

สำนักงานคณะกรรมการการอุดมศึกษา

การประดิษฐ์ LPG เซ็นเซอร์ด้วยฟิล์มบางทिनออกไซด์

Invention of LPG sensor with thin film tin oxide

โดย

นาย สิทธิชัย เศวกสุริยวงศ์ รหัส 47015228

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผศ. ดร. สุทธิชัย ชัยสิทธิ์ศักดิ์

รฟ.
๑๖๖๖
๒๕๕๙

เลขหมู่.....

เลขทะเบียน..... 72236

วัน,เดือน,ปี..... 12 ส.ย. 2550

b. 11765AA6
i.

ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2549

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญาโท ปีการศึกษา 2549

ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การสังเคราะห์คาร์บอนนาโนทิวป์แบบมีลวดลาย

ผู้จัดทำ

นาย สิทธิชัย เสวกสุริยวงศ์ รหัส 47015228



(ผศ. ดร. สิทธิชัย ชัยสิทธิ์ศักดิ์)

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประดิษฐ์ LPG เซนเซอร์ด้วยฟิล์มบางทินออกไซด์

นายสิทธิชัย เสวกสุริยวงศ์

ผศ.ดร.สุริชัย ชัยสิทธิ์ศักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2549

บทคัดย่อ

รายงานฉบับนี้เป็นการนำเสนอวิธีการสร้างก๊าซเซนเซอร์สำหรับการวัด LPG ด้วยฟิล์มบางทินออกไซด์(SnO₂) วิธีฟิล์มบาง SnO₂ ถูกปลูกด้วยสเปร์ย์ไพโรไลติซ ซึ่งได้ทำการออกแบบและสร้างระบบสเปร์ย์โดยใช้หัวสเปร์ย์แบบแอร์บัส(AIR BRUS)เป็นตัวพ่นสารให้เป็นละอองที่ละเอียดและกระจายทั่วทั้งชิ้นงาน ในเบื้องต้นจะทำการศึกษาผลของเงื่อนไข เช่น อุณหภูมิ จำนวนครั้งในการพ่นและส่วนผสมของสารตั้งต้น ที่มีต่อความต้านทานของฟิล์ม และหัวเซ็นเซอร์ที่วัดได้ที่เงื่อนไขเดียวกันต้องมีค่าความต้านทานที่ที่วัดได้จะต้องมีค่าเดียวกันหรือใกล้เคียงกัน จึงได้สร้างเครื่องจักรที่ใช้ในการพ่นสาร จากนั้นจะนำฟิล์มSnO₂ ที่ปลูกได้ไปสร้างเซนเซอร์สำหรับตรวจวัด LPG โดยสามารถวัดได้ที่อุณหภูมิห้องคดขยไม่จำเป็นต้องมีheater

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Make LPG sensor with thin flim tin Oxide

Mr. Sitthichai Swarksuriyawong ID. 47015228

Assis.Prof.Dr.Sutichai Chaisitsak Advisor

Educational Year 2006

ABSTRACT

This report present the method to make sensor gas for messure LPG with thin flim tin Oxide. Method of Thin flim Oxide togrow with pirolysis spray system design and make spray system Air Brush spray toblow substance to dust that So delicate and spread all over product. Beginning I will study the vesult to condition example temperature,number of blow and ingredient of substance that have effet to resist of flim after that bring thin flim tin Oxide that grow to make sensor for measure LPG To continue.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ สามารถสำเร็จลุล่วงสมบูรณ์ได้ ต้องขอขอบคุณความกรุณา และความเอาใจใส่ ของ ผศ.ดร.สุริชัย ชัยสิทธิ์ศักดิ์ เป็นอย่างมากที่ทำให้คำปรึกษา ความรู้ และ ความอนุเคราะห์เครื่องมือในห้องวิจัย วัสดุและอุปกรณ์นาโนอิเล็กทรอนิกส์ (Nano Electronic Materials and Devices: NEMD Lab) และขอบคุณพี่ปุก , พี่บอย และ เพื่อนๆ ในห้องแล็บนาโนอิเล็กทรอนิกส์ที่คอยให้ความช่วยเหลือและกำลังใจ

และที่ขาดไม่ได้คือ คุณปู่ และ อาเพ็ญ สำหรับเงินสนับสนุนการศึกษาและกำลังใจที่มีให้ ตลอดเวลาไม่มีวันหมด ซ้ำยังให้แรงเชียร์มาโดยตลอด ขอขอบคุณพี่สาวแสนสวยที่ช่วยจัดหน้า และแก้ส่วนต่าง ๆ ที่ผิดให้และน้องฝนที่พิมพ์ให้บางส่วน ที่ขาดไม่ได้ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ที่สร้างนักศึกษาที่ดีและมีประสิทธิภาพอย่างข้าพเจ้าและเพื่อนๆทุกคน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
สารบัญ.....	III
สารบัญรูป.....	IV
รูปที่ 2.1.....	2
รูปที่ 2.2.....	3
รูปที่ 2.3.....	7
รูปที่ 2.4.....	7
รูปที่ 2.5.....	9
รูปที่ 2.6.....	10
รูปที่ 2.7.....	12
รูปที่ 3.1.....	15
รูปที่ 3.2.....	18
รูปที่ 3.3.....	24
รูปที่ 3.4.....	25
รูปที่ 3.5.....	26
รูปที่ 3.6.....	27
รูปที่ 3.7.....	27
รูปที่ 3.8.....	28
รูปที่ 3.9.....	28
รูปที่ 3.10.....	29
รูปที่ 3.11.....	29
รูปที่ 3.12.....	30
รูปที่ 3.13.....	30
รูปที่ 3.14.....	31
รูปที่ 4.1.....	33
รูปที่ 4.2.....	34
รูปที่ 4.3.....	34
รูปที่ 4.4.....	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.5.....	36
รูปที่ 4.6.....	37
รูปที่ 4.7.....	39
รูปที่ 4.8.....	39
รูปที่ 4.9.....	40
รูปที่ 4.10.....	40
รูปที่ 4.11.....	41
รูปที่ 4.12.....	42
รูปที่ 4.13.....	56
รูปที่ 4.14.....	57
รูปที่ 4.15.....	63
รูปที่ 4.16.....	63
รูปที่ 4.17.....	64
รูปที่ 4.18.....	64
รูปที่ 5.1.....	70
รูปที่ 5.2.....	70
รูปที่ 5.3.....	71
รูปที่ 5.4.....	71
รูปที่ 5.5.....	72
รูปที่ 5.6.....	72
รูปที่ 5.7.....	73

สารบัญตาราง..... V

ตารางที่ 1.1.....	8
ตารางที่ 1.2.....	11
ตารางที่ 3.1.....	31
ตารางที่ 5.1.....	67
ตารางที่ 5.2.....	69

บทที่ 1 บทนำ.....1

บทที่ 2 ทฤษฎีและเซ็นเซอร์ตรวจวัดของแก๊ส LPG 2

2.1 ทฤษฎีของแก๊ส.....	2
-----------------------	---

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2 คุณสมบัติของก๊าซ.....	3
2.3 การตรวจวัดปริมาณสาร.....	4
2.4 ความเป็นของการสร้างอุปกรณ์ตรวจจับก๊าซ	5
2.5 นิยามของก๊าซเซ็นเซอร์.....	6
2.6 ทिनออกไซด์ก๊าซเซ็นเซอร์.....	9
2.7 แนวโน้มและการประยุกต์ใช้ตัวตรวจจับสารเคมีในอนาคต.....	13

บทที่ 3 ทฤษฎีกับปฏิกิริยาระหว่างก๊าซกับสารทिनออกไซด์.....14

3.1 ปฏิกิริยาของการดูดซับก๊าซที่ผิวของสารกึ่งตัวนำ.....	14
3.1.1 สถานะพื้นผิว (surface state) ในการตรวจจับทางเคมี	14
3.1.2 การดูดกลืนออกซิเจน.....	19
3.1.3 ปฏิกิริยาของก๊าซติดไฟกับการดูดกลืนออกซิเจน.....	21
3.1.4 การรีดักชันของโลหะออกไซด์.....	22
3.2 กลไกการตรวจจับก๊าซของทिनออกไซด์.....	23
3.2.1 ผลในเนื้อสาร.....	23
3.2.2 ผลจากผิวของสารกึ่งตัวนำ.....	23
3.2.3 ผลจากขอบเกรน.....	25
3.3 ปฏิกิริยาเคมีระหว่างทिनออกไซด์กับก๊าซต่างๆ.....	28
3.3.1 ปฏิกิริยาออกซิเดชัน.....	28
3.3.2 ปฏิกิริยารีดักชัน.....	29
3.4 การปรับปรุงความไวในการตอบสนองโดยการเติมตัวแคตตะลิสต์.....	31

บทที่ 4 กระบวนการการทดลองผลิตก๊าซแอลพีจีเซ็นเซอร์ด้วยฟิล์มบางทिनออกไซด์.....32

4.1 อุปกรณ์และสารเคมี.....	32
4.2 ขั้นตอนและวิธีทำการทดลอง.....	32
4.2.1 การเตรียมสารตัวเร่งปฏิกิริยา.....	32
4.2.2 ขั้นตอนการปลูกฟิล์มบนฐานรองแก้วโดยใช้แอร์กันพ่น.....	32
4.2.3 ขั้นตอนการปลูกฟิล์มบนฐานรองแก้วโดยใช้เครื่องพ่นแอร์บัส.....	35
4.2.4 ขั้นตอนการปลูกฟิล์มบนฐานรองแก้ว โดยใช้เครื่องพ่นแอร์บัสที่ควบคุม โดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์.....	36
4.2.5 แนวคิดในการสร้างเครื่อง Auto spray.....	37

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 คุณสมบัติที่สำคัญของ PSoC.....	43
4.4 ซอร์สโปรแกรมที่ใช้เขียนลงไป CPU.....	44
4.5 โครงสร้างของเครื่อง Auto spray.....	56
4.5.1 ปุ่มที่สำคัญสำหรับป้อนคำสั่งให้แก่ CPU.....	56
4.5.2 รูปแสดงวงจรภายในของภาคควบคุม.....	57
4.6 การใช้งานหน้าจอ LCD.....	60
บทที่ 5 ผลการทดลอง.....	65
5.1 ทำการทดสอบวัดผลกับวงจรที่ทำการพ่นทินออกไซด์ที่ได้จาก เครื่องพ่นแอร์กัน.....	65
5.2 ทำการทดสอบวัดผลกับวงจรที่ทำการพ่นทินออกไซด์ที่ได้จาก เครื่องพ่นแอร์บัส.....	65
5.3 ทำการทดสอบวัดผลกับวงจรที่ทำการพ่นทินออกไซด์ที่ได้จาก เครื่องพ่นAuto spray.....	65
5.4 สรุปผลการทดลอง.....	73
5.5 วิจารณ์ผลการทดลอง.....	74
5.6 แนวทางในการทดลอง.....	74
เอกสารอ้างอิง.....	75

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

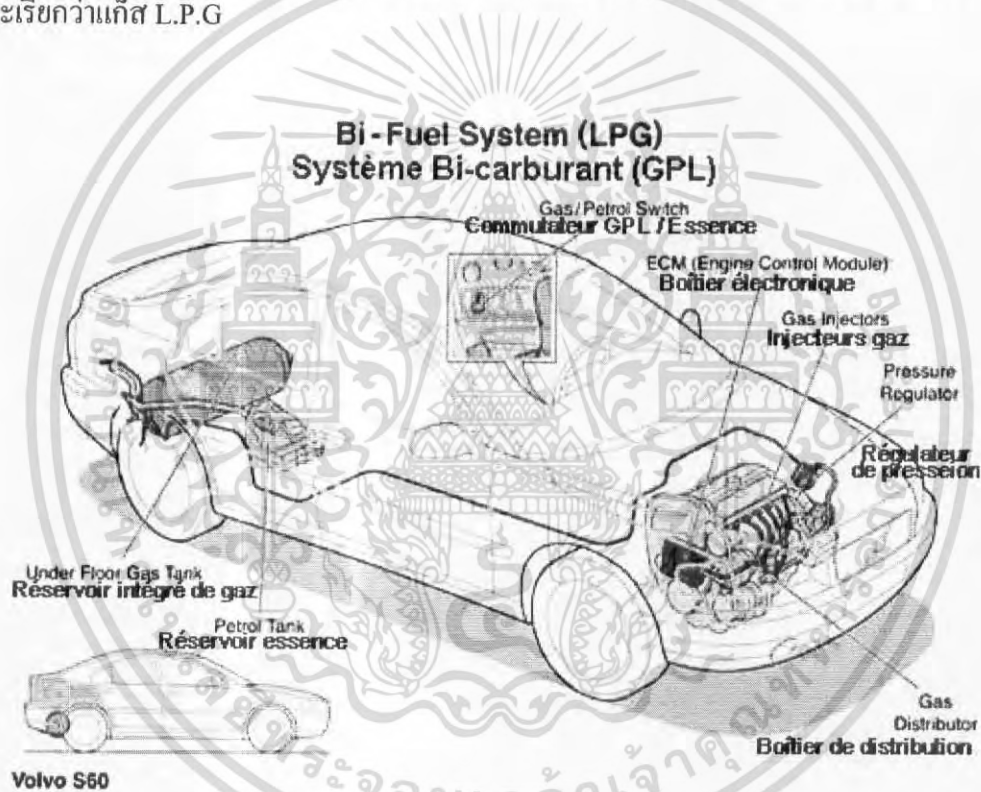
ฟิล์มออกไซด์ตัวนำโปร่งแสง ที่มีความส่องผ่านของแสงสูงและความต้านทานไฟฟ้าต่ำ หรือสูงขึ้นอยู่กับว่าจะไปใช้ทำอะไรซึ่งถ้าความต้านทานต่ำเหมาะสำหรับไปใช้ในการสร้าง โซลาร์ เซลล์ แต่ถ้าเราจะไปสร้างเซ็นเซอร์ตรวจจับแก๊สค่าความต้านทานนั้นต้องมีค่าความต้านทานที่สูง ดังนั้นค่าความต้านทานที่สูงจึงเป็นเป็นหัวใจสำคัญของการสร้างเซ็นเซอร์ตรวจจับแก๊ส LPG เพื่อที่จะปลูกฟิล์ม ให้ได้ความต้านทานไฟฟ้าสูงเราจึงดัดแปลงเอาเทคนิคสเปรย์ไพโรไลซิส ซึ่งได้ถูกศึกษาเป็นวงกว้าง เทคนิคนี้ต้องการเครื่องมือง่าย ๆ ซึ่งมีราคาต่ำแต่ให้ผลสูง ซึ่งเป็นเงื่อนไขจำเป็นสำหรับผลผลิตทางการค้าทางด้าน ไม่นานมานี้ ประสบความสำเร็จในการสร้างฟิล์ม คุณภาพสูงโดยวิธีใช้สเปรย์ไพโรไลซิส ที่อุณหภูมิต่ำ ฟิล์มที่นำไฟฟ้าสูง ซึ่งมีความต้านทานไฟฟ้า ได้ถูกสร้างบนฐานรองแบบแก้วที่อุณหภูมิ โดยใช้สเปรย์น้ำหอม ซึ่งหาได้จากร้านเครื่องสำอาง นี่เป็นการปรับปรุงครั้งสำคัญในฟิล์มก่อนหน้าทั้งหลายที่เคยสร้างมามีบวณการที่ซับซ้อนยังมีต้นทุนที่สูง ซึ่งในการทำครั้งนี้เน้นต้นทุนต่ำ และการสเปรย์มีประโยชน์อย่างมาก ละอองที่พ่นนั้นใช้แรงดันของก๊าซใน โครเจน จึงพ่นได้ต่อเนื่องและมีละอองที่เล็ก ในงานที่เสนอนี้ เราได้ใช้วิธีการสร้างก๊าซเซนเซอร์สำหรับการวัด LPG ด้วยฟิล์มบางทินออกไซด์(SnO₂) วิธีฟิล์มบาง SnO₂ ถูกปลูกด้วยสเปรย์ไพโรไลซิส ซึ่งได้ทำการออกแบบและสร้างระบบสเปรย์โดยใช้หัวสเปรย์แบบแอร์บัส(AIR BRUS)เป็นตัวพ่นสารให้เป็นละอองที่ละเอียดและกระจายทั่วทั้งชิ้นงาน ในเบื้องต้นจะทำการศึกษาผลของเงื่อนไข เช่น อุณหภูมิ จำนวนครั้งในการพ่นและส่วนผสมของสารตั้งต้น ที่มีต่อความต้านทานของฟิล์ม และยังได้ทำการพัฒนาการปลูกฟิล์มโดยได้นำเอาไมโครคอนโทรลเลอร์มาใช้ในขบวนการสร้างนี้ด้วย จากนั้นจะนำฟิล์มSnO₂ ที่ปลูกได้ไปสร้างเซนเซอร์สำหรับตรวจวัด LPG ต่อไป

บทที่ 2

ทฤษฎีและเซ็นเซอร์ตรวจจับของแก๊ส LPG

2.1 ทฤษฎีของแก๊ส

แก๊สเป็นเชื้อเพลิงซึ่งเรารู้จักกันเป็นอย่างดีในการใช้ในการหุงต้มรวมไปจนกระทั่งการใช้แก๊สในรถยนต์เพื่อใช้แทนน้ำมันเบนซินที่มีราคาแพงในระยะแรกผู้ที่ใช้ส่วนมากจะเป็นกลุ่มของรถรับจ้างเพื่อเป็นการลดต้นทุนและได้แพร่หลายในคนที่โชครัดทั่วไปและในระบบอุตสาหกรรมเช่นการผลิตไฟฟ้า ดังนั้นแก๊สจึงอาจเป็นส่วนหนึ่งในการดำเนินชีวิตของเรา ซึ่งแก๊สที่เราเอามาใช้ส่วนมากเราจะเรียกว่าแก๊ส L.P.G

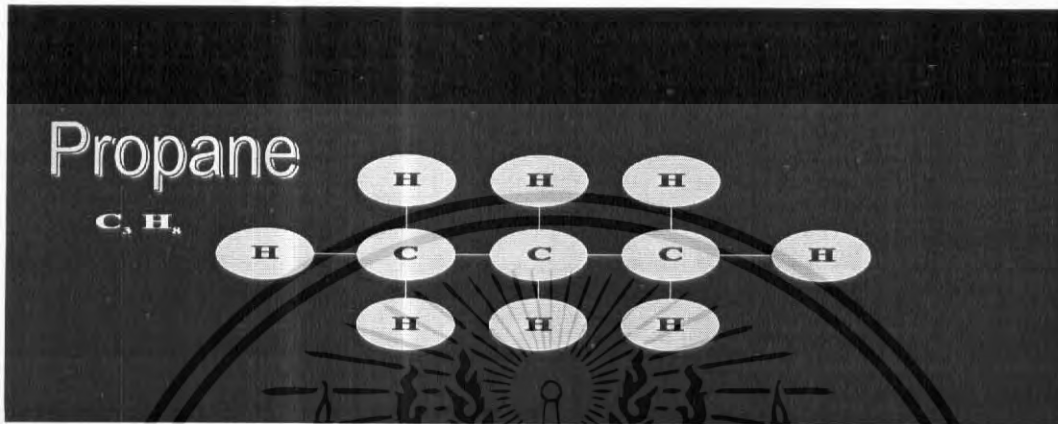


รูปที่ 2.1 แสดงระบบการใช้แก๊สในรถยนต์

L.P.G. เกิดจาก ก๊าซหรือแก๊สเป็นเชื้อเพลิงซึ่งเรารู้จักกันเป็นอย่างดีในการใช้ในการหุงต้มหรือเติมรถยนต์ เรียกชื่อทางภาษาราชการว่า “ก๊าซ” โดยมีชื่อทางเทคนิคเรียกว่า “**ก๊าซปิโตรเลียมเหลว**” (**Liquefied Petroleum Gas**) หรือLPG เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ซึ่งมีองค์ประกอบของก๊าซโพรเพน (Propane) เป็นส่วนใหญ่ จึงเป็นก๊าซที่หนักกว่าอากาศ โดยตัว LPG เองไม่มีสี ไม่มีกลิ่นเช่นเดียวกับก๊าซธรรมชาติ แต่เนื่องจากเป็นก๊าซที่หนักกว่าอากาศจึงมีการสะสมและลุกไหม้ได้ง่าย ดังนั้น จึงมีข้อกำหนดให้เติมสารมีกลิ่น เพื่อเป็นการเตือนภัยหากเกิดการรั่วไหล LPG ส่วนใหญ่จะใช้เป็นเชื้อเพลิงในครัวเรือนและกิจการอุตสาหกรรม โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารของ “ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล” ซึ่งจัดทำขึ้นเพื่อใช้ประกอบการเรียนการสอนในรายวิชา “การออกแบบเครื่องกล” โดยไม่หวังกำไรใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรจุเป็นของเหลวใส่ถังที่ทนความดันเพื่อให้ขนถ่ายง่าย นอกจากนี้ ยังนิยมใช้แทนน้ำมันเบนซิน ในรถยนต์ เนื่องจากราคาถูกกว่า และมีค่าออกเทนสูงถึง 105 RON เกิดจากธรรมชาติ และการกลั่นน้ำมัน



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของก๊าซปิโตรเลียมเหลว

2.2 คุณสมบัติของก๊าซ

1. ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น ดังนั้นจึงต้องเติมสาร “เมอร์แคปเทน” ลงไปในก๊าซที่ขาย เพื่อให้มีกลิ่นเป็นเครื่องเตือนให้ทราบ เมื่อเกิดการรั่วของก๊าซ
2. ไม่เป็นพิษ แต่ถ้าหายใจหรือสูดดมมาก ๆ อาจเวียนหัวหรือเป็นอันตรายต่อร่างกายได้เนื่องจากร่างกายขาดออกซิเจน
3. มีจุดเดือดต่ำ มีจุดเดือดและกลายเป็นไอที่อุณหภูมิ ศูนย์องศาเซลเซียส ในเมืองไทยที่มีอุณหภูมิประมาณ 20 กว่าองศาเซลเซียส ก๊าซจะกลายเป็นไอทันที ที่พ้นจากความดัน และจะดูดความร้อนจากบริเวณใกล้เคียง ทำให้บริเวณใกล้เคียงมีความเย็นจัด ดังนั้นถ้าส่วนหนึ่งส่วนใดของร่างกายคนเราสัมผัสกับน้ำก๊าซ จะทำให้ร่างกายส่วนนั้นเย็นจัดถึงไหม้ได้
4. หนักกว่าอากาศ เมื่อมีสภาพเป็นไอ ไอก๊าซจะหนักประมาณ 2 เท่าของอากาศ ฉะนั้นเมื่อก๊าซรั่ว จึงจะไหลไปรวมกันอยู่ ณ ที่ต่ำ จึงไม่ควรตั้งถังก๊าซไว้ในห้องใต้ดิน ใกล้หลุมบ่อหรือรางระบายน้ำ
5. มีอัตราการขยายตัวสูง การเติมก๊าซลงในภาชนะ จึงไม่ควรเติมเต็ม ควรเติมประมาณ 85 % ของภาชนะ เพื่อให้มีช่องว่างไว้สำหรับขยายตัวเมื่อได้รับความร้อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. มีความดันสูง ภาชนะที่บรรจุ อุปกรณ์ที่ใช้จึงต้องออกแบบให้แข็งแรงสามารถทนความดันได้ไม่น้อยกว่า 250 ปอนด์/ตารางนิ้ว
7. ส่วนผสมของก๊าซกับอากาศ ที่ทำให้เกิดไฟ อัตราส่วนของก๊าซในอากาศที่ทำให้ติดไฟคือ 1.5 - 9 ส่วนใน 100 ส่วน ของส่วนผสมจะเห็นได้ว่าถ้ามีก๊าซน้อยกว่า หรือมากกว่าสัดส่วนดังกล่าวก๊าซจะไม่ติดไฟ ซึ่งจะเห็นได้ว่าก๊าซติดไฟไม่ได้ง่ายนัก
8. อัตราการขยายตัวของก๊าซ จากของเหลวเป็นไอ น้ำก๊าซ 1 ลิตร เมื่อกลายเป็นไอ ขยายตัวได้ถึง 250 ลิตร เมื่อน้ำก๊าซรั่วจึงมีอันตรายมากกว่าไอก๊าซรั่ว

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) อีออนซีเลกทีฟอิเล็กโทรด (Ion-selective electrode) และสเปกโตรโฟโตมิเตอร์ (Spectro photo meter) เป็นต้น เครื่องมือวัดเหล่านี้ทำงานได้ดี ทั้งการวัดตัวแปร หรือสารตัวอย่าง โดยตรงหรือมีการทำตัวอย่างเปลี่ยนสภาพที่ทำให้เครื่องมือวัดหรือเซนเซอร์ตอบสนอง

การใช้วัสดุในการวิเคราะห์ปริมาณสารที่เรียกว่า Chemical assay มักใช้เวลาในการวิเคราะห์ เช่น TGS sensors ของ Figaro Engineering company ที่ใช้เนื้อสารของดีบุกออกไซด์ (SnO_2) เป็นตัวเพื่อวิเคราะห์ คาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) จากท่อไอเสียรถ ปัจจุบันมีการใช้หัววัดทางเคมีไปติดเข้ากับเครื่องมือทางไฟฟ้าในการหาปริมาณสารตัวอย่างได้ภายในระยะเวลาอันรวดเร็ว เครื่องมือวัดแบบนี้ เรียกว่า เคมีเซนเซอร์ (chemsensors)

2.4 ความเป็นมาของการสร้างอุปกรณ์ตรวจจักษ์ก๊าซ

หลายปีที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาในการวิเคราะห์ทางด้านเคมียังไม่ได้สร้างบนฐานรองซิลิกอน เป็นจำนวนมาก เช่น ใช้ โลหะออกไซด์, สารประกอบเชิงซ้อน, เซรามิก, โพลีเมอร์ และ ion-selective electrode เป็นต้น แต่แน่นอนที่เดียวการสร้างก๊าซเซนเซอร์ บนเทคโนโลยีซิลิกอนย่อมเป็นที่น่าสนใจมากกว่าเพราะตัวอุปกรณ์ที่สามารถสร้างได้เล็กซึ่งจะทำให้สามารถผลิตได้จำนวนมาก ซึ่งจะทำให้ราคาต่อตัวอุปกรณ์มีราคาถูกและยังสามารถสร้างเป็นวงจรรวมได้อีกด้วย

ในปี ค.ศ. 1970 มีอุปกรณ์ตรวจจักษ์ก๊าซ 2 ชนิด ที่มีความโดดเด่นมากก็คือ ISFET ที่สร้างโดย Piet Bergveld หัวหน้ากลุ่มไบโอเซนเซอร์ (Biosensor) ที่ Twente University ประเทศเนเธอร์แลนด์ และ Palladium gate MOSFET ซึ่งสร้างในปี 1975 โดย Lund strom หัวหน้ากลุ่ม Chemical sensor ที่ Linkoping University ประเทศสวีเดน ISFET เป็นรูปแบบของมอดเฟสที่ไม่มี gate contact เมื่อ ISFET ถูกจุ่มลงในอิเล็กโทรไลต์ จะเกิดการกระแสดรณ ซึ่งขึ้นอยู่กับความเข้มข้นไอออนของ H_2 , Na หรือ K ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์

Pd gate MOSFET เป็นมอสเฟด โดยที่ส่วนของเกตจะถูกเปลี่ยนจากอลูมิเนียม (Al) เป็นพลาตินัม (Pd) แทน ซึ่งพลาตินัมเป็น Highly catalytical active metal ที่สามารถแยกโมเลกุลของไฮโดรเจน (H_2) ออกเป็นไฮโดรเจนอะตอม (H^+) ซึ่งอะตอมเหล่านี้จะแพร่เข้าไปยังรอยต่อ Pd-SiO₂ ซึ่งจะทำให้เกิดกระแสดรณในมอสเฟด

ปัจจุบันนี้ มีความต้องการ การพัฒนาการใช้อุปกรณ์ตรวจจักษ์ทางเคมีกันมาก เพื่อที่จะทำการวิเคราะห์ทางเคมีภายนอกห้องปฏิบัติการ Zemel ได้รวบรวมความต้องการที่จะได้อุปกรณ์ตรวจจักษ์ทางเคมีในอุดมคติดังนี้ ราคาไม่แพง ตัวอุปกรณ์มีขนาดเล็ก output สามารถแสดงเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า มีอัตราส่วน signal/noise ที่ดี รูปทรงแข็งแรง สร้างได้ง่าย สามารถผลิตได้ในจำนวนมากต่อครั้งมากๆ มีความน่าเชื่อถือ มีการแยกแยะสารเคมี มีการตอบสนองที่ดีและไม่มีการตอบสนองต่ออุณหภูมิและรังสีต่างๆ

