยะเวลาในการทั้งหมดและแสดงจำนวนรอบการทำงานทั้งหมด



รูปที่ 3.6 หน้าจอควบคุมการทำงาน

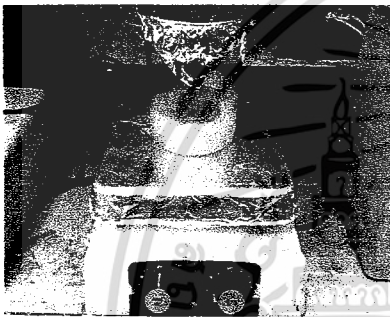
- | | |
|-------------------------------------|-------------------------------|
| (1) เวลาในการรอบ | (6) ตำแหน่งรอกฐานรองเย็น |
| (2) เวลาที่ใช้ในการรอบ (Heat Time) | (7) เวลาที่ใช้จุ่ม |
| (3) ความเร็วในการจุ่ม | (8) จำนวนครั้งที่ใช้ในการจุ่ม |
| (4) ระยะทางขึ้นลง | (9) แสดงเวลาที่ใช้ในการจุ่ม |
| (5) เวลารอให้ฐานรองเย็น (Wait Time) | (10) ควบคุมการทำงานด้วยตัวเอง |

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ขั้นตอนในการเตรียมสารละลาย

3.2.1 ชั่งสารและผสมสาร นำสาร SnCl_2 และ NH_4F ไปชั่งตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ในหัวข้อที่ 3.1.2 โดยเปลี่ยนความเข้มข้นของ NH_4F ต่อ SnCl_2 เป็น 0%, 1%, 3.5, 5.5%, 7.5% และ 10% แล้วนำสาร SnCl_2 และ NH_4F ที่ชั่งได้มาใส่ไว้ในบีกเกอร์ นำเอทานอล 100 มิลลิลิตร มาเทในบีกเกอร์ที่มีสาร SnCl_2 และ NH_4F ซึ่งเอทานอลเป็นตัวทำละลาย

3.2.2 คนสารละลาย จากนั้นนำสารละลายที่เตรียมได้มาคนเป็นเวลา 1 ชั่วโมง 30 นาที ดังรูปที่ 3.7 หลังจากทีสารละลายเข้ากันดีแล้ว นำสารละลายที่ได้มาอัลตราโซนิกเป็นเวลา 1 ชั่วโมง ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.7 ภาพถ่ายแสดงการคนสารละลาย



รูปที่ 3.8 ภาพถ่ายแสดงการอัลตราโซนิก

3.3 ขั้นตอนการสร้างฟิล์มบางทินออกไซด์

3.3.1 ติดตั้งชิ้นงาน

นำฐานรองที่ตัดได้ขนาด 2.5 ซม. × 5 ซม. มายึดกับเส้นลวดโดยใช้ตัวหนีบช่วยจับฐานรอง โดยเส้นลวดนั้นก็นำไปต่อกับโช้และแกนหมุนของสเต็ปมอเตอร์ ดังรูปที่ 3.9



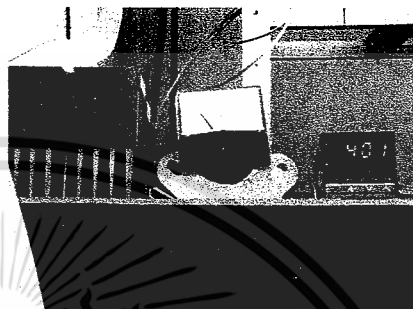
รูปที่ 3.9 ภาพถ่ายการติดตั้งชิ้นงานกับเครื่องจุ่ม

3.3.2 จ่ายไฟให้เตาอบ

จ่ายกระแสไฟสลับให้เตาอบจนกระทั่งเตาอบมีอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส เนื่องจากเราใช้อุณหภูมินี้ในการสร้างฟิล์มบางทินออกไซด์ เราจะต่อสายเทอร์โมคัปเปิล และสายไฟจากเครื่องจ่ายไฟสลับให้กับเตาอบดังรูปที่ 3.10 จนกระทั่งเตาอบมีอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียสดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.10 การต่อเครื่องจ่ายไฟให้กับเตาอบ

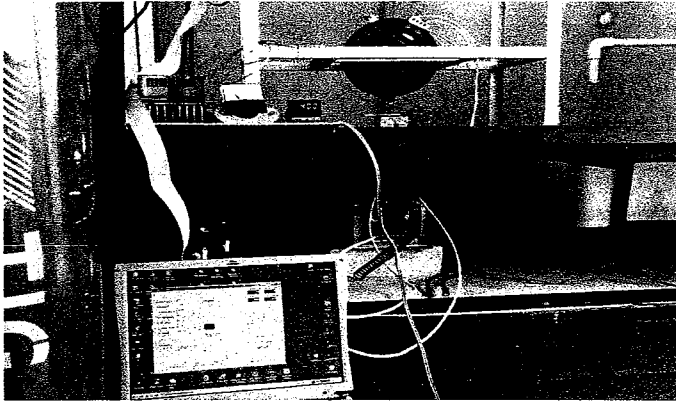


รูปที่ 3.11 เตาอบมีอุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส

3.3.3 การกำหนดสภาวะที่ใช้ในการทดลอง

เนื่องจากในเบื้องต้นนั้นเรายังไม่ทราบว่าควรจะกำหนดสภาวะต่างๆ ในการทดลองเท่าใด จึงจะเหมาะสมในการเคลือบฟิล์มบางทินออกไซด์ ดังนั้นเราจึงอ้างอิงจากรุ่นที่ปริญญาโทที่ทดลองปลูกฟิล์มด้วยวิธีการจุ่มเคลือบ เช่นกัน พบว่ามีตัวแปรมากกว่าหนึ่งตัวแปรที่มีผลต่อฟิล์มในการจุ่มเคลือบ จึงจำเป็นต้องมีการกำหนดค่าตัวแปรไว้ที่ค่าใดค่าหนึ่งเพื่อที่จะสามารถศึกษาสมบัติที่ต้องการได้ การควบคุมการทำงานของสเต็ปมอเตอร์นั้นเราใช้คอมพิวเตอร์ควบคุมโดยผ่านพอร์ตพริ้นเตอร์ ในการทดลองนี้ได้ทำการกำหนดค่าของตัวแปรที่ใช้ในการทดลองดังนี้

- 1) อุณหภูมิในการให้ความร้อนคงที่ 400 องศาเซลเซียส
- 2) ระยะเวลาในการให้ความร้อน 30 วินาที
- 3) จำนวนครั้งที่ใช้ในการจุ่ม 10 ครั้ง, 15 ครั้ง และ 20 ครั้ง
- 4) ความเร็วในการดึงกระจกขึ้นลงคงที่ 2.4 มิลลิเมตรต่อวินาที
- 5) ระยะเวลาหยุดรอกระจกเย็นก่อนลงแช่ในสารละลาย 180 วินาที
- 6) ระยะเวลาที่ฐานรองแช่อยู่ในสารละลาย 20 วินาที



รูปที่ 3.12 กำหนดสถานะจากโปรแกรมในคอมพิวเตอร์

เมื่อกำหนดสถานะการทำงานต่างๆตามที่ได้กำหนดไว้แล้ว และตรวจสอบว่าชิ้นงานอยู่ตำแหน่งกึ่งกลางของเตาอบแล้ว จากนั้นก็กดปุ่มเริ่มทำงานอัตโนมัติ สเต็ปมอเตอร์ก็จะหมุนตามโปรแกรมที่ได้กำหนดไว้

3.3.4 กระบวนการทำงานของเครื่องจุ่ม

กระบวนการสร้างชั้นฟิล์มบางต่อการจุ่ม 1 ครั้ง ทำงานดังต่อไปนี้ คือ เริ่มต้นจากฐานรองอยู่ที่ตำแหน่งจากจุดกึ่งกลางเตาที่ให้ความร้อน 400 องศาเซลเซียส มายังจุดรองฐานรองเย็นที่อุณหภูมิบรรยากาศห้องด้วยความเร็ว 2.4 มิลลิเมตรต่อวินาที จากนั้นฐานรองจะหยุดเป็นเวลา 180 วินาทีเพื่อให้อุณหภูมิฐานรองเย็นตัวลง (Wait Time) จากนั้นจึงเลื่อนลงจุ่มในภาชนะใส่สารละลายด้วยความเร็ว 2.4 มิลลิเมตรต่อวินาที เมื่อจุ่มในสารละลายครบ 20 วินาที ฐานรองจะเลื่อนตัวขึ้นด้วยความเร็ว 2.4 มิลลิเมตรต่อวินาที ไปยังจุดกึ่งกลางเตาให้ความร้อนที่บรรยากาศแล้วจึงหยุดเป็นเวลา 30 วินาที (Heat Time) เป็นอันครบรอบ 1 การทำงาน จากนั้นจะจุ่มครั้งต่อไปจนครบจำนวน 10 ครั้ง ,15 ครั้ง หรือ 20 ครั้ง ขึ้นอยู่กับความต้องการในการจุ่ม ในขณะที่ทำการสร้างฟิล์มบางควรสร้างในตู้ที่มีที่ดูดอากาศ เพื่อจะได้ดูดกลิ่นจากสารเคมีที่เป็นอันตรายต่อเรา ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 ภาพถ่ายเครื่องเคลือบจุ่มในตู้ดูดอากาศ

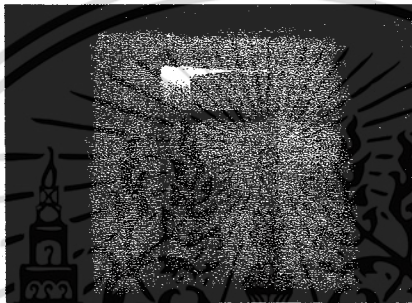
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการแข่งขันเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 ระยะเวลา

ระยะเวลาจะถูกกำหนดโดยโปรแกรมตามจำนวนครั้งที่เราจะทำการจุ่มซึ่ง ดังนี้

- การจุ่ม 10 ครั้ง ใช้เวลารวม 1 ชั่วโมง
- การจุ่ม 15 ครั้ง ใช้เวลารวม 1 ชั่วโมง 30 นาที
- การจุ่ม 20 ครั้ง ใช้เวลารวม 2 ชั่วโมง

เมื่อครบตามเวลาที่กำหนดแล้วก็จะได้กระจกที่เคลือบด้วยฟิล์มบางทินออกไซด์ ดังรูปที่ 3.14

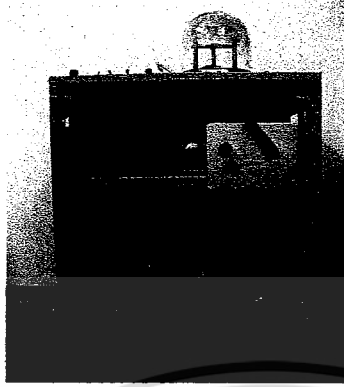


รูปที่ 3.14 ภาพถ่ายชิ้นงานที่เคลือบด้วยฟิล์มบางทินออกไซด์

3.4 ขั้นตอนการสร้างสวดลาย

เราสร้างขั้วอิเล็กโตรดบนฐานรองที่เคลือบด้วยฟิล์มบางด้วยอะลูมิเนียม เทคนิคที่ใช้เคลือบโลหะเป็นแบบการเคลือบในระบบสุญญากาศ โดยใช้เครื่อง Evaporation ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่ง่ายและประหยัด ไม่มีผลของการแพร่กระจายไอออน แต่ปัญหาที่พบบ่อยคือ ไล่ความร้อนซึ่งใช้สวดทั้งสแตนนั่นขาดง่าย หลังจากผ่านการใช้งานแล้ว 1 ครั้ง

สำหรับการเคลือบโลหะอะลูมิเนียมก็คือการทำให้อะลูมิเนียมเกิดความร้อนจากไล่ทั้งสแตนนอะลูมิเนียมถึงจุดหลอมเหลวคือ 660 องศาเซลเซียส ไล่ทั้งสแตนนถูกให้ความร้อนโดยการผ่านกระแสไฟฟ้าจำนวนมากไหลผ่าน ขณะที่เคลือบนั้นก็ต้องคอยควบคุมกระแสให้เพิ่มขึ้นทีละน้อยจนกระทั่งอะลูมิเนียมที่วางอยู่ในไส้หลอดทั้งสแตนนหลอมตัวเป็นของเหลวติดอยู่กับไส้ก็จะระเหยเป็นไอฟุ้งกระจาย เคลือบชิ้นงาน สำหรับวิธีนี้เราจำเป็นต้องใช้ขนาดของอะลูมิเนียมให้มีขนาดเท่าเดิมทุกครั้งที่จะทำการเคลือบ (เราใช้อะลูมิเนียมขนาด 2.0 เซนติเมตร) เพื่อให้ความหนาที่ติดกับชิ้นงานมีความหนาเท่าเดิม ไม่เช่นนั้นแล้วผลของความต้านทานก็จะไม่เท่ากัน (โดยอะลูมิเนียมมีสภาพต้านทาน 2.7 โอห์มต่อเซนติเมตร)



รูปที่ 3.15 ภาพถ่ายเครื่อง Evaporation

ชิ้นงานที่ผ่านการเคลือบอะลูมิเนียมแสดงรูปที่ 3.16 เราได้ทำการตัดฐานรองในส่วนที่เราต้องการใช้งานและส่วนที่เหลือจะนำไปวิเคราะห์ต่อไป



รูปที่ 3.16 ภาพถ่ายชิ้นงานที่ทำการเคลือบด้วยอะลูมิเนียมและทากาวเงินที่ขั้วทั้ง 2 ข้าง

หลังจากที่ชิ้นงานถูกด้วยเคลือบอะลูมิเนียมแล้ว เราก็จะนำไปทดสอบกับก๊าซแอลพีจีต่อไป

