

การศึกษาคุณสมบัติการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ด้วยเซ็นเซอร์ชนิดซิลิคอนรูพรุนชนิด P

A STUDY OF ALCOHOL VAPOR DETECTION CHARACTERISTICS BY
A P-TYPE POROUS SILICON

ชินรัตน์ อ่อนหวาน
CHINARAT ONWAN

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของงานศึกษาค้นคว้าหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไมโครอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2552

KMITL-2009-EN-M-043-009

การศึกษาคุณสมบัติการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ของชั้นพอร์ซซิลิคอนชนิดพี

A STUDY OF ALCOHOL VAPOR DETECTION CHARACTERISTICS BY
A P-TYPE POROUS SILICON



T105113

ชินรัตน์ อ่อนหวาน

CHINARAT ONWAN

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 105113.1
วันเดือนปี 16 พ.ย. 2552

b. 1
i.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไมโครอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2552

KMITL-2009-EN-M-043-009

**A STUDY OF ALCOHOL VAPOR DETECTION CHARACTERISTICS BY
A P-TYPE POROUS SILICON**

CHINARAT ONWAN

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN MICROELECTRONICS ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2009

KMITL-2009-EN-M-043-009

COPYRIGHT 2009

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาคุณสมบัติการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ของชั้นพอร์ซซิลิคอนชนิดพี

Thesis Title A Study of Alcohol Vapor Detection Characteristics by a p-type Porous Silicon

นักศึกษา นางสาวชินรัตน์ อ่อนหวาน

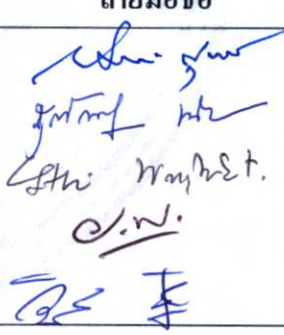
รหัสประจำตัว 49061356

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไมโครอิเล็กทรอนิกส์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.วิสุทธิ จูติรุ่งเรือง

หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2009-EN-M-043-009

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
รศ.ดร.สมเกียรติ	ศุภเดช	
ผศ.ดร.สุรศักดิ์	เนียมเจริญ	
ดร.โยธิน	วงศ์ประเสริฐ	
ดร.อัมพร	โพธิ์ไย	
รศ.ดร.วิสุทธิ	จูติรุ่งเรือง	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันพฤหัสบดีที่ 29 มกราคม พ.ศ. 2552 เวลา 11.30-13.30 น.

สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 3 ห้องประชุม 2

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร.กอบชัย เดชหาญ)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 29 มกราคม พ.ศ. 2552

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาคุณสมบัติการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ของ ชั้นพอร์สซิลิโคนชนิดพี
นักศึกษา	นางสาวชินรัตน์ อ่อนหวาน
รหัสนักศึกษา	49061356
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรม ไมโครอิเล็กทรอนิกส์
พ.ศ.	2552
อาจารย์ที่ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.วิสุทธิ ฐิติรุ่งเรือง

บทคัดย่อ

ในวิทยานิพนธ์นี้กล่าวถึงการศึกษาสมบัติการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ของชั้นพอร์สซิลิโคนชนิดพี โดยทำการสร้างชั้นพอร์สซิลิโคนด้วยวิธีแอนโนไดซ์เซชัน โดยใช้แผ่นซิลิโคนชนิดพีระนาบ (111) ไม่ขัดผิวหน้ามีความต้านทานแผ่น 5.5 โอห์ม-เซนติเมตร ความหนา 360 ไมโครเมตร โดยทำการหาเงื่อนไขในการแอนโนไดซ์เซชันในอุปกรณ์ตรวจจับที่มีระยะห่างระหว่างขั้วอะลูมิเนียมที่ 500 ไมโครเมตร ทำการศึกษาค่าความหนาแน่นของกระแสในช่วง 5-25 mA/cm² ใช้เวลา 10 นาที เพื่อทำการศึกษาโครงสร้างและเงื่อนไขที่ทำให้เกิดค่าการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าต่อไอแอลกอฮอล์สูงสุด จากนั้นนำค่าความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ได้มาศึกษาผลของเวลาในการแอนโนไดซ์เซชันในช่วง 5-10 นาที เพื่อศึกษาโครงสร้างและหาเงื่อนไขที่ให้ค่าการตอบสนองของกระแสสูงสุด เพื่อช่วยในการลดผลกระทบจากสัญญาณรบกวนที่มีผลค่าการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าต่อไอแอลกอฮอล์ในอุปกรณ์ตรวจจับ นำเงื่อนไขที่ได้ทำการศึกษาระยะห่างระหว่างขั้วในช่วง 500-2500 ไมโครเมตร เพื่อหาระยะที่เหมาะสมในการดูดซับไอแอลกอฮอล์โดยพิจารณาจากค่าการตอบสนองของกระแสที่เพิ่มขึ้น จากนั้นทำการสมบัติการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ โดยทำการศึกษาอัตราการไหลไอแอลกอฮอล์ในช่วง 1-9 ลิตร/นาที่ , ศึกษาความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในช่วง 100-400 mg% , ศึกษาไอของสารเคมีต่างชนิด , ความไวในการตอบสนองและเวลาในการตอบสนองของอุปกรณ์ตรวจจับ

Thesis Title	A STUDY OF ALCOHOL VAPOR DETECTION CHARACTERISTIC BY P-TYPE POROUS SILICON
Student	Miss Chinarat Onwan
Student ID.	49061356
Degree	Master of Engineering
Program	Microelectronic Engineering
Year	2009
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr. Wisut Titiroongruang

ABSTRACT

This thesis presents an investigation of p-type porous silicon (p-PS) layer in alcohol vapor sensor, and also uses a p-type silicon wafer which has a volume resistivity of $5.5 \Omega\text{-cm}$ the orientation is (111) with a thickness of 360 micro-m. The electrode was prepared by evaporator deposited aluminum film on porous silicon layer with electrode gap is 500 micro-m. Suitable conditions for anodization process by considering the anodization current density of 5-25 mA/cm² fix etching time of 10 min. For investigation the structure and investigation the highest currents response with the alcohol vapor from each conditions after that bring the suitable condition of anodization current density to study the effect on anodization time of 5-25 mins. For investigation the structure and investigation a suitable anodization time condition that made the highest currents response with the alcohol vapor result in the effect of noise were reduced while measuring the current response. Then vary the electrode gap between 500-2500 micro-m for studied the range for absorb alcohol vapor by considering the increasing of current response. Finally the good condition was studied electrical characteristics of sensor by measuring current response when varying flow rate of alcohol vapor between 1 to 9 l/min, difference alcohol vapor concentration in range of 100-400 mg% and difference chemical vapor elements for measuring response time and sensitivity of the sensor.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สามารถสำเร็จลงได้เนื่องจากการดูแลและความกรุณาของอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.วิสุทธิ์ ฐิตรุ่งเรือง ในการวางแนวทางการทำวิจัยพร้อมทั้งให้คำปรึกษาหาทางแก้ไข ปัญหาในส่วนที่มีการติดขัดให้สำเร็จลุล่วงไปได้เป็นอย่างดี จนสำเร็จตามวัตถุประสงค์ที่ได้วางไว้ อย่างราบรื่นตามกรอบเวลาที่ได้กำหนด จึงต้องขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์เป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ ผศ.ดร. สุรศักดิ์ เนียมเจริญ ที่ให้ความอนุเคราะห์สนับสนุนเครื่องมือในการวัดผลการทดลอง พร้อมทั้งโปรแกรมที่ใช้ในการวัดผลการทดลอง จนทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้

ขอขอบคุณ คุณนรินทร์ อติวงศ์แสงทอง เจ้าหน้าที่ศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ ที่ให้คำแนะนำ ความรู้ ช่วยแก้ปัญหา และสนับสนุนอุปกรณ์ในการสร้างอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ในงานวิจัย เล่มนี้ อันเป็นประโยชน์ต่องานวิจัยเป็นอย่างสูง

ขอขอบคุณ คุณอภิรักษ์ ผันเขียว จากศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ ที่ช่วยทำการ วัดผลจากเครื่อง SEM

ขอขอบคุณ บริษัท EIC ที่ช่วยในการตัดแผ่นซิลิคอนด้วยเครื่อง SAW

ขอขอบคุณ Lab Photovoltaic คณะวิทยาศาสตร์ ที่ช่วยอนุเคราะห์สารเคมี NaOH

ขอขอบคุณ คุณสรุติ ไพไหล ที่ให้ความช่วยเหลือและแนะนำแนวคิดในงานวิจัยมาโดยตลอด รวมถึงเป็นกำลังใจที่สำคัญที่ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงเป็นอย่างดี

ขอขอบคุณอาจารย์ เจ้าหน้าที่ และเพื่อนพี่น้องในศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ทุกท่าน ที่ให้ความช่วยเหลือ คำแนะนำอันเป็นประโยชน์

ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย ที่ให้งบประมาณอุดหนุนการวิจัยสำหรับสนับสนุนการทำ วิทยานิพนธ์ ประจำปีการศึกษา 2551

สุดท้ายต้องขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่ง เป็นผู้ให้การ สนับสนุนเงินทุนและเป็นกำลังใจที่สำคัญที่สุดทางด้านการศึกษามาโดยตลอด

ชินรัตน์ อ่อนหวาน

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	IX
สารบัญรูป.....	X
รายการคำย่อ.....	XVIII
รายการสัญลักษณ์.....	XIX
รายการคำศัพท์เทคนิค.....	XX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 สมมติฐานของงานวิจัย.....	2
1.4 ทฤษฎีของงานวิจัย.....	3
1.5 ขอบเขตการวิจัย.....	3
1.6 ขั้นตอนของการศึกษา.....	3
บทที่ 2 พอร์สซิลิคอน.....	5
2.1 ทฤษฎีพอร์สซิลิคอน.....	5
2.1.1 โครงสร้างของพอร์สซิลิคอน.....	5
2.1.2 การแบ่งประเภทของพอร์สซิลิคอน.....	6
2.1.3 ลักษณะแถบพลังงานของพอร์สซิลิคอน.....	8
2.2 เทคนิคการสร้างพอร์สซิลิคอน.....	11
2.2.1 การสร้างพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการกัดแบบข้อมติ.....	11
2.1.2 การสร้างพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการกัดทางไฟฟ้าเคมี.....	12
2.3 เซลล์ไฟฟ้าเคมี.....	14
2.3.1 ลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้าภายในเซลล์ไฟฟ้าเคมี.....	15

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.2 ลักษณะแถบพลังงานที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างแผ่นซิลิคอนกับ สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก.....	19
2.3.3 การกระจายตัวของศักดาไฟฟ้าภายในเซลล์ไฟฟ้าเคมี.....	20
2.4 กลไกในการเกิดพอร์สซิลิคอน.....	22
2.4.1 ปฏิกิริยาเคมีในการกัดบริเวณผิวของแผ่นซิลิคอน.....	22
2.4.2 การเกิดรูพรุนของพอร์สซิลิคอน	24
2.4.3 กลไกในการหยุดกัดโครงสร้างของพอร์สซิลิคอน.....	28
2.5 ความพรุนของพอร์สซิลิคอน.....	31
2.6 พฤติกรรมทางแสง.....	33
2.6.1 พฤติกรรมทางแสงของสารกึ่งตัวนำ.....	33
2.6.2 พฤติกรรมทางแสงของซิลิคอน.....	38
2.6.3 พฤติกรรมทางแสงของพอร์สซิลิคอน.....	41
บทที่ 3 หลักการตรวจจับ ไอแอลกอฮอล์ของชั้นพอร์สซิลิคอน.....	43
3.1 หลักการวัดระดับแอลกอฮอล์ในเลือดโดยวิธีเป่าลมหายใจ.....	43
3.1.1 ระดับอันตรายของแอลกอฮอล์สำหรับร่างกาย.....	43
3.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อระดับแอลกอฮอล์ในเลือด.....	45
3.1.3 แอลกอฮอล์ในลมหายใจ.....	46
3.1.4 หน่วยวัดปริมาณแอลกอฮอล์.....	47
3.1.5 หลักการของเครื่องวัดระดับแอลกอฮอล์ในเลือด โดยวิธีการเป่าลมหายใจ.....	49
3.1.5.1 ตัวตรวจจับ (Detector) ต่างๆ.....	50
3.1.5.2 การวัดปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือด โดยใช้เครื่องตรวจวัด ระดับแอลกอฮอล์ในเลือด โดยวิธีการเป่าลมหายใจ.....	52
3.1.6 กฎหมาย(ข้อบังคับ)ที่กำหนดเกี่ยวกับระดับของแอลกอฮอล์.....	53
3.2 หลักการตรวจจับ ไอแอลกอฮอล์ของชั้นพอร์สซิลิคอน.....	55
3.2.1 หลักการดูดซับและควบแน่นในรูพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอน.....	55
3.2.2 หลักการเหนี่ยวนำพาหะบริเวณผิวและการนำไฟฟ้าของชั้นพอร์สซิลิคอน.....	59

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 กระบวนการสร้างและเครื่องมือที่ใช้ในการวัด

4.1 กระบวนการสร้าง.....	64
4.1.1 การสร้างพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการกัดทางไฟฟ้าเคมี.....	64
4.1.2 การสร้างอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอน.....	65
4.2 เทคนิคและเครื่องมือที่ใช้ในการวัด.....	68
4.2.1 เทคนิคการหาความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอน.....	68
4.2.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	68
4.2.3 ชุดเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ได้จาก การตรวจจับไอแอลกอฮอล์.....	69

บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง

5.1 การทดลองเพื่อศึกษาผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า ในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอน.....	71
5.1.1 ผลการทดลองศึกษาโครงสร้างของชั้นพอร์สซิลิคอนด้วยเครื่อง SEM	
5.1.1.1 ผลการทดลองเพื่อศึกษาผิวหน้าของชั้นพอร์สซิลิคอน.....	71
5.1.1.2 ผลการทดลองเพื่อศึกษาความลึกของชั้นพอร์สซิลิคอน.....	74
5.1.2 การทดลองเพื่อศึกษาผลของความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนจาก เทคนิคการหาความพรุนด้วยการคำนวณ.....	77
5.1.3 การศึกษาการเรืองแสงของชั้นพอร์สซิลิคอนเมื่อทำการฉายแสงจาก หลอดแบล็คไลท์.....	78
5.1.4 การศึกษาผลของความต้านทานของชั้นพอร์สซิลิคอนต่อ ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้า ในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอน.....	80
5.2 การทดลองเพื่อศึกษาผลของเวลาในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอน.....	81
5.2.1 ผลการทดลองศึกษาโครงสร้างของชั้นพอร์สซิลิคอนด้วยเครื่อง SEM.....	81
5.2.1.1 ผลการทดลองเพื่อศึกษาความลึกของชั้นพอร์สซิลิคอน.....	81
5.2.2 การทดลองเพื่อศึกษาผลของความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนจาก เทคนิคการหา พรุณด้วยการคำนวณ.....	84

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2.3 การศึกษาการเรียงแสงของชั้นพอร์สซิลิคอนเมื่อทำการฉายแสง จากหลอดแบล็คไลท์.....	85
5.2.4 การศึกษาผลของความต้านทานของชั้นพอร์สซิลิคอนต่อเวลาใน การสร้างชั้นพอร์สซิลิคอน.....	87
5.3 การทดลองเพื่อศึกษาผลของชั้นพอร์สซิลิคอนในอุปกรณ์ตรวจจับ ไอแอลกอสอลต์.....	88
5.3.1 การทดลองเพื่อศึกษาผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการ แอนโนไดซ์เซชันต่ออุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอสอลต์.....	91
5.3.2 การทดลองเพื่อศึกษาผลของเวลาในการแอนโนไดซ์เซชันต่ออุปกรณ์ ตรวจจับ ไอแอลกอสอลต์.....	97
5.4 การทดลองเพื่อศึกษาระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าของอุปกรณ์ ตรวจจับไอแอลกอสอลต์โดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอน.....	103
5.4.1 การทดลองศึกษาผลของระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าต่อค่าการตอบสนอง ของกระแสไฟฟ้าในอุปกรณ์ตรวจจับ.....	104
5.5 การทดลองใช้ชั้นพอร์สซิลิคอนเป็นอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอสอลต์.....	109
5.5.1 การทดลองเพื่อศึกษาผลของอัตราการใช้ของไอแอลกอสอลต์ต่อเวลาในการ ตอบสนองของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอสอลต์.....	109
5.5.2 การทดลองเพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของแอลกอสอลต์(มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์) ต่ออุปกรณ์ตรวจจับ ไอแอลกอสอลต์.....	116
5.5.3 การทดลองเพื่อศึกษาค่าความไวและเวลาในการตอบสนองของอุปกรณ์ตรวจจับ ไอแอลกอสอลต์.....	122
5.5.4 การทดลองเพื่อศึกษาอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอสอลต์ ขณะทำการวิ่งแบบต่อเนื่อง.....	124
5.5.5 การทดลองเพื่อศึกษาผลของไอสารเคมีชนิดต่างกันต่ออุปกรณ์ ตรวจจับ ไอแอลกอสอลต์.....	124

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	130
บรรณานุกรม.....	132
ภาคผนวก.....	135
ภาคผนวก ก. โปรแกรมที่ใช้ในการวัดลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลา.....	136
ภาคผนวก ข. ค่าคงที่ทางฟิสิกส์.....	140
ภาคผนวก ค. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวิทยานิตยสาร.....	141
ประวัติผู้เขียน.....	142

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ลักษณะสำคัญที่เกิดขึ้นเนื่องจากการ ไบอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่แตกต่างกัน.....	17
2.2 การแปลงแสงชนิดต่างๆ แบ่งตามวิธีการกระตุ้น.....	37
3.1 แสดงผลของแอลกอฮอล์ในเลือดที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อร่างกายและจิต.....	43
3.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในเลือดและ โอกาสเกิดอุบัติเหตุจราจร.....	44
3.3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การแปลงค่าปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือด เป็นปริมาณแอลกอฮอล์แอลกอฮอล์ในลมหายใจ.....	47
3.4 แสดงหน่วยวัดปริมาณแอลกอฮอล์ในลมหายใจ (Breath Alcohol Concentration (BrAC) Unit).....	48
3.5 แสดงหน่วยวัดปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือด (Blood Alcohol Concentration (BAC))	48
3.6 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของส่วนของตัวตรวจจับ(Detector part) แต่ละชนิด.....	52
5.1 ตารางแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนในชั้นพอร์สซิลิกอนที่ใช้ความหนาแน่น ของกระแสในการแอโนไดซ์ชั้นในช่วง5-25mA/cm ²	77
5.2 ตารางแสดงค่าความต้านทานในชั้นพอร์สซิลิกอนที่ใช้ความหนาแน่น ของกระแสในการแอโนไดซ์ชั้นในช่วง 5-25 mA/cm ²	80
5.3 ตารางแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนในชั้นพอร์สซิลิกอนที่ใช้ ความหนาแน่นของกระแสในการแอโนไดซ์ชั้นในช่วง 5-25 นาที่.....	84
5.4 ตารางแสดงค่าความต้านทานในชั้นพอร์สซิลิกอนที่ใช้ เวลาในการแอโนไดซ์ชั้นในช่วง 5-25 นาที่	87
5.5 แสดงค่าความไวและเวลาในการตอบสนองของอุปกรณ์ตรวจจับ ที่ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ (mg%) ค่าต่างๆ 123	
ข.1 ค่าคงที่ทางฟิสิกส์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้.....	139

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างพอร์สซิติคอน	
(ก) ภาพพื้นผิว (ข) ภาพตัดขวาง.....	5
2.2 ภาพจำลองโครงสร้างของชั้นพอร์สซิติคอนที่มีขนาดต่างๆ กัน.....	6
2.3 ภาพจำลองรูพรุนของพอร์สซิติคอนลักษณะต่าง ๆ กัน	
(ก) ลักษณะเป็นรูตันและไม่มีการแยกของรูพรุน	
(ข) ลักษณะเป็นรูตันและมีการแยกออกของรูพรุน	
(ค) ลักษณะเป็นโพรงอากาศผิวปิดทุกด้าน	
(ง) ลักษณะเป็นรูกลวงทะลุออกไปยังอีกด้าน.....	7
2.4 ภาพจำลองรูพรุนของพอร์สซิติคอนรูปร่างต่าง ๆ	
(ก) รูพรุนที่มีรูปร่างเป็นทรงกระบอก	
(ข) รูพรุนที่มีรูปร่างคล้ายขวดน้ำหมึก	
(ค) รูพรุนที่มีรูปร่างเป็นทรงกรวย	
(ง) รูพรุนที่มีรูปร่างเป็นลูกบาศก์	
(จ) รูพรุนที่มีรูปร่างเป็นทรงสามเหลี่ยมพีระมิด.....	8
2.5 ลักษณะแถบพลังงานของผลึกซิติคอนที่จำนวนอะตอมต่างๆ.....	8
2.6 แบบจำลองลักษณะ โครงสร้างทางควอนตัมแบบต่างๆ	
(ก) เนื้อผลึกซิติคอน (ข) ควอนตัมในเชิง 2 มิติ	
(ค) ควอนตัมในเชิง 1 มิติ (ง) ควอนตัมในแบบไม่มีมิติ.....	9
2.7 ลักษณะแถบพลังงานของพอร์สซิติคอนเปรียบเทียบกับผลึกซิติคอน.....	10
2.8 ภาพตัดขวางของอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการกัดแบบข้อมสี่.....	11
2.9 ภาพพื้นผิวของชั้นพอร์สซิติคอนที่ได้จากการกัดแบบข้อมสี่.....	12
2.10 ภาพตัดขวางของอุปกรณ์เซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ใช้ในกระบวนการเอโน ไคซ์เซชัน	
(ก) เซลล์เท็งก์เดี่ยวในแนวตั้ง	
(ข) เซลล์เท็งก์เดี่ยวในแนวนอน	
(ค) เซลล์เท็งก์คู่ในแนวนอน.....	13

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.11 ภาพพื้นผิวของชั้นพอร์สซิติคอนที่ได้จากกระบวนการแอนโนไดซ์เซชัน.....	14
2.12 ลักษณะการไบอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมีในลักษณะต่าง	
(ก) แบบแอนโนดิก (ข) แบบแคโทดิก.....	15
2.13 ลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าเคมีระหว่างแผ่นซิติคอน	
(ก) ชนิดพี และ (ข) ชนิดเอ็น ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก.....	16
2.14 ลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าเคมีในส่วนที่มีการไบอัสแบบแอนโนดิก.....	18
2.15 ลักษณะแถบพลังงานที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างแผ่นซิติคอน	
(ก) ชนิดพี และ (ข) ชนิดเอ็น กับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก.....	19
2.16 การกระจายตัวของศักดาไฟฟ้าที่ตกคร่อมบริเวณต่างๆ ภายในเซลล์ไฟฟ้าเคมี.....	20
2.17 ขั้นตอนและกลไกทางเคมีในการกัดเนื้อของแผ่นซิติคอน.....	22
2.18 แบบจำลองการกัดเนื้อของผลึกซิติคอนทั้งสองลักษณะ	
(ก) ลักษณะการกัดแบบขจัดผิวหน้าด้วยไฟฟ้า	
(ข) ลักษณะการกัดแบบทำให้เกิดพอร์สซิติคอน.....	25
2.19 การเคลื่อนที่พาหะโฮลที่ถูกดึงมารวมกับที่บริเวณก้นหลุมเนื่องจากอิทธิพลของสนามไฟฟ้า.....	25
2.20 บริเวณปลดพาหะที่เกิดขึ้นรอบๆ ผงของรูพูนที่บริเวณผิวของผลึกซิติคอน.....	26
2.21 การกระจายตัวของศักดาไฟฟ้ารอบๆ ผงของรูพูน.....	27
2.22 การกระจายตัวของสนามไฟฟ้ารอบๆ ผงของรูพูน.....	28
2.23 การกระจายตัวของกระแสรอบๆ ผงของรูพูน.....	28
2.24 กลไกในการหยุดกัดโครงสร้างของชั้นพอร์สซิติคอนชนิดพี โดยที่	
(ก) โครงสร้างของพอร์สซิติคอน และทิศทางการเคลื่อนที่ของพาหะโฮล	
(ข) ลักษณะแถบพลังงาน และการเคลื่อนที่ของพาหะโฮลจากผลึกซิติคอนผ่านเข้าไปในโครงสร้างของพอร์สซิติคอน	
(ค) ลักษณะแถบพลังงาน และการเคลื่อนที่ของพาหะโฮล จากผลึกซิติคอนผ่านไปยังสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกที่บริเวณผิวสัมผัสที่ก้นหลุมของรูพูน.....	29

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.25 แผนภาพบริเวณปลอดภัยนำกระแสที่เกิดขึ้นใน โครงสร้างของพอร์สซิลิคอนที่สร้างจากผลึกซิลิคอนชนิดอื่น โดยที่ (ก) โครงสร้างของพอร์สซิลิคอนที่มีขนาดมากกว่า 2 μ m (ข) โครงสร้างของพอร์สซิลิคอนที่มีขนาดน้อยกว่า 2 μ m.....	31
2.26 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของขนาดเนื้อซิลิคอน (q) กับขนาดของรูพรุน (d) ที่มีต่อความพรุนของพอร์สซิลิคอน.....	32
2.27 แผนภาพจำลองด้านบนของ โครงสร้างพอร์สซิลิคอนที่เปอร์เซ็นต์ความพรุนต่างๆ กัน	33
2.28 การกระจายตัวของระดับพลังงาน (ก) ระดับแทป (ข) สถานะผิว ภายในช่องว่างพลังงาน.....	34
2.29 กระบวนการรวมตัวของพาหะแบบเปล่งแสงในสารกึ่งตัวนำ (ก) การรวมตัวแบบแถบพลังงานหนึ่ง ไประดับพลังงานหนึ่ง (ข) การรวมตัวแบบผู้ให้กับผู้รับ (ค) การรวมตัวแบบแถบพลังงานหนึ่ง ไปอีกแถบพลังงานหนึ่ง.....	36
2.30 สีของแสงที่ความยาวคลื่นและค่าพลังงานต่างๆ.....	38
2.31 โครงสร้างของแถบพลังงานแบบช่องแถบตรง.....	39
2.32 โครงสร้างของแถบพลังงานแบบช่องแถบไม่ตรง.....	40
2.33 สถานะของระดับพลังงานทั้ง 3 ระดับภายในพอร์สซิลิคอน.....	41
3.1 แสดงการแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนและคาร์บอน ไดออกไซด์.....	46
3.2 อธิบายถึงกฎของเฮนรี (HENRY'S LAW).....	46
3.3 ตัวอย่างเครื่องวัดปริมาณแอลกอฮอล์ ในเลือดโดยวิธีเป่าลมหายใจ (ก) แบบพกพา(Mobile) (ข) แบบประจำที่ (Stationary).....	49
3.4 แสดงถึงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในลมหายใจ กับปริมาตรของลมหายใจที่เป่าออกมา.....	50
3.5 รูปแสดงการทำงานของ Fuel cell.....	51
3.6 แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของ แอลกอฮอล์กับการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด (Beer's Law).....	51
3.7 โครงสร้างของอุปกรณ์ตรวจจับ ไอแอลกอฮอล์ โดยใช้น้ำพอร์สซิลิคอน.....	55

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่

หน้า

3.8 แบบจำลองการตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอน	
(ก) ชั้นพอร์สซิลิคอนที่ยัง ไม่มีโมเลกุล ไอแอลกอฮอล์มาเกาะ	
(ข) โมเลกุล ไอแอลกอฮอล์มาจับตัวกันที่บริเวณพื้นผิวของรูพรุน	
(ค) โมเลกุล ไอแอลกอฮอล์มาจับตัวกันเพิ่มขึ้นเรียงตัวกันเป็นชั้น โมโนเลเยอร์	
(ง) โมเลกุล ไอแอลกอฮอล์มาจับตัวกันเพิ่มขึ้นอีกหลายๆ ชั้นเป็นมัลติเลเยอร์	
(จ) โมเลกุล ไอแอลกอฮอล์มาจับตัวกันเพิ่มขึ้นอีกเรื่อยๆ จนเกิดการควบแน่นภายในรูพรุน	
(ฉ) โมเลกุล ไอแอลกอฮอล์เกิดการระเหยออกไปจากชั้นพอร์สซิลิคอน	
(ช) ชั้นพอร์สซิลิคอนที่ โมเลกุล ไอแอลกอฮอล์ระเหยออกไปหมดแล้ว.....	58
3.9 แบบจำลองการเกิดสถานะผิวที่บริเวณผิวของชั้นพอร์สซิลิคอน.....	60
3.10 แบบจำลองการนำไฟฟ้าของชั้นพอร์สซิลิคอน	
(ก) ก่อนตรวจจับ ไอแอลกอฮอล์ (ข) ขณะตรวจจับ ไอแอลกอฮอล์.....	61
3.11 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าในการตรวจจับ ไอแอลกอฮอล์ของชั้นพอร์สซิลิคอน	
(ก) ช่วงที่ไม่มีโมเลกุล ไอแอลกอฮอล์	
(ข) ช่วงที่โมเลกุล ไอแอลกอฮอล์มาจับตัวกันที่บริเวณพื้นผิวของรูพรุนเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และเกิดการควบแน่นภายในรูพรุน	
(ค) ช่วงที่เกิดการอิมิต์วในการตรวจจับ โมเลกุล ไอแอลกอฮอล์	
(ง) ช่วงที่โมเลกุล ไอแอลกอฮอล์เกิดการระเหยออกไปจากชั้นพอร์สซิลิคอน.....	62
4.1 อุปกรณ์เซลล์ไฟฟ้าเคมีแบบเซลล์แท็งก์เดียวในแนวตั้งใช้ในกระบวนการแอนโอดไซเซชัน.....	64
4.2 ขั้นตอนการสร้างอุปกรณ์ตรวจจับ ไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอน	
(ก) การเตรียมแผ่นซิลิคอน (ข) การสร้างชั้นพอร์สซิลิคอน	
(ค) การสร้างขั้วอลูมิเนียมด้านหน้า.....	66
4.3 อุปกรณ์ตรวจจับ ไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอน.....	67
4.4 ส่วนประกอบต่างๆ ของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด.....	68
4.5 เครื่องมือต่างๆ ที่ใช้ในการวัดอุปกรณ์ตรวจจับ ไอแอลกอฮอล์.....	69
5.1 ภาพพื้นผิวของชั้นพอร์สซิลิคอน โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 5 mA/cm^2	71
5.2 ภาพพื้นผิวของชั้นพอร์สซิลิคอน โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2	72
5.3 ภาพพื้นผิวของชั้นพอร์สซิลิคอน โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 15 mA/cm^2	72
5.4 ภาพพื้นผิวของชั้นพอร์สซิลิคอน โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 20 mA/cm^2	73

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.5 ภาพพื้นผิวของชั้นพอร์สซิลิกอน โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 25 mA/cm ²	73
5.6 ความหนาของชั้นพอร์สซิลิกอน โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 5 mA/cm ²	74
5.7 ความหนาของชั้นพอร์สซิลิกอน โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm ²	74
5.8 ความหนาของชั้นพอร์สซิลิกอน โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 15 mA/cm ²	75
5.9 ความหนาของชั้นพอร์สซิลิกอน โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 20 mA/cm ²	75
5.10 ความหนาของชั้นพอร์สซิลิกอน โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 25 mA/cm ²	76
5.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้นพอร์สซิลิกอนกับความหนาแน่น ของกระแสในการแอโนไดซ์เซชัน.....	77
5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิกอนกับความหนาแน่น กระแสไฟฟ้าในการแอโนไดซ์เซชัน.....	78
5.13 ชั้นพอร์สซิลิกอนที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการสร้างต่างๆ กัน (ก) พื้นผิวของชั้นพอร์สซิลิกอน (ข) การเรืองแสงของชั้นพอร์สซิลิกอน.....	78
5.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานของชั้นพอร์สซิลิกอนกับความหนาแน่นของ กระแสไฟฟ้าในการแอโนไดซ์เซชัน.....	80
5.15 ความหนาของชั้นพอร์สซิลิกอน โดยใช้เวลาในการแอโนไดซ์เซชัน 5 นาที.....	81
5.16 ความหนาของชั้นพอร์สซิลิกอน โดยใช้เวลาในการแอโนไดซ์เซชัน 10 นาที.....	82
5.17 ความหนาของชั้นพอร์สซิลิกอน โดยใช้เวลาในการแอโนไดซ์เซชัน 15 นาที.....	82
5.18 ความหนาของชั้นพอร์สซิลิกอน โดยใช้เวลาในการแอโนไดซ์เซชัน 20 นาที.....	83
5.19 ความหนาของชั้นพอร์สซิลิกอน โดยใช้เวลาในการแอโนไดซ์เซชัน 25 นาที.....	83
5.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้นพอร์สซิลิกอนกับเวลาในการแอโนไดซ์เซชัน.....	84
5.21 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิกอนกับเวลาในการ แอโนไดซ์เซชัน.....	85
5.22 ชั้นพอร์สซิลิกอนที่เวลาในการสร้างต่างๆ กัน (ก) พื้นผิวของชั้นพอร์สซิลิกอน (ข) การเรืองแสงของชั้นพอร์สซิลิกอน.....	86
5.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานของชั้นพอร์สซิลิกอนกับเวลาในการ แอโนไดซ์เซชัน.....	88
5.24 ภาพอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่ไม่มีชั้นพอร์สซิลิกอน.....	88
5.25 ภาพอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่มีชั้นพอร์สซิลิกอน.....	89

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.53 ลักษณะการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าในการตอบสนองต่อการเปิด-ปิด ไอแอลกอฮอล์ ของอุปกรณ์ตรวจจับที่ความเข้มข้นของไอแอลกอฮอล์ที่ 100 mg%	118
5.54 ลักษณะการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าในการตอบสนองต่อการเปิด-ปิด ไอแอลกอฮอล์ ของอุปกรณ์ตรวจจับที่ความเข้มข้นของไอแอลกอฮอล์ที่ 200 mg%.....	119
5.55 ลักษณะการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าในการตอบสนองต่อการเปิด-ปิด ไอแอลกอฮอล์ ของอุปกรณ์ตรวจจับที่ความเข้มข้นของไอแอลกอฮอล์ที่ 300 mg%.....	120
5.56 ลักษณะการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าในการตอบสนองต่อการเปิด-ปิด ไอแอลกอฮอล์ ของอุปกรณ์ตรวจจับที่ความเข้มข้นของไอแอลกอฮอล์ที่ 400 mg%.....	121
5.57 แสดงการเปรียบเทียบการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าในการตอบสนองต่อการเปิด-ปิด ไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ตรวจจับที่ใช้ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ (mg%) ค่าต่างๆ กัน..	122
5.58 ความไวในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ (mg%) ค่าต่างๆ.....	123
5.59 ลักษณะการตอบสนองของกระแสต่อเวลาการเปิด-ปิด ไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่ทำการวัดแบบต่อเนื่อง	124
5.60 ลักษณะการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าเมื่อทำการเปิด-ปิด ไอน้ำของอุปกรณ์ตรวจจับ.....	125
5.61 ลักษณะการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าเมื่อทำการเปิด-ปิด ไอเอทานอล ของอุปกรณ์ตรวจจับ.....	126
5.62 ลักษณะการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าเมื่อทำการเปิด-ปิด ไอไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์ ของอุปกรณ์ตรวจจับ.....	127
5.63 ลักษณะการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าเมื่อทำการเปิด-ปิด ไออะซิโตน ของอุปกรณ์ตรวจจับ.....	128
5.64 แสดงการเปรียบเทียบการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าในการตอบสนองต่อการเปิด-ปิด ไอสารเคมีต่างชนิด.....	129

รายการคำย่อ

อักษรย่อ	คำเต็มภาษาอังกฤษ	คำแปลภาษาไทย
Al	Aluminium	อะลูมิเนียม
DI	De-Ionization water	น้ำบริสุทธิ์
HF	Hydrofluoric acid	กรดไฮโดรฟลูออริก
PS	Porous Silicon	พอร์ตซิลิคอน
Si	Silicon	ซิลิคอน
SOI	Silicon-On-Insulator	ซิลิคอนบนฉนวน

รายการสัญลักษณ์

E_i	คือ พลังงานเริ่มต้นของอิเล็กตรอนก่อนเปลี่ยนสถานะ
E_f	คือ พลังงานของอิเล็กตรอนหลังเปลี่ยนสถานะ
E_p	คือ พลังงานของโฟนอน
E_q	คือ พลังงานที่เกิดขึ้นจากปรากฏการณ์ ผลของขนาดควอนตัม
k_1	คือ เลขคลื่นของอิเล็กตรอนก่อนเปลี่ยนสถานะ
k_2	คือ เลขคลื่นของอิเล็กตรอนหลังเปลี่ยนสถานะ
k_p	คือ เลขคลื่นของโฟนอน
m_1	คือ น้ำหนักของวัสดุเริ่มต้นก่อนการเกิดรูพรุน
m_2	คือ น้ำหนักของวัสดุหลังการเกิดรูพรุน
m_3	คือ น้ำหนักของวัสดุที่เหลือหลังจากการลอกชั้นความพรุนออก
N_D	คือ จำนวนอะตอมสารเจือผู้ให้
q	คือ ประจุของอิเล็กตรอน
V_{Con}	คือ ศักคาไฟฟ้าที่ตกคร่อมบริเวณขั้วสัมผัสระหว่างขั้วโลหะกับแผ่นซิลิคอน
V_{df}	คือ ศักคาไฟฟ้าที่ตกคร่อมบริเวณชั้นที่เกิดการแพร่
V_{Eloc}	คือ ศักคาไฟฟ้าที่ตกคร่อมบริเวณขั้วสัมผัสระหว่างขั้วอิเล็ก โดรคกับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก
V_{SCR}	คือ ศักคาไฟฟ้าที่ตกคร่อมบริเวณปลอดพาหะ
W	คือ ความกว้างบริเวณบริเวณปลอดพาหะ
\mathcal{E}_s	คือ เปรอร์มิตีวิตีของผลึกซิลิคอน
\mathcal{E}_0	คือ เปรอร์มิตีวิตีของสุญญากาศ
ΔE_c	คือ พลังงานที่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากระดับพลังงานต่ำสุดของแถบความนำเดิมก่อนเกิดพอร์ตซิลิคอน
ΔE_v	คือ พลังงานที่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากระดับพลังงานต่ำสุดของแถบวาเลนซ์เดิมก่อนเกิดพอร์ตซิลิคอน

รายการคำศัพท์เทคนิค

ภาษาไทย

กรดไฮโดรฟลูออริก
การควบแน่นภายในรูพรุน
การเคลือบโลหะในสุญญากาศ
ควอมตัมในเชิง 1 มิติ
ควอมตัมในเชิง 2 มิติ
ควอมตัมในแบบ ไม่มีมิติ
เคมีคอลลูมิเนสเซนซ์
แคโทดลูมิเนสเซนซ์
จุดบกพร่องแลตทิซ
ช่องแถบตรง
ช่องแถบไม่ตรง
ช่องว่างแถบพลังงาน
ซีดทีไอโอด
ซิลิกาเจล
ซินเตอริง
เซนเซอร์
เซนเซอร์ทางเคมี
เซนเซอร์ทางฟิสิกส์
เซลล์แท็งก์คู่ในแนวนอน
เซลล์แท็งก์เดี่ยวในแนวตั้ง
เซลล์แท็งก์เดี่ยวในแนวนอน
ดูดซับ
ไตรโคลโรเอทรีน
แถบความนำ
ทรานสดิวเซอร์
เทอร์โมลูมิเนสเซนซ์
นาโนพอร์ส

ภาษาอังกฤษ

hydrofluoric acid
capillary condensation
vacuum evaporation
quantum wire
quantum well
quantum dot
chemicalluminescence
cathodeluminescence
lattice defect
direct band gap
indirect band gap
energy band gap
schottky diode
silica gel
sintering
sensors
chemical sensors
physical sensors
double tank lateral cell
single tank vertical cell
single tank lateral cell
adsorption
trichloroethylene
conduction band
transducers
thermoluminescence
nanoporous

รายการคำศัพท์เทคนิค (ต่อ)

ภาษาไทย

บริเวณปลอดพาหะ
ไบอัสแบบตรง
ไบอัสแบบย้อนกลับ
ปฏิกิริยาแคโทดิก
ปฏิกิริยารีดักชัน
ปฏิกิริยาออกซิเดชัน
ปฏิกิริยาแอโนดิก
ผลของขนาดควอนตัม
พอร์สซิลิกอน
ฟังก์ชันงาน
พันธะแขวนขาด
โฟโตลูมิเนสเซนซ์
มัลติเลเยอร์
มีโซพอร์ส
ไมโครพอร์ส
โมนิเลเยอร์
รอยสัมผัสชนิดกึ่ง
ระดับแทรก
ระดับจุดบกพร่อง
ระดับพลังงานกระตุ้น
ระดับพลังงานสารเจือ
เร็กกูเลเตอร์
เรกติไฟร์
เลขคลื่น
สถานะผิว
สถานะพื้น
อะซิโตน
อิเล็กตรอน

ภาษาอังกฤษ

depletion region
forward bias
reverse bias
cathodic reaction
reduction reaction
oxidation reaction
anodic reaction
quantum size effect
porous silicon
work function
dangling bond
photoluminescence
multi layer
mesoporous
microporous
mono layer
schottky contact
trap level
defect level
excited state
impurity level
regulator
rectifier
wave number
surface state
ground state
acetone
electron

รายการคำศัพท์เทคนิค (ต่อ)

ภาษาไทย

อิเล็กทรอนิกส์เรืองแสง

อิเล็กทรอนิกส์ไอโซเลชัน

อิมพีแดนซ์เชิงลบ

แอนโนไดเซชัน

แอกทูเอเตอร์

โฮล

ภาษาอังกฤษ

electroluminescence

electronic isolation

negative impedance

anodization

actuators

hole

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ในปัจจุบันอุบัติเหตุบนท้องถนนเป็นสาเหตุสำคัญอันดับหนึ่งของการเสียชีวิตของคนไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งคนในวัยหนุ่มสาว จากการคาดการณ์หากไม่มีมาตรการรองรับแล้ว ในอนาคตตัวเลขผู้เสียชีวิตจากอุบัติเหตุบนท้องถนนจะพุ่งขึ้นสูงถึงกว่า 3 คนต่อชั่วโมง (มากกว่า 2.6 หมื่นคนต่อปี) และเป็นที่น่าเศร้าว่า สาเหตุส่วนใหญ่ กว่าครึ่งหนึ่งเกิดจากผู้ขับขี่ที่มีอาการเมาสุรา ซึ่งจากการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับแอลกอฮอล์ในเลือดกับ โอกาสเกิดอุบัติเหตุ พบว่าผู้ที่มีแอลกอฮอล์ในเลือดสูงกว่า 50 มิลลิกรัม% จะมีโอกาสเกิดอุบัติเหตุ สูงกว่าผู้ไม่ดื่มสุรา ถึง 2 เท่า และหากสูงถึง 100 มิลลิกรัม% โอกาสเสี่ยงจะเพิ่มขึ้นเป็นถึง 6 เท่า เพื่อป้องกันอุบัติเหตุบนท้องถนนอันเนื่องมาจากผู้ขับขี่ขาดยานพาหนะในขณะที่เมามา จึงได้มีการตั้งด่านตรวจระดับแอลกอฮอล์ในเลือดของผู้ขับขี่ เพื่อให้ทราบว่าคุณสมบัติอยู่ในสภาพที่จะสามารถขับขี่ขาดยานพาหนะต่อไปได้อีกหรือไม่ โดยการตรวจระดับแอลกอฮอล์ในเลือดมีหลายวิธี ได้แก่ การตรวจวัดทางลมหายใจ การตรวจวัดจากเลือด และการตรวจวัดจากปัสสาวะ ซึ่งทั้ง 3 วิธีนี้ วิธีการตรวจวัดทางลมหายใจ เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากทำได้สะดวกรวดเร็ว และสามารถทราบผลได้ทันที การตรวจวัดระดับแอลกอฮอล์ จากลมหายใจ อาศัยหลักการที่ว่าเมื่อกระแสเลือดไหลไปที่ปอด เพื่อพอกเอาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากร่างกาย แอลกอฮอล์ในกระแสเลือดบางส่วน จะซึมผ่านเข้าไปในปอด ระดับของแอลกอฮอล์ในปอด จะสัมพันธ์โดยตรงกับระดับแอลกอฮอล์ในเลือด เมื่อหายใจออกแอลกอฮอล์จะถูกขับออกมาจากปอดเช่นเดียวกัน

เนื่องจากโครงสร้างของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ส่วนใหญ่ที่ใช้กันในปัจจุบันยังไม่นิยมนำชั้นพอร์สซิลิคอนมาสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ ในวิทยานิพนธ์เล่มนี้จึงมีแนวคิดที่จะศึกษาถึงข้อดีข้อเสียของการนำชั้นพอร์สซิลิคอนมาประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์ตรวจจับ เนื่องจากกระบวนการสร้างไม่ยุ่งยากและใช้ต้นทุนไม่สูง ดังนั้นถ้ามีการศึกษาแล้วพบว่าอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่สร้างขึ้นจากชั้นพอร์สซิลิคอนมีประสิทธิภาพที่ดี ข้อมูลในการวิจัยนี้จะได้เป็นประโยชน์ที่จะนำไปพัฒนาอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ต่อไป และเมื่อไม่นานมานี้ได้มีการศึกษาการนำชั้นพอร์สซิลิคอนมาเป็นเซ็นเซอร์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ [1] แต่อุปกรณ์ที่ได้ยังมีค่าการตอบสนองของค่ากระแสไฟฟ้าต่อไอระเหยของแอลกอฮอล์ที่ไม่สูงนักอยู่ในระดับ 10^{-6} A ซึ่งในการทดลองในวิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้ทำการปรับปรุงและพัฒนาเงื่อนไขในการสร้างอุปกรณ์ให้มีค่าการตอบสนองกระแสต่อไอแอลกอฮอล์ที่สูงขึ้น และจากการทดลองที่ผ่านมาพบว่าค่ากระแสการตอบสนองมีค่าสูงขึ้นในอยู่ในระดับ 10^{-3} A และในวิทยานิพนธ์นี้ยังทำการศึกษาอิทธิพลของระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า นอกจากนี้ได้

ทำการศึกษาค่าผลของเวลาในการตอบสนอง(response time)และความไวในการตอบสนอง (sensitivity) ของอุปกรณ์ที่เงื่อนไขต่างๆ อีกทั้งยังทำค่ามาตรฐานในการวัดของอุปกรณ์ตามมาตรฐานสากลโดยวัดการตอบสนองต่อไอแอลกอฮอล์ในหน่วยมิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ และยังได้มีการวัดผลการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าของไอสารเคมีต่างชนิดอีกด้วย

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษากระบวนการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการเอโนโคเซชัน
2. เพื่อศึกษาผลของ เวลา และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่มีต่อการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีเอโนโคเซชัน
3. เพื่อศึกษากระบวนการสร้างอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอน
4. เพื่อศึกษาผลของค่าความพรุน และ ความหนาของชั้นพอร์สซิลิคอน ที่มีผลต่อค่าการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าในอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์
5. เพื่อศึกษาระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอน
6. เพื่อศึกษาผลของอัตราการไหลของไอแอลกอฮอล์ต่อเวลาในการตอบสนอง ของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์
7. เพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นของแอลกอฮอล์(มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์) ต่ออุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์
8. เพื่อศึกษาค่าความไวและเวลาในการตอบสนองของอุปกรณ์ตรวจจับ ไอแอลกอฮอล์
9. การทดลองเพื่อศึกษาอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ขณะทำการวัดแบบต่อเนื่อง
10. การทดลองเพื่อศึกษาผลของไอสารเคมีชนิดต่างกันต่ออุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์

1.3 สมมุติฐานของงานวิจัย

สมมุติฐานของงานวิจัยนี้ คือ ชั้นพอร์สซิลิคอนที่สร้างด้วยวิธีการเอโนโคเซชันสามารถควบคุม ความเข้มข้นสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก เวลา และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า ในการสร้างเพื่อให้ได้ชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีความสม่ำเสมอ จากนั้นนำชั้นพอร์สซิลิคอนที่ได้มาศึกษาถึงสมบัติในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ โดยใช้พื้นผิวที่มีลักษณะเป็นรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมากของพอร์สซิลิคอนเป็นบริเวณที่ใช้ในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ [2-4] เมื่อ โมเลกุลของไอแอลกอฮอล์มารวมตัวกันในรูพรุนของพอร์สซิลิคอนก็จะส่งผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความนำ

ไฟฟ้าบริเวณผิวของชั้นพอร์ซซาลิกอน และด้วยคุณสมบัตินี้เองจึงได้นำชั้นพอร์ซซาลิกอนมาสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์

1.4 ทฤษฎีของงานวิจัย

จากสมมติฐานที่กล่าวข้างต้น ชั้นพอร์ซซาลิกอนสามารถตรวจจับไอแอลกอฮอล์ได้โดยใช้หลักการที่พื้นผิวที่เป็นรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมากสามารถดูดซับ โมเลกุลแอลกอฮอล์ได้ดีและมีพื้นที่ผิวในการดูดซับมากกว่าพื้นผิวที่เป็นพื้นราบเรียบ เมื่อมีการไหลของไอแอลกอฮอล์ผ่านมาบริเวณชั้นพอร์ซซาลิกอน โมเลกุลไอแอลกอฮอล์ที่เข้ามาในบริเวณรูพรุนของชั้นพอร์ซซาลิกอนจะจับตัวกับผนังของรูพรุน เมื่อ โมเลกุล ไอแอลกอฮอล์เข้ามารวมตัวกันภายในรูพรุนเป็นจำนวนเพิ่มมากขึ้นก็จะทำให้เกิดสถานะผิวเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้บริเวณผิวของชั้นพอร์ซซาลิกอนสามารถนำไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น [5-6] ซึ่งจากหลักการนี้เอง ชั้นพอร์ซซาลิกอนจึงเป็นวัสดุที่น่าสนใจในการนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์

1.5 ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้มีขอบเขตอยู่ที่การสร้างชั้นพอร์ซซาลิกอนด้วยวิธีการแอนโนไดซ์เซชัน โดยใช้ความเข้มข้นของกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลที่ 1:1 และทำการศึกษาผลของ เวลา และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการสร้างชั้นพอร์ซซาลิกอน เพื่อให้ได้ชั้นพอร์ซซาลิกอนที่มีค่าความพรุนและความหนาที่เหมาะสมเพื่อนำมาสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ โดยพิจารณาจากการศึกษาคุณสมบัติทางไฟฟ้าของอุปกรณ์ตรวจจับต่อไอแอลกอฮอล์ ต่อจากนั้นทำการศึกษาคูสมบัติและพัฒนาประสิทธิภาพของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ โดยทำการศึกษาผลของระยะห่างระหว่างขั้วของอุปกรณ์ ศึกษาเวลาในการตอบสนองของอุปกรณ์ที่อัตราการไหลของไอแอลกอฮอล์ค่าต่างๆ ศึกษาค่ากระแสไฟฟ้าอิมิตัว ค่าความไว และเวลาในการตอบสนองของอุปกรณ์ตรวจจับที่ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ (mg%) ค่าต่างๆ สุดท้ายทำการศึกษาผลการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ตรวจจับโดยใช้ไอของสารเคมีต่างชนิด

1.6 ขั้นตอนของการศึกษา

1. ศึกษาทฤษฎีพอร์ซซาลิกอน
2. ศึกษากระบวนการสร้างชั้นพอร์ซซาลิกอนด้วยวิธีการแอนโนไดซ์เซชัน
3. ศึกษาผลของ เวลา และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่มีต่อโครงสร้างของชั้นพอร์ซซาลิกอนด้วยวิธีแอนโนไดซ์เซชัน
4. ศึกษาผลของชั้นพอร์ซซาลิกอนในอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์
5. ศึกษาคุณสมบัติและพัฒนาประสิทธิภาพของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์

เนื้อหาในวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะแบ่งเป็น 6 บท โดยมีรายละเอียด ดังนี้

บทที่ 1 บทนำ เป็นการกล่าวถึง ความเป็นมาของพอร์สซิลิคอน และความสำคัญของงานวิจัยที่ได้ศึกษา หัวข้อถัดมา คือ วัตถุประสงค์ที่ได้ทำการศึกษาอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ โดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอน สมมติฐาน และแนวความคิดที่ใช้ในงานวิจัย ส่วนสุดท้ายคือ ขอบเขตของงานวิจัยในครั้งนี้

บทที่ 2 พอร์สซิลิคอน เป็นการกล่าวถึง ทฤษฎีเกี่ยวกับพอร์สซิลิคอน เทคนิคการสร้างพอร์สซิลิคอน โดยเน้นไปที่วิธีการกัดทางไฟฟ้าเคมี กลไกในการเกิดพอร์สซิลิคอน ความพรุน และพฤติกรรมทางแสงของพอร์สซิลิคอน

บทที่ 3 หลักการตรวจจับ ไอแอลกอฮอล์ของชั้นพอร์สซิลิคอน รวมถึงหลักการวัดระดับแอลกอฮอล์ในเลือดโดยวิธีเป่าลมหายใจ เช่น ปัสสาวะที่มีผลต่อระดับแอลกอฮอล์ในเลือด กฎหมายข้อบังคับที่กำหนดเกี่ยวกับระดับของแอลกอฮอล์ เป็นต้น

บทที่ 4 กระบวนการสร้างและอุปกรณ์ที่ใช้ในการวัด เป็นการกล่าวถึง กระบวนการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอน อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอน เทคนิคที่ใช้ในการหาค่าความพรุน เครื่องมือในการวิเคราะห์พื้นผิว และเครื่องมือในการวัดผลของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์

บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง เป็นการกล่าวถึงผลการทดลองเกี่ยวกับการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการแอโนไดเซชัน และผลการทดลองลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อการตรวจจับ ไอแอลกอฮอล์ของชั้นพอร์สซิลิคอน

บทที่ 6 สรุปผลการทดลอง เป็นการสรุปผลที่ได้จากการทดลอง โดยมีข้อเสนอแนะเกี่ยวกับงานวิจัยที่ได้ทำ เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาต่อไป

บทที่ 2

พอร์สซิลิคอน

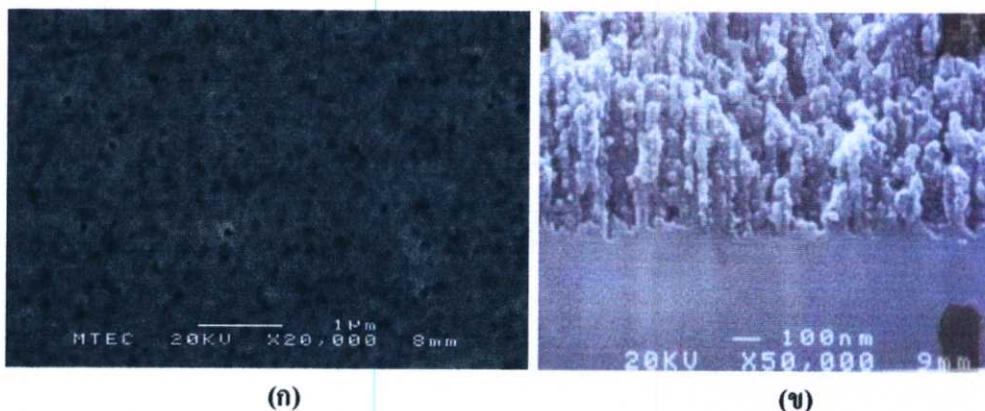
ในบทนี้จะกล่าวถึง ทฤษฎีพอร์สซิลิคอน วิธีการสร้างพอร์สซิลิคอน โดยเน้นไปที่วิธีการกัดทางไฟฟ้าเคมี กลไกในการเกิดพอร์สซิลิคอน ความพรุน และพฤติกรรมทางแสงของพอร์สซิลิคอน