แน่นอนความต้องการที่กล่าวมานี้ย่อมเป็นไปได้ แต่มีการวิจัยมากมายที่แสดงให้เห็นว่าการสร้างก๊าซเซนเซอร์บนฐานรองซิลิกอนจะสามารถสนองความต้องการ ที่ได้กล่าวมาแล้วมากที่สุด

2.5 นิยามของก๊าซเซ็นเซอร์

เซนเซอร์จะเป็นส่วนสำคัญสำหรับระบบการควบคุมทางอิเล็กทรอนิกส์ที่สามารถแสดงผลออกมาแทนการตอบสนองของประสาทสัมผัสของมนุษย์ ที่นอกจากเราจะสามารถได้ยิน สัมผัส คมกลิ่น การลิ้มรสและการมองเห็น เราอาจจะได้รับอันตรายจากการสัมผัสหรือได้รับสิ่งเหล่านั้นโดยตรงในปริมาณที่มากเกินไปจนขีดจำกัดที่ร่างกายจะรับได้ เซนเซอร์จะสามารถแสดงเป็นทางอิเล็กทรอนิกส์ที่ให้ค่าที่เท่ากับการตอบสนองของร่างกาย อย่างไรก็ตามอาจกล่าวได้ว่าการพัฒนา เซนเซอร์มีการพัฒนาเป็นอุปกรณ์ไมโครอิเล็กทรอนิกส์ที่ให้สัญญาณเป็นดิจิทัลอย่างมาก โดยเฉพาะการทำตัวตรวจจับ ที่สามารถตอบสนองต่อสารเคมี และในกรณีที่มีการทำกล้อง CCD ที่สามารถแยกประสาทในการมองได้สูงมากหรือแม้แต่การทำไมโครโฟนที่มีความไวในการตอบสนองเสียงได้ดี ซึ่งสิ่งเหล่านี้ยังเป็นขั้นเริ่มต้น

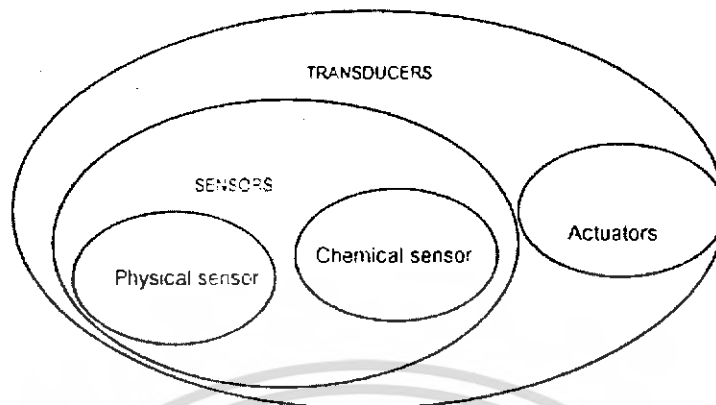
สัญญาณดิจิทัลในทางอิเล็กทรอนิกส์ของตัวตรวจจับทางเคมีซึ่งจะสามารถรู้รสและได้กลิ่นของสิ่งไม่มีชีวิต ถึงแม้แต่ในระบบชีววิทยายังมีระบบภูมิคุ้มกัน และการวัดปริมาณกลูโคส การวัดความเข้มข้นสารเคมีและการควบคุมปริมาณที่ต้องใช้ความถูกต้องสูง เพื่อที่จะแทนที่หรือเป็นตัววัดระบบทางชีววิทยาเหล่านี้จนในที่สุดจะได้ตัวตรวจจับที่มีการตอบสนองและการแยกแยะที่ดี วัสดุตรวจจับทางเคมีในเชิงพาณิชย์จะต้องสามารถปรับค่าเริ่มต้นแต่ยังไม่สามารถแยกแยะและมีความไวในการตอบสนองได้ดีพอ อย่างไรก็ตามถ้ามีสารชีววิทยาที่สามารถเป็นตัวตรวจจับทางเคมีและทางชีววิทยาที่สามารถแยกแยะสารและการตอบสนองที่ดีที่เหมือนระบบชีววิทยานั้นได้รับการยอมรับในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาได้มีการวิจัยทางนี้อย่างกว้างขวางและจนกระทั่งในปัจจุบันได้มีเซนเซอร์ออกสู่ตลาดหลายชนิด

ตัวอย่างเซนเซอร์ที่ได้รับการแพร่หลายมากที่สุดก็คือ กลูโคส เซนเซอร์ ในปัจจุบัน เซนเซอร์ชนิดสามารถสร้างได้ง่าย มีราคาถูก จนสามารถใช้แล้วทิ้งได้ เพื่อให้การตอบสนองที่ดีและมีความถูกต้อง และยังมีการแสดงผลเป็นสัญญาณดิจิทัลเพื่ออำนวยความสะดวก

การแยกชนิดของเซนเซอร์และอุปกรณ์ในการตรวจจับสามารถแบ่งออกเป็นหลักกว้างๆ คือ ทรานสดิวเซอร์ (Transducers) เซนเซอร์ (Sensors) และ แอคชูเอเตอร์ (Actuators)

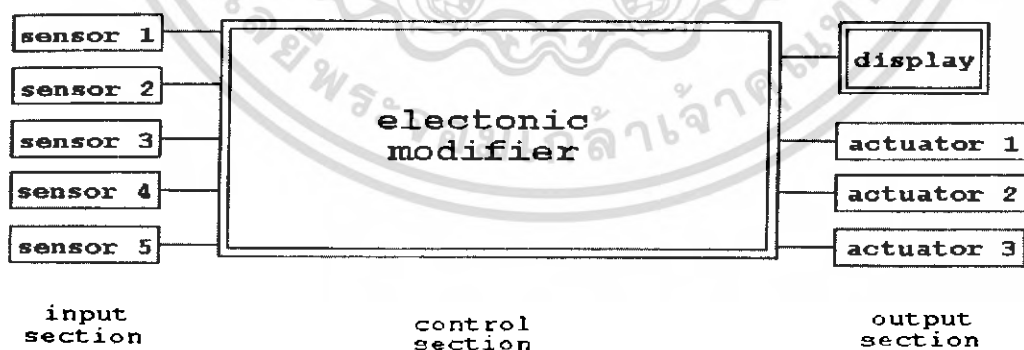
ความหมายของคำว่า ทรานสดิวเซอร์ (Transducers) มีรากศัพท์มาจาก ภาษาละติน จากคำว่า “transduco-traduco” ซึ่งหมายถึง “ การเปลี่ยนสภาพ-การแปลงสภาพ ” ดังนั้น อุปกรณ์จะต้องเป็นการเปลี่ยนแปลงหรือการแปลงสภาพ พลังงานจากระบบหนึ่งไปเป็นระบบอื่นโดยที่รูปแบบอาจจะเปลี่ยนไปก็ได้ ซึ่งจะเป็นความหมายของ ทรานสดิวเซอร์ การวัดค่าต่างๆ ในสิ่งแวดล้อม ทรานสดิวเซอร์จะเป็นอุปกรณ์ที่แสดงการเปลี่ยนแปลงสัญญาณจากพลังงานรูปหนึ่งไปเป็นพลังงานอีกรูป โดยพลังงานมีอยู่หลายรูป เช่น ทางไฟฟ้า, ทางกลศาสตร์, ทางแสง, ทางความร้อน, ทางแม่เหล็ก และทางการแผ่รังสี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 แสดงการจัดกลุ่มของทรานสดิวเซอร์ (Transducers)

เซนเซอร์ (Sensor) เป็นทรานสดิวเซอร์ที่แปลงสัญญาณในรูปแบบต่างๆ เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า ส่วนแอกติวเอเตอร์ (Actuators) จะเป็นทรานสดิวเซอร์ที่แปลงจากสัญญาณทางไฟฟ้าไปเป็นสัญญาณในรูปแบบอื่น โดยทั่วไปจะเป็นสัญญาณในรูปกลศาสตร์ (ดังแสดงในรูป 1.1) ตัวอย่างของเซนเซอร์ เช่น เซนเซอร์วัดความดัน pH เซนเซอร์ และโฟโต้ทรานซิสเตอร์ ตัวอย่างแอกติวเอเตอร์ (Actuators) เช่น โซลินอยด์ อุปกรณ์ เพียร์โซอิเล็กทริก และเลเซอร์ไดโอด ส่วนในเคมีคอลแอกติวเอเตอร์ (Chemical Actuators) เมื่อป้อนศักดาทางไฟฟ้าจะทำให้เกิด ไฮโดรเจน และออกซิเจน จอภาพ จะเป็นทรานสดิวเซอร์ชนิดพิเศษที่แปลงจากสัญญาณทางไฟฟ้าไปเป็นรูปแบบที่มองเห็นเช่น จอภาพ CRT, จอ LCD array ซึ่งจะเป็นอุปกรณ์แสดงผล ที่สามารถพบเห็นได้ทั่วไป



รูปที่ 2.4 แสดงโคะแกรมของทรานสดิวเซอร์ที่ประกอบด้วย เซนเซอร์

วงจรรขยายแอกติวเอเตอร์และจอภาพ

โดยทั่วไประบบควบคุมการทำงานของทรานสดิวเซอร์ในทางอิเล็กทรอนิกส์จะประกอบด้วยเซนเซอร์ที่อยู่ในส่วนอินพุตต่อไปยังสัญญาณทางไฟฟ้า จากนั้นสัญญาณทางไฟฟ้าจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผ่านการขยายสัญญาณโดยแอกซิไวเตอร์เพื่อแสดงบนหน้าจอ ดังรูปที่ 1.2 ส่วนชนิดและวัสดุที่ทำให้เป็นเซนเซอร์ จะแสดงดังตาราง 1.1

ตารางที่ 1.1 แสดงตัวอย่างชนิดของเซนเซอร์และวัสดุที่ใช้ทำเซนเซอร์

ชนิดเซนเซอร์	วัสดุเซนเซอร์	Sensor Function
อุณหภูมิ	(Mn, Cu)(Mn,Co,Ni) ₂ O ₄ , CoAl ₂ O ₄ , NiAl ₂ O ₄ Mg(Al,Cr,Fe) ₄ O ₄ SiC, BaTiO ₃ , VO ₂ , (Mn,Zn)Fe ₂ O ₄	NTC thermistor PTC thermistor Temperature switch
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-Ag ₂ , CdS-AgS CuS-Ag ₂ S	อ็อน ซีเล็คทีฟ อีเล็กโตรด
ระยะทาง-ความเร็ว	Pb(Zr,Ti)O ₃	เพียโซอิเล็กทริก (Piezoelectricity)
แสง	PbTiO ₃ , LiTaO ₃ LiNbO ₃ , Pb(Zr,Ti)O ₃ CaF ₂ , Li ₂ B ₄ O ₇	Pyroelectricity (Infrared detection) Thermoluminescence

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 ทินออกไซด์ก๊าซเซนเซอร์

สารกึ่งตัวนำทินออกไซด์ก๊าซเซนเซอร์ (SnO_2) ก๊าซเซนเซอร์ เริ่มสร้างขึ้นเมื่อปี ค.ศ. 1968 โดยเซนเซอร์ชนิดนี้เริ่มพัฒนาเพื่อใช้ในการตรวจจับก๊าซ LPG ในเวลาต่อมาได้มีการพัฒนาเพื่อที่จะใช้ในการตรวจจับก๊าซชนิดอื่นด้วย เช่น ก๊าซคาร์บอนมอนนอกไซด์ (CO) แอลกอฮอล์ ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) แอมโมเนีย (NH_3) ไฮโดรเจนซัลไฟด์ (H_2S) และก๊าซไฮโดรเจน (H_2) เป็นต้น

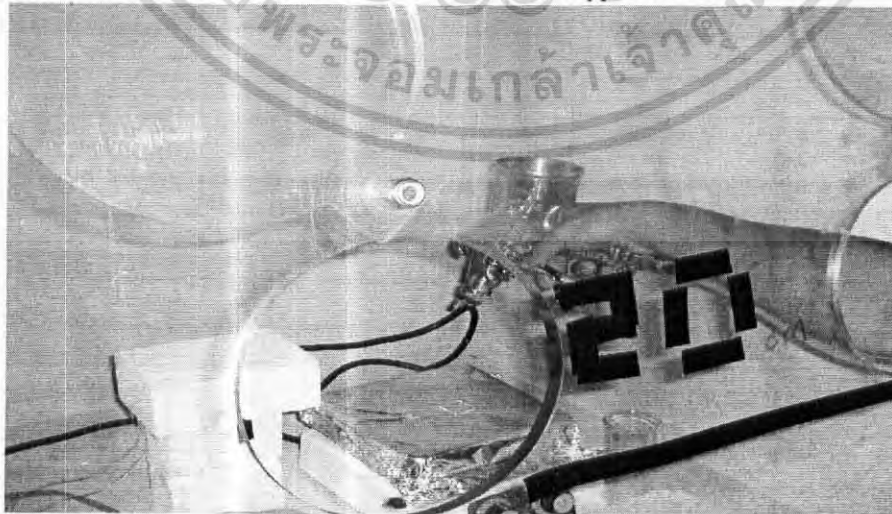
ความสำเร็จดังกล่าวนี้ ได้มีการศึกษาอย่างละเอียดถึงความแตกต่างของชนิดวัสดุสารกึ่งตัวนำที่ใช้สร้างก๊าซเซนเซอร์ พบว่ามีเพียงทินออกไซด์ก๊าซเซนเซอร์เพียงชนิดเดียวเท่านั้นที่สามารถตรวจจับก๊าซจากท่อไอเสียรถยนต์ได้ดี รวมทั้งในการตรวจจับก๊าซชนิดอื่นด้วย

การเริ่มวิจัยในการหาวัสดุที่มาสสร้างเป็นก๊าซเซนเซอร์นั้น ในเริ่มแรกทินออกไซด์ไม่ได้รับการยอมรับเท่าที่ควร เพราะเนื่องจากปัญหาในเรื่องคุณสมบัติของทินออกไซด์เอง เช่น ความไวในการตรวจจับก๊าซที่อุณหภูมิห้อง ความจำเพาะในการตรวจจับก๊าซและผลของความชื้นซึ่งปัญหาเหล่านี้ จะส่งผลต่อความน่าเชื่อถือ ความน่าเชื่อถือของก๊าซเซนเซอร์จะมีความสำคัญในด้านความถูกต้องของการวัดในอุตสาหกรรมและความปลอดภัยต่อร่างกายของมนุษย์ ดังนั้น จึงมีการพัฒนาทินไดออกไซด์ในเงื่อนไขต่างและเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติบางประการจนทำให้ทินออกไซด์มีคุณสมบัติที่เหมาะสม และมีความไวในการตรวจจับก๊าซได้เร็ว ซึ่งจะแสดงว่า ทินออกไซด์ก๊าซเซนเซอร์สามารถตรวจจับก๊าซที่มีปริมาณของสารที่ความเข้มข้นต่ำได้

โดยทั่วไปวิธีการสร้างทินออกไซด์ก๊าซเซนเซอร์ จะนิยมใช้อยู่ 3 วิธี คือ

ก. ฟิล์ม SnO_2 โดยการสเปรย์ (Spray)

จะเป็นการสร้างทินออกไซด์ โดยใช้สารละลาย SnCl_2 และ CH_3COOH ในอัตราส่วน 1:1 ด้วยวิธีการสเปรย์ลงบนผิวอลูมินา (Al_2O_3) ที่วางบนฮีตเตอร์ดังแสดงในรูป 1.3 ฟิล์มที่สร้างโดยวิธีนี้ จะสามารถตรวจจับก๊าซได้ตั้งแต่ 1% หรือ 1000 ppm ขึ้นไป

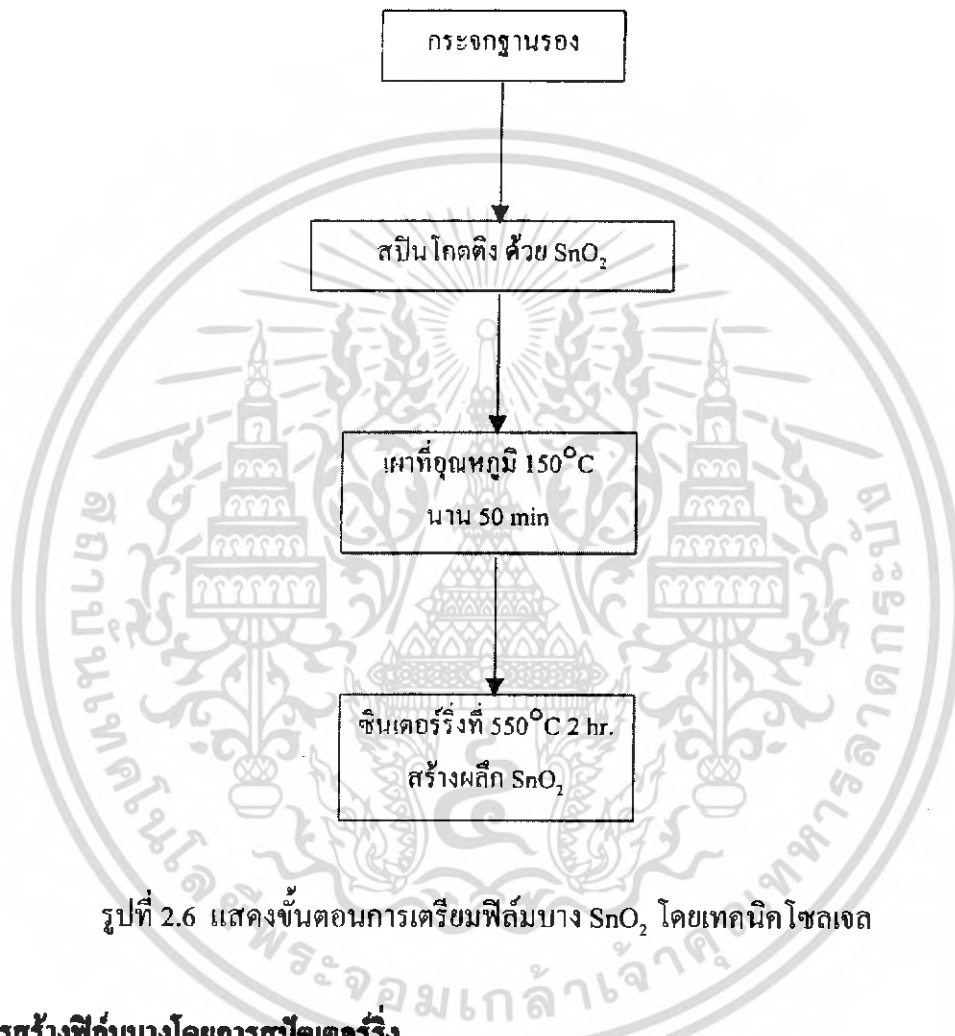


รูปที่ 2.5 ภาพแสดงการสร้างฟิล์มหนาทินออกไซด์ โดยการสเปรย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ข. การสร้างฟิล์มโดยเทคนิค โซลเจล

เทคนิคโซลเจลจะเป็นการสร้าง ฟิล์มออกไซด์ที่เตรียมจากสารละลายโซลเจล ที่มีปริมาณ SnO_2 ผสมอยู่ เช่น $\text{Sn}(\text{OCH}_3)_m(\text{X})_{4-m}$ / I-butanol ด้วยวิธีสปินโคตติง (Spin Coating) แล้วจึงนำมาอบด้วยความร้อนที่มีขั้นตอนต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 1.4



รูปที่ 2.6 แสดงขั้นตอนการเตรียมฟิล์มบาง SnO_2 โดยเทคนิคโซลเจล

ค. การสร้างฟิล์มบางโดยการสปัลเตอร์ริง

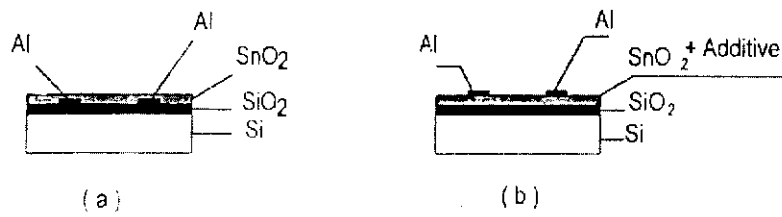
จะเป็นการสร้างฟิล์มภายใต้ความดันอากาศต่ำ ความหนาของฟิล์มจะขึ้นอยู่กับเวลาที่ใช้ในการสร้าง โดยที่ใช้วัสดุ SnO_2 ที่ความบริสุทธิ์ 99.99% เป็นเป้าที่ขั้วคาโทด ซึ่งฟิล์มที่ได้จะเป็นอะมอร์ฟัสของ SnO_x และเมื่อนำมาซินเตอร์ริงจะทำให้ได้ SnO_2

ตาราง 1.2 การเปรียบเทียบ ข้อดี-ข้อเสียของเทคนิคการสร้างฟิล์มชนิดต่างๆ

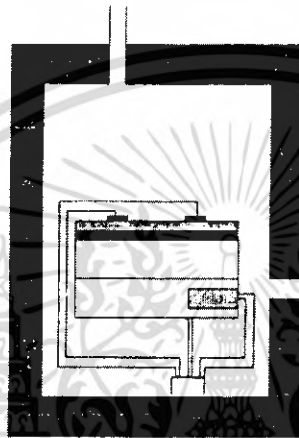
ข้อเปรียบเทียบ	ฟิล์มหนา SnO ₂	ฟิล์มบางโดยเทคนิค โซลเจล	ฟิล์มบางโดย การสเป็คเตอร์ริง
ความไว	ดี	ดีมาก	ดีมาก
ขนาดของอุปกรณ์	ใหญ่	เล็ก	เล็กมาก
ราคาต่ออุปกรณ์	ถูก	แพง	ถูก
สร้างเป็น IC ได้	ยาก	ยาก	สร้างได้
สิ่งเจือปน	มาก	มาก	น้อย
ความหนาของฟิล์ม	> 1 μm	> 2000 °A	> 500 °A

อย่างไรก็ตาม การศึกษาอุปกรณ์ตรวจจับทางเคมีในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะเป็นการศึกษา Metal-oxide gas sensor ซึ่งเป็นตัวตรวจจับทางเคมีชนิด chemo-resistor ที่ประกอบด้วยชั้นของโลหะออกไซด์ ที่ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 12-30 องศาเซลเซียส ปฏิกริยาของก๊าซที่ทดสอบกับผลึกออกซิเจนในโครงสร้างโลหะออกไซด์ ที่อยู่บน hot surface เป็นสาเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของวัสดุ ซึ่งก็คือโลหะออกไซด์ของ ดีบุก สังกะสี เหล็ก และไททาเนียม

จากผลการเปรียบเทียบดังตาราง 1.2 ดังนั้น ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะใช้เทคนิคการสร้างฟิล์มบางที่เตรียมจากระบวนการสเป็คเตอร์ริง เพื่อสร้างชั้นโลหะออกไซด์ เพราะให้ความไวในการตรวจจับ ที่ดี มีขนาดเล็กและยังสามารถผลิตได้ที่ละมากๆ ซึ่งจะได้ราคาต่ออุปกรณ์ถูกซึ่งตัวตรวจจับทางเคมี ที่สร้างขึ้นมานี้จะสามารถตรวจจับก๊าซได้หลายชนิด แต่ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะใช้ทดสอบกับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ (CO) และแอลกอฮอล์ในช่วงอุณหภูมิ 25-250 องศาเซลเซียส ซึ่งมีโครงสร้าง ดังแสดงในรูป 1.5



Gas inlet



Gas outlet

A⁺ electrode

Temperature sensor

Heater

(c)

รูปที่ 2.7 แสดงโครงสร้างก๊าซเซนเซอร์แบบ อิเล็กโตรด 2 ขั้ว ของฟิล์มบางทินออกไซด์ใน
เงื่อนไขต่างๆ บนฐานรองซิลิกอน

- (a) ฟิล์มบางทินออกไซด์
- (b) เมื่อเติมสารตัวเติมให้กับฟิล์มบางทินออกไซด์
- (c) เมื่อเพิ่มอุณหภูมิให้กับฟิล์มบางทินออกไซด์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7 แนวโน้มและการประยุกต์ใช้อุปกรณ์ตัวตรวจจับทางเคมีในอนาคต

ในปัจจุบันอุปกรณ์ตรวจจับก๊าซที่ใช้กันมากจะมีอยู่ 4 แบบ ซึ่งก็คือ 1. เซ็นเซอร์ที่จับปริมาณออกซิเจน โดยใช้โลหะออกไซด์ของ $\text{SnO}_2, \text{In}_2\text{O}_3$ หรือ Fe_2O_3 เป็นตัวตรวจจับ 2. H_2S เซ็นเซอร์โดยใช้ SnO_2 หรือ WO_3 3. เซ็นเซอร์วัดความชื้น และ 4. เซ็นเซอร์วัดอัตราการเผาไหม้ที่สัดส่วนของ electrolyte A/F สำหรับวัดประสิทธิภาพอัตราการเผาไหม้ในรถยนต์ และตัวตรวจวัดอื่นๆ ที่ได้กล่าวมาแล้ว แต่ที่ในเชิงพาณิชย์แล้วตัวตรวจจับก๊าซจะต้องมีราคาไม่แพง ซึ่งสามารถหาซื้อได้ทั่วไปเพื่อใช้ในการตรวจจับก๊าซเผาไหม้และชนิดพิเศษที่มีความไวต่อการเผาไหม้สูง (ประมาณ 5% ของระดับต่ำสุดที่ทำให้เกิดการเผาไหม้ได้)

ความต้องการตัวตรวจจับที่มีราคาถูก ที่จำเป็นสำหรับสถานที่ต่างๆ เช่น ในเหมืองถ่านหิน ห้องปฏิบัติการ ปิมน้ำมัน และโรงงานเก็บสารเคมีต่างๆ และในที่ชุมชน เช่น โรงพยาบาล บ้าน โรงภาพยนตร์และเรือ ซึ่งจะต้องมีเครื่องตรวจจับทางเคมี เพื่อวัดค่าระดับสูงสุดที่มนุษย์จะทนได้ ซึ่งจะมีกฎหมายคุ้มครอง ควบคุม สำหรับโรงงานที่มีสารพิษ เพื่อคุ้มครองผู้อยู่อาศัยและลูกจ้าง ดังนั้น นายจ้างควรจะต้องเตรียมตัวตรวจจับ, เครื่องมือหรืออุปกรณ์ที่ป้องกันการรั่วของปริมาณคาร์บอนมอนอกไซด์, ซัลเฟอร์ไดออกไซด์ และโพเทนในพื้นที่ยกัก ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดพิษและอาจจะระเบิดได้

สำหรับการใช้ตัวตรวจจับทางเคมีในประเทศไทย ยังไม่ได้รับการแพร่หลายอย่างที่ควร ดังจะสังเกตได้จาก การเกิดเหตุการณ์ระเบิดในโรงงาน TPI เมื่อ 6 ปีที่แล้ว และเมื่อเร็วๆ นี้ได้มีปริมาณสารเคมีเกินปริมาณที่กำหนดที่ชุมชนมาบตาพุด จ.ระยอง และมลภาวะทางอากาศที่กำลังเกิดขึ้นในกรุงเทพมหานคร และเมื่อเร็วๆ นี้ทาง กองจราจร กรมตำรวจ ได้มีการสั่งซื้อเครื่องตรวจจับปริมาณแอลกอฮอล์ สำหรับผู้ขับขี่รถยนต์ ซึ่งมีราคาประมาณ 70,000 บาท/เครื่อง และความไวในการตอบสนอง 4 นาที

บทที่ 3

ทฤษฎีของปฏิกิริยาระหว่างก๊าซกับสารทินออกไซด์

3.1 ปฏิกิริยาของการดูดซับก๊าซที่ผิวของสารกึ่งตัวนำ

3.1.1 สถานะพื้นผิว (Surface state) ในการตรวจจับทางเคมี

โลหะเซมิคอนดักเตอร์ส่วนใหญ่จะเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น เราจะเน้นถึงสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น และปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นบนผิวสัมผัสของสาร สารกึ่งตัวนำชนิดพีจะไม่ค่อยเสถียรเท่าชนิดเอ็นเพราะเมื่อเกิดปฏิกิริยากับก๊าซรอบๆ ทำให้คุณสมบัติของสารเปลี่ยนไปอย่างถาวร