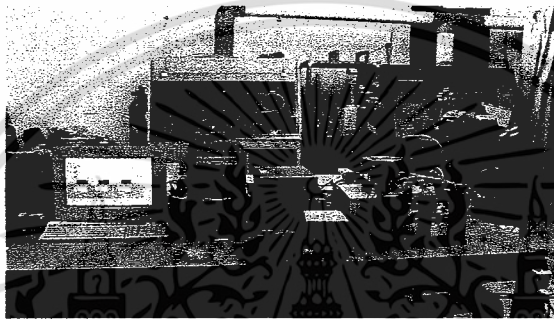
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลองและผลการทดลอง

4.1 การทดลอง

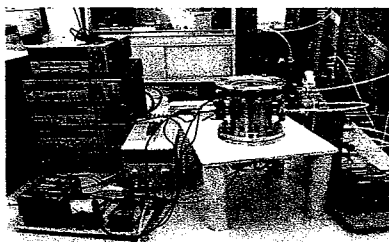
การทดลองนี้เราใช้ก๊าซไนโตรเจน(N_2)และก๊าซแอลพีจี ในการทดสอบเซ็นเซอร์อัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนและความเข้มข้นของก๊าซแอลพีจี ถูกควบคุมโดย Mass flow controllers ซึ่งใช้โปรแกรม Lab View ในการควบคุมการวัดทดสอบและบันทึกผลที่ได้



รูปที่ 4.1 ภาพถ่ายโดยรวมของระบบที่จะทำการทดสอบ

4.1.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

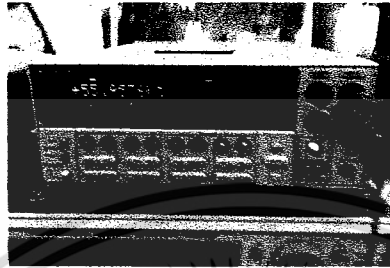
- ก๊าซไนโตรเจน ทำหน้าที่เป็นก๊าซเจือของก๊าซแอลพีจีเพื่อให้ได้ความเข้มข้นของก๊าซแอลพีจีตามที่ต้องการ
 - DAQ board (Data acquisition board) เป็นบอร์ดที่ใช้เชื่อมต่อสัญญาณการควบคุม Mass-Flow controller กับเครื่องคอมพิวเตอร์
 - Mass-Flow controller ควบคุมอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจน โดยมีการควบคุมอัตราการไหลมากที่สุดคือ 5000 sccm และ 200 sccm ('standard cubic centimeter per minute: ลูกบาศก์เซนติเมตรมาตรฐาน)
 - เครื่องมือวัดอัตราการไหล (flow meter) ทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหลของก๊าซแอลพีจีเข้าไปในสถานะที่ใช้บรรจุเซ็นเซอร์ โดยมีอัตราการไหล 800 ลิตรต่ออนาที



รูปที่ 4.2 ภาพถ่ายของอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เครื่องมือวัดและจ่ายแรงดัน/กระแสไฟฟ้าของบริษัท Keithley รุ่น 2400 ดังรูปที่4.3



รูปที่4.3 ภาพถ่ายเครื่องวัดและจ่ายแรงดัน/กระแสไฟฟ้า

- ภาชนะที่ใช้บรรจุเซ็นเซอร์ ซึ่งมีปริมาตร 886 ลูกบาศก์เซนติเมตร โดยภาชนะประกอบด้วย ขั้วไฟฟ้าสำหรับต่อเชื่อมเซ็นเซอร์กับเครื่องมือวัด Keithley รุ่น 2400 ดังรูปที่4.4

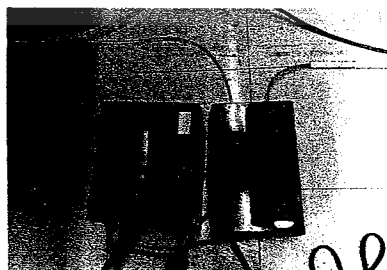


รูปที่4.4 ภาพถ่ายภาชนะที่บรรจุเซ็นเซอร์

- เครื่องคอมพิวเตอร์ ทำหน้าที่ติดต่อเครื่อง มือวัด Keithley รุ่น 2400 และ DAQ board ด้วย โปรแกรม LabView Version 7.1 ในเพื่อบันทึกผลการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของตัวเซ็นเซอร์เมื่อทดสอบด้วยก๊าซแอลพีจี

- เครื่องจ่ายกระแสให้ฮีตเตอร์ 2 เครื่อง

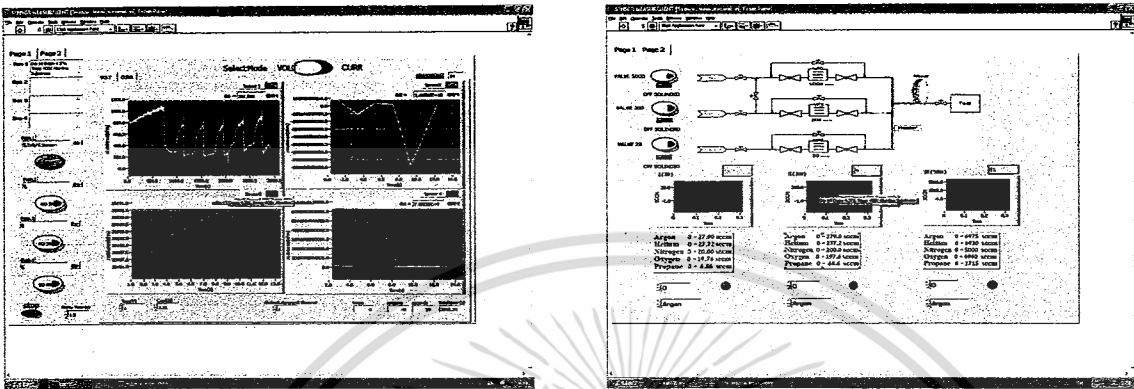
- บั้มคูดก๊าซและเครื่องแปลงไฟฟ้าสลับจาก 220 โวลต์ เป็น 110 โวลต์ ซึ่งทำหน้าที่คูดก๊าซแอลพีจีและก๊าซไนโตรเจนออก ดังรูปที่ 4.5



รูปที่4.5 ภาพถ่ายบั้มคูดก๊าซและเครื่องแปลงไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โปรแกรมทดสอบ ในที่นี้ใช้ โปรแกรม Lab View Version 7.1 เป็นตัวควบคุมการเปิดปิด และปริมาณของก๊าซไนโตรเจนและก๊าซแอลพีจี



รูปที่ 4.6 ภาพ โปรแกรม Lab View

- ถังบรรจุก๊าซแอลพีจี เนื่องจากว่าก๊าซชนิดนี้สามารถติดไฟได้ตั้งนั้นแล้วควรเก็บไว้ให้ห่างจากบริเวณที่จะทำการทดสอบ เพราะว่าในบริเวณที่ทดสอบเช่นเซอร์นั้นต้องให้ความร้อนกับฮีตเตอร์ อาจจะมีประกายไฟจากการที่ต่อขั้วไฟฟ้าไม่ดี ทำให้เกิดไฟติดขึ้น อาจเป็นอันตรายต่อชีวิตได้



รูปที่ 4.7 ภาพถ่ายถังบรรจุก๊าซแอลพีจีที่ถูกเก็บไว้ในที่ปลอดภัย

4.1.2 ขั้นตอนการติดตั้งเซนเซอร์ในภาชนะบรรจุก๊าซ

ก่อนที่จะทำการนำเซนเซอร์ไปใส่ในภาชนะที่จะทำการทดสอบเราจะทากาวเงินก่อน เพื่อให้เซนเซอร์แนบสนิทกับแท่น ความร้อนก็จะถูกส่งผ่านจากแท่น ไปสู่เซนเซอร์ให้เซนเซอร์มีอุณหภูมิที่แท้จริงในการทดสอบ ดังรูปที่ 4.8 จากนั้นก็นำเซนเซอร์มาวางโดยต่อขั้วสองข้างของเซนเซอร์ด้วยสายไฟแล้วทากาวเงินที่ขั้วอีกที ดังรูปที่ 4.9

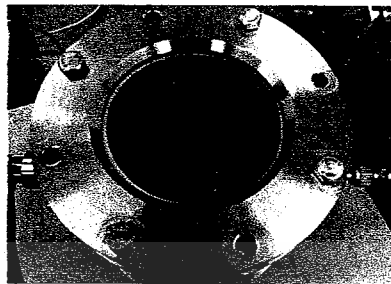


รูปที่ 4.8 ภาพถ่ายการทากาวเงิน



รูปที่ 4.9 ภาพถ่ายการวางเซนเซอร์ที่แท่น

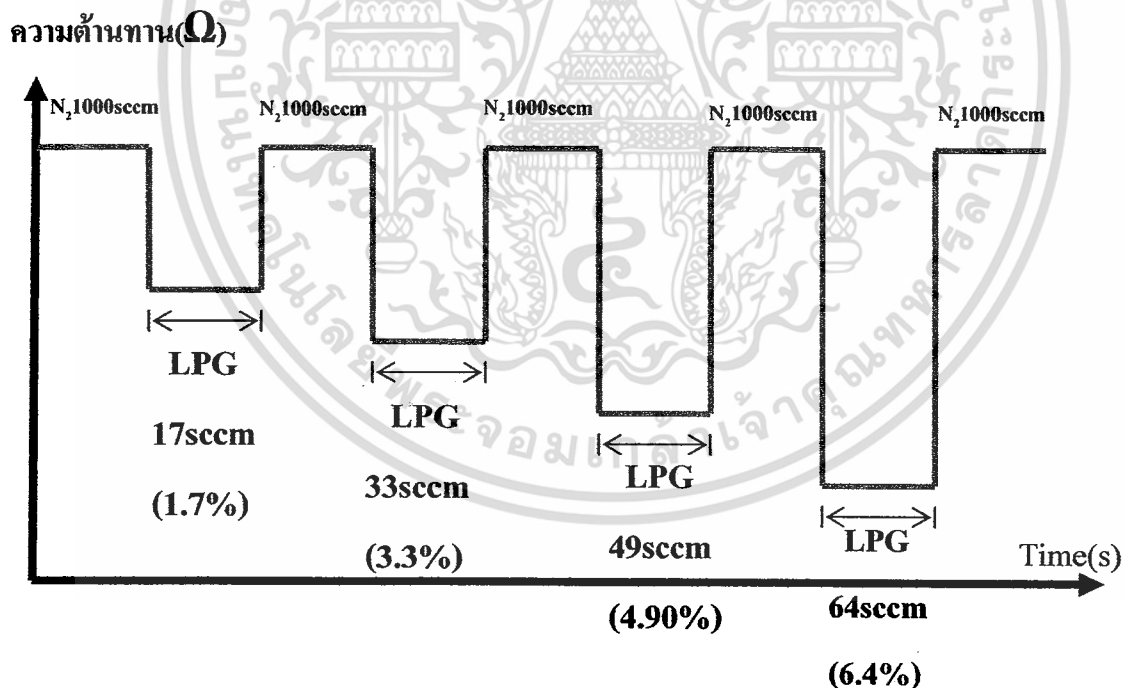
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปเผยแพร่ในด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.10 ภาพถ่ายเซ็นเซอร์พร้อมที่จะทดสอบ

4.1.3 การทดสอบเซ็นเซอร์กับก๊าซแอลพีจี

การทดสอบเซ็นเซอร์ก๊าซแอลพีจีนี้ ก็เพื่อศึกษาผลของความต้านทานที่เปลี่ยนไปของเซ็นเซอร์ เนื่องจากผลของตัวแปรที่ใช้ทดสอบเช่น ก๊าซไนโตรเจน ก๊าซแอลพีจี อุณหภูมิ เป็นต้น ในการทดสอบเซ็นเซอร์ก๊าซแอลพีจีนี้เราจะใช้ปริมาณของก๊าซไนโตรเจนคงที่ 1000 sccm เพื่อจะได้ใช้เป็นค่ามาตรฐานสำหรับเซ็นเซอร์ตัวอื่นๆที่จะนำมาเปรียบเทียบ โดยเราจะทำการทดสอบก๊าซแอลพีจีที่ความปริมาตรความเข้มข้นที่ 1.68%, 3.32%, 4.90% , 6.42% ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 แสดงความเข้มข้นของก๊าซแอลพีจีที่ความเข้มข้นต่างๆเทียบกับก๊าซไนโตรเจน

ก่อนที่จะทำการทดสอบเซ็นเซอร์กับก๊าซแอลพีจี เราจำเป็นต้องล้างท่อของก๊าซแอลพีจีก่อน โดยการไล่ก๊าซแอลพีจีที่ค้างในท่อออกให้หมด แล้วทำการเปิดวาล์วของก๊าซแล้วปิดทันที จากนั้นก็ไล่ก๊าซแอลพีจีออกให้หมดอีกครั้ง เราก็จะได้ก๊าซแอลพีจีที่บริสุทธิ์มาทำการทดสอบกับเซ็นเซอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 ผลของการตอบสนอง(Response)

นิยาม **Response** คือ ค่าที่ระบุความสามารถในการตอบสนองของเซนเซอร์เมื่อมีก๊าซมาสัมผัสกับเซนเซอร์ในการทดลองนี้เราจะนิยามค่าการตอบสนองดังนี้

$$\text{จาก } \text{Response} = \frac{\Delta R}{R_{\text{เริ่มต้น}}}$$

ΔR คือ อัตราการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานก่อนและหลังการปล่อยก๊าซ