2.1 ทฤษฎีพอร์สซิลิคอน

พอร์สซิลิคอน เป็นวัสดุที่มีโครงสร้างซับซ้อน มีทั้งโครงสร้างที่เป็นระเบียบ และไม่เป็นระเบียบ ภายในของพอร์สซิลิคอนอะตอมนั้นนอกจากจะมีการจัดเรียงอะตอมอย่างเป็นระเบียบ เหมือนกับผลึกซิลิคอนเดี่ยว แต่ยังมีจุดบกพร่องของผลึก ช่องว่าง ระยะห่างของช่องว่าง และพันธะแขนขาดกับอะตอมข้างเคียง โครงสร้างที่มีขนาดเล็กนี้สามารถพบได้ 2 รูปแบบ คือ จุด และแท่ง หรือเป็นแบบผสม ผลึกขนาดเล็กระดับนาโนเมตรนี้มีลักษณะแข็งเปราะ และมีรูพรุน พอร์สซิลิคอนจึงเป็นวัสดุที่น่าสนใจ มีบทความจำนวนมากพยายามอธิบายถึงคุณสมบัติทางด้านเคมีและฟิสิกส์ของพอร์สซิลิคอน [7-9] และได้้นำพอร์สซิลิคอนมาประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวาง ในด้านต่างๆ เช่น ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ ทางด้านการแพทย์ และอุปกรณ์ตรวจจับไอสารอินทรีย์ เป็นต้น

2.1.1 โครงสร้างของพอร์สซิลิคอน

พอร์สซิลิคอน คือ ผลึกซิลิคอนที่มีลักษณะเป็นรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก โดยในชั้นความพรุนนี้ จะประกอบไปด้วยโครงสร้างของผลึกซิลิคอนที่มีขนาดอยู่ในระดับนาโนเมตรจนถึงระดับไมโครเมตร โดยในแต่ละชั้นจะมีขนาดโครงสร้างที่แตกต่างกันออกไป ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างพอร์สซิลิคอน (ก) ภาพพื้นผิว (ข) ภาพตัดขวาง

โครงสร้างของพอร์สซิลิคอนในรูปที่ 2.1 เกิดขึ้นจากกระบวนการกัดเนื้อของผลึกซิลิคอน ด้วยวิธีทางไฟฟ้าเคมี (electrochemical etching) นอกจากนี้ จากการศึกษาโครงสร้างของพอร์สซิลิคอนโดยเฉพาะในส่วนของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนยังพบต่อไปอีกว่าที่บริเวณผิวของไมโครพอร์สซิลิคอนนั้นยังประกอบไปด้วยพันธะของซิลิคอนไฮไดรด์ (Si:H) หรือ ซิลิคอนออกซิไฮไดรด์ (Si:O:H) ปกคลุมอยู่ที่ผิว โดยทั่วไป [10-12]

2.1.2 การแบ่งประเภทของพอร์สซิลิคอน

พอร์สซิลิคอนสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

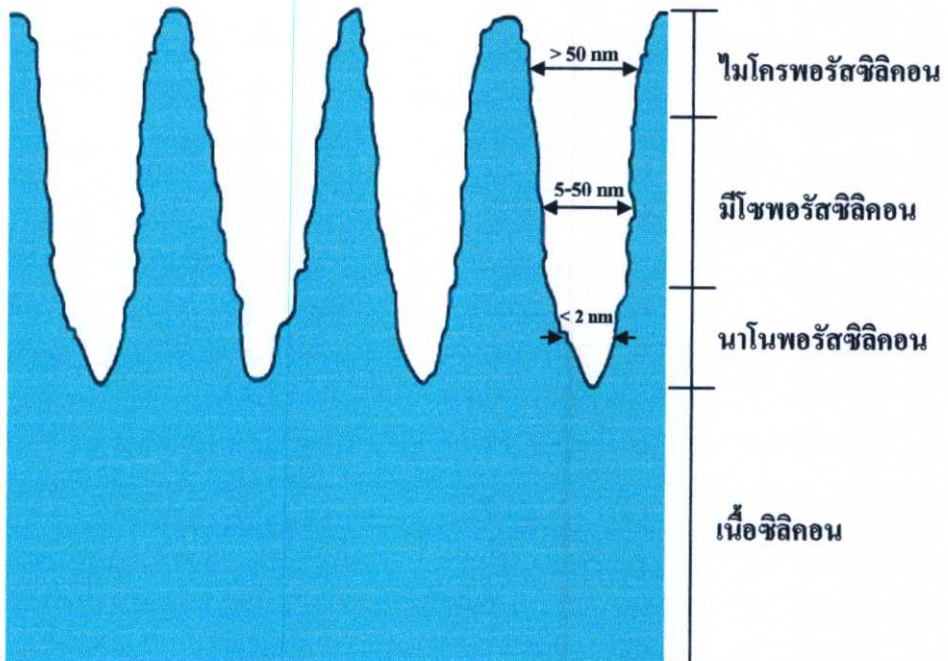
1. แบ่งตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุน

พอร์สซิลิคอนสามารถแบ่งได้ตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุน ดังนี้

1.1 โครงสร้างของชั้นไมโครพอร์สซิลิคอน (microporous) เป็นชั้นของพอร์สซิลิคอนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนที่ใหญ่กว่า 50 นาโนเมตร ขึ้นไป

1.2 โครงสร้างของชั้นมีโซพอร์สซิลิคอน (mesoporous) เป็นชั้นของพอร์สซิลิคอนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนที่อยู่ระหว่าง 5 นาโนเมตร ถึง 50 นาโนเมตร

1.3 โครงสร้างของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน (nanoporous) เป็นชั้นของพอร์สซิลิคอนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนที่เล็กกว่า 5 นาโนเมตร ลงไป โดยโครงสร้างในชั้นนี้จะติดกับเนื้อของซิลิคอน

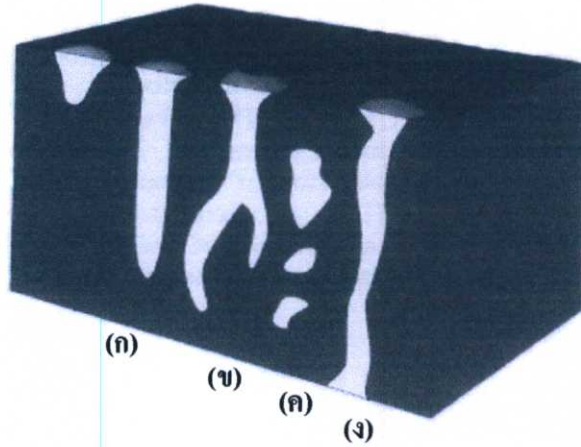


รูปที่ 2.2 ภาพจำลองโครงสร้างของชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีขนาดต่างๆ กัน

2. แบ่งตามลักษณะของรูพรุน

ลักษณะรูพรุนของพอร์สซิติคอนสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทหลักๆ ดังนี้

- 2.1 ลักษณะเป็นรูตันและไม่มีการแยกของรูพรุน (blind)
- 2.2 ลักษณะเป็นรูตันและมีการแยกออกของรูพรุน (banchd)
- 2.3 ลักษณะเป็นโพรงอากาศผิวปิดทุกด้าน (totally isolated)
- 2.4 ลักษณะเป็นรูกลวงทะลุออกไปยังอีกด้าน (through)



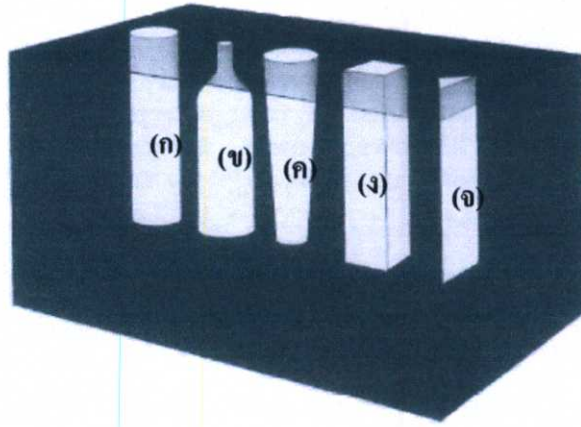
รูปที่ 2.3 ภาพจำลองรูพรุนของพอร์สซิติคอนลักษณะต่าง ๆ กัน

- (ก) ลักษณะเป็นรูตันและไม่มีการแยกของรูพรุน
- (ข) ลักษณะเป็นรูตันและมีการแยกออกของรูพรุน
- (ค) ลักษณะเป็นโพรงอากาศผิวปิดทุกด้าน
- (ง) ลักษณะเป็นรูกลวงทะลุออกไปยังอีกด้าน

3. แบ่งตามรูปร่างของรูพรุน

รูปร่างรูพรุนของพอร์สซิติคอนสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ประเภทหลักๆ ดังนี้

- 3.1 รูพรุนที่มีรูปร่างเป็นทรงกระบอก (cylindrical)
- 3.2 รูพรุนที่มีรูปร่างคล้ายขวดน้ำหมึก (ing-bottle)
- 3.3 รูพรุนที่มีรูปร่างเป็นทรงกรวย (funnel)
- 3.4 รูพรุนที่มีรูปร่างเป็นลูกบาศก์ (cuboid)
- 3.5 รูพรุนที่มีรูปร่างเป็นทรงสามเหลี่ยมพีระมิด (triangular)

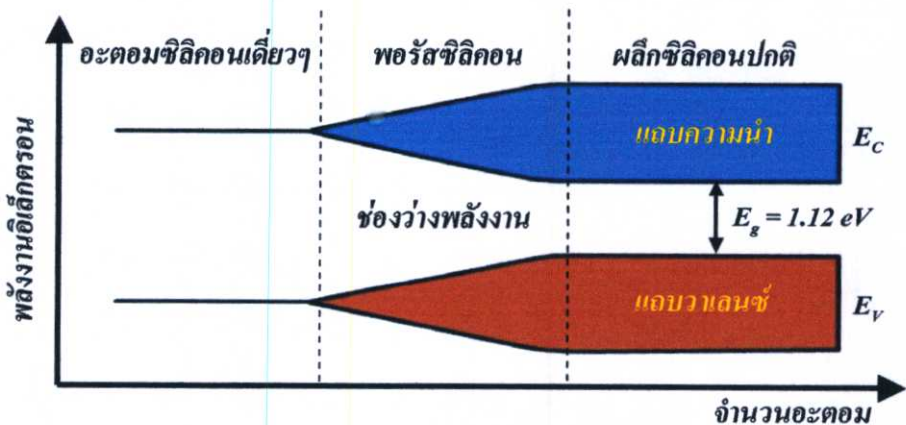


รูปที่ 2.4 ภาพจำลองรูพรุนของพอร์สซิลิคอนรูปร่างต่าง ๆ

- (ก) รูพรุนที่มีรูปร่างเป็นทรงกระบอก (ข) รูพรุนที่มีรูปร่างคล้ายขวดน้ำหมึก
 (ค) รูพรุนที่มีรูปร่างเป็นทรงกรวย (ง) รูพรุนที่มีรูปร่างเป็นลูกบาศก์
 (จ) รูพรุนที่มีรูปร่างเป็นทรงสามเหลี่ยมพีระมิด

2.1.3 ลักษณะแถบพลังงานของพอร์สซิลิคอน

เมื่ออะตอมของผลึกซิลิคอนมาอยู่ใกล้ชิดกัน จนเกิดการหลอมล้ากันของระดับพลังงาน ในอะตอมทำให้เกิดการแตกแยกของระดับพลังงานเหล่านั้นขึ้น ซึ่งจำนวนของระดับพลังงานที่แตกแยกออกมานั้นจะมีค่าเท่ากับจำนวนอะตอมที่อยู่ใกล้ชิดกัน จากหลักการนี้เองถ้าเราสามารถทำการลดจำนวนอะตอมภายในผลึกลงได้ก็จะทำให้ปฏิกริยาระหว่างอะตอมที่มีต่อกันนั้นมีจำนวนลดลงด้วย ซึ่งจะไปมีผลต่อลักษณะของแถบพลังงานในส่วนของช่องว่างแถบพลังงาน (energy band gap) ที่จะมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อของผลึกซิลิคอนเดิม (มีจำนวนอะตอมของซิลิคอนอยู่ภายในประมาณ 10^{22} อะตอม/ลูกบาศก์เซนติเมตร) แสดงดังรูปที่ 2.5 [13]



รูปที่ 2.5 ลักษณะแถบพลังงานของผลึกซิลิคอนที่จำนวนอะตอมต่างๆ

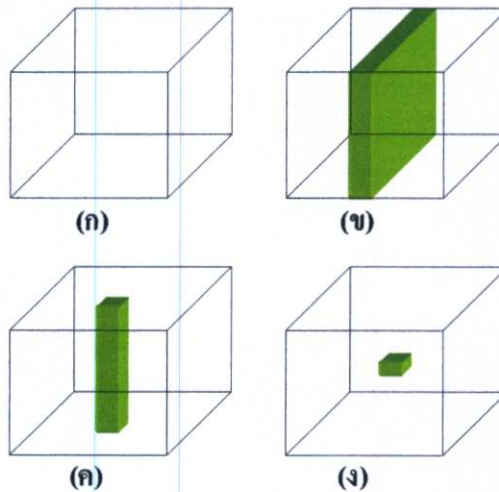
จากรูปที่ 2.5 จะเห็นได้ว่า เมื่อจำนวนอะตอมของผลึกซิลิคอนมีค่าลดลง จะมีผลทำให้ช่องว่างพลังงานมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งในทางปฏิบัติการลดจำนวนอะตอมของผลึกซิลิคอนลงนั้นสามารถทำได้โดยการลดหรือบีบขนาดโครงสร้างของผลึกซิลิคอนให้มีขนาดเล็กลงอยู่ในระดับของนาโนเมตร จนสามารถเกิดปรากฏการณ์ทางควอนตัม อันจะมีผลทำให้ลักษณะโครงสร้างทางช่องว่างพลังงานมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเนื้อผลึกซิลิคอนเดิม เรียกปรากฏการณ์เช่นนี้ว่า ผลของขนาดควอนตัม (quantum size effect) ซึ่งค่าพลังงานที่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเนื่องจากปรากฏการณ์นี้จะมีค่าเท่ากับ

$$E_q = \Delta E_c + \Delta E_v \quad (2.1)$$

โดยที่ E_q คือ พลังงานที่เกิดขึ้นจากปรากฏการณ์ ผลของขนาดควอนตัม

ΔE_c คือ พลังงานที่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากระดับพลังงานต่ำสุดของแถบความนำเดิมก่อนเกิดพอร์สซิลิคอน

ΔE_v คือ พลังงานที่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากระดับพลังงานต่ำสุดของแถบวาเลนซ์เดิมก่อนเกิดพอร์สซิลิคอน



รูป 2.6 แบบจำลองลักษณะ โครงสร้างทางควอนตัมแบบต่างๆ

- (ก) เนื้อผลึกซิลิคอน (ข) ควอนตัมในเชิง 2 มิติ
(ค) ควอนตัมในเชิง 1 มิติ (ง) ควอนตัมในแบบไม่มีมิติ

จากรูปที่ 2.6 พาหะนำกระแสที่อยู่ภายในโครงสร้างเล็กๆ เหล่านี้ จะเสมือนว่าได้ถูกกักขังให้อยู่ภายในบริเวณที่มีเนื้อที่จำกัด ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปมาได้อย่างอิสระในแบบ 3 มิติได้

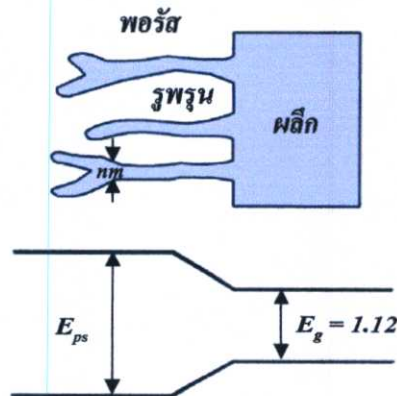
เหมือนกับอยู่ในเนื้อผลึกซิลิคอนปกติ มีผลทำให้คุณสมบัติทางไฟฟ้า และคุณสมบัติทางแสงจะแตกต่างกันไปจากเนื้อซิลิคอนเดิม

ทิศทางการเคลื่อนที่โดยรวมของพาหะนำกระแสจะถูกบีบหรือบังคับ ด้วยลักษณะและขนาดของโครงสร้างผลึก ด้วยเหตุผลนี้จึงทำให้ปรากฏการณ์ ผลของขนาดควอนตัม สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทด้วยกันคือ

1. ควอมตัมในเชิง 2 มิติ (quantum well) เกิดจากการลดขนาดหรือปลูกผลึกให้มีลักษณะเป็นชั้นที่มีความบางมากๆ ในระดับชั้นของโมเลกุล เช่น 30-50 ชั้น โมเลกุล (< 100 nm) พาหะนำกระแสที่ถูกกักขังให้อยู่ภายในโครงสร้างลักษณะนี้ จะถูกบีบหรือจำกัดทิศทางในการเคลื่อนที่โดยรวมให้สามารถเคลื่อนที่ไปมาในโครงสร้างแบบ 2 มิติ ดังแสดงในรูปที่ 2.6 (ข)

2. ควอมตัมในเชิง 1 มิติ (quantum wire) เกิดจากการลดขนาดหรือปลูกผลึกให้มีลักษณะเป็นเส้นหรือเสาแคบๆ ที่มีความหนาอยู่ในระดับนาโนเมตร (< 10 nm) พาหะนำกระแสที่ถูกกักขังอยู่ภายในโครงสร้างลักษณะนี้จะถูกจำกัดทิศทางในการเคลื่อนที่โดยรวมให้สามารถเคลื่อนที่ไปในโครงสร้างแบบ 1 มิติ หรือเพียงทิศทางเดียวตามความยาวของโครงสร้างที่เป็นเส้นหรือเสาเท่านั้น ดังแสดงในรูป 2.6 (ค) ซึ่งลักษณะช่องว่างพลังงานของโครงสร้าง 1 มิติแบบนี้ จะมีขนาดที่กว้างกว่าช่องว่างพลังงานของโครงสร้างแบบ 2 มิติ ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างในลักษณะแบบนี้จะมีขนาดที่เล็กกว่า และมีจำนวนอะตอมที่อยู่ภายในน้อยกว่าโครงสร้าง 2 มิติ

3. ควอมตัมในแบบไม่มีมิติ (quantum dot) เกิดจากการลดขนาดหรือปลูกผลึกให้มีลักษณะเป็นจุดที่มีขนาดเล็กมาก (< 1 nm) โดยพาหะนำกระแสที่ถูกกักขังให้อยู่ภายในโครงสร้างลักษณะแบบนี้ ในทางอุดมคติแล้วจะถูกจำกัดทิศทางในการเคลื่อนที่อย่างสมบูรณ์ ให้อยู่ภายในโครงสร้างในแบบที่ไม่มีมิติ ดังแสดงในรูปที่ 2.6 (ง) อะตอมที่อยู่ภายในโครงสร้างจุดเล็กๆเหล่านี้จะมีจำนวนที่น้อยกว่าในโครงสร้างสองแบบแรก ซึ่งจะมีผลทำให้ขนาดช่องว่างพลังงานของโครงสร้างที่เป็นแบบจุดนี้ จะมีความกว้างที่มากกว่าในโครงสร้างสองแบบแรก



รูปที่ 2.7 ลักษณะแถบพลังงานของพอร์สซิลิคอนเปรียบเทียบกับผลึกซิลิคอน

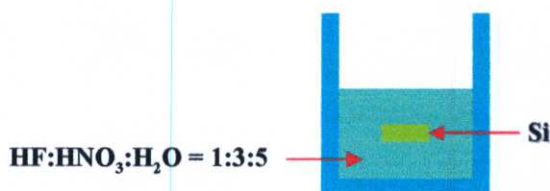
เนื่องจากโครงสร้างส่วนใหญ่ของชั้นพอร์ซซิลิคอนจะมีลักษณะเป็นเส้น หรือเสาแคบๆ ที่มีขนาดอยู่ในระดับนาโนเมตร ทำให้ปรากฏการณ์ทางควอนตัมที่เกิดขึ้นในโครงสร้างของพอร์ซซิลิคอน จัดอยู่ในประเภท ควอนตัมในเชิง 1 มิติ โดยจะมีลักษณะของแถบพลังงานดังแสดงในรูปที่ 2.7 ซึ่งความกว้างของช่องพลังงาน (E_{ps}) มีค่าขึ้นอยู่กับโครงสร้างระดับนาโนเมตรของพอร์ซซิลิคอน

2.2 เทคนิคการสร้างพอร์ซซิลิคอน

กระบวนการสร้างพอร์ซซิลิคอนให้มีโครงสร้างอยู่ในระดับนาโนเมตรมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน [14-18] แต่จะขอพิจารณาถึงเทคนิคการสร้างพอร์ซซิลิคอนที่เหมาะสม สามารถควบคุมตัวแปรต่างๆ ในการสร้างได้ และสามารถทำการสร้างในห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ได้

2.2.1 การสร้างพอร์ซซิลิคอนด้วยวิธีการกัดแบบย้อมสี (stain etching)

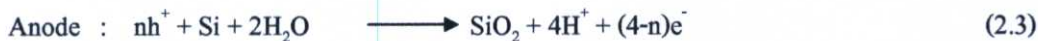
การสร้างพอร์ซซิลิคอนด้วยวิธีการกัดแบบย้อมสี [19] เป็นเทคนิคที่ทำการจุ่มแผ่นซิลิคอนลงในสารประกอบของกรดไฮโดรฟลูออริก (hydrofluoric acid : HF) ซึ่งจะประกอบด้วยสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก กรดไนตริก (nitric : HNO_3) และน้ำ ในอัตราส่วน 1:3:5 เป็นส่วนประกอบหลัก นอกจากนี้ยังอาจมีการใช้การกระตุ้นด้วยแสงสว่างในขณะที่ทำการกัดด้วยปฏิกิริยาเคมี เพื่อเป็นตัวช่วยการทำปฏิกิริยา



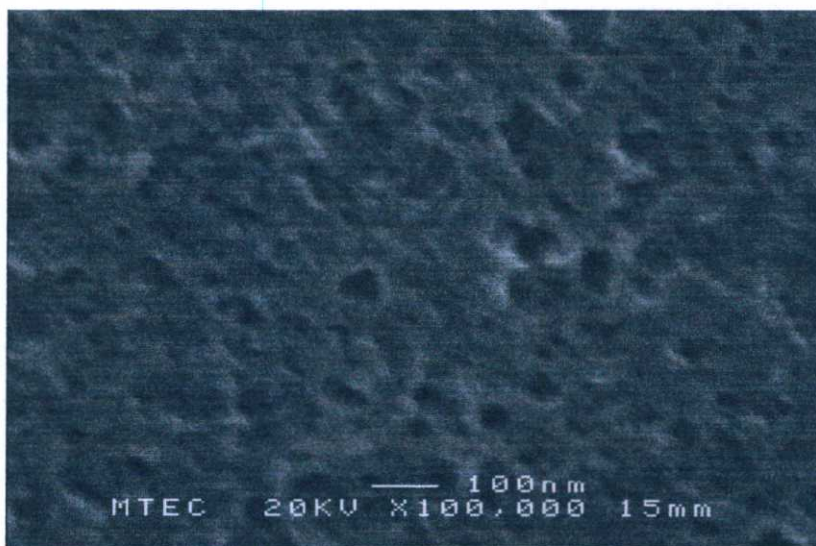
รูปที่ 2.8 ภาพตัดขวางของอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการกัดแบบย้อมสี

จากรูปที่ 2.8 กลไกการเกิดปฏิกิริยาเคมีของการกัดแบบย้อมสีคือ การทำให้เกิดประจุโฮล เพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาการกัดเนื้อซิลิคอน ซึ่งส่วนมากจะนิยมใช้สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก ทำปฏิกิริยากับกรดไนตริก เพื่อทำให้เกิดประจุโฮล หลังจากนั้นประจุโฮลที่เกิดขึ้นจะเข้าทำปฏิกิริยากับซิลิคอนและน้ำ เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ซิลิคอน ไดออกไซด์ ขณะที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันนี้เอง สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกก็จะกัดเนื้อซิลิคอน ไดออกไซด์บางส่วนออก ซึ่งการเกิดซิลิคอนไดออกไซด์ และการถูกกัดของซิลิคอนไดออกไซด์จะเป็นแบบสุ่ม เนื่องจากไม่มีกลไกในการควบคุมทิศทางการทำปฏิกิริยา ดังนั้นลักษณะโครงสร้างที่ได้จึงมักจะไม่มีรูปแบบ (non-uniform)

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการกัดแบบข้อมีสีสามารถเขียนเป็นสมการเคมีได้ดังนี้คือ



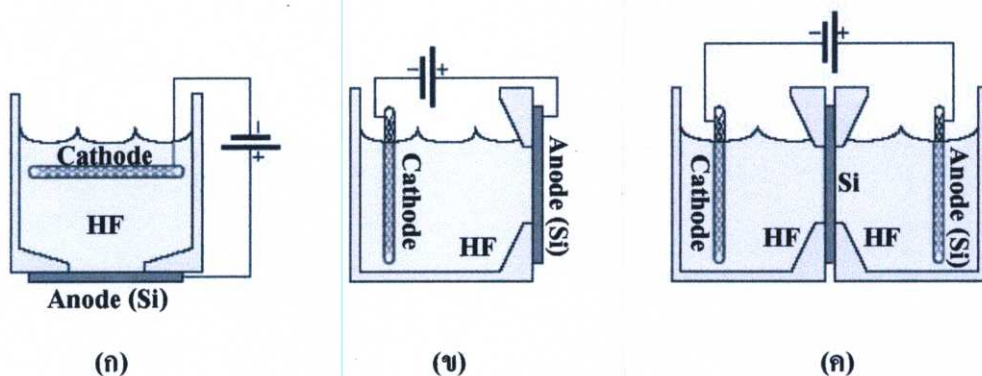
ในระหว่างกระบวนการกัดจะสังเกตเห็นว่า บริเวณที่กำลังทำปฏิกิริยาจะมีสีสันทันเปลี่ยนไปในรูปแบบที่คล้ายกับวงเวินสีของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ ทั้งนี้เนื่องจากความหนาของชั้นพอร์ซซิลิคอนที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง เช่น มีการเปลี่ยนแปลงของสีสันทันจากสีน้ำเงินเป็นสีเขียวและสีทองตามลำดับ ส่วนความหนาของชั้นพอร์ซซิลิคอนที่ได้จากกระบวนการกัดแบบข้อมีสีจะมีค่าประมาณ 100 nm และพื้นผิวของชั้นพอร์ซซิลิคอนที่เกิดจากกระบวนการกัดแบบข้อมีสีจะมีลักษณะไม่สม่ำเสมอ แสดงดังรูปที่ 2.9 [20]



รูปที่ 2.9 ภาพพื้นผิวของชั้นพอร์ซซิลิคอนที่ได้จากการกัดแบบข้อมีสี

2.2.2 การสร้างพอร์ซซิลิคอนด้วยวิธีการกัดทางไฟฟ้าเคมี (anodization)

การสร้างพอร์ซซิลิคอนด้วยวิธีการกัดทางไฟฟ้าเคมี หรือที่เรียกว่า แอนโนไดซ์เซชัน เป็นวิธีที่สามารถควบคุมปฏิกิริยาในการสร้างพอร์ซซิลิคอน ซึ่งจะส่งผลทำให้เกิดชั้นพอร์ซซิลิคอนที่มีความสม่ำเสมอ (uniform) ทั่วกันทั้งแผ่น โดยวิธีการแอนโนไดซ์เซชันนี้จะใช้อุปกรณ์เซลล์ไฟฟ้าเคมี แสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ภาพตัดขวางของอุปกรณ์เซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ใช้ในกระบวนการแอนโนไดซ์เซชัน

- (ก) เซลล์แท็งก์เดี่ยวในแนวตั้ง (ข) เซลล์แท็งก์เดี่ยวในแนวนอน
(ค) เซลล์แท็งก์คู่ในแนวนอน

อุปกรณ์เซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ใช้ในกระบวนการแอนโนไดซ์เซชันนี้จะประกอบด้วย แผ่นซิลิคอนอยู่ที่ขั้วแอโนด ส่วนขั้วแคโทดจะจมอยู่ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก จากรูปที่ 2.10 (ก) เป็นเซลล์ไฟฟ้าเคมีแบบเซลล์แท็งก์เดี่ยวในแนวตั้ง (single tank vertical cell) มีจุดเด่นอยู่ที่ขณะทำการสร้างพอร์สซิลิคอนสามารถฉายแสงเพื่อช่วยเร่งปฏิกิริยาการกัดได้ง่าย เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 2.10 (ข) จะเห็นได้ว่าเซลล์ไฟฟ้าเคมีแบบเซลล์แท็งก์เดี่ยวในแนวนอน (single tank lateral cell) นั้นทำการฉายแสงได้ยากกว่า ส่วนรูปที่ 2.10 (ค) เป็นเซลล์ไฟฟ้าเคมีแบบเซลล์แท็งก์คู่ในแนวนอน (double tank lateral cell) ซึ่งพัฒนามาจากเซลล์ไฟฟ้าเคมีแบบเซลล์แท็งก์เดี่ยวในแนวนอน เพื่อใช้ต่อร่วมกับปั๊ม (pump) ทำให้มีการไหลเวียนของสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกตลอดเวลาส่งผลทำให้ได้ชั้นพอร์สซิลิคอนที่สม่ำเสมอมากขึ้น แต่ก็ยังมีปัญหาในการฉายแสงเพื่อช่วยเร่งปฏิกิริยาการกัด โดยส่วนใหญ่การสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีแอนโนไดซ์เซชันจะมีเงื่อนไขต่างๆ ที่ใช้ในระหว่างการสร้างก็คือ ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก การผสมเอทานอลเพื่อช่วยให้เกิดความสม่ำเสมอของชั้นพอร์สซิลิคอนมากขึ้น [21] เวลา และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการแอนโนไดซ์เซชัน ซึ่งปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมีที่เกิดขึ้นจะมีผลทำให้บริเวณผิวของแผ่นซิลิคอนที่สัมผัสกับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกถูกกัดเป็นรูพรุนขนาดเล็กๆ จำนวนมาก โดยการสร้างพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการแอนโนไดซ์เซชันนี้สามารถควบคุมความสม่ำเสมอ ความพรุน และความหนาของพอร์สซิลิคอน ได้ดีกว่าวิธีการกัดแบบข้อมลี้ โดยภาพพื้นผิวของชั้นพอร์สซิลิคอนที่เกิดกระบวนการแอนโนไดซ์เซชันจะมีลักษณะสม่ำเสมอกว่าวิธีการกัดแบบข้อมลี้ แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ภาพพื้นผิวของชั้นพอร์สซิติคอนที่ได้จากกระบวนการแอโนไดซ์เซชัน

2.3 เซลล์ไฟฟ้าเคมี

การสร้างพอร์สซิติคอนด้วยวิธีการกัดทางไฟฟ้าเคมี [22] เป็นวิธีการที่น่าสนใจเป็นอย่างมาก โดยขบวนการทางไฟฟ้าเคมีเป็นปฏิกิริยาทางเคมีที่มีการถ่ายเทของอิเล็กตรอนเกิดขึ้นภายในระบบ สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation reaction) เป็นปฏิกิริยาที่อะตอมของสารมีการสูญเสียอิเล็กตรอนเกิดขึ้น ดังตัวอย่างเช่น สาร M มีวาเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ n คือ มีอิเล็กตรอน n อนุภาคโคจรอยู่ในวงนอกสุดของอะตอม สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดังนี้ คือ



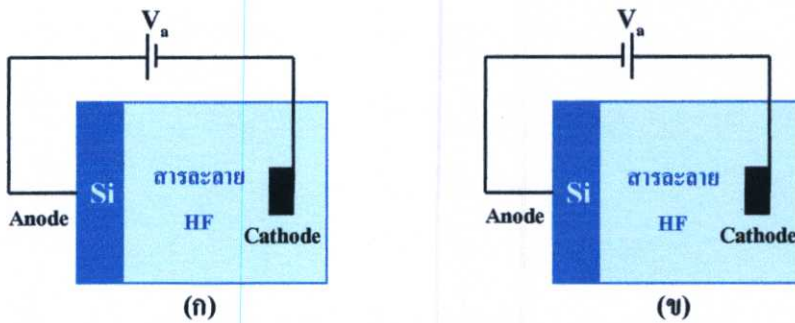
โดยบริเวณที่ซึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดขึ้นจะถูกเรียกว่า แอโนด (anode) ดังนั้นปฏิกิริยาออกซิเดชันจึงเรียกเป็น ปฏิกิริยาแอโนดิก (anodic reaction)

2. ปฏิกิริยารีดักชัน (reduction reaction) เป็นปฏิกิริยาที่อิเล็กตรอนที่เกิดจากแต่ละอะตอมของสารชนิดหนึ่งถูกถ่ายเท และเข้าร่วมเป็นส่วนหนึ่งของสารอีกชนิดหนึ่ง ดังตัวอย่างเช่น ไอออนของโลหะในสารละลายปฏิกิริยารีดักชันสามารถเกิดขึ้นได้ดังนี้ คือ



โดยบริเวณที่ซึ่งปฏิกิริยารีดักชันเกิดขึ้นจะถูกเรียกว่า แคโทด (cathode) ดังนั้นปฏิกิริยารีดักชันจึงเรียกเป็น ปฏิกิริยาแคโทดิก (cathodic reaction)

เมื่อพิจารณาปฏิกิริยาทั้งระบบแล้ว ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีที่เกิดขึ้นจะต้องประกอบด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันอย่างละหนึ่งปฏิกิริยาเป็นอย่างน้อย ดังเช่นในระบบของเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ประกอบด้วยสาร 2 ชนิด ที่ต่อกันในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ โดยสารอันหนึ่งจะเป็นแอโนดหรือสารที่ถูกกัด ส่วนสารอีกชิ้นหนึ่งจะเป็นแคโทด



รูปที่ 2.12 ลักษณะการไบอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมีในลักษณะต่าง
(ก) แบบแอโนดิก (ข) แบบแคโทดิก

พิจารณาเซลล์ไฟฟ้าในรูปที่ 2.12 ทางด้านซ้ายจะเป็นขั้วไฟฟ้าของแผ่นซิลิคอน (Si) ซึ่งจะถูกจุ่มอยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ โดยในที่นี้ได้แก่ สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก ส่วนทางด้านขวาจะเป็นขั้วไฟฟ้า ซึ่งเป็นขั้วอิเล็กโทรดที่ถูกจุ่มอยู่ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกเช่นกัน จากรูปจะเห็นได้ว่ามีลักษณะในการไบอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมี มีอยู่ 2 ลักษณะด้วยกัน คือ

1. การไบอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมีแบบแอโนดิก (anodic bias)

เป็นการไบอัสในลักษณะที่ขั้วไฟฟ้าของแผ่นซิลิคอนจะอยู่ทางขั้วบวก ส่วนขั้วไฟฟ้าที่จุ่มอยู่ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกจะอยู่ทางขั้วลบ การไบอัสในลักษณะเช่นนี้ แผ่นซิลิคอนจะเป็นขั้วแอโนด มีผลทำให้แผ่นซิลิคอนสามารถถูกกัดได้

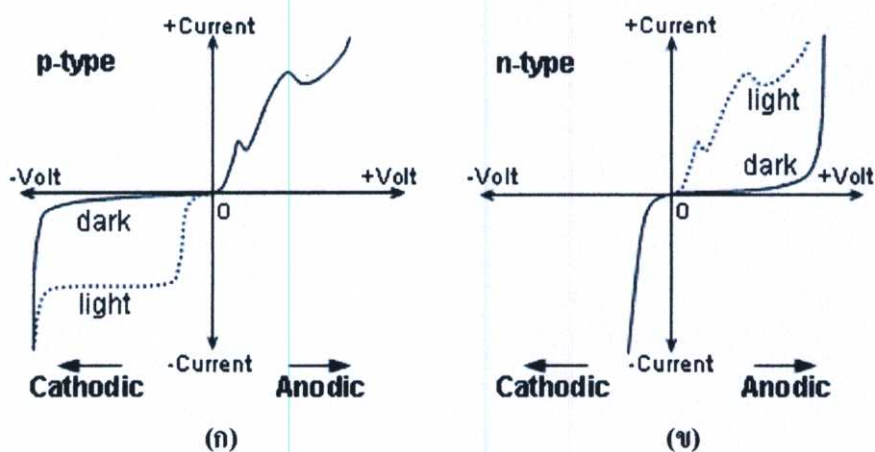
2. การไบอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมีแบบแคโทดิก (cathodic bias)

เป็นการไบอัสในลักษณะที่ขั้วไฟฟ้าของแผ่นซิลิคอนจะอยู่ทางขั้วลบ ส่วนขั้วไฟฟ้าที่จุ่มอยู่ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกจะอยู่ทางขั้วบวก การไบอัสในลักษณะเช่นนี้ แผ่นซิลิคอนจะเป็นขั้วแคโทด ทำให้ไม่เกิดการกัดแผ่นซิลิคอน

2.3.1 ลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้าภายในเซลล์ไฟฟ้าเคมี

ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่าง กระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ใช้สำหรับสร้างชั้นพอร์ซิลิคอนมีลักษณะและพฤติกรรมเป็นแบบช็อตคกิตไดโอด (schottky diode) ที่เกิดขึ้นจากการสัมผัสกันระหว่างวัสดุสองชนิด คือ แผ่นซิลิคอนกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งในที่นี้

ได้แก่ สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก โดยจะพิจารณาถึงลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าภายในเซลล์ไฟฟ้าเคมี ระหว่างแผ่นซิลิคอนชนิดพีและเอ็นในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก ภายใต้เงื่อนไขในการถูกฉายแสงและไม่ถูกฉายแสง แสดงดังรูปที่ 2.13 [22]



รูปที่ 2.13 ลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าเคมีระหว่างแผ่นซิลิคอน (ก) ชนิดพี และ (ข) ชนิดเอ็น ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก

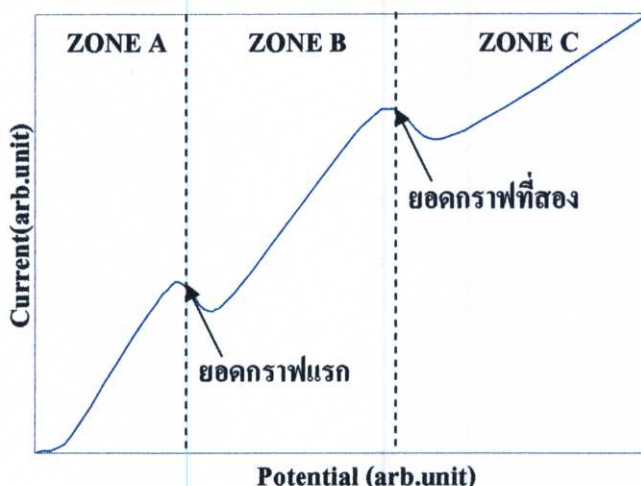
จากรูปที่ 2.13 แสดงถึงลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าเคมีระหว่างแผ่นซิลิคอนชนิดพีและเอ็นในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก โดยจะเห็นได้ว่ามีลักษณะในการไบอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมีอยู่สองลักษณะด้วยกัน คือ การไบอัสเซลล์ไฟฟ้าแบบแอนโนดิกและการไบอัสเซลล์ไฟฟ้าแบบแคโทดิก สำหรับแผ่นซิลิคอนชนิดพี การไบอัสเซลล์ไฟฟ้าแบบแอนโนดิก ลักษณะของกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ได้จะมีลักษณะเช่นเดียวกันกับการไบอัสแบบตรง (forward bias) ส่วนการไบอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมีแบบแคโทดิก ลักษณะของกระแสและแรงดันไฟฟ้าจะมีลักษณะเหมือนกับการไบอัสแบบย้อนกลับ (reverse bias) โดยจะมีกระแสรั่วซึ่งเกิดขึ้นจากผลของพาหะส่วนน้อยภายในแผ่นซิลิคอนชนิดพี และจากผลของการฉายแสง เช่นเดียวกันกับไดโอดทั่วไป ส่วนในแผ่นซิลิคอนชนิดเอ็น ลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้าจะมีลักษณะตรงกันข้ามกับแผ่นซิลิคอนชนิดพี โดยการไบอัสเซลล์ไฟฟ้าแบบแอนโนดิกสำหรับแผ่นซิลิคอนชนิดเอ็นจะมีลักษณะเช่นเดียวกันกับการไบอัสแบบย้อนกลับ ส่วนการไบอัสเซลล์ไฟฟ้าแบบแคโทดิก ลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ได้จะมีลักษณะเดียวกันกับการไบอัสแบบตรง

ตารางที่ 2.1 ลักษณะสำคัญที่เกิดขึ้น เนื่องจากการไบอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่แตกต่างกัน

ชนิดของแผ่น ซิลิคอน	ลักษณะการไบอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมี	
	แบบแคโทดิก	แบบแอโนดิก
ชนิดพี	<ul style="list-style-type: none"> - เนื้อของแผ่นซิลิคอนจะไม่ถูกกัด - ลักษณะการไบอัสเป็นแบบย้อนกลับ 	<ul style="list-style-type: none"> - เนื้อของแผ่นซิลิคอนถูกกัด โดย - จะเกิดโครงสร้างของพอร์สซิลิคอนที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำๆ - จะเกิดการขีดผิวหน้าของแผ่นซิลิคอนที่ศักย์ไฟฟ้ามีค่าสูงๆ - ลักษณะการไบอัสเป็นแบบตรง
ชนิดเอ็น	<ul style="list-style-type: none"> - เนื้อของแผ่นซิลิคอนจะไม่ถูกกัด - ลักษณะการไบอัสเป็นแบบตรง 	<ul style="list-style-type: none"> - เนื้อของแผ่นซิลิคอนถูกกัดก็ต่อเมื่อทำการฉายแสง โดย - จะเกิดโครงสร้างของพอร์สซิลิคอนที่ศักย์ไฟฟ้าต่ำๆ - จะเกิดการขีดผิวหน้าของแผ่นซิลิคอนที่ศักย์ไฟฟ้ามีค่าสูงๆ - ลักษณะการไบอัสเป็นแบบย้อนกลับ

จากตารางที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าการไบอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมีทั้งสองมีลักษณะเป็นรอยสัมผัสขั้วตักเหมือนกัน โดยการเกิดพอร์สซิลิคอนจะเกิดขึ้นเฉพาะเงื่อนไขในการไบอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมีแบบแอโนดิกเท่านั้น ส่วนการไบอัสเซลล์ไฟฟ้าแบบแคโทดิก จะไม่เกิดพอร์สซิลิคอนขึ้นไม่ว่าชนิดของแผ่นซิลิคอนจะเป็นชนิดพี หรือชนิดเอ็นก็ตาม โดยส่วนของแผ่นซิลิคอนชนิดเอ็น เนื่องจากการไบอัสเซลล์ไฟฟ้าแบบแอโนดิกนั้น เป็นการไบอัสแบบย้อนกลับ ดังนั้นในระหว่างการไบอัสเซลล์ไฟฟ้าแบบแอโนดิกจึงจำเป็นที่จะต้องทำการฉายแสงลงบนผิวด้านหน้าของแผ่นซิลิคอนชนิดเอ็นด้วย ทั้งนี้ก็เพื่อทำให้เกิดพาหะส่วนน้อย (โฮล) ขึ้นภายในแผ่นซิลิคอนชนิดเอ็น โดยโฮลจะเป็นตัวการที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากในกลไกในการเกิดพอร์สซิลิคอน

จากการพิจารณาลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าเคมีเฉพาะในส่วนที่มีการไบอัสแบบแอโนดิกของทั้งแผ่นซิลิคอนชนิดพี และชนิดเอ็น (ที่ได้ทำการฉายแสงขณะไบอัส) พบว่า มีลักษณะความสัมพันธ์ แสดงดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าเคมีในส่วนของไอออนแบบแอโนดิก

จากรูปที่ 2.14 ลักษณะความสัมพันธ์ดังกล่าวจะประกอบไปด้วยยอดกราฟอยู่ 2 จุดด้วยกัน โดยยอดกราฟทั้งสองจุดนี้จะเป็นตัวชี้และแบ่งแยกบริเวณที่มีลักษณะการกัดเนื้อของแผ่นซิลิคอนที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 บริเวณ ได้แก่ บริเวณ A, B และ C ตามลำดับ โดยในบริเวณ A เป็นช่วงในการเริ่มสร้างพอร์ซิลิคอน (porous silicon formation regions) จะเป็นบริเวณที่เนื้อของแผ่นซิลิคอนจะถูกกัดเป็นรูพรุนขนาดเล็กๆ ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดโครงสร้างของชั้นพอร์ซิลิคอนขึ้นมาก็ต่อเมื่อค่ากระแส ภายในเซลล์ไฟฟ้าเคมีจะต้องมีค่าน้อยกว่าค่าของกระแสสูงสุดที่ยอดกราฟแรก ส่วนในบริเวณ B เป็นช่วงการกัดที่ทำให้เกิดพอร์ซิลิคอน ส่วนช่วงที่อยู่ถัดมาจะเป็นบริเวณที่เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะการกัดเนื้อของซิลิคอน จากลักษณะการกัดที่ทำให้เกิดโครงสร้างของชั้นพอร์ซิลิคอน ไปสู่ลักษณะช่วงการกัดแบบขัดผิวหน้า (electropolishing regions) ซึ่งอยู่ในบริเวณ C โดยโครงสร้างของชั้นพอร์ซิลิคอนที่เกิดขึ้นในบริเวณ B นี้จะมีลักษณะเป็นรูพรุนเช่นเดียวกับพอร์ซิลิคอนที่เกิดขึ้นในบริเวณแรก แต่จะมีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนที่ใหญ่กว่าและสามารถเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นได้อย่างรวดเร็ว เมื่อความต่างศักย์ของเซลล์ไฟฟ้าเคมีมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจนเข้าสู่การกัดในลักษณะแบบขัดผิวหน้า ณ ตำแหน่งที่ค่าของกระแสมีค่าสูงสุดที่ยอดกราฟที่สอง และเมื่อพิจารณาจากยอดกราฟทั้งสองจุดในรูปจะสังเกตเห็นได้ว่า เมื่อทำการเพิ่มค่าความต่างศักย์ของเซลล์ไฟฟ้าเคมีให้มีค่ามากขึ้นจนกระแสภายในเซลล์ไฟฟ้าเคมีมีค่าสูงสุดแล้ว หลังจากนั้นกระแสก็จะเริ่มมีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากเกิดปรากฏการณ์ อิมพีแดนซ์เชิงลบ (negative impedance) ขึ้น โดยจากรูปที่ 2.14

- ในส่วนของยอดกราฟแรก

สำหรับแผ่นซิลิคอนชนิดพี จะเป็นผลมาจากการเกิดปรากฏการณ์ ผลของขนาดควอนตัม ขึ้นภายใน โครงสร้างของพอร์ซิลิคอน มีผลทำให้ช่องว่างพลังงานภายในมีความกว้างมากขึ้น กว่าเดิมได้ จนกระทั่งทำให้พาหะนำกระแสไม่สามารถผ่านเข้าไปใน โครงสร้างส่วนนั้นได้ ทำให้ ค่าความต้านทานภายในของชั้นพอร์ซิลิคอนมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งนำไปสู่การที่กระแสมีค่าลดลง

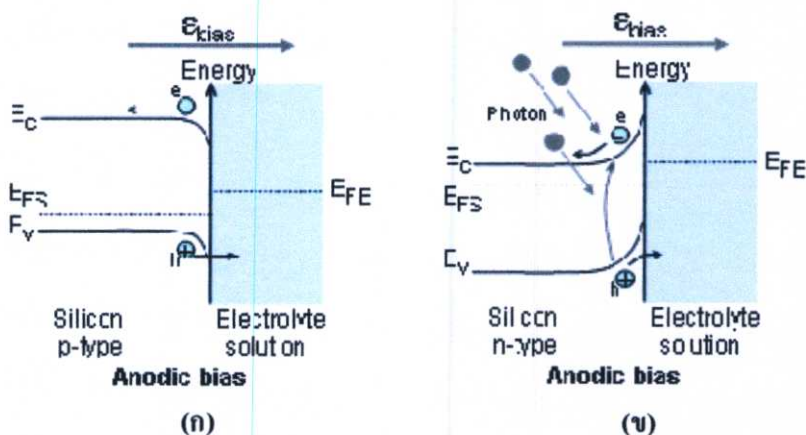
สำหรับแผ่นซิลิคอนชนิดเอ็น จะเป็นผลมาจากการเกิดบริเวณปลอดพาหะนำกระแสขึ้น รอบๆ โครงสร้างของพอร์ซิลิคอน และเมื่อ โครงสร้างของพอร์ซิลิคอนมีขนาดเล็กลงไปเรื่อยๆ จนบริเวณปลอดพาหะนำกระแสสามารถครอบคลุม โครงสร้างของพอร์ซิลิคอนได้ทั้งหมด มีผล ทำให้พาหะนำกระแสไม่สามารถผ่านเข้าไปในบริเวณนั้นได้ ทำให้ค่าความต้านทานภายในชั้น พอร์ซิลิคอนมีค่าเพิ่มขึ้น

- ในส่วนยอดกราฟที่สอง

ซึ่งอยู่ระหว่างบริเวณช่วงการกัดที่ทำให้เกิดพอร์ซิลิคอน กับช่วงการกัดแบบขัดผิวหน้า การที่กระแสมีค่าลดลงเป็นผลมาจากการเกิดออกไซด์ที่บริเวณผิวของพอร์ซิลิคอน ในระหว่าง กระบวนการกัดนั่นเอง

2.3.2 ลักษณะแถบพลังงานที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างแผ่นซิลิคอนกับสารละลายกรด ไฮโดรฟลูออริก

บริเวณผิวสัมผัสระหว่างแผ่นซิลิคอนกับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกภายใน เซลล์ไฟฟ้าเคมี จะมีลักษณะเป็นแบบช็อคกี โดยจะมีลักษณะของแถบพลังงานที่บริเวณผิวสัมผัส แสดงดังรูปที่ 2.15 [23]



รูปที่ 2.15 ลักษณะแถบพลังงานที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างแผ่นซิลิคอน

(ก) ชนิดพี และ (ข) ชนิดเอ็น กับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก

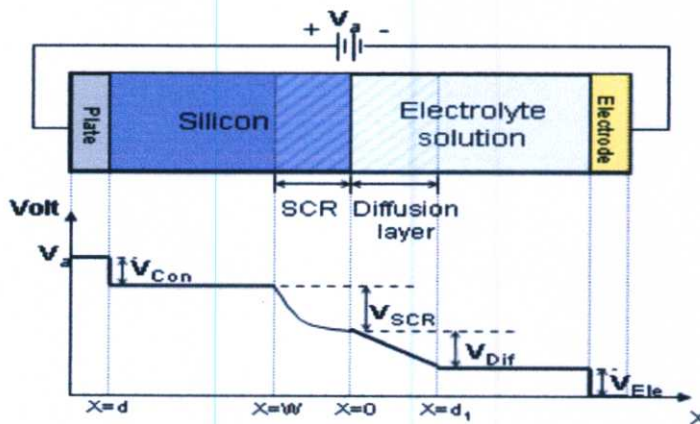
จากภาพข้างต้นจะเห็นได้ว่า มีการโค้งงอของแถบพลังงานเกิดขึ้นที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างแผ่นซิลิคอนกับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก โดย

ในแผ่นซิลิคอนชนิดพี การโค้งงอของแถบพลังงาน ณ บริเวณผิวสัมผัสจะมีลักษณะโค้งลง ซึ่งภายใต้การไบอัสเซลล์ไฟฟ้าแบบแอโนดิก กระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่านผิวสัมผัสได้ เนื่องจากเป็นการไบอัสแบบตรง ทำให้เกิดกระบวนการกัดเนื้อของแผ่นซิลิคอนอย่างต่อเนื่องขึ้นได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.15 (ก)

ในแผ่นซิลิคอนชนิดเอ็น การโค้งงอของแถบพลังงาน ณ บริเวณผิวสัมผัสจะมีลักษณะโค้งงอขึ้น โดยการโค้งงอจะมีค่ามากขึ้นกว่าเดิมเมื่อแผ่นซิลิคอนชนิดเอ็นอยู่ภายใต้การไบอัสแบบแอโนดิก ทำให้กระแสไฟฟ้าไม่สามารถไหลผ่านกำแพงศักย์ไปที่ผิวสัมผัสได้ ทำให้ไม่เกิดกระบวนการกัดเนื้อของแผ่นซิลิคอนชนิดเอ็น ดังนั้น ในระหว่างการสร้างชั้นพอร์ซซิลิคอน จึงจำเป็นที่จะต้องทำการฉายแสงให้กับแผ่นซิลิคอนชนิดเอ็น ทั้งนี้ก็เพื่อเพิ่มจำนวนพาหะนำกระแสขึ้นภายในแผ่นซิลิคอนชนิดเอ็น เพื่อให้เกิดกระบวนการกัดเนื้อของแผ่นซิลิคอน ดังแสดงในรูปที่ 2.15 (ข)

2.3.3 การกระจายตัวของศักย์ไฟฟ้าภายในเซลล์ไฟฟ้าเคมี

เซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ใช้ในกระบวนการกัดพอร์ซซิลิคอน จะประกอบด้วยแผ่นซิลิคอนถูกจุ่มอยู่ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก โดยมีกรไบอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมีแบบแอโนดิก ซึ่งมีผลทำให้ที่บริเวณผิวสัมผัสต่างๆ ภายในเซลล์ไฟฟ้าเคมีจะมีศักย์ไฟฟ้าตกคร่อม และมีการกระจายตัวของศักย์ไฟฟ้าภายในเซลล์ไฟฟ้าเคมี แสดงดังรูปที่ 2.16 [24]



รูปที่ 2.16 การกระจายตัวของศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมบริเวณต่างๆ ภายในเซลล์ไฟฟ้าเคมี โดยที่ d เป็นความหนาของแผ่นซิลิคอน, W เป็นความกว้างของบริเวณปลอดพาหะนำกระแส และ d_1 เป็นความกว้างของบริเวณชั้นที่เกิดการแพร่ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก

จากรูปที่ 2.16 จะเห็นได้ว่ามีศักดาไฟฟ้าคร่อมบริเวณต่างๆ ภายในเซลล์ไฟฟ้าเคมี ดังนี้คือ

- ในเนื้อของแผ่นซิลิคอน จะมีศักดาไฟฟ้าคร่อมบริเวณดังต่อไปนี้ คือ
 1. ศักดาไฟฟ้าที่คร่อมบริเวณข้อสัมผัสระหว่างขั้วโลหะกับแผ่นซิลิคอน
 2. ศักดาไฟฟ้าที่คร่อมบริเวณหลอดพาหะนำกระแส
- ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก จะมีศักดาไฟฟ้าคร่อมบริเวณดังต่อไปนี้ คือ
 3. ศักดาไฟฟ้าที่คร่อมบริเวณข้อสัมผัสระหว่างขั้วอิเล็กโตรด กับสารละลายกรดไฮโดร-ฟลูออริก
 4. ศักดาไฟฟ้าที่คร่อมบริเวณชั้นที่เกิดการแพร่ (diffusion layer)

ถ้าให้ V_a เป็นศักดาไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่เซลล์ไฟฟ้าเคมี เราสามารถเขียนสมการศักดาไฟฟารวมของระบบได้ดังนี้ คือ

$$V_a = V_{diff} + V_{SCR} + V_{Con} + V_{Elec} \quad (2.8)$$

- โดย V_{diff} คือ ศักดาไฟฟ้าที่คร่อมบริเวณชั้นที่เกิดการแพร่
 V_{SCR} คือ ศักดาไฟฟ้าที่คร่อมบริเวณหลอดพาหะ
 V_{Con} คือ ศักดาไฟฟ้าที่คร่อมบริเวณข้อสัมผัสระหว่างขั้วโลหะกับแผ่นซิลิคอน
 V_{Elec} คือ ศักดาไฟฟ้าที่คร่อมบริเวณข้อสัมผัสระหว่างขั้วอิเล็กโตรดกับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก