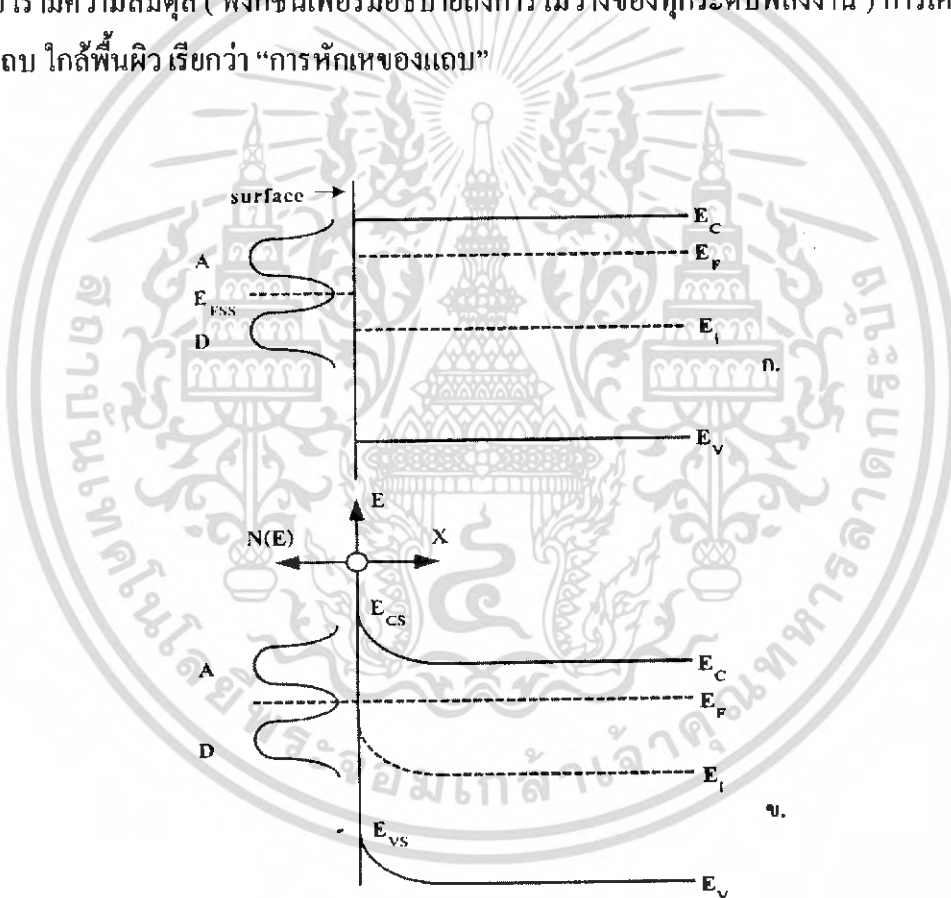
ที่ผิวสัมผัสของเนื้อสาร อะตอมจะมีพันธะขาดไป 1 หรือ 2 อะตอม ทำให้เกิดเป็นพันธะแขวนห้อย (Dangling bonds) ซึ่งจะไม่มีการชดเชยของส่วนที่หายไปและจะไม่มีการรวมกับอะตอมรอบข้างได้

โลหะออกไซด์ที่เราศึกษา คือ ทินออกไซด์ ไอออนลบและไอออนบวกมีพันธะอย่างหลวมๆ ประจุบวกของ Sn^+ ไอออนจะมีประจุลบ O^- ไอออนล้อมรอบอยู่ เมื่อมีปริมาณไอออนลบรอบๆ ตัวมันน้อย ไอออนบวกจะสามารถเกิดปฏิกิริยากับอิเล็กตรอน ดังนั้นการจัดเรียงของแถบนำในกรณีนี้จะมีพลังงานต่ำกว่าแถบความนำจริงและสามารถดึงอิเล็กตรอนจากเนื้อสารได้ อีกทั้งยังสามารถสร้างพันธะกับด่างที่มีอนุมูล OH^- ซึ่งมีอิเล็กตรอนอิสระมาใช้ในการเกิดพันธะ ทำให้เหมือนกับว่าที่ผิวมีเฉพาะ ไอออนลบ มีผลให้แถบพลังงานของประจุลบมีค่าสูงกว่าแถบวาเลนซ์ที่เป็นจริง ไอออนเหล่านี้มันสามารถดึงไฮโดรเจนหรือให้อิเล็กตรอนแก่เนื้อสาร แต่ในกรณีโมเลกุลของกรดที่มีอนุมูล H^+ อิเล็กตรอนอิสระจะไม่สามารถอยู่ในชั้นสถานะผิวได้ ลักษณะการจัดเรียงตัวถูกอธิบายโดยแบบจำลองของ Madelung เมื่อพิจารณาที่อุณหภูมิสูง เนื้อสารจะถูกปกคลุมด้วยไอน้ำที่มีอนุมูล OH^- จับกับ ไอออนบวกที่พื้นผิว และ H^+ จะอยู่บริเวณที่มีไอออนลบ อิทธิพลของน้ำในการจับก๊าซทำให้เกิดความไม่ชัดเจน ถึงแม้เราได้ตั้งข้อสังเกตว่าโลหะออกไซด์เซมิคอนดักเตอร์ต่างๆ ตอบสนองในความชื้นสูงๆ ในขณะที่อุณหภูมิสูง น้ำที่ถูกดูดซับสามารถถูกขับออกจากบริเวณที่เกิดปฏิกิริยากับก๊าซเบสหรือกรดกับอะตอมผู้ให้หรือผู้รับก็ได้

เหตุผลดังกล่าวจะสามารถอธิบายได้จากแถบพลังงานที่อยู่ในเทอมของสถานะผิว "Surface states" ซึ่งจะมีทั้งสถานะผู้ให้และสถานะผู้รับของอะตอมที่ผิว ดังรูปที่ 2.1 แบบจำลองแถบพลังงานที่ผิว E_c คือ พลังงานที่แถบความนำ E_v คือ พลังงานที่แถบวาเลนซ์ E_f เป็นพลังงานที่ระดับครึ่งของแถบ พลังงานและ E_f คือ แถบพลังงานที่ระดับเฟอร์มีที่สถานะผิว สามารถเขียนได้ว่า ความหนาแน่นของแถบพลังงาน $N(E)$ ซึ่งเป็นฟังก์ชันของ E มีเหตุผลหลายข้อที่สนับสนุน เช่น ที่ชั้นของผิวที่มีอยู่หลายชั้นที่แสงสามารถทะลุผ่านผลึกได้ โดยที่แต่ละชั้นจะมีระดับพลังงานไม่เท่ากัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่บนสื่อออนไลน์โดยไม่ผ่านการอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้นจึงแสดงแถบ พลังงาน 2 ระดับที่อยู่ภายในสถานะผู้รับในเทอมของ A ที่เชื่อมโยงกับไอออน โคจรรูปที่ 2.1(ก) เป็นแบบจำลองของแถบพลังงาน ถ้าไม่มีการแลกเปลี่ยนประจุระหว่างสถานะ พื้นผิว และสารกึ่งตัวนำ “flat bands” เราสังเกตว่าอย่างไรก็ตาม ในกรณีนี้พลังงานเฟอร์มิของสาร กึ่งตัวนำไม่มีความจำเป็น จะมีความสัมพันธ์ต่อพลังงานเฟอร์มิของสถานะพื้นผิว (เราใช้ $E_{F_{ss}}$ เพื่ออธิบายการกระทำของพลังงานเฟอร์มิ) ในรูปที่ 2.1(ข) เราแสดงถึงกรณีสมดุล อิเล็กตรอนถูก เคลื่อนย้ายจากบริเวณ E_F สูงใกล้บริเวณพื้นผิวของสารกึ่งตัวนำไปสู่บริเวณ E_F ต่ำ ในสถานะพื้นผิว การแบ่งแยกประจุนำไปสู่ความต่างศักย์ของ 2 ชั้น ในตัวอย่างนี้ การเพิ่มของระดับพลังงานที่พื้นผิว (รวมระดับ E_{CS} และ E_{VS} ที่ผิว) เมื่อความต่างศักย์ของ 2 ชั้นมีประสิทธิภาพทำให้ E_F คงที่ตลอด ระบบ เรามีความสมดุล (ฟังก์ชันเฟอร์มิอธิบายถึงการไม่ว่างของทุกระดับพลังงาน) การเคลื่อนย้าย ของแถบ ใกล้พื้นผิว เรียกว่า “การหักเหของแถบ”



รูปที่ 3.1 แบบจำลองการเกิดประจุที่ผิวของสารกึ่งตัวนำ อะตอมผู้ให้ (D) และ

อะตอมผู้รับ (A) สถานะผิวจะแสดงที่ความหนาแน่นของระดับพลังงาน $N(E)$

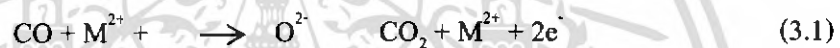
ก. ในกรณีที่ไม่มีแลกเปลี่ยนประจุระหว่างสารกึ่งตัวนำและสถานะผิว

ข. ในกรณีที่อิเล็กตรอนจากผิวของสารกึ่งตัวนำเคลื่อนที่ไปยังสถานะผิวจนถึงสมดุล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปแบบของฟังก์ชันการกระจายเฟอร์มิเป็นแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล ซึ่งขึ้นอยู่กับความพยายามให้เกิดความไม่ว่างของ E_F พลังงานเฟอร์มิจะถูกประมาณที่ครึ่งหนึ่งระหว่างกลุ่มผู้ให้และกลุ่มผู้รับ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ถ้ามีเพียง 1 ระดับพลังงาน ในทำนองเดียวกันพลังงานเฟอร์มิจะเข้าสู่ระดับที่สมดุล อาจกล่าวได้ว่า เมื่อเข้าสู่สมดุลจะเกิดการโค้งงอของแถบพลังงาน (band bending)

ที่น่าสนใจสำหรับเราคือ การวิเคราะห์สารที่สามารถถูกดูดซับและแบ่งแยกสถานะผิว มันจะหนีอิเล็กตรอนเข้าไปในสารกึ่งตัวนำ (ลดออกซิเจน) หรือรับอิเล็กตรอนจากสารกึ่งตัวนำ (เพิ่มออกซิเจน) เช่น ไฮโดรเจนเมื่อถูกดูดกลืนจะหนีอิเล็กตรอนเข้าไปสารกึ่งตัวนำและจะได้เป็น H^+ ส่วนออกซิเจนเมื่อถูกดูดกลืนจะจับอิเล็กตรอนจากสารกึ่งตัวนำและได้เป็น O^- การอธิบายทางคณิตศาสตร์จะอธิบายได้เหมือนกรณีของสถานะผิว เราใช้เทอมของสถานะผิวเพื่ออธิบายระดับพลังงานพื้นผิวต่อชนิดของการดูดกลืน ตัวอย่างของการพิจารณาก็คือ CO เคลื่อนเข้าสู่ผิวทำปฏิกิริยากับ โลหะออกไซด์ตั้งสมการ (2.1) เมื่อ O^{2-} เปลี่ยนไปเป็นสถานะก๊าซ



ไอออนบวกโลหะ M ทางด้านซ้ายเป็นสารที่ไม่สามารถระเหยได้โดยง่ายหรือไม่แพร่เข้าไปในเนื้อสาร มันจะมีประจุเกิดขึ้นและถูกส่งไปยังสารกึ่งตัวนำและเกิดพฤติกรรมที่สถานะผิวอีกครั้ง

กระแสไฟฟ้าในรูปแบบชั้นคู่ (Double layer) มีรูปแบบดังแสดงในรูป 3.1(ข) มีอยู่ 3 แบบ เราจะอธิบายกรณีเหล่านี้ด้วยรูปแบบง่ายๆ ของการดูดซับของสถานะพื้นผิว สมมุติให้มีเพียง 1 ระดับชั้นพลังงาน

แบบที่ 1 ถ้าอิเล็กตรอนถูกฉีดเข้าไปในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นจะเกิดขึ้นสะสมประจุดังรูปที่ 3.2(ก) เกิดชั้นคู่ระหว่างสถานะผิวที่เป็นประจุบวกและอิเล็กตรอนที่ถูกฉีดเข้าไป เพราะว่าอิเล็กตรอนที่ถูกฉีดมีการเคลื่อนที่จนมาปิดทับผิวและผลทางไฟฟ้าจากชั้นคู่จะไม่ลึก จะมีขนาดเพียงไม่กี่อังสตรอมเข้าไปในสารกึ่งตัวนำ ระดับพลังงานเฟอร์มิที่พื้นผิวเปลี่ยนไปเป็น $d\psi$ โดย ψ คือความต่างศักย์ของชั้นคู่ ในรูปที่ 3.2(ก) ระยะห่างระหว่างชั้นประจุ d มีความสัมพันธ์กับค่าเก็บประจุ (C) ของชั้นคู่ (Faradays/unit area) ดังสมการ (3.2)

$$C = q(dN) / (d\psi) = \epsilon_r \epsilon_0 / d \quad (3.2)$$

N คือ ความหนาแน่นประจุที่สถานะผิวต่อพื้นที่

ϵ_r คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ ϵ_0 คือ permittivity ของสุญญากาศ การศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

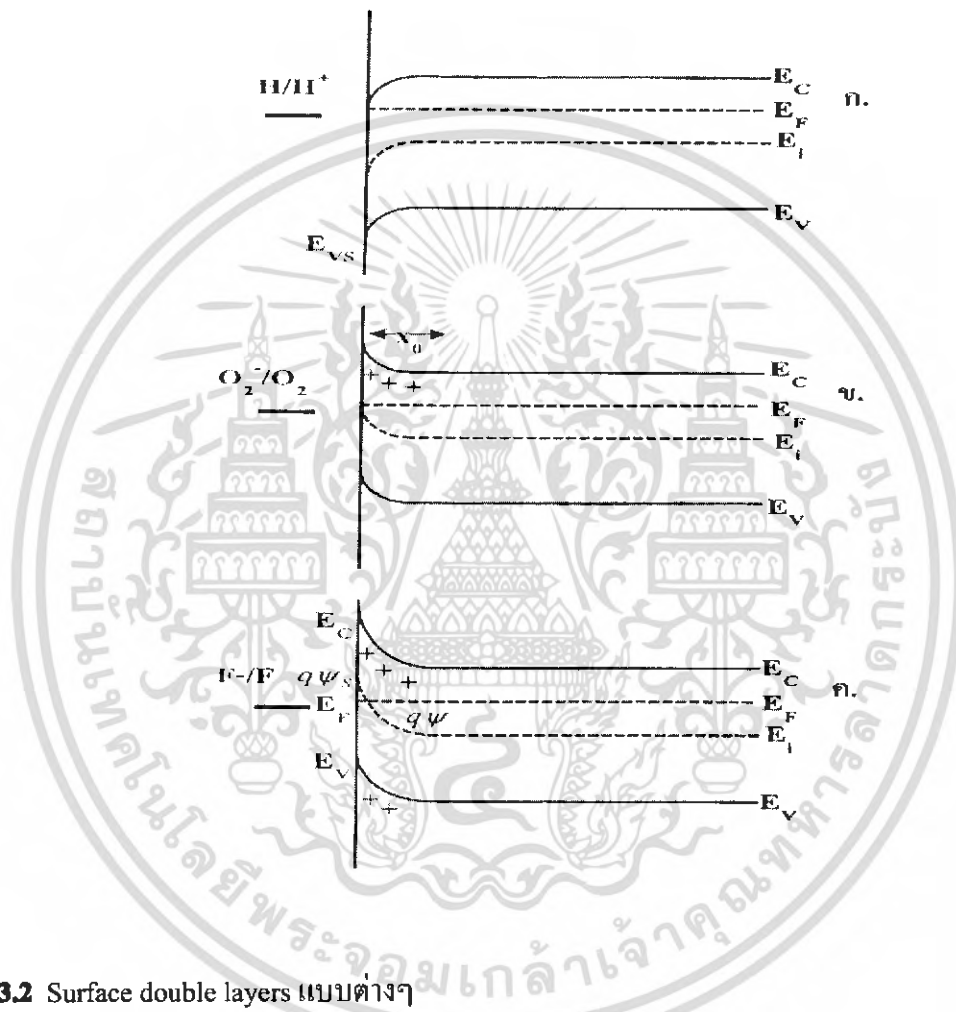
ในกรณีชั้นสะสม ค่า d จะมีค่าน้อย จากสมการจะได้ N ที่มีค่ามาก การเคลื่อนย้ายประจุเข้าไปในสารกึ่งตัวนำจะดำเนินไปจนสมดุลที่พลังงานเฟอร์มิของสารกึ่งตัวนำ อธิบายการว่างของสถานะผิว ชั้นสะสมจะเกิดบนสารกึ่งตัวนำชนิดพี เมื่อโฮลถูกฉีดเข้าไปในแถบวาเลนซ์ (อิเล็กตรอนถูกดึงจากชั้นแถบวาเลนซ์โดยผู้ให้ที่มีค่าสูง) ชั้นสะสมจะเกิดขึ้นระหว่างสถานะผิวที่มีประจุลบกับโฮลที่อยู่ในแถบวาเลนซ์

แบบที่ 2 ถ้าอิเล็กตรอนถูกดึงจากแถบความนำของสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น โดยสถานะผิวที่เป็นตัวรับประจุที่ไม่แข็งแรงมากนักบริเวณปลอดประจุจะเกิดขึ้นที่พื้นผิว โดยแสดงดังรูป 3.2(ข) โดยชั้นคู่ (double layer) ที่เกิดขึ้นระหว่างชั้นพื้นผิวประจุลบและไอออนผู้ให้ประจุบวก (เคลื่อนที่ไม่ได้) ในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น การดึงอิเล็กตรอนจะดำเนินไปจนกระทั่งถึงพลังงานเฟอร์มิในสารกึ่งตัวนำซึ่งเป็นสถานะผิวของวัสดุตรวจจับ โดยทั่วไปประจุนี้จะมีค่าๆ หนึ่งในชั้นคู่ อย่างไรก็ตามในสารกึ่งตัวนำประจุจะมาจากไอออนตัวให้ซึ่งจะมีปริมาณจำกัด การกำหนดจำนวนประจุจะแสดงถึงความหนาของชั้นคู่ที่ขยายเข้าไปในสารกึ่งตัวนำ ในขณะเดียวกันจากสมการที่ 3.2 ค่า d จะมีค่ามากกรณีในเขตปลอดประจุ ความหนาแน่นของประจุของสถานะผิวจะต่ำอยู่ในช่วง 0.001 ของชั้นเดี่ยว (monolayer) สำหรับสารกึ่งตัวนำชนิดพีบริเวณปลอดประจุเพิ่มขึ้น เมื่อโฮลถูกดึงมาจากแถบวาเลนซ์ โดยอะตอมสถานะผิวผู้ให้ออกจากชั้นคู่ระหว่างประจุลบของไอออนผู้รับใกล้ๆ ผิวและประจุบวกที่สถานะผิว

แบบที่ 3 ของชั้นผิวซึ่งมีความน่าสนใจน้อยในด้านของการตรวจจับก๊าซ ยกเว้นในกรณีของชิ้นงาน FET-based คือ ชั้นกลับ (Inversion layer) ในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ชั้นเปลี่ยนถูกสร้างเมื่อเกิดการออกซิไดซ์อย่างรุนแรงที่บนผิว ในรูปที่ 3.2(ค) เราให้ฟลูออรีนเป็นตัวออกซิไดซ์ ถ้าสถานะผิวมีระดับพลังงานใกล้กับแถบวาเลนซ์ จะทำให้พลังงานเฟอร์มิเข้าไปใกล้ระดับพลังงานของสถานะผิว เพื่อให้เกิดความสมดุล พลังงานเฟอร์มิที่ผิวต้องใกล้กับแถบวาเลนซ์ ถ้าพลังงานเฟอร์มิอยู่ใกล้แถบวาเลนซ์มากกว่าแถบความนำ ความเข้มข้นของโฮลจะปรากฏออกมา ขณะที่อะตอมตัวรับที่สถานะผิวจะมีค่าต่ำในแบบจำลอง ซึ่งแสดงว่าเกิดการดึงอิเล็กตรอนจากชั้นวาเลนซ์ แสดงไว้ในรูปที่ 3.2(ค) ที่ผิวจะเกิดการเปลี่ยนวัสดุชนิดเอ็นจะเป็นชนิดพี

ส่วนที่สำคัญที่สุดของพื้นผิวในก๊าซเซนเซอร์ คือ ชั้น ปลอดประจุ (Depletion layer) ส่วนของการวิเคราะห์ในกรณีใช้สถานะผิวต่างๆ ตัวอย่างเช่น โมเลกุลของออกซิเจนจะเป็นตัวรับบนสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น ซึ่งสมการ (3.1) หลีกเลี่ยงการแตกตัวที่ขั้วของออกซิเจน (ในส่วนของพลังงานเคมี) เราจะสมมุติเพียง 1 ระดับชั้นพลังงานสำหรับสถานะผิวและสมมุติความเข้มข้นของสารเจือไม่ขึ้นอยู่กับระยะทาง พิจารณาเฉพาะผลของการดูดกลืนก๊าซต่อการเปลี่ยนแปลงความต้านทานของสารกึ่ง

ตัวนำ โดย ψ แสดงถึงศักดาที่สัมพันธ์กับพลังงานศักย์ในเนื้อสาร สถานะผิวที่แสดงโดยรูปแบบง่าย ๆ ที่ชั้นเพียง 1 ชั้น ถ้ามีการยึดเหนี่ยวที่ชั้นนี้ ที่ว่าจะเกิด Reducing agent เช่น O_2^- แต่ถ้าไม่มีการยึดเหนี่ยวในชั้นนี้ บริเวณที่ว่าจะเกิด oxidizing agent เช่น O_2



รูปที่ 3.2 Surface double layers แบบต่างๆ

- (ก) ชั้นสะสม เมื่อที่ผิวมีสภาพทางไฟฟ้าเป็นบวก อิเล็กตรอนจะถูกดึงดูดเข้าไปในแถบความนำโดยปล่อยให้บริเวณผิวมีประจุบวกและเนื้อสารกึ่งตัวนำจะมีประจุลบ
- (ข) ชั้นปลอดประจุพาหะ เมื่ออิเล็กตรอนที่แถบความนำถูกยึดไว้ที่ผิว ถูกชดเชยด้วยประจุบวกบริเวณผิวของสารกึ่งตัวนำ
- (ค) ชั้นกลับ เกิดขึ้นเมื่ออิเล็กตรอนถูกยึดไว้ในปริมาณมากๆ ซึ่งแสดงว่ามีการดึงอิเล็กตรอนจากทั้งแถบความนำและแถบวาเลนซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.2 การดูดกลืนออกซิเจน

แบบจำลองของแถบพลังงานที่ผิวสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นดังรูป 2.2(ข) ในการดูดกลืน O_2^- แสดงถึงกรณีสมมูลที่ซึ่งชั้นคูได้เกิดขึ้นจากพลังงานเฟอร์มิที่พื้นผิวขึ้นไปจนถึงตำแหน่งอัตราส่วน O_2/O_2^- ได้อธิบายโดยพลังงานเฟอร์มิ เพราะว่าฟังก์ชันการกระจายของพลังงานเฟอร์มิที่สมมูลจะมีค่าใกล้เคียงระดับพลังงานของสถานะผิว เมื่อออกซิเจนถูกดูดกลืนชั้นคูจะเกิดขึ้นในสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นพร้อมกับที่ชั้นลบจะดูดกลืนออกซิเจนและประจุบวกจะเป็นผู้ให้ในเนื้อสาร ซึ่งจะให้อิเล็กตรอน ประจุรวมในชั้นปลอดประจุพาหะจะสมดุลกับประจุที่ดูดกลืนออกซิเจน เราจะได้

$$N_s = N_D \chi_0 \quad (3.3)$$

N_s คือ ความหนาแน่นของประจุที่ผิวต่อพื้นที่ ($1/m^2$)

N_D คือ ความหนาแน่นของประจุผู้ให้ ($1/m^3$)

χ_0 คือ ความหนาของบริเวณเขตปลอดประจุพาหะ (m)

ซึ่งจะพิจารณาได้โดยใช้สมการ Poisson's equation พิสูจน์ใน 1 มิติ

$$d^2\psi / dx^2 = -qN_D / \epsilon_r \epsilon_0 \quad (3.4)$$

ψ คือ ศักดาที่เทียบกับเนื้อสารในรูปที่ 3.2 ในกรณีของชั้นปลอดประจุพาหะ เราให้ $\psi = 0$ ที่ตำแหน่ง $\chi = \chi_0$ (ในเนื้อสาร) การลดลงของ ψ ที่ตำแหน่ง ψ_s ซึ่งอยู่ที่ผิว เราจะได้

$$\psi = -(qN_D / 2\epsilon_r \epsilon_0) (C - \chi)^2 \quad (3.5)$$

ใช้เงื่อนไขรอยต่อ $\psi = 0$ และ $d\psi/dx = 0$ ที่ $x = x_0$ ดังนั้นที่ผิว ($x = 0$) เราได้

$$\psi_s = -qN_D \chi_0^2 / 2\epsilon_r \epsilon_0 \quad (3.6)$$

จากสมการที่ (3.3) และ (3.6) เราจะได้

$$\psi_s = -qN_s^2 / 2\epsilon_r \epsilon_0 N_D \quad (3.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้กำหนดค่าฟังก์ชันคือ ฟังก์ชันความหนาแน่นของออกซิเจนที่ถูกดูดกลืน สมการ (3.6) และ (3.7) ฟอรัมตัวอยู่ในรูปแบบสมการช็อดทกี (Schottky equation) n_s คือ ความหนาแน่นประจุพาหะที่ผิวต่อปริมาตร (m^{-3}) กำหนดโดย Boltzmand factor คือ

$$n_s = N_D \exp(q\psi_s / kT) \quad (3.8)$$

จากคำอธิบายข้างบน ออกซิเจนจะถูกดูดกลืนจนมีค่าสมดุล นั่นคือระดับพลังงานของออกซิเจนเข้าใกล้กับพลังงานเฟอร์มิ พลังงานเฟอร์มิจะอธิบายถึงการยึดเหนี่ยวของอิเล็กตรอนบนระดับ O_2/O_2^- ที่ระดับพลังงาน E เนื่องจากความหนาแน่นของ O_2 ซึ่งก็คือความหนาแน่นของออกซิเจนที่ถูกดูดกลืน โดยความหนาแน่นนี้จะมีค่าคงที่ภายใต้เงื่อนไขว่า อุณหภูมิและความดันของออกซิเจนคงที่ จากสมการเฟอร์มิ

$$[O_2^-]/[O_2] = \exp[-(E_F - E_{O_2}) / kT] \quad (3.9)$$

เมื่อ $[O_2^-] = N_s$ คือ ความหนาแน่นประจุที่ผิว
 $= E_{O_2}$ คือ ระดับพลังงานที่สัมพันธ์กันของ O_2/O_2^- (รูป 3.2ข)

จากสมการ (3.2) และ (3.9) เราได้แสดงความหมายของ χ_0 ซึ่งก็คือความหนาแน่นของชั้นปลอดประจุพาหะที่ผิว เราสามารถหาค่าการเปลี่ยนแปลงค่าความนำเพราะชั้นนี้ปลอดประจุพาหะ ความนำของฟิล์มบางจะขึ้นอยู่กับค่าสภาพความนำไฟฟ้า σ ความหนา t ความยาว L และความกว้าง W มีค่าดังสมการ

$$G = \sigma(Wt/L)(1-\chi_0/t) \quad (3.10)$$

สมมติให้เพียงด้านเดียวของฟิล์มสัมผัสกับอากาศ ถ้า x_0 เข้าใกล้ t ค่าความนำจะตอบสนองต่อ χ_0 จากสมการ (3.10) เราจะได้

$$dG / G = -dx_0 / (t-x_0) \quad (3.11)$$

จากผลของ Reducing agent จะได้ว่า ค่าของ N_s เปลี่ยนแปลงตามความดัน และ χ_0 เปลี่ยนแปรตาม N_s