$R_{\text{เริ่มต้น}}$ คือ ค่าความต้านทานเริ่มต้นก่อนมีความเปลี่ยนแปลง

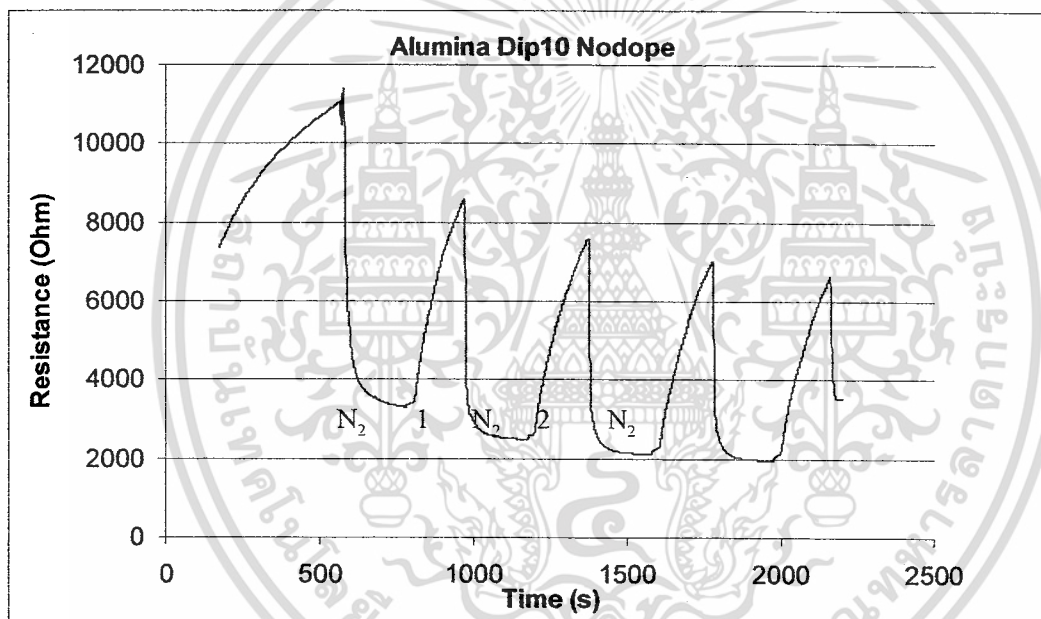
เรานำข้อมูลที่ได้จากการทดสอบเซนเซอร์มาสร้างกราฟเพื่อจะได้ แสดงถึงความไวของเซนเซอร์ในการตรวจจับก๊าซแอลพีจีที่ปริมาณความเข้มข้นต่างๆ ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส



4.2 ผลการทดลอง

การทดสอบเซ็นเซอร์เราจะทำการวัดค่าเซ็นเซอร์ที่อุณหภูมิ 300 °C บนฐานรองอลูมิน่า ที่อุณหภูมิ 400 °C จะปล่อยก๊าซในโตรเจนให้กับเซ็นเซอร์จำนวน 1000 sccm และการวัดแต่ละครั้งจะให้อัตราส่วนของก๊าซ LPG ต่อก๊าซในโตรเจนเป็น 0% , 1.7% , 3.3% . 4.9% และ 6.4% โดยจะแบ่งผลการทดสอบเป็น 2 แบบ คือแบบไม่ได้ป NH₄F และแบบได้ป NH₄F บนฐานรองที่เป็นอะลูมิน่า

4.2.1 ผลของเซ็นเซอร์ที่ไม่ได้ป NH₄F บนฐานรองที่เป็นอะลูมิน่า/กระจกที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส



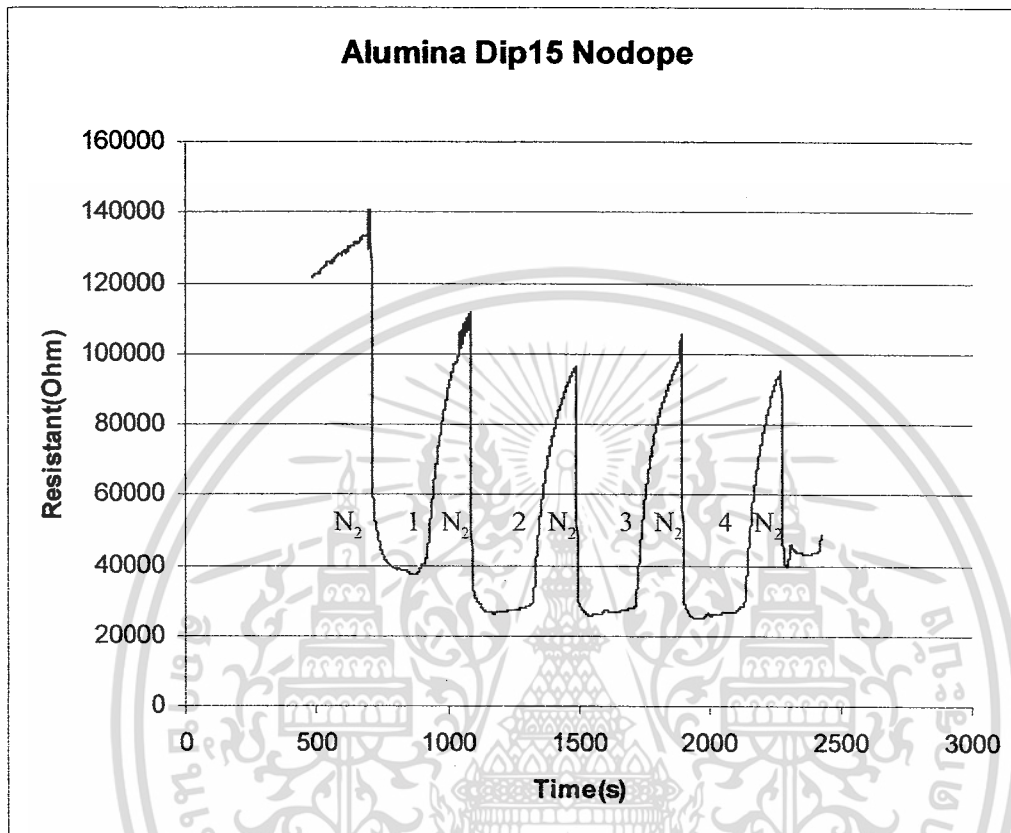
รูปที่ 4.12 กราฟแสดงผลการจุ่ม 10 ครั้ง บนฐานรองอะลูมิน่า
(WT = 180s , HT=30s)

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการการทดสอบจุ่ม 10 ครั้ง โดย R = 9.888 K Ω

ช่วงที่	ก๊าซทดสอบ	ปริมาณ LPG	เวลาทดสอบ (sec)	R ก่อน (K Ω)	R หลัง (K Ω)	ΔR (K Ω)	Response $\Delta R / R_{\text{เริ่มต้น}}$
1	LPG	1.7%	200	11.102	3.476	7.626	0.687
2	LPG	3.3%	200	11.102	2.70	8.402	0.757
3	LPG	4.9%	200	11.102	2.337	8.765	0.789
4	LPG	6.4%	200	11.102	2.214	8.888	0.422

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

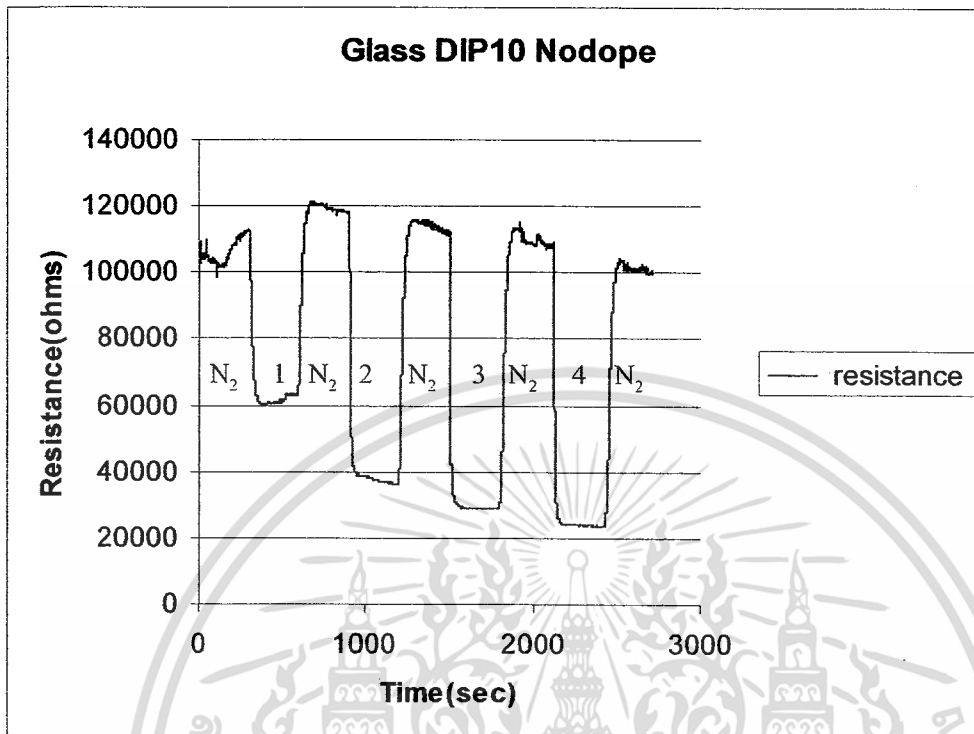


รูปที่ 4.13 กราฟแสดงผลการจุ่ม 15 ครั้ง บนฐานรองอะลูมิน่า
(WT = 180s , HT = 30s)

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดสอบจุ่ม 15 ครั้ง โดย $R = 123.526 \text{K}\Omega$

ช่วงที่	ก๊าซ ทดสอบ	ปริมาณ LPG	เวลา ทดสอบ (sec)	R ก่อน ($\text{K}\Omega$)	R หลัง ($\text{K}\Omega$)	ΔR ($\text{K}\Omega$)	Response $\Delta R / R_{\text{เริ่มต้น}}$
1	LPG	1.7%	200	137.704	42.285	95.419	0.693
2	LPG	3.3%	200	137.704	29.858	107.846	0.783
3	LPG	4.9%	200	137.704	29.703	108.00	0.784
4	LPG	6.4%	200	137.704	29.247	108.457	0.788

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

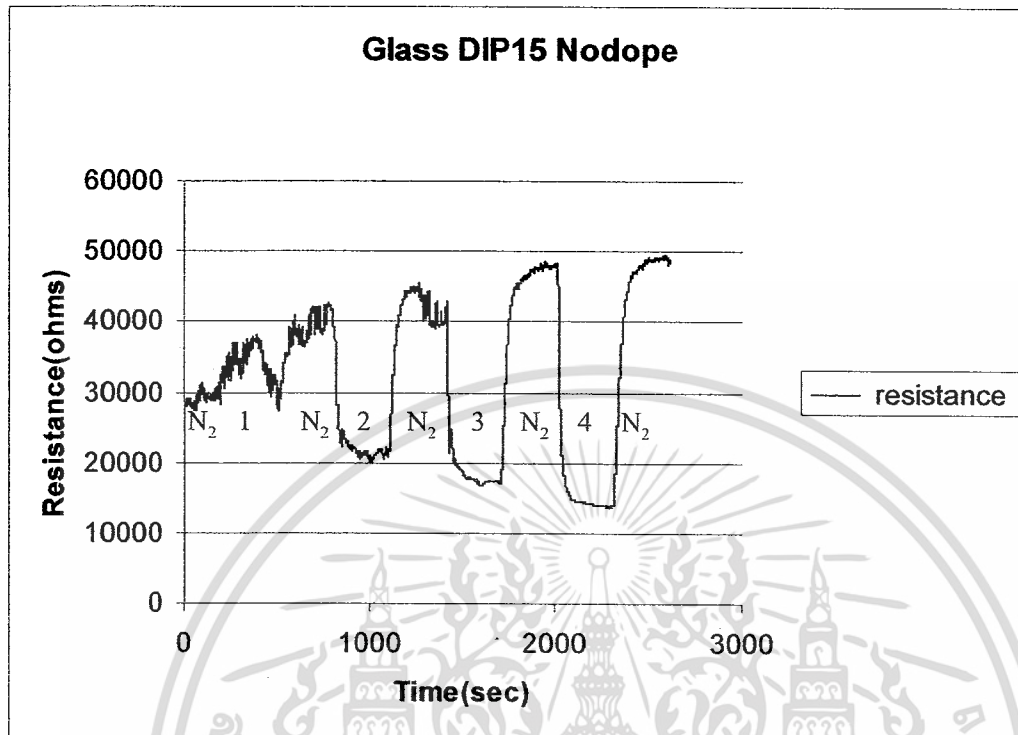


รูปที่ 4.14 กราฟแสดงผลการจุ่ม 10 ครั้ง บนฐานรองกระจก
(WT = 180s , HT = 30s)

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบจุ่ม 10 ครั้ง โดย R = 105 K Ω ที่ 400 องศาเซลเซียส

ช่วงที่	ก๊าซ ทดสอบ	ปริมาณ LPG	เวลา ทดสอบ (sec)	R _{เริ่มต้น} (K Ω)	R _{หลัง} (K Ω)	ΔR (K Ω)	Response $\Delta R / R_{\text{เริ่มต้น}}$
1	LPG	1.68%	300	111.92	59.85	52.07	0.465
2	LPG	3.32%	300	120.70	36.79	83.91	0.695
3	LPG	4.90%	300	111.36	29.54	81.82	0.734
4	LPG	6.42%	300	107.61	24.16	83.45	0.775