ศักดาไฟฟ้า V_{con} กับ V_{elec} ในเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่มีเงื่อนไขในการสร้างชั้นของพอร์ซิลิคอนแบบเดียวกันจะมีค่าคงที่เสมอ ดังนั้นจึงทำให้สมการที่ (2.8) สามารถเขียนได้เป็น

$$V_a = V_{diff} + V_{SCR} + Constant \quad (2.9)$$

จากสมการที่ (2.9) จะเห็นได้ว่าศักดาไฟฟ้าที่คร่อมบริเวณชั้นที่เกิดการแพร่ (V_{diff}) กับศักดาไฟฟ้าที่คร่อมบริเวณหลอดพาหะ เป็นตัวแปรที่สำคัญภายในเซลล์ไฟฟ้าเคมี ซึ่งจะเป็นตัวควบคุมพาหะและปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น โดย

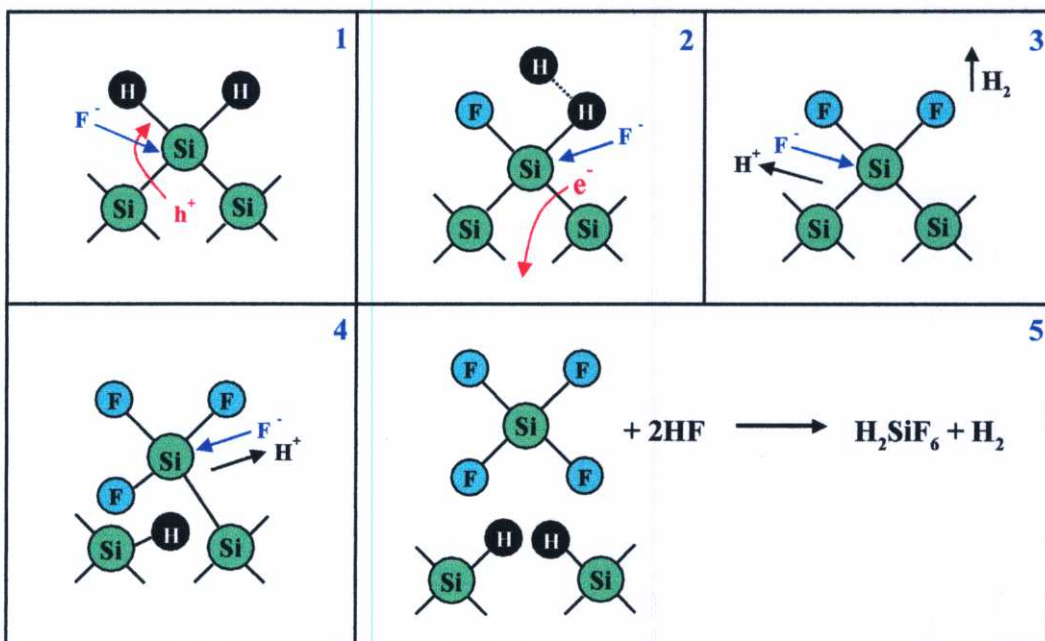
ในแผ่นซิลิคอนชนิดพี เนื่องจากเป็นการไบอัสแบบตรง ทำให้ไม่เกิดบริเวณหลอดพาหะขึ้นในแผ่นซิลิคอน ดังนั้นศักดาไฟฟ้าหลักที่คร่อมอยู่ในเซลล์ไฟฟ้าเคมี ก็คือ ศักดาไฟฟ้าที่คร่อมบริเวณชั้นที่เกิดการแพร่ โดย V_{diff} นี้จะควบคุม อีออนลบของฟลูออรีนที่อยู่ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกตรงบริเวณชั้นที่เกิดการแพร่

ในแผ่นซิลิคอนชนิดอื่น เนื่องจากการไบอัสแบบย้อนกลับ ทำให้ที่บริเวณผิวสัมผัสของแผ่นซิลิคอนชนิดอื่นเกิดบริเวณปลดพาหะขึ้น และเกิดศักดาไฟฟ้าตกคร่อมบริเวณปลดพาหะตกคร่อมบริเวณนี้ โดยบริเวณปลดพาหะนี้จะเป็นตัวควบคุมพาหะนำกระแสภายในแผ่นซิลิคอน ซึ่งจะมีผลต่อปฏิกิริยาเคมีในการกัด และ โครงสร้างของพอร์ซซิลิคอนที่ถูกสร้างขึ้น

2.4 กลไกในการเกิดพอร์ซซิลิคอน [25]

2.4.1 ปฏิกิริยาเคมีในการกัดบริเวณผิวของแผ่นซิลิคอน

ในสภาวะปกติเมื่อทำการจุ่มผลึกซิลิคอนลงไปในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกผิวหน้าของผลึกซิลิคอนจะไม่ถูกสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกทำปฏิกิริยา แต่เมื่อไรก็ตามที่แผ่นซิลิคอนถูกนำมาอยู่ในเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่มีการไบอัสแบบแอนโอดิกแล้ว ผิวหน้าของแผ่นซิลิคอนที่สัมผัสกับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกจะถูกกัดเป็นรูพรุนขนาดเล็กๆ เกิดเป็นชั้นพอร์ซซิลิคอนขึ้นมา โดยปฏิกิริยาเคมีและขั้นตอนในการกัดเนื้อของผลึกซิลิคอน แสดงดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 ขั้นตอนและกลไกทางเคมีในการกัดเนื้อของแผ่นซิลิคอน

เริ่มต้นจากขั้นตอนแรกเมื่อยังไม่มี การไบอัสแบบแอนโอดิก ซึ่งเป็นกระบวนการในการป้อนศักย์ไฟฟ้าบวกให้กับขั้วแอนโอด (Si) ที่บริเวณผิวหน้าของแผ่นซิลิคอนจะมีอะตอมของไฮโดรเจนปกคลุมอยู่เต็ม มีผลทำให้อิออนของฟลูออรีนที่อยู่ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกไม่สามารถที่จะเข้ามาทำลายพันธะเคมีระหว่างซิลิคอนกับไฮโดรเจนอะตอมได้ (Si - H) แต่เมื่อไหร่ก็ตามที่มีการไบอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมีแบบแอนโอดิก โดยมี การป้อนศักย์ไฟฟ้าบวกให้แก่

ซิลิคอน (Si) จนพาหะ โฮล สามารถเคลื่อนที่มาถึงบริเวณผิวหน้าของแผ่นซิลิคอนที่สัมผัสกับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก มีผลทำให้พันธะเคมีระหว่างซิลิคอนกับไฮโดรเจนอะตอมที่ผิวสามารถถูกทำลายได้ โดยอิเล็กตรอนของฟลูออรีนที่อยู่ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกเกิดเป็นพันธะเคมีระหว่างซิลิคอนกับฟลูออรีน (Si - F) ขึ้นมาแทน ดังแสดงเอาไว้ในขั้นตอนที่ 1 และเนื่องจากอิทธิพลในการโพลาไรซ์ (polarizing) ของพันธะฟลูออรีนที่เกิดขึ้นในขั้นตอนแรก ส่งผลทำให้อิเล็กตรอนของฟลูออรีน (F) อีกตัวที่อยู่ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกสามารถที่จะเข้าทำลายพันธะเคมีระหว่างซิลิคอนกับไฮโดรเจนอะตอม (Si - H) ที่ยังคงเหลืออยู่อีกข้างหนึ่งได้ พร้อมกับเกิดโมเลกุลของก๊าซไฮโดรเจน (H_2) และมีการปล่อยพาหะอิเล็กตรอน 1 ตัวไปยังซิลิคอน ดังแสดงในขั้นตอนที่ 2 และ 3 ต่อจากนั้น จะเกิดการเหนี่ยวนำวาเลนซ์อิเล็กตรอน โดยกลุ่มของพันธะเคมีซิลิคอนกับฟลูออรีน (Si - F groups) ที่เกิดขึ้นในขั้นตอนที่ 2 และ 3 มีผลทำให้พันธะเคมีระหว่างซิลิคอนกับซิลิคอนที่อยู่ถัดเข้ามา มีความแข็งแรงลดลง ทำให้พันธะเคมีดังกล่าวสามารถที่จะถูกทำลายได้ โดยอิเล็กตรอนของฟลูออรีน เกิดเป็นพันธะเคมีระหว่างซิลิคอนกับฟลูออรีน ขึ้นมาแทน ดังแสดงในขั้นตอนที่ 3 และ 4 จากขั้นตอนนี้เองจะเห็นได้ว่า อะตอมของซิลิคอนจะถูกดึงให้หลุดออกมาจากผิวหน้าของแผ่นซิลิคอนพร้อมกับการเกิดพันธะเคมีระหว่างไฮโดรเจนกับซิลิคอนอะตอมที่อยู่ถัดเข้ามา ดังแสดงเอาไว้ในขั้นตอนที่ 5

ส่วนปฏิกิริยาเคมีในการกัดที่เกิดขึ้นสามารถเขียนเป็นสมการเคมีได้ดังนี้คือ [34]



จากสมการที่ (2.10) และ (2.11) สามารถเขียนสมการปฏิกิริยาเคมีรวม ได้เป็น



จากสมการปฏิกิริยาเคมีที่แสดงข้างต้นนั้น เริ่มจากปฏิกิริยาเคมีในสมการที่ (2.10) ที่มีแผ่นซิลิคอน (Si) เป็นสารเริ่มต้น อยู่ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก (HF) โดยในปฏิกิริยาเคมีนี้จำเป็นต้องอาศัยโฮล (h^+) ในการเกิดปฏิกิริยาเคมี ซึ่งจะทำให้เกิด SiF_2 ขึ้นที่บริเวณผิวของแผ่นซิลิคอน ต่อจากนั้นก็เกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่าง SiF_2 กับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก ดังแสดงในสมการที่ (2.11) ได้ผลลัพธ์เป็น SiF_4 หลุดออกมาจากผิวของแผ่นซิลิคอน ในระหว่างกระบวนการกัดขั้นตอนนี้เอง สังเกตได้ว่าจะเกิดก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ขึ้นที่บริเวณผิวหน้าของแผ่นซิลิคอนที่ถูกกัด ท้ายสุดก็จะเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่าง SiF_4 กับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก ซึ่ง

จะได้ผลลัพท์สุดท้ายก็คือสารละลาย H_2SiF_6 อยู่ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก ดังแสดงในสมการที่ (2.12)

2.4.2 การเกิดรูพรุนของพอร์ซซิลิคอน

แผ่นซิลิคอนเมื่ออยู่ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกจะไม่ถูกกัด แต่เมื่อไหร่ก็ตามที่ทำการป้อนกระแสไฟฟ้าในลักษณะแบบไบอัสขั้วบวกแก่เซลล์ไฟฟ้าเคมี ให้กระแสไหลผ่านรอยสัมผัสระหว่างแผ่นซิลิคอนกับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก จะมีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาการกัดทางไฟฟ้าเคมีเกิดขึ้น โดยลักษณะการกัดทางไฟฟ้าเคมีจะมีอยู่ 2 แบบ คือ (1) การกัดแบบขัดผิวหน้าด้วยไฟฟ้า (electropolishing) และ (2) การกัดแบบทำให้เกิดพอร์ซซิลิคอน (porous etching)

ทั้งสองแบบมีลักษณะการกัดที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในระหว่างการแอโนไดซ์เซชัน โดยประจุพาหะชนิดบวก (โฮล) จะเป็นตัวที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อกระบวนการการกัดทั้งสองลักษณะ

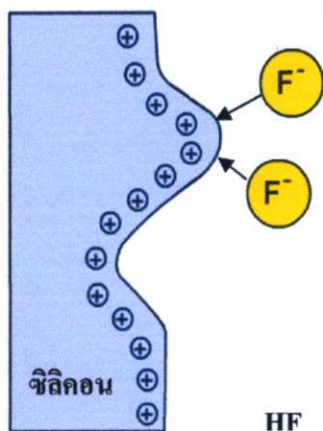
- การกัดแบบขัดผิวหน้าด้วยไฟฟ้า

การกัดในลักษณะนี้จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อทำการป้อนความหนาแน่นกระแสให้แก่เซลล์ไฟฟ้าเคมีในปริมาณสูงๆ ($J > J_{ps}$) ซึ่งจะทำให้ที่บริเวณผิวสัมผัสของแผ่นซิลิคอนมีปริมาณของพาหะโฮลสะสมอยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้การกัดที่เกิดขึ้นจะถูกจำกัดโดยอ็อกซิเจนของฟลูออรีนที่อยู่ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก โดยอ็อกซิเจนฟลูออรีนเหล่านี้จะเคลื่อนที่ภายในสนามไฟฟ้า ดังนั้นถ้าผิวของแผ่นซิลิคอนมีส่วนที่ยื่นออกมา ดังแสดงในรูปที่ 2.18 (ก) จะมีผลทำให้ที่บริเวณปลายสุดของส่วนที่ยื่นออกมามีปริมาณความเข้มของสนามไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งจะดึงเอาอ็อกซิเจนของฟลูออรีนเข้ามาทำปฏิกิริยาเคมีในการกัดเนื้อของแผ่นซิลิคอนที่บริเวณปลายสุดที่ยื่นออกมาเป็นส่วนใหญ่ มีผลทำให้ส่วนที่ยื่นออกมาถูกกัดจนเรียบ ดังนั้นเราจึงเรียกการกัดในลักษณะเช่นนี้ว่าการขัดผิวหน้าด้วยไฟฟ้า

- การกัดแบบทำให้เกิดพอร์ซซิลิคอน

ส่วนลักษณะการกัดแบบทำให้เกิดพอร์ซซิลิคอน จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อทำการป้อนความหนาแน่นกระแสในปริมาณต่ำ ($J < J_{ps}$) ซึ่งจะทำให้ปริมาณอ็อกซิเจนของฟลูออรีนในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก มีจำนวนมากกว่าจำนวนของโฮลที่อยู่บริเวณผิวสัมผัสของผลึกซิลิคอน ทำให้การกัดในลักษณะนี้จะถูกจำกัดโดยจำนวนโฮล ดังนั้นถ้าผิวของผลึกซิลิคอนมีลักษณะเป็นหลุมหรือรอยซึ่งเกิดจากความไม่เรียบของพื้นผิวหรือจุดบกพร่องต่างๆ ในผลึกซิลิคอน ดังแสดงในรูปที่ 2.18 (ข) เมื่อทำการไบอัสแบบแอโนดิกให้แก่เซลล์ไฟฟ้าเคมีจะมีผลทำให้ที่บริเวณก้นหลุมหรือจุดบกพร่องเหล่านี้ มีปริมาณความเข้มสนามไฟฟ้าสูงกว่าที่บริเวณอื่นๆ ซึ่งจะเอาพาหะโฮลเข้ามาขังจุดนี้กันมาก ดังแสดงในรูปที่ 2.19 ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีในการกัดเนื้อของผลึกซิลิคอนที่บริเวณก้นหลุมจนเกิดเป็นรูพรุนลึกลงไปในเรื่องของผลึกซิลิคอน

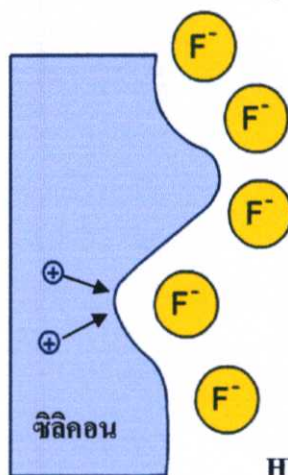
ความหนาแน่นกระแสสูงๆ



HF

(ก)

ความหนาแน่นกระแสต่ำๆ



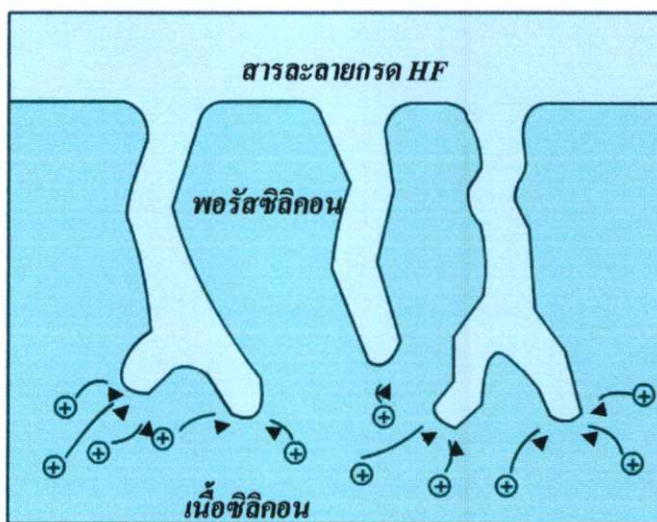
HF

(ข)

รูปที่ 2.18 แบบจำลองการกัดเนื้อของผลึกซิลิคอนทั้งสองลักษณะ

(ก) ลักษณะการกัดแบบขัดผิวหน้าด้วยไฟฟ้า

(ข) ลักษณะการกัดแบบทำให้เกิดพอร์ซิลิคอน

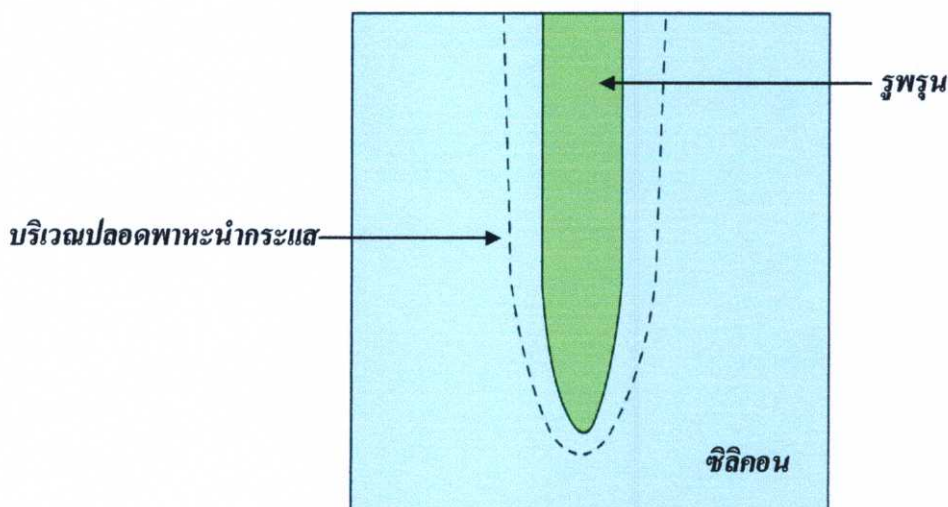


รูปที่ 2.19 การเคลื่อนที่พาหะ โสลที่ถูกดึงมารวมกับที่บริเวณก้นหลุมเนื่องจากอิทธิพลของสนามไฟฟ้า

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้น เป็นกลไกการเกิดรูพรุนภายในผลึกซิลิคอนทั้งชนิดพี และชนิดเอ็นอย่างง่าย ๆ ซึ่งถ้าจะพิจารณาโดยละเอียดแล้วพบว่าผลึกซิลิคอนทั้งสองชนิดมีกลไกการเกิดโครงสร้างของพอร์ซิลิคอนที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากการไบอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมีในลักษณะแบบแอโนดิก

สำหรับผลึกซิลิคอนชนิดพี จะเป็นการไบอัสแบบตรง ซึ่งการไบอัสในลักษณะเช่นนี้จะไปลดสนามไฟฟ้าภายในบริเวณปลอดพาหะลง โดยจะเกิดขึ้นตามผิวสัมผัสของผลึกซิลิคอน อันเป็นผลมาจากการสัมผัสกันระหว่างผิวหน้าของผลึกซิลิคอนกับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก มีผลทำให้กระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่านรอยสัมผัสระหว่างผลึกซิลิคอนกับสารละลายไฮโดรฟลูออริกได้ ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าทางเคมีในการกัดเนื้อของผลึกซิลิคอน เกิดเป็นรูพรุนได้อย่างต่อเนื่องตามที่ได้อธิบายมาแล้วข้างต้น

สำหรับผลึกซิลิคอนชนิดเอ็น การไบอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมีในลักษณะแอโนดิก จะเป็นการไบอัสแบบย้อนกลับ ซึ่งจะมีผลทำให้บริเวณปลอดพาหะ มีความกว้างเพิ่มขึ้นมากกว่าเดิมในขณะที่ยังไม่ทำการไบอัส ดังนั้นถ้าบริเวณของผลึกซิลิคอนชนิดเอ็นมีลักษณะเป็นหลุม ซึ่งเกิดจากความไม่เรียบของพื้นผิว จะมีผลทำให้บริเวณผนังรอบๆ หลุมเหล่านั้นเกิดบริเวณปลอดพาหะขึ้นรอบๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.20



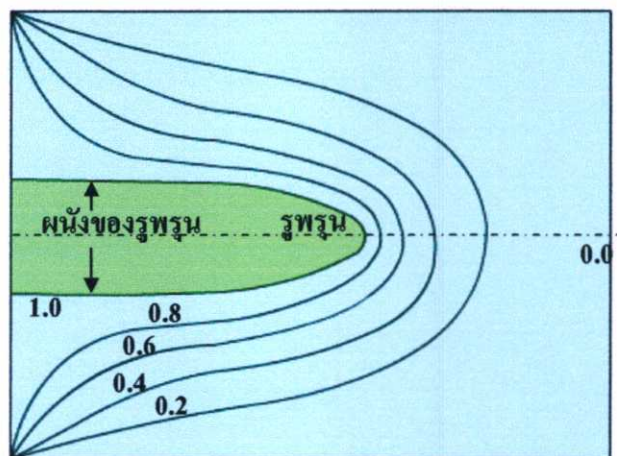
รูปที่ 2.20 บริเวณปลอดพาหะที่เกิดขึ้นรอบๆ ผนังของรูพรุนที่บริเวณผิวของผลึกซิลิคอน

โดยความกว้างของบริเวณบริเวณปลอดพาหะที่เกิดขึ้นจะมีค่าเท่ากับ

$$W = \sqrt{\frac{2\varepsilon_S \varepsilon_0 V_{SCR}}{qN_D}} \quad (2.14)$$

โดยที่	W	คือ ความกว้างบริเวณบริเวณปลอดพาหะ
	ϵ_s	คือ เปรอร์มิติวิตี (permittivity) ของผลึกซิลิคอน
	ϵ_0	คือ เปรอร์มิติวิตีของสุญญากาศ
	V_{SCR}	คือ ความต่างศักย์ที่ตกคร่อมบริเวณปลอดพาหะ
	q	คือ ประจุของอิเล็กตรอน
	N_D	คือ จำนวนอะตอมสารเจือผู้ให้

จากสมการที่ (2.14) จะเห็นได้ว่าความกว้างของบริเวณปลอดพาหะจะมีค่าขึ้นอยู่กับค่าความต่างศักย์ที่ตกคร่อมบริเวณปลอดพาหะ (V_{SCR}) และจำนวนอะตอมสารเจือผู้ให้ (N_D) ในผลึกซิลิคอนชนิดเอ็น



รูปที่ 2.21 การกระจายตัวของศักดาไฟฟ้ารอบๆพื้นที่ของรูพรุน

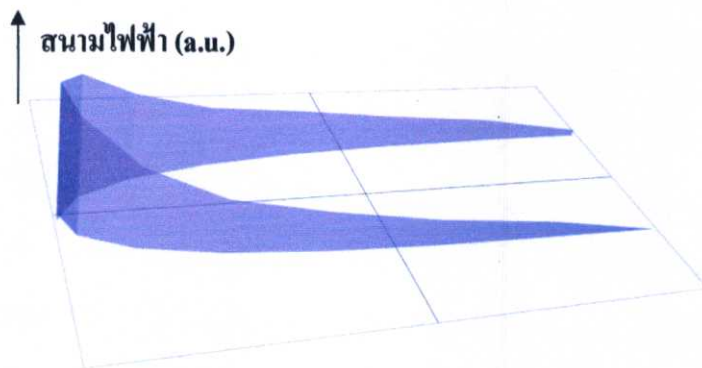
บริเวณปลอดพาหะที่เกิดขึ้นรอบรูพรุน จะมีการกระจายตัวของศักดาไฟฟ้าเป็นไปตามรูปที่ 2.21 โดยมีปริมาณของสนามไฟฟ้ารอบๆพื้นที่ของรูพรุน (E_s) มีค่าเท่ากับ

$$E_s = 2V_{SCR}/W \quad (2.15)$$

ส่วนสนามไฟฟ้าที่เกิดรอบๆก้นหลุมของรูพรุน (E'_s) จะมีค่า

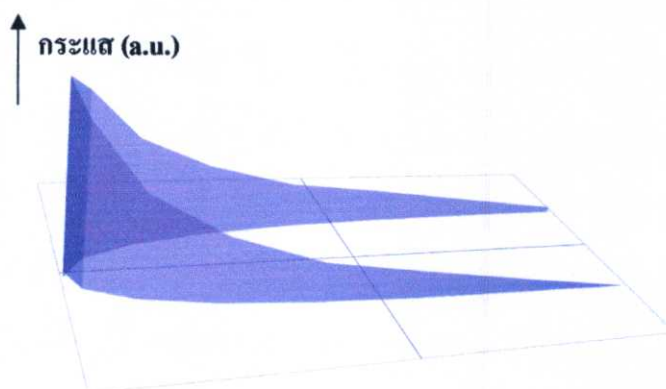
$$E'_s = V_{SCR}/r \quad (2.16)$$

โดย r คือ รัศมีก้นหลุมของรูพรุน



รูปที่ 2.22 การกระจายตัวของสนามไฟฟ้ารอบๆผนังของรูพรุน

จากรูปที่ 2.22 จะเห็นได้ว่าขนาดของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นรอบๆผนังของรูพรุนจะมีขนาดที่แตกต่างกัน กล่าวคือผนังบริเวณก้นหลุมของรูพรุนมีปริมาณของสนามไฟฟ้าที่สูงกว่าบริเวณผนังรอบๆ ของรูพรุนอยู่ถึงประมาณ 2-3 เท่า ส่วนผนังบริเวณปากจะจะมีค่าต่ำสุดจนเกือบมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ซึ่งจากการที่ก้นหลุมของรูพรุนมีขนาดของสนามไฟฟ้าในปริมาณสูงนั้น มีผลทำให้สามารถดึงพาหะนำกระแส (โฮล) มาที่บริเวณนี้กัน ได้มาก ส่งผลทำให้ที่บริเวณก้นหลุมจะมีปริมาณกระแสที่สูงกว่าบริเวณอื่นๆ แสดงดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 การกระจายตัวของกระแสรอบๆผนังของรูพรุน

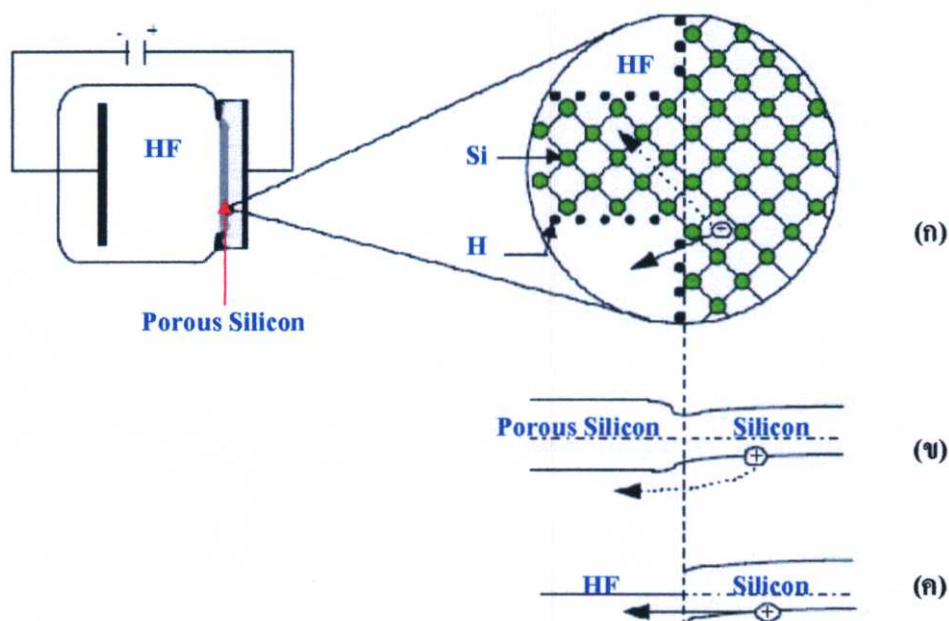
2.4.3 กลไกในการหยุดกักโครงสร้างของพอร์สซิลิคอน

จากการเกิด โครงสร้างของพอร์สซิลิคอนขึ้น โดยพาหะนำกระแสชนิดบวกหรือโฮลในผลึกซิลิคอนจะเป็นตัวการที่มีบทบาทและความสำคัญ ต่อกระบวนการกักเนื้อของผลึกซิลิคอนในแบบทำให้เกิดพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการทางไฟฟ้าเคมี เป็นกระบวนการกักที่สามารถลดขนาดโครงสร้างของพอร์สซิลิคอนให้มีขนาดเล็กลงเรื่อยๆ จนสามารถเข้าสู่ในระดับนาโนเมตร แต่กระบวนการนี้จะอาศัยกลไกในการหยุดกัก โครงสร้างของพอร์สซิลิคอนด้วย ซึ่งจากการศึกษา

พบว่าพอร์สซิลิคอนที่ถูกสร้างขึ้นจากผลึกซิลิคอนชนิดพีและชนิดเอ็นจะมีกลไกในการหยุดกักที่แตกต่างกัน กล่าวคือ

- การหยุดกักของพอร์สซิลิคอนที่ถูกสร้างขึ้นจากซิลิคอนชนิดพี

สำหรับผลึกซิลิคอนชนิดพี การไบอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมีในลักษณะแอนโนดิก ทำให้บริเวณผิวสัมผัสของผลึกซิลิคอนชนิดพีไม่เกิดบริเวณปลดพาหะขึ้น ทำให้สามารถทำการกักเนื้อของผลึกซิลิคอนได้อย่างต่อเนื่อง โดยกลไกการหยุดกักสำหรับผลึกซิลิคอนชนิดพีจะเกิดขึ้น เนื่องจากการเกิดปรากฏการณ์ผลของขนาดควอนตัมขึ้นในส่วนของนาโนพอร์สซิลิคอน แสดงดังรูปที่ 2.24



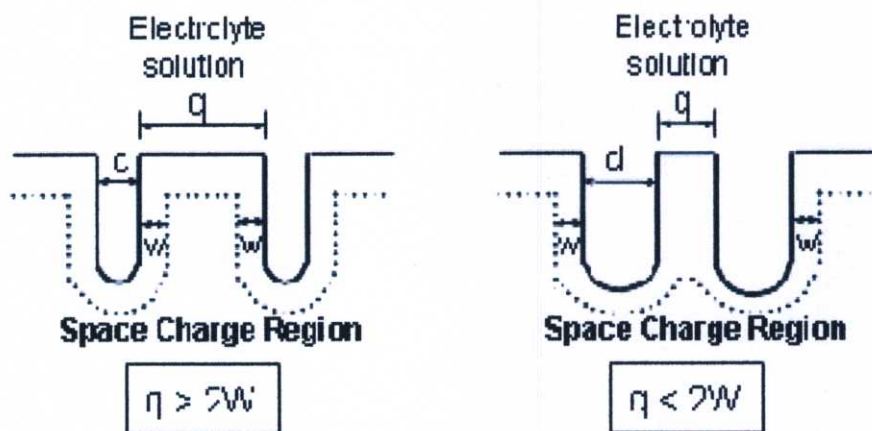
รูปที่ 2.24 กลไกในการหยุดกักโครงสร้างของชั้นพอร์สซิลิคอนชนิดพี โดยที่

- (ก) โครงสร้างของพอร์สซิลิคอน และทิศทางการเคลื่อนที่ของพาหะโฮล
- (ข) ลักษณะแถบพลังงาน และการเคลื่อนที่ของพาหะโฮลจากผลึกซิลิคอนผ่านเข้าไปในโครงสร้างของพอร์สซิลิคอน
- (ค) ลักษณะแถบพลังงาน และการเคลื่อนที่ที่พาหะโฮล จากผลึกซิลิคอนผ่านไปยังสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกที่บริเวณผิวสัมผัสที่กั้นหลุมของรูพรุน

จากรูปจะเห็นได้ว่า เนื้อของผลึกซิลิคอนชนิดที่จะถูกกัดจนเป็นโครงสร้างของพอร์สซิลิคอนขึ้นมา และเมื่อทำการกัดอย่างต่อเนื่องจนทำให้โครงสร้างของพอร์สซิลิคอนมีขนาดเล็กลงไปเรื่อยๆ จนมีขนาดเข้าสู่ในระดับนาโนเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2.24 (ก) มีผลทำให้ช่องว่างพลังงานในพอร์สซิลิคอนมีความกว้างมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับผลึกซิลิคอนเดิม ทั้งนี้เป็นผลมาจากการเกิดปรากฏการณ์ ผลของขนาดควอนตัม ทำให้เกิดความแตกต่างของระดับพลังงานสูงสุดของแถบวาเลนซ์ระหว่างพอร์สซิลิคอนกับผลึกซิลิคอนขึ้น โดยค่าความแตกต่างที่เกิดขึ้นนี้จะเป็นค่าพลังงานที่มีค่าเท่ากับ ΔE_v สำหรับโฮล และเท่ากับ ΔE_c สำหรับอิเล็กตรอน ดังนั้นการที่พาหะโฮลในผลึกซิลิคอนชนิดนี้จะสามารถผ่านเข้าไปในโครงสร้างของนาโนพอร์สซิลิคอน เพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีในการกัดโครงสร้างในส่วนต่อไปได้นั้น พาหะโฮลจำเป็นที่จะต้องได้รับพลังงานที่มีค่ามากกว่า ΔE_v ดังแสดงในรูปที่ 2.24 (ข) แต่เมื่อไหร่ก็ตามที่ค่าพลังงาน ΔE_v มีค่าพลังงานมากกว่าพลังงานภายนอกที่ให้กับโฮล จะมีผลทำให้พาหะโฮลในผลึกซิลิคอนไม่สามารถผ่านเข้าไปในส่วนของนาโนพอร์สซิลิคอนได้ ผลที่ตามมาคือเกิดการหยุดกัดโครงสร้างของพอร์สซิลิคอนในส่วนนี้ขึ้นทันที จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่า ΔE_v นั้นมีค่าขึ้นอยู่กับขนาดของนาโนพอร์สซิลิคอน โดย ΔE_v จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของนาโนพอร์สซิลิคอนมีค่าลดลง อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าจะเกิดการหยุดกัดในส่วนของนาโนพอร์สซิลิคอน เนื่องจากพาหะโฮลไม่สามารถผ่านเข้าไปในบริเวณนาโนพอร์สซิลิคอนนี้ได้ แต่ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีในการกัดเนื้อของผลึกซิลิคอนยังคงดำเนินต่อไป โดยบริเวณที่ถูกกัดอย่างต่อเนื่องจะเป็นบริเวณก้นหลุมของรูพรุน ทั้งนี้เนื่องจากพาหะโฮลในผลึกซิลิคอนชนิดนี้สามารถผ่านผิวสัมผัสเข้าไปในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกที่บริเวณก้นหลุมของรูพรุนได้สะดวกกว่าที่จะผ่านเข้าไปในโครงสร้างของนาโนพอร์สซิลิคอน ดังแสดงในรูปที่ 2.24 (ค) ดังนั้นจึงทำให้บริเวณก้นหลุมของพอร์สซิลิคอนจะถูกกัดลึกเข้าไปในเนื้อของผลึกซิลิคอนอย่างต่อเนื่อง

- การหยุดกัดของพอร์สซิลิคอนที่ถูกสร้างขึ้นจากผลึกซิลิคอนชนิดอื่น

เนื่องจากการไปออสเซเลต์ไฟฟ้าเคมีในลักษณะแอนอติก สำหรับผลึกซิลิคอนชนิดอื่นจะเป็นการไปออสแบบย้อนกลับ มีผลทำให้เกิดบริเวณปลอดพาหะนำกระแสขึ้นตามบริเวณผิวสัมผัสของผลึกซิลิคอน โดยความกว้างของบริเวณปลอดพาหะนำกระแสจะมีค่าเท่ากับ W ดังนั้นกลไกในการหยุดกัดของพอร์สซิลิคอนสำหรับผลึกซิลิคอนชนิดอื่นแล้วจะเป็นผลมาจากการเกิดบริเวณปลอดพาหะนำกระแสขึ้นภายใน โครงสร้างของพอร์สซิลิคอน แสดงดังรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 แผนภาพบริเวณปลอดพาหะนำกระแสที่เกิดขึ้นในโครงสร้างของพอร์สซิลิคอนที่สร้างจากผลึกซิลิคอนชนิดเอ็น โดยที่

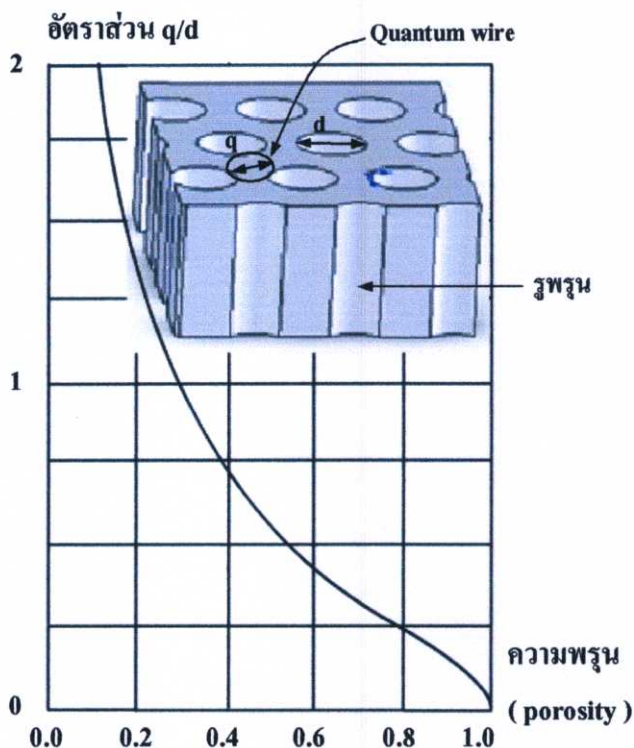
- (ก) โครงสร้างของพอร์สซิลิคอนที่มีขนาดมากกว่า $2W$
- (ข) โครงสร้างของพอร์สซิลิคอนที่มีขนาดน้อยกว่า $2W$

จากรูปที่ 2.25 (ก) จะเห็นได้ว่าพอร์สซิลิคอนที่สร้างขึ้นจากแผ่นซิลิคอนชนิดเอ็น เมื่อถูกทำการกัดจะทำให้ขนาดโครงสร้างของพอร์สซิลิคอน (q) มีขนาดลดลงอย่างต่อเนื่อง เกิดเป็นรูพรุนภายในแผ่นซิลิคอนชนิดเอ็นขึ้น โดยมีบริเวณปลอดพาหะนำกระแสปกคลุมอยู่รอบๆ รูพรุนแต่ละรู ในกรณีนี้ ขนาดของโครงสร้างพอร์สซิลิคอนยังมีขนาดที่มากกว่าสองเท่าของความกว้างบริเวณปลอดพาหะนำกระแส ($q > 2W$) ดังนั้นจึงยังสามารถทำการกัดเพื่อลดขนาดของโครงสร้างพอร์สซิลิคอนในส่วนนี้ต่อไปได้อีก จนเมื่อ ไรก็ตามที่ขนาดของโครงสร้างพอร์สซิลิคอนมีขนาดที่น้อยกว่าสองเท่าของความกว้างบริเวณปลอดพาหะนำกระแส ($q < 2W$) ดังรูปที่ 2.25 (ข) จะมีผลทำให้เกิดการซ้อนทับกันของบริเวณปลอดพาหะนำกระแส จนโครงสร้างของพอร์สซิลิคอนถูกครอบคลุมโดยบริเวณปลอดพาหะนำกระแสทั้งหมด ส่งผลทำให้เกิดการหยุดกัดของพอร์สซิลิคอนในส่วนนี้

2.5 ความพรุนของพอร์สซิลิคอน

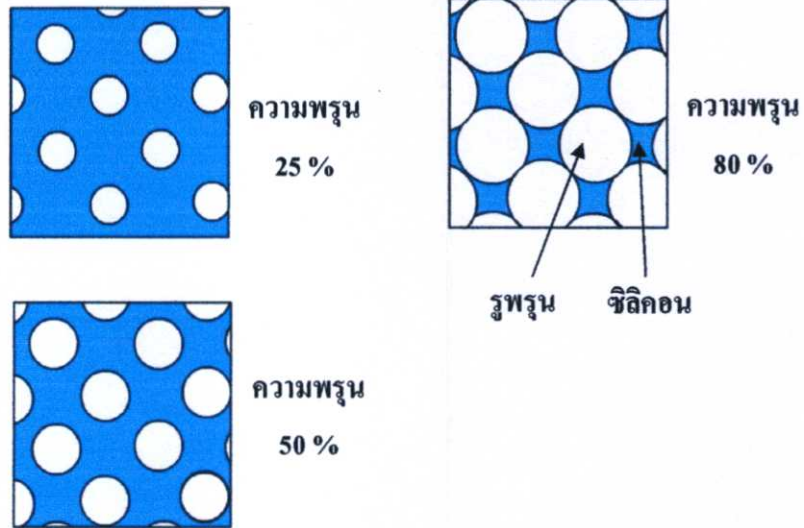
โดยทั่วไปแล้ววัสดุใดๆ ก็ตามที่มีลักษณะ โครงสร้างเป็นรูพรุนจำนวนมากกระจายอยู่ภายในเนื้อของวัสดุ ก็จะถือได้ว่าวัสดุนั้นเป็นวัสดุที่มีความพรุน โดยค่าความพรุนนี้เป็นปริมาณที่สามารถบ่งบอกได้ถึงลักษณะขนาด โครงสร้างของวัสดุได้อย่างคร่าวๆ ซึ่งสามารถหาได้จากการเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างมวลหรือปริมาตรของเนื้อวัสดุกับช่องว่างที่เกิดขึ้นภายในวัสดุนั้นๆ

พอร์สซีลิกอน คือผลึกซิลิกอนที่มีลักษณะเป็นรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก โดยขนาดของเนื้อผลึกซิลิกอนที่เหลือและขนาดของรูพรุน จะมีขนาดอยู่ในระดับนาโนเมตร เนื้อของผลึกซิลิกอนในระดับนาโนเมตรนี้จะแสดงคุณสมบัติทางผลของขนาดควอนตัม ส่งผลในลักษณะของควอนตัมในเชิง 1 มิติ ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อของผลึกซิลิกอนในระดับนาโนเมตร กับขนาดของรูพรุน จะมีผลต่อความพรุนของชั้นพอร์สซีลิกอน แสดงดังรูปที่ 2.26 [26]



รูปที่ 2.26 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของขนาดเนื้อซิลิกอน (q) กับขนาดของรูพรุน (d) ที่มีต่อความพรุนของพอร์สซีลิกอน

จากรูปข้างต้นจะเห็นได้ว่า ทั้งขนาดของเนื้อซิลิกอนและขนาดของรูพรุน มีผลต่อความพรุนของพอร์สซีลิกอน โดยถ้าเนื้อของผลึกซิลิกอนถูกกัดจนมีขนาดเล็กกลง หรือขนาดของรูพรุนมีขนาดกว้างขึ้น จะมีผลทำให้ชั้นพอร์สซีลิกอนนั้นมีความพรุนมากกว่าเดิม แสดงดังรูปที่ 2.27



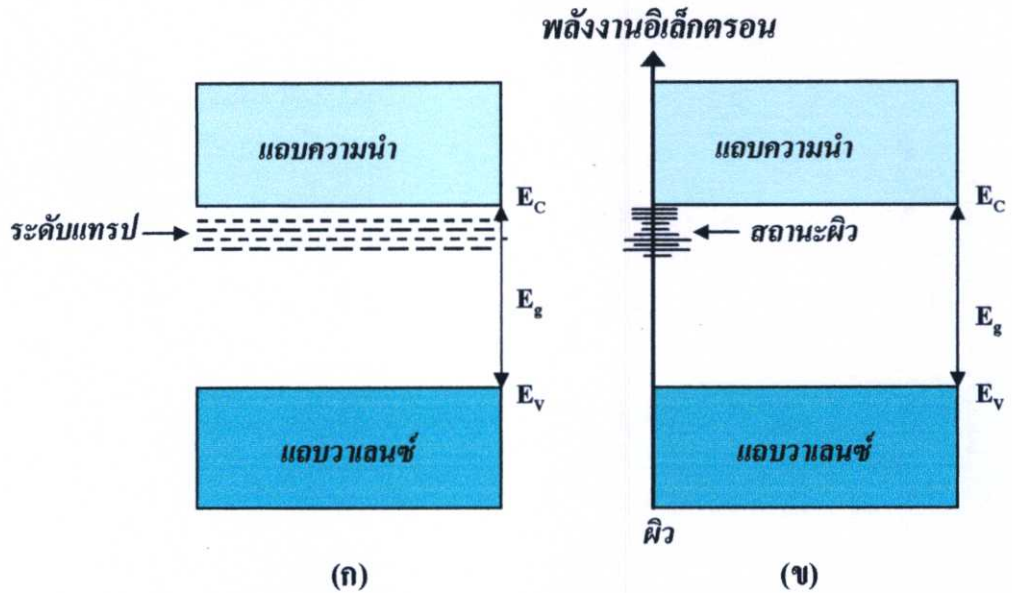
รูปที่ 2.27 แผนภาพจำลองด้านบนของโครงสร้างพอร์ซซิลิโคนที่เปอร์เซ็นต์ความพรุนต่างๆ กัน

2.6 พฏิกิริยาทางแสง

2.6.1 พฏิกิริยาทางแสงของสารกึ่งตัวนำ

ในสารกึ่งตัวนำใดๆ จะมีขนาดช่องว่างพลังงานอยู่ค่าๆ หนึ่ง โดยภายในช่องว่างพลังงานเหล่านั้น อาจมีระดับพลังงานสารเจือ (impurity level) หรือจุดบกพร่อง (defect level) ต่างๆ ซึ่งทั้งหมดจะทำให้เกิดระดับพลังงานที่เรียกว่า ระดับแทรป (trap level) ขึ้นภายในช่องว่างพลังงานได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.28 (ก) นอกจากนี้ยังมีระดับพลังงานซึ่งเกิดจากการที่โครงสร้างโครงผลึกที่ผิวของวัสดุมีความไม่สมบูรณ์ เช่น อาจมีพวงพันธะแขวนขาด (dangling bond) หรือพวงสารเจือปนอื่นๆ เกาะติดอยู่ที่ผิว ซึ่งจะก่อให้เกิดระดับพลังงานที่เรียกว่า สถานะผิว (surface state) ขึ้นที่ผิวดังแสดงในรูปที่ 2.28 (ข) โดยระดับพลังงานทั้งสองชนิดนี้ สามารถที่จะเป็นศูนย์กลางในการรวมตัว (recombination center) ของพาหะได้

วิธีการที่จะศึกษาถึงขนาดหรือลักษณะของช่องว่างพลังงาน ระดับพลังงานของระดับแทรปหรือสถานะผิวให้ได้ผลดีที่สุด ได้แก่ การศึกษาคุณสมบัติทางแสงของสารกึ่งตัวนำ กล่าวคือ ถ้าวิเคราะห์สเปกตรัมการดูดกลืน การสะท้อน หรือการเปล่งแสงจากสารกึ่งตัวนำ จะสามารถทราบค่าระดับพลังงานของระดับแทรปหรือสถานะผิว และได้ข้อมูลเกี่ยวกับช่องว่างพลังงาน ทั้งนี้เพราะว่าการดูดกลืนแสงหรือการเปล่งแสงเกิดจากการที่อิเล็กตรอนที่อยู่ในแถบชั้นพลังงานใดๆ มีการดูดกลืนแสงแล้วคายแสงออกเกิดการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงาน ซึ่งค่าความแตกต่างของพลังงานที่เปลี่ยนแปลงนั้น จะเท่ากับพลังงานโฟตอนที่อิเล็กตรอนดูดกลืนหรือคายออกมา



รูปที่ 2.28 การกระจายตัวของระดับพลังงาน (ก) ระดับแฟร์มิ (ข) สถานะผิว ภายในช่องว่างพลังงาน

- การดูดกลืนแสง

การดูดกลืนแสงในสารกึ่งตัวนำ เป็นการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอิเล็กตรอนจากแถบพลังงานหนึ่ง ไปสู่แถบพลังงานหนึ่งในลักษณะที่มีค่าพลังงานเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากอิเล็กตรอนได้รับพลังงานโฟตอนจากแสงที่ดูดกลืนเข้าไปนั่นเอง เมื่อสารกึ่งตัวนำถูกฉายแสง อิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำจะมีการตอบสนองกับโฟตอนของแสงนั้น โดยอิเล็กตรอนที่มีการตอบสนองจะมีอยู่ 4 ประเภทด้วยกันคือ

1. อิเล็กตรอนชั้นในของอะตอม
2. วาเลนซ์อิเล็กตรอน
3. อิเล็กตรอนอิสระ

4. อิเล็กตรอนที่ถูกจับด้วยสารเจือหรือถูกจับด้วยจุดบกพร่องแลตทิซ (lattice defect) ต่างๆ ความยาวคลื่นของแสงที่จะเกิดขึ้น การดูดกลืนแสงด้วยอิเล็กตรอนที่อยู่ชั้นในของอะตอม ได้แก่ ช่วงของรังสีเอกซ์ แต่จะไม่ขอกล่าวในที่นี้เพราะไม่ใช่สมบัติที่เด่นชัดของสารกึ่งตัวนำ ส่วนการดูดกลืนแสงในช่วงอินฟราเรดจะเกิดจากการกระทำระหว่างอะตอม และคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าทำให้อะตอมภายในโครงผลึกเกิดการสั่นได้ โดยพลังงานที่ใช้ไปสำหรับการสั่นนี้จะอยู่ในรูปของพลังงานความร้อน หรือที่เรียกว่า โฟนอน

- การเปล่งแสง

ในหัวข้อที่ผ่านมาเราได้กล่าวถึงการดูดกลืนแสงระหว่างแถบพลังงาน ซึ่งทำให้พาหะได้รับพลังงานสูงขึ้นและสามารถขึ้นไปอยู่ในแถบความนำ (conduction band) พาหะที่ถูกกระตุ้นให้ขึ้นไปอยู่ที่ระดับพลังงานสูง เมื่อเวลาผ่านไปช่วงหนึ่งก็จะกระโดดกลับตกลงมาสู่ระดับพลังงานเดิมที่สถานะพื้น (ground state) และเกิดการรวมตัวกับโฮลขึ้น การรวมตัวอิเล็กตรอนกับโฮลนั้นจะก่อให้เกิดได้ 2 ชนิด คือ

1. เกิดการเปล่งแสงที่มีพลังงานโฟตอนเท่ากับ ผลต่างของระดับพลังงานอิเล็กตรอน และโฮล เรียกรวมตัวในลักษณะแบบนี้ว่า การรวมตัวแบบเปล่งแสง (radiative recombination)

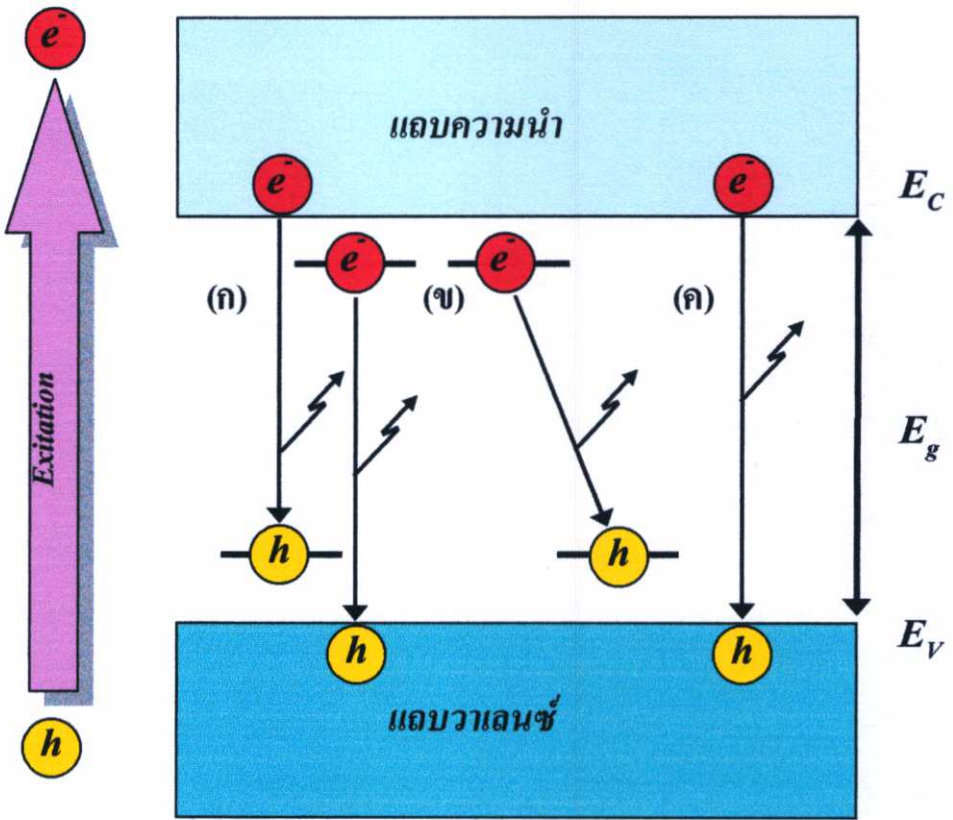
2. เกิดการปล่อยพลังงานความร้อน (โฟนอน) ให้กับโครงผลึกเรียกรวมตัวในลักษณะแบบนี้ว่า การรวมตัวแบบไม่เปล่งแสง (non-radiative recombination)

ซึ่งโดยทั่วไปปรากฏการณ์ทั้งสองชนิดนี้สามารถเกิดขึ้นได้พร้อมๆกัน ถ้าให้ τ_R และ τ_N คือเวลาอายุเฉลี่ย (life time) ของพาหะอิเล็กตรอนที่นับตั้งแต่ถูกกระตุ้นจนถึงรวมตัวแบบเปล่งแสง และไม่เปล่งแสงตามลำดับ ประสิทธิภาพของการรวมตัวแบบเปล่งแสง η จะมีค่าดังนี้คือ

$$\eta = \frac{(1/\tau_R)}{(1/\tau_R)+(1/\tau_N)} = \frac{1}{1+(\tau_R/\tau_N)} \quad (2.17)$$

จากสมการข้างต้นจะเห็นได้ว่า ถ้า τ_R/τ_N มีค่ามาก η จะมีค่ามากด้วย กระบวนการรวมตัวแบบเปล่งแสงจะมีลักษณะตรงข้ามกับการดูดกลืนแสงทุกประการ โดยในรูปที่ 2.29 จะแสดงตัวอย่างการเปลี่ยนระดับพลังงานที่สำคัญๆ ในสารกึ่งตัวนำ ซึ่งจะเป็นตัวแบ่งชนิดของการรวมตัวแบบเปล่งแสง

การรวมตัวแบบเปล่งแสงในสารกึ่งตัวนำในลักษณะต่างๆ แสดงในรูปที่ 2.29 โดยรูปที่ 2.29 (ก) เป็นการเปล่งแสงเนื่องจากการรวมตัวแบบแถบพลังงานหนึ่งไประดับพลังงานหนึ่ง (Band-to-Level emission) ส่วนรูปที่ 2.29 (ข) เป็นการเปล่งแสงเนื่องจากการรวมตัวแบบผู้ให้กับผู้รับ (Donor-Acceptor emission) การเปล่งแสงในลักษณะเหล่านี้จะปรากฏเฉพาะที่อุณหภูมิค่าเท่านั้น ทั้งนี้เพราะที่อุณหภูมิสูงพาหะจะถูกกระตุ้นด้วยความร้อนขึ้นไปอยู่ในแถบความนำ ทำให้การเปล่งแสงในสารกึ่งตัวนำที่อุณหภูมิสูงส่วนมากจะเกิดจาก การเปล่งแสงเนื่องจากการรวมตัวแบบแถบพลังงานหนึ่งไปอีกแถบพลังงานหนึ่ง (Band-to-Band emission) เป็นส่วนใหญ่ แสดงดังรูปที่ 2.29 (ค)



รูปที่ 2.29 กระบวนการรวมตัวของพาหะแบบเปล่งแสงในสารกึ่งตัวนำ
 (ก) การรวมตัวแบบแถบพลังงานหนึ่ง ไประดับพลังงานหนึ่ง
 (ข) การรวมตัวแบบผู้ให้กับผู้รับ
 (ค) การรวมตัวแบบแถบพลังงานหนึ่ง ไปอีกแถบพลังงานหนึ่ง