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.3 ปฏิริยาของก๊าซคิดไฟกับการดูดกลืนออกซิเจน

ขั้นตอนทางเคมีในการออกซิเดชันของก๊าซเผาไหม้ เช่น CO หรือ H₂ โดยการดูดกลืนออกซิเจนจะมีขั้นตอนซับซ้อน ซึ่งในที่นี้เราสมมุติให้ตัวที่ถูกดูดกลืน คือ O⁻ การหาเหตุผลประกอบเพื่อสนับสนุนความคิดนี้ โดยมีการศึกษาการกำหนดของการหมุนของอิเล็กตรอน เมื่อ O₂⁻ ให้สัญญาณกำหนด 3 ครั้ง ส่วน O⁻ ให้ 2 ครั้ง พบได้ว่า H₂, CH₄, C₂H₆ และ CO จะลดปริมาณของสัญญาณ O⁻ อย่างรวดเร็ว แต่ O₂⁻ ไม่ลด Lunstord ได้อธิบายว่า O⁻ จะมีความไวมากกว่า O₂⁻ ใดๆก็ตาม O₂⁻ ก็จะไม่มีความไวเลย ตัวอย่างเช่น O₂⁻ ในรูปของการออกซิไดซ์เฮริลินออกไซด์ ที่มีเงินเป็นตัวแคทลิสต์ การอธิบายรายละเอียดอัตราส่วนของ [O⁻]/[O₂⁻] ที่คาดหวังไว้ตามอุณหภูมิจึงไม่มีการเลื่อนของพันธะเคมี คือ

$$[O^-]/[O_2^-] = [O_2]^{1/2} \exp(-E_{O_2} - E_0 - \Delta G / kT) \quad (3.12)$$

เมื่อ E₀ คือ พลังงานที่ต้องใช้เคลื่อนที่อิเล็กตรอนจากอะตอม O เข้าสู่แถบความนำ

ΔG คือ ระดับพลังงานในการย่อยสลายโมเลกุลออกซิเจน

ซึ่งพบได้จากการทดลองกับ SnO₂, ZnO และ TiO₂ ที่อุณหภูมิสูง O⁻ พอร์มตัวเป็นส่วนสำคัญสำหรับ ZnO ที่ความดันของออกซิเจนปานกลาง O⁻ ส่วนใหญ่พอร์มตัวเหนือ 180 องศาเซลเซียส สำหรับ TiO₂ ส่วนใหญ่พอร์มตัวเหนือ 400 องศาเซลเซียส และสำหรับ SnO₂ เหนือ 150 องศาเซลเซียส

สำหรับวัสดุเหล่านี้ ก๊าซเซนเซอร์จะวัดได้ที่อุณหภูมิสูงกว่าที่กล่าวถึง สำหรับออกไซด์ทั้งสามตัวไม่มีการรายงานที่ใช้ในอุณหภูมิห้อง

รูปแบบปกติของ catalyst free surface ได้ถูกอธิบายด้วยปฏิริยา 3 อย่าง คือ



เมื่อ k's คือ อัตราส่วนคงที่

R คือ ตัวที่ถูกรีดิวซ์

N_s คือ ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนที่พื้นผิว ณ สถานะพื้นผิวเราได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$d[\text{O}_2^-] / dt = k_1 n_s [\text{O}_2] - k_{-1} [\text{O}_2^-] - k_2 n_s [\text{O}_2^-] \quad (3.16)$$

$$d[\text{O}^-] / dt = 2k_2 n_s [\text{O}_2^-] - k_3 [\text{R}][\text{O}^-] = 0 \quad (3.17)$$

และจากสมการ (2.16) และ (2.17) เราพบว่าประจุที่พื้นผิว $N_s = [\text{O}^-] + [\text{O}_2^-]$ คือ

$$N_s = \left\{ \frac{k_1 n_s [\text{O}_2]}{k_{-1} + k_2 n_s} \right\} \left\{ 1 + \frac{2 k_2 n_s}{k_3 [\text{R}]} \right\} \quad (3.18)$$

เมื่อให้ $[\text{R}]$ เปลี่ยนแปลง N_s และ n_s เปลี่ยนแปลง นำค่าจากสมการ (2.17) แทนค่าในสมการ (3.8) n_s จะแปรแบบเอ็กโปเนนเชียลตาม N_s เราสามารถพิจารณาจากข้างซ้ายของสมการ (3.16) มีความสัมพันธ์กับ N_s เปรียบเทียบกับข้างขวาที่ค่าตัวแปรหลัก (n_s) เมื่อเราพิสูจน์สมการ (3.18) ที่เป็นสมการ quadratic โดยให้ n_s เป็นฟังก์ชันของ $[\text{R}]$ เราพบว่ามันเป็นสัดส่วนกับ n_s และจากสมการ (2.18) เราสามารถหาค่าอัตราส่วนของ G กับ $[\text{R}]$ ในรูปของความหนาแน่นของก๊าซคิดไฟ

3.1.4 การรีดักชันของโลหะออกไซด์

ในการทำปฏิกิริยาของโลหะออกไซด์กับก๊าซ โลหะออกไซด์จะมีการสูญเสียไอออนของออกซิเจน ซึ่งจะเรียกว่าปฏิกิริยารีดักชันของโลหะ ก๊าซเผาไหม้จะสามารถดึงไอออนของออกซิเจนออกจากผิวของโลหะออกไซด์ เหลือช่องว่างออกซิเจนซึ่งเรียกว่าอะตอมผู้ให้ ซึ่งมีปฏิกิริยาดังนี้



ความสามารถในการตรวจจับก๊าซที่ทำปฏิกิริยากับออกซิเจนจะขึ้นอยู่กับค่าคงที่ของการแพร่ที่เกิดขึ้นในบริเวณรอยต่อ ตัวอย่างเช่น กระบวนการรีดักชันของโลหะออกไซด์ทำให้เกิดอะตอมที่ว่างของออกซิเจน ดังสมการ (3.19) มีอยู่ 2 กรณีที่ทำให้วัสดุสามารถตรวจจับก๊าซได้ก็คือ สมการของการแพร่เข้าใกล้ศูนย์และกรณีที่สมการของการแพร่มีค่าสูง กรณีที่ 1 ถ้าค่าคงที่ของการแพร่เข้าใกล้ศูนย์ จะเกิดช่องว่างอยู่ที่ผิวและเกิดปฏิกิริยารีดอกซ์อย่างรวดเร็ว การทำให้ค่าความต้านทานเปลี่ยนไปสู่สถานะพื้นผิว การเคลื่อนที่ของออกซิเจนสามารถอธิบายถึงปรากฏการณ์ของสถานะผิวตัวให้อะตอมโลหะ (หรือคู่พันธะโลหะอย่างอ่อน) ซึ่ง O^{2-} จะแตกตัว ในกรณีที่ 2 ถ้าค่าคงที่ของการแพร่มีค่าสูงมาก ช่องว่างจะถูกแพร่เข้าไปเนื้อสารและที่ผิวเกิดกระบวนการรีดักชัน โดย R และเกิดการรี-ออกซิเดชันโดยอากาศ ดังนั้นค่าความหนาแน่นของเนื้อสารอะตอมผู้ให้ มีค่าเดียวเป็นค่าฟังก์ชันของความดันของก๊าซเผาไหม้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

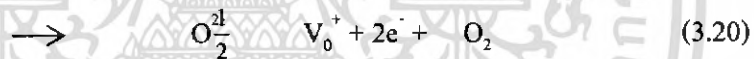
ความยุ่งยากจะเพิ่มขึ้น ถ้าค่าคงที่ของการแพร่มีค่าปานกลาง ช่องว่างออกซิเจนจะแพร่อย่างช้าๆ เข้าไปในสารตัวอย่าง การเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นอะตอมผู้ให้โดยใช้เวลานานๆ จะสรุปได้ว่า เวลาที่ต้องการสำหรับปฏิกิริยารีดอกซ์เคลื่อนไปสู่สถานะผิว ขึ้นอยู่กับเวลาที่สารตัวอย่างอยู่ในก๊าซเผาไหม้

3.2 กลไกในการตรวจจับก๊าซของทินออกไซด์

ทินออกไซด์ จะมีการจัดเรียงผลึกแบบทรงเหลี่ยมสี่หน้า (tetragonal) ซึ่งมีความกว้างของแถบ พลังงาน 3.5-3.8 อิเล็กตรอน โวลต์ จุดบกพร่องจำนวนมากในเนื้อทินออกไซด์จะอยู่ในรูปที่ว่างในอะตอมออกซิเจนซึ่งจะแสดงตัวเป็นผู้ให้อิออน แต่ส่วนที่มีผลต่อการแสดงตัวเป็นอะตอมผู้ให้ก็คือที่ว่างในอะตอมออกซิเจน โดยกระบวนการที่มีผลต่อค่าความนำไฟฟ้าของทินออกไซด์มีต่างๆ ดังนี้

3.2.1 ผลในเนื้อสาร

จุดบกพร่องในเนื้อทินออกไซด์ปกติจะเป็นที่ว่างในอะตอมออกซิเจน 1 และ 2 อิออน จากแบบจำลองจุดบกพร่องสำหรับผลึกทินออกไซด์บริสุทธิ์กับช่องว่างออกซิเจนสองประจุลบจะมีสมการที่อุณหภูมิสูงๆ ดังนี้

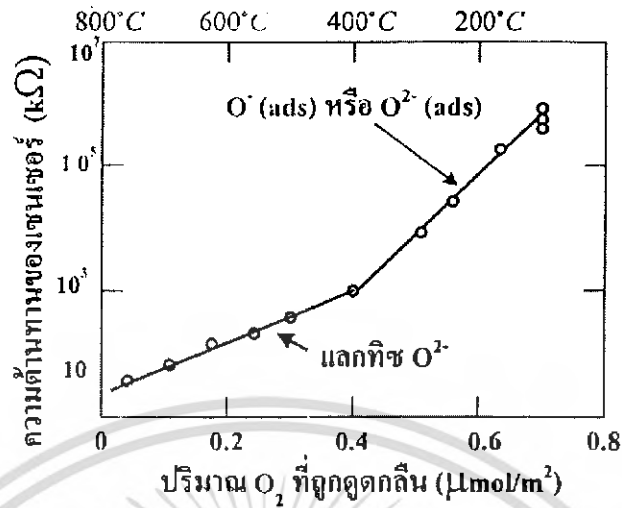


ที่อุณหภูมิต่ำกว่านี้ของการดูดกลืนออกซิเจนจะเป็นส่วนสำคัญกว่า ดังรูปที่ 2.3 ช่องว่างเหล่านี้จะเพิ่มอะตอมผู้ให้ในแถบพลังงาน แสดงว่าจะมีระดับของอะตอมผู้ให้อยู่ 2 ระดับที่ทำให้เกิดช่องว่างของออกซิเจน

3.2.2 ผลจากผิวของสารกึ่งตัวนำ

ในบรรยากาศปกติออกซิเจนจะถูกดูดกลืนที่ผิวของโลหะออกไซด์และเกิดการดึงอิเล็กตรอนออกจากแถบความนำ ทำให้ค่าสภาพความต้านทานเพิ่มขึ้น ซึ่งจะมีออกซิเจนอยู่ 3 แบบคือ O_2^- , O^- และ O^{2-} โดยแบบแรกจะเกิดขึ้นในช่วงอุณหภูมิประมาณ 100 องศาเซลเซียส ในขณะที่รูปแบบอื่นจะเกิดที่อุณหภูมิประมาณ 400 องศาเซลเซียส

นอกจากนี้ยังพบว่า การดูดกลืนออกซิเจนจากช่วง 200 ถึง 550 องศาเซลเซียส จะทำให้ค่าความต้านทานลดลงตามปริมาณของ O^- ทำให้รู้ว่าอิออนลบจะยังคงถูกดูดกลืนที่ผิวซึ่งทำให้ความต้านทานสูงที่ 400 องศาเซลเซียส ดังรูปที่ 2.4 ถ้าการเปลี่ยนแปลงความต้านทานของทินออกไซด์กับอุณหภูมิต่างๆ ภายใต้บรรยากาศของก๊าซต่างๆ โดยปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น คือ



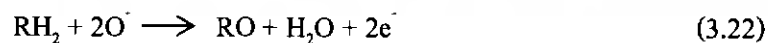
รูปที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานของเซนเซอร์ที่อุณหภูมิ 800 ถึง 200 องศาเซลเซียส กับปริมาณ O₂ ที่ถูกดูดกลืน



การลดลงของความต้านทานในช่วงของการเพิ่มอุณหภูมิจาก 0 ถึงประมาณ 250 องศาเซลเซียสเป็นคุณสมบัติปกติของสารกึ่งตัวนำ เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นจนถึงจุดที่ความต้านทานเพิ่ม ก็เริ่มเกิดการฟอร์มตัวของ O[·] และ O²⁻ และเมื่อถึงอุณหภูมิค่าหนึ่งจะเกิดการแตกสลายของไอออนเหล่านี้ทำให้ค่าความต้านทานของทินออกไซด์ลดลงอีกครั้ง

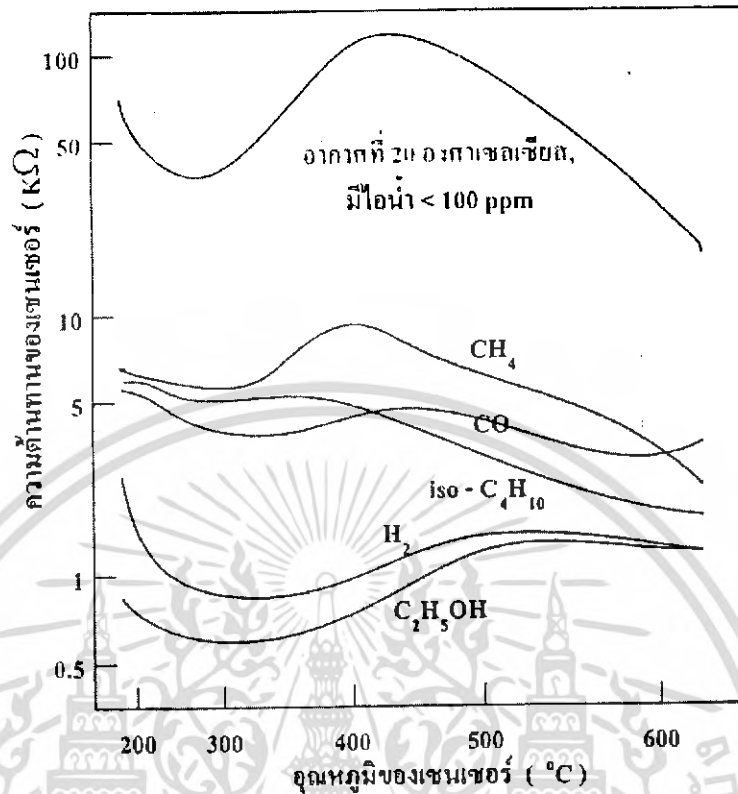
การลดลงของความต้านทานของทินออกไซด์ก๊าซเซนเซอร์เมื่ออยู่ในบรรยากาศของก๊าซเผาไหม้สามารถอธิบายได้คือ ปริมาณไอออนของออกซิเจนบนผิวลดลงเนื่องจากการทำปฏิกิริยาระหว่างก๊าซกับ O[·] ทำให้เกิดอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ในเนื้อสาร

ตัวอย่าง RH₂ คือ ก๊าซติดไฟใดๆ จะเกิดปฏิกิริยากับ O[·] ดังนี้



จากปฏิกิริยาจะเห็นว่า การลดลงของความดันออกซิเจนจะไม่มีผลต่อความต้านทานมากนัก ในการตรวจจับก๊าซ กลไกอื่นที่สามารถใช้อธิบายจะเกี่ยวข้องกับวัฏจักรการดูดกลืนออกซิเจนของก๊าซทดสอบจะได้ผลสรุปในการใช้ออกซิเจนของผิวที่ดูดซับ นั่นคือเกิดการเคลื่อนย้ายของออกซิเจนจากบรรยากาศรอบๆ ความหนาแน่นสมดุลของออกซิเจนที่ถูกพื้นผิวดูดซับต่อความ

เข้มข้นของก๊าซรอบๆ จะเป็นตัวกำหนดความต้านทานของเซนเซอร์ อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

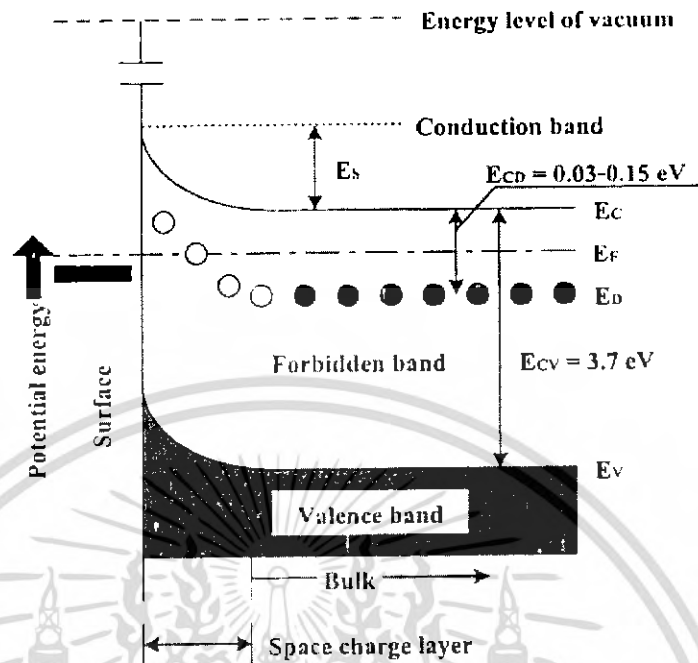


รูปที่ 3.4 การเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของทินออกไซด์ต่ออุณหภูมิที่บรรยากาศของก๊าซต่างๆ

3.2.3 ผลจากขอบเกรน

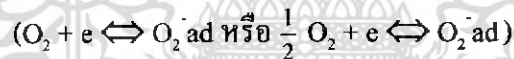
การเปลี่ยนแปลงที่ผิวซึ่งเกิดจากการดูดกลืนหรือคายไอออนจะมีค่าไม่มากพอที่อธิบายถึงการที่ความต้านทานเพิ่มขึ้นมากๆ ส่วนที่มีผลต่อความต้านทานมากกว่าก็คือ ขอบเกรน

ผลึกทินออกไซด์จะเป็นสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็นที่ประกอบด้วยแลกทิจบกร่องของออกซิเจนซึ่งแสดงตัวเป็นผู้ให้อิเล็กตรอน เมื่ออะตอมของออกซิเจนหลุดออกอิเล็กตรอนจากอะตอมผู้ให้บริเวณพื้นผิวจะถูกดูดกลืนเป็นไอออนลบ เกิดการฟอร์มตัวของชั้นปลดปล่อยประจุมีค่าขึ้นอยู่กับกำแพงศักย์ โดยแถบพลังงานจะเป็นดังรูป 3.5



รูปที่ 3.5 โครงสร้างแถบพลังงานของทินออกไซด์

() คือ ออกซิเจนประจุลบที่ถูกดูดกลืน คือ ศักย์ที่ผิวเกิดจากการดูดซับ O_2^- หรือ O^- ,

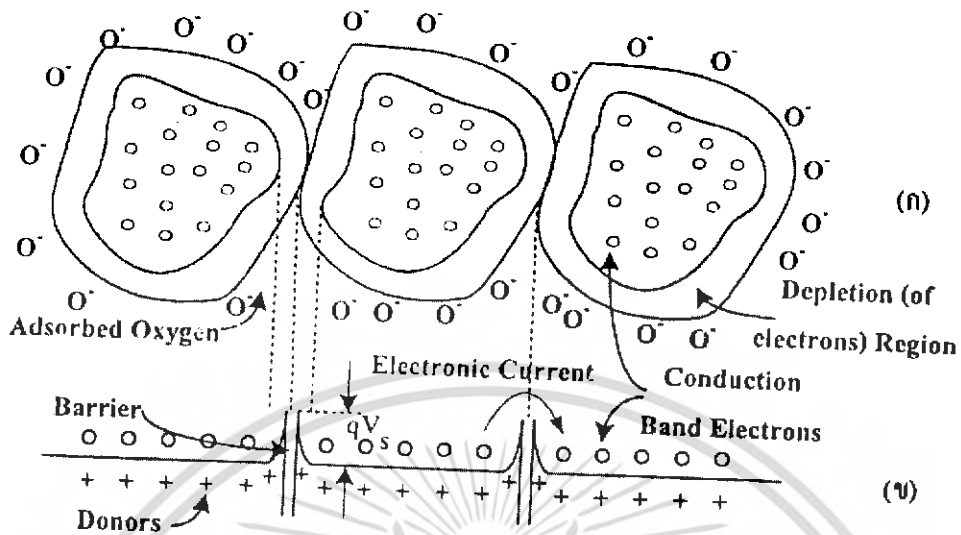


- E_s คือ กำแพงศักย์
- E_f คือ ระดับเฟอร์มิ
- E_D คือ ระดับผู้ให้
- E_c คือ ระดับต่ำสุดของแถบความนำ
- E_v คือ ระดับสูงสุดของแถบวาเลนซ์
- E_{CD} คือ ความลึกของระดับผู้ให้
- E_{CV} คือ ช่องว่างพลังงานระหว่าง E_c และ E_v

แบบจำลองทางฟิสิกส์สำหรับการจับคู่ของขอบแกรนแสดงถึงบริเวณปลอดประจุและผลของการคือออกซิไดซ์เชิงกึ่งก๊าซ ดังรูปที่ 3.6

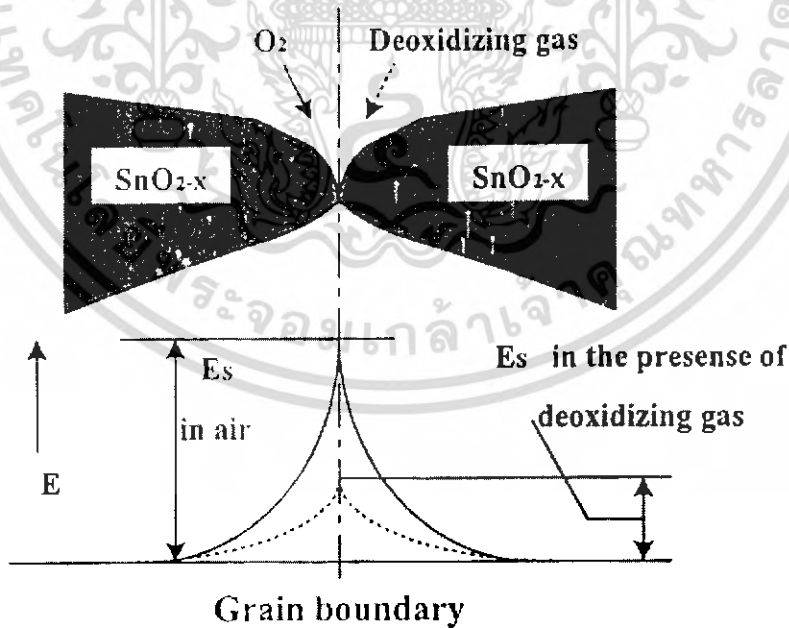
กรณีผลึกมีขนาดน้อยกว่าสองเท่าของ Debye length ดังรูปที่ 2.8 แต่ละผลึกจะแสดงตัวเหมือนช่องทางเดินกระแสในเฟตและประจุที่ผิวของออกซิเจนลบจะแสดงตัวคล้ายแรงดันเกตในเฟต ทำให้มีผลต่อระดับศักย์ E_c ภายในผลึก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



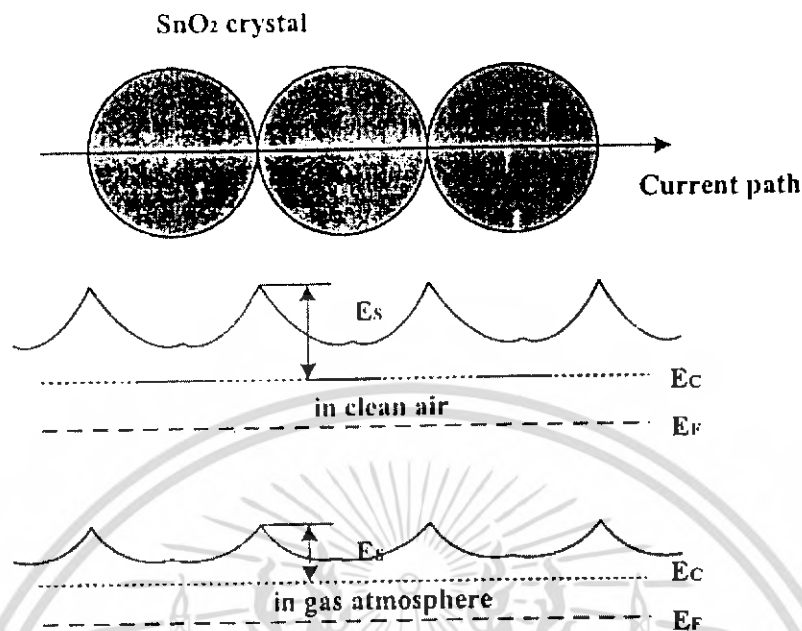
รูปที่ 3.6 โครงสร้างและแบบจำลองของสารกึ่งตัวนำ (กำแพงศักย์ที่เกิดจากการดูดกลืนออกซิเจน)

- (ก) แบบจำลองทางฟิสิกส์
- (ข) แบบจำลองแถบพลังงาน



รูปที่ 3.7 แบบจำลองกำแพงศักย์ที่ขอบเกรน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.8 กำแพงศักย์ตามทางเดินกระแสในทินออกไซด์ก๊าซเซนเซอร์ (ผลึกมีขนาดน้อยกว่า สองเท่าของ Debye length)

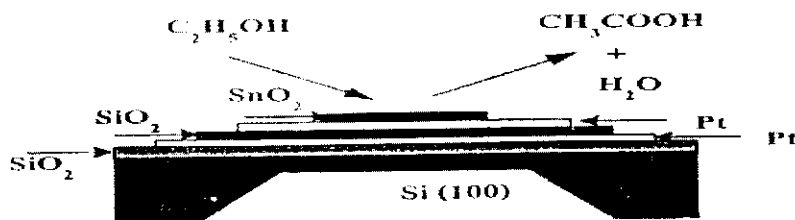
3.3 ปฏิริยาเคมีระหว่างทินออกไซด์กับก๊าซต่างๆ

เราจะแบ่งปฏิริยาเคมีที่เกิดขึ้นได้ 2 แบบ โดยดูได้จากว่าความต้านทานของทินออกไซด์ลดลงหรือเพิ่มขึ้น

3.3.1 ปฏิริยาออกซิเดชัน

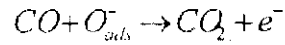
ในปฏิริยาออกซิเดชัน ก๊าซทดสอบจะถูกออกซิไดซ์ (ให้อิเล็กตรอนแก่ทินออกไซด์) และทำหน้าที่เป็นตัวรีดิวซ์ ซึ่งจะมีผลทำให้ความต้านทานของทินออกไซด์ลดลง ตัวอย่างของก๊าซและปฏิริยาออกซิเดชันที่เกิดขึ้นจะเป็นดังสมการที่ (2.23), (2.24) และ (2.25)

- เอทิลแอลกอฮอล์ C_2H_5OH

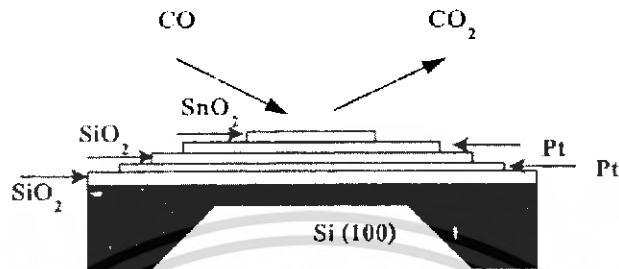


เอกสารนี้เป็นเอกสาร **รูปที่ 3.9** การตรวจจับ C_2H_5OH ของทินออกไซด์ จะได้ CH_3COOH และ H_2O ขั้นตอนการคำนวณว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- คาร์บอนมอนอกไซด์ CO

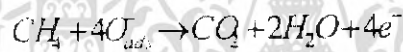


(3.24)