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

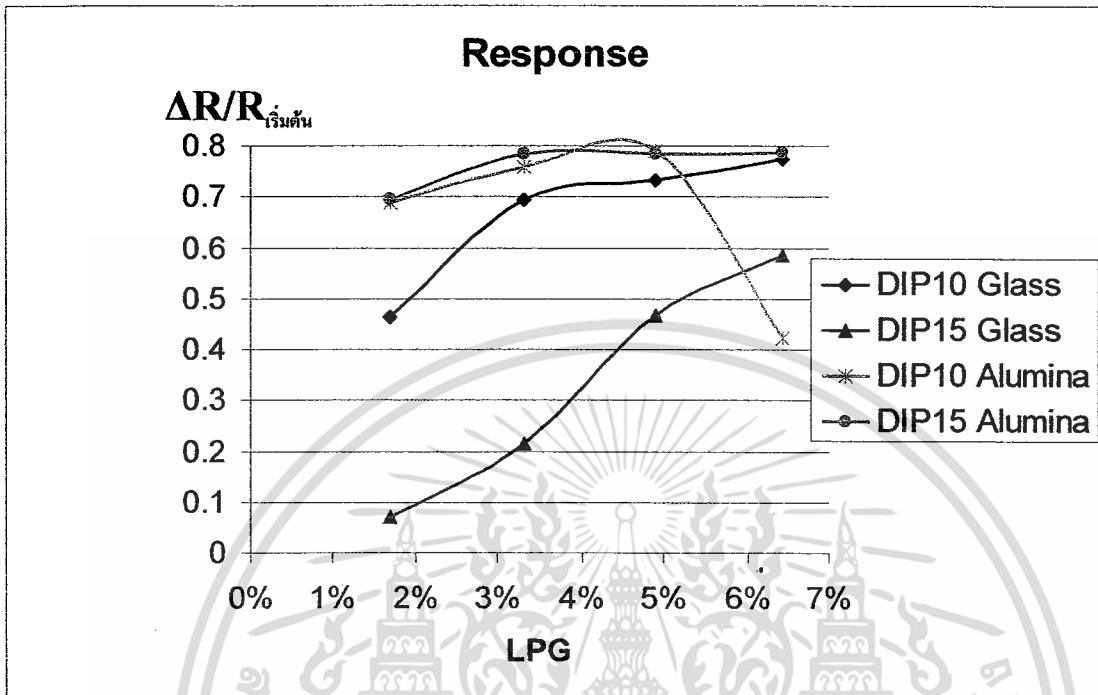


รูปที่ 4.15 กราฟแสดงผลการจุ่ม 15 ครั้ง บนฐานรองกระจก
(WT = 180s , HT = 30s)

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบจุ่ม 15 ครั้ง $R = 28.25 \text{ K}\Omega$ ที่ 400 องศาเซลเซียส

ช่วงที่	ก๊าซ ทดสอบ	ปริมาณ LPG	เวลา ทดสอบ (sec)	$R_{\text{เริ่มต้น}}$ ($\text{K}\Omega$)	$R_{\text{หลัง}}$ ($\text{K}\Omega$)	ΔR ($\text{K}\Omega$)	Response $\Delta R / R_{\text{เริ่มต้น}}$
1	LPG	1.68%	300	35.88	28.20	7.68	0.214
2	LPG	3.32%	300	41.85	22.26	19.59	0.468
3	LPG	4.90%	300	42.38	17.58	24.80	0.585
4	LPG	6.42%	300	47.68	14.08	33.6	0.704

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

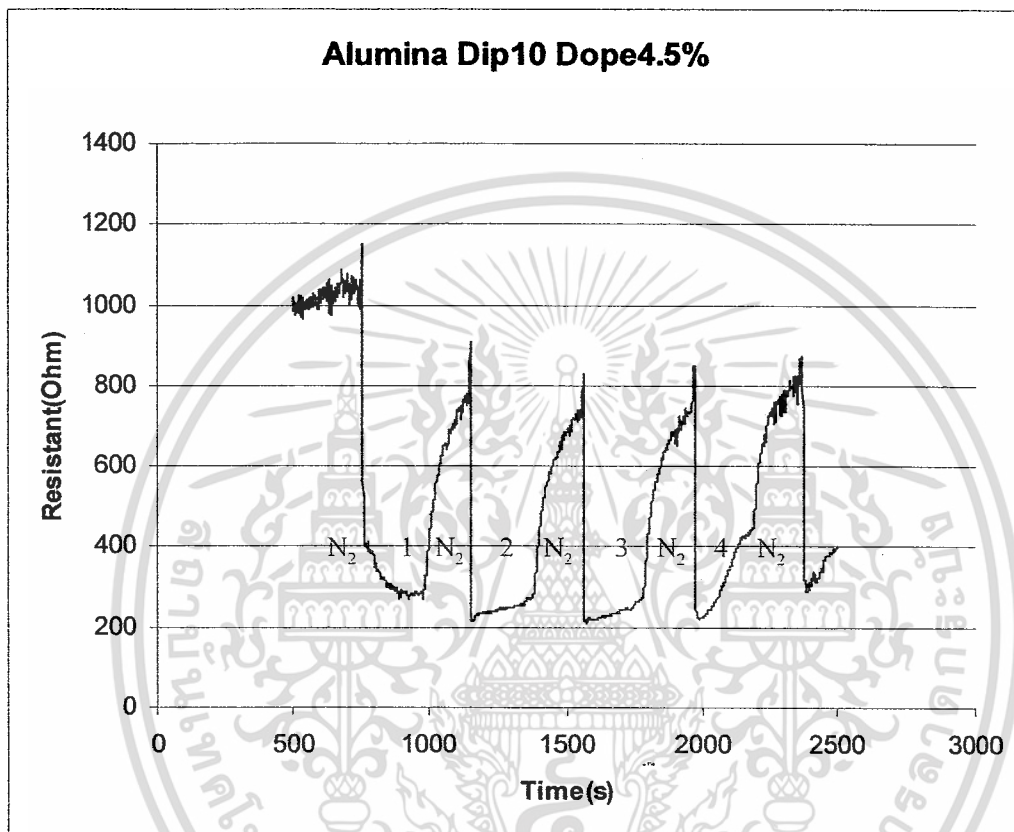


รูปที่ 4.16 การตอบสนองของเซ็นเซอร์แบบไม่โต้ตอบ NH_4F เปรียบเทียบระหว่าง กระจกกับอะลูมินา ที่ 400 องศาเซลเซียส

กระจกที่ จุ่ม 15 ครั้งนั้นมีความไวในการวัดที่ดี คือสามารถแยกปริมาณความเข้มข้นของ ก๊าซแอลพีจีที่ความเข้มข้นต่างๆ ได้ และที่จุ่ม 10 ครั้งก็ดีเช่นกัน แต่จะแยกปริมาณความเข้มข้นของก๊าซ แอลพีจีที่ปริมาณมากขึ้น ได้ไม่ค่อยดีนัก

บนอะลูมินา การจุ่ม 10 และ 15 ครั้ง สามารถแยกปริมาณความเข้มข้นของก๊าซแอลพีจีที่ ปริมาณความเข้มข้นต่ำได้ ไม่ค่อยดีนัก และหากปริมาณความเข้มข้นสูงขึ้น ในการจุ่ม 15 ครั้งแทบ จะไม่สามารถแยกความเข้มข้นของก๊าซแอลพีจีได้เลย ส่วนที่การจุ่ม 10 ครั้งกราฟมีค่าลดลงอาจเป็น เพราะว่าการจุ่ม 10 ครั้งไม่ตอบสนองที่อุณหภูมินี้

4.2.2 ผลของเซ็นเซอร์ที่ได้ป้ NH_4F 4.5% บนฐานรองที่เป็นอะลูมินาที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส

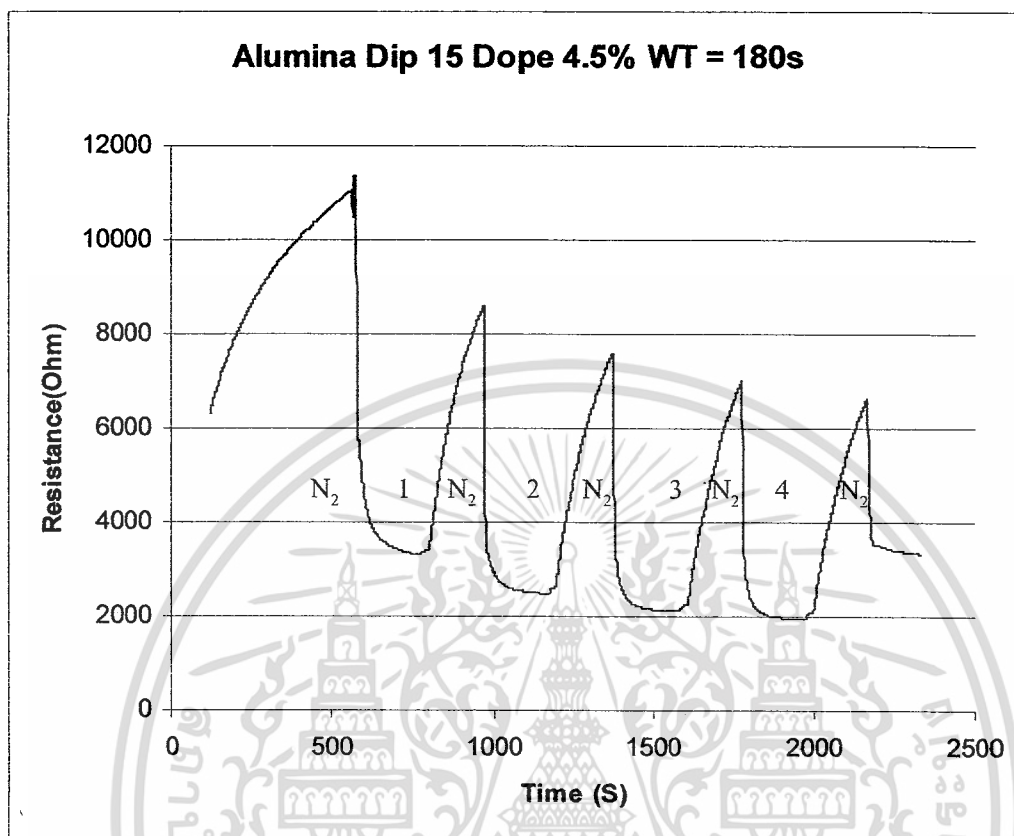


รูปที่ 4.17 กราฟแสดงผลการจุ่ม 10 ครั้ง ได้ป้ NH_4F 4.5% บนฐานรองอะลูมินา
(WT = 180s , HT=30s)

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดสอบจุ่ม 10 ครั้ง ได้ป้ NH_4F 4.5% โดย $R = 1\text{K}\Omega$

ช่วงที่	ก๊าซทดสอบ	ปริมาณ LPG	เวลาทดสอบ (sec)	R ก่อน ($\text{K}\Omega$)	R หลัง (Ω)	ΔR (Ω)	Response $\Delta R / R_{\text{เริ่มต้น}}$
1	LPG	1.7%	200	1.15	293.85	856.15	0.745
2	LPG	3.3%	200	1.15	282.14	867.86	0.755
3	LPG	4.9%	200	1.15	277.55	872.45	0.759
4	LPG	6.4%	200	1.15	435.76	714.24	0.621

เอกสารนี้เป็นเอกสารทสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

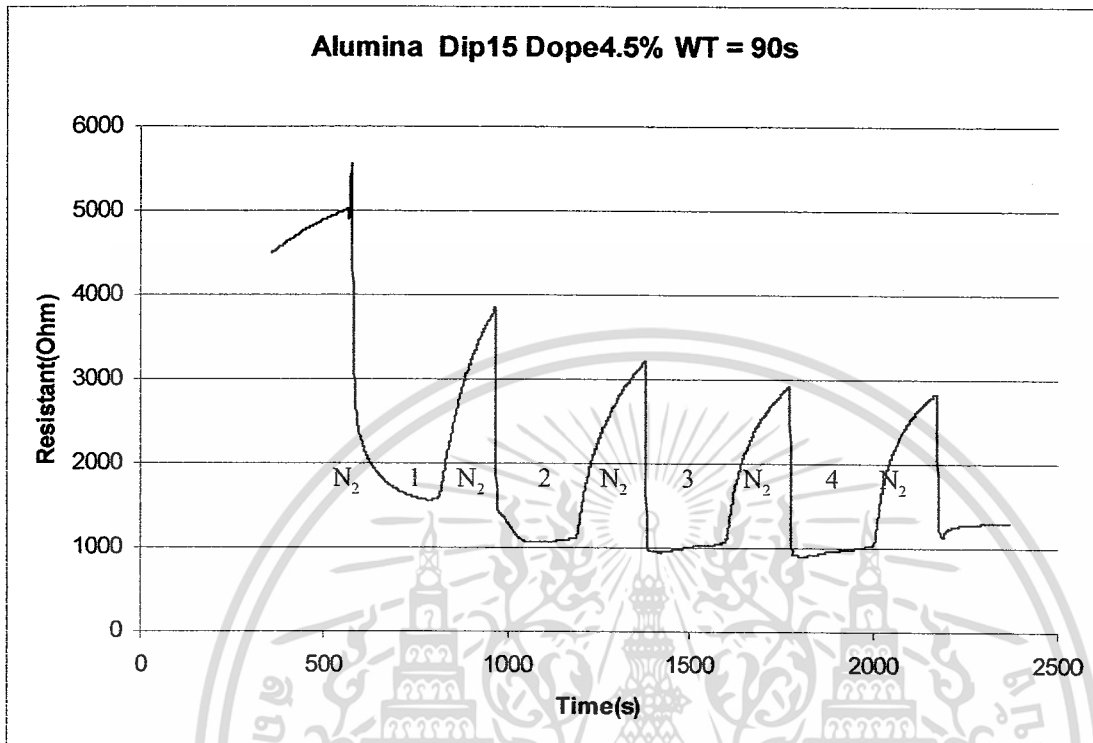


รูปที่ 4.18 กราฟแสดงผลการจุ่ม 15 ครั้ง โด๊ป NH_4F 4.5% บนฐานรอกอะลูมินา
(WT = 180s, HT = 30s)

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดสอบจุ่ม 15 ครั้ง โด๊ป NH_4F 4.5% โดย $R = 9.735\text{K}\Omega$