การเปล่งแสงอันเนื่องมาจากการรวมตัวแบบเปล่งแสงนี้อาจมีชื่อเรียกสั้นๆ ว่าลูมิเนสเซนซ์ (luminescence) โดยการเปล่งแสงนั้นเป็นปรากฏการณ์ทางแสงของสารกึ่งตัวนำ จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่ออิเล็กตรอนได้รับการกระตุ้นจากพลังงานภายนอก จนมีพลังงานเพียงพอที่จะกระโดดข้ามช่องว่างพลังงานไปอยู่ในระดับพลังงานที่สูงกว่า แต่เนื่องจากอิเล็กตรอนเหล่านี้อยู่ในสถานะที่ไม่เสถียร จึงต้องเกิดการรวมตัวกับโฮล โดยในระหว่างการรวมตัวอิเล็กตรอนจะมีการคายพลังงานออกมาในรูปของโฟตอนหรือแสง

การเปล่งแสงในสารกึ่งตัวนำสามารถแบ่งออกเป็นชนิดต่างๆ ตามวิธีการกระตุ้นได้ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 การเปล่งแสงชนิดต่างๆ แบ่งตามวิธีการกระตุ้น

ชนิดการเปล่งแสง	แหล่งกระตุ้น
(ก) โฟโตลูมิเนสเซนซ์	แสง
(ข) อิเล็กโตรลูมิเนสเซนซ์	ไฟฟ้า
(ค) แคโทดลูมิเนสเซนซ์	อิเล็กตรอน
(ง) เทอร์โมลูมิเนสเซนซ์	ความร้อน
(จ) เทอร์โบลูมิเนสเซนซ์	การเสียดสี
(ฉ) เคมีคอลลูมิเนสเซนซ์	เคมี

โดยในจำนวนการเปล่งแสงทั้งหมดที่แสดงในตารางข้างต้น ชนิดของการเปล่งแสงที่สามารถสังเกตพบในสารกึ่งตัวนำมากที่สุด ได้แก่ การเปล่งแสงชนิดโฟโตลูมิเนสเซนซ์ (photoluminescence) อิเล็กโตรลูมิเนสเซนซ์ (electroluminescence) และ แคโทดลูมิเนสเซนซ์ (cathodeluminescence) ซึ่งการสังเกตปรากฏการณ์ทางแสงเหล่านี้จะทำให้เราสามารถวิเคราะห์ระดับพลังงาน และการเปลี่ยนแปลงสถานะพลังงานในสารกึ่งตัวนำได้เป็นอย่างดี การเปล่งแสงชนิดเทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ (thermoluminescence) และ ไตรโบลูมิเนสเซนซ์ (triboluminescence) จะพบในวัสดุไดอิเล็กตริกที่มีช่องว่างพลังงานที่กว้างมากๆ ส่วนการเปล่งแสงชนิดเคมีคอลลูมิเนสเซนซ์ (chemicalluminescence) จะพบมากในวัสดุพวกอินทรีย์ โดยในที่นี้จะขอก้าวถึงการเปล่งแสงชนิดโฟโตลูมิเนสเซนซ์ เท่านั้น

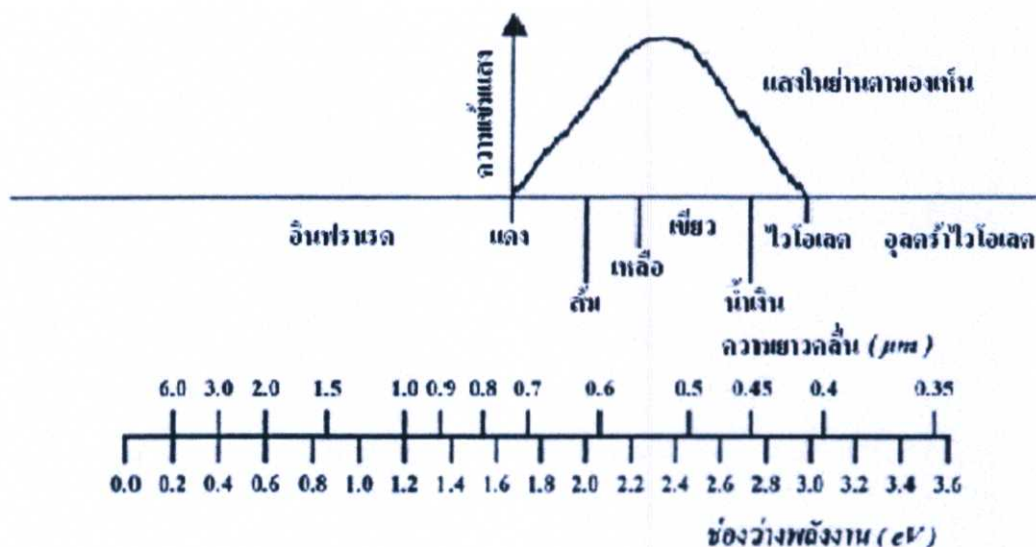
โฟโตลูมิเนสเซนซ์ เป็นปรากฏการณ์การเปล่งแสงอันเนื่องมาจากการกระตุ้นพาหะอิเล็กตรอนด้วยวิธีการส่องแสง (excitation by light) จนพาหะอิเล็กตรอนมีพลังงานมากเพียงพอที่จะกระโดดข้ามช่องว่างพลังงานขึ้นไปอยู่ในแถบความนำได้ แต่เนื่องจากพาหะอิเล็กตรอนเหล่านี้มีความไม่เสถียรในสถานะใหม่นี้ ดังนั้นจึงต้องตกกลับลงมาอยู่ในสถานะเดิม โดยจะมีการคายพลังงานออกมาในรูปของโฟตอนหรือแสง ซึ่งค่าพลังงานที่ปล่อยออกมานี้จะมีค่าขึ้นอยู่กับช่วงกว้างของระดับพลังงานที่อิเล็กตรอนต้องกระโดดกลับลงมาทับตัวโฮล โดยความสัมพันธ์ระหว่างพลังงาน (E) กับความยาวคลื่นของแสง (λ) เป็นดังนี้คือ

$$E = hc / \lambda \quad (2.18)$$

โดยที่ h เป็นค่าคงตัวของพลังค์ $= 4.14 \times 10^{-15}$ eV.s ส่วน c เป็นความเร็วของแสง $= 3 \times 10^8$ m/s

$$\lambda(\text{nm}) = 1240 / E(\text{eV}) \quad (2.19)$$

จากสมการที่ (2.19) จะเห็นได้ว่า การที่แสงเปล่งออกมาจะมีค่าความยาวคลื่นหรือสีต่างๆ ได้นั้น ขึ้นอยู่กับค่าพลังงานของอิเล็กตรอนที่คายออกมานั่นเอง โดยสีของแสงที่ค่าความยาวคลื่นต่างๆ จะถูกแสดงเอาไว้ดังรูปที่ 2.30 [27]



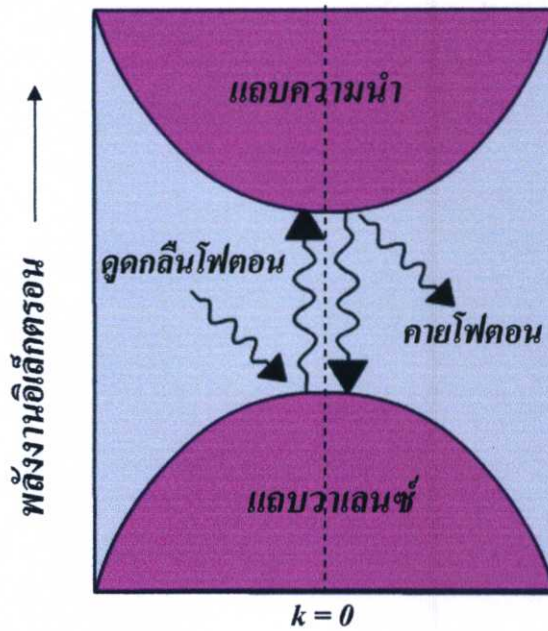
รูปที่ 2.30 สีของแสงในช่วงที่ตามองเห็นที่ความยาวคลื่นและค่าพลังงานต่างๆ

ด้วยเหตุผลข้างต้นนี้เอง จึงทำให้ปรากฏการณ์โฟโตลูมิเนสเซนซ์ที่เกิดขึ้น มีประโยชน์เป็นอย่างมากในการวิเคราะห์วัสดุ โดยสเปกตรัมของแสงที่ได้สามารถบอกถึงข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างของแถบพลังงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งขนาดของช่องว่างพลังงานของวัสดุ

2.6.2 พฤติกรรมทางแสงของซิลิคอน

การเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอิเล็กตรอนจากแถบพลังงานหนึ่ง ไปสู่แถบพลังงานหนึ่ง ในลักษณะที่มีค่าพลังงานเพิ่มขึ้นจะก่อให้เกิดการดูดกลืนแสง และค่าของความแตกต่างระหว่างระดับพลังงานก่อนและหลังการเปลี่ยนแปลงนั้น จะต้องมีความเท่ากับพลังงานโฟตอนของแสงที่เป็นตัวกระตุ้น ซึ่งกฎข้อนี้จะถูกเรียกว่า กฎการอนุรักษ์พลังงาน นอกจากนี้แล้วยังมีกฎอนุรักษ์โมเมนตัมอีกด้วย

โดยในวัสดุที่มีโครงสร้างของแถบพลังงานเป็นแบบช่องแถบตรง (direct band gap) จะสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.31



รูปที่ 2.31 โครงสร้างของแถบพลังงานแบบช่องแถบตรง

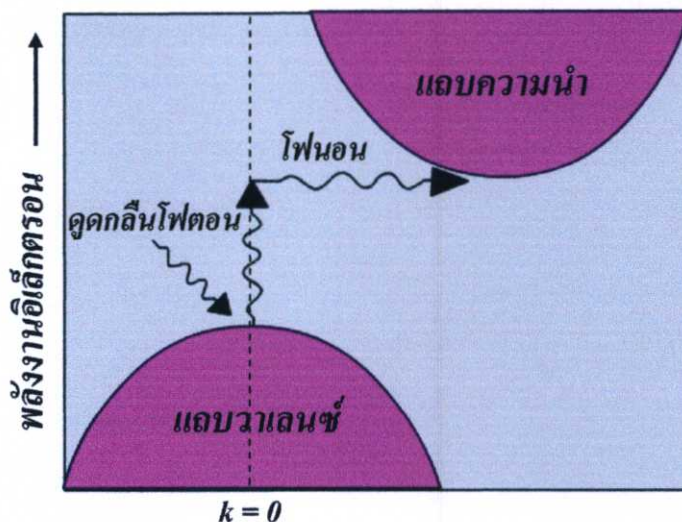
ในการเปลี่ยนสถานะระดับพลังงานของอิเล็กตรอนจากแถบวาเลนซ์ไปสู่แถบความนำ ค่าเลขคลื่น (wave number) k ก่อนและหลังการเปลี่ยนสถานะจะ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงแต่อย่างไร ทั้งนี้เนื่องจากระดับพลังงานสูงสุดของแถบวาเลนซ์ที่กับระดับพลังงานต่ำสุดของแถบความนำ อยู่ที่ตำแหน่งเลขคลื่นเดียวกัน ดังนั้นจึงทำให้ในกระบวนการเปลี่ยนสถานะของอิเล็กตรอน อันเนื่องมาจากการดูดกลืนแสง ค่าโมเมนตัมของอิเล็กตรอนทั้งก่อนและหลังการเปลี่ยนสถานะมีค่าคงที่เสมอ เป็นไปตามกฎอนุรักษ์โมเมนตัม และกฎการอนุรักษ์พลังงาน ดังนี้ คือ

$$k_1 - k_2 = 0 \quad : \text{กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม} \quad (2.20)$$

$$E_f - E_i = h\nu \quad : \text{กฎการอนุรักษ์พลังงาน} \quad (2.21)$$

โดยที่	k_1	คือ เลขคลื่นของอิเล็กตรอนก่อนเปลี่ยนสถานะ
	k_2	คือ เลขคลื่นของอิเล็กตรอนหลังเปลี่ยนสถานะ
	E_i	คือ พลังงานเริ่มต้นของอิเล็กตรอนก่อนเปลี่ยนสถานะ
	E_f	คือ พลังงานของอิเล็กตรอนหลังเปลี่ยนสถานะ

เมื่ออิเล็กตรอนที่ขึ้นไปอยู่ในสถานะกระตุ้น (E_f) กลับลงมาสู่ในสถานะเดิม (E_i) ก็จะมีการคายพลังงานออกมา มีค่าเท่ากับผลต่างของระดับพลังงานทั้งสองสถานะ โดยไม่มีการสูญเสียพลังงานแต่อย่างใด แต่สำหรับชนิดิคอนที่มีโครงสร้างของแถบพลังงานเป็นแบบช่องแถบไม่ตรง (indirect band gap) สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 2.32



รูปที่ 2.32 โครงสร้างของแถบพลังงานแบบช่องแถบไม่ตรง

จากรูปจะเห็นได้ว่าระดับพลังงานสูงสุดของแถบวาเลนซ์ กับระดับพลังงานต่ำสุดของแถบความนำไม่ได้อยู่ที่ตำแหน่งเลขคลื่นเดียวกัน ทำให้ในการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานอิเล็กตรอนจากแถบวาเลนซ์ไปสู่แถบความนำได้นั้น จะต้องอาศัยการรับหรือคายพลังงานโฟนอน (E_p) ให้กับอะตอมในโครงผลึก ซึ่งการรับหรือคายพลังงานของโฟนอนนี้จะช่วยให้เป็นไปตามกฎการอนุรักษ์พลังงาน และกฎการอนุรักษ์โมเมนตัม คือ

$$k_2 = k_1 \pm k_p \quad : \text{กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม} \quad (2.22)$$

$$E_f - E_i = h\nu \pm E_p \quad : \text{กฎการอนุรักษ์พลังงาน} \quad (2.23)$$

โดยที่ E_p เป็นพลังงานของโฟนอน

k_p เป็นเลขคลื่นของโฟนอน

เครื่องหมายบวก (+) เป็นการแสดงว่าอิเล็กตรอนต้องได้รับพลังงาน (E_p) หรือโมเมนตัม จากโฟนอน ส่วนเครื่องหมายลบ (-) เป็นการแสดงว่าอิเล็กตรอนคายพลังงานหรือโมเมนตัมให้แก่โฟนอน

ผลึกซัลไฟด์หรือวัสดุอื่นๆ ที่มีโครงสร้างของแถบพลังงานในลักษณะนี้ เมื่ออิเล็กตรอนมีการดูดหรือคายพลังงาน จะมีการสูญเสียพลังงานส่วนหนึ่งไปเพื่อทำให้เกิดการสั่นของอะตอมในโครงผลึก (โฟนอน)

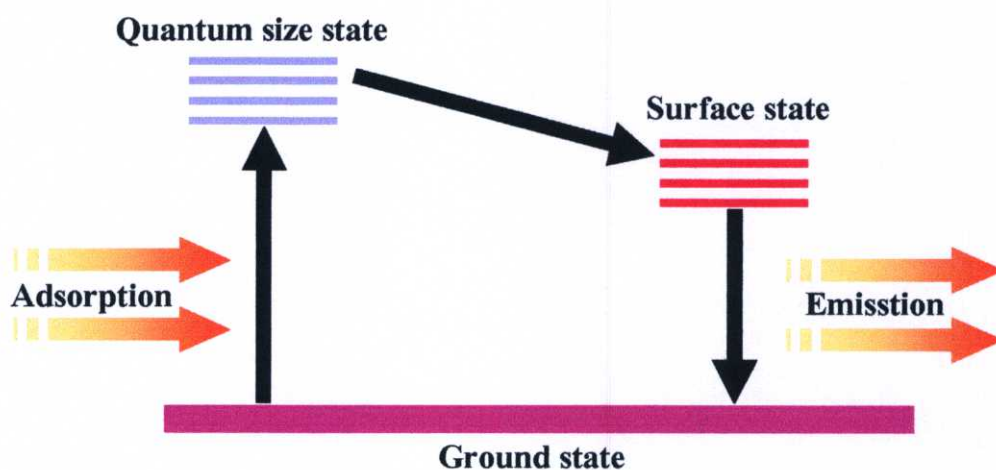
2.6.3 พฤติกรรมทางแสงของพอร์ซซัลไฟด์คอน

จากลักษณะ โครงสร้างและส่วนประกอบของพอร์ซซัลไฟด์คอน ทำให้หลายๆ กลุ่มวิจัยทั่วโลกเชื่อกันว่าสมบัติโฟโตลูมิเนสเซนซ์ของพอร์ซซัลไฟด์คอนนี้น่าจะเกิดขึ้นมาจากสาเหตุที่สำคัญ 2 ประการร่วมกันคือ

1. การเกิดปรากฏการณ์ผลของขนาดควอนตัมขึ้นภายในชั้นของนาโนพอร์ซซัลไฟด์คอน มีผลทำให้ขนาดของช่องว่างของแถบพลังงานของนาโนพอร์ซซัลไฟด์คอนมีความกว้างมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของช่องว่างแถบพลังงานเดิมของผลึกซัลไฟด์คอน

2. การเกิดระดับพลังงานที่ผิวของนาโนพอร์ซซัลไฟด์คอน ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการที่มีพันธะของไฮโดรเจน และอะตอมของธาตุอื่นๆ ที่ผิวของนาโนพอร์ซซัลไฟด์คอนนั่นเอง

จากสาเหตุทั้ง 2 ประการนี้เอง ทำให้เราสามารถทำการอธิบายคุณสมบัติโฟโตลูมิเนสเซนซ์ของพอร์ซซัลไฟด์คอนได้ โดยอาศัยแบบจำลองสถานะของระดับพลังงาน 3 ระดับ (three level luminescent state model) แสดงดังรูปที่ 2.33



รูปที่ 2.33 สถานะของระดับพลังงานทั้ง 3 ระดับภายในพอร์ซซัลไฟด์คอน

จากรูปที่ 2.33 จะเห็นได้ว่า มีสถานะของระดับพลังงานกระตุ้น (excited state) อยู่ถึงสองระดับด้วยกัน โดยสถานะแรกนั้นจะเป็นสถานะของระดับพลังงานภายในนาโนพอร์ซซัลไฟด์คอนที่เกิดขึ้นเนื่องจากผลของขนาดควอนตัม ส่วนสถานะที่สองจะเป็นสถานะของระดับพลังงานที่ผิวของนาโนพอร์ซซัลไฟด์คอน จากแบบจำลองนี้เมื่ออิเล็กตรอนภายในนาโนพอร์ซซัลไฟด์คอนได้รับพลังงานกระตุ้นจากแสง จนมีพลังงานเพียงพอที่จะกระโดดข้ามช่องว่าง พลังงานขึ้นไปอยู่ใน

สถานะ ระดับของขอบเขตควอนตัมได้ แต่เนื่องจากผลของการที่ช่องว่างพลังงานของระดับพลังงานที่ผิวมีขนาดเล็กกว่าช่องว่างพลังงานในนาโนพอร์สซิลิคอนนี้เอง จึงทำให้อิเล็กตรอนซึ่งอยู่ในสถานะที่ไม่เสถียรเหล่านี้มีการเปลี่ยนแปลงสถานะย้ายลงมาสู่สถานะของระดับพลังงานที่ผิวก่อนที่จะเกิดการรวมตัวใหม่ (recombination) กับโฮลที่อยู่ในสถานะพื้น โดยในการรวมตัวใหม่นี้เองอิเล็กตรอนจะมีการคายพลังงานออกมา ซึ่งจะอยู่ในรูปของโฟตอนหรือแสง

บทที่ 3

การตรวจจับไอแอลกอฮอล์ของชั้นพอร์ซเซิลิกอน

3.1 หลักการวัดระดับแอลกอฮอล์ในเลือดโดยวิธีเป่าลมหายใจ [28]

3.1.1 ระดับอันตรายของแอลกอฮอล์สำหรับร่างกาย

ความรุนแรงของฤทธิ์ ในการกวดการทำงานของระบบประสาทส่วนกลางของแอลกอฮอล์ เป็นสัดส่วนโดยตรงกับความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในเลือดมีการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่าง ระดับแอลกอฮอล์ในเลือดและอาการผิดปกติของร่างกาย ซึ่งมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3.1

ตารางที่3.1 แสดงผลของแอลกอฮอล์ในเลือดที่ระดับความเข้มข้นต่าง ๆ ต่อร่างกายและจิตใจ

ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในเลือด (มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร)	ผลต่อร่างกายและจิตใจ
20 - 30	ไม่ปรากฏอาการผิดปกติใด ๆ นอกจากผู้ดื่มมีอาการเมามักร่าเริงเพิ่มขึ้น
50 - 60	มีความรู้สึกอ่อนคลาทางอารมณ์ ประสาทและกล้ามเนื้อลดความว่องไวลง ระยะเวลาในการตอบสนองยาวขึ้น การตัดสินใจช้าลง ความสามารถในการขับขี่ยานยนต์ลดลง เป็นระดับความเข้มข้นที่ถือว่าผู้ขับขี่ตกอยู่ในอาการเมาแล้วสำหรับประเทศไทย
80 - 100	เริ่มเสียการทรงตัว พูดไม่ชัด สายตาแยลง มองเห็นไม่ชัดเจน เริ่มมีปัญหาเกี่ยวกับการได้ยิน รู้สึกเคลิบเคลิ้ม มีความเชื่อมั่นเพิ่มมากขึ้น กล้ามเนื้อทำงานไม่ประสานกัน ก่อให้เกิดความลำบากยุ่งยากในการบังคับยานพาหนะ
110 - 120	การเคลื่อนไหวและการทรงตัวทำได้ด้วยความยากลำบาก ความสามารถทางความคิดการตัดสินใจและการใช้วิจารณญาณเสื่อมลงอย่างเห็นได้ชัด
140 - 150	การควบคุมร่างกายและจิตใจส่วนใหญ่เสียไปพูดไม่ชัด มองเห็นภาพเคลื่อนไหวไม่ชัดเจน มีอุปสรรคในการใช้มือ แขนและขา
200	สูญเสียการควบคุมการทำงานของกล้ามเนื้อ ต้องการความช่วยเหลือเมื่อจะเคลื่อนไหว จิตใจสับสนอย่างเห็นได้ชัด

ตารางที่ 3.1(ต่อ) แสดงผลของแอลกอฮอล์ในเลือดที่ระดับความเข้มข้นต่างๆ ต่อร่างกายและจิตใจ

ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในเลือด (มิลลิกรัม/100 มิลลิลิตร)	ผลต่อร่างกายและจิตใจ
300	มีอาการมึนเมาอย่างหนัก มึนงง ไม่รู้เรื่อง มีสติสัมปชัญญะเหลืออยู่น้อยมาก
400	สลบ หมคสติ ไม่รู้สึกตัว
500	สลบลึก
600	ตายเนื่องจากการหายใจล้มเหลว

ปัญหาแอลกอฮอล์กับการเกิดอุบัติเหตุ เกิดจากการที่เมื่อมีการดื่มเข้าไปเล็กน้อย แอลกอฮอล์ จะไปกระตุ้นหัวใจ ทำให้ความดันโลหิตสูง และเมื่อความเข้มข้นของแอลกอฮอล์มากขึ้น จะก่อกำเนิดของประสาทส่วนกลาง เป็นผลให้การทำงานของร่างกายช้าลง ประสาทตาจะหย่อนสมรรถภาพ มีผลทำให้การรับรู้ภาพ แสงและสี ของสัญญาณต่าง ๆ ช้าลง ขอบเขตของการมองแคบลง ทำให้เห็นภาพการจราจรไม่พอและการคาดคะเนระยะผิดไป ตารางที่ 3.2 แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในเลือดกับโอกาสเกิดอุบัติเหตุจราจร

ตารางที่ 3.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในเลือดและโอกาสเกิดอุบัติเหตุจราจร

แอลกอฮอล์ในเลือด (mg%)	สมรรถภาพในการขับรถ	โอกาสที่จะเกิดอุบัติเหตุ
20	มีผลเพียงเล็กน้อยเฉพาะบางคน	ใกล้เคียงกับคนไม่ดื่มสุรา
50	มีผลทำให้ความสามารถในการขับรถลดลงเฉลี่ย 8 % เป็นระดับที่นักวิจัยทั่วไปยอมรับว่าการขับรถจะเป็นอันตราย	โอกาสเกิดอุบัติเหตุจะเป็น 2 เท่าของคนที่ไม่ดื่มสุรา
80	สมรรถภาพลดลงโดยเฉลี่ย 12 % มีผลต่อคนขับรถทุกคนและระดับนี้ใช้เป็นกฎหมายควบคุมในหลายประเทศ	โอกาสเกิดอุบัติเหตุ จะเป็น 3 เท่า
100	สมรรถภาพลดลงโดยเฉลี่ย 15 % มีผลต่อคนขับรถทุกคนและการขับรถจะแย่ลงอย่างรวดเร็วเมื่อถึงระดับนี้	โอกาสเกิดอุบัติเหตุ จะเป็น 6 เท่า

ตารางที่ 3.2 (ต่อ) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระดับความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในเลือดและโอกาสเกิดอุบัติเหตุจราจร

แอลกอฮอล์ในเลือด (mg%)	สมรรถภาพในการขับรถ	โอกาสที่จะเกิดอุบัติเหตุ
150	สมรรถภาพลดลง โดยเฉลี่ย 33 %	โอกาสเกิดอุบัติเหตุ จะเป็น 40 เท่า
มากกว่า 200	สมรรถภาพลดลงเป็นสัดส่วนกับระดับแอลกอฮอล์ในเลือด	ไม่สามารถวัดได้ เนื่องจากควบคุมการทดลองไม่ได้ แต่โอกาสเกิดอุบัติเหตุสูงมาก

3.1.2 ปัจจัยที่มีผลต่อระดับของแอลกอฮอล์ในเลือด

ปกติคนที่ดื่มเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์มากและเข้มข้นจะมีระดับของแอลกอฮอล์ในเลือดและลมหายใจสูง แต่อย่างไรก็ตาม ยังมีปัจจัยอื่นที่มีผลต่อความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในเลือดและลมหายใจ คือ

1. พฤติกรรมของการดื่ม

เครื่องดื่มที่มีความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ประมาณ 20 % โดยปริมาตรจะถูกดูดซึมเข้าเลือดเร็วที่สุด ถ้าความเข้มข้นสูงกว่านี้ แอลกอฮอล์จะไปกีดขวางการเปิดของ pyloric valve ที่เชื่อมระหว่างกระเพาะอาหารและลำไส้เล็ก ให้มีการทำงานช้าลง ทำให้การดูดซึมแอลกอฮอล์เข้าระบบเลือดช้า ระดับของ แอลกอฮอล์ในลมหายใจจะต่ำ

2. เวลา

ถ้าดื่มเครื่องดื่มที่มีแอลกอฮอล์แบบช้า ๆ ค่อย ๆ ดื่มไป จะทำให้อัตราการเพิ่มของแอลกอฮอล์ในเลือดเท่ากับอัตราการทำลาย แอลกอฮอล์ของตับ ซึ่ง จะมีผลทำให้ แอลกอฮอล์ในเลือดต่ำ

3. อาหารในกระเพาะ

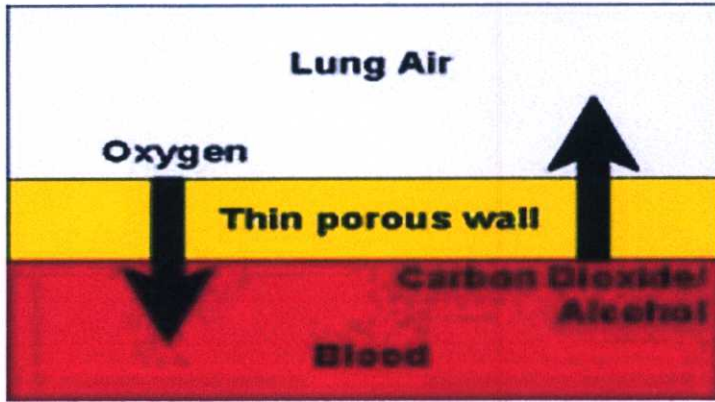
ถ้าในกระเพาะอาหารและลำไส้เล็ก ไม่มีอาหารอยู่จะมีผลทำให้แอลกอฮอล์ถูกดูดซึมได้เร็ว แต่ถ้ามีอาหารที่มีไขมันมากจะทำให้การดูดซึมช้า

4. น้ำหนักของร่างกาย

เนื่องจากร่างกายของคนเราประกอบด้วยน้ำ 2 ใน 3 ส่วน ฉะนั้นคนที่มีน้ำหนักมาก เมื่อแอลกอฮอล์ถูกดูดซึมเข้าร่างกาย จะทำให้แอลกอฮอล์ในเลือดมีความเข้มข้นน้อยกว่าคนที่น้ำหนักเบา คนอ้วน จะมีน้ำในร่างกายน้อยกว่าคนผอมถ้าน้ำหนักเท่ากัน เนื่องจาก แอลกอฮอล์จะละลายได้น้อยในไขมันเมื่อเทียบกับน้ำ ด้วยเหตุนี้ ปริมาณความเข้มข้นของ แอลกอฮอล์ในเลือดของคนอ้วนจะสูงกว่าคนผอมเมื่อดื่มเครื่องดื่มที่มีส่วนผสมของ แอลกอฮอล์เท่ากัน

3.1.3 แอลกอฮอล์ในลมหายใจ

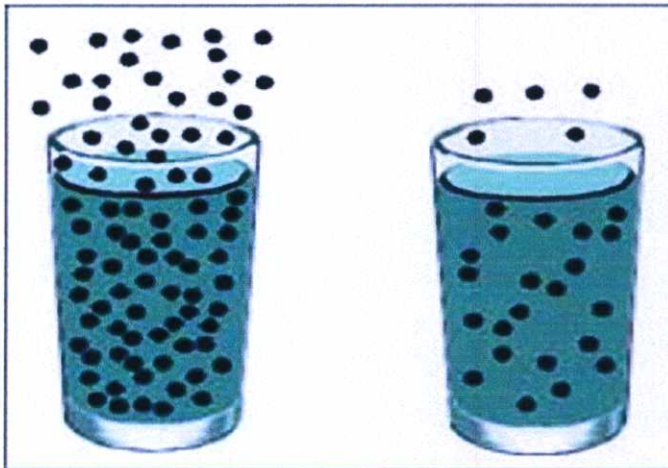
ปอดทำหน้าที่แลกเปลี่ยนก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ และออกซิเจนของเลือดเมื่อเราหายใจออก ก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์จะถูกคลายจากเลือดและจะมีไอแอลกอฮอล์ออกมา รูปที่ 1 แสดงการแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์



รูปที่ 3.1 แสดงการแลกเปลี่ยนก๊าซออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์

3.1.3.1 กฎของเฮนรี (HENRY'S LAW)

กฎของเฮนรี กล่าวว่าไว้ว่า ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ในลมหายใจขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ แอลกอฮอล์ในเลือด



รูปที่ 3.2 อธิบายถึงกฎของเฮนรี (HENRY'S LAW)

ตัวอย่างที่จะอธิบายกฎของเฮนรีง่ายๆคือ ถ้าเอาแอมโมเนียผสมลงในน้ำแก้วหนึ่ง ถ้าเราเติมปริมาณลงไปน้อย เราจะได้กลิ่นแอมโมเนียของอากาศบนแก้วแบบเจือจาง ถ้าเพิ่มปริมาณแอมโมเนียลงไปอีก 1 เท่า เราจะได้กลิ่นแอมโมเนียแรงขึ้น 1 เท่า นั่นคือ ถ้าเราสามารถวัดปริมาณแอมโมเนียในอากาศได้อย่างถูกต้อง ก็จะสามารถวิเคราะห์ปริมาณแอมโมเนียละลายในน้ำได้ถูกต้อง

จากกฎของเฮนรี นี้จะสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาปริมาณของแอลกอฮอล์ในเลือดจาก แอลกอฮอล์ในลมหายใจได้ ในการนี้จะต้องมีค่าคงที่ค่าหนึ่งที่ใช้ในการเปลี่ยนค่าปริมาณ แอลกอฮอล์ในเลือด เป็นปริมาณ แอลกอฮอล์ใน ลมหายใจ ค่าคงที่นี้เรียกว่า blood/breath ratio คือค่าสัมประสิทธิ์ในการแปลงค่าปริมาณ แอลกอฮอล์ในเลือด เป็นปริมาณ แอลกอฮอล์ในลมหายใจ ค่าที่ใช้มีหลายค่าเช่น 2000 : 1 , 2100 : 1 , 2300 : 1 ซึ่งแต่ละประเทศอาจจะใช้ค่าไม่เหมือนกัน ดังตารางที่ 3.3 ค่า blood/breath ratio ที่แต่ละประเทศใช้มีค่าต่างกัน ไม่สามารถจะกำหนดเป็นค่าเดียวได้ ขึ้นอยู่กับว่าแต่ละประเทศจะเห็นว่าค่าที่ใช้เหมาะสมกับประเทศของตน ทั้งนี้เพราะ มีตัวแปรที่เป็นปัจจัยหลายอย่างที่จะกระทบกับค่าสัมประสิทธิ์นี้ ตัวแปรเหล่านี้

ตารางที่ 3.3 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การแปลงค่าปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือด เป็นปริมาณแอลกอฮอล์ แอลกอฮอล์ในลมหายใจ

blood : breath ratio	country
2000 : 1	France, Australia, Norway, U.S.A, Thailand
2100 : 1	Germany, Czech Rep., Hungary, Sweden, Spain, Australia
2300 : 1	United Kingdom, Turkey, New Zealand, Malaysia, Singapore, Zimbabwe, Tanzania, Belgium, Holland, Portugal, Rep. of South Africa

คือ ลักษณะการเป่าลมหายใจ อุณหภูมิของร่างกาย และระยะเวลาดูดซึมของแอลกอฮอล์เข้าระบบเลือด สำหรับประเทศไทยได้เลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์ในการแปลงค่าปริมาณ แอลกอฮอล์ในเลือด เป็นปริมาณแอลกอฮอล์ในลมหายใจ 2000 : 1 ซึ่งหมายความว่า ถ้าเครื่องวัดปริมาณแอลกอฮอล์ในลมหายใจได้ 1 ส่วน เมื่อแปลงเป็นปริมาณแอลกอฮอล์ ในเลือด 2000 ส่วน

3.1.4 หน่วยวัดปริมาณแอลกอฮอล์

หน่วยวัดปริมาณแอลกอฮอล์แบ่งเป็น 2 อย่างคือ หน่วยวัดปริมาณแอลกอฮอล์ในลมหายใจและ หน่วยวัดปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือด ดังตารางที่ 3.4 และ ตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.4 แสดงหน่วยวัดปริมาณแอลกอฮอล์ในลมหายใจ(Breath Alcohol Concentration (BrAC) Unit)

BrAC Unit	Abbreviation	Used in (Example)
milligrams per litre	mg/l	Continental Europe, Scandinavia, Japan South Africa, Thailand
micrograms per hundred milliliters	$\mu\text{g}/100\text{ ml}, \mu\text{g}\%$ $\mu\text{g}/\text{dl}$	United Kingdom
micrograms per liter	$\mu\text{g}/\text{l}$	New Zealand, Netherlands

ตารางที่ 3.5 แสดงหน่วยวัดปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือด(Blood Alcohol Concentration (BAC))

BAC units	Abbreviation	Used in (Example)
milligrams per hundred milliliters	$\text{mg}/100\text{ml}, \text{mg}\%$, $\text{mg}\%$, mg/dl	UK, Africa(parts),Middle East, Malaysia, Canada, Thailand
percent blood alcohol	$\%\text{BAC}, \%\text{BAL}$	USA, Australia, South Africa
promille(w/v)*part per thousand	$\%, \text{g}/\text{l}$	France, Portugal, Italy
promille(w/w)*part per thousand	$\%, \text{g}/\text{kg}$	Germany,East Europe, Scandinavia

* w/v = weight of alcohol by volume of blood

* w/w = weight of alcohol by weight of blood

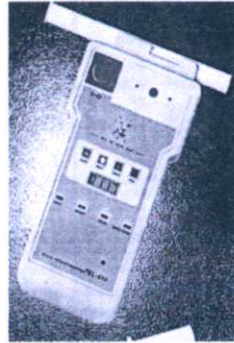
เครื่องวัดระดับแอลกอฮอล์ ในเลือดโดยวิธีเป่าลมหายใจแบ่งตามลักษณะของเครื่องเป็น 2 ประเภท คือ แบบพกพา (Mobile) และ แบบประจำที่ (Stationary) ถ้าแบ่ง ตามวัตถุประสงค์ของการใช้งาน แบ่งได้เป็น 2 ชนิดคือ เครื่องวัดระดับแอลกอฮอล์ ในเลือดโดยวิธีเป่าลมหายใจแบบตรวจคัดกรอง(screening) และ เครื่องวัดระดับแอลกอฮอล์ ในเลือดโดยวิธีเป่าลมหายใจแบบตรวจยืนยันผล(Evidential)

เครื่องวัดระดับแอลกอฮอล์ ในเลือดโดยวิธีเป่าลมหายใจแบบตรวจคัดกรอง เป็นเครื่องที่ใช้ในการทดสอบปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือด โดยวิธีเป่าลมหายใจเข้าเครื่องวัด ผลที่แสดงเป็นตัวหนังสือว่าเกิน หรือไม่เกินค่ามาตรฐานที่ตั้งไว้ เช่น แสดงเป็น Pass หรือ Fail หรืออาจแสดงเป็นตัวเลขก็ได้

เครื่องวัดระดับแอลกอฮอล์แบบตรวจยืนยันผล เป็นเครื่องที่ใช้ในการตรวจวัดปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือด โดยวิธีเป่าลมหายใจเข้าเครื่องวัด ผลที่แสดงเป็น ตัวเลขว่ามีปริมาณในหน่วย $\text{mg}/100\text{ml}$ เช่น $60\text{ mg}/100\text{ml}$ (มีระดับแอลกอฮอล์ 60 mg ในปริมาณเลือด 100 ml) เป็นต้น

เครื่องวัดระดับแอลกอฮอล์ชนิดที่ขอมรับว่าเป็นแบบตรวจยืนยันผลนั้น
ระดับแอลกอฮอล์ ในเลือดโดยวิธีเป่าลมหายใจได้แสดงไว้ในรูปที่ 3.3

โดยตัวอย่างเครื่องวัด



(ก)



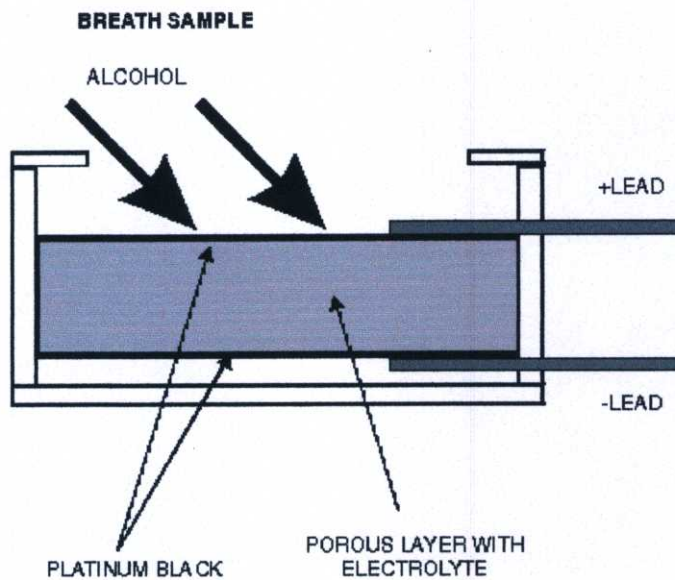
(ข)

รูปที่ 3.3 ตัวอย่างเครื่องวัดปริมาณแอลกอฮอล์ ในเลือดโดยวิธีเป่าลมหายใจ (ก) แบบพกพา (Mobile) (ข) แบบประจำที่ (Stationary)

3.1.5 หลักการของเครื่องวัดระดับแอลกอฮอล์ในเลือดโดยวิธีการเป่าลมหายใจ

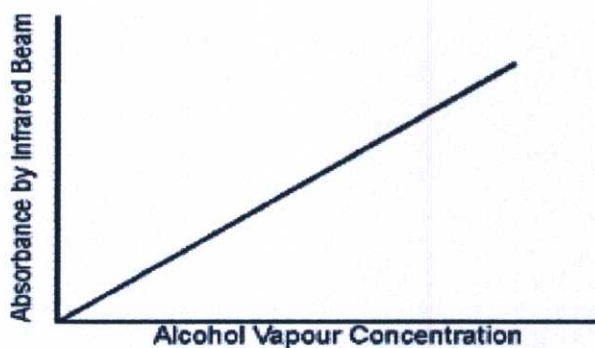
หลักการของเครื่องตรวจวัดระดับแอลกอฮอล์ ในเลือดโดยวิธีการเป่าลมหายใจ คือให้ผู้ถูกตรวจเป่าลมหายใจเข้าเครื่องซึ่งมีตัวตรวจจับ(Detector) แอลกอฮอล์อยู่ ตัวตรวจจับเมื่อได้รับแอลกอฮอล์จากลมหายใจจะมีการเปลี่ยนแปลงสภาพซึ่งอาจจะมองเห็นได้ เช่น การเปลี่ยนแปลงสีของสารเคมีหรือวัดได้จากพลังงานเช่น กระแสไฟฟ้า ความต่างศักย์ การเปลี่ยนแปลงสภาพนี้จะถูกตัดแปลงให้รายงานออกมาที่หน้าปัดของเครื่อง ในรูปของค่าระดับแอลกอฮอล์ในเลือด(Blood Alcohol Concentration:BAC) ทั้งนี้ โดยอาศัยการคำนวณจาก ค่าความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์ในการแปลงค่า ปริมาณ แอลกอฮอล์ในเลือด เป็นปริมาณ แอลกอฮอล์ในลมหายใจ

การที่เครื่องวัดฯ จะวิเคราะห์ปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือดจากลมหายใจได้ถูกต้อง ต้องใช้ลมหายใจจากส่วนลึกของปอดที่สัมผัสกับเส้นเลือดฝอยในปอด เพื่อให้ได้ค่าปริมาณแอลกอฮอล์ที่ถูกต้อง ผู้ผลิตได้ออกแบบให้เครื่องวัดฯ เมื่อถูกเป่าลมหายใจเข้าเครื่องต่อเนื่องไประยะหนึ่ง ความแรงในการเป่าจะลดลง เครื่องสูบลมไฟฟ้าในเครื่องฯจะเก็บตัวอย่างลมหายใจ



รูปที่ 3.5 รูปแสดงการทำงานของ Fuel cell

3. แบบ Infrared Absorption อาศัยหลักการ การดูดกลืนแสง Infrared ของ Hydroxy group (C-OH) ในโมเลกุลของแอลกอฮอล์ ที่มีความยาวคลื่น $3.4 \mu\text{m}$ แสง Infrared จะถูกดูดกลืนมากน้อยเท่าใดขึ้นกับความเข้มข้น ของไอของแอลกอฮอล์ ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วย Beer's Law ดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แสดงความสัมพันธ์ของความเข้มข้นของ แอลกอฮอล์กับการดูดกลืนรังสีอินฟราเรด (Beer's Law)

การเปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของส่วนของตัวตรวจจับ(Detector part) แต่ละชนิดได้แสดงไว้ในตารางที่ 3.6

ตารางที่ 3.6 เปรียบเทียบข้อดีและข้อเสียของส่วนของตัวตรวจจับ(Detector part) แต่ละชนิด

คุณสมบัติ	infrared	fuel cell	semiconductor
-ใช้หลักการทาง	ฟิสิกส์	เคมี	ฟิสิกส์
-จำเพาะต่อแอลกอฮอล์	/	/	
-ใช้พลังงานน้อย		/	
-ใช้งานลักษณะพกพาได้		/	/
-สามารถวิเคราะห์แบบต่อเนื่องได้	/		
-ระยะเวลาที่ต้องปรับเทียบใหม่	5 ปี	6 เดือน	1 สัปดาห์
-ไวต่อแอลกอฮอล์ชนิดอื่นด้วย			/
ใช้ทดสอบผู้ขับขี่ได้			
-เป็นมาตรฐานของ DOT ใช้	/	/	
ตรวจยืนยันผลได้			
-อายุการใช้งาน (ปี)	10-15	5-8	1-2

3.1.5.2 การวัดปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือดโดยใช้เครื่องตรวจวัดระดับแอลกอฮอล์ในเลือดโดยวิธีการเป่าลมหายใจ

การวัดปริมาณ แอลกอฮอล์ในเลือดโดยใช้ เครื่องตรวจวัดระดับแอลกอฮอล์ในเลือดโดยวิธีการเป่าลมหายใจ มีข้อดีคือ ไม่ต้องทำการเจาะเลือด การวัดทำได้ง่าย สะดวกรวดเร็ว เหมาะสำหรับการตรวจวัดด้วยตัวเองและเหมาะสำหรับตำรวจจราจรที่จะนำไปปฏิบัติงานนอกสถานที่ในการบังคับกวดขันตามกฎหมาย เพื่อความถูกต้องของการวัดของผู้ที่ทำหน้าที่ตรวจวัด จะต้องทราบรายละเอียดจากผู้ถูกตรวจวัด ดังนี้

1. ในเวลา 20 นาทีที่ผ่านมา ผู้ถูกตรวจวัดได้ดื่มเครื่องดื่มที่ผสมแอลกอฮอล์ หรือรับประทานยาหรือไม่ ถ้าไม่ได้รับประทานก็ตรวจวัดได้ถ้ารับประทานมาให้ผู้ถูกตรวจวัดพัก 20 นาที จึงจะตรวจวัดทั้งนี้เพราะเครื่องดื่มที่ผสมแอลกอฮอล์หรือยาอาจทำให้ค่าที่วัดได้คลาดเคลื่อน
2. ผู้ถูกตรวจวัดได้อาเจียน หลังดื่มเครื่องดื่มที่ผสมแอลกอฮอล์ ครั้งสุดท้ายหรือไม่ ถ้า อาเจียนมาเกินกว่า 20 นาที ก็ทำการตรวจวัดได้ ถ้าอาเจียนมาไม่ถึง 20 นาที ให้ผู้ถูกตรวจวัดพัก 20 นาที แล้วทำการตรวจวัดได้ ไม่เช่นนั้น อาจทำให้ค่าที่วัดได้คลาดเคลื่อนได้
3. ในเวลา 20 นาทีที่ผ่านมา ผู้ถูกตรวจวัดได้ใช้สเปรย์ระงับกลิ่นปาก กลัณลมหายใจ

หรือไม่ได้ทำให้ผู้ถูกตรวจวัดพัก 20 นาที แล้วตรวจวัดไม่เช่นนั้นอาจทำให้ค่าที่วัดได้คลาดเคลื่อนได้

4. ในเวลา 5 นาทีที่ผ่านมาผู้ถูกตรวจวัดได้สูบบุหรี่ มาหรือไม่ถ้าสูบ ให้ผู้ถูกตรวจวัดพัก 5 นาทีแล้วตรวจวัด ไม่เช่นนั้นกลิ่นบุหรี่จะเข้าไปสะสมในเครื่องวัด ซึ่งจะทำให้ผู้ถูกตรวจวัดที่ไม่ได้สูบบุหรี่บังเอิญที่จะใช้เครื่องวัด

5. ผู้ถูกตรวจวัดจะต้องสังเกตว่าหลอดที่ใช้เป่าลมหายใจที่ใช้กับ เครื่องตรวจวัดระดับแอลกอฮอล์ในเลือดโดยวิธีการเป่าลมหายใจที่ผู้ตรวจวัดให้เป่าลมหายใจเข้าเครื่องนั้นเป็นของใหม่ไม่เคยใช้งานมาก่อน

3.1.6 กฎหมาย(ข้อบังคับ) ที่กำหนดเกี่ยวกับระดับของแอลกอฮอล์

การบังคับใช้กฎหมายห้ามผู้ขับขี่ยานพาหนะเสพสุรา มีครั้งแรก ในปี ค.ศ 1937 ที่ประเทศสวีเดน โดยให้ตำรวจสามารถเก็บตัวอย่างเลือดจากผู้ที่ยสงสัยว่า ดื่มสุรา แล้วขับรถเพื่อลดอุบัติเหตุ ในปี ค.ศ. 1937 ประเทศนอร์เวย์ (Norway) ได้มีกฎหมายกำหนดปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือด สำหรับผู้ขับขี่ยานพาหนะไว้ไม่เกิน 0.50 mg/g (ประมาณ 0.053 % w/v) ในปี ค.ศ. 1941 ประเทศสวีเดน (Sweden) ได้มีกฎหมายกำหนดปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือด สำหรับผู้ขับขี่ยานพาหนะไว้ไม่เกิน 1.5 mg/g (0.159 g%) และในปี ค.ศ 1990 ได้ลดปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือดลงเหลือ 0.2 mg/g ในปี ค.ศ. 1967 ประเทศสหราชอาณาจักร ได้มีกฎหมายกำหนดปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือด สำหรับผู้ขับขี่ยานพาหนะไว้ไม่เกิน 80 mg%

การใช้เครื่องตรวจวัดระดับแอลกอฮอล์ในเลือดโดยวิธีเป่าลมหายใจ นั้นประเทศสหราชอาณาจักรเริ่มใช้ในปี ค.ศ. 1983 ประเทศออสเตรเลียและประเทศเนเธอร์แลนด์ เริ่มใช้ในปี ค.ศ.1986 ประเทศนอร์เวย์และประเทศสวีเดน เริ่มใช้ในปี ค.ศ.1989

ในประเทศไทยมีกฎหมายห้ามผู้ขับขี่เสพสุราและได้ให้อำนาจเจ้าพนักงานฯ จัดให้มีการทดสอบผู้ขับขี่ที่ดื่มพระราชบัญญัติจราจรทางบกพ.ศ.2522 ซึ่งความเดิมถูกยกเลิกโดยพระราชบัญญัติจราจรทางบก(ฉบับที่4) พ.ศ.2535 และให้ใช้ความใหม่แทน ดังนี้ "มาตรา 142 เจ้าพนักงานจราจร หรือพนักงานเจ้าหน้าที่ที่มีอำนาจสั่งให้ผู้ที่ขับขี่หยุดรถในเมื่อ

1. รถนั้นมีสภาพไม่ถูกต้องตามที่บัญญัติไว้ในมาตรา 6
2. เห็นว่าผู้ขับขี่หรือบุคคลใดในรถนั้นได้ฝ่าฝืน หรือไม่ปฏิบัติตามบทแห่ง

พระราชบัญญัตินี้ หรือกฎหมายอันเกี่ยวกับรถนั้น ๆ

ในกรณีที่เจ้าพนักงานจราจรหรือพนักงานสอบสวนหรือพนักงานเจ้าหน้าที่เห็นว่าผู้ขับขี่ฝ่าฝืน มาตรา 43 (1) หรือ (2) ให้เจ้าพนักงานจราจร หรือพนักงานสอบสวนหรือพนักงานเจ้าหน้าที่ที่มีอำนาจ สั่งให้มีการทดสอบผู้ขับขี่ดังกล่าวว่าหย่อนความสามารถในอันที่จะขับรถหรือเมาสุรา หรือเมาสารเสพติดอย่างอื่นหรือไม่

การทดสอบตามวรรคสอง ให้เป็นไปตามหลักเกณฑ์และ วิธีการที่กำหนดไว้ใน กฎกระทรวง" และล่าสุดได้มีประกาศกฎกระทรวงฉบับที่ 16 (พ.ศ. 2537) ออกตามความใน พระราชบัญญัติจรรยาบรรณ พ.ศ. 2522 ซึ่งได้แก้ไขเพิ่มเติมโดยพระราชบัญญัติจรรยาบรรณ (ฉบับที่ 4) พ.ศ. 2535 โดยรัฐมนตรีว่าการกระทรวงมหาดไทยดังนี้

ข้อ 1 การทดสอบผู้ขับขี่ว่าเมาสุราหรือไม่ ให้ตรวจวัดปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือดของผู้ขับขี่โดยใช้วิธีการตามลำดับ ดังต่อไปนี้

(1) ตรวจวัดลมหายใจด้วยเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจหรือทดสอบ ให้ใช้ เครื่องตรวจวัดระดับแอลกอฮอล์ในเลือด โดยวิธีเป่าลมหายใจ(BREATH ANALYZER TEST) และอ่านค่าของ แอลกอฮอล์ในเลือดเป็นมิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ วิธีการตรวจหรือทดสอบ ให้ปฏิบัติ ตามวิธีการตรวจสอบของเครื่องแต่ละชนิด

(2) ตรวจวัดจากปัสสาวะ

(3) ตรวจวัดจากเลือด

การตรวจวัดตาม (2) หรือ (3) ให้ใช้ในกรณีที่ไม่สามารถทดสอบตาม (1) ได้เท่านั้น

ข้อ 2 กรณีที่ต้องทดสอบโดยวิธีตรวจวัดจากเลือดตามข้อ 1 (3) ให้ส่งตัวผู้ขับขี่ไปยัง โรงพยาบาลที่ใกล้ที่สุด และทำการเจาะเลือดภายใต้การกำกับดูแลของผู้ประกอบวิชาชีพเวชกรรม ตามกฎหมายว่าด้วยวิชาชีพเวชกรรม

ข้อ 3 ถ้ามีปริมาณแอลกอฮอล์ในเลือดดังต่อไปนี้ ให้ถือว่าเมาสุรา

(1) กรณีตรวจวัดจากเลือด เกิน 50 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์

(2) กรณีตรวจวัดจากลมหายใจหรือปัสสาวะ ให้เทียบปริมาณแอลกอฮอล์ โดยใช้ปริมาณ แอลกอฮอล์ในเลือดเป็นเกณฑ์มาตรฐานดังนี้

(ก) กรณีตรวจวัดจากลมหายใจ ให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ในการแปลงค่าเท่ากับ 2,000

(ข) กรณีตรวจวัดจากปัสสาวะ ให้ใช้ค่าสัมประสิทธิ์ในการแปลงค่าเท่ากับเศษ 1 ส่วน 1.3 ได้ประกาศไว้ตั้งแต่วันที่ 15 พฤศจิกายน พ.ศ. 2537 โดยรัฐมนตรีว่าการกระทรวงมหาดไทย พลเอกชวลิต ยงใจยุทธ

3.2 หลักการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ของชั้นพอร์สซิลิคอน

อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอนในงานวิจัยนี้เป็น โครงสร้างแบบง่าย ซึ่งมีส่วนประกอบสำคัญอยู่ 2 ส่วน คือ

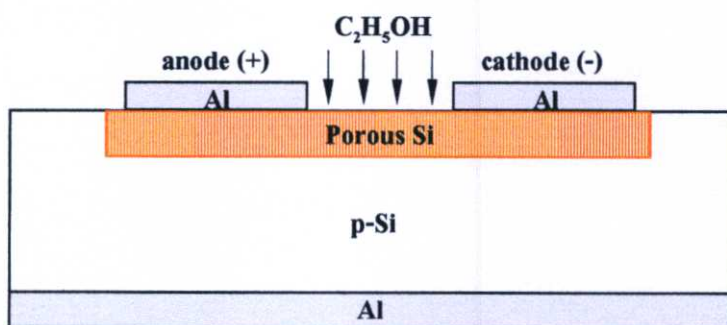
- ส่วนที่เป็นขั้วไฟฟ้า

ขั้วไฟฟ้าจะมีอยู่ 2 ขั้ว คือ ขั้วแคโทด กับ ขั้วแอโนด อยู่บนชั้นพอร์สซิลิคอนจะทำหน้าที่ในการตรวจวัดลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อโมเลกุลไอแอลกอฮอล์ถูกดูดซับเข้ามาในรูพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอน

- ส่วนที่เป็นชั้นพอร์สซิลิคอน

ชั้นพอร์สซิลิคอน มีลักษณะเป็นรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก ทำให้สามารถดูดซับโมเลกุลไอแอลกอฮอล์ได้ดีและมีเนื้อที่ในการดูดซับมากกว่าพื้นผิวราบเรียบที่ไม่มีรูพรุน จะทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับไอแอลกอฮอล์