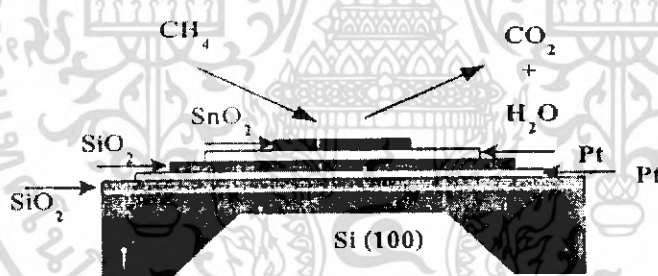


รูปที่ 3.10 การตรวจจับ CO ของทินออกไซด์ จะได้ CO₂

- มีเทน CH₄



(2.25)



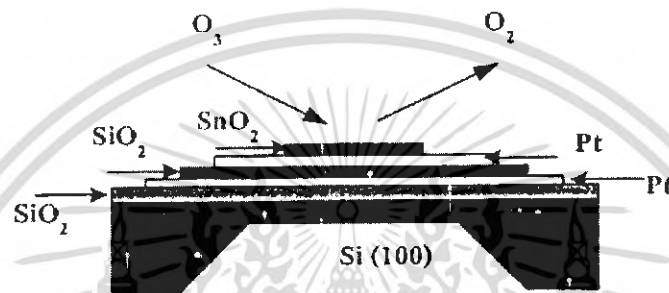
รูปที่ 3.11 การตรวจจับ CH₄ ของทินออกไซด์ จะได้ CO₂ และ H₂O

3.3.2 ปฏิกริยารีดักชัน

ในปฏิกริยารีดักชัน ก๊าซทดสอบจะถูกรีดิวซ์ (ดึงอิเล็กตรอนจากทินออกไซด์) และทำหน้าที่เป็นตัวออกซิไดซ์ ซึ่งจะมีผลทำให้ความต้านทานของทินออกไซด์เพิ่มขึ้น ตัวอย่างของก๊าซและปฏิกริยาออกซิเดชันที่เกิดจะเป็นดังสมการที่ (2.26) และ (2.27)

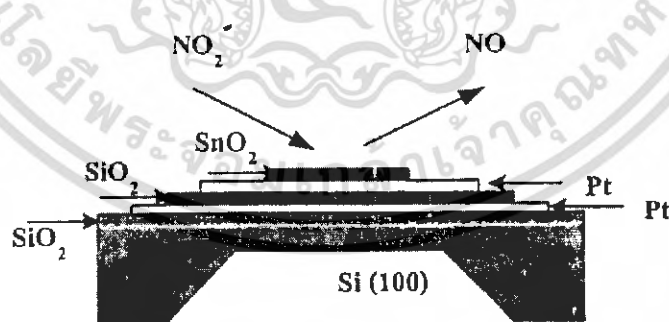
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ไอออน O_3



รูปที่ 3.12 การตรวจจับ O_3 ของทินออกไซด์ จะได้ O_2

- ไนโตรเจน NO_2



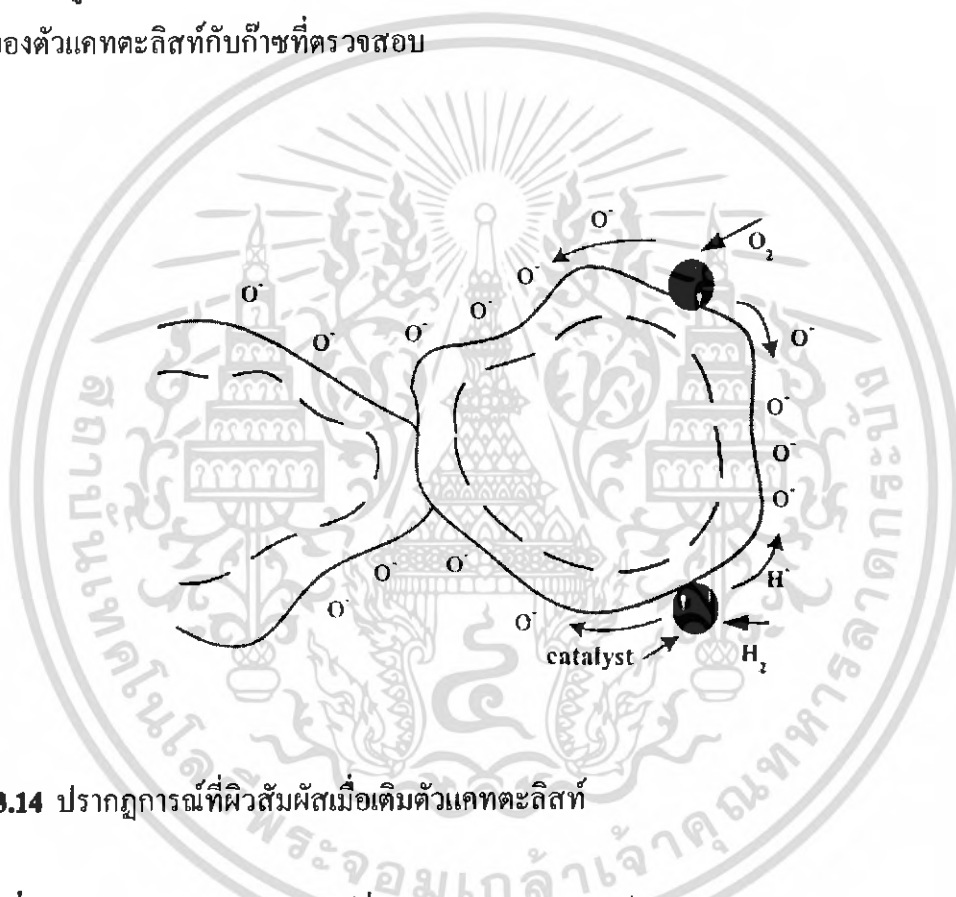
รูปที่ 3.13 การตรวจจับ NO_2 ของทินออกไซด์ จะได้ NO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การปรับปรุงความไวในการตอบสนองโดยการเติมตัวเร่งตะกั่ว

ตัวเร่งตะกั่ว (Catalyst) คือ สารที่ช่วยเพิ่มอัตราการเกิดปฏิกิริยาเคมี โดยที่ตัวเองไม่เปลี่ยนแปลง และไม่ได้เปลี่ยนพลังงานอิสระของปฏิกิริยา แต่ทำให้พลังงานกระตุ้นมีค่าต่ำลง โดยรูปที่ 3.14 จะแสดงปรากฏการณ์ที่ผิวสัมผัสเมื่อเติมตัวเร่งตะกั่ว

จุดประสงค์โดยทั่วไปของการเติมตัวเร่งตะกั่ว ก็เพื่อเพิ่มความไวในการตอบสนองต่อก๊าซ ลดเวลาในการตอบสนองและการฟื้นฟู ตัวเร่งตะกั่วที่นิยมใช้ต่างๆ ไปก็จะเป็นสารพวกโลหะมีตระกูล เช่น แพลเลเดียม (Pd) และ แพลทินัม (Pt) เป็นต้น โดยตารางที่ 2.1 จะเป็นตัวอย่างชนิดของตัวเร่งตะกั่วกับก๊าซที่ตรวจสอบ



รูปที่ 3.14 ปรากฏการณ์ที่ผิวสัมผัสเมื่อเติมตัวเร่งตะกั่ว

ตารางที่ 3.1 ชนิดของตัวเร่งตะกั่วที่ใช้เติมในการทดสอบก๊าซชนิดต่างๆ

ชนิดสารกึ่งตัวนำ	ตัวเร่งตะกั่ว	ก๊าซที่ทดสอบ
SnO_2	Pd, ThO_2 , Pt	CO
	Sb	CO ที่อุณหภูมิต่ำ
	Pt	R-OH
	Pt	CH_4 ที่อุณหภูมิต่ำ
	Au	H_2S

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

กระบวนการการผลิตก๊าซแอลฟิซีเซียมเซอร์ด้วยฟิล์มบางทินออกไซด์

ในบทนี้จะเป็นกล่าวถึงกระบวนการการผลิตก๊าซแอลฟิซีเซียมเซอร์ด้วยฟิล์มบางทินออกไซด์โดยจะประกอบไปด้วยขั้นตอนและวิธีการทดลองซึ่งในบทนี้ได้แยกกระบวนการทดลองโดยใช้อุปกรณ์และตัวแปรที่แตกต่างกันออกเป็น 2 แบบ คือ กระบวนการทดลองโดยใช้แอร์กันในการสเปร์ย์และใช้เครื่องพ่นแอร์บัสซึ่งมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเล็กลงจากเครื่องพ่นแอร์กันมาก

4.1 อุปกรณ์และสารเคมี

1. เครื่องพ่นแอร์กัน
2. เครื่องพ่นแอร์บัส
3. $\text{SnO}_2\cdot\text{F}$ 0.027 g
4. NH_4F 0.018 g
5. ถังเก็บก๊าซไนโตรเจน (N_2)
6. เตา hotplate
7. แผ่นกระจก
8. เทอร์โมคัปเปิล (Thermo couple)

4.2 ขั้นตอนและวิธีการทดลอง

4.2.1 การเตรียมสารตัวเร่งปฏิกิริยา

นำสารละลาย $\text{SnO}_2\cdot\text{F}$ ที่จะปลูกเตรียมได้โดยนำ NH_4F (50 m mol) ถูกละลายใน 50 ml. ของ 2M HCL สารทั้งหมดถูกทำให้เจือจางลงให้เป็น 1 ลิตร ด้วย $\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$ (ethanol) จากนั้น $\text{SnCl}_2 : 0.86\text{H}_2\text{O}$ (0.1 mole) ก็ถูกละลายลงไปที่สารที่ผสมแล้วก่อนหน้านี้ สารละลายทั้งหมดถูกคนให้เข้ากันเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และตามด้วยกระตุ่นอัลตราโซนิคอีก 10 นาที สารละลายที่ได้ตอนสุดท้ายก็จะพร้อมใช้งาน โดยสามารถสังเกตได้ว่าสารละลายที่ได้จะมีสีใส



รูปที่ 4.1 สารที่ใช้ในการทดลอง

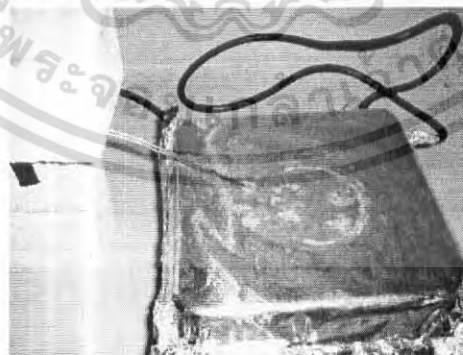
4.2.2 ขั้นตอนการปลูกฟิล์มบนฐานรองแก้วโดยใช้แอร์กันฟั่น

เราได้สเปรย์ด้วยมือลงบนกระจกฐานรองแก้ว (ขนาด $20 \times 30 \times 0.5 \text{ mm}^3$) ซึ่งทำความสะอาดด้วยอัลตราโซนิกในสารละลาย organic แล้ว โดยฐานรองแก้วถูกให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ $340 \text{ }^\circ\text{C}$ ซึ่งวัดได้โดยเทอร์โมคัปเปิล ที่ติดอยู่บนฐานรองแก้ว เราได้ปลูกฟิล์มที่มีความหนาต่าง ๆ โดยการเปลี่ยนจำนวนรอบของการสเปรย์ มีจำนวนสารละลายค่อนข้างมากที่เสียไปอย่างสูญเปล่าในแต่ละรอบของการสเปรย์ถึงแม้ว่าได้มีการปรับส่วนควบคุมต่าง ๆ ของเครื่องแอร์กันฟั่นอย่างละเอียดเพื่อให้ได้สารปริมาณที่ต้องการ ระยะทางระหว่างฐานรองกับหัวสเปรย์นั้นประมาณ 20 cm . คาดว่าความหนาของฟิล์มนั้นเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ ทุกครั้งในแต่ละรอบของการสเปรย์ Laser diffraction ถูกใช้วัดขนาดของละอองสเปรย์ที่ระยะห่างจากหัวฟั่นประมาณ $15\text{-}25 \text{ cm}$. เส้นผ่านศูนย์กลางของละอองสเปรย์ของสารละลายที่ฟั่นออกมานั้นมีค่าประมาณ $1.5 \text{ }\mu\text{m}$ ในระหว่างที่สเปรย์ฟั่นออกมากระทบกับฐานรอง อุณหภูมิของฐานรองจะลดลงเหลือ $325\text{--}330 \text{ }^\circ\text{C}$ การสเปรย์ก็จะหยุดลงและจะสเปรย์ต่อหลังจากที่อุณหภูมิฐานรองเพิ่มขึ้นกลับไปที่ $340 \text{ }^\circ\text{C}$ แล้วจึงทำการฟั่นสเปรย์อีก และได้ทำการทดลองฟั่นสเปรย์เป็นจำนวน 30, 60 และ 70 ครั้ง ซึ่งระยะห่างของการสเปรย์ประมาณ $20\text{--}30 \text{ cm}$ เหมือนเดิม ช่วงเวลาเฉลี่ยที่หยุดพักรออุณหภูมิประมาณ $5\text{-}10$ วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

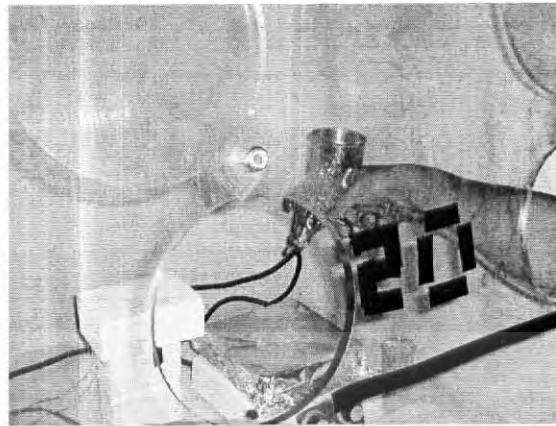


รูปที่ 4.2 ส่วนที่ต้องทำการปรับก่อนการพ่นสาร



รูปที่ 4.3 การวางหัวของthermocoupleกับกระฉก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.4 ระยะห่างและการฉีด

4.2.3 ขั้นตอนการปลูกฟิล์มบนฐานรองแก้วโดยใช้เครื่องพ่นแอร์บัส

เราได้สเปรย์ด้วยมือลงบนกระจกฐานรองแก้ว (ขนาด 20x30x0.5 mm³) ซึ่งทำความสะอาดด้วยอัลตราโซนิกในสารละลาย organic แล้ว โดยฐานรองแก้วถูกให้ความร้อนที่อุณหภูมิประมาณ 340 °C ซึ่งวัดได้โดย เทอร์โมคัปเปิล ที่ติดอยู่บนฐานรองแก้ว เราได้ปลูกฟิล์มที่ความหนาต่าง ๆ โดยการเปลี่ยนจำนวนรอบของการสเปรย์ มีจำนวนสารละลายน้อยลงที่เสียไปอย่างสูงอยู่แต่ในแต่ ละรอบของการสเปรย์ เนื่องจากเส้นผ่านศูนย์กลางของสเปรย์ของสารละลายที่พ่นออกมานั้นมีขนาดประมาณ 0.3 mm ซึ่งพบว่ามีความหนาของเส้นผ่านศูนย์กลางที่น้อยลงมากเมื่อเทียบกับการใช้ เครื่องพ่นแอร์กัน ในระหว่างที่ที่สเปรย์พ่นออกมากระทบกับฐานรอง อุณหภูมิของฐานรองจะลดลง เหลือ 325 – 330 °C การสเปรย์ก็จะหยุดลงและจะสเปรย์ต่อหลังจากที่อุณหภูมิฐานรองเพิ่มขึ้น กลับมาที่ 340°C เหมือนเดิมช่วงเวลาเฉลี่ยที่หยุดพักอุณหภูมิประมาณ 5- 10 วินาทีแต่ยังพบใน ความไม่สม่ำเสมอที่เกิดขึ้นจากการพ่นด้วยวิธีนี้ จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาโดยใช้เครื่องพ่นที่ ควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อให้เกิดความสม่ำเสมอของเนื้อสารในการพ่นแต่ละครั้งโดย หัวพ่นที่ใช้จะเป็นชนิดเดียวกันกับที่ใช้ในการทดลองครั้งนี้เนื่องจากเส้นผ่านศูนย์กลางของสเปรย์มี คงที่และสามารถปรับขนาดได้ง่าย เกิดความเหมาะสมต่อชิ้นงาน

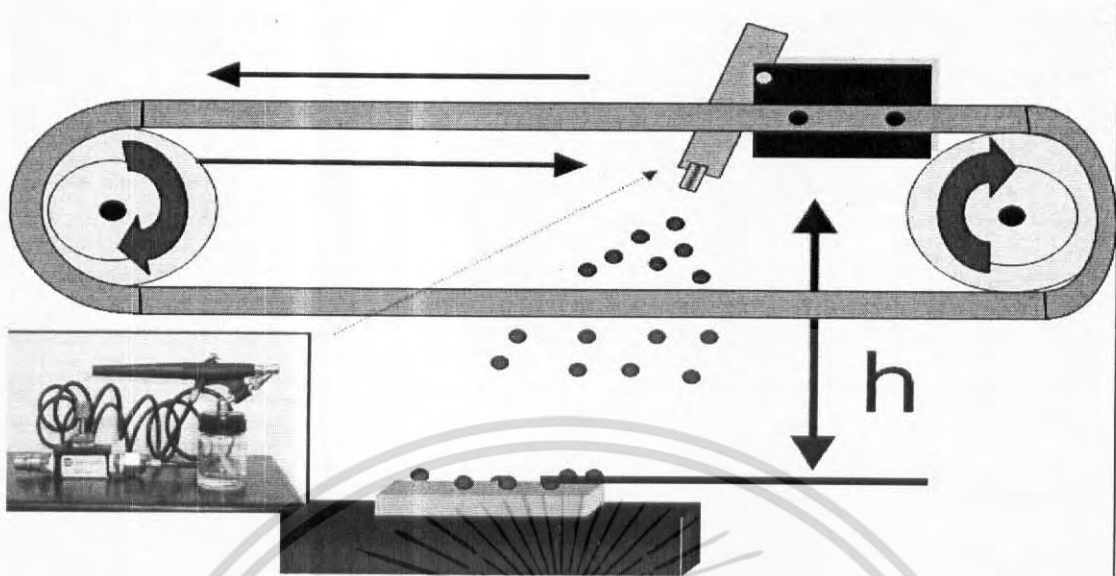


รูปที่ 4.5 หัวฉีดแอร์บัส

4.2.4 ขั้นตอนการปลูกฟิล์มบนฐานรองแก้วโดยใช้เครื่องพ่นแอร์บัสที่ควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์

กำลังอยู่ระหว่างการพัฒนาเครื่องพ่นให้ทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพสมบูรณ์ซึ่งเป็นเครื่องพ่นสารที่สามารถกำหนดระยะห่างของหัวพ่นกับชิ้นงาน ความถี่ในกาพ่นสาร และยังกำหนดจำนวนครั้ง ที่พ่นสารลงบนกระจกที่ทดสอบได้ จึงทำให้ได้ค่าที่แน่นอนกว่าการทดลองด้วยมือ สังเกตว่าการทดลองด้วยมือนั้น ปริมาณสาร จำนวนครั้งในการพ่น และความร้อนที่ใช้ทดลอง ในแต่ละครั้งเท่ากัน แต่ผลงานที่ออกมา ยังมีค่าแตกต่างกันเนื่องจากการพ่นสารด้วยมือนั้นยังไม่มีควมชำนาญ จึงทำให้สารที่ลงไปในกระจกไม่เท่ากันทุกครั้งในการทำการพ่น ซึ่งเครื่องพ่นสารที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ จะทำให้ผลงานออกมามีคุณภาพที่เท่ากันทุกแผ่น ดังนั้นเราจึงแค่สามารถเปลี่ยนแปลง อุณหภูมิ ปริมาณของสารเท่านั้น ทำให้งานที่ออกมามีความถูกต้องและสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จากรูป 4.6 แนวคิดในการสร้างเครื่อง

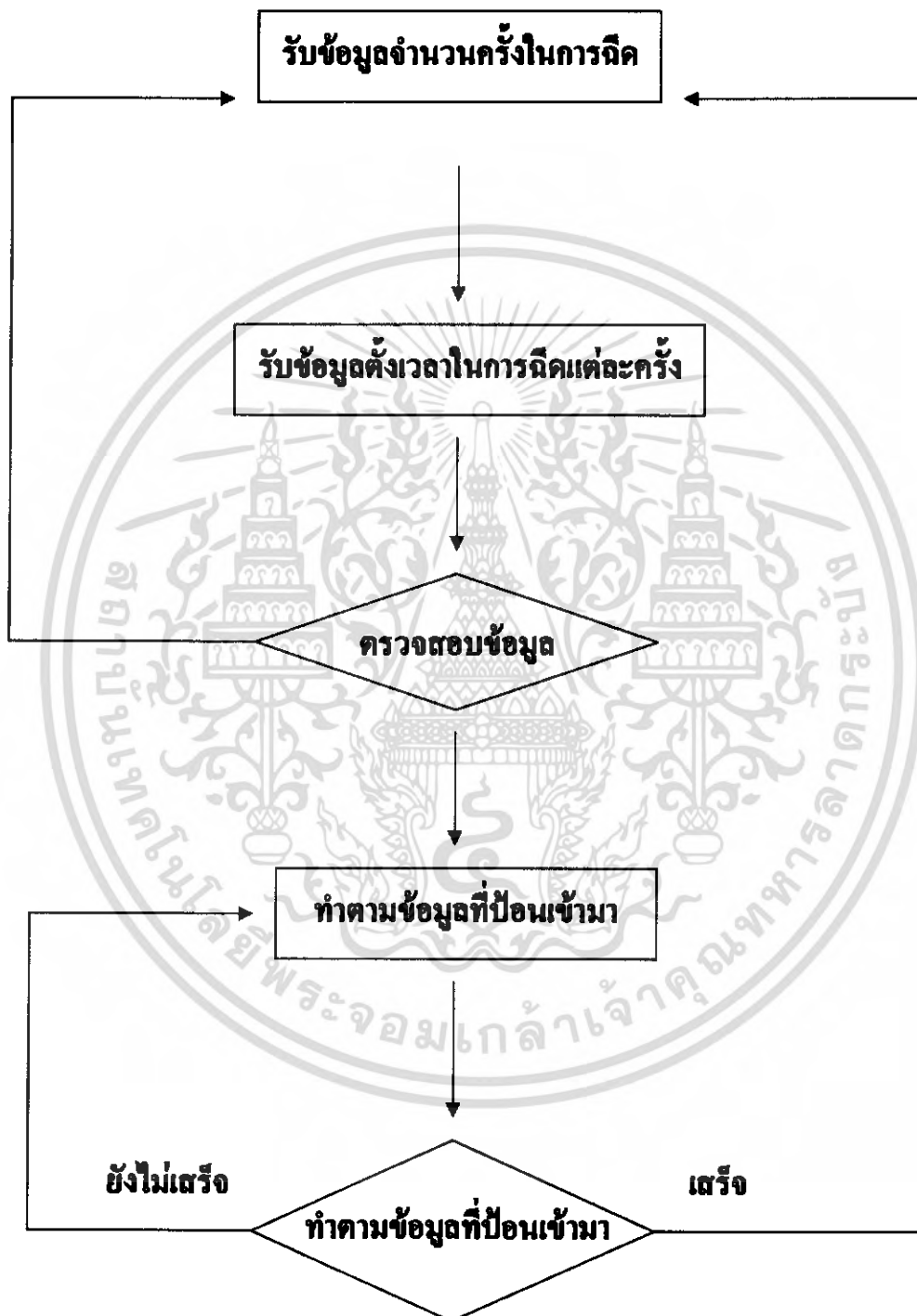
4.2.5 แนวคิดในการสร้างเครื่อง Auto spray

จากรูปที่ 4.6 ได้แสดงแนวคิดในการสร้างเครื่องได้ 4 หัวข้อคือ

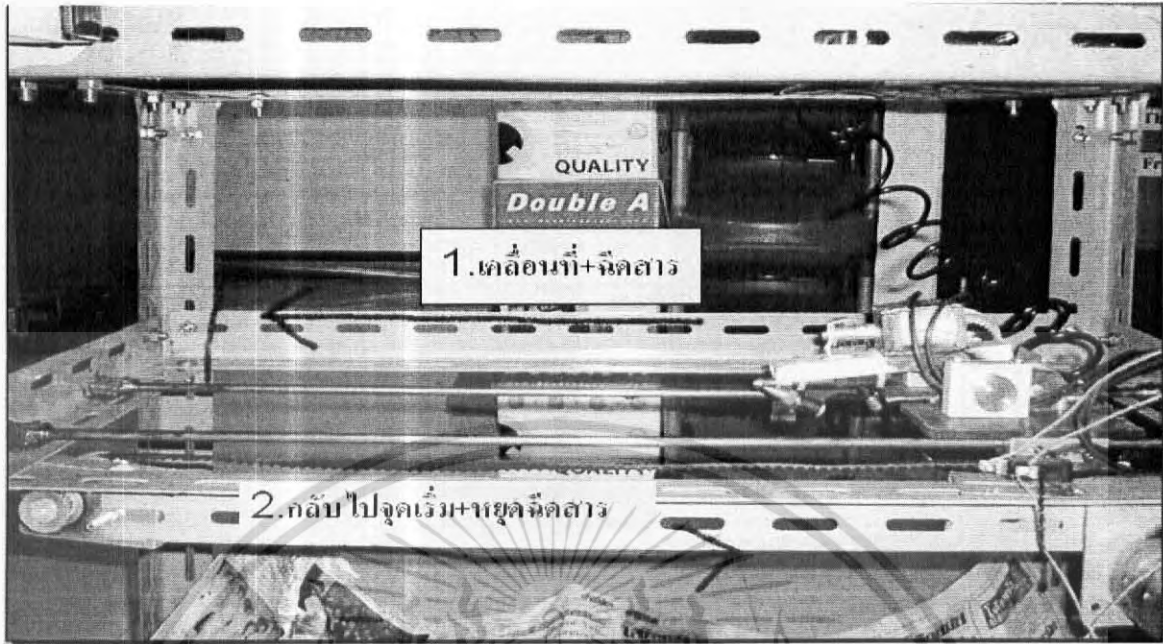
1. ละอองของสารที่ตกลงบนแผ่นกระจกมีปริมาณเท่ากันในแต่ละครั้ง
2. ความสูงของหัวฉีดกับแผ่นกระจกมีความคงที่
3. หัวสเปรย์สามารถเคลื่อนที่ได้เพื่อให้ละอองของสารกระจายทั่วแผ่น
4. หัวฉีดสามารถปรับองศาในการพ่นสารได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

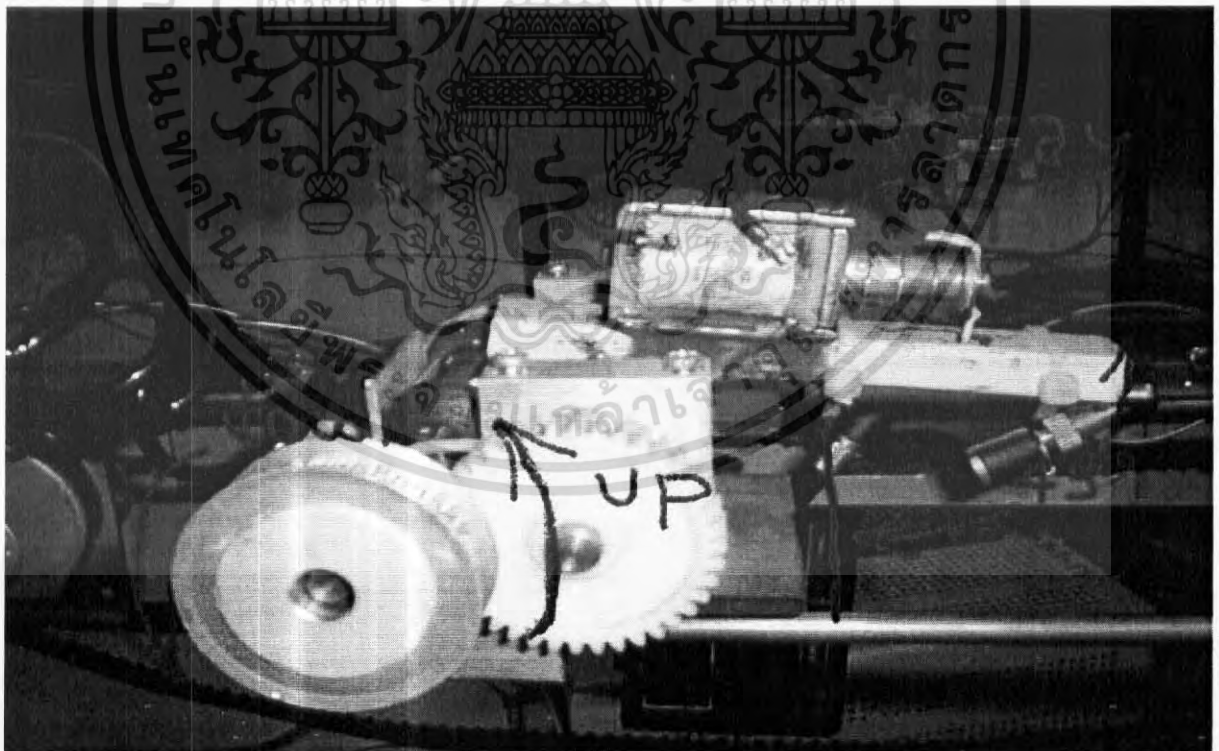
Flow chart แสดงการทำงาน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