ช่วงที่	ก๊าซ ทดสอบ	ปริมาณ LPG	เวลา ทดสอบ (sec)	R ก่อน ($\text{K}\Omega$)	R หลัง ($\text{K}\Omega$)	ΔR ($\text{K}\Omega$)	Response $\Delta R / R_{\text{เริ่มต้น}}$
1	LPG	1.7%	200	11.382	3.535	7.847	0.689
2	LPG	3.3%	200	11.382	2.762	8.620	0.757
3	LPG	4.9%	200	11.382	2.701	8.675	0.762
4	LPG	6.4%	200	11.382	2.275	9.107	0.80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

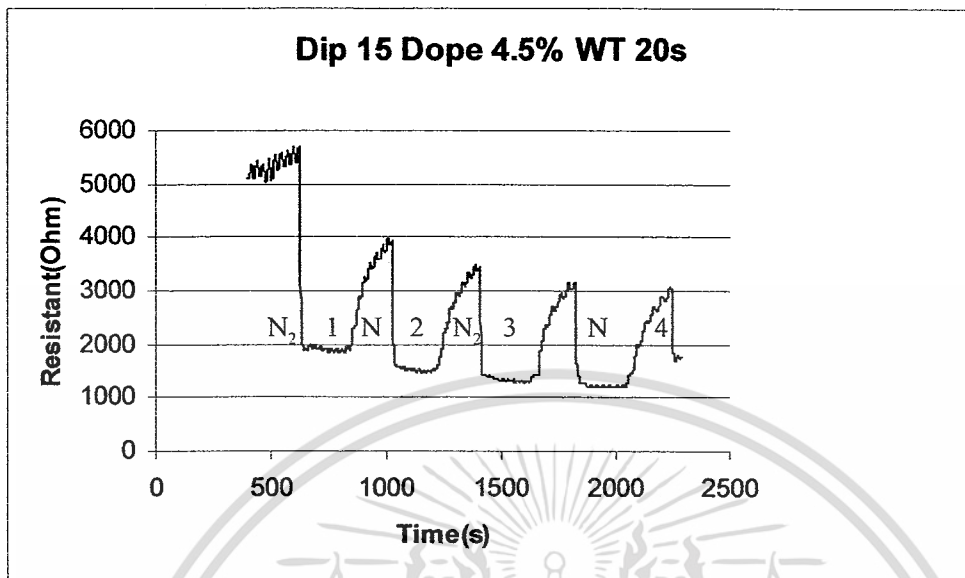


รูปที่ 4.19 กราฟแสดงผลการจุ่ม 15 ครั้ง โด๊ป NH_4F 4.5% บนฐานรองอะลูมินา (WT = 90s, HT = 30s)

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบจุ่ม 15 ครั้ง โด๊ป NH_4F 4.5% โดย $R = 4.546\text{K}\Omega$

ช่วงที่	ก๊าซทดสอบ	ปริมาณ LPG	เวลาทดสอบ (sec)	R ก่อน ($\text{K}\Omega$)	R หลัง ($\text{K}\Omega$)	ΔR ($\text{K}\Omega$)	Response $\Delta R / R_{\text{เริ่มต้น}}$
1	LPG	1.7%	200	5.160	1.603	3.557	0.689
2	LPG	3.3%	200	5.160	1.079	4.081	0.791
3	LPG	4.9%	200	5.160	0.968	4.192	0.812
4	LPG	6.4%	200	5.160	0.910	4.25	0.824

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

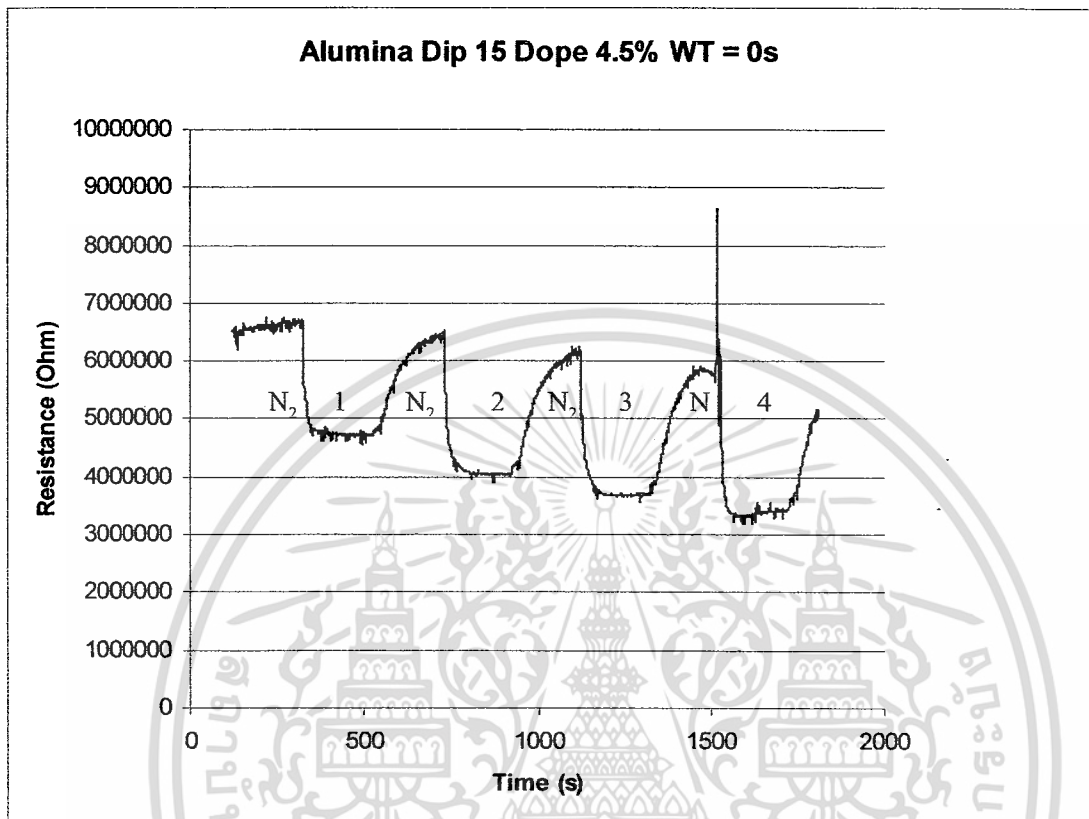


รูปที่ 4.20 กราฟแสดงผลการจุ่ม 15 ครั้ง โด๊ป NH_4F 4.5% บนฐานรองอะลูมินา (WT = 20s, HT = 30s)

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดสอบจุ่ม 15 ครั้ง โด๊ป NH_4F 4.5% โดย $R = 5.24\text{K}\Omega$

ช่วงที่	ก๊าซทดสอบ	ปริมาณ LPG	เวลาทดสอบ (sec)	R ก่อน ($\text{K}\Omega$)	R หลัง ($\text{K}\Omega$)	ΔR ($\text{K}\Omega$)	Response $\Delta R/R$ เริ่มต้น
1	LPG	1.70%	200	5.7	1.895	3.557	0.689
2	LPG	3.30%	200	5.7	1.32	4.081	0.791
3	LPG	4.90%	200	5.7	1.29	4.192	0.812
4	LPG	6.40%	200	5.7	1.2	4.25	0.824

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

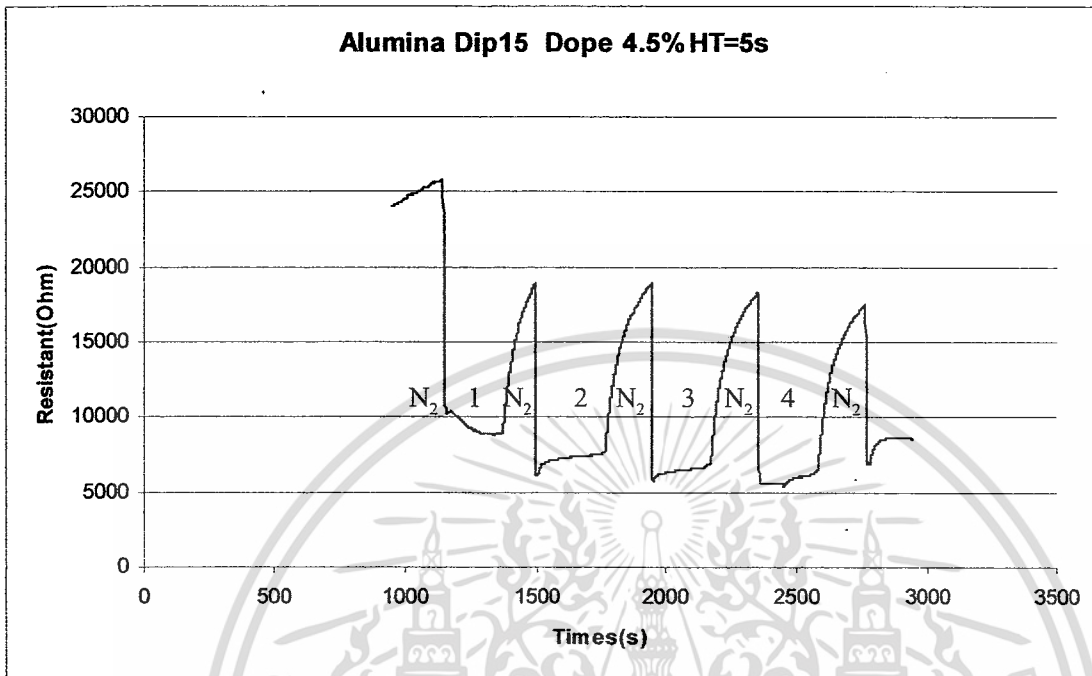


รูปที่ 4.21 กราฟแสดงผลการจุ่ม 15 ครั้ง ไดโป้ NH₄F 4.5% บนฐานรองอะลูมินา
(WT = 0s, HT = 30s)

ตารางที่ 4.9 แสดงผลการทดสอบจุ่ม 15 ครั้ง ไดโป้ NH₄F 4.5% โดย R = 6.487 MΩ

ช่วงที่	ก๊าซทดสอบ	ปริมาณ LPG	เวลาทดสอบ (sec)	R ก่อน (MΩ)	R หลัง (MΩ)	ΔR (MΩ)	Response ΔR/R _{เริ่มต้น}
1	LPG	1.7%	200	6.678	4.85	1.828	0.272
2	LPG	3.3%	200	6.678	4.13	2.548	0.382
3	LPG	4.9%	200	6.678	3.88	2.798	0.419
4	LPG	6.4%	200	6.678	3.66	3.018	0.452

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

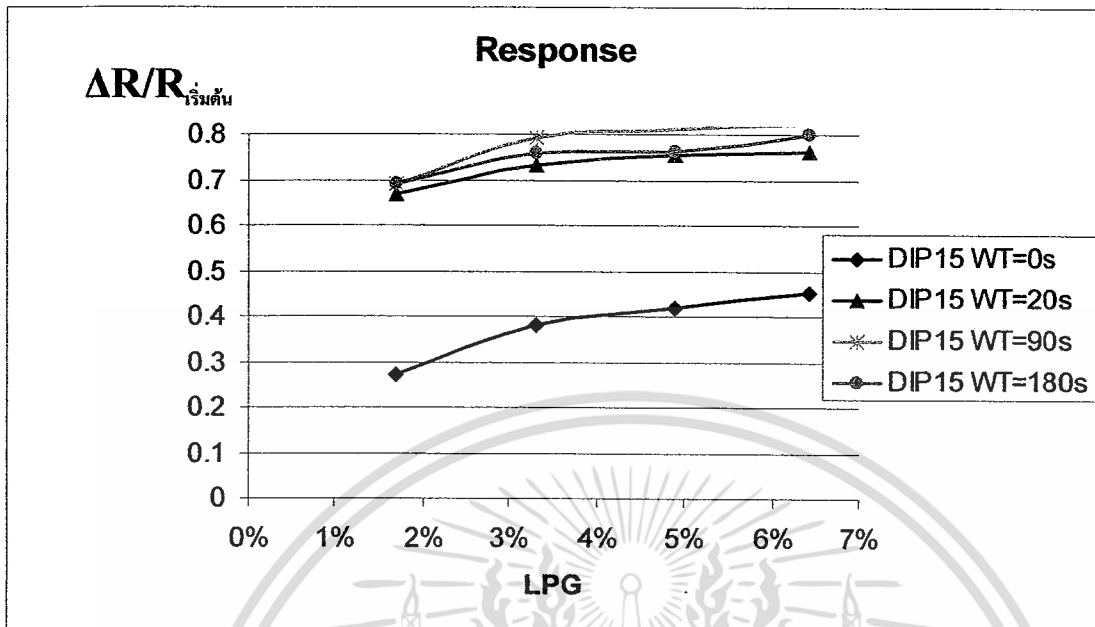


รูปที่ 4.22 กราฟแสดงผลการจุ่ม 15 ครั้ง โด๊ป NH_4F 4.5% บนฐานรองอะลูมินา (WT = 180s, HT = 5s)

ตารางที่ 4.10 แสดงผลการทดสอบจุ่ม 15 ครั้ง โด๊ป NH_4F 4.5% โดย $R = 24.298\text{K}\Omega$