โดยอุปกรณ์ตรวจจับ ไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอน โครงสร้างแบบง่ายนี้ แสดงดังรูปที่ 3.7



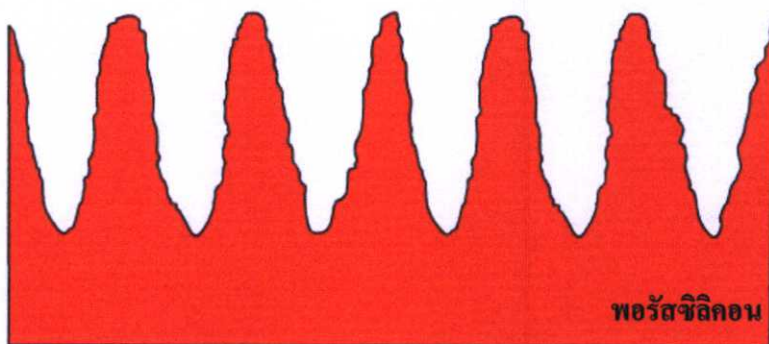
รูปที่ 3.7 โครงสร้างของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอน

โดยหลักการหลักๆ ในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ของชั้นพอร์สซิลิคอนนี้มีอยู่ 2 หลักการ คือ หลักการแรก เป็นหลักการดูดซับและควมแน่นในรูพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอน และ หลักการที่สอง เป็นหลักการเหนี่ยวนำพาหะบริเวณผิวและการนำไฟฟ้าของชั้นพอร์สซิลิคอน ซึ่ง ทั้ง 2 หลักการนี้จะเกิดขึ้นพร้อมๆ กัน สามารถอธิบายแยกเป็นหัวข้อต่างๆ ดังต่อไปนี้

3.2.1 หลักการดูดซับและควมแน่นในรูพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอน [29-34]

ชั้นพอร์สซิลิคอน จะทำหน้าที่เป็นชั้นดูดซับ (adsorption) โมเลกุลไอแอลกอฮอล์ เนื่องจากพื้นผิวที่มีรูพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนสามารถดูดซับโมเลกุลก๊าซได้ดีกว่าและมีเนื้อที่ในการดูดซับมากกว่าพื้นผิวราบเรียบที่ไม่มีรูพรุน โดยการตรวจจับไอแอลกอฮอล์จะเริ่มจากชั้น

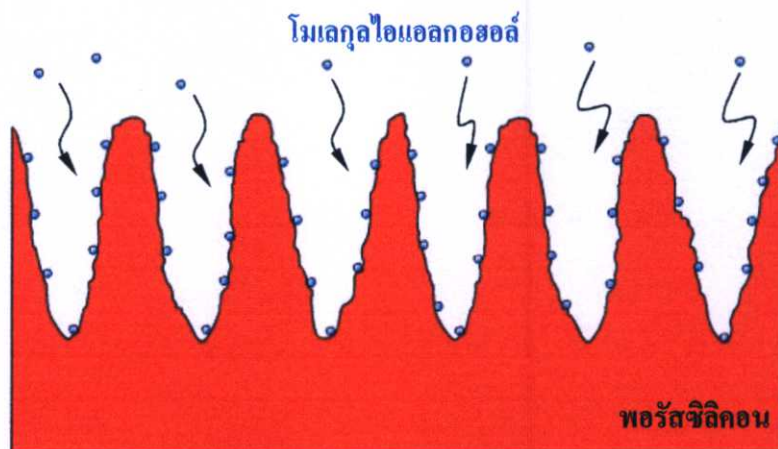
พอร์สซิติคอนที่ยังไม่มีโมเลกุลไอแอลกอฮอล์มาเกาะ เมื่อมีโมเลกุลไอแอลกอฮอล์เข้ามาในระบบผ่านบริเวณพื้นผิวของชั้นพอร์สซิติคอน โมเลกุลไอแอลกอฮอล์นี้จะถูกดูดซับและจับตัวกับผนังรูพรุนของชั้นพอร์สซิติคอน ด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander Waals attractive force) เมื่อมีโมเลกุลไอแอลกอฮอล์เข้ามาเพิ่มมากขึ้น โมเลกุลไอแอลกอฮอล์จะรวมตัวกันเพิ่มมากขึ้นเรียงตัวกันเป็นชั้นโมโนเลเยอร์ (mono layer) ต่อมาเมื่อมีโมเลกุลไอแอลกอฮอล์เข้ามาเพิ่มมากขึ้นอีก โมเลกุลไอแอลกอฮอล์ก็จะรวมตัวกันเพิ่มมากขึ้นอีกหลายๆ ชั้นเป็นชั้นมัลติเลเยอร์ (multi layer) และเมื่อโมเลกุลไอแอลกอฮอล์มารวมตัวกันเพิ่มมากขึ้นอีกเรื่อยๆ ส่งผลให้ความดันไภายในรูพรุนมีค่าเพิ่มมากขึ้นจนเกิดการควบแน่นเป็นของเหลวภายในรูพรุน (capillary condensation) ส่งผลทำให้เกิดการอิมมิดีในการดูดซับ โมเลกุลไอแอลกอฮอล์ภายในรูพรุน และเมื่อไม่มีโมเลกุลไอแอลกอฮอล์เข้ามาในระบบจะส่งผลทำให้โมเลกุลไอแอลกอฮอล์ระเหยออกจากรูพรุนซึ่งที่อุณหภูมิห้องโมเลกุลไอแอลกอฮอล์สามารถระเหยได้เองแต่จะใช้เวลานาน จึงควรใช้ความร้อนหรือลมเป่าไล่ซึ่งจะทำให้โมเลกุลไอแอลกอฮอล์ระเหยไปจนหมดได้ไวขึ้น โดยกระบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นนี้ แสดงดังรูปที่ 3.8



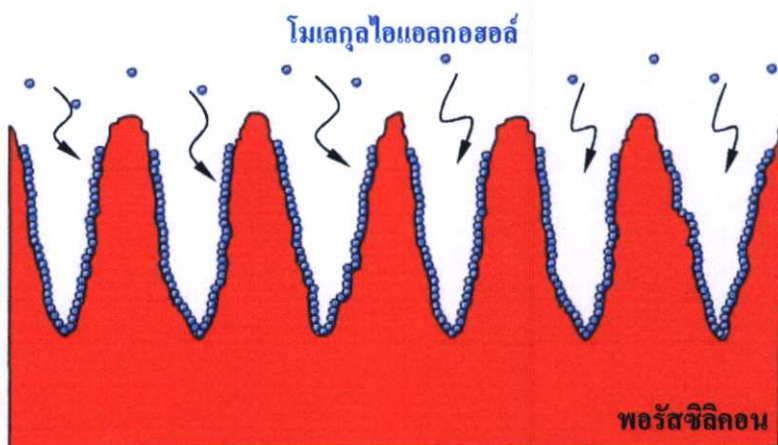
(ก)

รูปที่ 3.8 แบบจำลองการตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์สซิติคอน

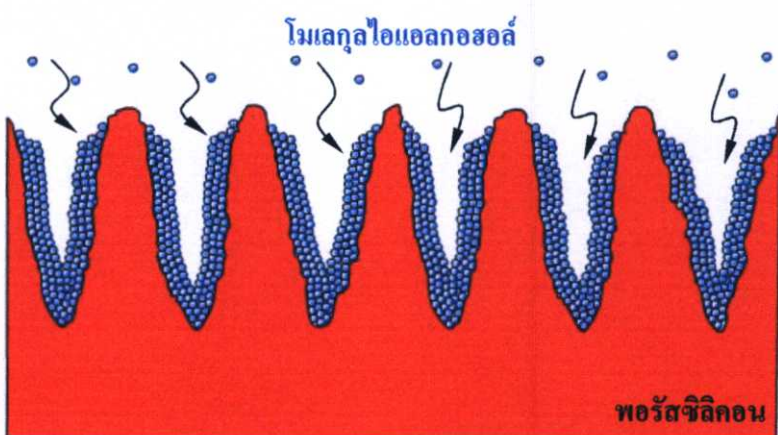
- (ก) ชั้นพอร์สซิติคอนที่ยังไม่มีโมเลกุลไอแอลกอฮอล์มาเกาะ
- (ข) โมเลกุลไอแอลกอฮอล์มาจับตัวกันที่บริเวณพื้นผิวของรูพรุน
- (ค) โมเลกุลไอแอลกอฮอล์มาจับตัวกันเพิ่มขึ้นเรียงตัวกันเป็นชั้นโมโนเลเยอร์
- (ง) โมเลกุลไอแอลกอฮอล์มาจับตัวกันเพิ่มขึ้นอีกหลายๆ ชั้นเป็นมัลติเลเยอร์
- (จ) โมเลกุลไอแอลกอฮอล์มาจับตัวกันเพิ่มขึ้นอีกเรื่อยๆ จนเกิดการควบแน่นภายในรูพรุน
- (ฉ) โมเลกุลไอแอลกอฮอล์เกิดการระเหยออกไปจากชั้นพอร์สซิติคอน
- (ช) ชั้นพอร์สซิติคอนที่โมเลกุลไอแอลกอฮอล์ระเหยออกไปหมดแล้ว



(ข)

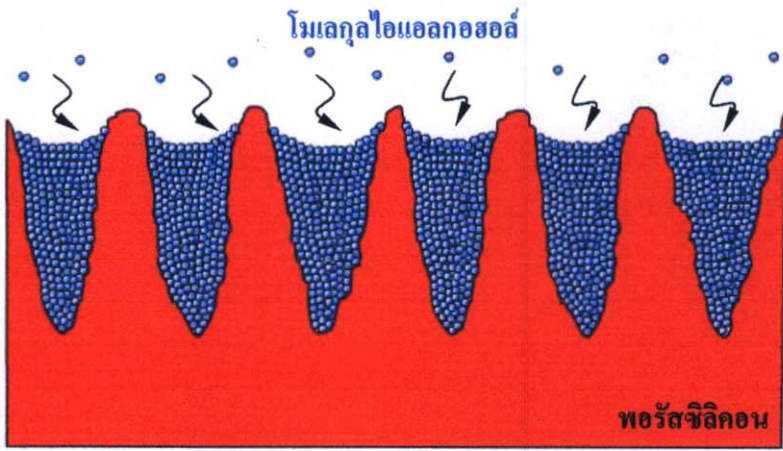


(ค)

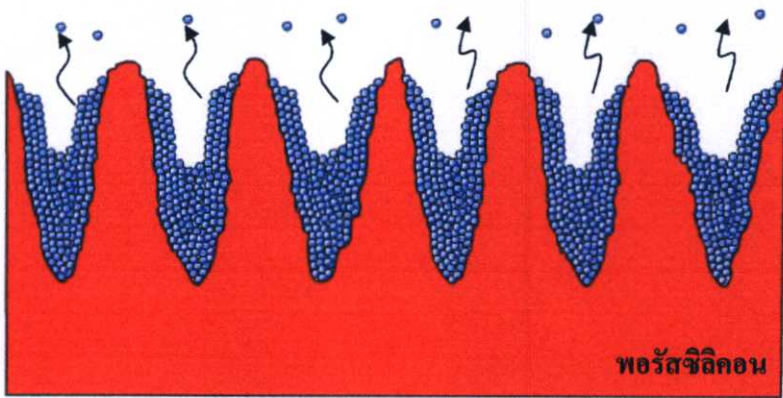


(ง)

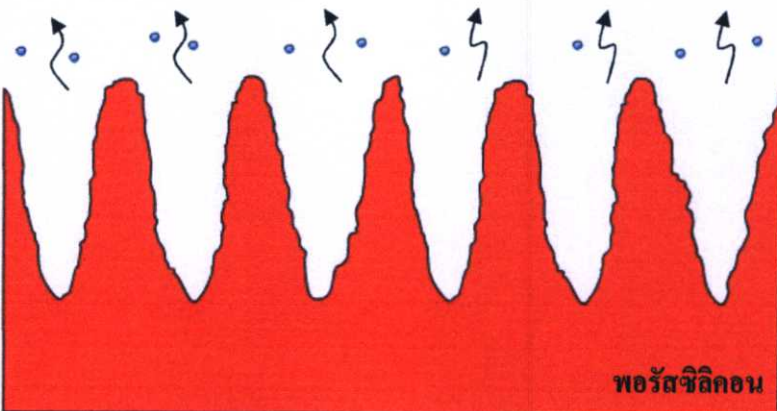
รูปที่ 3.8 แบบจำลองการตรวจับไอโอดีนโดยใช้ชั้นพอร์สซิติคอน(ต่อ)



(จ)



(ข)



(ค)

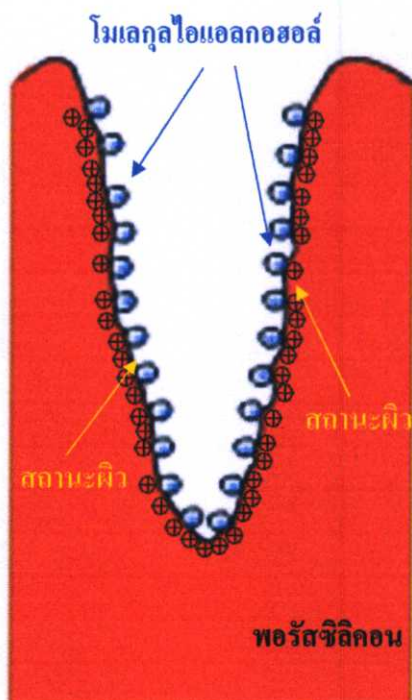
รูปที่ 3.8 แบบจำลองการตรวจจับไฮดรอกซอลโดยใช้ชั้นพอร์สซีกอน (ต่อ)

จากรูปที่ 3.8 เป็นแบบจำลองการตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอน ซึ่งในแต่ละชั้นตอนสามารถอธิบายได้ดังนี้

- (ก) เริ่มจากชั้นพอร์สซิลิคอนที่ยังไม่มีโมเลกุลไอแอลกอฮอล์มาเกาะ
- (ข) เมื่อมีการไหลของโมเลกุลไอแอลกอฮอล์เข้ามาในระบบ โมเลกุลไอแอลกอฮอล์จะเข้ามาในบริเวณรูพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอน แล้วจับตัวกับผนังของรูพรุน
- (ค) เมื่อโมเลกุลไอแอลกอฮอล์เข้ามารวมตัวกันเพิ่มมากขึ้นจะเรียงตัวกันเป็นชั้นที่เรียกว่า ชั้น โมโนเลเยอร์
- (ง) เมื่อ โมเลกุล ไอแอลกอฮอล์เข้ามารวมตัวกันเพิ่มมากขึ้นอีกหลายๆ ชั้น เป็นชั้นที่เรียกว่า ชั้นมัลติเลเยอร์
- (จ) เมื่อ โมเลกุล ไอแอลกอฮอล์เข้ามารวมตัวกันเพิ่มมากขึ้นอีกเรื่อยๆ จะส่งผลทำให้ความดันไอภายในรูพรุนมีค่าเพิ่มมากขึ้นจนเกิดการควบแน่นเป็นของเหลวภายในรูพรุน ทำให้เกิดการอ้อมตัวในการดูดซับโมเลกุลไอแอลกอฮอล์ภายในรูพรุน
- (ฉ) เมื่อไม่มีการไหลของโมเลกุลไอแอลกอฮอล์เข้ามาในระบบ จะส่งผลทำให้โมเลกุลไอแอลกอฮอล์จะระเหยออกจากรูพรุน
- (ช) เมื่อ โมเลกุล ไอแอลกอฮอล์ระเหยออกจากรูพรุนไปจนหมดก็จะเหลือแต่ชั้นพอร์สซิลิคอน

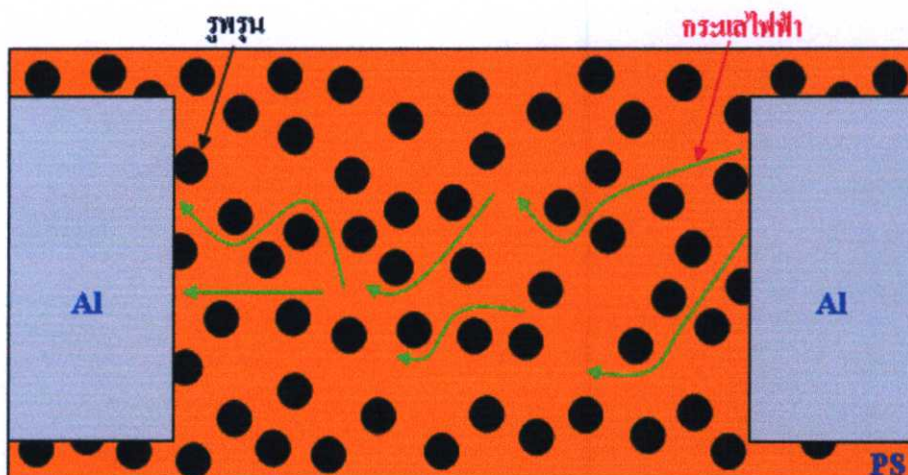
3.2.2 หลักการเหนี่ยวนำพาหะบริเวณผิวและการนำไฟฟ้าของชั้นพอร์สซิลิคอน [35-38]

บริเวณผิวของชั้นพอร์สซิลิคอนมีพันธะแขวนขาดและสารเจือปนอื่นๆ อยู่บริเวณผิวซึ่งจะทำให้มีระดับพลังงานที่เรียกว่าสถานะผิว (surface states) เกิดขึ้น เมื่อ โมเลกุล ไอแอลกอฮอล์ถูกดูดซับและจับตัวกับผนังรูพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอน หมู่ไฮดรอกซิล (hydroxyl group (OH)) ในโมเลกุลของแอลกอฮอล์จะมีการเหนี่ยวนำประจุบวกโพลาร์ที่ผิวหน้า เกิดเป็นสถานะผิวที่เกิดจากพาหะประจุข้างมากในแผ่นซิลิคอนชนิดพี จึงมีการนำไฟฟ้าที่สูงขึ้นที่บริเวณผิวหน้าของชั้นพอร์สซิลิคอน โดยสามารถแสดงได้จากแบบจำลองการเกิดสถานะผิวที่บริเวณผิวของชั้นพอร์สซิลิคอน แสดงดังรูปที่ 3.9

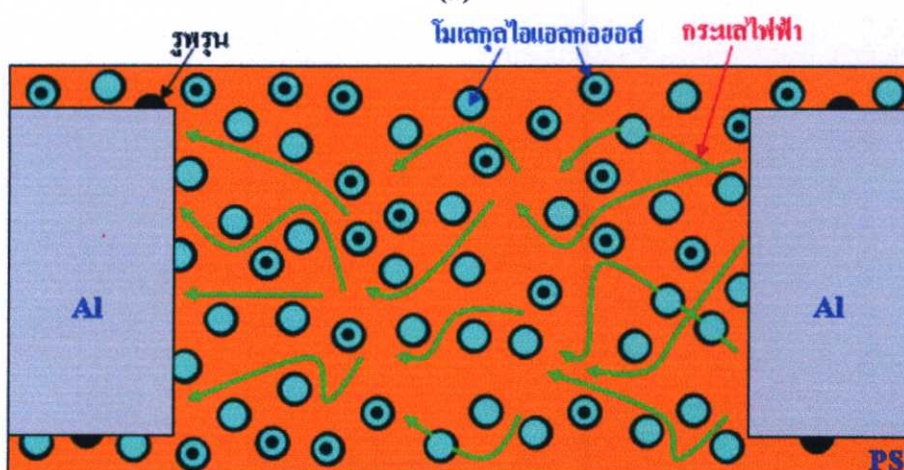


รูปที่ 3.9 แบบจำลองการเกิดสถานะผิวที่บริเวณผิวของชั้นพอร์ตซิลิคอน

จากรูปที่ 3.9 เมื่อ โมเลกุล ไอแอลกอฮอล์ เข้ามารวมตัวกันภายในรูพรุนของชั้นพอร์ตซิลิคอนทำให้เกิดสถานะผิวเพิ่มมากขึ้น ชั้นพอร์ตซิลิคอนสามารถนำไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น และเมื่อมี โมเลกุล ไอแอลกอฮอล์ เข้ามารวมตัวกันภายในรูพรุนเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จนเกิดการควบแน่นเป็นของเหลวภายในรูพรุน ส่งผลทำให้ชั้นพอร์ตซิลิคอนสามารถนำไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้นจนไปคงที่อยู่ที่ค่าหนึ่ง เนื่องจากเกิดการอึดตัวในการตรวจจับ โมเลกุล ไอแอลกอฮอล์ โดยการนำไฟฟ้าของชั้นพอร์ตซิลิคอนที่เพิ่มขึ้นนี้จะเกิดจาก 2 สาเหตุ คือ สถานะผิวที่เพิ่มมากขึ้นของชั้นพอร์ตซิลิคอน และการนำไฟฟ้าของแอลกอฮอล์ที่ควบแน่นเป็นของเหลวภายในรูพรุน แสดงดังรูปที่ 3.10



(ก)

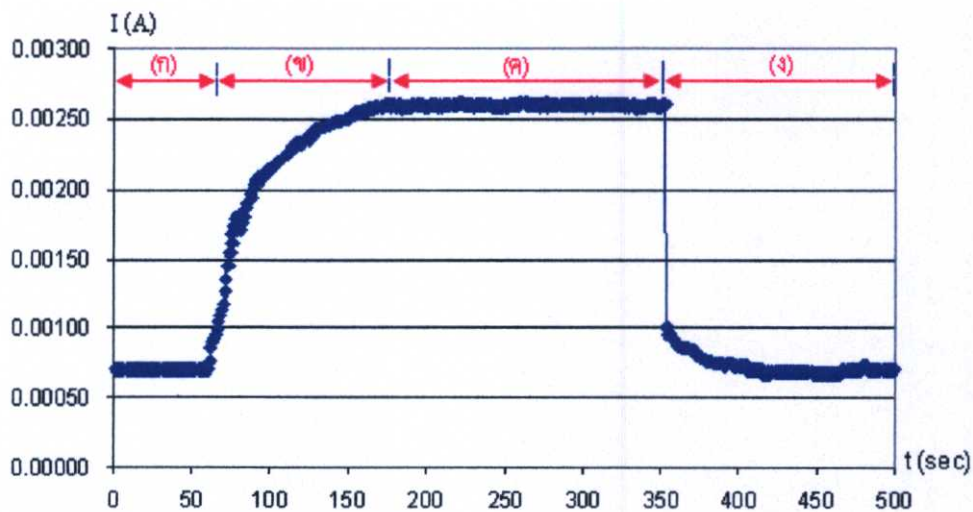


(ข)

รูปที่ 3.10 แบบจำลองการนำไฟฟ้าของชั้นพอร์สซิลิคอน

(ก) ก่อนตรวจจับไอแอลกอฮอล์ (ข) ขณะตรวจจับไอแอลกอฮอล์

จากรูปที่ 3.10 (ก) เป็นการนำไฟฟ้าของชั้นพอร์สซิลิคอนระหว่างขั้วไฟฟ้านั้น ก่อนที่จะมีการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ สังเกตได้ว่าจะมีปริมาณกระแสไฟฟ้าน้อยมากเนื่องจากชั้นพอร์สซิลิคอนมีค่าความต้านทานที่สูงกระแสไม่สามารถข้ามผ่านรูพรุนได้ กล่าวได้ว่าเมื่อมีความพรุนมากและควมลึกของรูพรุนสูงขึ้นค่าความต้านทานของชั้นพอร์สก็จะยิ่งสูงขึ้น และจากรูปที่ 3.10 (ข) เมื่อมีโมเลกุลไอแอลกอฮอล์เข้ามารวมตัวกันภายในรูพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนมากขึ้นจนมีการควบแน่นเป็นของเหลวในรูพรุน ทำให้ค่าความต้านทานของชั้นพอร์สซิลิคอนลดลง กระแสที่ผิวหน้าของชั้นพอร์สซิลิคอนสามารถไหลผ่านของเหลวที่ผิวหน้ารูพรุนได้สังเกตได้ว่าจะมีปริมาณกระแสไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น จึงสรุปได้ว่าปริมาณการไหลของกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นนั้นเกิดจาก 2 สาเหตุหลักๆ 1. การเกิดสถานะผิว 2. การควบแน่นของของเหลวภายในรูพรุน ดังได้กล่าวข้างต้นโดยตัวอย่างผลทดลองลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ของชั้นพอร์สซิลิคอน แสดงดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ของชั้นพอร์สซิลิคอน

- (ก) ช่วงที่ไม่มีโมเลกุลไอแอลกอฮอล์
- (ข) ช่วงที่โมเลกุลไอแอลกอฮอล์มาจับตัวกันที่บริเวณพื้นผิวของรูพรุนจนมีสถานะผิวเพิ่มขึ้นและมีการควบแน่นของเหลวในรูพรุน
- (ค) ช่วงที่เกิดการอิมตัวในการตรวจจับโมเลกุลไอแอลกอฮอล์
- (ง) ช่วงที่โมเลกุลไอแอลกอฮอล์เกิดการระเหยออกไปจากชั้นพอร์สซิลิคอน

จากรูปที่ 3.11 เป็นช่วงต่างๆ ของลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอน ซึ่งในแต่ละขั้นตอนสามารถอธิบายได้ดังนี้

- (ก) ช่วงที่ชั้นพอร์สซิลิคอนยังไม่มี การดูดซับโมเลกุลไอแอลกอฮอล์
- (ข) ช่วงที่มีโมเลกุลไอแอลกอฮอล์เข้ามาในระบบ แล้วเข้ามารวมตัวกันภายในรูพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอน จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำพาหะที่ผิวของชั้นพอร์สซิลิคอนเพิ่มมากขึ้น เกิดสถานะผิวเพิ่มมากขึ้น ทำให้บริเวณผิวของชั้นพอร์สซิลิคอนสามารถนำไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น และช่วงที่โมเลกุลไอแอลกอฮอล์มารวมตัวกันภายในรูพรุนเป็นจำนวนมากขึ้นเรื่อยๆ จนเกิดการควบแน่นเป็นของเหลวภายในรูพรุน ทำให้มีการนำไฟฟ้าของแอลกอฮอล์ที่ควบแน่นเป็นของเหลวภายในรูพรุนเกิดขึ้น

(ค) ช่วงที่เกิดการอิมตัวในการตรวจจับโมเลกุลไอแอลกอฮอล์ ทำให้การนำไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นจะคงที่อยู่ที่ค่าหนึ่ง

(ง) ช่วงที่หยุดการไหลของไอแอลกอฮอล์ ทำให้โมเลกุลไอแอลกอฮอล์เกิดการระเหยออกจากรูพรุน ไปเรื่อยๆ ส่งผลทำให้การนำไฟฟ้าของชั้นพอร์สซิลิคอนมีค่าลดลงจนกลับสู่สภาพเดิม

โดยเหตุการณ์การดูดซับและความแน่นในรูพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอน และเหตุการณ์การเหนี่ยวนำพาหะประจุโฮลบริเวณผิวจึงเกิดการนำไฟฟ้าของชั้นพอร์สซิลิคอนที่เพิ่มสูงขึ้น เป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นพร้อมๆ กัน ส่งผลทำให้ชั้นพอร์สซิลิคอนสามารถทำการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ได้

บทที่ 4

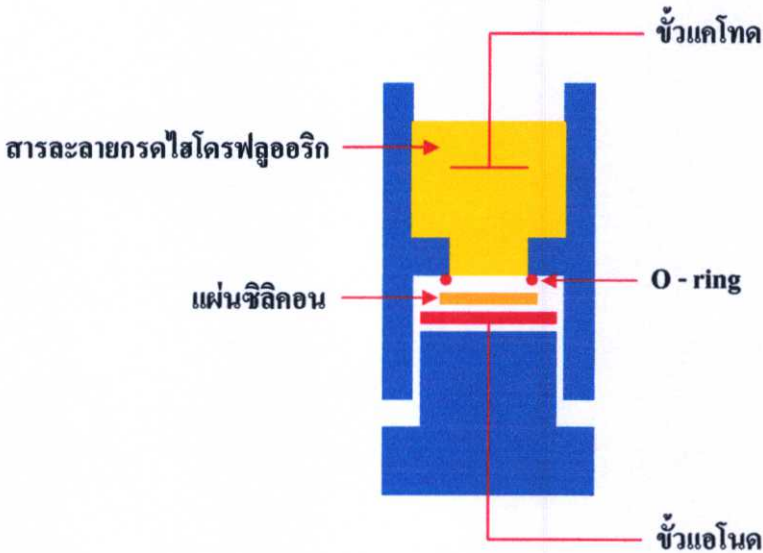
กระบวนการสร้าง และเครื่องมือที่ใช้ในการวัด

ในบทนี้จะกล่าวถึง กระบวนการสร้างชั้นพอร์ซซิลิคอน อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ โดยใช้ชั้นพอร์ซซิลิคอน เทคนิคที่ใช้ในการหาค่าความพรุน เครื่องมือในการวิเคราะห์พื้นผิว และเครื่องมือในการวัดผลของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์

4.1 กระบวนการสร้าง

4.1.1 การสร้างพอร์ซซิลิคอนด้วยวิธีการกัดทางไฟฟ้าเคมี

การสร้างพอร์ซซิลิคอนด้วยวิธีการกัดทางไฟฟ้าเคมี หรือที่เรียกว่า แอนโนไดซ์เซชัน เป็นวิธีที่น่าสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากสามารถควบคุมปฏิกิริยาในการกัดเพื่อทำให้เกิดชั้นพอร์ซซิลิคอนที่มีความสม่ำเสมอ ความพรุน และความหนาตามความต้องการได้ โดยงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้อุปกรณ์เซลล์ไฟฟ้าเคมีแบบเซลล์แท็งก์เดี่ยวในแนวตั้ง เนื่องจากใช้ต้นทุนในการสร้างต่ำ และสามารถทำการฉายแสงเพื่อเร่งปฏิกิริยาในการกัดได้ง่าย แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 อุปกรณ์เซลล์ไฟฟ้าเคมีแบบเซลล์แท็งก์เดี่ยวในแนวตั้งใช้ในกระบวนการแอนโนไดซ์เซชัน

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่า อุปกรณ์เซลล์ไฟฟ้าเคมีแบบเซลล์แท็งก์เดี่ยวในแนวตั้งนี้จะประกอบด้วย แผ่นซิลิคอนอยู่ที่ขั้วแอโนด ขั้วแคโทดจะจุ่มอยู่ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก แผ่นซิลิคอนจะถูกนำไปวางอยู่ตรงบริเวณด้านล่างของเซลล์ไฟฟ้าเคมี โดยจะใช้โอริง (O-ring)

เป็นส่วนป้องกันการรั่วไหลของสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกออกจากเซลล์ ต่อจากนั้นก็ทำการเทสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกลงสู่เซลล์ไฟฟ้าเคมี และทำการป้อนกระแสไฟฟ้าบวกคงที่ให้กับขั้วไฟฟ้าที่อยู่ด้านหลังของแผ่นซิลิคอน และขั้วอิเล็กโตรดที่เป็นขั้วลบจะจมอยู่ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก ขณะที่ป้อนกระแสไฟฟ้านี้เองก็จะทำการฉายแสงเพื่อเร่งปฏิกิริยาในการกัดด้วย โดยเงื่อนไขต่างๆ ที่ใช้ในระหว่างกระบวนการแอนโนไดซ์เซชันที่ได้ให้ความสนใจคือ ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า และเวลาในการแอนโนไดซ์เซชัน ซึ่งปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมีที่เกิดขึ้นจะมีผลทำให้บริเวณผิวของแผ่นซิลิคอนที่สัมผัสกับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกถูกกัดเป็นรูพรุนขนาดเล็กๆ จำนวนมาก

4.1.2 การสร้างอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอน

ชั้นพอร์สซิลิคอนที่นำมาสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ในงานวิจัยนี้ จะเลือกใช้การสร้างด้วยวิธีการกัดทางไฟฟ้าเคมี เนื่องจากเป็นวิธีการที่ไม่ยุ่งยาก สามารถควบคุมตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนให้มีความสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น และสามารถควบคุมความหนาของชั้นพอร์สซิลิคอนได้อีกด้วย

ขั้นตอนการสร้างอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอน

1. การเตรียมแผ่นซิลิคอนเริ่มต้น

ใช้แผ่นซิลิคอนชนิดพี มีระนาบ (100) สภาพด้านทาน 1-2 โอห์ม-เซนติเมตร ความหนาของแผ่นซิลิคอนเท่ากับ 450 ไมโครเมตร แสดงดังรูปที่ 4.2 (ก)

2. การทำความสะอาดผิวแผ่นซิลิคอนเริ่มต้น

- ทำความสะอาดผิวหน้าด้วยน้ำบริสุทธิ์ (De-Ionized (DI) water) ในเครื่องสั่นความถี่สูงเป็นเวลา 5 นาที

- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์

- ดั้มในกรดไนตริก (HNO_3) เป็นเวลา 5 นาที เพื่อกำจัดเศษโลหะหนักที่ผิวหน้า

- ดั้มในน้ำบริสุทธิ์ 2 แก้ว เป็นเวลาแก้วละ 5 นาที

- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์ 2 แก้ว เป็นเวลาแก้วละ 5 นาที

- เป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน

- ดั้มในไตรคลอโรเอททีลีน (trichloroethylene) เป็นเวลา 5 นาที เพื่อกำจัดไขมัน

- ล้างด้วยอะซิโตน (acetone) ในเครื่องสั่นความถี่สูง เป็นเวลา 5 นาที

- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์ 2 แก้ว เป็นเวลาแก้วละ 5 นาที

- เป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน

3. การสร้างชั้นพอร์สซิลิคอน

โดยการนำเอาแผ่นซิลิคอนที่ผ่านกระบวนการต่างๆ ข้างต้น ไปวางตรงตำแหน่งบริเวณด้านล่างของเซลล์ไฟฟ้าเคมี ต่อจากนั้นก็ทำการเทสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก ลงไปในเซลล์ไฟฟ้าเคมี นำขั้วอิเล็กโทรดจุ่มลงในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก แล้วทำการป้อนกระแสไฟฟ้าขั้วบวกคงที่ให้กับขั้วไฟฟ้าที่อยู่ด้านหลังของแผ่นซิลิคอน และป้อนกระแสไฟฟ้าขั้วลบให้กับขั้วอิเล็กโทรดที่จุ่มอยู่ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมีขึ้น มีผลทำให้ที่บริเวณของแผ่นซิลิคอนที่สัมผัสกับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกถูกกัดเป็นรูพรุนขนาดเล็กๆ จำนวนมาก โดยพารามิเตอร์ที่มีผลต่อความพรุนของพอร์สซิลิคอนก็คือเงื่อนไขต่างๆ ที่ใช้ในระหว่างกระบวนการแอนโนไดซ์เซชัน อันได้แก่

- ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก
- ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการแอนโนไดซ์เซชัน
- เวลาที่ใช้ในการแอนโนไดซ์เซชัน

หลังจากกระบวนการแอนโนไดซ์เซชันเสร็จสมบูรณ์แล้ว จะได้ชั้นของพอร์สซิลิคอนเกิดขึ้นตรงบริเวณผิวหน้าด้านบนของแผ่นซิลิคอน แสดงดังรูปที่ 4.2 (ข)

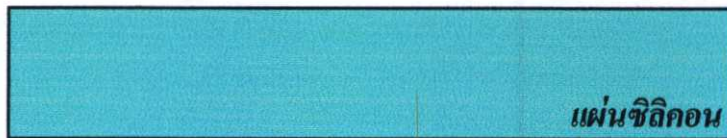
4. การทำความสะอาดผิวแผ่นซิลิคอนหลังจากการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอน

นำแผ่นซิลิคอนออกจากเซลล์ไฟฟ้าเคมี ไปผ่านการทำความสะอาดแผ่นซิลิคอนครั้งสุดท้ายโดยมีขั้นตอนดังนี้

- ล้างด้วยน้ำปอดประจุ
- เป่าให้แห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน

5. การสร้างขั้วอะลูมิเนียมด้านหน้าโดยการเคลือบชั้นอะลูมิเนียมในสุญญากาศ

หลังจากผ่านกระบวนการทำความสะอาดผิวของแผ่นซิลิคอนเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ต่อจากนั้นจะทำการเคลือบโลหะอะลูมิเนียมที่บริเวณด้านหน้าของแผ่นซิลิคอนบริเวณที่มีชั้นพอร์สซิลิคอน โดยใช้มาส์คสำหรับทำขั้วโลหะเพื่อทำขั้วของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอสอลต์ โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วค่าต่างๆ ตามที่ได้กำหนดไว้ ด้วยวิธีการระเหยสารด้วยความร้อนในสุญญากาศ แสดงดังรูปที่ 4.2 (ค)



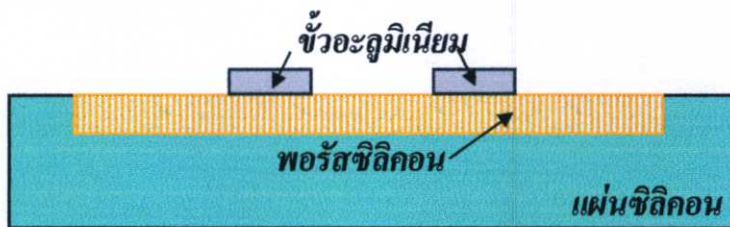
(ก)

รูปที่ 4.2 ขั้นตอนการสร้างอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอสอลต์โดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอน

(ก) การเตรียมแผ่นซิลิคอน (ข) การสร้างชั้นพอร์สซิลิคอน (ค) การสร้างขั้วอะลูมิเนียมด้านหน้า



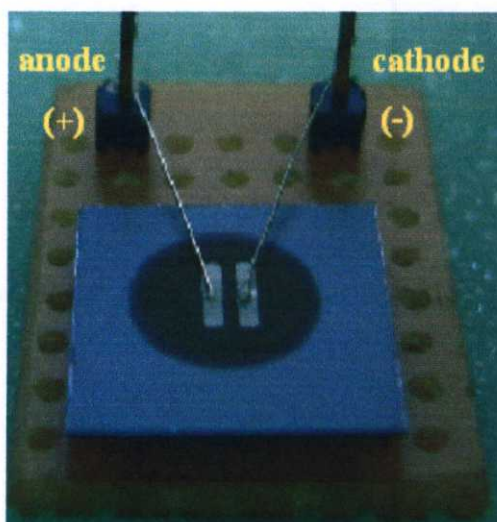
(ข)



(ค)

รูปที่ 4.2 ขั้นตอนการสร้างอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอน(ต่อ)

ลักษณะอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอนที่สร้างจากกระบวนการข้างต้น มีขนาดของขี้ตะกั่วเงินประมาณ $1000 \times 5000 \mu\text{m}^2$ และมีระยะห่างระหว่างขี้ค่าต่างๆ ตามที่ได้ออกแบบการทดลองไว้ แสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอน

4.2 เทคนิคและเครื่องมือที่ใช้ในการวัด

4.2.1 เทคนิคการหาความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอน

การวัดหาค่าความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอน ใช้หลักการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของวัสดุ ก่อนและหลังการเกิดรูพรุน โดยค่าความพรุนของวัสดุใดๆ สามารถหาได้ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความพรุน} = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 - m_3)} \times 100 \quad (4.1)$$

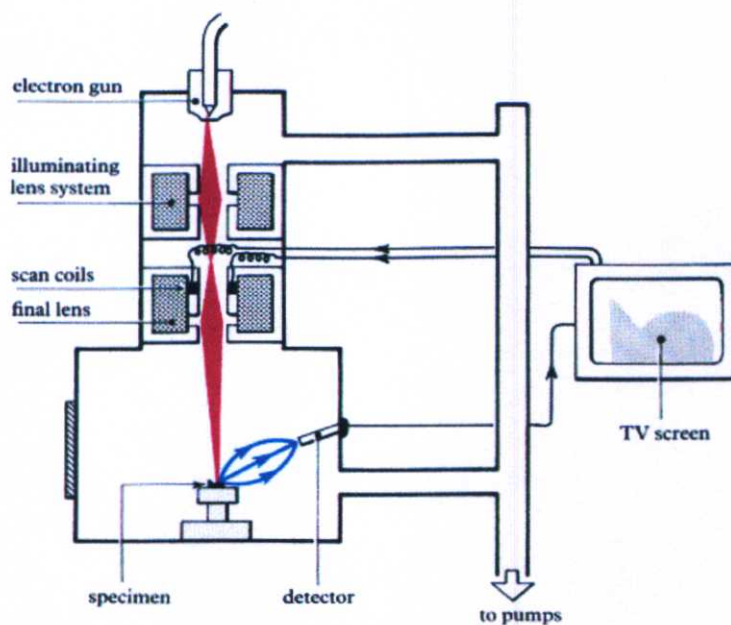
โดยที่ m_1 คือ น้ำหนักของวัสดุเริ่มต้นก่อนการเกิดรูพรุน

m_2 คือ น้ำหนักของวัสดุหลังการเกิดรูพรุน

m_3 คือ น้ำหนักของวัสดุที่เหลือหลังจากการลอกชั้นความพรุนออก

4.2.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscopy : SEM) เป็นเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์พื้นผิว และศึกษาโครงสร้างของชั้นพอร์สซิลิคอน เครื่อง SEM นี้มีจุดเด่นอยู่ที่กำลังขยายสูงถึง 20 ถึง 500,000 เท่า จึงสามารถศึกษาพื้นผิวที่มีขนาดเล็กได้ดี โดยส่วนประกอบของเครื่อง SEM แสดงดังรูปที่ 4.4

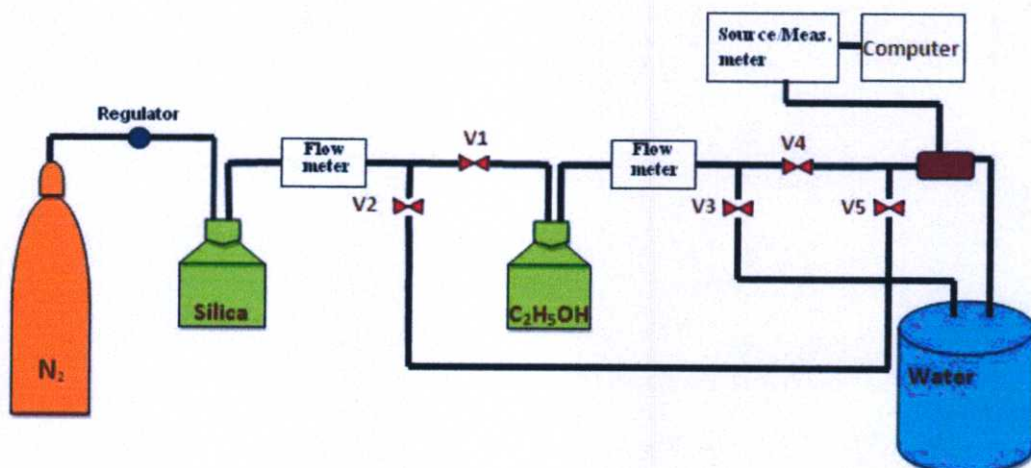


รูปที่ 4.4 ส่วนประกอบต่างๆ ของกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

จากรูปที่ 4.4 การทำงานของเครื่อง SEM จะเริ่มจาก แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอน (electron gun) ให้อิเล็กตรอนที่ถูกเร่ง เลื่อนที่ลงมาตามคอลัมน์ ด้วยความต่างศักย์ในช่วง 1-30 kV โดยอิลลูมิเนสเลนส์ (illuminating lens system) ทำหน้าที่บีบลำอิเล็กตรอนที่ส่งมาจากแหล่งกำเนิดให้มีพื้นที่หน้าตัดเล็กลง ส่วนสแกนคอยล์ (scan coil) ทำหน้าที่กวาดลำอิเล็กตรอนบนผิวของวัสดุ คลายกับการกวาดรูปบนจอโทรทัศน์ และเลนส์ตัวสุดท้ายทำหน้าที่บีบลำอิเล็กตรอนที่ส่งมาจากสแกนคอยล์ให้มีพื้นที่หน้าตัดเล็กลง ก่อนถึงตัววัสดุ เมื่อลำอิเล็กตรอนไปตกกระทบกับผิววัสดุจะให้สัญญาณออกมา ซึ่งสัญญาณต่างๆ จะถูกตรวจจับและถูกนำไปแสดงผลที่จอภาพ

4.2.3 ชุดเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการตรวจจับไอแอลกอฮอล์

การศึกษาปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการตรวจจับ ไอแอลกอฮอล์จะใช้ชุดเครื่องมือในการวัดผล แสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 เครื่องมือต่างๆ ที่ใช้ในการวัดอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์

จากรูปที่ 4.5 ชุดเครื่องมือในการวัดอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

1. ถังก๊าซไนโตรเจน โดยใช้ก๊าซไนโตรเจนเป็นตัวพาไอแอลกอฮอล์ เนื่องจากก๊าซไนโตรเจนไม่ทำปฏิกิริยากับ แอลกอฮอล์และชั้นพอร์ซเซิลคอน
2. รีเกกูเลเตอร์ (regulator) ทำหน้าที่ควบคุมความดันในระบบ
3. ซิลิกาเจล (silica gel) ทำหน้าที่ดูดความชื้นของก๊าซไนโตรเจน
4. เครื่องมือวัดอัตราการไหล (flow meter) ทำหน้าที่ควบคุมอัตราการไหล
5. แอลกอฮอล์

6. ระบบวาล์ว โดยวาล์วต่างๆ จะมีหน้าที่ดังนี้

- V1 ใช้ควบคุมการปล่อย ก๊าซไนโตรเจนในการพาไอระเหยของแอลกอฮอล์ในระบบ
 - V 2,5 ใช้ควบคุมการปล่อย ไนโตรเจน ให้ไหลเข้าสู่อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์แล้วไหลลงสู่อ่างน้ำ
 - V3 ใช้ควบคุม อัตราการไหลของไอระเหยของแอลกอฮอล์ ก่อนที่จะเข้าสู่อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์
 - V4 ใช้ควบคุมไอระเหยของแอลกอฮอล์ ให้ไหล เข้าสู่อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ลง สู่อ่างน้ำ
7. อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ ซึ่งอยู่ในหลอดแก้วทึบแสง
8. เครื่องมือวัดแรงดัน/กระแสไฟฟ้าของบริษัท Keithley รุ่น 2400 ใช้ในการวัดปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการตรวจจับไอแอลกอฮอล์
9. คอมพิวเตอร์ ทำหน้าที่ติดต่อกับเครื่องมือวัดแรงดัน/กระแสไฟฟ้าของบริษัท Keithley รุ่น 2400 ด้วยโปรแกรม LabVIEW ในการวัดปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการตรวจจับไอแอลกอฮอล์
10. อ่างน้ำ ทำหน้าที่รักษาความดันในระบบให้คงที่

โดยชุดเครื่องมือในการวัดอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์นี้ จะเริ่มต้นด้วยการเปิดถังก๊าซไนโตรเจนและตัวเร็กกูเลเตอร์เพื่อให้ก๊าซไนโตรเจนเข้าไปในระบบ ทำการปรับเครื่องวัดอัตราการไหลให้ได้อัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนตามต้องการ ขั้นตอนแรกให้เปิด V 5,2 ให้ไนโตรเจนไหลเข้าสู่ระบบเพื่อให้อุปกรณ์ตรวจจับอยู่ในบรรยากาศของไนโตรเจน เมื่อเริ่มทำการวัดให้เปิด V3,1 เพื่อให้ ก๊าซไนโตรเจนพาไอระเหยของแอลกอฮอล์เข้าสู่ระบบ และทำการปรับค่าอัตราการไหลของไอระเหยของแอลกอฮอล์ให้เหมาะสมก่อนเข้าสู่อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ เมื่อปรับค่าไอระเหยของแอลกอฮอล์ได้ตามต้องการแล้วให้ เปิด V4 และปิด V 3 และ V 2,5 ทันที (รักษาระดับแรงดันในระบบ) เพื่อให้ไอระเหยของแอลกอฮอล์เข้าสู่อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ เมื่อหยุดวัดให้เปิด V3 และ V5,2 แล้ว ปิด V4 ทันที เพื่อให้ ก๊าซไนโตรเจนไล่ไอระเหยของแอลกอฮอล์ออกจากอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ จากนั้นปิด V 1,3 เมื่อไล่ไอแอลกอฮอล์ที่ตกค้างอยู่ในอุปกรณ์ตรวจจับหมดแล้วให้ ปิด V 2,5

บทที่ 5

การทดลอง และผลการทดลอง

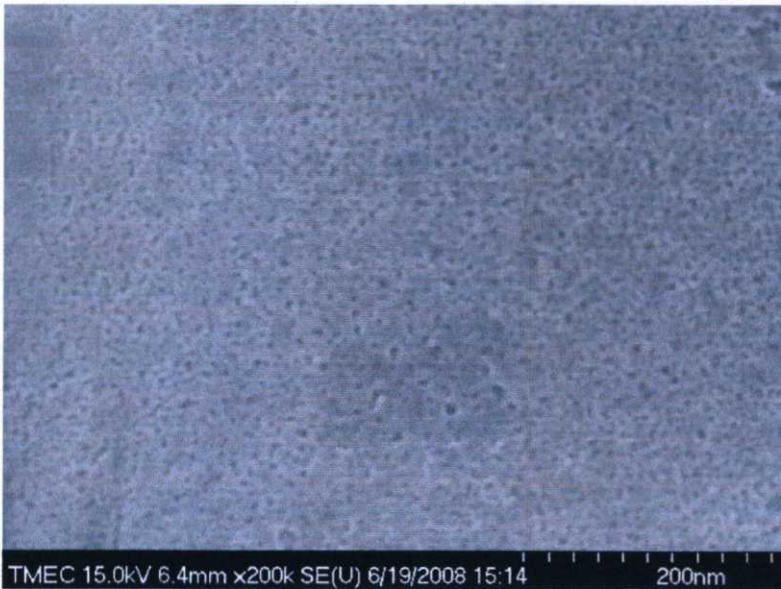
ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอน รวมทั้งผลของการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ของชั้นพอร์สซิลิคอนในอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ ซึ่งมีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

5.1 การทดลองเพื่อศึกษาผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอน

5.1.1 การทดลองศึกษาโครงสร้างของชั้นพอร์สซิลิคอนด้วยเครื่อง SEM

5.1.1.1 ผลการทดลองเพื่อศึกษาผิวหน้าของชั้นพอร์สซิลิคอน

การทดลองนี้ทำการศึกษาถึงผิวหน้าของชั้นพอร์สซิลิคอน ซึ่งได้ทำการสร้างโดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลที่ 1:1 โดยปริมาตร เวลา 10 นาที ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 5 mA/cm^2 , 10 mA/cm^2 , 15 mA/cm^2 , 20 mA/cm^2 และ 25 mA/cm^2



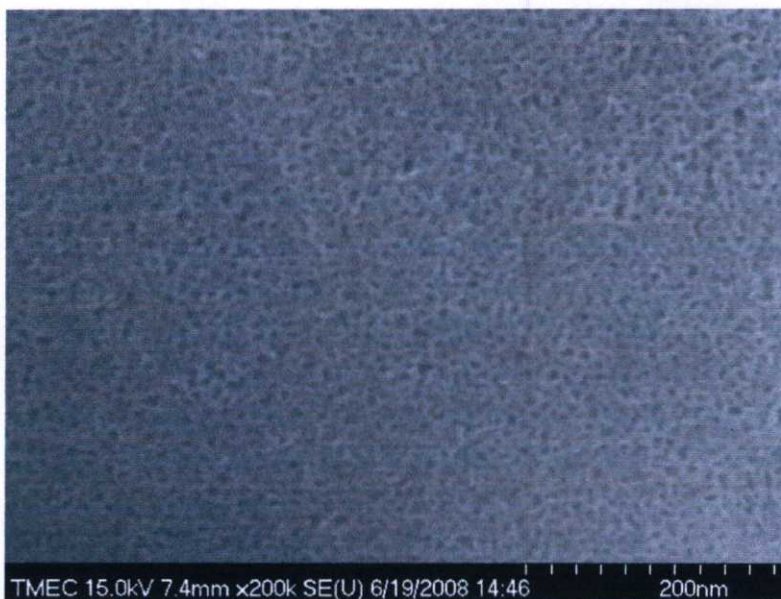
รูปที่ 5.1 ภาพพื้นผิวของชั้นพอร์สซิลิคอน โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 5 mA/cm^2



รูปที่ 5.2 ภาพพื้นผิวของชั้นพอร์สซิลิคอน โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm²



รูปที่ 5.3 ภาพพื้นผิวของชั้นพอร์สซิลิคอน โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 15 mA/cm²



รูปที่ 5.4 ภาพพื้นผิวของชั้นพอร์สซิติคอน โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 20 mA/cm²

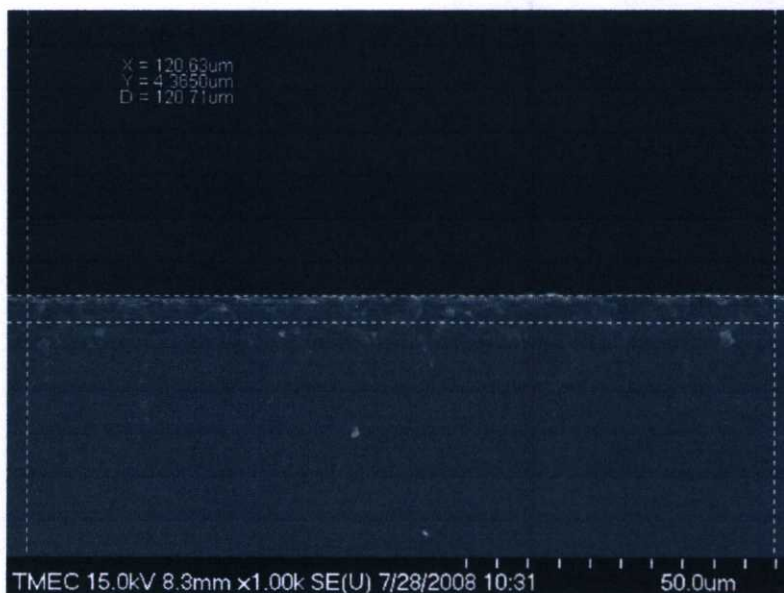


รูปที่ 5.5 ภาพพื้นผิวของชั้นพอร์สซิติคอน โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 25 mA/cm²

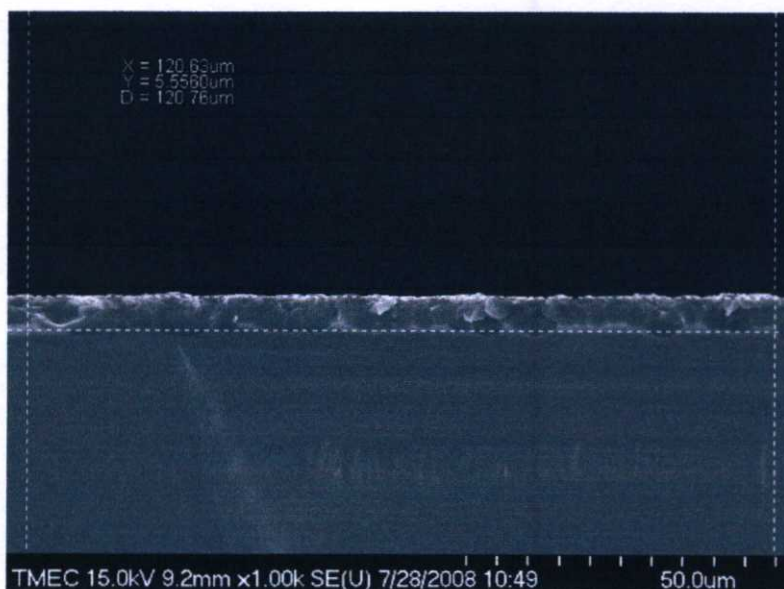
จากรูปที่ 5.1-5.5 เมื่อทำการเพิ่มค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการแอโนไดซ์เซชัน ส่งผลในมีอัตราการกัดเพิ่มมากขึ้น จากภาพถ่าย SEM จึงพบว่าความพรุนของชั้นพอร์สซิติคอน และขนาดของรูพรุนของชั้นพอร์สซิติคอนมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ