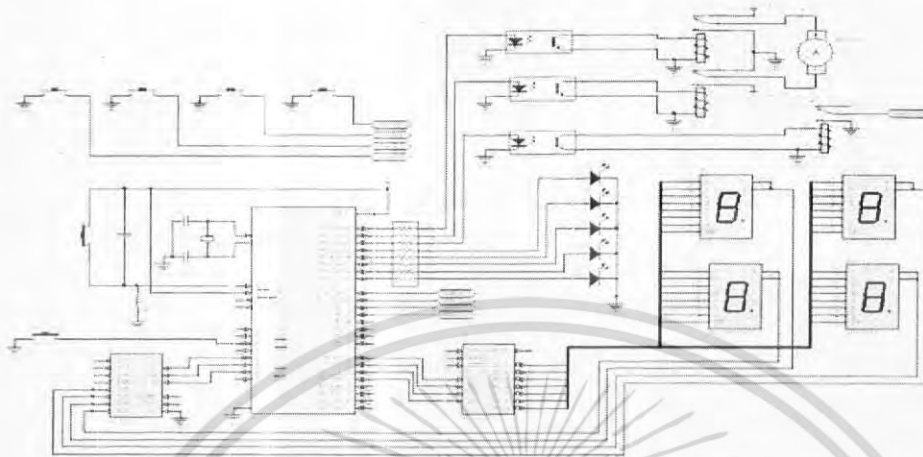
รูปที่ 4.7 แสดงการเคลื่อนที่ของการฟั่นละอองสาร



รูปที่ 4.8 แสดงการปรับองศาของหัวสเปรย์

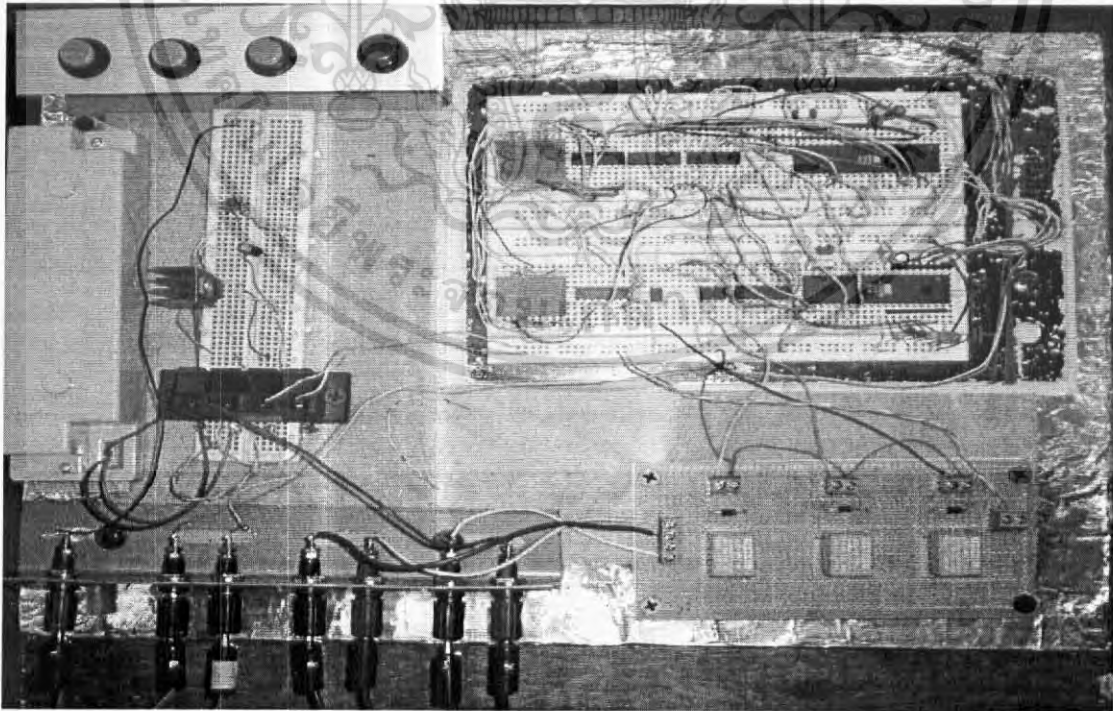
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AUTO-SPRAY CIRCUIT



จาก 4.9 วงจรที่ใช้ในการทำงาน

โดยรูปที่ 4.9 แสดงวงจรควบคุมการทำงานของเครื่องพ่นสารโดยใช้ CPU คือ MCS 51 และมีตัวแสดงผลคือ LED SEVEN SEGMENT และมีปุ่มรับข้อมูลของการควบคุมเพื่อให้เครื่องทำตามคำสั่งที่เราต้องการ
การทำงานของวงจร

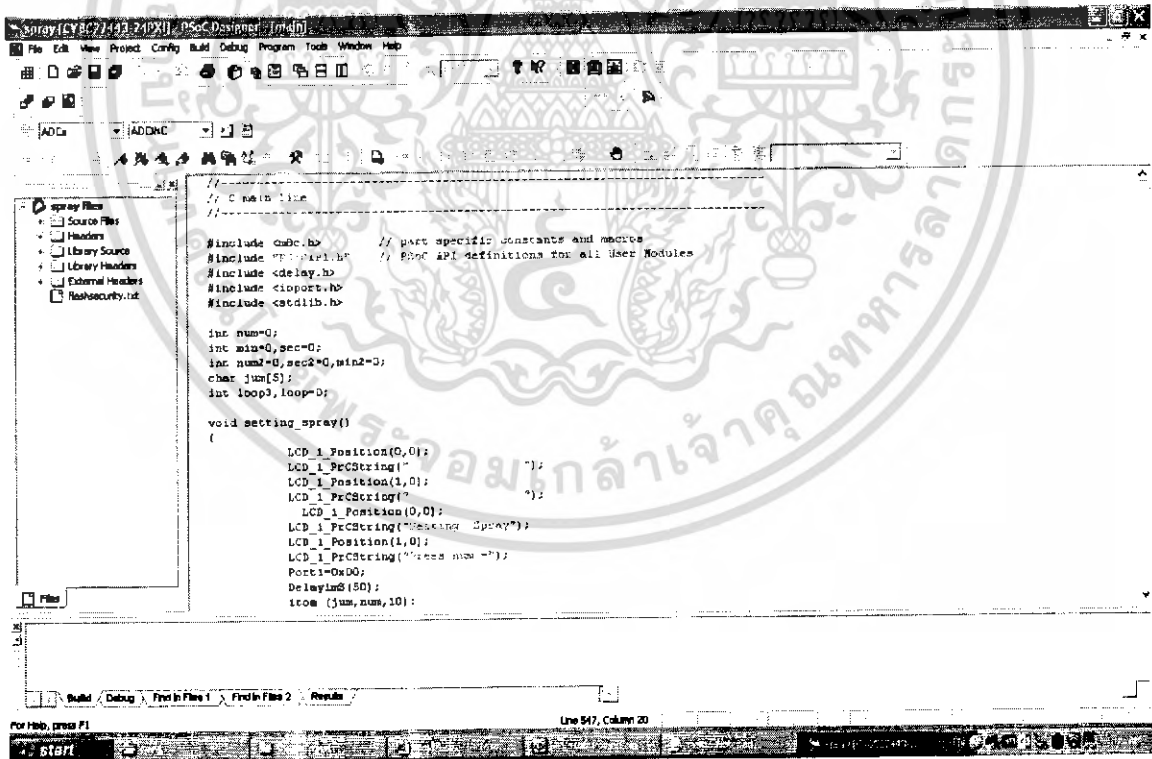


รูปที่ 4.10 วงจรที่ใช้ในการควบคุมการพ่นสารที่ควบคุมโดยใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.10 วงจรนี้สามารถกำหนดจำนวนครั้งในการพ่นสารและแสดงจำนวนของการพ่นสารด้วย LED-sevenssegment และใช้รีเลย์ในการควบคุมมอเตอร์ และ โซลินอยด์เพื่อพ่นสาร โดยได้ใช้ภาษา C ในการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานลงในไมโครคอนโทรลเลอร์จึงง่ายต่อการเปลี่ยนแปลงแก้ไขการทำงานต่างๆ และจากรูปที่ 4.7 เป็นส่วนของการพ่นสารซึ่งประกอบไปด้วย หัวฉีดสารแอร์บัส และส่วนนี้ยังสามารถปรับองศาการพ่น และความกว้างของวงการกระจายสาร และยังถูกยึดติดกับสายพานจึงทำให้สามารถเคลื่อนที่ไปได้ โดยการเคลื่อนที่นั้นเพื่อที่จะทำให้สารกระจายทั่วทั้งแผ่น ความไวในการเคลื่อนที่นั้นจะขึ้นอยู่กับมอเตอร์

ปัญหาที่เกิด

1. การเขียนโปรแกรมค่อนข้างมีความซับซ้อน
2. เกิดสัญญาณรบกวนขึ้นขณะที่เครื่องทำงาน
3. การใช้งานมีความซับซ้อนมาก
4. ระยะเวลาในการคิดค่อนข้างยุ่งยาก



```

// C main file
//-----
#include <abc.h> // part specific constants and macros
#include "PSoC1.h" // PSoC API definitions for all User Modules
#include <delay.h>
#include <dsport.h>
#include <stdlib.h>

int num=0;
int min=0,sec=0;
int num1=0,sec2=0,min2=0;
char jum[5];
int loop3,loop=0;

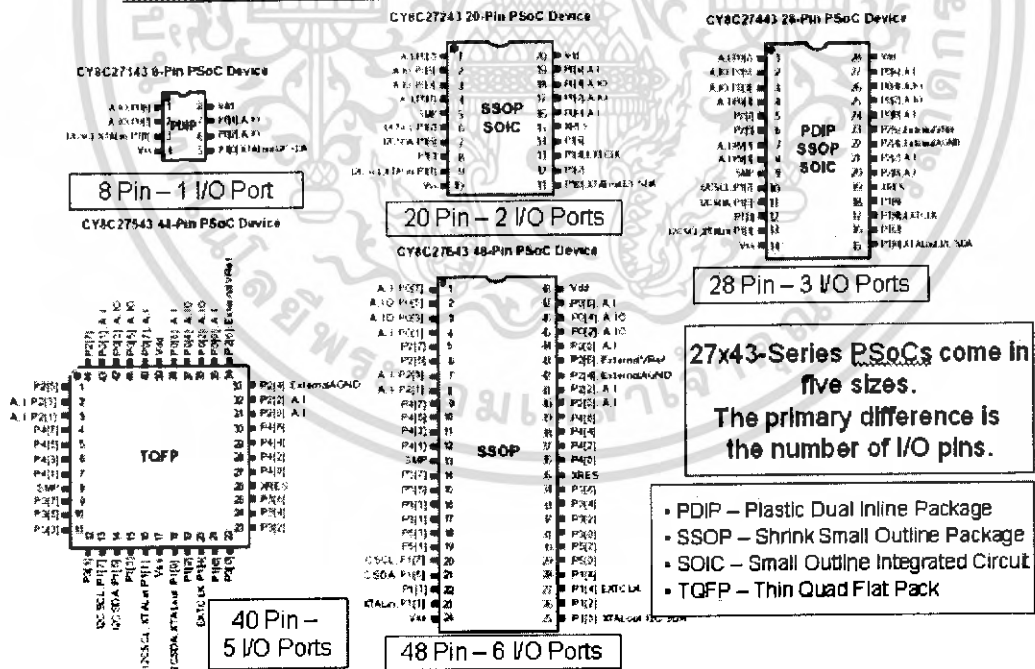
void setting_spray()
{
    LCD_1_Position(0,0);
    LCD_1_PrCString("");
    LCD_1_Position(1,0);
    LCD_1_PrCString("");
    LCD_1_Position(0,0);
    LCD_1_PrCString("Reservoir Spray");
    LCD_1_Position(1,0);
    LCD_1_PrCString("Press now");
    Port1-Dx00;
    Delayms(50);
    tcom (jum,num,10);
}
  
```

รูปที่ 4.11 หน้าต่างของ โปรแกรม PsoC DESIGNER

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากปัญหาที่เกิดขึ้นจึงทำให้เปลี่ยน CPU ที่ใช้ในการควบคุมโดยได้เลือก IC ในตระกูล P-SOC เนื่องจากโปรแกรมที่ใช้เขียนได้ลดความยุ่งยากลงมา และยังมีทรัพยากรให้ใช้ได้โดยตรง เช่น การแสดงผลโดย LCD และการป้อน INPUT กับ OUTPUT ค่อนข้างง่าย PSoC Microcontroller เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ของค่าย Cypress Microsystems โดยเป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ที่มีการประมวลผลข้อมูลแบบ 8 บิต เหมือนกับไมโครคอนโทรลเลอร์ 8 บิต ทั่วไปแต่คุณสมบัติเด่นที่แตกต่างไปจากไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลอื่นๆก็คือ PSoC MCU จะรวมเอาการออกแบบทั้งทางด้าน ดิจิตอลและอนาลอก มาไว้ด้วยกันทำให้การออกแบบที่ต้องมีการยุ่งเกี่ยวกับระหว่าง อุปกรณ์ทาง ดิจิตอลและอนาลอก สามารถทำได้โดยง่ายและสะดวกสบายยิ่งขึ้น อีกทั้งยังทำให้ ขนาดของการออกแบบเล็กลงอีกด้วย โดยเฉพาะวงจรทางด้านอนาลอกซึ่งมักจะมีขนาดค่อนข้างใหญ่ อีกทั้งการทำงานของ PSoC ยังมีความคล่องตัวสูงทั้งเรื่องของแหล่งกำเนิดสัญญาณพิก้าที่ หลากหลาย นอกจากนี้ยังมีฟังก์ชัน In-System Serial Programming (ISSP) ที่สามารถทำการ โปรแกรมซอร์สโค้ดที่ได้ออกแบบลงไป ในหน่วยความจำโปรแกรม (Flash Memory) ภายในตัวชิปได้ ซึ่งจะช่วยให้การพัฒนาโปรแกรมให้กับไมโครคอนโทรลเลอร์มีความสะดวกสบายมาก ขึ้น

PSoC 27x43 Mechanical Characteristics



รูปที่ 4.12 ไอซี ในตระกูล PsoC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 คุณสมบัติที่สำคัญของ PSoC

จากที่กล่าวมาในช่วงแรกเป็นเพียงเกริ่นนำที่จะให้ผู้อ่านทุกท่านได้สังเกตเห็นถึงคุณสมบัติที่สำคัญของไมโครคอนโทรลเลอร์ PSoC ซึ่งมีคุณสมบัติที่สำคัญและโดดเด่นอยู่หลายประการดังนี้

1. มีโครงสร้างของระบบภายในแบบ Harvard Architecture ด้วยหน่วยประมวลผลภายในแบบ M8C และสามารถทำงานได้ที่ความถี่สูงสุดถึง 24 MHz

2. มีวงจรคูณเลขภายในแบบ 8 x 8 Multiply (32 Bit Accumulate)

3. สามารถทำงานได้ที่ระดับแรงดันไฟฟ้าตั้งแต่ 3.0 ถึง 5.25V

4. มีโหมดการทำงานแบบ Switch Mode Pump (SMP) ซึ่งช่วยให้ระบบสามารถทำงานกับแรงดันไฟเลี้ยงที่มีระดับต่ำถึง 1V ได้

5. สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานภาคอุตสาหกรรมได้เป็นอย่างดี โดยสามารถทำงานได้ในช่วงอุณหภูมิ -40°C ถึง 85°C

6. วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกาที่มีความเที่ยงตรงสูง โดยสามารถเลือกใช้ได้ตามความต้องการได้แก่

- ใช้วงจรถูกกำเนิดสัญญาณนาฬิกาจากภายใน 24/48 MHz โดยมีค่าความผิดพลาดที่ +/- 2.5% โดยไม่จำเป็นต้องใช้อุปกรณ์ภายนอกอื่นๆ เช่น R-C เป็นต้น

- ทำงานร่วมกับ X-TAL 32.768 KHz ประกอบกับคุณสมบัติ PLL ที่มีอยู่ภายในชิพเพื่อกำเนิดสัญญาณนาฬิกาที่ 24/48 MHz

- ทำงานร่วมกับ External Oscillator ได้ที่ความถี่สูงสุด 24 MHz

- มีวงจรถูกกำเนิดสัญญาณภายในอิสระ สำหรับการทำงานในโหมด Sleep และ Watch dog เพื่อเพิ่มเสถียรภาพของระบบไมโครคอนโทรลเลอร์

7. หน่วยความจำโปรแกรมที่มีความยืดหยุ่นสูง

- 16 KB Flash Memory สำหรับเบอร์ CY27-Series และ 32 KB สำหรับเบอร์ CY29-Series ที่มีจำนวนรอบต่อการลบและเขียนข้อมูลใหม่ได้สูงสุด 50,000 ครั้ง

- หน่วยความจำ RAM ภายในขนาด 256 Byte สำหรับเบอร์ CY27-Series และ 2 KB สำหรับเบอร์ CY29-Series

- สามารถโปรแกรมข้อมูลลงสู่ชิพด้วยรูปแบบของ In – System Programming ได้โดยไม่ต้องถอดชิพออกจากบอร์ด

- สามารถโปรแกรมเพื่ออัปเดตข้อมูลบางส่วนได้ (Partial Flash Updates)

- หลากหลายกับโหมดการป้องกัน (Protection Mode)

- สามารถใช้งานพื้นที่ว่างของ Flash Memory เพื่อนำมาประยุกต์ใช้เป็นหน่วยความจำ

ชนิด EEPROM ได้ โดยไม่จำเป็นต้องอินเทอร์เฟสกับ EEPROM จากภายนอก

8. สามารถโปรแกรมฟังก์ชันการทำงานให้กับขาต่างๆของไมโครคอนโทรลเลอร์ได้

- สามารถขับเคลื่อนกระแสได้ 25mA ทุกขาในโหมด GPIO
- สามารถเลือกรูปแบบการทำงานของแต่ละขาได้อย่างอิสระ ได้แก่ Pull Up, Pull

Down, High Z, Strong, Open Drain High และ Open Drain Low

- ทุกขาสามารถกำหนดให้เป็นแหล่งกำเนิดสัญญาณอินเทอร์รัพต์ได้

9. ทรัพยากรเพิ่มเติม ที่มีอยู่ในระบบ ได้แก่

- การสื่อสารแบบ I²C Slave, Master และ Multi – Master
- มีวงจรการทำงานของ Watchdog และ Sleep Timer
- ผู้ใช้สามารถกำหนดค่าระดับแรงดันในการทำงานได้
- มีวงจร Supervisory ประกอบอยู่ภายใน
- มีวงจรกำเนิดแรงดันอ้างอิงภายในที่มีความเที่ยงตรงสูง

10. มีซอฟต์แวร์สำหรับการพัฒนาให้ใช้งานได้ทั้งภาษา C และ Assembly ซึ่งสามารถดาวน์โหลดได้ฟรีจาก www.cypressmicro.com หากแต่การใช้งานฟรีนั้นจะอนุญาตให้ใช้ได้เฉพาะภาษา Assembly เท่านั้น ส่วนภาษา C นั้น จำเป็นต้องเสียค่าใช้จ่ายเพื่อปลดล็อกซอฟต์แวร์ให้สามารถใช้งานภาษา C ได้

4.4 ซอร์สโปรแกรมที่เขียนลงไปใน CPU

ส่วนนี้จะเป็นซอร์สที่ใช้ควบคุมการทำงานของไมโครคอนโทรลเลอร์ โดยจะใช้ภาษา C

```
//-----
// C main line
//-----

#include <m8c.h> // part specific constants and macros
#include "PSoC_API.h" // PSoC API definitions for all User Modules
#include <delay.h>
#include <ioport.h>
#include <stdlib.h>

int num=0;
int min=0,sec=0; void setting_spray()
int num2=0,sec2=0,min2=0; {
char jum[5]; LCD_1_Position(0,0);
int loop3,loop=0; LCD_1_PrCString(" ");
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

LCD_1_Position(1,0);
LCD_1_PrCString(" ");
LCD_1_Position(0,0);
LCD_1_PrCString("Setting
Spray");
LCD_1_Position(1,0);
LCD_1_PrCString("Press num =");
Port1=0x00;
Delay1mS(50);
itoa (jum,num,10);
LCD_1_Position(1,12);
LCD_1_PrString(jum);
LCD_1_PrString(jum);
do
{
LCD_1_Position(1,12);
LCD_1_PrCString(" ");
Delay1mS(500);
do
{
if(Bit0_3==0) //up num
{
if(num<99)
{
num++;
itoa (jum,num,10);
LCD_1_Position(1,12);
LCD_1_PrString(jum);
Delay1mS(300);
}
}
}
while(Bit0_3==0);
}

LCD_1_Position(1,0);
LCD_1_PrCString(" ");
LCD_1_Position(0,0);
LCD_1_PrCString("Setting
Spray");
LCD_1_Position(1,0);
LCD_1_PrCString("Press num =");
Port1=0x00;
Delay1mS(50);
itoa (jum,num,10);
LCD_1_Position(1,12);
LCD_1_PrString(jum);
LCD_1_PrString(jum);
do
{
LCD_1_Position(1,12);
LCD_1_PrCString(" ");
Delay1mS(500);
do
{
if(Bit0_5==0) //clear num
{
Delay1mS(300);
if(Bit0_5==0)
{
num=0;
itoa (jum,num,10);
LCD_1_Position(1,12);
LCD_1_PrString(jum);
Delay1mS(300);
}
}
}
while(Bit0_5==0);
}

LCD_1_Position(1,0);
LCD_1_PrCString(" ");
LCD_1_Position(0,0);
LCD_1_PrCString("Setting
Spray");
LCD_1_Position(1,0);
LCD_1_PrCString("Press num =");
Port1=0x00;
Delay1mS(50);
itoa (jum,num,10);
LCD_1_Position(1,12);
LCD_1_PrString(jum);
LCD_1_PrString(jum);
do
{
LCD_1_Position(1,12);
LCD_1_PrCString(" ");
Delay1mS(500);
do
{
if(Bit0_4==0) //down num
{
if(num>0)
{
num--;
itoa (jum,num,10);
LCD_1_Position(1,12);
LCD_1_PrString(jum);
Delay1mS(300);
}
}
}
while(Bit0_4==0);
}

LCD_1_Position(1,0);
LCD_1_PrCString(" ");
LCD_1_Position(0,0);
LCD_1_PrCString("Setting
Spray");
LCD_1_Position(1,0);
LCD_1_PrCString("Press num =");
Port1=0x00;
Delay1mS(50);
itoa (jum,num,10);
LCD_1_Position(1,12);
LCD_1_PrString(jum);
LCD_1_PrString(jum);
do
{
LCD_1_Position(1,12);
LCD_1_PrCString(" ");
Delay1mS(500);
do
{
if(Bit0_3==0) //up num
{
if(num<99)
{
num++;
itoa (jum,num,10);
LCD_1_Position(1,12);
LCD_1_PrString(jum);
Delay1mS(300);
}
}
}
while(Bit0_3==0);
}

LCD_1_Position(1,0);
LCD_1_PrCString(" ");
LCD_1_Position(0,0);
LCD_1_PrCString("Setting
Spray");
LCD_1_Position(1,0);
LCD_1_PrCString("Press num =");
Port1=0x00;
Delay1mS(50);
itoa (jum,num,10);
LCD_1_Position(1,12);
LCD_1_PrString(jum);
LCD_1_PrString(jum);
do
{
LCD_1_Position(1,12);
LCD_1_PrCString(" ");
Delay1mS(500);
do
{
if(Bit0_5==0) //clear num
{
Delay1mS(300);
if(Bit0_5==0)
{
num=0;
itoa (jum,num,10);
LCD_1_Position(1,12);
LCD_1_PrString(jum);
Delay1mS(300);
}
}
}
while(Bit0_5==0);
}

LCD_1_Position(1,0);
LCD_1_PrCString(" ");
LCD_1_Position(0,0);
LCD_1_PrCString("Setting
Spray");
LCD_1_Position(1,0);
LCD_1_PrCString("Press num =");
Port1=0x00;
Delay1mS(50);
itoa (jum,num,10);
LCD_1_Position(1,12);
LCD_1_PrString(jum);
LCD_1_PrString(jum);
do
{
LCD_1_Position(1,12);
LCD_1_PrCString(" ");
Delay1mS(500);
do
{
if(Bit0_4==0) //down num
{
if(num>0)
{
num--;
itoa (jum,num,10);
LCD_1_Position(1,12);
LCD_1_PrString(jum);
Delay1mS(300);
}
}
}
while(Bit0_4==0);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

        if(Bit0_5==0)
        {
            min=0;
            itoa (jum,min,10);
            LCD_1_Position(1,11);
            LCD_1_PrString(jum);
            Delay1mS(300);
        }
        itoa (jum,min,10);
        LCD_1_Position(1,11);
        LCD_1_PrString(jum);
        Delay1mS(700);
    } //do
    while(Bit0_2==1); //candle
    Delay1mS(500);
    Port1=0x08;
    Delay1mS(100);
    Port1=0x00;
    Delay1mS(50);
    while(Bit0_2==0)
    {
        LCD_1_Position(1,14);
        LCD_1_PrCString(" ");
        Delay1mS(200);
        itoa (jum,sec,10);
        LCD_1_Position(1,14);
        LCD_1_PrString(jum);
        Delay1mS(200);
    }
    //.....seg
    do
        {
            LCD_1_Position(1,14);
            LCD_1_PrCString(" ");
            Delay1mS(700);
            do
                {
                    if(Bit0_3==0) //up sec
                    {
                        if(sec<59)
                        {
                            sec++;
                            itoa (jum,sec,10);
                            LCD_1_Position(1,14);
                            LCD_1_PrString(jum);
                            Delay1mS(300);
                        }
                    }
                } while(Bit0_3==0);
            } do
            {
                if(Bit0_4==0) //down
                {
                    if(sec>0)
                    {
                        sec--;
                        Delay1mS(50);
                        itoa (jum,sec,10);
                        LCD_1_Position(1,14);
                        LCD_1_PrString(jum);
                        Delay1mS(300);
                    }
                }
            }
        }
    }

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

}
}
while(Bit0_4==0);
//:
if(Bit0_5==0) // clear sec
{
Delay1mS(300);
if(Bit0_5==0)
{
sec=0;
itoa (jum,sec,10);
LCD_1_Position(1,14);
LCD_1_PrString(jum);
Delay1mS(300);
}
}
itoa (jum,sec,10);
LCD_1_Position(1,14);
LCD_1_PrString(jum);
Delay1mS(700);
} //do
while(Bit0_2==1); //cancel
Port1=0x08;
Delay1mS(300);
}

#####

void manual_Spray()
{
LCD_1_Position(0,0);
LCD_1_PrString(" ");
LCD_1_Position(1,0);
}
LCD_1_PrCString(" ");
LCD_1_Position(0,2);
LCD_1_PrCString("on Spray = +");
LCD_1_Position(1,0);
LCD_1_PrCString("Mleft--
:Mright=0");
Port1=0x00;
Delay1mS(50);
do
{
do
{
if(Bit0_3==0) // on Spray..
{
Delay1mS(100);
if(Bit0_3==0)
{
Port1=0x01;
LCD_1_Position(0,13);
LCD_1_PrCString("**");
Delay1mS(100);
LCD_1_Position(0,13);
LCD_1_PrCString("+");
Delay1mS(100);
}
}
}
}
while(Bit0_3==0);
Port1=0x00;
} //do
do
{
if(Bit0_4==0) // on Motor left
{
}
}
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

Delay1mS(100);
if(Bit0_4==0)
{
    Port1=0x02;
    LCD_1_Position(1,6);
LCD_1_PrCString("*");
Delay1mS(100);
    LCD_1_Position(1,6);
LCD_1_PrCString("-");
Delay1mS(100);
}
}
}

while(Bit0_4==0);
Port1=0x00;
//*****
do
{
    if(Bit0_5==0) // on Motor right
    {
        Delay1mS(100);
        if(Bit0_5==0)
        {
            Port1=0x04;
            LCD_1_Position(1,15);
LCD_1_PrCString("*");
Delay1mS(100);
            LCD_1_Position(1,15);
LCD_1_PrCString("0");
Delay1mS(100);
        }
    }
}

}

Port1=0x00;
//*****
} //do
while(Bit0_2==1); //candle
Port1=0x08;
Delay1mS(300);
}
//*****
}
}
void time_stop(int min3,int sec3)
{
    while (min3!=min2 || sec3!=sec2)
    {
        sec2++;
        if(sec2==60)
        {
            min2++;
            sec2=0;
        }
        if(sec2==1)
        {
            LCD_1_Position(1,14);
            LCD_1_PrCString(" ");
        }
        if(min2==1)
        {
            LCD_1_Position(1,11);
            LCD_1_PrCString(" ");
        }
        Delay1mS(1000);
        itoa (jum,sec2,10);
        LCD_1_Position(1,13);
        LCD_1_PrString(jum);
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        if(sec2==0)
        {
            LCD_1_Position(1,14);
            LCD_1_PrCString("0");
        }
        itoa (jum,min2,10);
        LCD_1_Position(1,10);
        LCD_1_PrString(jum);
    }

    Port1=0x01;
    Delay1mS(200);
    while(Bit0_7==1)
    {
        Port1=0x05;
        Delay1mS(100);
    } // (Bit0_7==1)

    Port1=0x00; //----- END Loop Run//
}

//-----
void RUN()
{
    //-----
    if(Bit0_6==1) //run spray+life
    {
        Delay1mS(100);
        Port1=0x01;
        Delay1mS(200);
        while(Bit0_6==1)
        {
            Port1=0x03;
            Delay1mS(100);
        } // (Bit0_6==1)
    }

    Port1=0x00;

    if(Bit0_7==1) //run
    spray+right
    {
        Delay1mS(100);
}

void auto_spray()
{
    Port1=0x00;
    Delay1mS(50);
    Port1=0x08;
    Delay1mS(400);
    LCD_1_Position(0,0);
    LCD_1_PrCString(" ");
    LCD_1_Position(1,0);
    LCD_1_PrCString(" ");
    LCD_1_Position(0,0);
    LCD_1_PrCString("Spray=");
    itoa (jum,num,10);
    LCD_1_Position(0,6);
    LCD_1_PrString(jum);
    LCD_1_Position(0,8);
    LCD_1_PrCString(".T=");
    itoa (jum,min,10);
    LCD_1_Position(0,11);
    LCD_1_PrString(jum);
    LCD_1_Position(0,13);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้