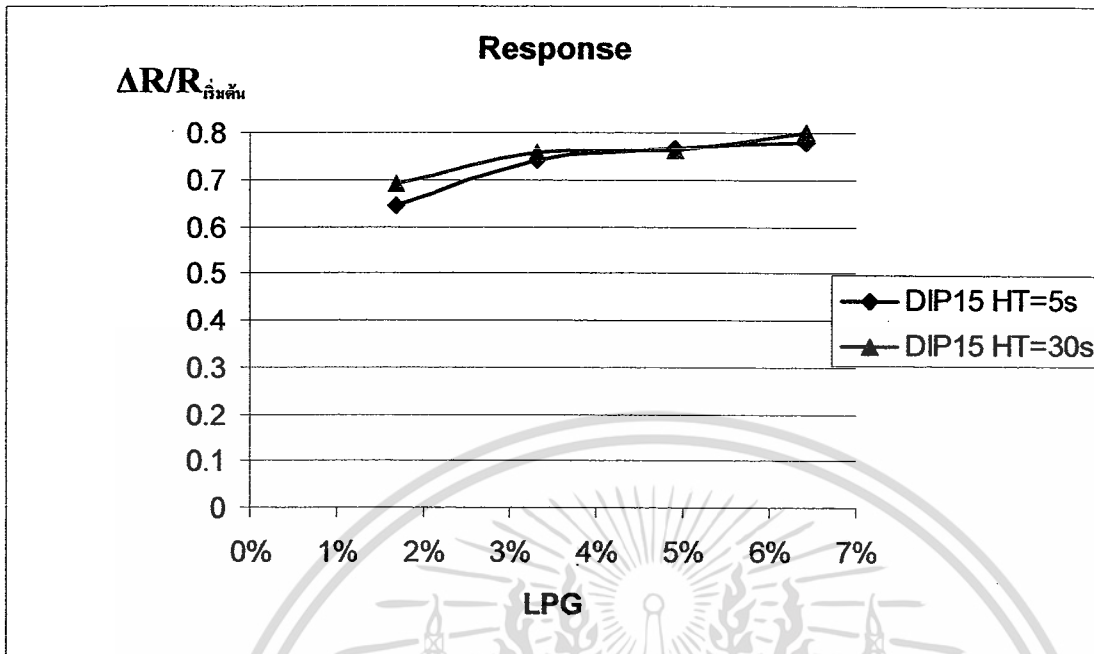
ช่วงที่	ก๊าซทดสอบ	ปริมาณ LPG	เวลาทดสอบ (sec)	R ก่อน ($\text{K}\Omega$)	R หลัง ($\text{K}\Omega$)	ΔR ($\text{K}\Omega$)	Response $\Delta R / R_{\text{เริ่มต้น}}$
1	LPG	1.7%	200	25.816	9.204	16.612	0.643
2	LPG	3.3%	200	25.816	6.726	19.09	0.739
3	LPG	4.9%	200	25.816	6.036	19.78	0.766
4	LPG	6.4%	200	25.816	5.766	20.05	0.777

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.23 การตอบสนองของเซ็นเซอร์แบบ โด๊ป NH_4F 4.5% บนฐานรองอะลูมินาที่ใช้เวลา
เวลาอบ(Heat time)เท่ากัน และ เวลารอเย็น(Wait time)ที่ต่างกัน

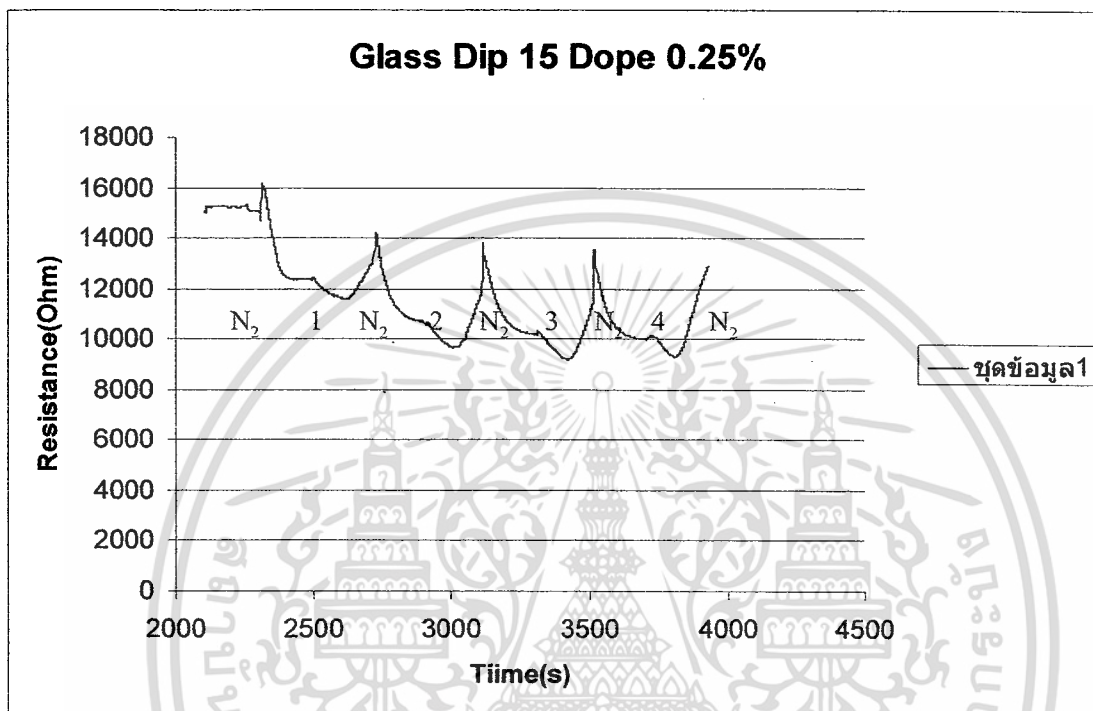
บนฐานรองที่เป็นอะลูมินา การรุ่ม 15 ครั้งที่เวลารอเย็น(Wait time) 20 , 90 และ 180 วินาที สามารถแยกปริมาณความเข้มข้นของก๊าซแอลพีจีได้บ้างที่ค่าความเข้มข้นต่ำ และแทบจะแยกไม่
ค่อยได้เลยที่ความเข้มข้นสูง แต่จะเห็นได้ว่า การรุ่ม 15 ครั้ง ที่เวลารอเย็น(Wait time) 0 วินาทีนั้น
การตอบสนองต่อก๊าซแอลพีจีจะดีกว่าทั้งหมด



รูปที่ 4.24 การตอบสนองเซ็นเซอร์แบบ ไดป์ NH_4F 4.5% บนฐานรองอะลูมิเนียมที่ใช้เวลาในเวลารอเย็น (Wait time) เท่ากัน และ เวลาอบ (Heat time) ที่ 5 วินาที กับ 30 วินาที

บนฐานรองที่เป็นอะลูมิเนียม การจุ่ม 15 ครั้ง จะเห็นได้ว่า ที่เวลาอบ (Heat time) ต่างกันจะสามารถแยกปริมาณความเข้มข้นของก๊าซแอลพีจี ได้ที่ความเข้มข้น ต่ำ ส่วนที่ความเข้มข้นสูง ที่เวลาอบ (Heat time) 30 วินาที จะดีกว่า 5 วินาที อยู่บ้าง

4.2.3 ผลของเซ็นเซอร์ที่ได้ไป $SbCl_3$ ในเงื่อนไขต่างๆ บนฐานรองที่เป็นกระจกที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส

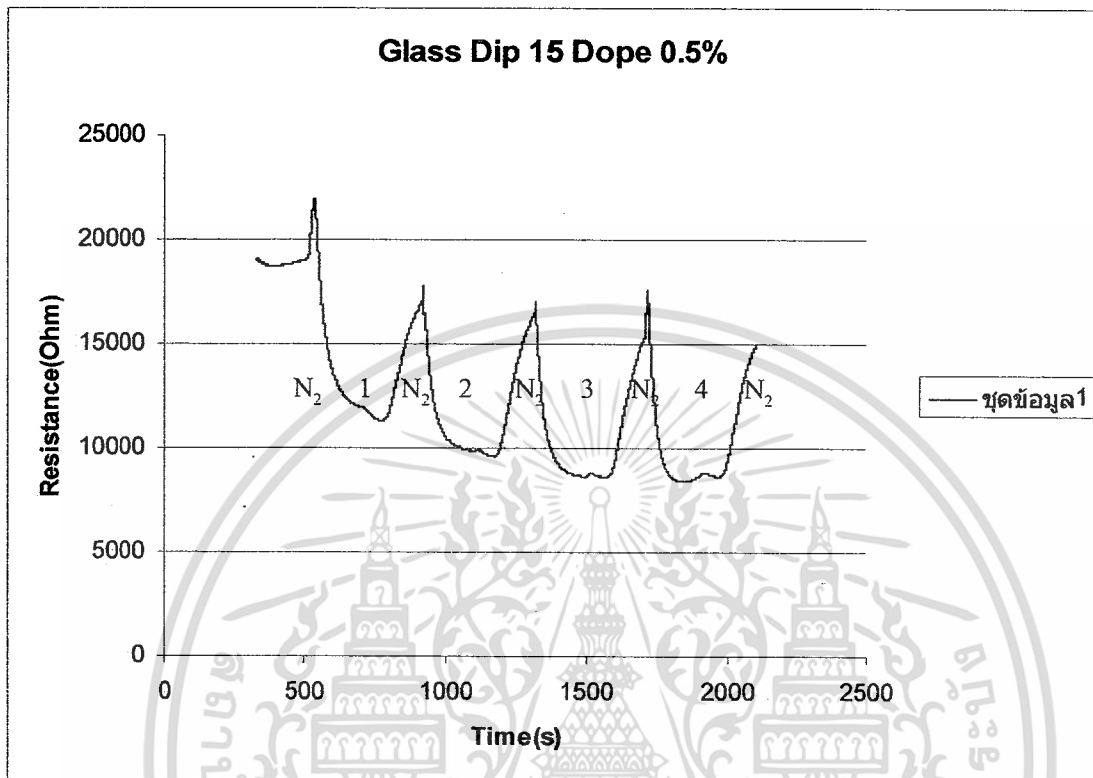


รูปที่ 4.25 กราฟแสดงผลการจุ่ม 15 ครั้ง ได้ไป $SbCl_3$ 0.25% บนฐานรองกระจก (WT = 180s , HT = 30s)

ตารางที่ 4.11 แสดงผลการทดสอบจุ่ม 15 ครั้ง ได้ไป $SbCl_3$ 0.25% โดย $R = 14.542K\Omega$

ช่วงที่	ก๊าซทดสอบ	ปริมาณ LPG	เวลาทดสอบ (sec)	R ก่อน ($K\Omega$)	R หลัง ($K\Omega$)	ΔR ($K\Omega$)	Response $\frac{\Delta R}{R}$ ก่อน
1	LPG	1.70%	200	15.918	12.125	3.793	0.238
2	LPG	3.30%	200	15.918	10.3	5.618	0.325
3	LPG	4.90%	200	15.918	10.094	5.824	0.366
4	LPG	6.40%	200	15.918	9.996	5.992	0.376

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

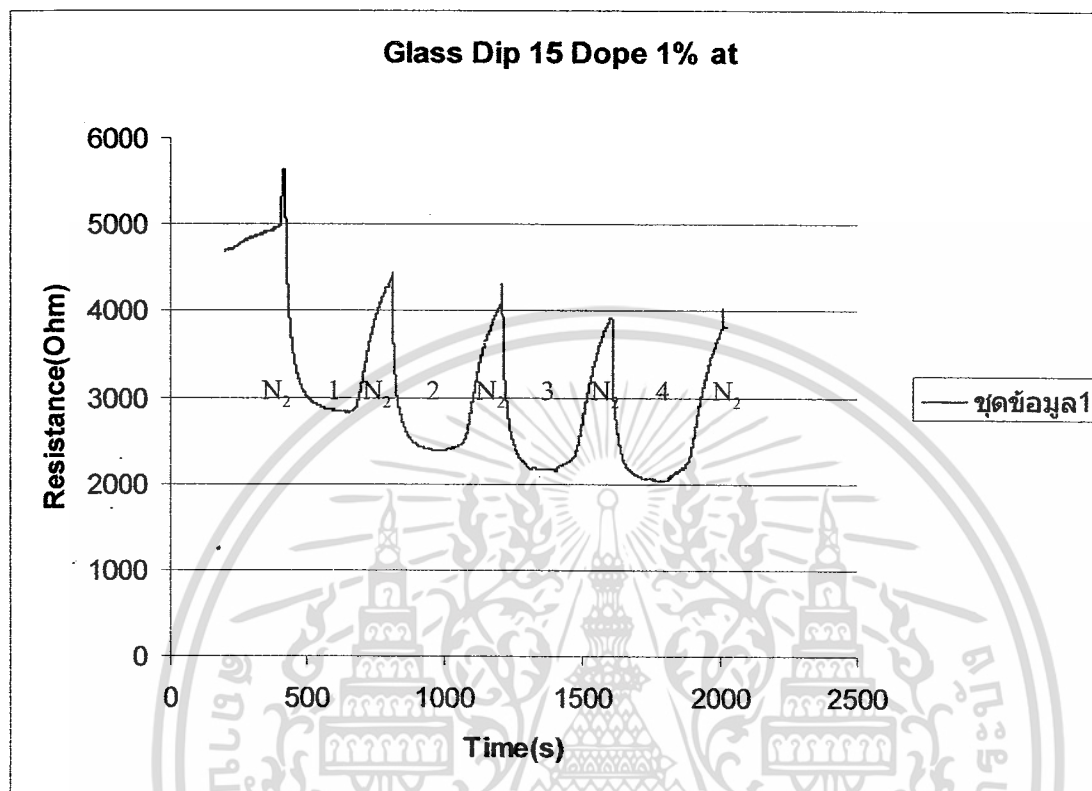


รูปที่ 4.26 กราฟแสดงผลการจุ่ม 15 ครั้ง โค้ป SbCl₃ 0.5% บนฐานรองกระจก
(WT = 180s , HT = 30s)

ตารางที่ 4.12 แสดงผลการทดสอบจุ่ม 15 ครั้ง โค้ป SbCl₃ 0.5% โดย R = 20.68K Ω

ช่วงที่	ก๊าซ ทดสอบ	ปริมาณ LPG	เวลา ทดสอบ (sec)	R ก่อน (K Ω)	R หลัง (K Ω)	ΔR (K Ω)	Response $\Delta R/R$ ก่อน
1	LPG	1.70%	200	21.58	11.62	9.96	0.462
2	LPG	3.30%	200	21.58	10.036	11.544	0.535
3	LPG	4.90%	200	21.58	8.725	12.855	0.596
4	LPG	6.40%	200	21.58	8.396	13.184	0.611

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้จัดทำเห็นประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