5.1.1.2 ผลการทดลองเพื่อศึกษาความหนาของชั้นพอร์ซซิลิคอน

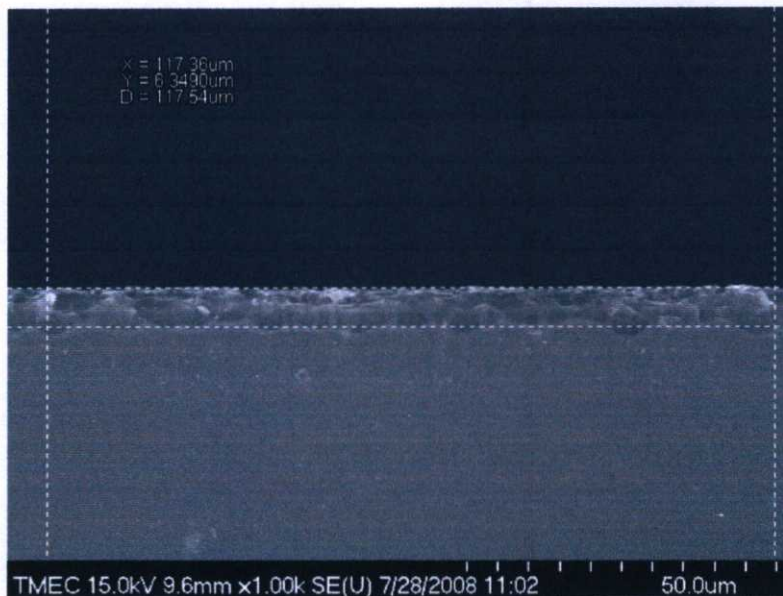
การทดลองนี้ทำการศึกษาถึงความหนาของชั้นพอร์ซซิลิคอน ซึ่งได้ทำการสร้างโดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลที่ 1:1 โดยปริมาตร เวลา 10 นาที ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 5 mA/cm^2 , 10 mA/cm^2 , 15 mA/cm^2 , 20 mA/cm^2 และ 25 mA/cm^2



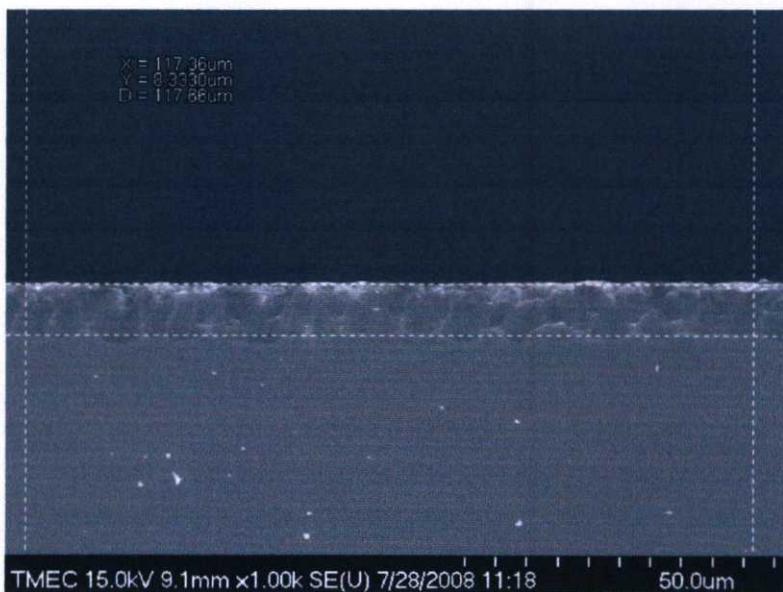
รูปที่ 5.6 ความหนาของชั้นพอร์ซซิลิคอน โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 5 mA/cm^2



รูปที่ 5.7 ความหนาของชั้นพอร์ซซิลิคอน โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2



รูปที่ 5.8 ความหนาของชั้นพอร์สคาร์บอน โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 15 mA/cm²

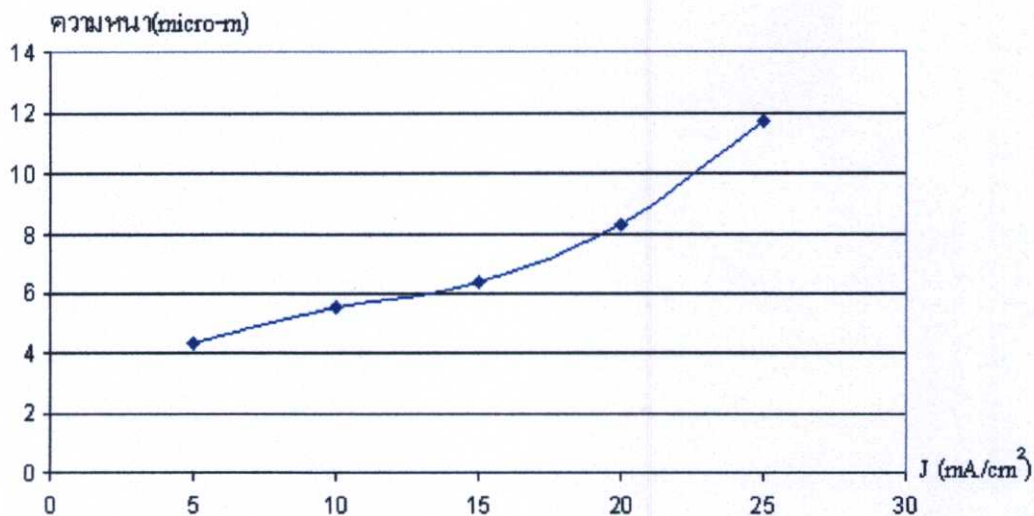


รูปที่ 5.9 ความหนาของชั้นพอร์สคาร์บอน โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 20 mA/cm²



รูปที่ 5.10 ความหนาของชั้นพอร์สซิลิคอน โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 25 mA/cm^2

จากรูปที่ 5.5-5.10 เมื่อมีการเพิ่มความหนาแน่นของกระแสในการแอโนไดซ์เซชัน พบว่าพบว่าความหนาของชั้นพอร์สซิลิคอนมีอัตราการเพิ่มขึ้นของความหนาสูงขึ้นตามลำดับ เนื่องจากเมื่อโครงสร้างของซิลิคอนถูกลดขนาดลงในกระบวนการแอโนไดซ์เซชัน ค่าช่องว่างแถบพลังงานในชั้นพอร์สซิลิคอนจะมีค่าสูงขึ้น มีผลทำให้โฮลในการกระบวนการแอโนไดซ์เซชันเข้าไปทำปฏิกิริยาบนชั้นพอร์สซิลิคอนได้ยากขึ้น ดังนั้นปฏิกิริยาส่วนใหญ่จึงเกิดขึ้นที่ก้นหลุม จึงทำให้อัตราการเพิ่มขึ้นของความหนาในชั้นพอร์สซิลิคอนมีค่าสูงขึ้นตามลำดับ เมื่อมีการใช้เวลาในการแอโนไดซ์เซชันสูงขึ้น โดยสามารถแสดงได้ดังกราฟในรูปที่ 5.11



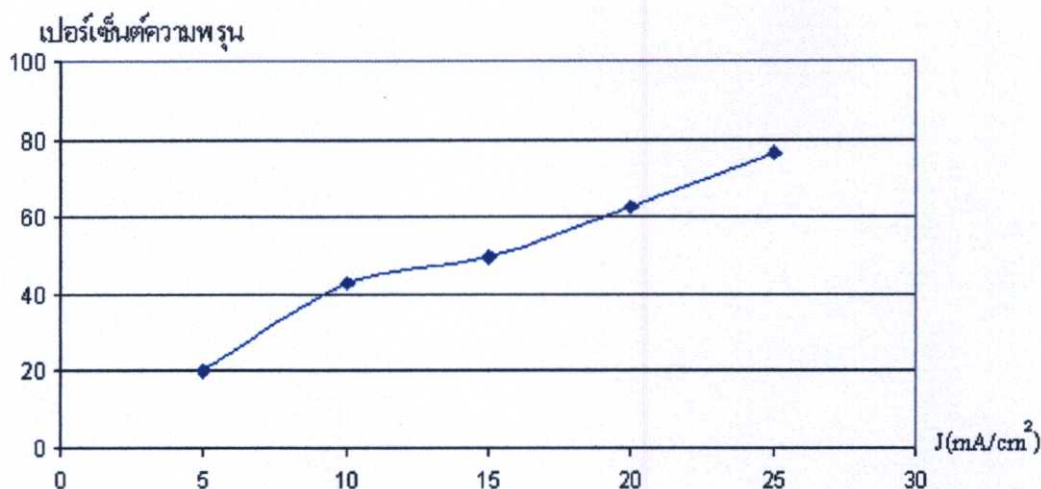
รูปที่ 5.11 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้นพอร์ซซิติกอนกับความหนาแน่นของกระแสในการแอโนไดซ์เซชัน

5.1.2 การทดลองเพื่อศึกษาความพรุนของชั้นพอร์ซซิติกอนจากเทคนิคการหาความพรุนด้วยการคำนวณ

ทำการศึกษาความพรุน ของชั้นพอร์ซซิติกอนที่สร้างโดยอัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลที่ 1:1 โดยปริมาตร เวลา 10 นาที ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า $5 \text{ mA}/\text{cm}^2$, $10 \text{ mA}/\text{cm}^2$, $15 \text{ mA}/\text{cm}^2$, $20 \text{ mA}/\text{cm}^2$ และ $25 \text{ mA}/\text{cm}^2$ ตามลำดับ โดยคำนวณหาค่าความพรุนจากสมการเปอร์เซ็นต์ความพรุน โดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของวัสดุก่อนและหลังการเกิดรูพรุน (ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 4.2.1)

ตารางที่ 5.1 ตารางแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนในชั้นพอร์ซซิติกอนที่ใช้ความหนาแน่นของกระแสในการแอโนไดซ์เซชันในช่วง $5\text{-}25 \text{ mA}/\text{cm}^2$

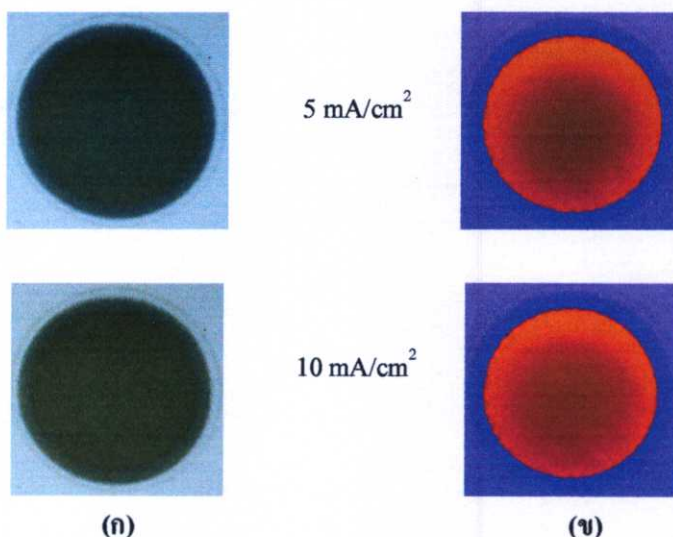
ความหนาแน่นของกระแสในการแอโนไดซ์เซชัน (mA/cm^2)	เปอร์เซ็นต์ความพรุน
5	20.0
10	42.8
15	50.0
20	62.5
25	76.9



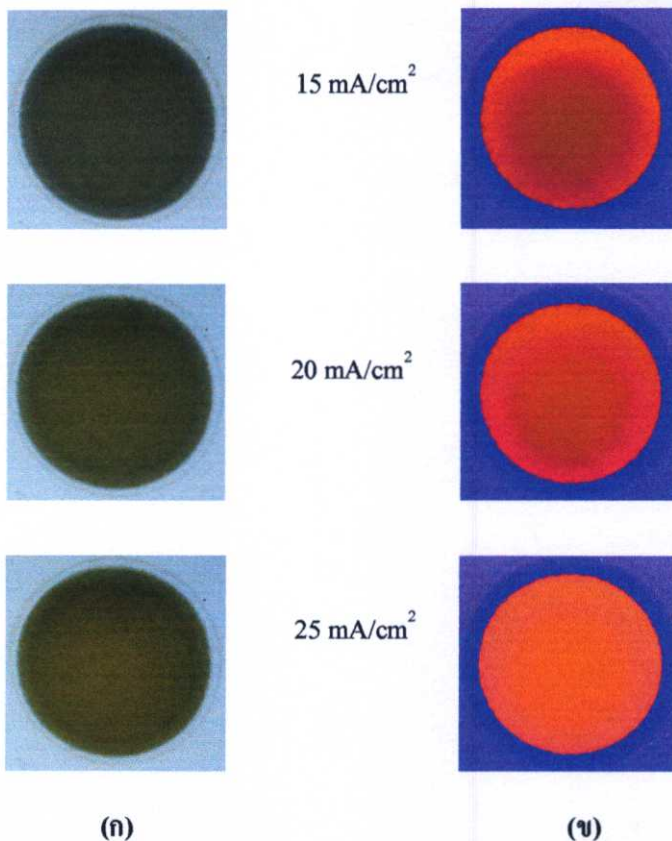
รูปที่ 5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิติคอนกับความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการแอโนไดซ์เซชัน

5.1.3 การศึกษาการเรืองแสงของชั้นพอร์สซิติคอนเมื่อทำการฉายแสงจากหลอดแบล็คไลท์

การทดลองนี้ทำการศึกษาการเรืองแสงชั้นพอร์สซิติคอน เนื่องจากผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการสร้างชั้นพอร์สซิติคอนด้วยวิธีการแอโนไดซ์เซชัน โดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลที่ 1:1 โดยปริมาตร เวลา 10 นาที ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 5 mA/cm², 10 mA/cm², 15 mA/cm², 20 mA/cm² และ 25 mA/cm² ได้ชั้นพอร์สซิติคอน แสดงดังรูปที่ 5.13



รูปที่ 5.13 ชั้นพอร์สซิติคอนที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการสร้างต่างๆ กัน
(ก) พื้นผิวของชั้นพอร์สซิติคอน (ข) การเรืองแสงของชั้นพอร์สซิติคอน



รูปที่ 5.13 (ต่อ) ชั้นพอร์สซิติคอนที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการสร้างต่างๆ กัน
 (ก) พื้นผิวของชั้นพอร์สซิติคอน (ข) การเรืองแสงของชั้นพอร์สซิติคอน

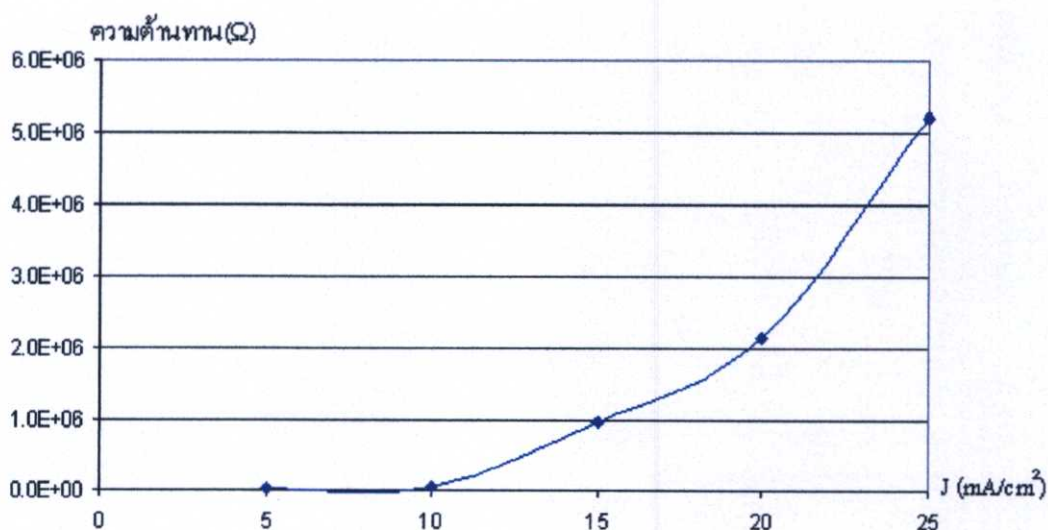
จากรูปที่ 5.13 (ก) สังเกตได้ว่าเมื่อใช้เวลามากขึ้นสีของชั้นพอร์สซิติคอนจะมีการเปลี่ยนแปลงจากสีน้ำตาลดำไปเป็นสีน้ำตาลเข้มจนกระทั่งเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอ่อน และเมื่อสังเกตสมบัติการเรืองแสงของชั้นพอร์สซิติคอน ด้วยการฉายแสงจากหลอดแบล็คไลท์ แสดงดังรูปที่ 5.13 (ข) สังเกตได้ว่าสีในการเรืองแสงของชั้นพอร์สซิติคอนจะมีการเปลี่ยนแปลงจากสีส้มเข้มไปเป็นสีส้มอ่อน เนื่องจากการใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการกัดเพิ่มมากขึ้น โครงสร้างของชั้นพอร์สซิติคอนจึงถูกกัดเพิ่มมากขึ้นส่งผลทำให้ความพรุนของชั้นพอร์สซิติคอนมีเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นเมื่อมีการลดขนาดของโครงสร้างมากขึ้น ทำให้ค่าช่องว่างแถบพลังงานมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อทำการฉายแสงแบล็คไลท์แก่ชั้นพอร์สซิติคอน จะเห็นได้ว่าชั้นพอร์สซิติคอนจะมีการปลดปล่อยแสงเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ

5.1.4 การศึกษาผลของความต้านทานของชั้นพอร์สซิลิคอนต่อความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอน

ศึกษาค่าความต้านทานของชั้นพอร์สซิลิคอน เนื่องจากผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการแอโนไดซ์เซชัน โดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลที่ 1:1 โดยปริมาตร เวลา 10 นาที ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 5 mA/cm^2 , 10 mA/cm^2 , 15 mA/cm^2 , 20 mA/cm^2 และ 25 mA/cm^2 โดยได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานของชั้นพอร์สซิลิคอนกับความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าในการแอโนไดซ์เซชันดังกราฟในรูปที่ 5.14

ตารางที่ 5.2 ตารางแสดงค่าความต้านทานในชั้นพอร์สซิลิคอนที่ใช้ความหนาแน่นของกระแสในการแอโนไดซ์เซชันในช่วง $5\text{-}25 \text{ mA/cm}^2$

ความหนาแน่นของกระแสในการแอโนไดซ์เซชัน (mA/cm^2)	ความต้านทาน (โอห์ม)
5	2.25×10^4
10	5.71×10^4
15	9.66×10^5
20	2.15×10^6
25	5.20×10^6



รูปที่ 5.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานของชั้นพอร์สซิลิคอนกับความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าในการแอโนไดซ์เซชัน

จากรูปที่ 5.14 พบว่าค่าความต้านทานของชั้นพอร์ซซิลิคอนมีค่าเพิ่มสูงขึ้น โดยสอดคล้องกับค่าความพรุนและความหนาของชั้นพอร์ซซิลิคอนที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน เมื่อทำการเพิ่มความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าในการแอโนไดซ์เซชัน

5.2 การทดลองเพื่อศึกษาผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการสร้างชั้นพอร์ซซิลิคอน

5.2.1 การทดลองศึกษาโครงสร้างของชั้นพอร์ซซิลิคอนด้วยเครื่อง SEM

5.2.1.1 ผลการทดลองเพื่อศึกษาความหนาของชั้นพอร์ซซิลิคอน

การทดลองนี้ทำการศึกษาถึงความหนาของชั้นพอร์ซซิลิคอน ซึ่งได้ทำการสร้างโดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลที่ 1:1 โดยปริมาตร ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 เวลาในการแอโนไดซ์เซชัน 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 20 นาที และ 25 นาที ตามลำดับ



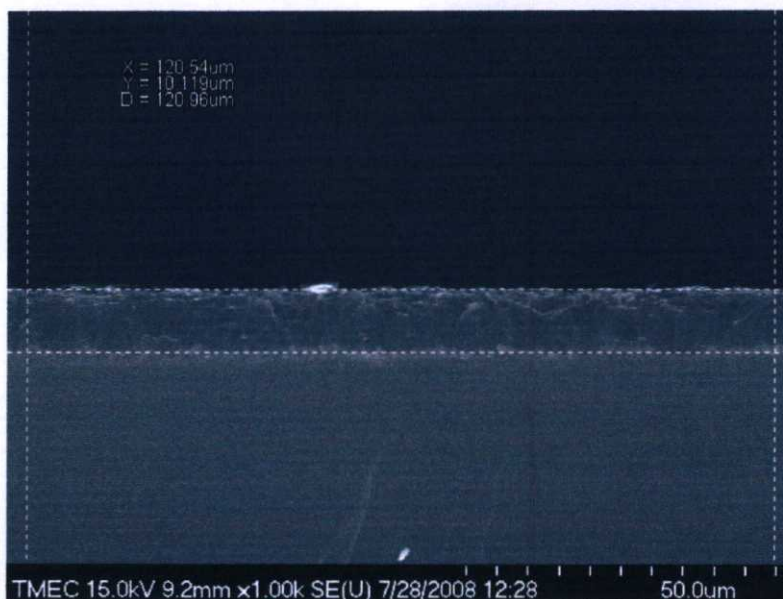
รูปที่ 5.15 ความหนาของชั้นพอร์ซซิลิคอน โดยใช้เวลาในการแอโนไดซ์เซชัน 5 นาที



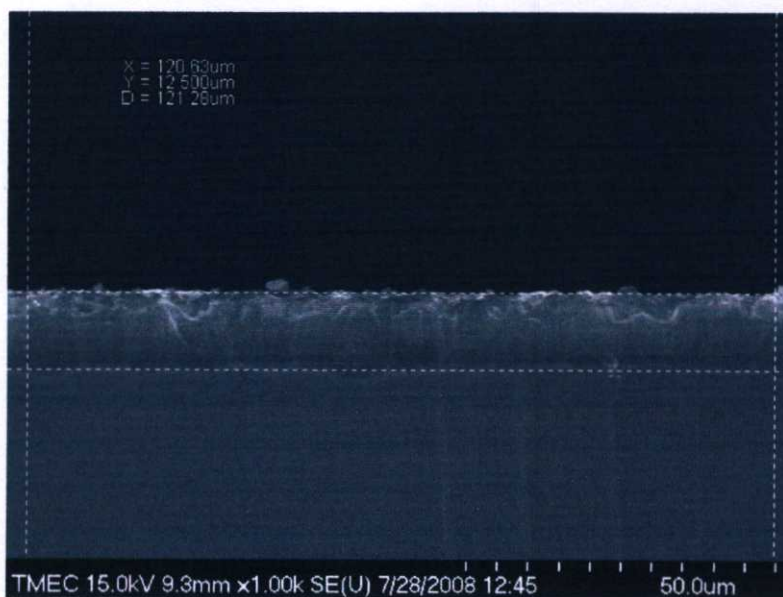
รูปที่ 5.16 ความหนาของชั้นพอร์ซซิลิคอน โดยใช้เวลาในการแอโนไดซ์เซชัน 10 นาที



รูปที่ 5.17 ความหนาของชั้นพอร์ซซิลิคอน โดยใช้เวลาในการแอโนไดซ์เซชัน 15 นาที



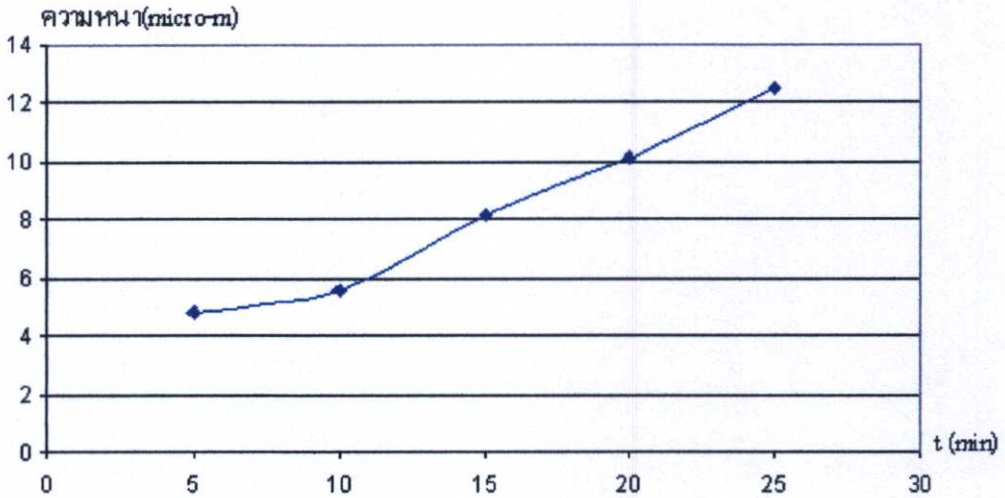
รูปที่ 5.18 ความหนาของชั้นพอร์ซซิลิคอน โดยใช้เวลาในการแอนโอดีเซชัน 20 นาที



รูปที่ 5.19 ความหนาของชั้นพอร์ซซิลิคอน โดยใช้เวลาในการแอนโอดีเซชัน 25 นาที

จากรูปที่ 5.15-5.19 เมื่อมีการเพิ่มเวลาในการแอนโอดีเซชัน พบว่าพบว่าความหนาของชั้นพอร์ซซิลิคอนมีอัตราการเพิ่มขึ้นของความหนาสูงขึ้นตามลำดับ เนื่องจากเมื่อโครงสร้างของซิลิคอนถูกลดขนาดลงในกระบวนการแอนโอดีเซชัน ค่าช่องว่างแถบพลังงานในชั้นพอร์ซ

ซิลิคอนจะมีค่าสูงขึ้น มีผลทำให้โพลในการกระบวนการแอนโนไดซ์เซชันเข้าไปทำปฏิกิริยาบนชั้นพอร์ซิลิคอนได้ยากขึ้น ดังนั้นปฏิกิริยาส่วนใหญ่จึงเกิดขึ้นที่ก้นหลุมจึงทำให้อัตราการเพิ่มขึ้นของความหนาในชั้นพอร์ซิลิคอนมีค่าสูงขึ้นตามลำดับ เมื่อมีการใช้เวลาในการแอนโนไดซ์เซชันสูงขึ้น โดยสามารถแสดงได้ดังกราฟในรูปที่ 5.20



รูปที่ 5.20 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้นพอร์ซิลิคอนกับเวลาในการแอนโนไดซ์เซชัน

5.2.2 การทดลองเพื่อศึกษาความพรุนของชั้นพอร์ซิลิคอนจากเทคนิคการหาความพรุนด้วยการคำนวณ

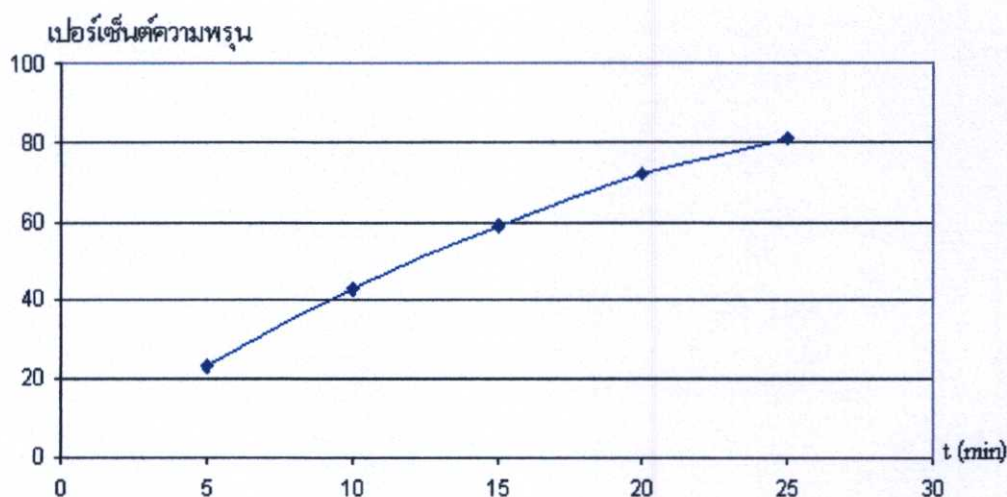
ทำการศึกษาความพรุน ของชั้นพอร์ซิลิคอนที่สร้างโดยอัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลที่ 1:1 โดยปริมาตร ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 เวลาในการแอนโนไดซ์เซชัน 5 นาที ,10 นาที ,15 นาที ,20 นาที และ 25 นาที ตามลำดับ โดยคำนวณหาค่าความพรุนจากสมการเปอร์เซ็นต์ความพรุนโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของวัสดุก่อนและหลังการเกิดรูพรุน (ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 4.2.1)

ตารางที่ 5.3 ตารางแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนในชั้นพอร์ซิลิคอนที่ใช้ความหนาแน่นของกระแสในการแอนโนไดซ์เซชันในช่วง 5-25 นาที

เวลาในการแอนโนไดซ์เซชัน (min)	เปอร์เซ็นต์ความพรุน
5	23.0
10	42.8

ตารางที่ 5.3 (ต่อ) ตารางแสดงค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนในชั้นพอร์สซิติคอนที่ใช้ความหนาแน่นของกระแสในการแอโนไดซ์ชั้นในช่วง 5-25 นาที

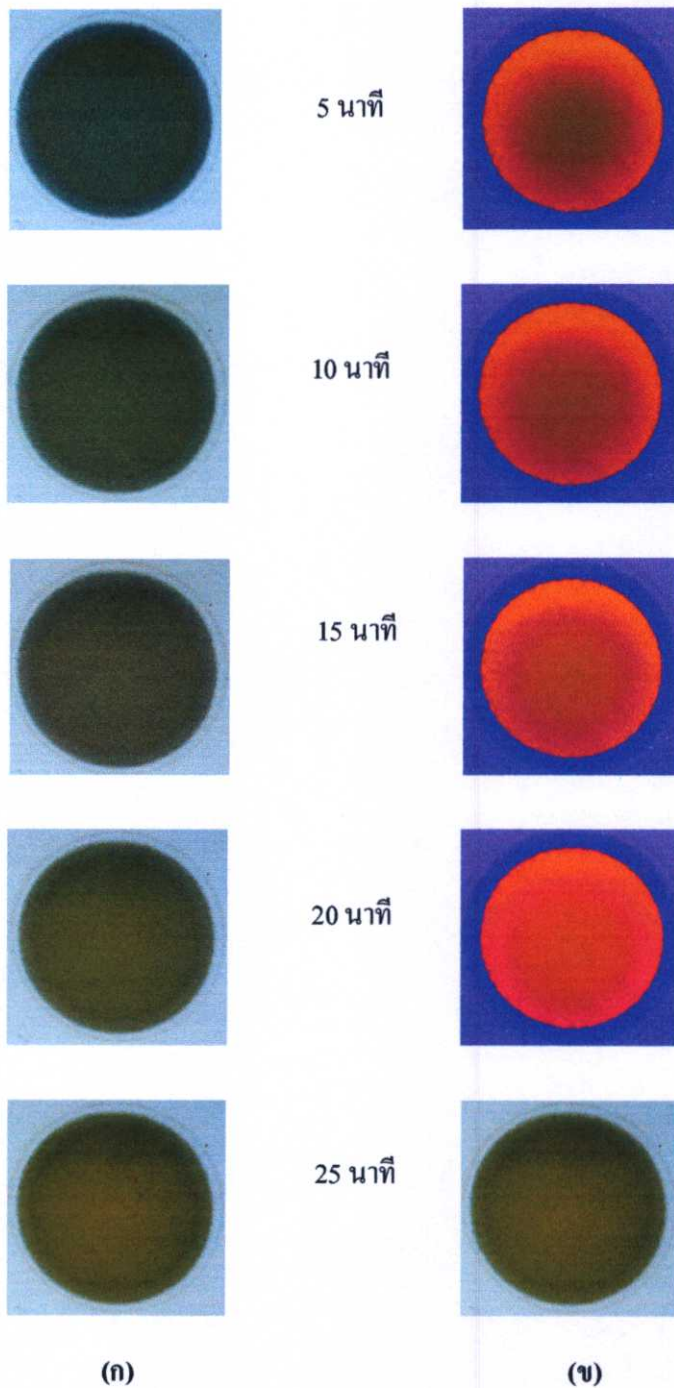
เวลาในการแอโนไดซ์เซชัน (min)	เปอร์เซ็นต์ความพรุน
15	65.5
20	71.9
25	81.0



รูปที่ 5.21 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิติคอนกับเวลาในการแอโนไดซ์เซชัน

5.2.3 การศึกษาการเรืองแสงของชั้นพอร์สซิติคอนเมื่อทำการฉายแสงจากหลอดแบล็คไลท์

การทดลองนี้ทำการศึกษาการเรืองแสงชั้นพอร์สซิติคอน เนื่องจากผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการสร้างชั้นพอร์สซิติคอนด้วยวิธีการแอโนไดซ์เซชัน โดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลที่ 1:1 โดยปริมาตร ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm² เวลาในการแอโนไดซ์เซชัน 5 นาที ,10 นาที ,15 นาที ,20 นาที และ 25 นาที ตามลำดับได้ชั้นพอร์สซิติคอน แสดงดังรูปที่ 5.24



รูปที่ 5.22 ชั้นพอร์สซิลิคอนที่เวลาในการสร้างต่างๆ กัน

(ก) พื้นผิวของชั้นพอร์สซิลิคอน (ข) การเรืองแสงของชั้นพอร์สซิลิคอน

จากรูปที่ 5.22 (ก) สังเกตได้ว่าเมื่อใช้เวลามากขึ้นสีของชั้นพอร์สซิลิคอนจะมีการเปลี่ยนแปลงจากสีน้ำตาลดำไปเป็นสีน้ำตาลเข้มจนกระทั่งเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอ่อน และเมื่อสังเกตสมบัติการเรืองแสงของชั้นพอร์สซิลิคอน ด้วยการฉายแสงจากหลอดแบล็คไลท์ แสดงดังรูปที่ 5.22 (ข) สังเกตได้ว่าสีในการเรืองแสงของชั้นพอร์สซิลิคอนจะมีการเปลี่ยนแปลงจากสีส้ม

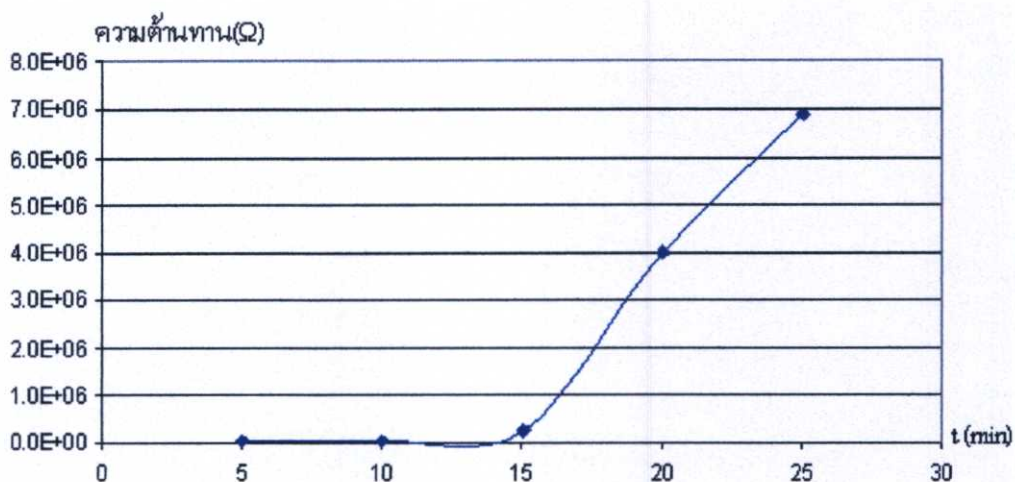
เข้มไปเป็นสีส้มอ่อน เนื่องจากการใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการกัดเพิ่มมากขึ้น โครงสร้างของชั้นพอร์ซซิลิคอนจึงถูกกัดเพิ่มมากขึ้นส่งผลทำให้ความพรุนของชั้นพอร์ซซิลิคอนมีเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นเมื่อมีการลดขนาดของโครงสร้างมากขึ้น ทำให้ค่าช่องว่างแถบพลังงานมีค่าเพิ่มขึ้น เมื่อทำการฉายแสงแบล็คไลท์แก่ชั้นพอร์ซซิลิคอน จะเห็นได้ว่าชั้นพอร์ซซิลิคอนจะมีการปลดปล่อยแสงเพิ่มมากขึ้นตามลำดับ

5.2.4 การศึกษาผลของความต้านทานของชั้นพอร์ซซิลิคอนต่อเวลาในการสร้างชั้นพอร์ซซิลิคอน

ศึกษาค่าความต้านทานของชั้นพอร์ซซิลิคอน เนื่องจากผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการสร้างชั้นพอร์ซซิลิคอนด้วยวิธีการแอนโนไดซ์เซชัน โดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลที่ 1:1 โดยความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 เวลาในการแอนโนไดซ์เซชัน 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 20 นาที และ 25 นาที ตามลำดับ โดยได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานของชั้นพอร์ซซิลิคอนกับความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าในการแอนโนไดซ์เซชันดังกราฟในรูปที่ 5.23

ตารางที่ 5.4 ตารางแสดงค่าความต้านทานในชั้นพอร์ซซิลิคอนที่ใช้เวลาในการแอนโนไดซ์เซชันในช่วง 5-25 นาที

เวลาในการแอนโนไดซ์เซชัน (min)	ความต้านทาน (โอห์ม)
5	2.85×10^4
10	5.71×10^4
15	2.50×10^5
20	3.99×10^6
25	6.89×10^6

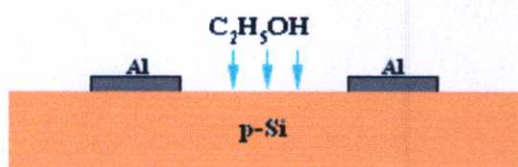


รูปที่ 5.23 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานของชั้นพอลิซิลิคอนกับเวลาในการ แอนโนไดซ์เซชัน

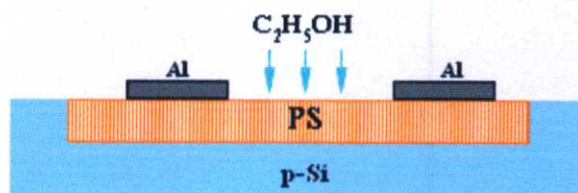
จากรูปที่ 5.23 พบว่าค่าความต้านทานของชั้นพอลิซิลิคอนมีค่าเพิ่มสูงขึ้น โดย สอดคล้องกับค่าความพรุนและความหนาของชั้นพอลิซิลิคอนที่เพิ่มขึ้นเช่นกัน เมื่อทำการเพิ่ม เวลาในการแอนโนไดซ์เซชัน

5.3 การทดลองเพื่อศึกษาผลของชั้นพอลิซิลิคอนในอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์

การทดลองนี้ศึกษาถึง การตอบสนองของกระแสไฟฟ้าต่อไอแอลกอฮอล์ โดยทำการ ทดลองด้วยชุดเครื่องมือในหัวข้อ 4.2.3 โดยทำการทดลองอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่มีชั้น พอลิซิลิคอนเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ที่ไม่มีชั้นพอลิซิลิคอน(รูปที่ 5.24) โดยสร้างอุปกรณ์ ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่ใช้ชั้นพอลิซิลิคอน ทำการสร้างด้วยอัตราส่วนสารละลายกรด ไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 1:1 โดยปริมาตร เวลา 5 นาที ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm² ทำการสร้างขั้วอะลูมิเนียมบนชั้นพอลิซิลิคอนขนาด 1000x5000 μm² โดยมีระยะห่าง ระหว่างขั้วที่ 500 μm แล้วทำการต่อขั้วเพื่อใช้ในการวัดลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้า (รูปที่ 5.25)



รูปที่ 5.24 ภาพอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่ไม่มีชั้นพอลิซิลิคอน

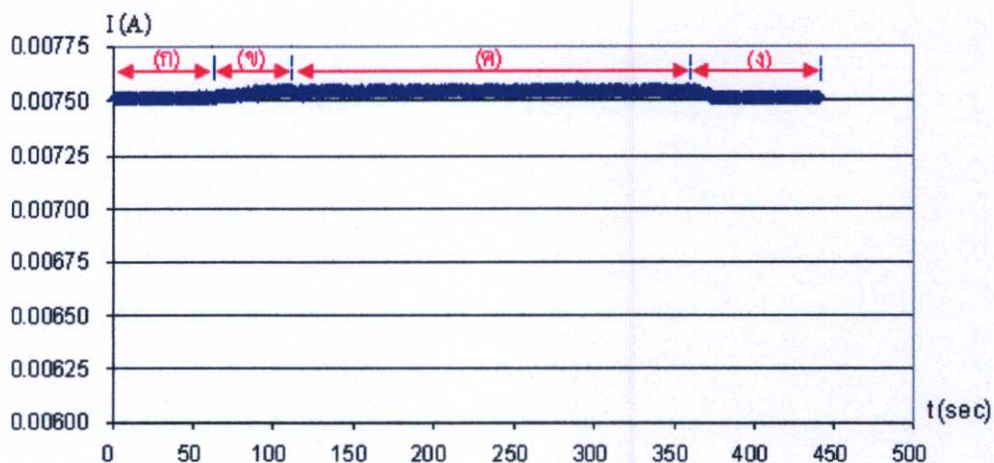


รูปที่ 5.25 ภาพอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่มีชั้นพอร์ซซิลิคอน

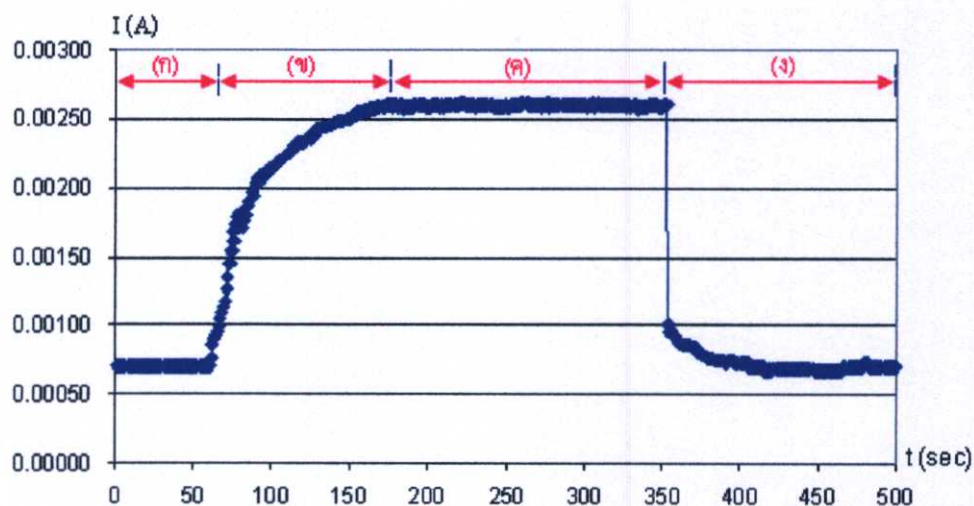
โดยในการทดลองศึกษาการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าในอุปกรณ์ตรวจจับต่อไอแอลกอฮอล์นั้น จะทำการป้อนแรงดันไฟฟ้าคงที่ 20 โวลต์ ให้แก่อุปกรณ์ตรวจจับเพื่อวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนไป โดยขั้นแรกให้ทำการเปิดก๊าซไนโตรเจนเวลา 60 วินาที ที่อัตราการไหล 1 l/min เพื่อเป็นการไล่ความชื้นออกจากอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ จากนั้นทำการเปิดไอแอลกอฮอล์ที่อัตราการไหล 1 l/min โดยใช้ก๊าซไนโตรเจนเป็นตัวพาไอแอลกอฮอล์ ในขั้นตอนนี้จะทำการเปิดไอแอลกอฮอล์เพื่อทำการวัดค่าการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ตรวจจับต่อไอแอลกอฮอล์เป็นเวลา 290 วินาที เมื่อปิดไอแอลกอฮอล์แล้วให้ทำการเปิดก๊าซไนโตรเจน 150 วินาที ที่อัตราการไหล 3 l/min เพื่อทำการไล่โมเลกุลของแอลกอฮอล์ที่ติดค้างอยู่ในอุปกรณ์ตรวจจับให้กลับสู่สภาพเดิม

ในทำการศึกษาถึงค่าการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ตรวจจับต่อไอแอลกอฮอล์นั้น จะทำการพิจารณา 4 ช่วงด้วยกันซึ่งสามารถอธิบายช่วงในการตรวจจับต่างๆ ได้ดังนี้

- กระแสไฟฟ้าช่วงก่อนเปิดไอแอลกอฮอล์ เป็นช่วงที่แสดงลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าระหว่างที่เปิดก๊าซไนโตรเจนเข้ามาในระบบ
- กระแสไฟฟ้าช่วงเปิดไอแอลกอฮอล์ เป็นช่วงที่ค่าการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ตรวจจับจะเพิ่มขึ้นตามลำดับ
- กระแสไฟฟ้าช่วงเกิดการอิ่มตัว ในช่วงนี้ค่าการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าในอุปกรณ์ตรวจจับจะคงที่ เนื่องจากการดูดซับไอแอลกอฮอล์ในอุปกรณ์ตรวจจับเกิดการอิ่มตัว
- กระแสไฟฟ้าช่วงการปิดไอแอลกอฮอล์ ในช่วงนี้จะทำการเปิดก๊าซไนโตรเจนเพื่อทำการไล่โมเลกุลของแอลกอฮอล์ที่ติดค้างในอุปกรณ์ตรวจจับ ซึ่งในช่วงนี้ค่าการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าในอุปกรณ์ตรวจจับจะลดลงเรื่อยๆ จะกลับสู่ค่ากระแสเริ่มต้นของอุปกรณ์ตรวจจับก่อนการตรวจจับไอแอลกอฮอล์



รูปที่ 5.26 ลักษณะการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าในการตอบสนองต่อการเปิด-ปิดโอแอลกอสอลล์
ของอุปกรณ์ตรวจจับที่ไม่มีชั้นพอร์สซิลิคอน



รูปที่ 5.27 ลักษณะการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าในการตอบสนองต่อการเปิด-ปิดโอแอลกอสอลล์
ของอุปกรณ์ตรวจจับที่มีชั้นพอร์สซิลิคอน

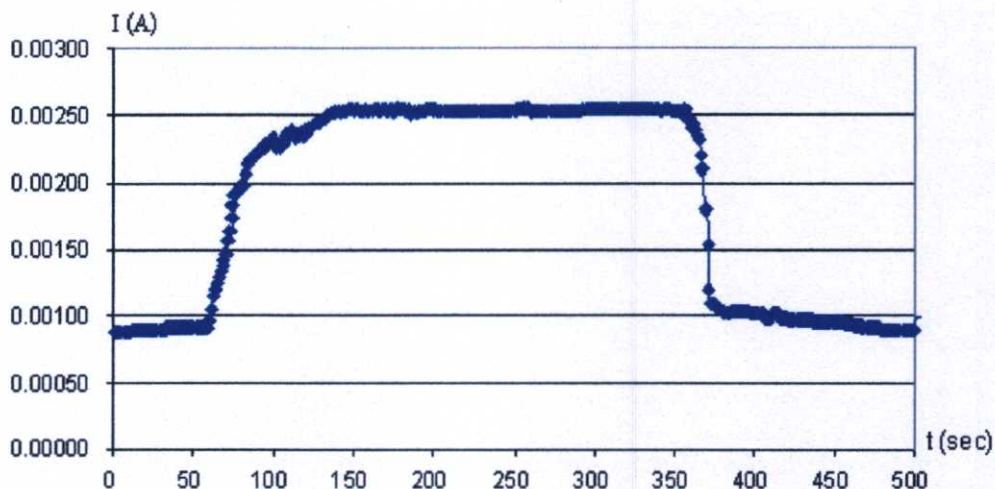
จากรูปที่ 5.27 พบว่าอุปกรณ์ที่มีชั้นพอร์สซิลิคอนมีการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าต่อการตรวจจับโอแอลกอสอลล์สูงกว่าในอุปกรณ์ตรวจจับที่ไม่มีชั้นพอร์สซิลิคอน โดยอุปกรณ์ตรวจจับที่ไม่มีชั้นพอร์สซิลิคอนในกราฟรูปที่ 5.26 นั้นพบอุปกรณ์ตรวจจับยังมีการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าต่อโอแอลกอสอลล์เล็กน้อย อันเนื่องมาจากการทดลองนี้ได้ใช้ชั้นพอร์สซิลิคอนที่ไม่ได้ทำการขัดผิวด้าน ดังนั้นผิวหน้าของชั้นพอร์สซิลิคอนจึงมีความขรุขระเล็กน้อยจึงมี

ความสามารถที่จะดูดซับไอแอลกอฮอล์ได้ แต่จะมีการดูดซับไอแอลกอฮอล์ได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้นซึ่งแสดงได้จากค่าการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าที่มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย โดยมีค่าการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าเพียง 5.39×10^{-5} A ซึ่งไม่เหมาะในการที่จะให้เป็นอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ แต่เมื่อทำการวัดค่าการตอบสนองของกระแสในอุปกรณ์ตรวจจับที่มีชั้นพอร์สซิลิคอน พบว่าอุปกรณ์ตรวจจับมีค่ากระแสไฟฟ้าอิมิต์ที่สูง โดยมีค่าอยู่ที่ประมาณ 2.5×10^{-3} A ซึ่งมีความเหมาะสมที่จะนำมาเป็นอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ นั้นเพราะว่าการที่มีค่าการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าที่สูงนั้นจะทำให้อุปกรณ์ตรวจจับไม่ไวต่อสัญญาณรบกวนภายนอก ทำให้อุปกรณ์ตรวจจับมีประสิทธิภาพในการตรวจวัดไอแอลกอฮอล์

5.3.1 การทดลองเพื่อศึกษาผลของความหนาแน่นของกระแสในการแอโนไดซ์เซชันต่ออุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์

การทดลองนี้ศึกษาถึง ผลของเวลาในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการแอโนไดซ์เซชัน โดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 1:1 โดยปริมาตร เวลา 10 นาที ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ 5 mA/cm^2 , 10 mA/cm^2 , 15 mA/cm^2 , 20 mA/cm^2 และ 25 mA/cm^2 ตามลำดับ แล้วทำการต่อขั้วเพื่อทำการวัดค่าการตอบสนองของกระแสที่เปลี่ยนแปลงไปต่อไอแอลกอฮอล์ โดยขั้นแรกให้ทำการเปิดก๊าซไนโตรเจนเวลา 60 วินาที ที่อัตราการไหล 1 l/min เพื่อเป็นการไล่ความชื้นออกจากอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ จากนั้นทำการเปิดไอแอลกอฮอล์ที่อัตราการไหล 1 l/min โดยใช้ก๊าซไนโตรเจนเป็นตัวพาไอแอลกอฮอล์ ในขั้นตอนนี้จะทำการเปิดไอแอลกอฮอล์เพื่อทำการวัดค่าการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ตรวจจับต่อไอแอลกอฮอล์เป็นเวลา 290 วินาที เมื่อปิดไอแอลกอฮอล์แล้วให้ทำการเปิดก๊าซไนโตรเจน 150 วินาที ที่อัตราการไหล 3 l/min เพื่อทำการไล่โมเลกุลของแอลกอฮอล์ที่ตกค้างอยู่ในอุปกรณ์ตรวจจับให้กลับสู่สภาพเดิม

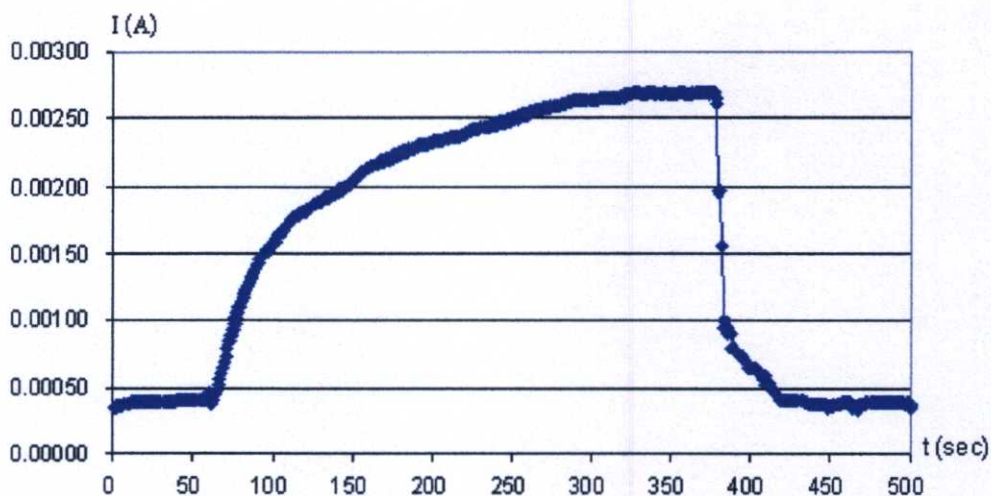
- อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ ที่สร้างชั้นพอร์สซิลิคอนโดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 1:1 โดยปริมาตร เวลาที่ 10 นาที ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 5 mA/cm^2 เมื่อนำมาศึกษาการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ตรวจจับต่อไอแอลกอฮอล์ สามารถแสดงดังกราฟในรูปที่ 5.28



รูปที่ 5.28 ลักษณะการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าในการตอบสนองต่อการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ตรวจจับที่ใช้ความหนาแน่นกระแสในการแอโนไดซ์เซชัน 5 mA/cm^2

จากรูปที่ 5.28 พบว่าอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่ใช้ความหนาแน่นกระแสในการแอโนไดซ์เซชัน 5 mA/cm^2 กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นขณะทำการเปิดก๊าซไนโตรเจน (1 l/min) อยู่ที่ประมาณ $8.9 \times 10^{-3} \text{ A}$ เมื่อทำการเปิดไอแอลกอฮอล์ (1 l/min) ประมาณ 74 วินาที กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นและเกิดการอิมิตัวที่ประมาณ $2.5 \times 10^{-3} \text{ A}$ หลังจากทำการปิดไอแอลกอฮอล์แล้ว ให้ทำการเปิดก๊าซไนโตรเจน (3 l/min) เพื่อทำการไล่โมเลกุลของแอลกอฮอล์ที่ตกค้างอยู่ในอุปกรณ์ตรวจจับเพื่อให้อุปกรณ์ตรวจจับกลับคืนสภาพเดิม

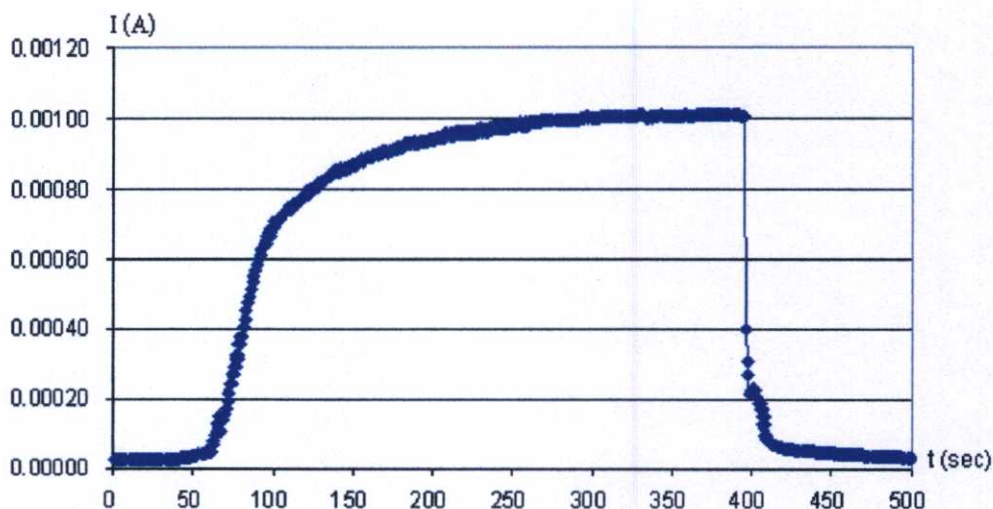
- อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ ที่สร้างชั้นพอร์ซซิลิคอนโดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 1:1 โดยปริมาตร เวลา 10 นาที ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 เมื่อนำมาศึกษาการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ตรวจจับต่อไอแอลกอฮอล์ สามารถแสดงดังกราฟในรูปที่ 5.29



รูปที่ 5.29 ลักษณะการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าในการตอบสนองต่อการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ตรวจจับที่ใช้ความหนาแน่นกระแสในการแอโนไดซ์เซชัน 10 mA/cm^2