```

    }
    min2=0;
    sec2=0;
}
while(num2!=num);
while(Bit0_0==1)
{
    Port1=0x00;
    Port1=0x08;
    Delay1mS(1000);
    Port1=0x00;
    Delay1mS(500);
} //(Bit0_1!=0||Bit0_2!=0)
Port1=0x00;
Delay1mS(500);
num2=0;
//-----
}
}

#####

} //do
while(Bit0_2==1); //cancle
    Port1=0x08;
    Delay1mS(400);
}
//@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@@
void main()
{
    LCD_1_Start();
    SetBit0_0;
    SetBit0_1;
}

SetBit0_2;
SetBit0_3;
SetBit0_4;
SetBit0_5;
SetBit0_6;
SetBit0_7;

Port1=0x00;
Port1=0x08;
Delay1mS(800);
Port1=0x00;
Delay1mS(100);
Port1=0x08;
Delay1mS(1000);
LCD_1_Position(0,2);
LCD_1_PrCString("Welcome To ");
LCD_1_Position(1,0);
LCD_1_PrCString("Automatic Spray");
Port1=0x00;
Delay1mS(10);
while(loop==0)
{
    if(Bit0_0==0)
    {
        Delay1mS(100);
        Port1=0x08;
        Delay1mS(1000);
        loop=1;
    }
}

//-----
while(1)

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

{
    LCD_1_Position(1,0);
    LCD_1_PrCString("
");
    if(loop==1)
    {
        LCD_1_Position(0,0);
        LCD_1_PrCString("
");
        LCD_1_Position(1,0);
        LCD_1_PrCString("
");
        LCD_1_Position(0,2);
        LCD_1_PrCString("Mode 1");
        LCD_1_Position(1,1);
        LCD_1_PrCString("Setting
Spray");
        Port1=0x00;
        Delay1mS(50);
        while(loop==1)
        {
            LCD_1_Position(0,2);
            LCD_1_PrCString("Mode 1");
            LCD_1_Position(1,1);
            LCD_1_PrCString("Setting
Spray");
            if(Bit0_1==0)
            {
                Port1=0x08;
                Delay1mS(300);
                setting_spray();
                //-----
                Port1=0x00;
                Delay1mS(50);
                LCD_1_Position(0,0);
                LCD_1_PrCString("
");
            }
            LCD_1_Position(1,0);
            LCD_1_PrCString("
");
            LCD_1_Position(0,2);
            LCD_1_PrCString("Mode 2");
            LCD_1_Position(1,1);
            LCD_1_PrCString("Setting Timer");
            Port1=0x00;
            Delay1mS(50);
            LCD_1_Position(0,0);
            LCD_1_PrCString("
");
            while(loop==2)
            {
                LCD_1_Position(1,0);
                LCD_1_PrCString("
");
                Delay1mS(50);
                if(Bit0_0==0)
                {
                    loop=2;
                }
                Port1=0x08;
                Delay1mS(500);
                LCD_1_Position(0,0);
                LCD_1_PrCString("
");
                LCD_1_Position(1,0);
                LCD_1_PrCString("
");
                LCD_1_Position(0,2);
                LCD_1_PrCString("Mode 1");
                LCD_1_Position(1,1);
                LCD_1_PrCString("Setting
Spray");
                if(loop==2)
                {
                    LCD_1_Position(0,0);
                    LCD_1_PrCString("
");
                    LCD_1_Position(1,0);
                    LCD_1_PrCString("
");
                    LCD_1_Position(0,2);
                    LCD_1_PrCString("Mode 2");
                    LCD_1_Position(1,1);
                    LCD_1_PrCString("Setting Timer");
                    Port1=0x00;
                    Delay1mS(50);
                    while(loop==2)
                    {
                        LCD_1_Position(1,0);
                        LCD_1_PrCString("
");
                        Delay1mS(50);
                        if(Bit0_0==0)
                        {
                            loop=2;
                        }
                    }
                }
            }
        }
    }
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

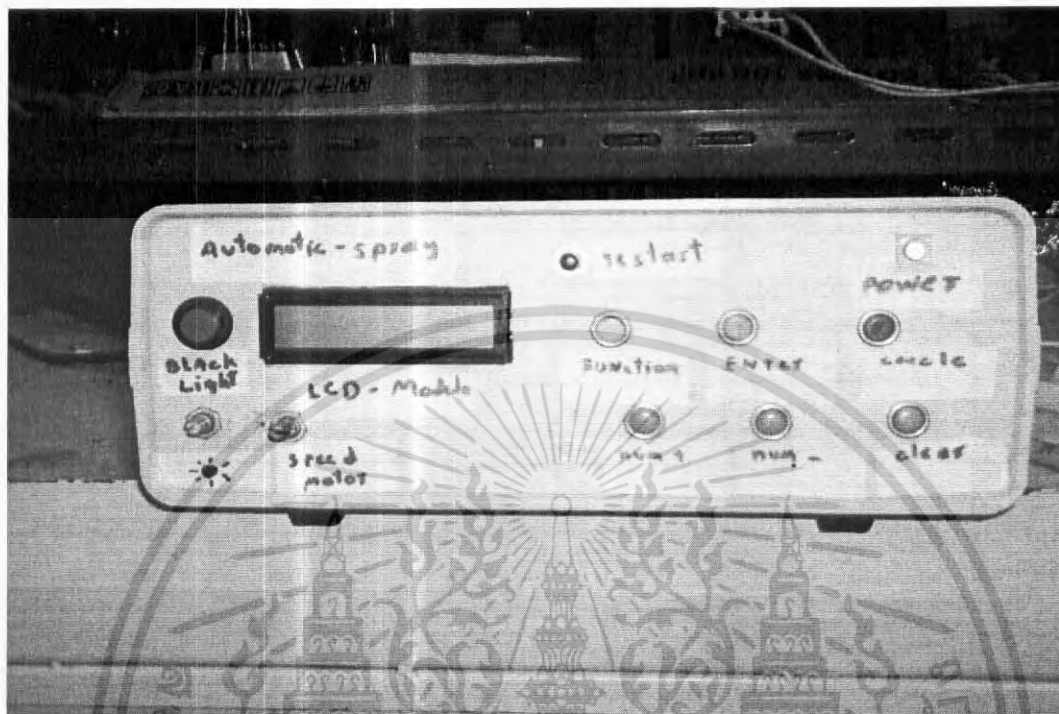
LCD_1_Position(0,2);
LCD_1_PrCString("Mode 2");
LCD_1_Position(1,1);
LCD_1_PrCString("Setting
Timer");
if(Bit0_1==0)
{
    Port1=0x08;
    Delay1mS(300);
    setting_Time()
;-----
    Port1=0x00;
    Delay1mS(50);
    LCD_1_Position(0,0);
    LCD_1_PrCString("
");
    LCD_1_Position(1,0);
    LCD_1_PrCString("
");
}
if(Bit0_0==0)
{
    Delay1mS(50);
    if(Bit0_0==0)
    {
        loop=3;
    }
}
}
Port1=0x08;
Delay1mS(500);

if(loop==3)
{
    LCD_1_Position(0,0);
    LCD_1_PrCString("
");
    LCD_1_Position(1,0);
    LCD_1_PrCString("
");
    LCD_1_Position(0,2);
    LCD_1_PrCString("Mode 3");
    LCD_1_Position(1,1);
    LCD_1_PrCString("Manual
Spray");
    Port1=0x00;
    Delay1mS(50);
    while(loop==3)
    {
        LCD_1_Position(0,2);
        LCD_1_PrCString("Mode 3");
        LCD_1_Position(1,1);
        LCD_1_PrCString("Manual
Spray");
    }
}
if(Bit0_1==0)
{
    Port1=0x08;
    Delay1mS(300);
    manual_Spray();
    Port1=0x00;
    Delay1mS(50);
    LCD_1_Position(0,0);
    LCD_1_PrCString("
");
    LCD_1_Position(1,0);
}

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 โครงสร้างของเครื่อง Auto spray



รูปที่ 4.13 ภาพควบคุมการทำงานของเครื่องสเปรย์

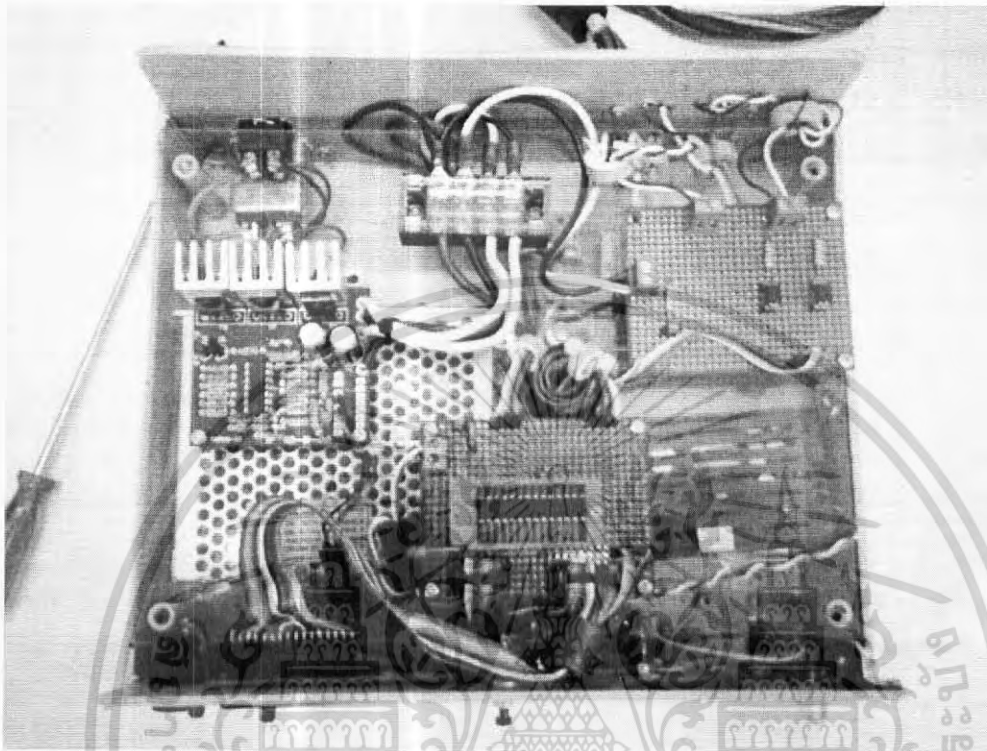
4.5.1 ปุ่มที่สำหรับป้อนคำสั่งให้แก่ CPU

1. **restart** เคลียร์ข้อมูลที่ป้อนเข้าไปเป็นคู่ทั้งหมด
2. **function** เป็น Mode ต่าง ๆ ซึ่งมีทั้งหมด 4 Mode
 - 2.1 Mode 1 ตั้งค่าจำนวนครั้งที่ฉีด
 - 2.2 Mode 2 ตั้งค่าเวลาในการฉีดแต่ละรอบ
 - 2.3 Mode 3 ควบคุมการทำงานแบบ Manual
 - 2.4 Mode 4 ทำงานโดย Mode Automatic
3. **enter** เข้าสู่ Mode ต่าง ๆ
4. **cancel** ออกจาก Mode ต่าง ๆ
5. **num+** เพิ่มค่าข้อมูล
6. **num-** ลดค่าข้อมูล
7. **clear** เคลียร์ข้อมูล เป็น 0
8. **speed motor** เพิ่มหรือลดความเร็วในการเคลื่อนที่ของหัวสเปรย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. **black light**เปิดไฟหน้าจอ

10. **cont rast**ปรับความเข้มตัวหนังสือบนหน้าจอ



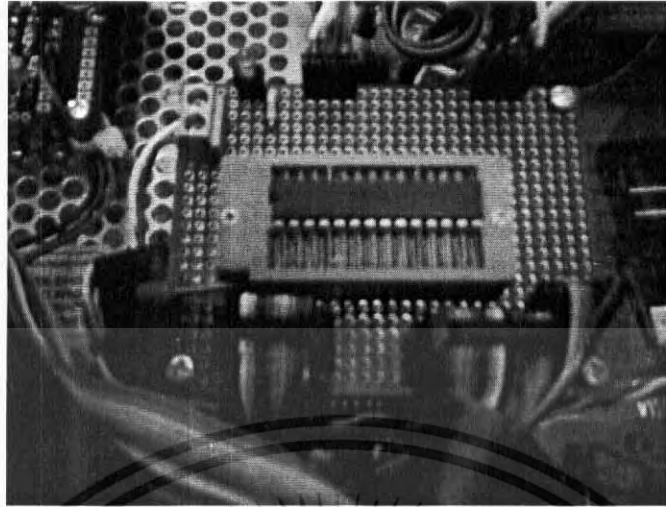
รูปที่ 4.14 วงจรภายในของภาคควบคุม

4.5.2 รูปแสดงวงจรภายในของภาคควบคุม

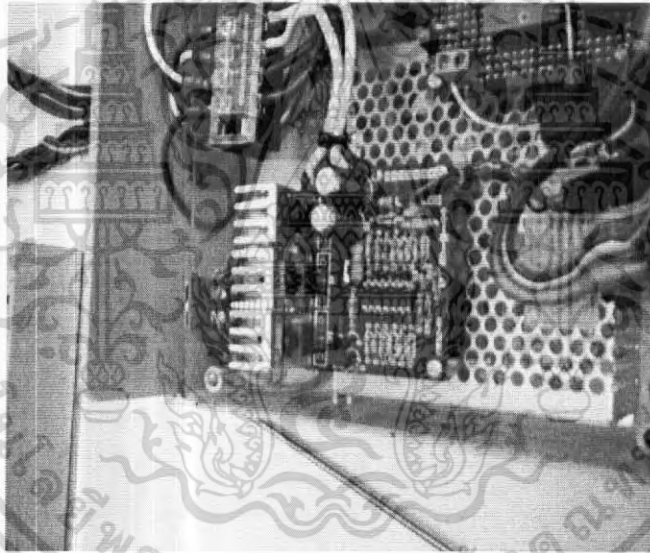
จากรูปที่ 4.14 แสดงให้เห็นวงจรภายในภาคควบคุม โดยมีวงจรต่าง ๆ ดังนี้

1. ภาคจ่ายไฟ เราจะใช้ไฟเลี้ยง 2 ชุด คือ 12 V กับ 5 V
2. ภาค CPU สำหรับควบคุมการทำงานสามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้โดยง่าย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

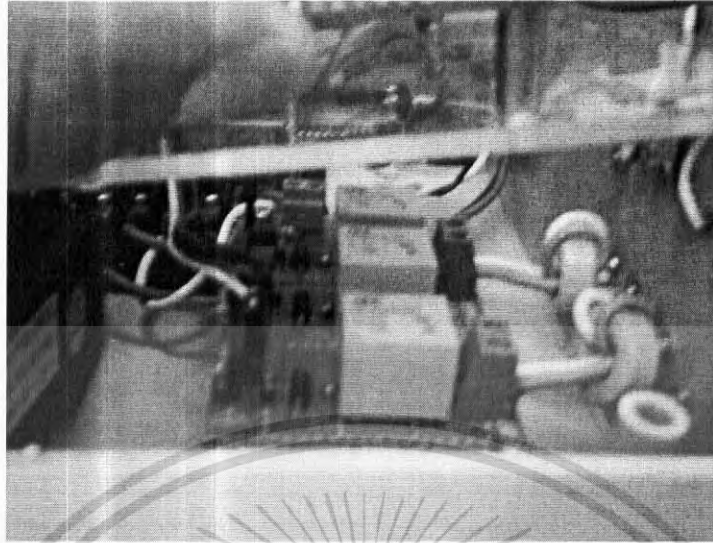


3. ภาค CPU สำหรับควบคุมการทำงานสามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไขได้โดยง่าย

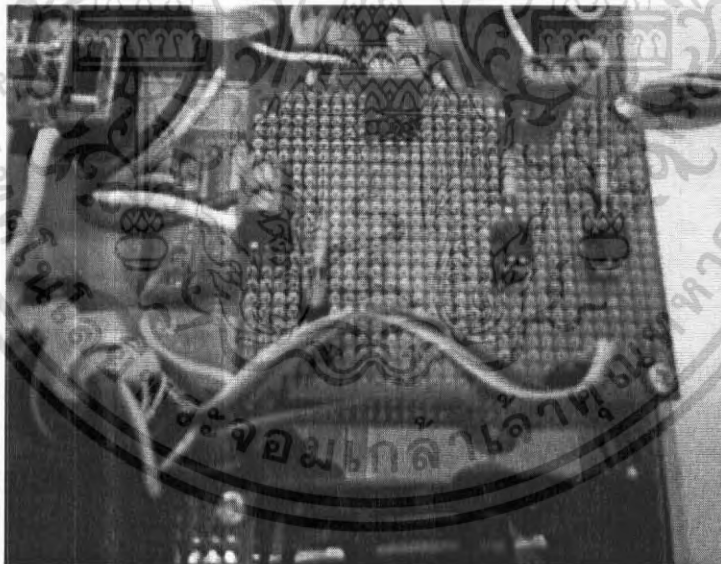


4. ภาคปรับความเร็วของมอเตอร์ให้ ได้ความเร็วตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



5. ภาคขั้วมอเตอร์ และ โซลีนอยด์โดยใช้รีเลย์ในการควบคุม



6. ภาคของการเชื่อมต่อโดยใช้ IC OPTO เชื่อมต่อระหว่าง CPU กับภาคต่าง ๆ เพื่อลดสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.6 การใช้งานหน้าจอ LCD

Welcome to
Automatic Spray

1. หน้าจอแรกจะปรากฏขึ้นเมื่อเปิดเครื่อง แล้วจะได้ยินเสียงคังยาวและเงียบ

Mode 1.
Setting Spray

2. เมื่อกดปุ่ม Function ก็จะเข้าสู่หน้าต่างของ Mode ที่ 1 ซึ่งใช้สำหรับตั้งค่าจำนวนการฉีด

Setting Spray
Press num **— —**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. หน้าจอตั้งค่าจำนวนการฉีดสามารถตั้งได้ 1-99 ครั้ง

Mode 2. Setting Timer

4. หน้าต่างของ Mode 2 จะเป็น โหมดที่ใช้ตั้งเวลาในการฉีดแต่ละครั้ง

Setting Timer
Settime = :

5. สามารถตั้งค่าได้ตั้งแต่ 1 วินาที – 1 ชั่วโมง

Mode 3. Manual Spray

6. หน้าต่างของ Mode 3 เป็น Mode ใช้สำหรับการทำงานในระบบ Manual

ON Spray = +
M.left = - M.right = 0

7. กดปุ่ม + เป็นการพ่นสาร ปุ่ม - ทำให้หัวสเปรย์เคลื่อนที่ไปข้างหน้า และ ปุ่ม 0 ให้กลับไปที่เดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Mode 4. Start Auto Spray

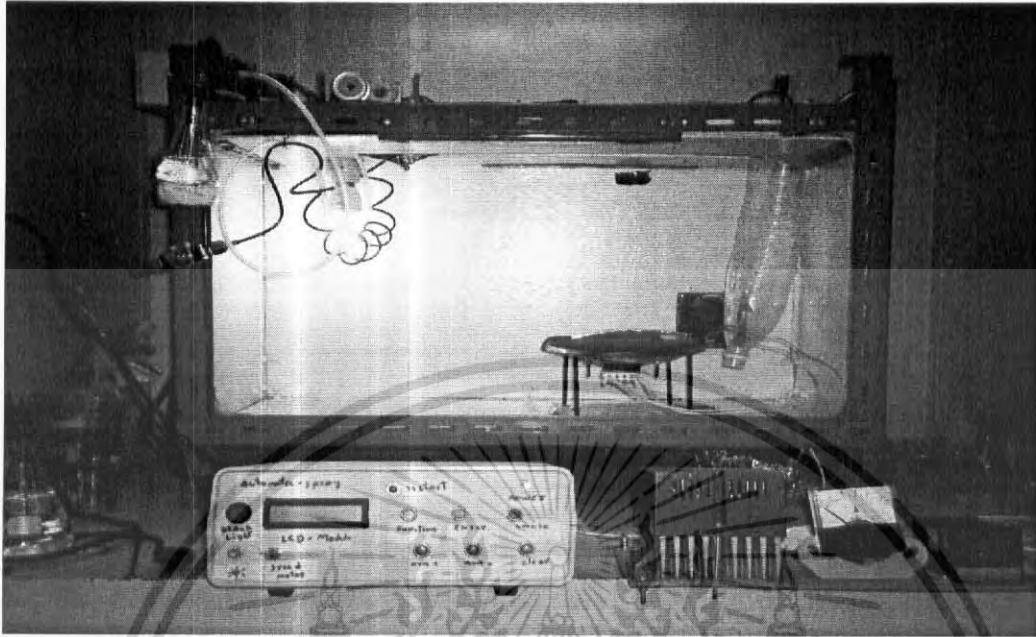
8. หน้าต่างของ Mode 4 เป็น Mode ใช้สำหรับการทำงานในระบบ Automatic

Spray = ___, Time = ___:___
Start = ENTER, Stop = Clear

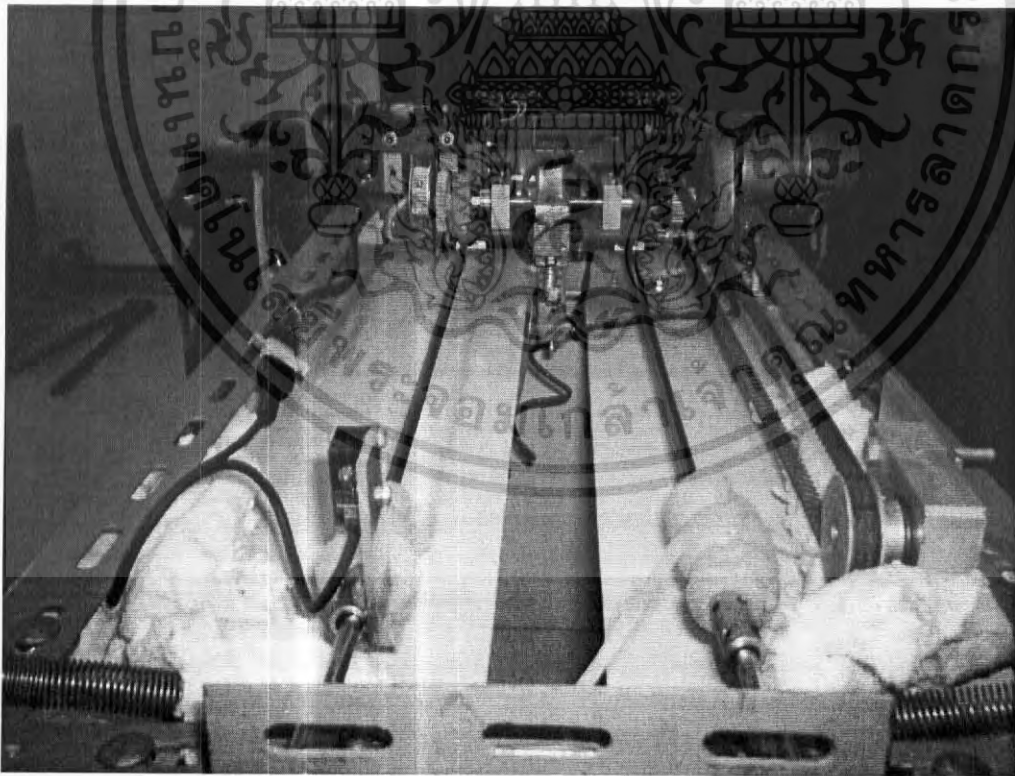
9. หน้าจอแสดงจำนวนครั้งและเวลาที่ตั้งเอาไว้

Spray = ___ Time = ___:___
S = ___, T = ___:___

10. หน้าจอแสดงสภาวะการทำงานของเครื่อง



รูปที่ 4.15 ภาพเครื่องที่อยู่ในสถานะพร้อมใช้งาน



รูปที่ 4.16 ภาพหัวฟันสารที่อยู่จุดเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 ภาพเครื่อง EVAP ที่ใช้ทำขั้วโลหะในระบบสุญญากาศ

จากรูปที่ 4.17 เมื่อได้ชิ้นงานที่ได้จาก Automatic Spray แล้วนำไปทำขั้วโลหะโดยใช้เครื่อง Evap



รูปที่ 4.18 ภาพ Chamber ที่ใช้ในการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

ผลการทดลอง

ในบทนี้จะอธิบายถึงผลการทดลองโดยใช้หัวสเปร์ยแบบต่างๆ โดยผลที่ได้จะอยู่ในรูป ความต้านทานไฟฟ้าและผลตอบสนองต่อแก๊ส LPG และ อากาศ ที่อุณหภูมิต่างๆ

5.1 ทำการทดสอบวัดผลกับกระบอกที่ทำกรพ่นทินออกไซด์ที่ได้จากเครื่องพ่นแอร์กัน

แผ่นที่ 1 ทำการพ่นสาร 10 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 340 องศา หัวฉีดตั้งตรงและมีการจ่ายสารออกมาเพียงเล็กน้อยได้เอามิเตอร์วัดความต้านทานพบว่ามีความต้านทานที่สูงจนเป็นอินฟินิตี้