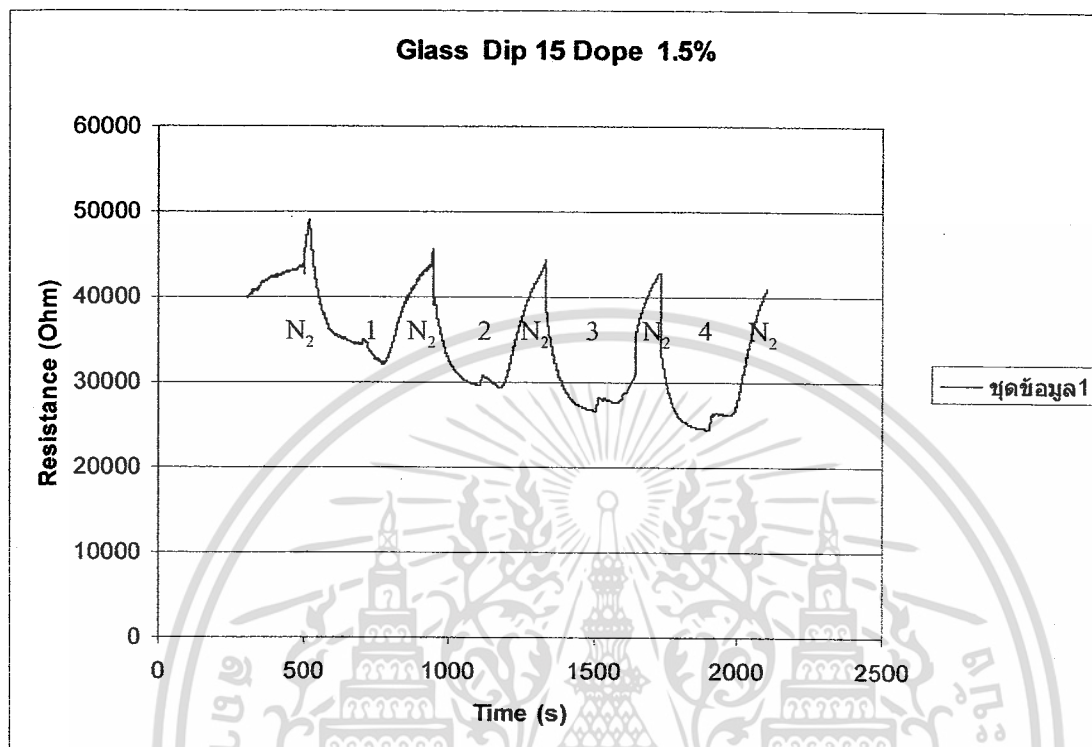


รูปที่ 4.27 กราฟแสดงผลการจุ่ม 15 ครั้ง ได้ SbCl_3 1% บนฐานรองกระจก
(WT = 180s, HT = 30s)

ตารางที่ 4.13 แสดงผลการทดสอบจุ่ม 15 ครั้ง ได้ SbCl_3 1% โดย $R = 4.545 \text{K}\Omega$

ช่วงที่	ก๊าซ ทดสอบ	ปริมาณ LPG	เวลา ทดสอบ (sec)	R ก่อน ($\text{K}\Omega$)	R หลัง ($\text{K}\Omega$)	ΔR ($\text{K}\Omega$)	Response $\frac{\Delta R}{R}$ ก่อน
1	LPG	1.70%	200	5.563	2.931	2.632	0.473
2	LPG	3.30%	200	5.563	2.431	3.132	0.563
3	LPG	4.90%	200	5.563	2.188	3.375	0.607
4	LPG	6.40%	200	5.563	2.075	3.488	0.627

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



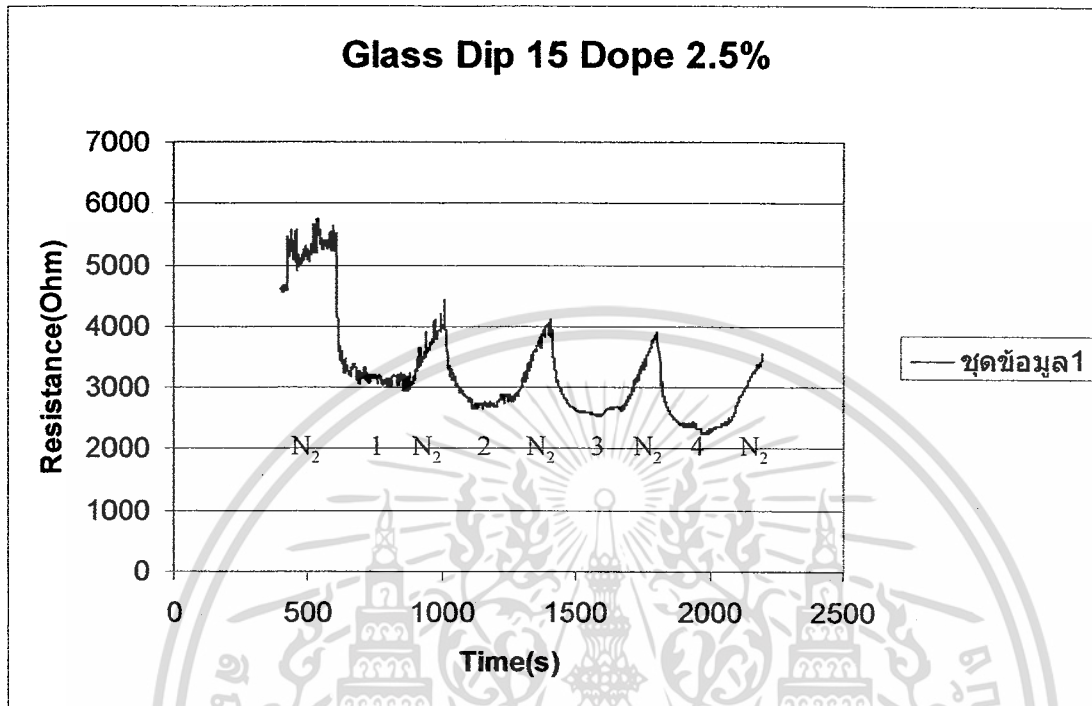
รูปที่ 4.28 กราฟแสดงผลการจุ่ม 15 ครั้ง โด๊ป SbCl₃ 1.5% บนฐานรองกระจก
(WT = 180s , HT = 30s)

ตารางที่ 4.14 แสดงผลการทดสอบจุ่ม 15 ครั้ง โด๊ป SbCl₃ 1.5% โดย R = 46.43KΩ

ช่วงที่	ก๊าซ ทดสอบ	ปริมาณ LPG	เวลา ทดสอบ (sec)	R ก่อน (KΩ)	R หลัง (KΩ)	ΔR (KΩ)	Response ΔR/R ก่อน
1	LPG	1.70%	200	48.52	32.857	15.663	0.322815
2	LPG	3.30%	200	48.52	29.43	19.09	0.393446
3	LPG	4.90%	200	48.52	26.634	21.886	0.451072
4	LPG	6.40%	200	48.52	24.67	23.85	0.49155

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้ทำซ้ำโดยไม่ขออนุญาต

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

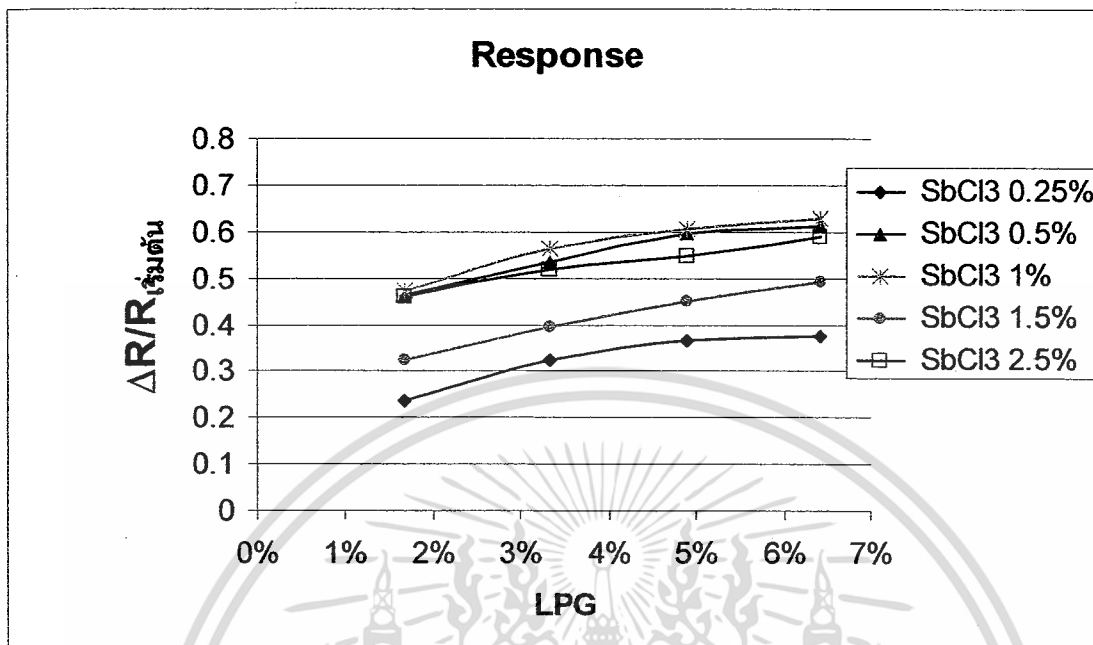


รูปที่ 4.29 กราฟแสดงผลการจุ่ม 15 ครั้ง โด๊ป SbCl_3 2.5% บนฐานรองกระจก
(WT = 180s , HT = 30s)

ตารางที่ 4.15 แสดงผลการทดสอบจุ่ม 15 ครั้ง โด๊ป SbCl_3 2.5% โดย $R = 5.14\text{K}\Omega$

ช่วงที่	ก๊าซ ทดสอบ	ปริมาณ LPG	เวลา ทดสอบ (sec)	R ก่อน ($\text{K}\Omega$)	R หลัง ($\text{K}\Omega$)	ΔR ($\text{K}\Omega$)	Response $\frac{\Delta R}{R}$ ก่อน
1	LPG	1.70%	200	5.67	3.07	2.6	0.459
2	LPG	3.30%	200	5.67	2.727	2.943	0.519
3	LPG	4.90%	200	5.67	2.565	3.105	0.548
4	LPG	6.40%	200	5.67	2.325	3.345	0.59

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



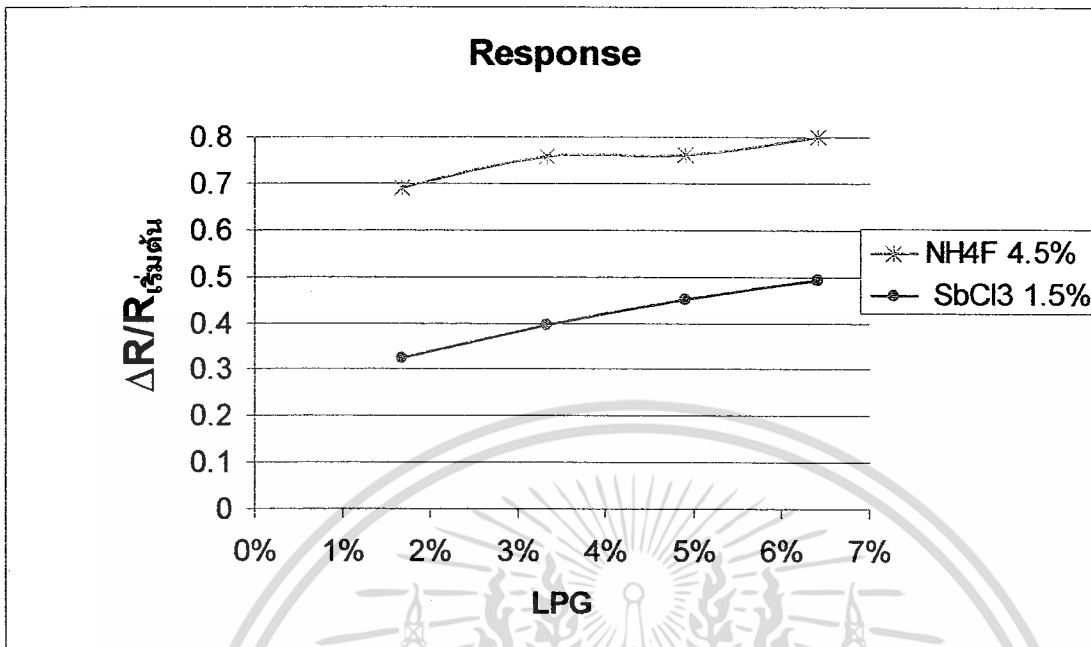
รูปที่ 4.30 เปรียบเทียบการตอบสนองของเซ็นเซอร์แบบได้ป $SbCl_3$ ที่เงื่อนไขการได้ปที่แตกต่างกันบนฐานรองกระจก ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส

การได้ป $SbCl_3$ 1.5% มีความไวในการวัดที่ดีที่สุด คือ สามารถแยกปริมาณความเข้มข้นของก๊าซ แอลพีจี ได้ดีในทุกๆย่าน

การได้ป $SbCl_3$ 0.25% มีความไวในการวัดที่ดีเช่นกัน คือ สามารถแยกปริมาณความเข้มข้นของก๊าซ แอลพีจี ได้ดีในช่วงความเข้มข้นต่ำ แต่ในระดับความเข้มข้นสูงๆจะแยกไม่ค่อยออก

การได้ป $SbCl_3$ 0.5% และ 1% มีความไวในการวัดในระดับปานกลาง คือ สามารถแยกปริมาณความเข้มข้นของก๊าซ แอลพีจี ได้ในระดับความเข้มข้นต่ำถึงปานกลาง