จากรูปที่ 5.29 พบว่าอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่ใช้ความหนาแน่นกระแสในการแอโนไดซ์เซชัน 10 mA/cm^2 กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นขณะทำการเปิดก๊าซไนโตรเจน (1 l/min) อยู่ที่ประมาณ $3.5 \times 10^{-3} \text{ A}$ เมื่อทำการเปิดไอแอลกอฮอล์ (1 l/min) ประมาณ 265 วินาที กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นและเกิดการอิมิตซ์ที่ประมาณ $2.7 \times 10^{-3} \text{ A}$ หลังจากที่ทำการปิดไอแอลกอฮอล์แล้ว ให้ทำการเปิดก๊าซไนโตรเจน (3 l/min) เพื่อทำการไล่โมเลกุลของแอลกอฮอล์ที่ตกค้างอยู่ในอุปกรณ์ตรวจจับเพื่อให้อุปกรณ์ตรวจจับกลับคืนสภาพเดิม

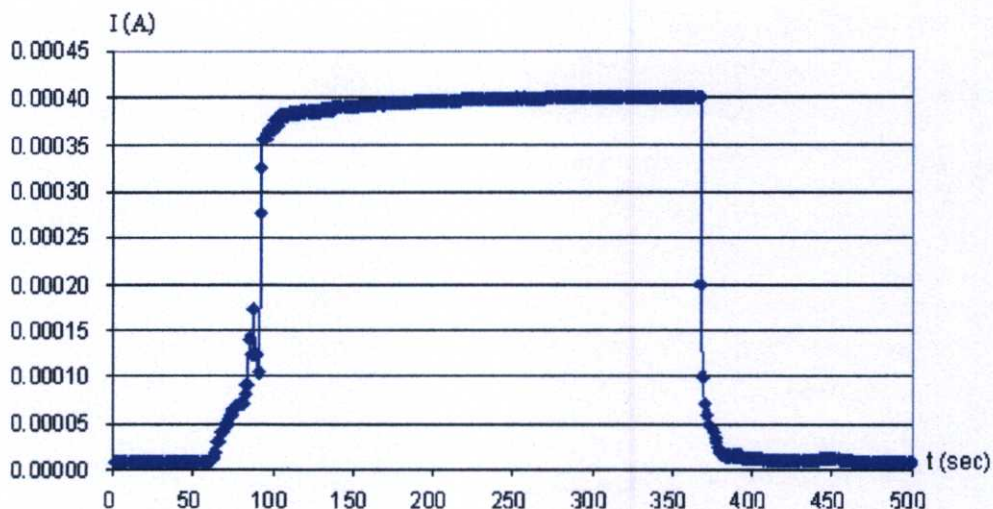
- อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ ที่สร้างชั้นพอร์สซิลิคอนโดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 1:1 โดยปริมาตร เวลา 10 นาที ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 15 mA/cm^2 เมื่อนำมาศึกษาการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ตรวจจับต่อไอแอลกอฮอล์ สามารถแสดงดังกราฟในรูปที่ 5.30



รูปที่ 5.30 ลักษณะการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าในการตอบสนองต่อการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ตรวจจับที่ใช้ความหนาแน่นกระแสในการแอโนไดซ์เซชัน 15 mA/cm^2

จากรูปที่ 5.30 พบว่าอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่ใช้ความหนาแน่นกระแสในการแอโนไดซ์เซชัน 15 mA/cm^2 กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นขณะทำการเปิดก๊าซไนโตรเจน (1 l/min) อยู่ที่ประมาณ $2.07 \times 10^{-4} \text{ A}$ เมื่อทำการเปิดไอแอลกอฮอล์ (1 l/min) ประมาณ 235 วินาที กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นและเกิดการอิมิตัวที่ประมาณ $1.0 \times 10^{-3} \text{ A}$ หลังจากทำการปิดไอแอลกอฮอล์แล้ว ให้ทำการเปิดก๊าซไนโตรเจน (3 l/min) เพื่อทำการไล่โมเลกุลของแอลกอฮอล์ที่ตกค้างอยู่ในอุปกรณ์ตรวจจับเพื่อให้อุปกรณ์ตรวจจับกลับคืนสภาพเดิม

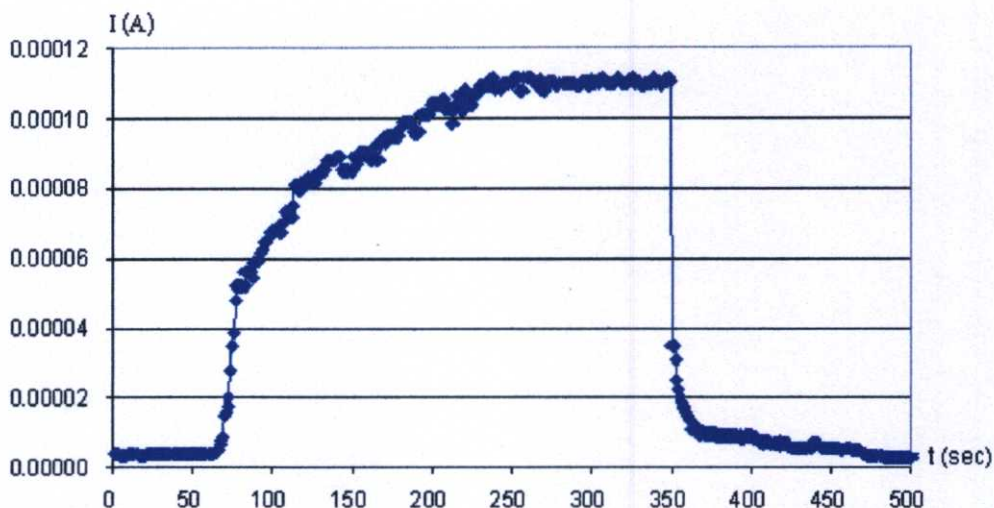
- อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ ที่สร้างชั้นพอร์สซิลิคอนโดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 1:1 โดยปริมาตร เวลา 10 นาที ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 20 mA/cm^2 เมื่อนำมาศึกษาการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ตรวจจับต่อไอแอลกอฮอล์ สามารถแสดงดังกราฟในรูปที่ 5.31



รูปที่ 5.31 ลักษณะการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าในการตอบสนองต่อการเปิด-ปิดไอแอลกอสอลล์ของอุปกรณ์ตรวจจับที่ใช้ความหนาแน่นกระแสในการแอโนโดซ์เซชัน 20 mA/cm^2

จากรูปที่ 5.31 พบว่าอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอสอลล์ที่ใช้ความหนาแน่นกระแสในการแอโนโดซ์เซชัน 20 mA/cm^2 กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นขณะทำการเปิดก๊าซไนโตรเจน (1 l/min) อยู่ที่ประมาณ $9.28 \times 10^{-6} \text{ A}$ เมื่อทำการเปิดไอแอลกอสอลล์ (1 l/min) ประมาณ 140 วินาที กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นและเกิดการอิมพัลส์ที่ประมาณ $4.0 \times 10^{-4} \text{ A}$ หลังจากทำการปิดไอแอลกอสอลล์แล้วให้ทำการเปิดก๊าซไนโตรเจน (3 l/min) เพื่อทำการไล่โมเลกุลของแอลกอสอลล์ที่ตกค้างอยู่ในอุปกรณ์ตรวจจับเพื่อให้อุปกรณ์ตรวจจับกลับคืนสภาพเดิม

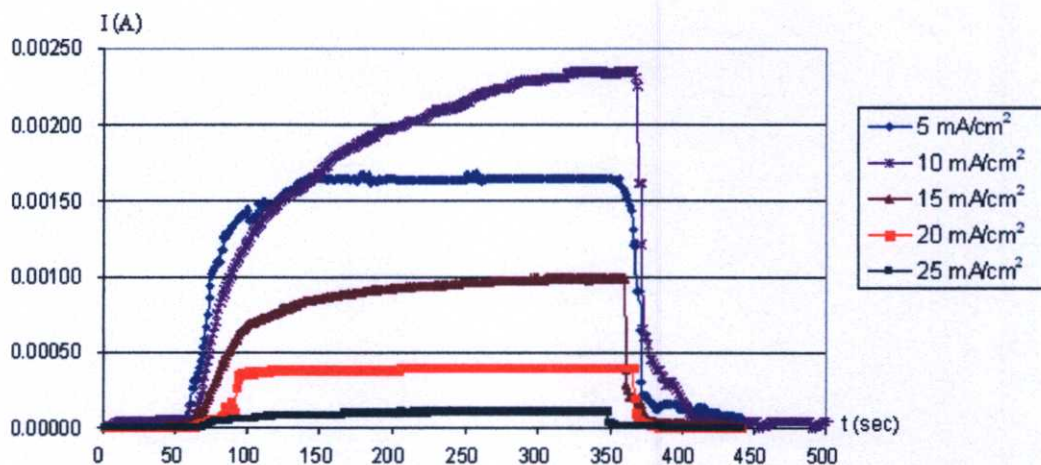
- อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอสอลล์ ที่สร้างชั้นพอร์ซซิลิคอนโดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 1:1 โดยปริมาตร เวลา 10 นาที ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 25 mA/cm^2 เมื่อนำมาศึกษาการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ตรวจจับต่อไอแอลกอสอลล์ สามารถแสดงดังกราฟในรูปที่ 5.32



รูปที่ 5.32 ลักษณะการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าในการตอบสนองต่อการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ตรวจจับที่ใช้ความหนาแน่นกระแสในการแอโนไดซ์เซชัน 25 mA/cm^2

จากรูปที่ 5.32 พบว่าอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่ใช้ความหนาแน่นกระแสในการแอโนไดซ์เซชัน 25 mA/cm^2 กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นขณะทำการเปิดก๊าซไนโตรเจน (1 l/min) อยู่ที่ประมาณ $3.84 \times 10^{-6} \text{ A}$ เมื่อทำการเปิดไอแอลกอฮอล์ (1 l/min) ประมาณ 190 วินาที กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นและเกิดการอิมิตัวที่ประมาณ $1.1 \times 10^{-4} \text{ A}$ หลังจากทำการปิดไอแอลกอฮอล์แล้วให้ทำการเปิดก๊าซไนโตรเจน (3 l/min) เพื่อทำการไล่โมเลกุลของแอลกอฮอล์ที่ตกค้างอยู่ในอุปกรณ์ตรวจจับเพื่อให้อุปกรณ์ตรวจจับกลับคืนสภาพเดิม

ทำการเปรียบเทียบค่าการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าต่อการเปิด-ปิด ไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ โดยใช้เวลาในการสร้าง 10 นาที ความหนาแน่นกระแสในการแอโนไดซ์เซชันที่ 5 mA/cm^2 , 10 mA/cm^2 , 15 mA/cm^2 , 20 mA/cm^2 และ 25 mA/cm^2 ตามลำดับ ในการเปรียบเทียบค่าการตอบสนองของกระแสนี้จะทำการปรับกราฟค่าการตอบสนองของกระแสเริ่มต้นอยู่ที่ 0 A เพื่อทำการเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าอิมิตัวของแต่ละเงื่อนไขดังแสดงในกราฟรูปที่ 5.33



รูปที่ 5.33 ลักษณะการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าในการตอบสนองต่อการเปิด-ปิดไอ

แอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ตรวจจับที่ใช้ความหนาแน่นกระแสในการแอนโนไดซ์เซชันค่าต่างๆ กัน ที่ระดับอ้างอิงเดียวกัน

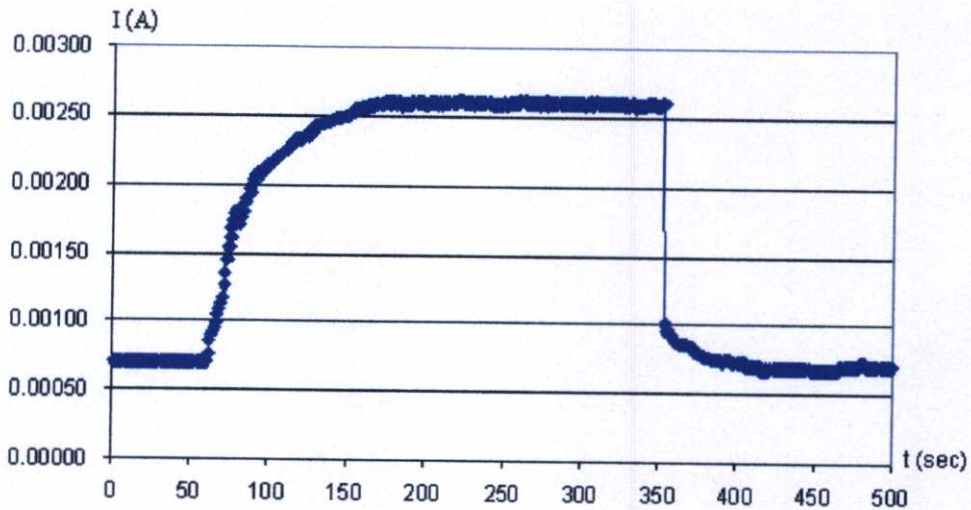
จากกราฟรูปที่ 5.33 พบว่าอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่ใช้ความหนาแน่นของกระแสในการสร้างที่ 10 mA/cm^2 มีปริมาณกระแสไฟฟ้าที่วัดได้เมื่อเปิดไอแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้นจากกระแสไฟฟ้าขณะปิดไอแอลกอฮอล์สูงสุด โดยวัดการเพิ่มขึ้นของกระแสไฟฟ้าได้ประมาณ $2.35 \times 10^{-3} \text{ A}$ ซึ่งถือเป็นค่าการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าที่สูง รองลงมาคืออุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่สร้างด้วยความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ 5 mA/cm^2 , 15 mA/cm^2 , 20 mA/cm^2 และ 25 mA/cm^2 ตามลำดับ จากผลการทดลองนี้พบว่า การตอบสนองของกระแสไฟฟ้าจะเริ่มลดลงตามลำดับเมื่อเพิ่มค่ากระแสในการแอนโนไดซ์เซชันตั้งแต่ $15\text{-}25 \text{ mA/cm}^2$ เนื่องจากโครงสร้างมีความพรุนเพิ่มขึ้นและความหนาเพิ่มขึ้น ทำให้ยากต่อการการดูดซับไอแอลกอฮอล์มีผลให้เกิดสถานะผิวเกิดยากขึ้นตามลำดับ จึงทำให้การตอบสนองของกระแสไฟฟ้าลดลง

5.3.2 การทดลองเพื่อศึกษาผลของเวลาในการแอนโนไดซ์เซชันต่ออุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์

การทดลองนี้ศึกษาถึง ผลของเวลาในการสร้างชั้นพอร์ซซิลิคอนด้วยวิธีการแอนโนไดซ์เซชัน โดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 1:1 โดยปริมาตร ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 เวลา 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 20 นาที และ 25 นาที ตามลำดับ แล้วทำการต่อขั้วเพื่อทำการวัดค่าการตอบสนองของกระแสที่เปลี่ยนแปลงไปต่อไอแอลกอฮอล์ โดยขั้นแรกให้ทำการเปิดก๊าซไนโตรเจนเวลา 60 วินาที ที่อัตราการไหล 1 l/min เพื่อเป็นการไล่ความชื้นออกจากอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ จากนั้นทำการเปิดไอแอลกอฮอล์ที่

อัตราการไหล 1 l/min โดยใช้ก๊าซไนโตรเจนเป็นตัวพาไอแอลกอฮอล์ ในขั้นตอนนี้จะทำการเปิดไอแอลกอฮอล์เพื่อทำการวัดค่าการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ตรวจจับต่อไอแอลกอฮอล์เป็นเวลา 290 วินาที เมื่อปิดไอแอลกอฮอล์แล้วให้ทำการเปิดก๊าซไนโตรเจน 150 วินาที ที่อัตราการไหล 3 l/min เพื่อทำการไล่โมเลกุลของแอลกอฮอล์ที่ตกค้างอยู่ในอุปกรณ์ตรวจจับให้กลับสู่สภาพเดิม

- อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ ที่สร้างขึ้นพอร์สซิลิคอนโดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 1:1 โดยปริมาตร ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 เวลาที่ 5 นาที เมื่อนำมาศึกษาการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ตรวจจับต่อไอแอลกอฮอล์ สามารถแสดงดังกราฟในรูปที่ 5.34

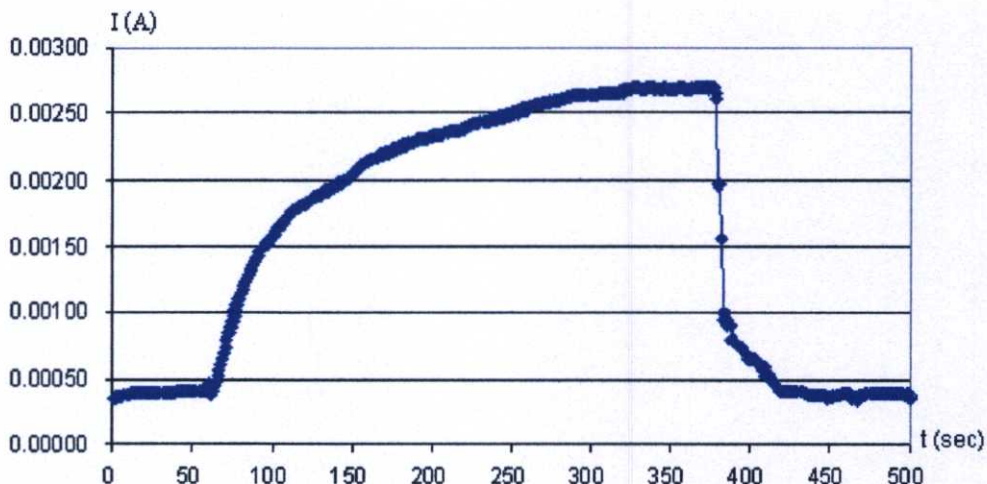


รูปที่ 5.34 ลักษณะการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าในการตอบสนองต่อการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ตรวจจับที่ใช้เวลาในการแอนโนไดซ์เซชัน 5 นาที

จากรูปที่ 5.34 พบว่าอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่เวลาในการแอนโนไดซ์เซชัน 5 นาที กระแสไฟฟ้าเริ่มคั่นขณะทำการเปิดก๊าซไนโตรเจน (1 l/min) อยู่ที่ประมาณ $7.0 \times 10^{-4} \text{ A}$ เมื่อทำการเปิดไอแอลกอฮอล์ (1 l/min) ประมาณ 110 วินาที กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นและเกิดการอิ่มตัวที่ประมาณ $2.6 \times 10^{-3} \text{ A}$ หลังจากที่ทำการปิดไอแอลกอฮอล์แล้ว ให้ทำการเปิดก๊าซไนโตรเจน (3 l/min) เพื่อทำการไล่โมเลกุลของแอลกอฮอล์ที่ตกค้างอยู่ในอุปกรณ์ตรวจจับเพื่อให้อุปกรณ์ตรวจจับกลับคืนสภาพเดิม

- อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ ที่สร้างขึ้นพอร์สซิลิคอนโดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 1:1 โดยปริมาตร ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2

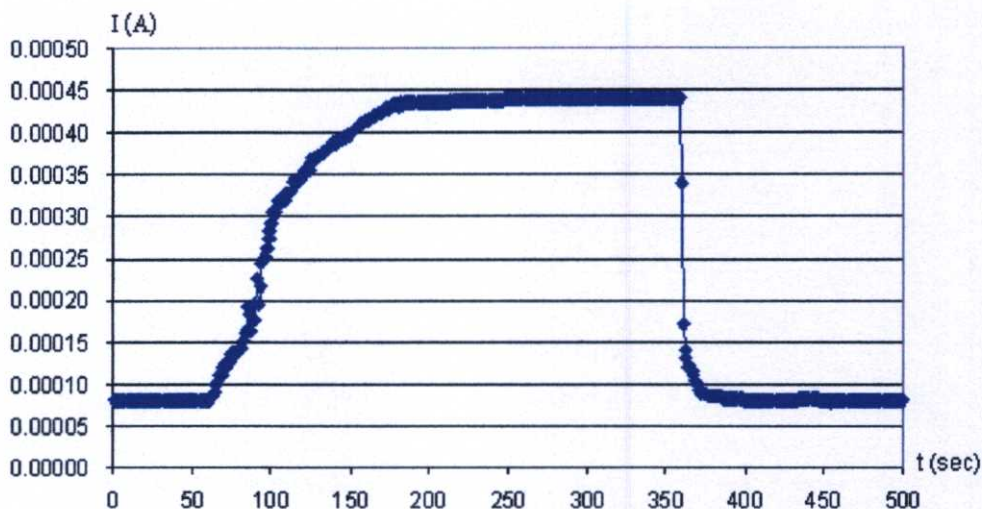
เวลา 10 นาที เมื่อนำมาศึกษาการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ สามารถแสดงดังกราฟในรูปที่ 5.35



รูปที่ 5.35 ลักษณะการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าในการตอบสนองต่อการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ตรวจจับที่ใช้เวลาในการแอโนไดซ์เซชัน 10 นาที

จากรูปที่ 5.35 พบว่าอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่ใช้เวลาในการแอโนไดซ์เซชัน 10 นาที กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นขณะทำการเปิดก๊าซไนโตรเจน (1 l/min) อยู่ที่ประมาณ 3.5×10^{-4} A เมื่อทำการเปิดไอแอลกอฮอล์ (1 l/min) ประมาณ 265 วินาที กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นและเกิดการอิมพัลส์ที่ประมาณ 2.7×10^{-3} A หลังจากทำการปิดไอแอลกอฮอล์แล้ว ให้ทำการเปิดก๊าซไนโตรเจน (3 l/min) เพื่อทำการไล่โมเลกุลของแอลกอฮอล์ที่ตกค้างอยู่ในอุปกรณ์ตรวจจับ เพื่อให้อุปกรณ์ตรวจจับกลับคืนสภาพเดิม

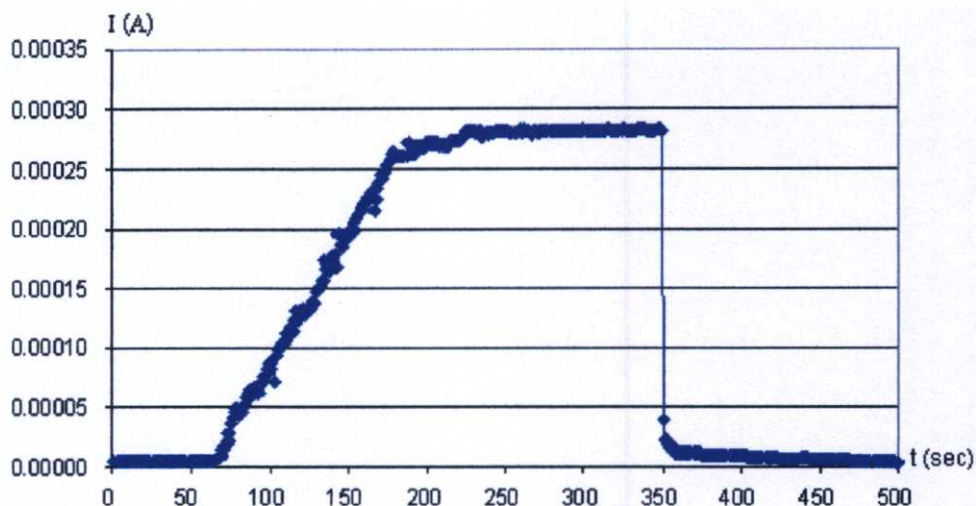
- อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ ที่สร้างขึ้นพอร์สซิลิคอนโดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 1:1 โดยปริมาตร ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm² เวลา 15 นาที เมื่อนำมาศึกษาการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ สามารถแสดงดังกราฟในรูปที่ 5.36



รูปที่ 5.36 ลักษณะการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าในการตอบสนองต่อการเปิด-ปิดไอแอลกอสอลล์ของอุปกรณ์ตรวจจับที่ใช้เวลาในการแอนโนไดซ์เซชัน 15 นาที

จากรูปที่ 5.36 พบว่าอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอสอลล์ที่เวลาในการแอนโนไดซ์เซชัน 15 นาที กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นขณะทำการเปิดก๊าซไนโตรเจน (1 l/min) อยู่ที่ประมาณ 8.11×10^{-5} A เมื่อทำการเปิดไอแอลกอสอลล์ (1 l/min) ประมาณ 190 วินาที กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นและเกิดการอิ่มตัวที่ประมาณ 4.36×10^{-4} A หลังจากทำการปิดไอแอลกอสอลล์แล้ว ให้ทำการเปิดก๊าซไนโตรเจน (3 l/min) เพื่อทำการไล่โมเลกุลของแอลกอสอลล์ที่ตกค้างอยู่ในอุปกรณ์ตรวจจับ เพื่อให้อุปกรณ์ตรวจจับกลับคืนสภาพเดิม

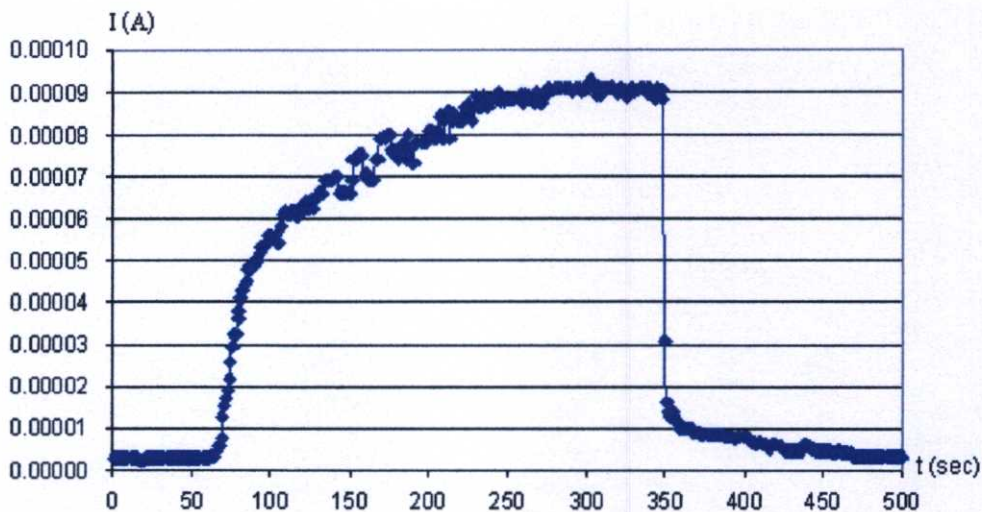
- อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอสอลล์ ที่สร้างชั้นพอร์สซิลิคอนโดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 1:1 โดยปริมาตร ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 เมื่อเวลา 20 นาที นำมาศึกษาการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ตรวจจับต่อไอแอลกอสอลล์ สามารถแสดงดังกราฟในรูปที่ 5.37



รูปที่ 5.37 ลักษณะการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าในการตอบสนองต่อการเปิด-ปิดไอแอลกอสอลล์ของอุปกรณ์ตรวจจับที่ใช้เวลาในการแอนโนไดซ์เซชัน 20 นาที

จากรูปที่ 5.37 พบว่าอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอสอลล์ที่ใช้เวลาในการแอนโนไดซ์เซชัน 20 นาที กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นขณะทำการเปิดก๊าซไนโตรเจน (1 l/min) อยู่ที่ประมาณ $5.01 \times 10^{-6} \text{ A}$ เมื่อทำการเปิดไอแอลกอสอลล์ (1 l/min) ประมาณ 160 วินาที กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นและเกิดการอิ่มตัวที่ประมาณ $2.81 \times 10^{-4} \text{ A}$ หลังจากทำการปิดไอแอลกอสอลล์แล้วให้ทำการเปิดก๊าซไนโตรเจน (3 l/min) เพื่อทำการไล่โมเลกุลของแอลกอสอลล์ที่ตกค้างอยู่ในอุปกรณ์ตรวจจับเพื่อให้อุปกรณ์ตรวจจับกลับคืนสภาพเดิม

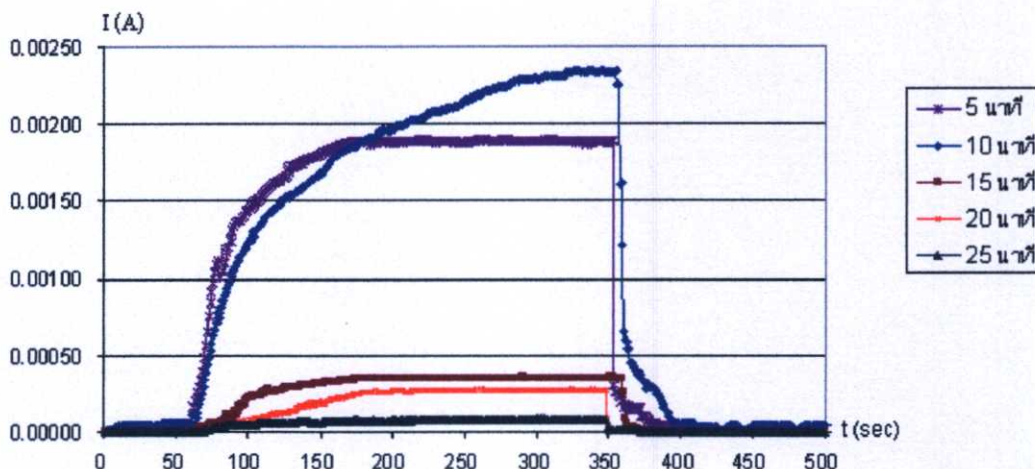
- อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอสอลล์ ที่สร้างชั้นพอร์สซิลิคอนโดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 1:1 โดยปริมาตร ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 เวลา 25 นาที เมื่อนำมาศึกษาการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ตรวจจับต่อไอแอลกอสอลล์ สามารถแสดงดังกราฟในรูปที่ 5.38



รูปที่ 5.38 ลักษณะการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าในการตอบสนองต่อการเปิด-ปิดไอแอลกอสอลล์ของอุปกรณ์ตรวจจับที่ใช้เวลาในการแอนโนไดซ์เซชัน 25 นาที

จากรูปที่ 5.38 พบว่าอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอสอลล์ที่ใช้เวลาในการแอนโนไดซ์เซชัน 25 นาที กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นขณะทำการเปิดก๊าซไนโตรเจน (1 l/min) อยู่ที่ประมาณ 2.9×10^{-6} A เมื่อทำการเปิดไอแอลกอสอลล์ (1 l/min) ประมาณ 205 วินาที กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นและเกิดการอิมพัลส์ที่ประมาณ 9.1×10^{-5} A หลังจากทำการปิดไอแอลกอสอลล์แล้วให้ทำการเปิดก๊าซไนโตรเจน (3 l/min) เพื่อทำการได้โมเลกุลของแอลกอสอลล์ที่ตกค้างอยู่ในอุปกรณ์ตรวจจับเพื่อให้อุปกรณ์ตรวจจับกลับคืนสภาพเดิม

ทำการเปรียบเทียบค่าการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าต่อการเปิด-ปิด ไอแอลกอสอลล์ของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอสอลล์ โดยใช้ ความหนาแน่นกระแสในการแอนโนไดซ์เซชันที่ 10 mA/cm² ใช้เวลา 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 20 นาที และ 25 นาทีตามลำดับ ในการเปรียบเทียบค่าการตอบสนองของกระแสนี้จะทำการปรับกราฟค่าการตอบสนองของกระแสเริ่มต้นอยู่ที่ 0 A เพื่อทำการเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าอิมพัลส์ของแต่ละเงื่อนไขดังแสดงในกราฟรูปที่ 5.39



รูปที่ 5.39 ลักษณะการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าในการตอบสนองต่อการเปิด-ปิดไอ

แอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ตรวจจับที่ใช้เวลาในการแอนโนไดซ์เซชันค่าต่างๆ กัน ที่ระดับอ้างอิงเดียวกัน

จากกราฟรูปที่ 5.39 พบว่าอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่ใช้เวลาในการสร้างที่ 10 นาที มีปริมาณกระแสไฟฟ้าที่วัดได้เมื่อเปิดไอแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้นจากกระแสไฟฟ้าขณะปิดไอแอลกอฮอล์สูงสุด โดยวัดการเพิ่มขึ้นของกระแสไฟฟ้าได้ประมาณ 2.35×10^{-3} A รองลงมาคืออุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่สร้างด้วยเวลาในการแอนโนไดซ์เซชันที่ 5 นาที, 15 นาที, 20 นาที และ 25 นาที ตามลำดับ จากผลการทดลองนี้พบว่าการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าจะเริ่มลดลงตามลำดับเมื่อเพิ่มเวลาในการกักตั้งตั้งแต่ 15-25 นาที เนื่องจากโครงสร้างมีความพรุนเพิ่มขึ้นและความหนาเพิ่มขึ้น ทำให้ยากต่อการการดูดซับไอแอลกอฮอล์มีผลให้เกิดสถานะผิวเกิดยากขึ้นตามลำดับ จึงทำให้การตอบสนองของกระแสไฟฟ้าลดลง

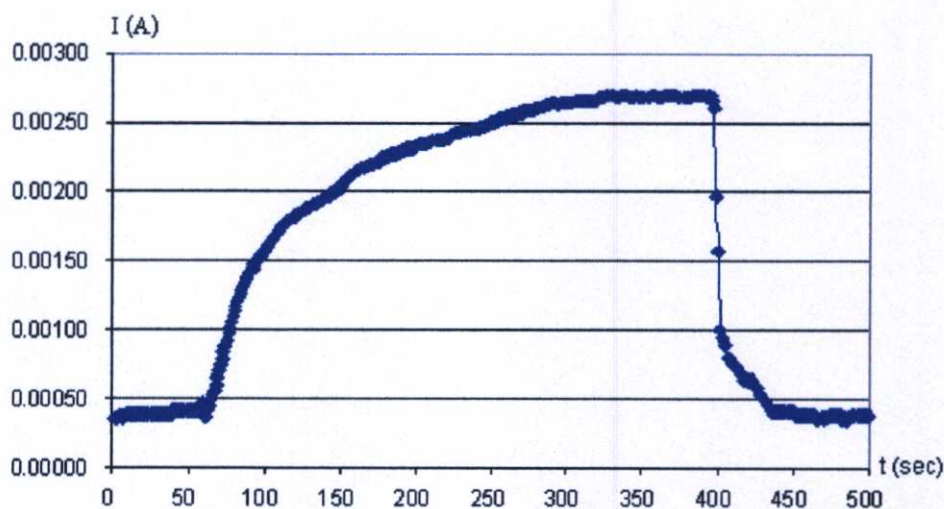
5.4 การทดลองเพื่อศึกษาระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์สซิลิกอน

การทดลองนี้ศึกษาถึง การตอบสนองของกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไปในอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่ระยะห่างระหว่างขั้วแตกต่างกันต่อไอแอลกอฮอล์ ซึ่งในการทดลองนี้ได้ทำการสร้างขั้วอะลูมิเนียมบนชั้นพอร์สซิลิกอน โดยมีขนาดของขั้วอะลูมิเนียมที่ขนาด $1000 \times 5000 \mu\text{m}^2$ โดยทำการศึกษาระยะห่างระหว่างขั้วอะลูมิเนียมที่ $500 \mu\text{m}$, $1000 \mu\text{m}$, $1500 \mu\text{m}$, $2000 \mu\text{m}$ และ $2500 \mu\text{m}$ ตามลำดับ โดยทำการสร้างขั้วอะลูมิเนียมบนชั้นพอร์สซิลิกอนที่สร้างด้วยวิธีการแอนโนไดซ์เซชัน อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 1:1 โดยปริมาตร เวลา 10 นาที ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่เหมาะสมในการสร้างชั้นพอร์สซิลิกอน

โดยในการทดลองศึกษาการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าในอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์นั้น จะทำการป้อนแรงดันไฟฟ้าคงที่ 20 โวลต์ ให้แก่อุปกรณ์ตรวจจับเพื่อวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนไป โดยขั้นแรกให้ทำการเปิดก๊าซในโตรเจนเวลา 60 วินาที ที่อัตราการไหล 1 l/min เพื่อเป็นการไล่ความชื้นออกจากอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ จากนั้นทำการเปิดไอแอลกอฮอล์ที่อัตราการไหล 1 l/min โดยใช้ก๊าซในโตรเจนเป็นตัวพาไอแอลกอฮอล์ ในขั้นตอนนี้จะทำการเปิดไอแอลกอฮอล์เพื่อทำการวัดค่าการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์เป็นเวลา 360 วินาที เมื่อปิดไอแอลกอฮอล์แล้วให้ทำการเปิดก๊าซในโตรเจน 100 วินาที ที่อัตราการไหล 3 l/min เพื่อทำการไล่โมเลกุลของแอลกอฮอล์ที่ตกค้างอยู่ในอุปกรณ์ตรวจจับให้กลับสู่สภาพเดิม

5.4.1 การทดลองศึกษาผลของระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าต่อค่าการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าในอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์

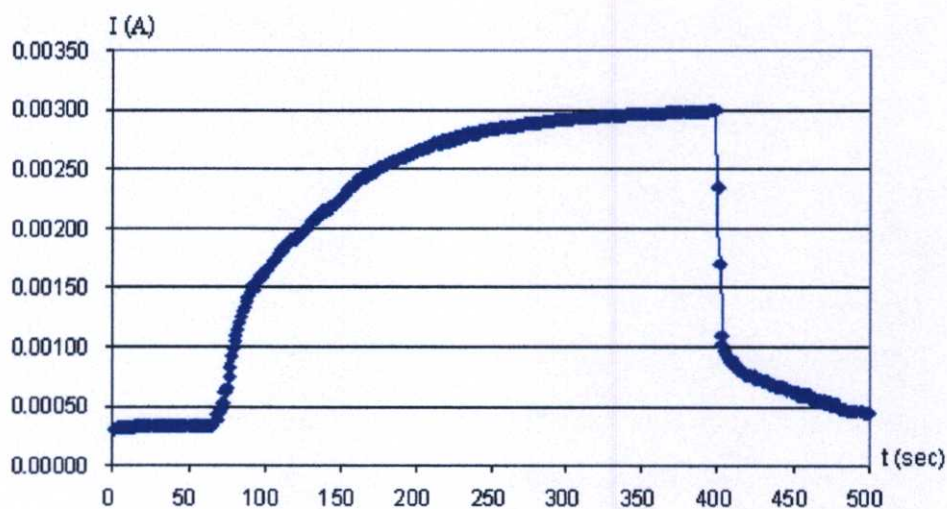
- อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ ที่สร้างชั้นพอร์สซิลิคอนโดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 1:1 โดยปริมาตร ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm² เวลา 10 นาที ทำการสร้างขั้วอะลูมิเนียมบนชั้นพอร์สซิลิคอนขนาด 1000x5000 μm^2 โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วที่ 500 μm เมื่อนำมาศึกษาการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ สามารถแสดงดังกราฟในรูปที่ 5.40



รูปที่ 5.40 ลักษณะการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าในการตอบสนองต่อการเปิด-ปิด ไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ตรวจจับที่มีระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่ 500 μm

จากรูปที่ 5.40 พบว่าอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่มีระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่ 500 μm กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นขณะทำการเปิดก๊าซไนโตรเจน (1 l/min) อยู่ที่ประมาณ $3.5 \times 10^{-4} \text{ A}$ เมื่อทำการเปิดไอแอลกอฮอล์ (1 l/min) ประมาณ 265 วินาที กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นและเกิดการอิมพัลส์ที่ประมาณ $2.7 \times 10^{-3} \text{ A}$ หลังจากทำการปิดไอแอลกอฮอล์แล้ว ให้ทำการเปิดก๊าซไนโตรเจน (3 l/min) เพื่อทำการไล่โมเลกุลของแอลกอฮอล์ที่ตกค้างอยู่ในอุปกรณ์ตรวจจับเพื่อให้อุปกรณ์ตรวจจับกลับคืนสภาพเดิม

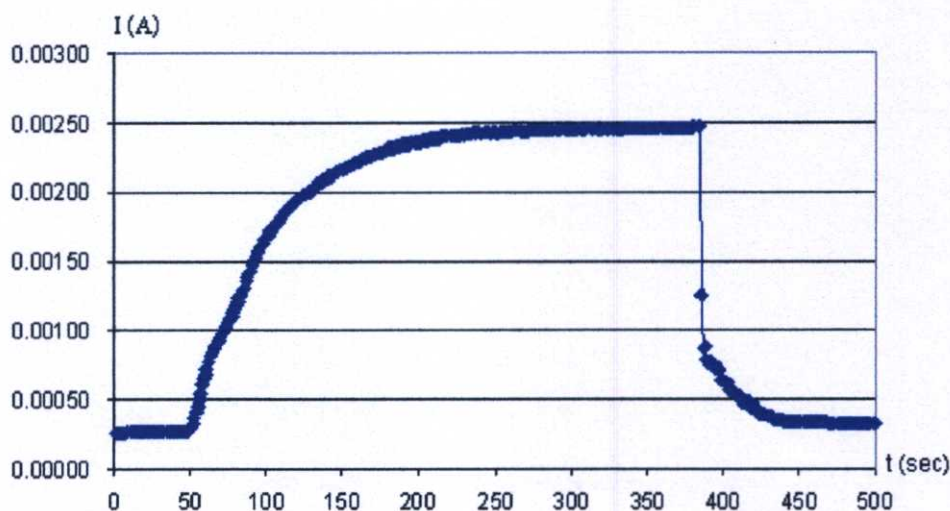
- อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ ที่สร้างขึ้นพอร์สซิลิคอนโดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 1:1 โดยปริมาตร ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 เวลา 10 นาที ทำการสร้างขั้วอะลูมิเนียมบนชั้นพอร์สซิลิคอนขนาด $1000 \times 5000 \mu\text{m}^2$ โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วที่ $1000 \mu\text{m}$ เมื่อนำมาศึกษาการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ตรวจจับต่อไอแอลกอฮอล์ สามารถแสดงดังกราฟในรูปที่ 5.41



รูปที่ 5.41 ลักษณะการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าในการตอบสนองต่อการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ตรวจจับที่มีระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่ $1000 \mu\text{m}$

จากรูปที่ 5.41 พบว่าอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่มีระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่ $1000 \mu\text{m}$ กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นขณะทำการเปิดก๊าซไนโตรเจน (1 l/min) อยู่ที่ประมาณ $3.02 \times 10^{-4} \text{ A}$ เมื่อทำการเปิดไอแอลกอฮอล์ (1 l/min) ประมาณ 250 วินาที กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นและเกิดการอิมพัลส์ที่ประมาณ $3.0 \times 10^{-3} \text{ A}$ หลังจากทำการปิดไอแอลกอฮอล์แล้ว ให้ทำการเปิดก๊าซไนโตรเจน (3 l/min) เพื่อทำการไล่โมเลกุลของแอลกอฮอล์ที่ตกค้างอยู่ในอุปกรณ์ตรวจจับเพื่อให้อุปกรณ์ตรวจจับกลับคืนสภาพเดิม

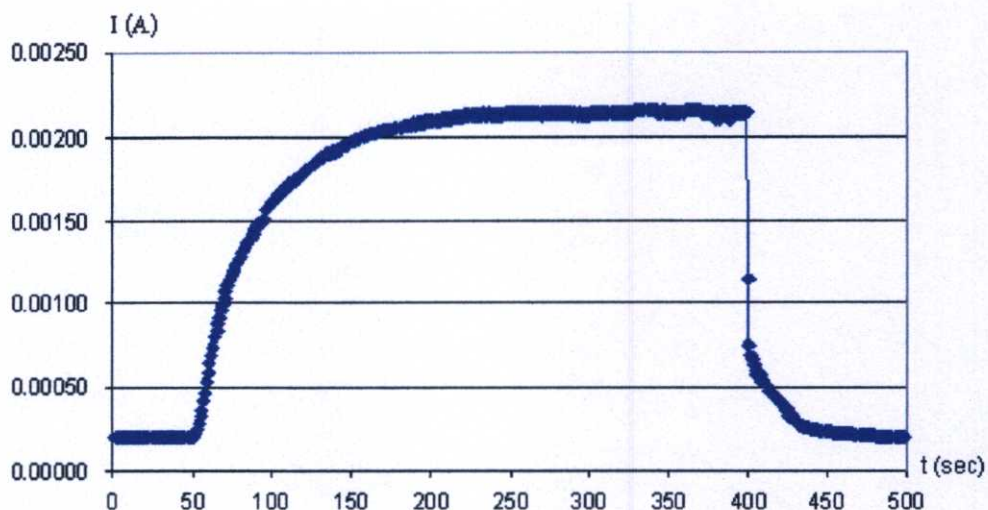
- อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ ที่สร้างชั้นพอร์ซซิลิคอนโดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 1:1 โดยปริมาตร ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 เวลา 10 นาที ทำการสร้างขั้วอะลูมิเนียมบนชั้นพอร์ซซิลิคอนขนาด $1000 \times 5000 \text{ }\mu\text{m}^2$ โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วที่ $1500 \text{ }\mu\text{m}$ เมื่อนำมาศึกษาการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ สามารถแสดงดังกราฟในรูปที่ 5.42



รูปที่ 5.42 ลักษณะการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าในการตอบสนองต่อการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ตรวจจับที่มีระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่ $1500 \text{ }\mu\text{m}$

จากรูปที่ 5.42 พบว่าอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่มีระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่ $1500 \text{ }\mu\text{m}$ กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นขณะทำการเปิดก๊าซไนโตรเจน (1 l/min) อยู่ที่ประมาณ $2.62 \times 10^{-4} \text{ A}$ เมื่อทำการเปิดไอแอลกอฮอล์ (1 l/min) ประมาณ 200 วินาที กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นและเกิดการอิ่มตัวที่ประมาณ $2.5 \times 10^{-3} \text{ A}$ หลังจากทำการปิดไอแอลกอฮอล์แล้วให้ทำการเปิดก๊าซไนโตรเจน (3 l/min) เพื่อทำการไล่โมเลกุลของแอลกอฮอล์ที่ตกค้างอยู่ในอุปกรณ์ตรวจจับเพื่อให้อุปกรณ์ตรวจจับกลับคืนสภาพเดิม

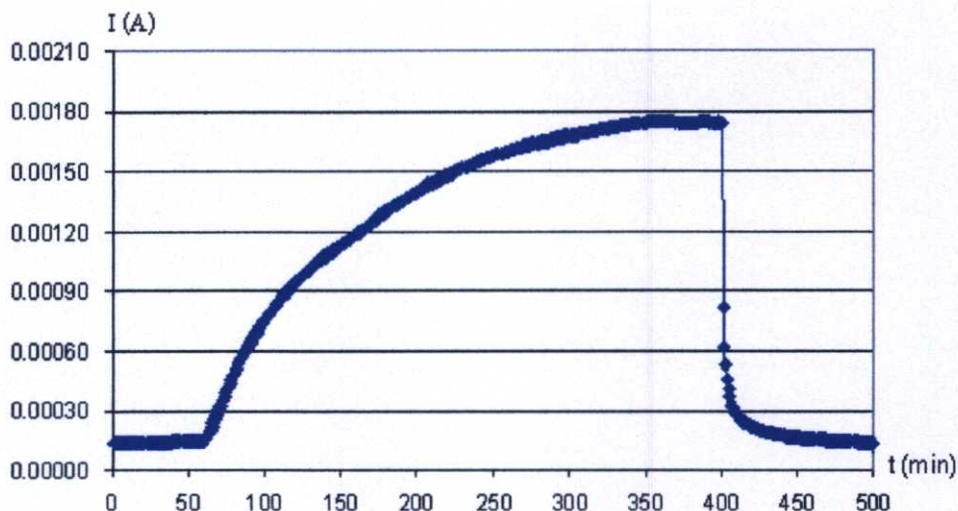
- อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ ที่สร้างชั้นพอร์ซซิลิคอนโดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 1:1 โดยปริมาตร ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 เวลา 10 นาที ทำการสร้างขั้วอะลูมิเนียมบนชั้นพอร์ซซิลิคอนขนาด $1000 \times 5000 \text{ }\mu\text{m}^2$ โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วที่ $2000 \text{ }\mu\text{m}$ เมื่อนำมาศึกษาการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ สามารถแสดงดังกราฟในรูปที่ 5.43



รูปที่ 5.43 ลักษณะการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าในการตอบสนองต่อการเปิด-ปิดไอแอลกอสอลล์ของอุปกรณ์ตรวจจับที่มีระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่ 2000 μm

จากรูปที่ 5.43 พบว่าอุปกรณ์ตรวจจับ ไอแอลกอสอลล์ที่มีระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่ 2000 μm กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นขณะทำการเปิดก๊าซไนโตรเจน (1 l/min) อยู่ที่ประมาณ $2.06 \times 10^{-4} \text{ A}$ เมื่อทำการเปิดไอแอลกอสอลล์ (1 l/min) ประมาณ 180 วินาที กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นและเกิดการอิ่มตัวที่ประมาณ $2.15 \times 10^{-3} \text{ A}$ หลังจากทำการปิดไอแอลกอสอลล์แล้วให้ทำการเปิดก๊าซไนโตรเจน (3 l/min) เพื่อทำการได้โมเลกุลของแอลกอสอลล์ที่ตกค้างอยู่ในอุปกรณ์ตรวจจับเพื่อให้อุปกรณ์ตรวจจับกลับคืนสภาพเดิม

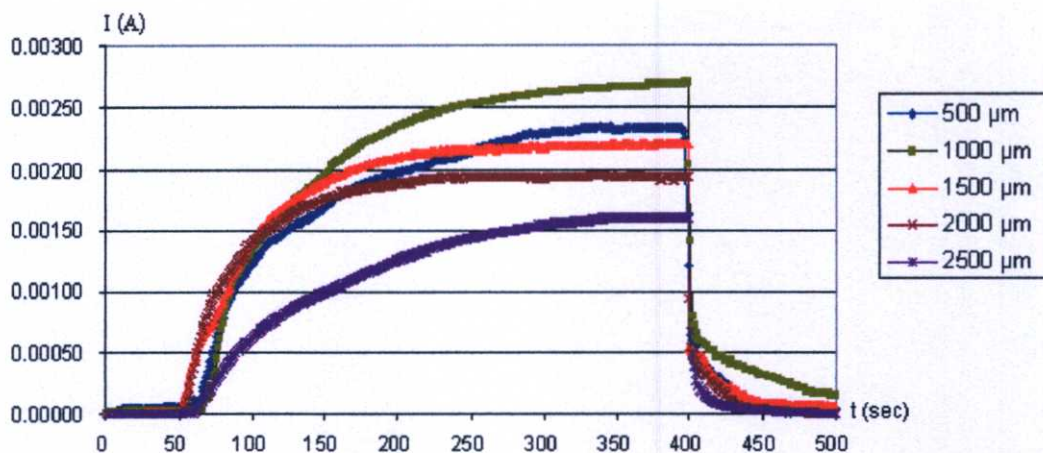
- อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอสอลล์ ที่สร้างชั้นพอร์สซิลิคอนโดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 1:1 โดยปริมาตร ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 เวลา 10 นาที ทำการสร้างขั้วอะลูมิเนียมบนชั้นพอร์สซิลิคอนขนาด $1000 \times 5000 \mu\text{m}^2$ โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วที่ $2500 \mu\text{m}$ เมื่อนำมาศึกษาการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ตรวจจับต่อไอแอลกอสอลล์ สามารถแสดงดังกราฟในรูปที่ 5.44



รูปที่ 5.44 ลักษณะการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าในการตอบสนองต่อการเปิด-ปิด ไอแอลกอสอลล์ของอุปกรณ์ตรวจจับที่มีระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่ $2500 \mu\text{m}$

จากรูปที่ 5.44 พบว่าอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอสอลล์ที่มีระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่ $2500 \mu\text{m}$ กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นขณะทำการเปิดก๊าซไนโตรเจน (1 l/min) อยู่ที่ประมาณ $1.39 \times 10^{-4} \text{ A}$ เมื่อทำการเปิดไอแอลกอสอลล์ (1 l/min) ประมาณ 290 วินาที กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นและเกิดการอิ่มตัวที่ประมาณ $1.75 \times 10^{-3} \text{ A}$ หลังจากทำการปิดไอแอลกอสอลล์แล้วให้ทำการเปิดก๊าซไนโตรเจน (3 l/min) เพื่อทำการไล่โมเลกุลของแอลกอสอลล์ที่ตกค้างอยู่ในอุปกรณ์ตรวจจับเพื่อให้อุปกรณ์ตรวจจับกลับคืนสภาพเดิม

ทำการเปรียบเทียบค่าการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าต่อการเปิด-ปิด ไอแอลกอสอลล์ของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอสอลล์ โดยใช้ ความหนาแน่นกระแสในการแอโนไดซ์เซชันที่ 10 mA/cm^2 ใช้เวลา 10 นาที โดยมีขนาดของขั้วอะลูมิเนียมที่ขนาด $1000 \times 5000 \mu\text{m}^2$ โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วอะลูมิเนียมที่ $500 \mu\text{m}$, $1000 \mu\text{m}$, $1500 \mu\text{m}$, $2000 \mu\text{m}$ และ $2500 \mu\text{m}$ ตามลำดับ ในการเปรียบเทียบค่าการตอบสนองของกระแสไฟฟ้านี้จะทำการปรับกราฟค่าการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าน้อยที่ 0 A เพื่อทำการเปรียบเทียบค่ากระแสไฟฟ้าอิ่มตัวของแต่ละเงื่อนไขดังแสดงในกราฟรูปที่ 5.45



รูปที่ 5.45 ลักษณะการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าในการตอบสนองต่อการเปิด-ปิดไอ

แอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ตรวจจับที่มีระยะห่างระหว่างขั้วค่าต่างๆ กัน ที่ระดับอ้างอิงเดียวกัน

จากกราฟรูปที่ 5.45 พบว่าอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่มีระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่ 1000 μm มีปริมาณกระแสไฟฟ้าที่วัดได้เมื่อเปิดไอแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้นจากกระแสไฟฟ้าขณะปิดไอแอลกอฮอล์สูงที่สุด โดยวัดการเพิ่มขึ้นของกระแสไฟฟ้าได้ประมาณ 2.7×10^{-3} A ซึ่งถือเป็นค่าการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าที่สูง รองลงมาคืออุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่มีระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่ 500 μm , 1500 μm , 2000 μm และ 2500 μm ตามลำดับ จากผลการทดลองนี้สามารถกล่าวได้ว่าอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่มีระยะห่างระหว่างขั้วที่ 1000 μm มีค่าการตอบสนองของกระแสต่อไอแอลกอฮอล์สูงที่สุดเหมาะที่จะได้นำมาพัฒนาต่อไป เพื่อนำมาใช้ในการอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์

5.5 การทดลองใช้ชั้นพอร์ซซิลิคอนเป็นอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์

การทดลองนี้เพื่อศึกษาถึงให้ทราบถึง ประสิทธิภาพความสามารถในการใช้งานของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่ได้ทำการสร้างขึ้น โดยทำการสร้างชั้นพอร์ซซิลิคอนด้วยวิธีการแอโนไดซ์เซชัน เวลา 10 นาที ที่ความหนาแน่นกระแส 10 mA/cm^2 มีการสร้างขั้วไฟฟ้าบนชั้นพอร์ซซิลิคอนที่ระยะห่างระหว่างขั้วที่ 1000 μm โดยจะได้ทำการศึกษาตามหัวข้อต่อไปนี้