แผ่นที่ 2 ได้ฉีดทำการพ่นสาร 10 ครั้ง ที่อุณหภูมิ 340 องศา หัวฉีดตั้งตรงและมีการจ่ายสารออกมา ปริมาณเท่ากับแผ่นแรกแต่มีวงของการกระจายสารมากกว่าแผ่นแรก และได้เอามิเตอร์พบว่ามีความต้านทานต่ำสุดที่วัดได้ 500-600 k

แผ่นที่ 3 ได้ทำการฉีดพ่นสาร 70 ครั้ง และหัวฉีดตั้งตรงวงของการกระจายสารแคบ มิเตอร์วัดพบว่ามีความต้านทานวัดได้ 17 และ 32 m แล้วแต่จุด

แผ่นที่ 4 ได้ทำการพ่นสารเคมี 60 ครั้ง โดยให้หัวเอียง 45 องศา เอามิเตอร์วัดพบว่ามีความต้านทานเพียงแค่ครั้งแผ่นจะพบว่าในการวัดทุกแผ่นนั้นค่าความต้านทานที่วัดได้จะไม่เท่ากันในแต่ละแผ่นและในการวัดที่แผ่นเดียวกันจะพบว่าค่าความต้านทานจะไม่เท่ากันในแต่ละจุดของการวัด ซึ่งอาจหมายความว่าสารเคมีที่พ่นลงมาที่กระบอกกระจายไม่ทั่วแผ่น

5.2 ทำการทดสอบวัดผลกับกระบอกที่ทำกรพ่นทินออกไซด์ที่ได้จากเครื่องพ่นแอร์บีต

- พ่นสารครั้งที่ 1 ใช้ SnCl₂ ปริมาณ 2.62 กรัม ผสมกับ ethemol ปริมาณ 100 มิลลิลิตร แล้วทำให้ ความร้อนกับกระบอกที่อุณหภูมิ 330 องศา ทำการพ่นสารลงไปทีกระบอกจำนวน 50 ครั้ง โดยแต่ละ ครั้งต้องรอให้อุณหภูมิกลับมาเท่ากับ อุณหภูมิตั้งต้น แล้วจึงทำการฉีดอีกครั้ง

- วัดผลที่ได้โดยใช้คิวิตอมมิเตอร์ปรากฏว่ามีความต้านทานที่สูงจนมิเตอร์ไม่สามารถแสดงค่าออกมา

- พ่นสารครั้งที่ 2 โดยลดปริมาณของ SnCl₂ ลงแต่ยังคงปริมาณของ ethemol และอุณหภูมิไว้ที่ 100 ml และ 330 องศา และลดฉีดสารที่จำนวน 40 ครั้ง

- วัดผลที่ได้ ปรากฏว่ามิเตอร์สามารถวัดค่าความต้านทานได้ค่าสูงสุด 3.1 m โอห์ม และวัดความต้านทานได้น้อยสุด 1M โอห์ม

- พ่นสารครั้งที่ 3 คงปริมาณของ SnCl₂ ไว้ที่ 2 กรัม แต่ลด ethemol ให้เหลือ 50 ml พ่นสาร จำนวน 50 ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วัดผลที่ได้ ปรากฏว่ามีค่าความต้านทานที่สูงนั้นคือมิเตอร์ไม่มีตัวเลขของค่าความต้านทานขึ้น
- ฟันสารครั้งที่ 4 โดยใช้เงื่อนไขเกี่ยวกับการฟันสารครั้งที่ 3 โดยเปลี่ยนแค่จำนวนครั้งในการฟัน โดยเพิ่มการฟันสาร 100 ครั้ง
 - วัดผลที่ได้ โดยค่าความต้านทานที่มิเตอร์วัดได้มีค่าประมาณ 20 M โอห์ม แต่ไม่ทำแผ่นเพราะรู้ได้จากการเอามิเตอร์สามารถวัดได้
 - การฟันสารครั้งที่ 5 ทดลองเพิ่มสาร SnCl₂ เป็น 5 กรัม ต่อ ethemol ปริมาณ 100 ml และให้ อุณหภูมิกับกระชก 330 องศา ทำการฟันสารจำนวน 5 ครั้ง
 - วัดผลที่ได้ ค่าความต้านทานสูงสุด 33 M โอห์ม และน้อยสุด 1.3 M โอห์ม
 - การฟันสารครั้งที่ 6 ใช้ SnCl₂ กับ ethemol เท่ากับการฟันครั้งที่ 5 แต่เปลี่ยนเงื่อนไขที่ อุณหภูมิโดยลดอุณหภูมิลงเหลือ 270 องศา บนกระชก แล้วทำการฟันสารจำนวน 1 ครั้ง
 - วัดผลที่ได้ ค่าความต้านทานสูงสุด 10 M โอห์ม และน้อยสุด 2 M โอห์ม
 - การฟันสารครั้งที่ 7 ใช้ เงื่อนไขเดิมกับการฟันสารครั้งที่ 6 ทุกประการแต่ให้การฟัน 1 ครั้ง และที่เดียวยาว ๆ อุณหภูมิลดลงเกือบ 50 องศา แล้วหยุดฟัน
 - วัดผลที่ได้ ปรากฏว่าไม่มีสภาวะการนำไฟฟ้าเลยคือวัดค่าความต้านทานไม่ได้เลย
 - การฟันสารครั้งที่ 8 ทดลองเพิ่มสาร SnCl₂ เป็น 5 กรัม ต่อ ethemol ปริมาณ 100 ml และให้ อุณหภูมิกับกระชก 270 องศา ทำการฟันสารจำนวน 2 ครั้ง
 - วัดผลที่ได้ ค่าความต้านทานสูงสุด 248 K โอห์ม และน้อยสุด 48 K โอห์ม
 - การฟันสารครั้งที่ 9 ทำเหมือนกับครั้งที่ 8 ทุกประการแต่ผลออกมามีค่าความต้านทานไม่ทั่วแผ่น
 - การฟันสารครั้งที่ 10 ใช้ SnCl₂ ปริมาณ 5 กรัม ต่อ ethemol ปริมาณ 100 ml และให้ อุณหภูมิ กระชก 270 องศา ทำการฟันจำนวน 5 ครั้ง
 - วัดผลที่ได้ ค่าความต้านทานสูงสุด 360 K โอห์ม และน้อยสุด 70 K โอห์ม
 - การฟันสารครั้งที่ 11 ใช้ SnCl₂ ปริมาณ 5 กรัม ต่อ ethemol ปริมาณ 100 ml และให้ อุณหภูมิ กระชก 270 องศา ทำการฟันจำนวน 50 ครั้ง
 - วัดผลที่ได้ ค่าความต้านทานสูงสุด 809 K โอห์ม และน้อยสุด 2 K โอห์ม

การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิสารและจำนวนครั้งในการฟันของหัวฟันที่มีความละเอียดสูงสรุปได้โดยตาราง

ตารางที่ 5.1 แสดงทดสอบอุณหภูมิ ปริมาณและจำนวนครั้งในการพ่นสาร

	SnCl ₂ : ethernol (g) (ml)	อุณหภูมิ (c)	จำนวนการพ่น สาร(ครั้ง)	ความต้านทาน (โอมห์) (มาก) : (น้อย)
1	2.62:100	330	50	ไม่แสดงผล
2	2:100	330	40	3.7M :1M
3	2:100	330	50	ไม่แสดงผล
4	2:100	330	100	20M(ไม่ทั่วแผ่น)
5	5:100	330	5	33M:1.3M
6	5:100	270	1	10M:2M
7	5:100	270	1	ไม่แสดงผล
8	5:100	270	2	248k:43k
9	5:100	270	2	(ไม่ทั่วแผ่น)
10	5:100	270	5	360k:70k
11	5:100	270	50	809k:2k

5.3 ทำการทดสอบวัดผลกับกระจกที่ทำการพ่นทินออกไซด์ที่ได้จากเครื่องพ่นAUTO SPRAY

- พ่นสารครั้งที่ 1.1 ใช้ SnCl₂ ปริมาณ 4.014กรัม ผสมกับethernol ปริมาณ 400 มิลลิลิตร แล้วทำให้ความร้อนกับกระจกที่อุณหภูมิ 300 องศา ทำการพ่นสารลงไปทีกระจกจำนวน 5 ครั้ง โดยการฉีดสารแต่ละครั้งเครื่องจะต้องรอให้อุณหภูมิกลับมาเท่ากับ อุณหภูมิตั้งต้น แล้วจึงทำการฉีดอีกครั้ง

- วัดผลที่ได้โดยใช้ดิจิตอลมิเตอร์ปรากฏว่ามีความต้านทานที่สูงจนมิเตอร์ไม่สามารถแสดงค่าออกมา

- พ่นสารครั้งที่ 1.2 ใช้ SnCl₂ ปริมาณ 4.014กรัม ผสมกับethernol ปริมาณ 400 มิลลิลิตร แล้วทำให้ความร้อนกับกระจกที่อุณหภูมิ 300 องศา ทำการพ่นสารลงไปทีกระจกจำนวน 25 ครั้ง

- วัดผลที่ได้ ปรากฏว่ามีเตอร์สามารถวัดค่าความต้านทานได้ 1.50M โอมห์

- พ่นสารครั้งที่ 1.3 คงปริมาณของ SnCl₂ ไว้ที่ 4.014 กรัม แต่เพิ่มจำนวนครั้งฉีด 50 ครั้ง

- วัดผลที่ได้ ปรากฏว่ามีเตอร์สามารถวัดค่าความต้านทานได้ 1.620M โอมห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ฟ่นสารครั้งที่ 1.4 โดยใช้เงื่อนไขเกี่ยวกับการฟ่นสารครั้งที่ 1.3 โดยเปลี่ยนแต่จำนวนครั้งในการฟ่น โดยเพิ่มการฟ่นสาร 100 ครั้ง
 - วัดผลที่ได้ โดยค่าความต้านทานที่มีเตอร์วัดได้มีค่าประมาณ 58.9 โอห์ม
 - การฟ่นสารครั้งที่ 2.1 ทดลองเพิ่มสาร Sncl₂ เป็น 8.026 กรัม ต่อethemol ปริมาณ 400 ml และให้อุณหภูมิกับกระบอก 300 องศา ทำการฟ่นสารจำนวน 5 ครั้ง
 - วัดผลที่ได้ ค่าความต้านทานไม่แสดงผลที่มีเตอร์
 - การฟ่นสารครั้งที่ 2.2 ใช้ Sncl₂ กับ ethemol เท่ากับการฟ่นครั้งที่ 2.1 แต่เปลี่ยนเงื่อนไขที่จำนวนครั้งโดยเพิ่มเป็น 25 ครั้ง
 - วัดผลที่ได้ ค่าความต้านทาน 53.9โอห์ม
 - การฟ่นสารครั้งที่ 2.3 ใช้ เงื่อนไขเดิมกับการฟ่นสารครั้งที่ 2.2 ทุกประการแต่ให้การฟ่น 50 ครั้ง
 - วัดผลที่ได้ ค่าความต้านทาน 47.6โอห์ม
 - การฟ่นสารครั้งที่ 2.4 ใช้ เงื่อนไขเดิมกับการฟ่นสารครั้งที่ 2.3 ทุกประการแต่ให้การฟ่น 100 ครั้ง
 - วัดผลที่ได้ ค่าความต้านทาน 34.7โอห์ม
 - การฟ่นสารครั้งที่ 3.1 ทดลองเพิ่มสาร Sncl₂ เป็น 1.055 กรัม ต่อethemol ปริมาณ 400 ml และให้อุณหภูมิกับกระบอก 300 องศา ทำการฟ่นสารจำนวน 5 ครั้ง
 - วัดผลที่ได้ ค่าความต้านทานไม่แสดงผลที่มีเตอร์
 - การฟ่นสารครั้งที่ 3.2 ใช้ Sncl₂ กับ ethemol เท่ากับการฟ่นครั้งที่ 3.1 แต่เปลี่ยนเงื่อนไขที่จำนวนครั้งโดยเพิ่มเป็น 25 ครั้ง
 - วัดผลที่ได้ ค่าความต้านทานไม่แสดงผลที่มีเตอร์
 - การฟ่นสารครั้งที่ 3.3 ใช้ เงื่อนไขเดิมกับการฟ่นสารครั้งที่ 3.2 ทุกประการแต่ให้การฟ่น 50 ครั้ง
 - วัดผลที่ได้ ค่าความต้านทาน 7.2Mโอห์ม
- การเปลี่ยนแปลงสารและจำนวนครั้งในการฟ่น โดยใช้เครื่องAUTO SPRAYสรุปได้โดยตาราง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

**ตาราง 5.2 แสดงผลทดสอบอุณหภูมิ ปริมาณและจำนวนครั้งในการพ่นสารโดยใช้
เครื่อง AUTO spray**

ครั้งที่	Sncl ₂ : ethemol (g) (ml)	อุณหภูมิ (c)	จำนวนการพ่น สาร(ครั้ง)	ความต้านทาน(โอห์ม)
1.1	4.014:400	300	5	-
1.2	4.014:400	300	25	1.50M
1.3	4.014:400	300	50	1.620k
1.4	4.014:400	300	100	58.9
2.1	8.026:400	300	5	-
2.2	8.026:400	300	25	53.9
2.3	8.026:400	300	50	47.6
2.4	8.026:400	300	100	25.9
3.1	1.055:500	300	5	-
3.2	1.055:400	300	25	-
3.3	1.055:400	300	50	7.2M

โดยได้นำเงื่อนไขที่มีค่าความต้านทานที่สูงทั้งสามเงื่อนไขมาทำการวัดหาค่าการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีแก๊สเข้ามาในระบบ ณ ที่อุณหภูมิปกติ (อุณหภูมิห้อง) และที่อุณหภูมิ 300 องศา แล้วนำค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงมาพลอตกราฟเทียบกับแกนเวลาและหาค่าความไวในการตรวจจับแก๊สของ SENSER

เงื่อนไขที่ 2.1

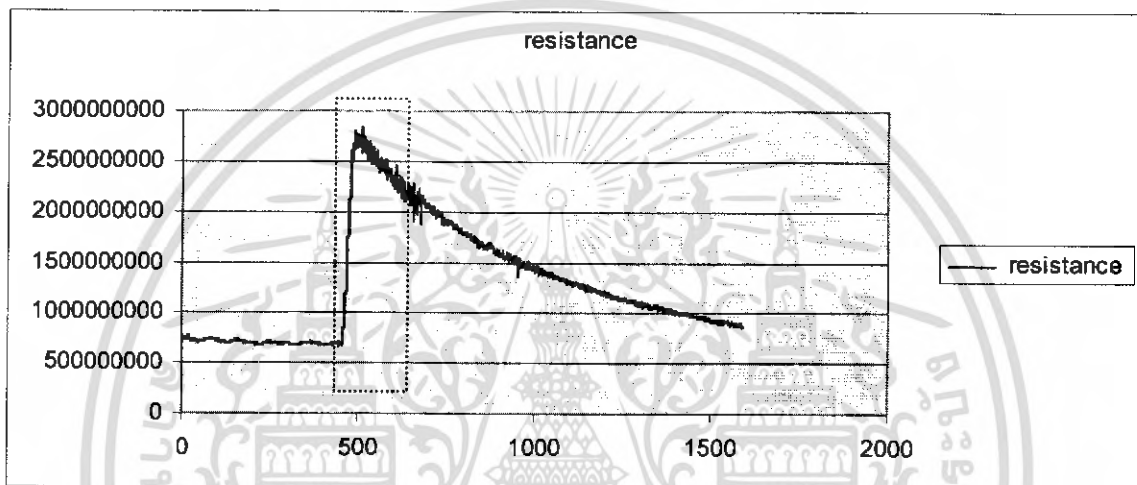
อัตราส่วนการปรับเปลี่ยน

SnCl₂ : ethemol 8.026(g) : 400(ml)

อุณหภูมิ 300 องศา

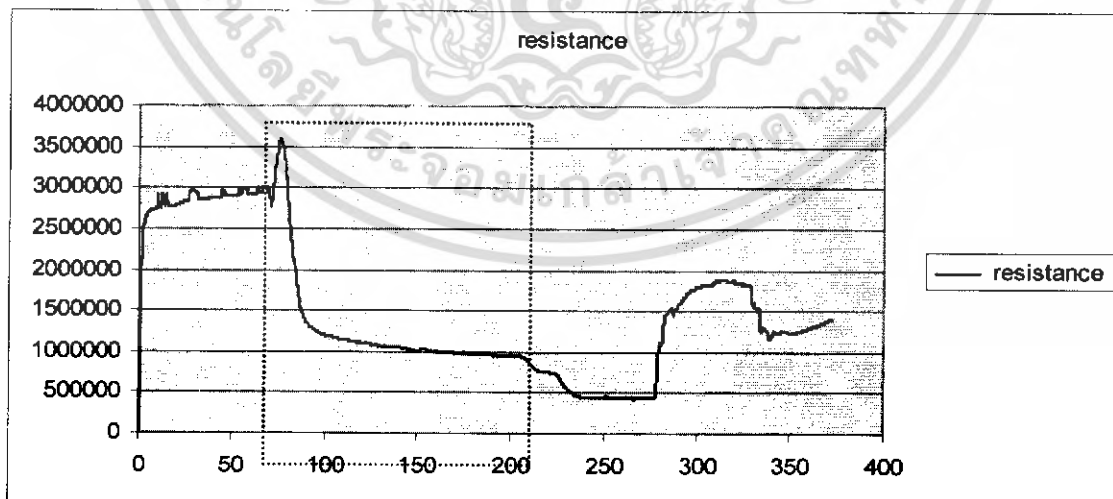
จำนวนครั้งในการพ่น 5 ครั้ง

ความถี่ในการพ่น 20 sec



รูปที่ 5.3

ทำการวัดที่อุณหภูมิที่ 27 องศา
โพล์แก๊สที่เวลา 500 SEC - 600 SEC



รูปที่ 5.4

ทำการวัดที่อุณหภูมิที่ 300 องศา
โพล์แก๊สที่เวลา 75 SEC - 200 SEC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เงื่อนไขที่ 3.1

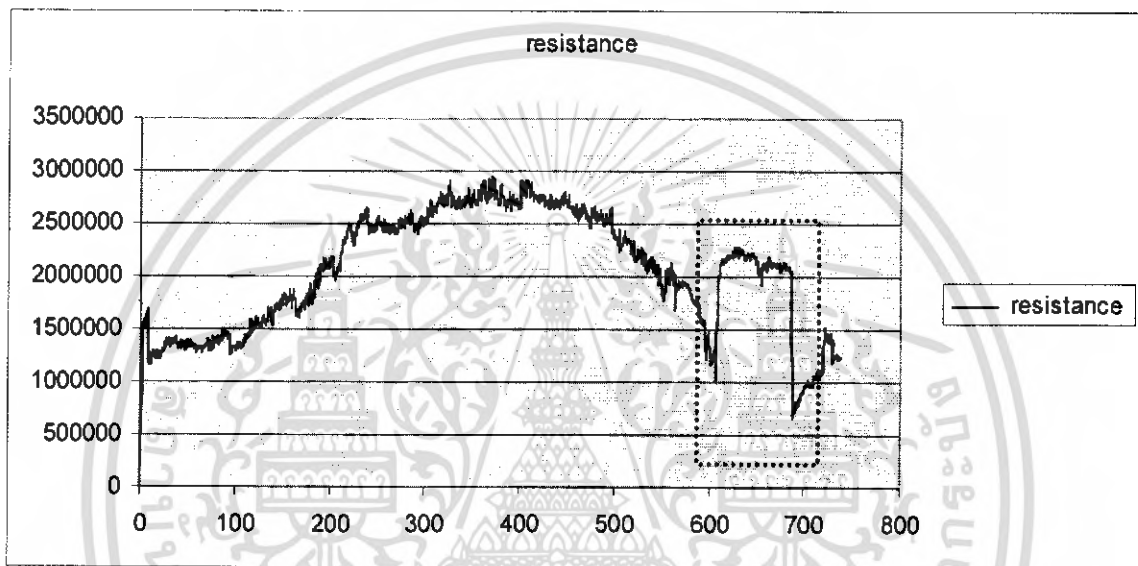
อัตราส่วนการปรับเปลี่ยน

SnCl₂ : ethernol 1.055(g) : 400(ml)

อุณหภูมิ 300 องศา

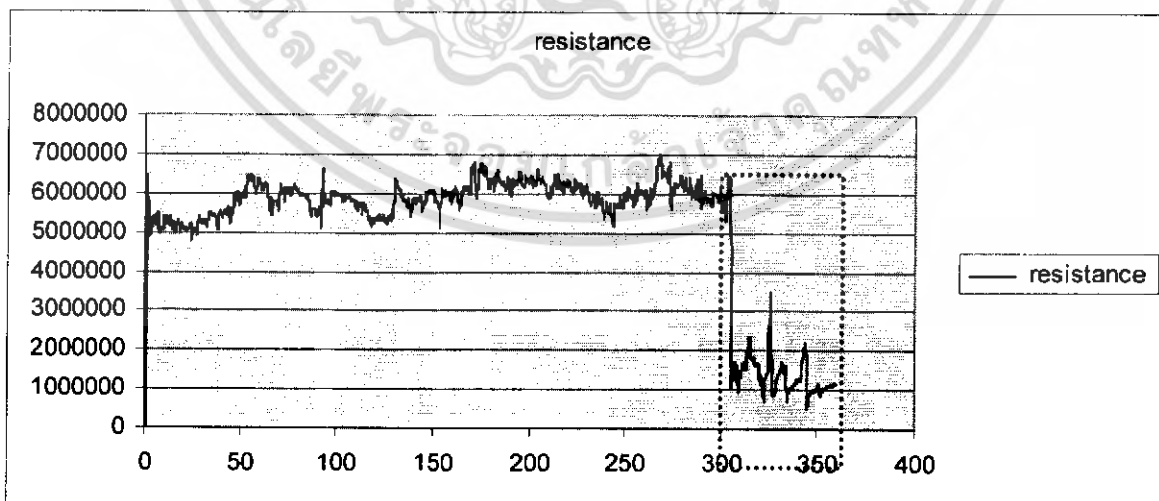
จำนวนครั้งในการพ่น 5 ครั้ง

ความถี่ในการพ่น 20 sec



รูปที่ 5.5

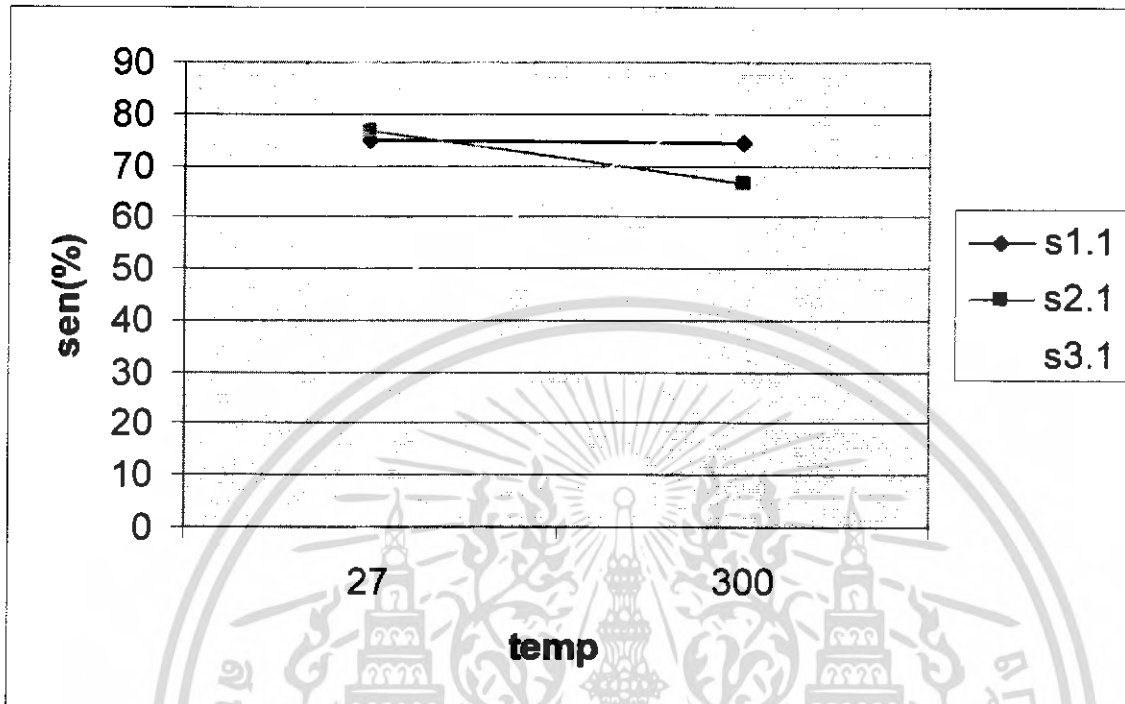
ทำการวัดที่อุณหภูมิที่ 27 องศา
โพล์แก๊สที่เวลา 600 sec – 700 sec



รูปที่ 5.6

ทำการวัดที่อุณหภูมิที่ 300 องศา
โพล์แก๊สที่เวลา 300 sec – 350 sec

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7

ค่าความไวเมื่อเทียบกับอุณหภูมิ

5.4 สรุปผลการทดลอง

- ทำการฉีดสารลงบนกระจกทดสอบ โดยเครื่อง AUTO SPARY โดยทำการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไข อุณหภูมิ ปริมาณสาร จำนวนครั้งในการฉีดสารปรากฏว่าละอองสารมีการกระจายตัวทั่วทั้งแผ่น
- นำแผ่นกระจกที่ได้จากการฉีดสารโดยใช้เครื่องไปทำการใส่ขั้วโลหะโดยใช้เครื่อง vacuum evaporation ปรากฏว่าค่าความต้องการที่วัดได้จากดิจิตอลมิเตอร์จะมีค่าความต้านทานลดลง
- นำกระจกที่ได้ทำขั้วโลหะแล้วไปทดสอบในการตรวจจับแก๊ส LPG โดยใช้ source meter ในการวัดปรากฏว่าที่อุณหภูมิห้องเมื่อโพล์แก๊สเข้าไปค่าความต้านทานจะเพิ่มขึ้น แต่เมื่อมีการให้ความร้อนกับ senser ค่าความต้านทานที่วัดได้จะลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.5 วิจารณ์ผลการทดลอง

ในการทำการวัดหาการตอบสนองของหัวSensorได้ใช้ chamber ที่มีขนาดใหญ่ทำให้การไหลแก๊สแต่ละครั้งต้องใช้ปริมาตรแก๊สที่สูงและสายไฟภายในchamber ที่ใช้วัดค่าความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงของ Sensor เกิดการละลายของฉนวนที่หุ้ม ฌ ที่มีอุณหภูมิสูงเป็นเวลานานทำให้ขั้วโลหะภายในเกิดการ Short ทำให้การวัดมีค่าความผิดพลาดขึ้น โดยจำเป็นต้องเริ่มต้นทำการวัดใหม่เนื่องจากต้องถอดอุปกรณ์ออกมาแก้ไขแล้วจึงลงมือวัด

5.6 แนวทางการทดลอง

จากการที่ดูกราฟความไวในการตรวจจับแก๊สควรเอาเงื่อนไขที่ 1.1 มาใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาเนื่องจากสามารถตอบสนองการตรวจจับแก๊สได้ดีทั้งอุณหภูมิ300องศา และที่อุณหภูมิห้อง โดยถ้าสามารถพัฒนาให้ใช้ได้ทั้งอุณหภูมิห้องได้จะทำให้ประหยัดพลังงานที่ใช้ทำให้เกิดความร้อน

เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Iijima, Nature (London) 354 (1991) 56-58
- [2] " ภาษา C และการประยุกต์" <http://www.student.nu.ac.th/program /lnn.doc>
- [4] "Psoc Desiner", <http://students.chem.tue.nl/ifp03/synthesis.html>
- [10] สมนึก บุญพาไสว, "นาโนเทคโนโลยีในศตวรรษที่ 21",
<http://www.ipst.ac.th/design/document/21st-century-technology.pdf>
- [11] "เทคโนโลยีสารกึ่งตัวนำและวงจรรวม", <http://www.student.nu.ac.th/electronic/lnn.doc>
- [13] การวิเคราะห์และทดสอบเซนเซอร์, <http://www.pcd.go.th>



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้