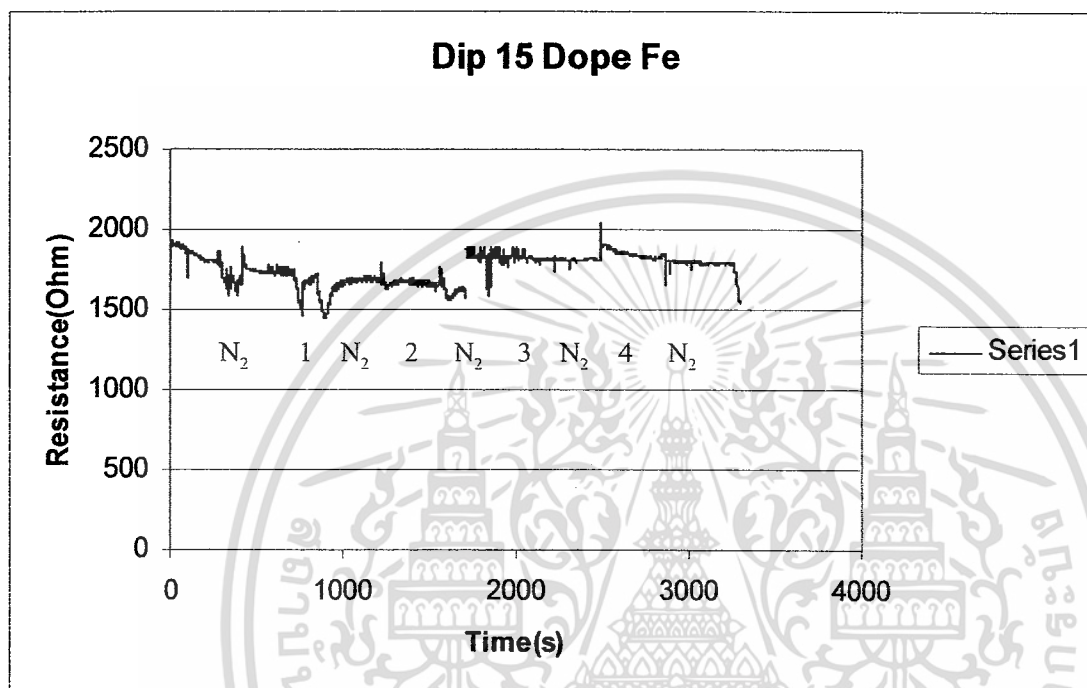
การได้ป $SbCl_3$ 2.5% มีความไวในการวัดที่ไม่ดีนัก คือ สามารถแยกปริมาณความเข้มข้นของก๊าซ แอลพีจี ได้เพียงปริมาณความเข้มข้นต่ำ



รูปที่ 4.31 เปรียบเทียบการตอบสนองของเซ็นเซอร์ที่ทำการจุ่ม 15 ครั้ง แบบโด๊ป SbCl₃ 1.5% บนฐานรองแบบกระจก กับ แบบโด๊ป NH₄F 4.5% บนฐานรองอะลูมินา ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส

การโด๊ป SbCl₃ 1.5% มีความไวในการวัดที่ดีกว่า การโด๊ปด้วย NH₄F 4.5% คือ สามารถแยกปริมาณความเข้มข้นของก๊าซ แอลพีจีได้ดีในทุกๆย่าน

4.2.4 ผลของเซ็นเซอร์ที่โด๊ป Ferrocene ในเงื่อนไขการโด๊ป 0.5% , 1% , 4.5% บนฐานรองที่เป็นกระจกที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส



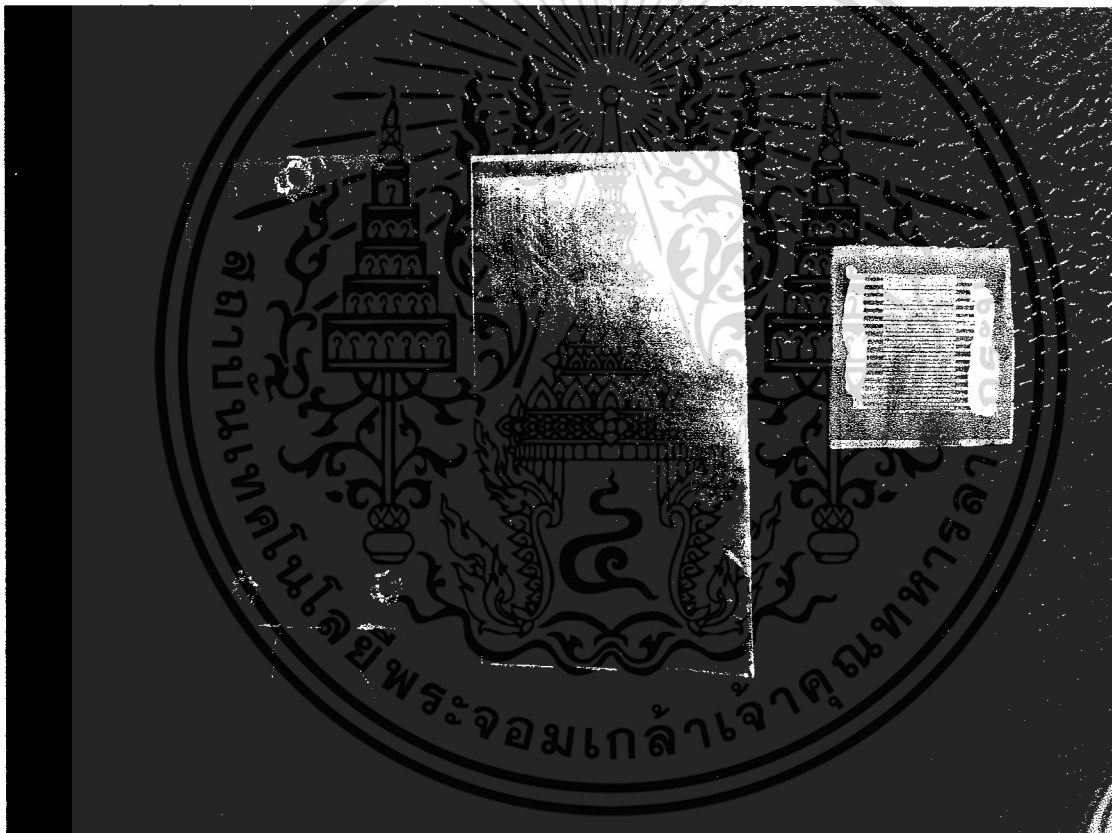
รูปที่ 4.32 กราฟแสดงผลการจุ่ม 15 ครั้ง โด๊ป Fe 1% ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส

จากกราฟการจุ่ม 15 ครั้ง เป็นตัวอย่างของเซ็นเซอร์ที่โด๊ปด้วย Ferrocene 1% ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส ซึ่งจากผลการทดลองของเซ็นเซอร์ที่โด๊ปด้วย Ferrocene ทั้งหมดนั้นไม่ตอบสนองต่อก๊าซ LPG ซึ่งอาจเป็นเพราะส่วนผสมทางเคมียังไม่เหมาะสม

4.2.5 การทดลองที่ยังไม่ได้พัฒนาต่อ

การออกแบบฮีตเตอร์แบบแผ่นเพื่อนำไปใช้กับเซ็นเซอร์

ในการทดลองนี้ จะนำแผ่นฮีตเตอร์ที่หุ้มด้วยแผ่นฉนวน มาประกบด้วยแผ่นสแตนเลสทั้งสองข้าง ป้อนไฟฟ้า 220Vac ให้กับฮีตเตอร์ แล้วทำการวัดความร้อนที่ผิวสแตนเลส โดยทำการเพิ่มกระแสขึ้นเรื่อยๆ เพื่อให้ความร้อนเพิ่มขึ้น พบว่าความร้อนที่ผิวสแตนเลส เพิ่มขึ้นถึง 500 °C แล้วทำการหยุดเพิ่มกระแส เพราะความร้อนที่ต้องการคือ 300 – 400 °C เท่านั้น หากเพิ่มกระแสขึ้นอีกอาจทำให้เส้นลวดฮีตเตอร์ขาดได้



รูปที่ 4.33 รูปภาพของฮีตเตอร์ที่หุ้มด้วยแผ่นฉนวนกันความร้อน , แผ่นสแตนเลสสำหรับประกบฮีตเตอร์ และ เซ็นเซอร์บนฐานรองแบบกระจก

จากผลการทดลองคาดว่าคิฮีตเตอร์แบบแผ่นนั้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับเซ็นเซอร์ได้ แต่ยังคงต้องการพัฒนาต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบเคลือบจุ่มบนขดลวดฮีตเตอร์

ในการทดลองนี้จะนำเอาเอาลวดฮีตเตอร์ขนาด 0.5 มิลลิเมตร มาพันเป็นขดแล้วนำไปเคลือบจุ่มกับสารซิลิกาเจล เพื่อให้ผิวของขดลวดมีคุณสมบัติเป็นฉนวนก่อน แล้วจึงค่อยนำไปทำการเคลือบจุ่มสาร เพื่อใช้เป็นเซ็นเซอร์วัดก๊าซแอลพีจี



รูปที่ 4.34 ลวดฮีตเตอร์ก่อนการจุ่มเปรียบเทียบกับเหรียญบาท รูปที่ 4.35 ลวดฮีตเตอร์หลังการจุ่ม

จากผลการทดลองพบว่า ในส่วนของการเคลือบจุ่มขดลวดด้วยสารซิลิกาเจลนั้น ที่ ผิวของขดลวดที่เคลือบจุ่มนั้นมีคุณสมบัติเป็นฉนวน แต่เมื่อนำขดลวดที่เคลือบจุ่มด้วยซิลิกามาทำการเคลือบจุ่มด้วยทินออกไซด์ ที่ได้ปด้วยสาร NH₄F แล้วพบว่า ขดลวดที่ทำการเคลือบจุ่มนั้น ไม่มีค่าความต้านทานเลย ซึ่งก็แสดงว่า ทินออกไซด์ที่ได้ปด้วย NH₄F นั้น ไม่เกาะที่ผิวของซิลิกา

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

จากการทดลอง การสร้างเซ็นเซอร์ด้วยวิธีการเคลือบจุ่ม ได้ทำการสร้างเซ็นเซอร์ บนฐานรองอะลูมินาและฐานรองกระจก โดยจะสร้างทั้งแบบ โด๊ป NH_4F , SbCl_3 , Ferrocene และแบบไม่โด๊ป ที่อุณหภูมิ 400 องศาเซลเซียส

-ในส่วนของเซ็นเซอร์แบบไม่โด๊ปบนฐานรองอะลูมินา ได้ทำการจุ่ม 10 และ 15 ครั้ง ซึ่งเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับเซ็นเซอร์บนฐานรองแบบกระจกแล้วพบว่า เซ็นเซอร์บนฐานรองกระจก ทั้งการจุ่ม 10 และ 15 ครั้ง จะมีการตอบสนองที่ดีกว่าเซ็นเซอร์บนฐานรองอะลูมินา

-ในส่วนของเซ็นเซอร์บนฐานรองแบบกระจก ที่ทำการ โด๊ป NH_4F 4.5% ได้ทำเปลี่ยนแปลงค่าตัวแปรในการเคลือบจุ่มและสารที่ใช้ในการ โด๊ป คือ

1) ปรับเปลี่ยนเวลารอเย็น(wait time) เป็น 0,20,90 และ 180 วินาที ส่วนตัวแปรอื่นๆยังคงเหมือนเดิม พบว่าค่าความต้านทานจะลดลงเมื่อ เวลารอเย็น(Wait time) เพิ่มขึ้น แต่เมื่อให้เวลาในการรอเย็น 180 วินาที ค่าความต้านทานจะเพิ่มขึ้น

2) ปรับเปลี่ยนเวลาอบ(Heat time) เป็น 5 และ 30 วินาที ส่วนตัวแปรอื่นๆยังคงเหมือนเดิม เพื่อที่จะนำมาเปรียบเทียบกับเซ็นเซอร์ที่มีเวลาอบต่างกัน พบว่าค่าความต้านทานที่ได้จะลดลงเมื่อเวลาในการอบ(Heat time)เพิ่มขึ้น

3) ปรับเปลี่ยนสารที่ใช้ในการ โด๊ปจาก NH_4F เป็น SbCl_3 และ Fe ซึ่งผลปรากฏว่าการ โด๊ปด้วย Fe นั้น ไม่ตอบสนองต่อก๊าซแอลพีจี ซึ่งอาจเป็นเพราะส่วนผสมของสารเคมีที่ผสมนั้นไม่เหมาะสม ส่วนการ โด๊ปด้วย SbCl_3 นั้นสามารถตรวจจับก๊าซแอลพีจีได้และสามารถตรวจจับ ได้ดีที่การ โด๊ป 0.25% และ 1.5% แต่เซ็นเซอร์ที่การ โด๊ป SbCl_3 4.5% นั้น ไม่ตอบสนองต่อก๊าซแอลพีจี

จากผลการทดลองที่ได้ข้างต้นนี้ เซ็นเซอร์นี้สามารถนำมาใช้งานในการตรวจจับก๊าซแอลพีจีได้แต่ยังคงต้องศึกษาและวิจัยเพิ่มเติมต่อไป

เอกสารอ้างอิง

เรืองศักดิ์ ภัทรกิจโสภณ “การพัฒนาฟิล์มบางตัวนำโปร่งแสงดีบุกออกไซด์ที่สร้างด้วยวิธีการจุ่ม”

วิทยานิพนธ์ปี 2550

อดิศักดิ์ ศรีจุม “การศึกษาคุณสมบัติการตอบสนองต่อก๊าซของทินออกไซด์” วิทยานิพนธ์ปี 2541

http://www.hpcc.nectec.or.th/wiki/index.php/Defect_band_structure_of_SnO2

การปิโตรเลียมแห่งประเทศไทย

http://www.geocities.com/thaikeramos/product/advance_product/gas_sensor/gas_sensors.html



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้