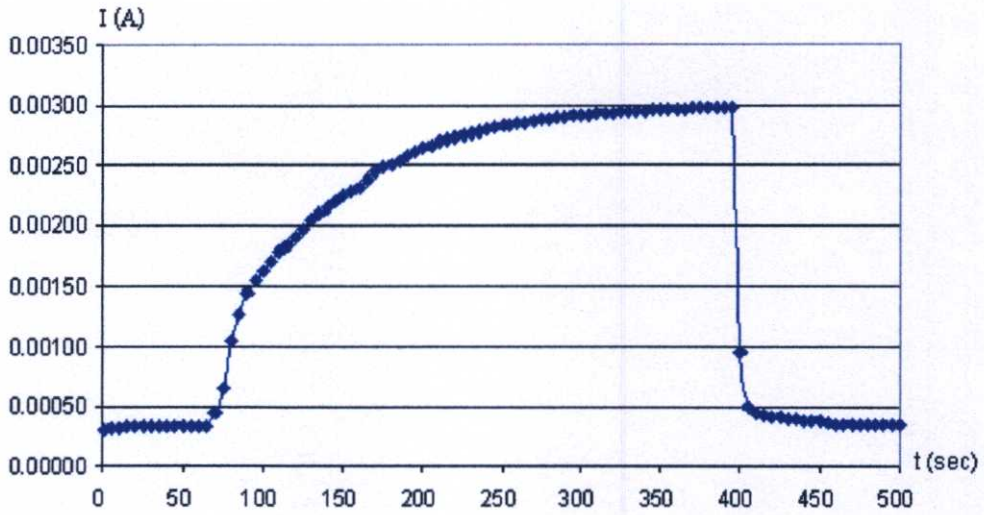
5.5.1 การทดลองเพื่อศึกษาผลของอัตราการไหลของไอแอลกอฮอล์ต่อเวลาในการตอบสนองของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์

การทดลองนี้ศึกษาถึง เวลาในการตอบสนองของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ เมื่อเริ่มทำการเปิดไอแอลกอฮอล์จะกระทั้งเกิดการอิมตัวของค่ากระแสไฟฟ้าที่วัดได้ โดยในการทดลอง

นี้จะทำการให้อัตราการไหลของไอแอลกอฮอล์เข้าสู่อุปกรณ์ตรวจจับแตกต่างกันที่ 1 l/min , 3 l/min , 5 l/min , 7 l/min และ 9 l/min ตามลำดับ เพื่อศึกษาระยะเวลาที่จะเกิดการอิมตัวของกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ตรวจจับเมื่อทำการเปิดไอแอลกอฮอล์ในอัตราการไหลที่แตกต่างกัน

โดยในการทดลองจะทำการวัดค่าการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าในอุปกรณ์ตรวจจับต่อไอแอลกอฮอล์นั้น จะทำการป้อนแรงดันไฟฟ้าคงที่ 20 โวลต์ ให้แก่อุปกรณ์ตรวจจับเพื่อวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนไป โดยขั้นแรกให้ทำการเปิดก๊าซไนโตรเจนเวลา 60 วินาที ที่อัตราการไหล 1 l/min เพื่อเป็นการไล่ความชื้นออกจากอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ จากนั้นทำการเปิดไอแอลกอฮอล์ที่อัตราการไหลค่าต่างๆ โดยใช้ก๊าซไนโตรเจนเป็นตัวพาไอแอลกอฮอล์ ในขั้นตอนนี้จะทำการเปิดไอแอลกอฮอล์เพื่อทำการวัดค่าการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ตรวจจับต่อไอแอลกอฮอล์เป็นเวลา 360 วินาที หลังจากที่ทำการปิดไอระเหยของแอลกอฮอล์แล้ว ให้ทำการนำอุปกรณ์ตรวจจับออกจากระบบวัดแล้วนำมาทิ้งไว้ในอากาศที่อุณหภูมิห้อง เพื่อโมเลกุลของแอลกอฮอล์ที่ตกค้างอยู่ในอุปกรณ์ตรวจจับระเหยออกจนกระทั่งกลับสู่สภาพเดิม ในการทดลองในหัวข้อนี้จะไม่ใช่ก๊าซไนโตรเจนเพื่อไล่โมเลกุลของแอลกอฮอล์ที่ตกค้างอยู่หลังทำการวัด เนื่องจากต้องการที่จะจำลองการทดลองให้เสมือนกับการใช้งานจริง

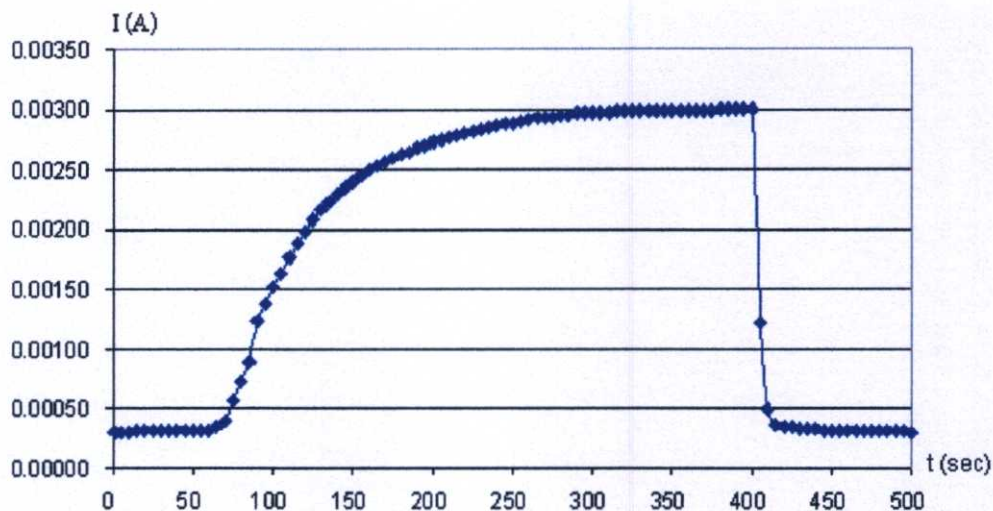
- อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ ที่สร้างชั้นพอร์สซิลิคอนโดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 1:1 โดยปริมาตร ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm² เวลา 10 นาที ทำการสร้างขั้วอะลูมิเนียมบนชั้นพอร์สซิลิคอนขนาด 1000x5000 μm² โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วที่ 1000 μm ใช้อัตราการไหลของไอแอลกอฮอล์ที่ 1 l/min โดยศึกษาระยะเวลาที่จะเกิดการอิมตัวของกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ตรวจจับเมื่อทำการเปิดไอแอลกอฮอล์ สามารถแสดงดังกราฟในรูปที่ 5.46



รูปที่ 5.46 ลักษณะการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าในการตอบสนองต่อการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ตรวจจับที่ใช้อัตราการไหลของไอแอลกอฮอล์ 1 l/min

จากรูปที่ 5.46 พบว่าอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่มีระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่ 1000 μm กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นขณะทำการเปิดก๊าซในโตรเจน (1 l/min) อยู่ที่ประมาณ $3.02 \times 10^{-4} \text{ A}$ เมื่อทำการเปิดไอแอลกอฮอล์ (1 l/min) ประมาณ 250 วินาที กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นและเกิดการอิมพัลส์ที่ประมาณ $3.0 \times 10^{-3} \text{ A}$ หลังจากที่ทำการปิดไอแอลกอฮอล์แล้ว ให้นำอุปกรณ์ตรวจจับออกจากระบบวัดแล้วนำมาทิ้งไว้ในอากาศที่อุณหภูมิห้อง เพื่อทำการไล่โมเลกุลของแอลกอฮอล์ที่ตกค้างอยู่ในอุปกรณ์ตรวจจับเพื่อให้อุปกรณ์ตรวจจับกลับคืนสภาพเดิม

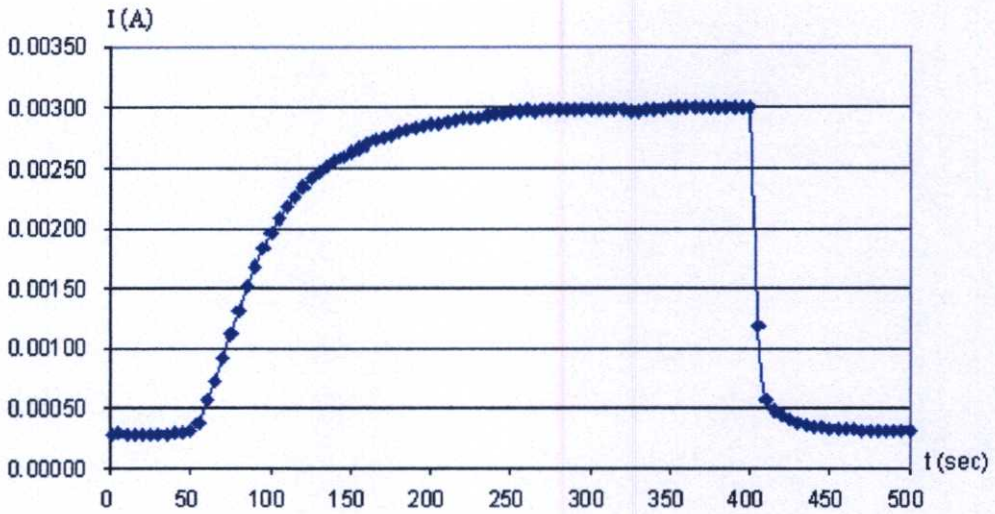
- อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ ที่สร้างชั้นพอร์สซิลิคอนโดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 1:1 โดยปริมาตร ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 เวลา 10 นาที ทำการสร้างขั้วอะลูมิเนียมบนชั้นพอร์สซิลิคอนขนาด $1000 \times 5000 \mu\text{m}^2$ โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วที่ 1000 μm ใช้อัตราการไหลของไอแอลกอฮอล์ที่ 3 l/min โดยศึกษาระยะเวลาที่จะเกิดการอิมพัลส์ของกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ตรวจจับเมื่อทำการเปิดไอแอลกอฮอล์สามารถแสดงดังกราฟในรูปที่ 5.47



รูปที่ 5.47 ลักษณะการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าในการตอบสนองต่อการเปิด-ปิดไอแอลกอสอลล์ของอุปกรณ์ตรวจจับที่ใช้อัตราการไหลของไอแอลกอสอลล์ 3 l/min

จากรูปที่ 5.47 พบว่าอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอสอลล์ที่มีระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่ 1000 μm กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นขณะทำการเปิดก๊าซไนโตรเจน (1 l/min) อยู่ที่ประมาณ 3.02×10^{-4} A เมื่อทำการเปิดไอแอลกอสอลล์ (3 l/min) ประมาณ 215 วินาที กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นและเกิดการอิ่มตัวที่ประมาณ 3.0×10^{-3} A หลังจากทำการปิดไอแอลกอสอลล์แล้ว ให้นำอุปกรณ์ตรวจจับออกจากระบบวัดแล้วนำมาทิ้งไว้ในอากาศที่อุณหภูมิห้อง เพื่อทำการได้โมเลกุลของแอลกอสอลล์ที่ตกค้างอยู่ในอุปกรณ์ตรวจจับเพื่อให้อุปกรณ์ตรวจจับกลับคืนสภาพเดิม

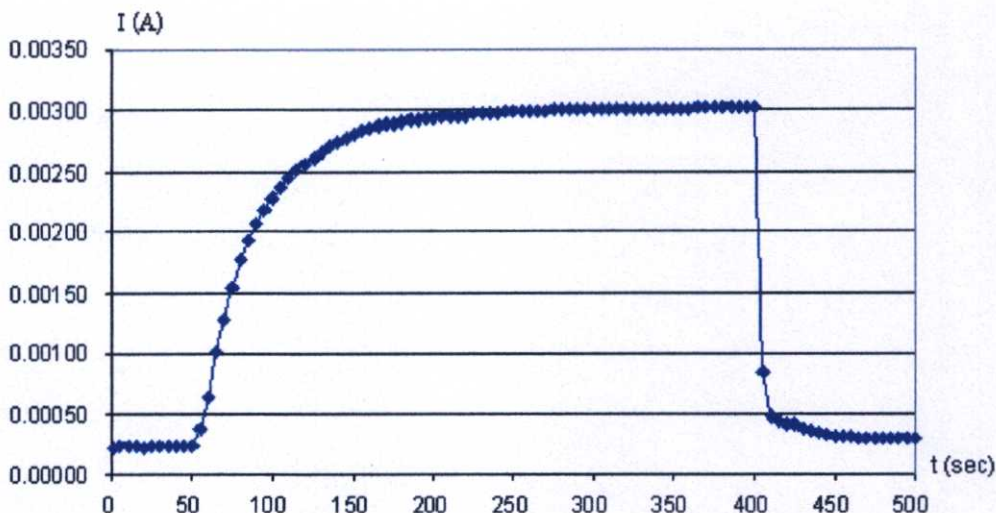
- อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอสอลล์ ที่สร้างชั้นพอร์สซิลิคอนโดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 1:1 โดยปริมาตร ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm² เวลา 10 นาที ทำการสร้างขั้วอะลูมิเนียมบนชั้นพอร์สซิลิคอนขนาด 1000x5000 μm^2 โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วที่ 1000 μm ใช้อัตราการไหลของไอแอลกอสอลล์ที่ 5 l/min โดยศึกษาระยะเวลาที่จะเกิดการอิ่มตัวของกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ตรวจจับเมื่อทำการเปิดไอแอลกอสอลล์สามารถแสดงดังกราฟในรูปที่ 5.48



รูปที่ 5.48 ลักษณะการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าในการตอบสนองต่อการเปิด-ปิดไอแอลกอสอลล์ของอุปกรณ์ตรวจจับที่ใช้อัตราการไหลของไอแอลกอสอลล์ 5 l/min

จากรูปที่ 5.48 พบว่าอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอสอลล์ที่มีระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่ 1000 μm กระแสไฟฟ้าเริ่มคั้งขณะทำการเปิดก๊าซไนโตรเจน (1 l/min) อยู่ที่ประมาณ 3.02×10^{-4} A เมื่อทำการเปิดไอแอลกอสอลล์ (5 l/min) ประมาณ 180 วินาที กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นและเกิดการอ้อมตัวที่ประมาณ 3.0×10^{-3} A หลังจากที่ทำการปิดไอแอลกอสอลล์แล้ว ให้นำอุปกรณ์ตรวจจับออกจากระบบวัดแล้วนำมาทิ้งไว้ในอากาศที่อุณหภูมิห้อง เพื่อทำการได้โมเลกุลของแอลกอสอลล์ที่ตกค้างอยู่ในอุปกรณ์ตรวจจับเพื่อให้อุปกรณ์ตรวจจับกลับคืนสภาพเดิม

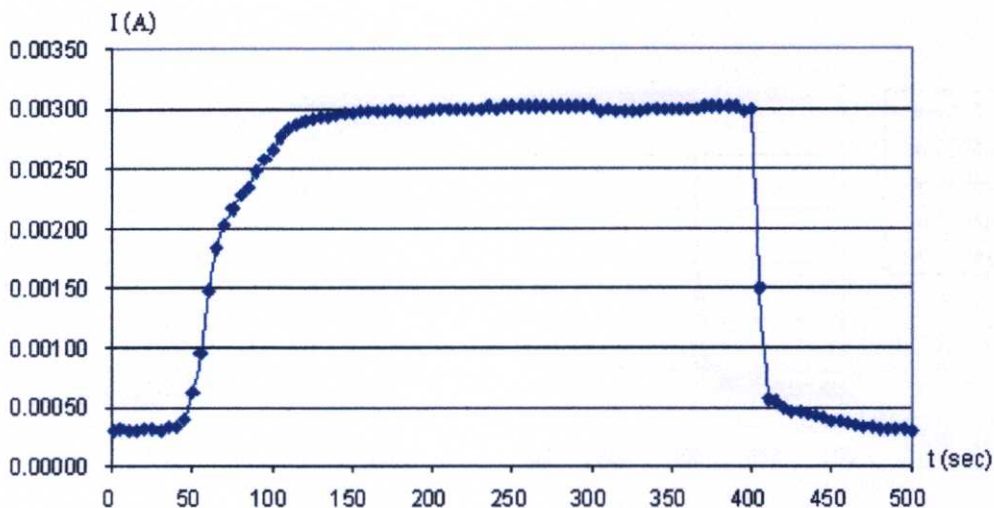
- อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอสอลล์ ที่สร้างขึ้นพอร์สซิลิคอนโดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 1:1 โดยปริมาตร ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm² เวลา 10 นาที ทำการสร้างขั้วอะลูมิเนียมบนชั้นพอร์สซิลิคอนขนาด 1000x5000 μm^2 โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วที่ 1000 μm ใช้อัตราการไหลของไอแอลกอสอลล์ที่ 7 l/min โดยศึกษาระยะเวลาที่จะเกิดการอ้อมตัวของกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ตรวจจับเมื่อทำการเปิดไอแอลกอสอลล์สามารถแสดงดังกราฟในรูปที่ 5.49



รูปที่ 5.49 ลักษณะการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าในการตอบสนองต่อการเปิด-ปิดไอแอลกอสอลล์ของอุปกรณ์ตรวจจับที่ใช้อัตราการไหลของไอแอลกอสอลล์ 7 l/min

จากรูปที่ 5.49 พบว่าอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอสอลล์ที่มีระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่ 1000 μm กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นขณะทำการเปิดก๊าซไนโตรเจน (1 l/min) อยู่ที่ประมาณ $3.02 \times 10^{-4} \text{ A}$ เมื่อทำการเปิดไอแอลกอสอลล์ (7 l/min) ประมาณ 140 วินาที กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นและเกิดการอิมิตัวที่ประมาณ $3.0 \times 10^{-3} \text{ A}$ หลังจากทำการปิดไอแอลกอสอลล์แล้ว ให้นำอุปกรณ์ตรวจจับออกจากระบบวัดแล้วนำมาทิ้งไว้ในอากาศที่อุณหภูมิห้อง เพื่อทำการไล่โมเลกุลของแอลกอสอลล์ที่ตกค้างอยู่ในอุปกรณ์ตรวจจับเพื่อให้อุปกรณ์ตรวจจับกลับคืนสภาพเดิม

- อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอสอลล์ ที่สร้างชั้นพอร์ซซิลิคอนโดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 1:1 โดยปริมาตร ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 เวลา 10 นาที ทำการสร้างขั้วอะลูมิเนียมบนชั้นพอร์ซซิลิคอนขนาด $1000 \times 5000 \mu\text{m}^2$ โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วที่ 1000 μm ใช้อัตราการไหลของไอแอลกอสอลล์ที่ 9 l/min โดยศึกษาระยะเวลาที่จะเกิดการอิมิตัวของกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ตรวจจับเมื่อทำการเปิดไอแอลกอสอลล์สามารถแสดงดังกราฟในรูปที่ 5.50



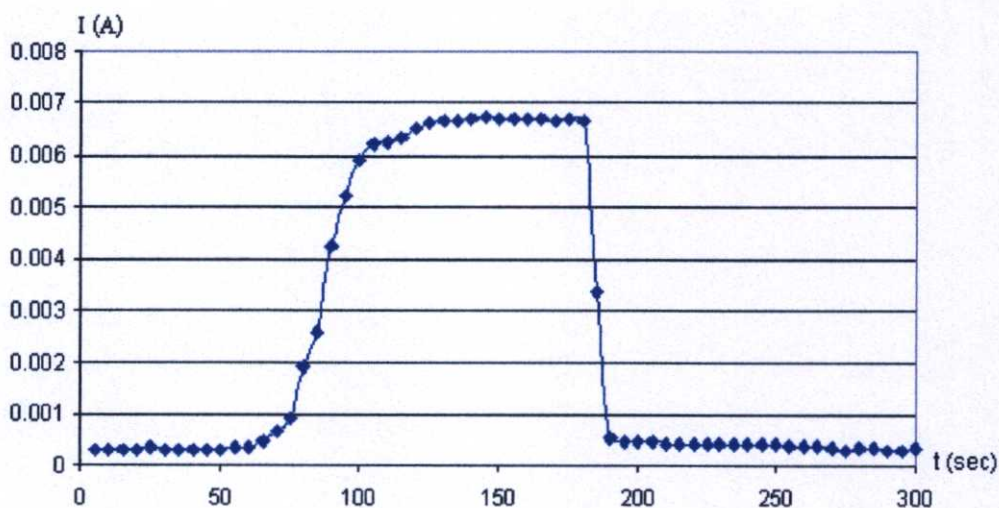
รูปที่ 5.50 ลักษณะการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าในการตอบสนองต่อการเปิด-ปิด ไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ตรวจจับที่ใช้อัตราการไหลของไอแอลกอฮอล์ 9 l/min

จากรูปที่ 5.50 พบว่าอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่มีระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่ 1000 μm กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นขณะทำการเปิดก๊าซไนโตรเจน (1 l/min) อยู่ที่ประมาณ 3.02×10^{-4} A เมื่อทำการเปิดไอแอลกอฮอล์ (9 l/min) ประมาณ 90 วินาที กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นและเกิดการอิ่มตัวที่ประมาณ 3.0×10^{-3} A หลังจากทำการปิดไอแอลกอฮอล์แล้ว ให้นำอุปกรณ์ตรวจจับออกจากระบบวัดแล้วนำมาทิ้งไว้ในอากาศที่อุณหภูมิห้อง เพื่อทำการได้โมเลกุลของแอลกอฮอล์ที่ตกค้างอยู่ในอุปกรณ์ตรวจจับเพื่อให้อุปกรณ์ตรวจจับกลับคืนสภาพเดิม

ทำการเปรียบเทียบค่าการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าต่อการเปิด-ปิด ไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ โดยใช้ ความหนาแน่นกระแสในการแอโนไดซ์เซชันที่ 10 mA/cm^2 ใช้เวลา 10 นาที โดยมีขนาดของขั้วอะลูมิเนียมที่ขนาด $1000 \times 5000 \mu\text{m}^2$ ระยะห่างระหว่างขั้วอะลูมิเนียม 1000 μm โดยทำการให้อัตราการไหลของไอแอลกอฮอล์เข้าสู่อุปกรณ์ตรวจจับแตกต่างกันที่ 1 l/min ,3 l/min ,5l/min ,7 l/min และ 9 l/min ตามลำดับ ดังแสดงในกราฟรูปที่ 5.51

โดยในการทดลองจะทำการวัดค่าการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าในอุปกรณ์ตรวจจับต่อไอแอลกอฮอล์นั้น จะทำการป้อนแรงดันไฟฟ้าคงที่ 20 โวลต์ ให้แก่อุปกรณ์ตรวจจับเพื่อวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนไป โดยขั้นแรกให้ทำการเปิดก๊าซในโตรเจนเวลา 60 วินาที ที่อัตราการไหล 1 l/min เพื่อเป็นการไล่ความชื้นออกจากอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ จากนั้นทำการเปิดไอแอลกอฮอล์ ที่อัตราการไหล 9 l/min โดยใช้ก๊าซในโตรเจนเป็นตัวพาไอแอลกอฮอล์ ในขั้นตอนนี้จะทำการเปิดไอแอลกอฮอล์เพื่อทำการวัดค่าการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ตรวจจับต่อไอแอลกอฮอล์เป็นเวลา 120 วินาที หลังจากที่ทำการปิดไอระเหยของแอลกอฮอล์แล้ว ให้ทำการนำอุปกรณ์ตรวจจับออกจากระบบวัดแล้วนำมาทิ้งไว้ในอากาศที่อุณหภูมิห้อง เพื่อโมเลกุลของแอลกอฮอล์ที่ตกค้างอยู่ในอุปกรณ์ตรวจจับระเหยออกจนกระทั่งกลับสู่สภาพเดิม เนื่องจากต้องการที่จะจำลองการทดลองให้เสมือนกับการใช้งานจริง

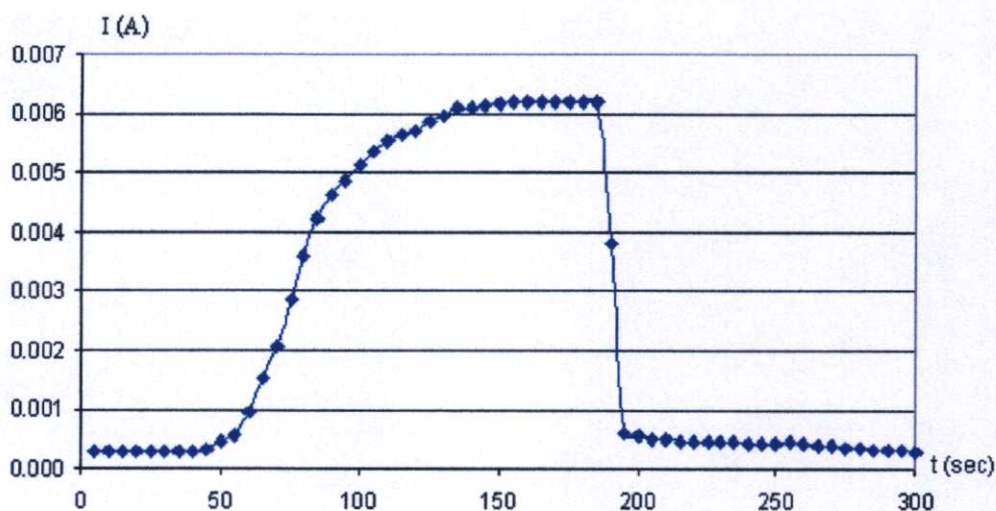
- อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ ที่สร้างขึ้นพอร์สซิลิคอนโดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 1:1 โดยปริมาตร ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm² เวลา 10 นาที ทำการสร้างขั้วอะลูมิเนียมบนชั้นพอร์สซิลิคอนขนาด 1000x5000 μm² โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วที่ 1000 μm การวัดผลใช้สารละลายมีความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ที่ 0 mg % นั้นคือมีน้ำ 100 % โดยศึกษาถึงค่ากระแสอิมพัลส์ของกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ตรวจจับเมื่อทำการเปิดไอแอลกอฮอล์ สามารถแสดงดังกราฟในรูปที่ 5.52



รูปที่ 5.52 ลักษณะการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าในการตอบสนองต่อการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ตรวจจับที่ความเข้มข้นของไอแอลกอฮอล์ที่ 0 mg%

จากรูปที่ 5.52 พบว่า กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นขณะทำการเปิดก๊าซไนโตรเจน (1 l/min) อยู่ที่ประมาณ 3.02×10^{-4} A เมื่อทำการเปิดไอของน้ำ (9 l/min) ประมาณ 70 วินาที กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นและเกิดการอิมิตัวที่ประมาณ 6.7×10^{-3} A หลังจากทำการปิดไอแอลกอฮอล์แล้ว ให้นำอุปกรณ์ตรวจจับออกจากระบบวัดแล้วนำมาทิ้งไว้ในอากาศที่อุณหภูมิห้อง เพื่อทำการไล่โมเลกุลของแอลกอฮอล์ที่ตกค้างอยู่ในอุปกรณ์ตรวจจับเพื่อให้อุปกรณ์ตรวจจับกลับคืนสภาพเดิม

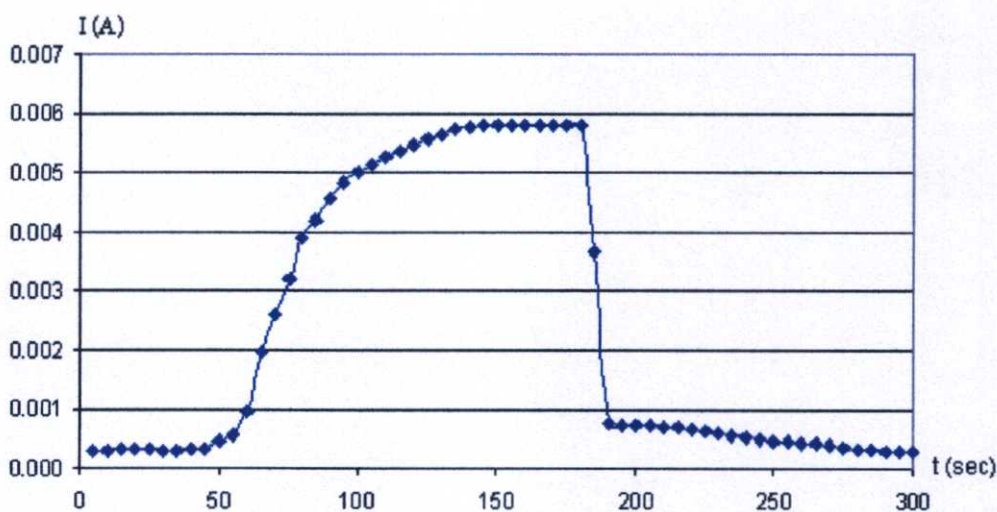
- อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ ที่สร้างชั้นพอร์สซิลิคอนโดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 1:1 โดยปริมาตร ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 เวลา 10 นาที ทำการสร้างขั้วอะลูมิเนียมบนชั้นพอร์สซิลิคอนขนาด $1000 \times 5000 \text{ }\mu\text{m}^2$ โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วที่ $1000 \text{ }\mu\text{m}$ การวัดผลใช้สารละลายมีความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ที่ 100 mg\% โดยศึกษาระยะเวลาที่จะเกิดการอิมิตัวของกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ตรวจจับเมื่อทำการเปิดไอแอลกอฮอล์ สามารถแสดงดังกราฟในรูปที่ 5.53



รูปที่ 5.53 ลักษณะการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าในการตอบสนองต่อการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ตรวจจับที่ความเข้มข้นของไอแอลกอฮอล์ที่ 100 mg\%

จากรูปที่ 5.53 พบว่า กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นขณะทำการเปิดก๊าซไนโตรเจน (1 l/min) อยู่ที่ประมาณ 3.02×10^{-4} A เมื่อทำการเปิดไอของน้ำ (9 l/min) ประมาณ 80 วินาที กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นและเกิดการอิมิตัวที่ประมาณ 6.2×10^{-3} A หลังจากทำการปิดไอแอลกอฮอล์แล้ว ให้นำอุปกรณ์ตรวจจับออกจากระบบวัดแล้วนำมาทิ้งไว้ในอากาศที่อุณหภูมิห้อง เพื่อทำการไล่โมเลกุลของแอลกอฮอล์ที่ตกค้างอยู่ในอุปกรณ์ตรวจจับเพื่อให้อุปกรณ์ตรวจจับกลับคืนสภาพเดิม

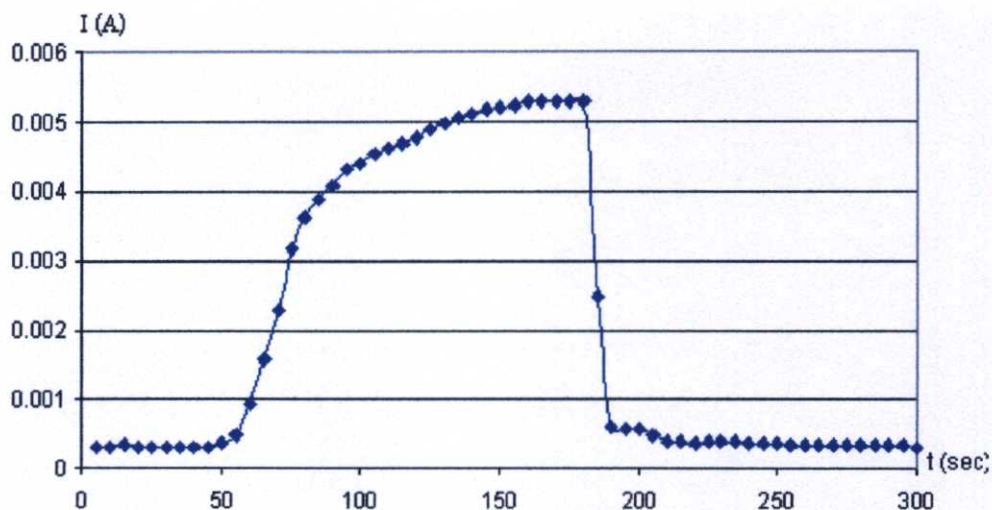
- อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ ที่สร้างชั้นพอร์สซิลิคอนโดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 1:1 โดยปริมาตร ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 เวลา 10 นาที ทำการสร้างขั้วอะลูมิเนียมบนชั้นพอร์สซิลิคอนขนาด $1000 \times 5000 \text{ }\mu\text{m}^2$ โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วที่ $1000 \text{ }\mu\text{m}$ การวัดผลใช้สารละลายมีความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ที่ 200 mg\% โดยศึกษาระยะเวลาที่จะเกิดการอิมตัวของกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ตรวจจับเมื่อทำการเปิดไอแอลกอฮอล์ สามารถแสดงดังกราฟในรูปที่ 5.54



รูปที่ 5.54 ลักษณะการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าในการตอบสนองต่อการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ตรวจจับที่มีความเข้มข้นของไอแอลกอฮอล์ที่ 200 mg\%

จากรูปที่ 5.54 พบว่า กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นขณะทำการเปิดก๊าซไนโตรเจน (1 l/min) อยู่ที่ประมาณ $3.02 \times 10^{-4} \text{ A}$ เมื่อทำการเปิดไอของน้ำ (9 l/min) ประมาณ 90 วินาที กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นและเกิดการอิมตัวที่ประมาณ $5.8 \times 10^{-3} \text{ A}$ หลังจากทำการปิดไอแอลกอฮอล์แล้ว ให้นำอุปกรณ์ตรวจจับออกจากระบบวัดแล้วนำมาทิ้งไว้ในอากาศที่อุณหภูมิห้อง เพื่อทำการไลโมเลกุลของแอลกอฮอล์ที่ตกค้างอยู่ในอุปกรณ์ตรวจจับเพื่อให้อุปกรณ์ตรวจจับกลับคืนสภาพเดิม

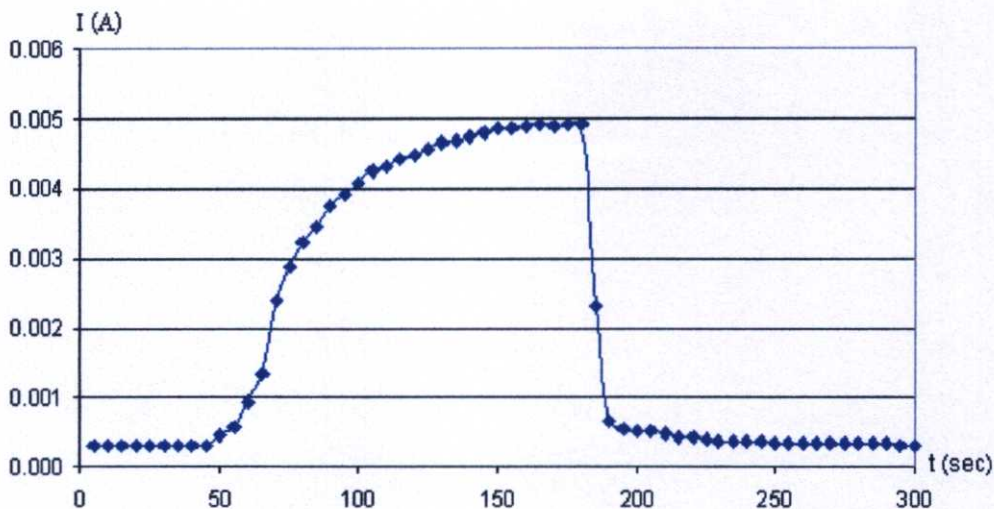
- อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ ที่สร้างชั้นพอร์สซิลิคอนโดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 1:1 โดยปริมาตร ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 เวลา 10 นาที ทำการสร้างขั้วอะลูมิเนียมบนชั้นพอร์สซิลิคอนขนาด $1000 \times 5000 \text{ }\mu\text{m}^2$ โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วที่ $1000 \text{ }\mu\text{m}$ การวัดผลใช้สารละลายมีความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ที่ 300 mg\% โดยศึกษาระยะเวลาที่จะเกิดการอิมตัวของกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ตรวจจับเมื่อทำการเปิดไอแอลกอฮอล์ สามารถแสดงดังกราฟในรูปที่ 5.55



รูปที่ 5.55 ลักษณะการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าในการตอบสนองต่อการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ตรวจจับที่ความเข้มข้นของไอแอลกอฮอล์ที่ 300 mg%

จากรูปที่ 5.55 พบว่า กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นขณะทำการเปิดก๊าซไนโตรเจน (1 l/min) อยู่ที่ประมาณ 3.02×10^{-4} A เมื่อทำการเปิดไอของน้ำ (9 l/min) ประมาณ 100 วินาที กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นและเกิดการอิ่มตัวที่ประมาณ 5.28×10^{-3} A หลังจากที่ทำการปิดไอแอลกอฮอล์แล้ว ให้นำอุปกรณ์ตรวจจับออกจากระบบวัดแล้วนำมาทิ้งไว้ในอากาศที่อุณหภูมิห้อง เพื่อทำการไล่โมเลกุลของแอลกอฮอล์ที่ตกค้างอยู่ในอุปกรณ์ตรวจจับเพื่อให้อุปกรณ์ตรวจจับกลับคืนสภาพเดิม

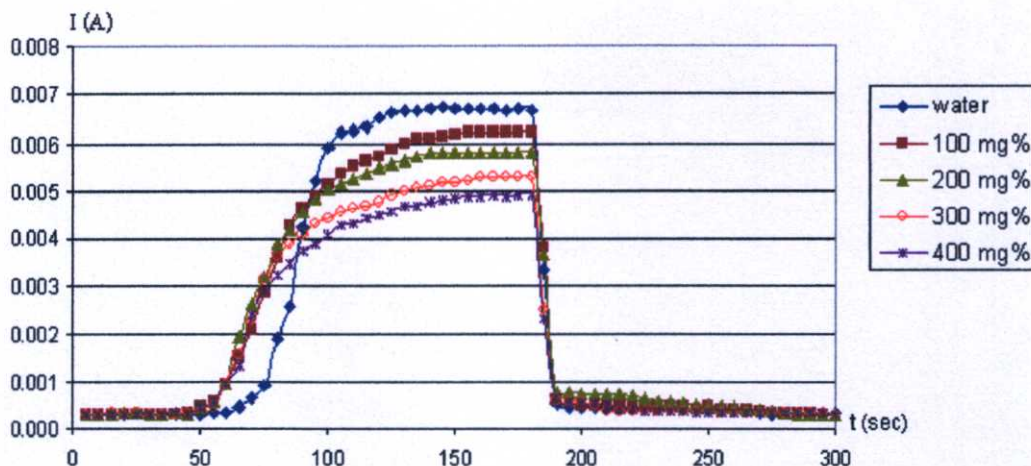
- อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ ที่สร้างชั้นพอร์สซิลิคอนโดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 1:1 โดยปริมาตร ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm² เวลา 10 นาที ทำการสร้างขั้วอะลูมิเนียมบนชั้นพอร์สซิลิคอนขนาด 1000x5000 μm² โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วที่ 1000 μm การวัดผลใช้สารละลายมีความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ที่ 400 mg % โดยศึกษาระยะเวลาที่จะเกิดการอิ่มตัวของกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ตรวจจับเมื่อทำการเปิดไอแอลกอฮอล์ สามารถแสดงดังกราฟในรูปที่ 5.56



รูปที่ 5.56 ลักษณะการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าในการตอบสนองต่อการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ตรวจจับที่ความเข้มข้นของไอแอลกอฮอล์ที่ 400 mg%

จากรูปที่ 5.56 พบว่า กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นขณะทำการเปิดก๊าซไนโตรเจน (1 l/min) อยู่ที่ประมาณ 3.02×10^{-4} A เมื่อทำการเปิดไอของน้ำ (9 l/min) ประมาณ 115 วินาที กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นและเกิดการอิมพัลส์ที่ประมาณ 4.9×10^{-3} A หลังจากทำการปิดไอแอลกอฮอล์แล้ว ให้นำอุปกรณ์ตรวจจับออกจากระบบวัดแล้วนำมาทิ้งไว้ในอากาศที่อุณหภูมิห้อง เพื่อทำการไล่โมเลกุลของแอลกอฮอล์ที่ตกค้างอยู่ในอุปกรณ์ตรวจจับเพื่อให้อุปกรณ์ตรวจจับกลับคืนสภาพเดิม

ทำการเปรียบเทียบค่าการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าต่อการเปิด-ปิด ไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ โดยใช้ ความหนาแน่นกระแสในการแอดโนไดซ์เซชันที่ 10 mA/cm^2 ใช้เวลา 10 นาที โดยมีขนาดของขั้วอะลูมิเนียมที่ขนาด $1000 \times 5000 \text{ }\mu\text{m}^2$ ระยะห่างระหว่างขั้วอะลูมิเนียม $1000 \text{ }\mu\text{m}$ โดยทำการใช้ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ (มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์) ต่างกันที่ 0 mg%, 100 mg%, 200 mg%, 300 mg% และ 400 mg% ตามลำดับ ดังแสดงในกราฟรูปที่ 5.57



รูปที่ 5.57 แสดงการเปรียบเทียบการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าในการตอบสนองต่อการเปิด-ปิด ไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ตรวจจับที่ใช้ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ (mg%) ค่าต่างๆ กัน

จากกราฟรูปที่ 5.57 พบว่าเมื่อใช้ไอน้ำในการตรวจวัด การค่ากระแสไฟฟ้าอิมพัลส์มีค่าสูงที่สุด และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ (mg%) ในสารละลายมากขึ้น อุปกรณ์ตรวจจับแสดงค่าการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าอิมพัลส์ที่ลดลงตามลำดับ และจะใช้ระยะเวลาการอิมพัลส์ของกระแสไฟฟ้าในการวัดเพิ่มมากขึ้นตามลำดับเช่นกัน

5.5.3 การทดลองเพื่อศึกษาค่าความไวและเวลาในการตอบสนองของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์

เมื่อทำการศึกษาค่าความไวในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ต่างๆ กันนั้น จะพิจารณาค่าความไวในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้สมการที่ (6.1)

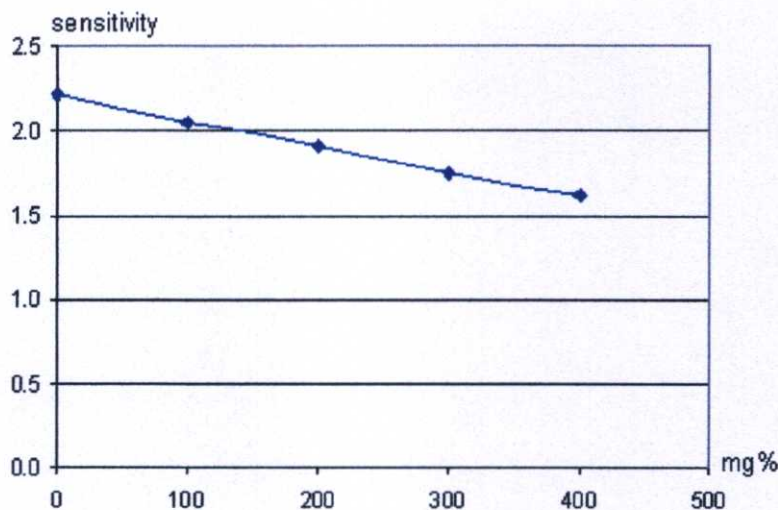
$$S = I_E / I_N \quad (6.1)$$

โดยที่ S คือ ความไวในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์

I_E คือ ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เกิดการอิมพัลส์ขณะทำการตรวจจับไอแอลกอฮอล์

I_N คือ ปริมาณกระแสไฟฟ้าก่อนทำการตรวจจับไอแอลกอฮอล์

จากสมการที่ (6.1) จะได้ ความไวในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่ใช้ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ (มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์) แตกต่างกันว่า 0 mg%, 100 mg%, 200 mg%, 300 mg% และ 400 mg% ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 5.58



รูปที่ 5.58 ความไวในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ (mg%) ค่าต่างๆ

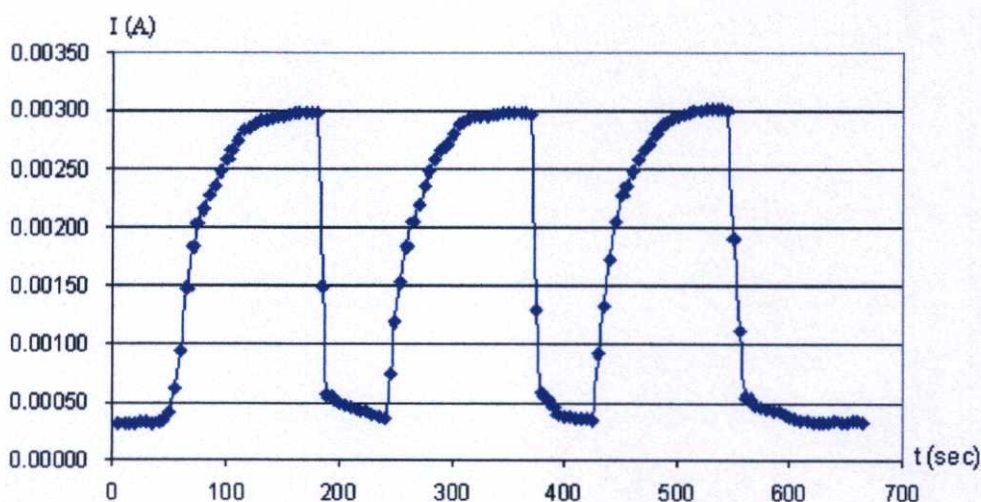
จากรูปที่ 5.58 พบว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์มีค่าเพิ่มขึ้น ความไวในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์จะมีค่าลดลง เนื่องมาจากอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่ใช้ชั้นพอร์สซิลิคอนสามารถตรวจจับไอน้ำได้ และการตรวจจับไอน้ำมีค่าปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นสูงกว่าการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ เมื่อเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์มีค่าเพิ่มขึ้นทำให้น้ำที่ผสมอยู่ด้วยมีปริมาณลดลง ส่งผลทำให้ค่าความไวในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์จึงมีค่าลดลงด้วย ซึ่งจากผลการทดลองที่ผ่านมาพบว่าเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ (mg%) จะทำให้เวลาในการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าจากจุดเริ่มต้นถึงจุดอิ่มตัวเพิ่มตามขึ้นตามลำดับ ดังแสดงได้ในตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 แสดงค่าความไวและเวลาในการตอบสนองของอุปกรณ์ตรวจจับที่ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ (mg%) ค่าต่างๆ

ความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ (mg%)	ความไวในการตอบสนอง	เวลาในการตอบสนอง (วินาที)
0	2.22	~70
100	2.05	~80
200	1.92	~90
300	1.75	~100
400	1.62	~110

5.5.4 การทดลองเพื่อศึกษาอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ขณะทำการวัดแบบต่อเนื่อง

การทดลองนี้ศึกษาถึง การตรวจจับไอแอลกอฮอล์แบบต่อเนื่องของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์ซซิติกอนด้วยวิธีการแอนโคโนโดซ์เซชันที่ อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 1:1 โดยปริมาตร เวลา 10 นาที ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 โดยทำการวัดค่าการตอบสนองของกระแสไฟฟ้า ชั้นแรกทำการเปิดก๊าซไนโตรเจน 60 วินาที ต่อ มาเปิดไอแอลกอฮอล์โดยใช้ก๊าซไนโตรเจนเป็นตัวพาเป็นเวลา 120 วินาที จากนั้นนำอุปกรณ์ตรวจจับออกจากระบบแล้วทิ้งไว้ที่อุณหภูมิห้อง 60 วินาที เพื่อไล่ไอแอลกอฮอล์ที่ตกค้างในอุปกรณ์ตรวจจับ จากนั้นทำการวัดซ้ำอีก 2 รอบ โดยในการวัดให้ป้อนแรงดันไฟฟ้าคงที่ให้อุปกรณ์ตรวจจับที่ 20 โวลต์ โดยแสดงผลการวัดดังรูปที่ 5.59



รูปที่ 5.59 ลักษณะการตอบสนองของกระแสต่อเวลาการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่ทำการวัดแบบต่อเนื่อง

จากรูปที่ 5.59 เมื่อทำการตรวจจับไอแอลกอฮอล์แบบต่อเนื่องจำนวน 3 รอบ พบว่าค่าการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าที่ตรวจวัดได้ยังคงมีความคงที่ โดยเฉพาะค่ากระแสอิมพัลส์จะมีค่าการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าที่ใกล้เคียงกันมาก จึงสามารถกล่าวได้ว่าอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์สามารถทำการวัดแบบต่อเนื่องได้

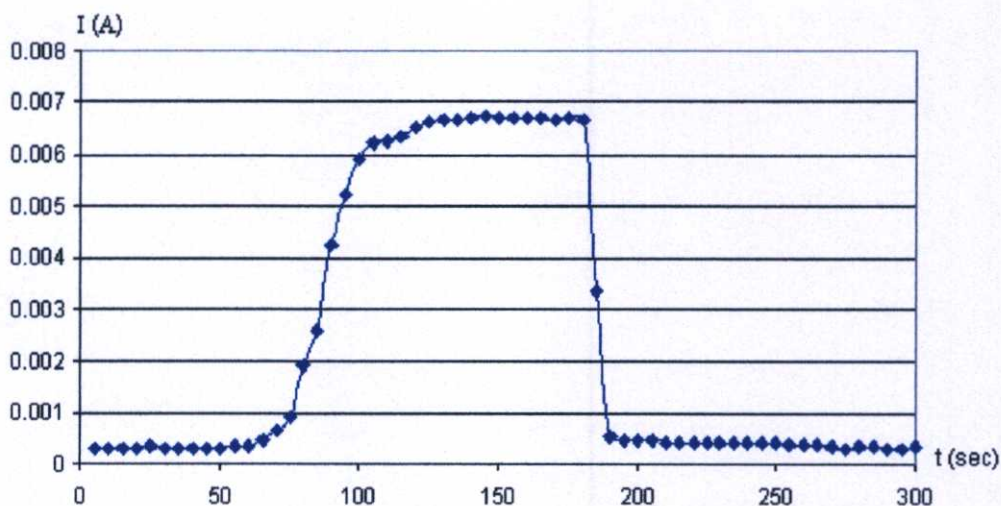
5.5.5 การทดลองเพื่อศึกษาผลของไอสารเคมีต่างชนิดกันต่ออุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์

การทดลองนี้ศึกษาถึง การตอบสนองของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ เมื่อเริ่มทำการเปิดไอแอลกอฮอล์จะกระทั้งเกิดการอิมพัลส์ของค่ากระแสไฟฟ้า โดยในการทดลองนี้จะ

ทำการศึกษาผลของไอสารเคมีต่างชนิดอันได้แก่ ไอน้ำ, ไอเอทานอล, ไอไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์และ ไออะซิโตน ตามลำดับ

โดยในการทดลองจะทำการวัดค่าการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าในอุปกรณ์ตรวจจับต่อไอแอลกอฮอล์นั้น จะทำการป้อนแรงดันไฟฟ้าคงที่ 20 โวลต์ ให้แก่อุปกรณ์ตรวจจับเพื่อวัดค่ากระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนไป โดยขั้นแรกให้ทำการเปิดก๊าซไนโตรเจนเวลา 60 วินาที ที่อัตราการไหล 1 l/min เพื่อเป็นการไล่ความชื้นออกจากอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ จากนั้นทำการเปิดไอแอลกอฮอล์ ที่อัตราการไหล 9 l/min โดยใช้ก๊าซไนโตรเจนเป็นตัวพาไอแอลกอฮอล์ ในขั้นตอนนี้จะทำการเปิดไอแอลกอฮอล์เพื่อทำการวัดค่าการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ตรวจจับต่อไอแอลกอฮอล์เป็นเวลา 120 วินาที หลังจากที่ทำการปิดไอระเหยของแอลกอฮอล์แล้ว ให้ทำการนำอุปกรณ์ตรวจจับออกจากระบบวัดแล้วนำมาทิ้งไว้ในอากาศที่อุณหภูมิห้อง เพื่อโมเลกุลของแอลกอฮอล์ที่ตกค้างอยู่ในอุปกรณ์ตรวจจับระเหยออกจนกระทั่งกลับสู่สภาพเดิม เนื่องจากต้องการที่จะจำลองการทดลองให้เสมือนกับการใช้งานจริง

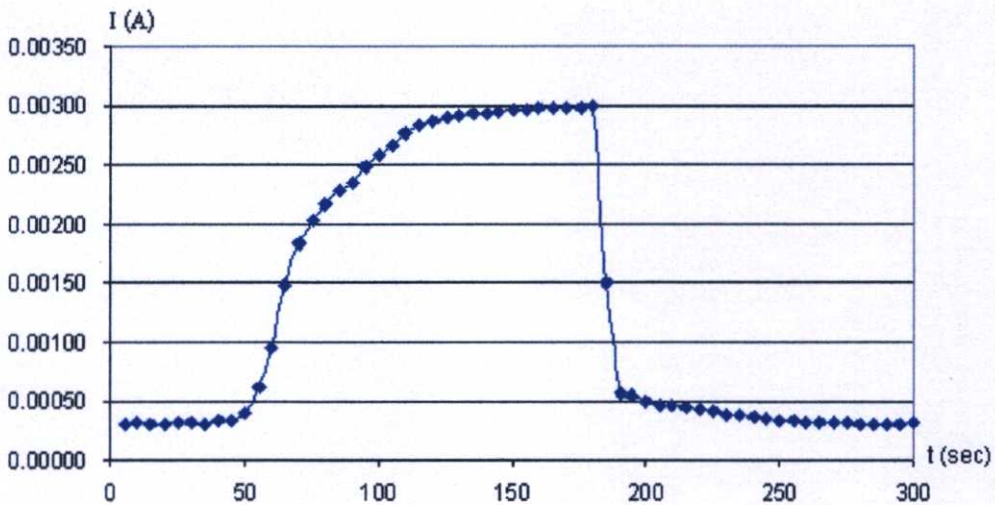
- อุปกรณ์ตรวจจับ ที่สร้างชั้นพอร์สซิลิคอนโดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 1:1 โดยปริมาตร ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm² เวลา 10 นาที ทำการสร้างขั้วอะลูมิเนียมบนชั้นพอร์สซิลิคอนขนาด 1000x5000 μm^2 โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วที่ 1000 μm โดยศึกษาค่ากระแสไฟฟ้าอิมพัลส์ของอุปกรณ์ตรวจจับเมื่อทำการเปิดไอน้ำ สามารถแสดงดังกราฟในรูปที่ 5.60



รูปที่ 5.60 ลักษณะการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าเมื่อทำการเปิด-ปิดไอน้ำของอุปกรณ์ตรวจจับ

จากรูปที่ 5.60 พบว่า กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นขณะทำการเปิดก๊าซไนโตรเจน (1 l/min) อยู่ที่ประมาณ 3.02×10^{-4} A เมื่อทำการเปิดไอของน้ำ (9 l/min) ประมาณ 70 วินาที กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นและเกิดการอิมพัลส์ที่ประมาณ 6.7×10^{-3} A หลังจากทำการปิดไอน้ำแล้ว ให้นำอุปกรณ์ตรวจจับออกจากระบบวัดแล้วนำมาทิ้งไว้ในอากาศที่อุณหภูมิห้อง เพื่อทำการไล่โมเลกุลของน้ำที่ตกค้างอยู่ในอุปกรณ์ตรวจจับเพื่อให้อุปกรณ์ตรวจจับกลับคืนสภาพเดิม

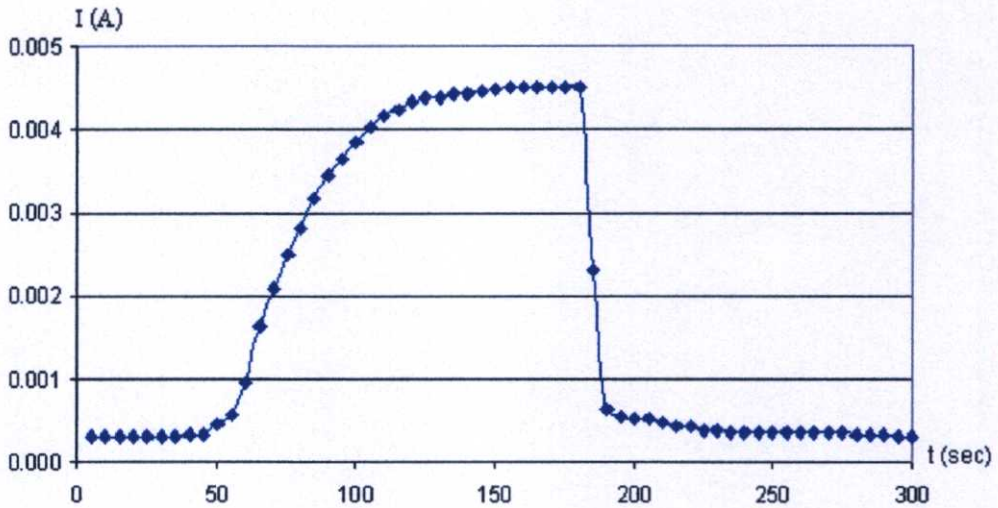
- อุปกรณ์ตรวจจับ ที่สร้างขึ้นพอร์สซิลิคอนโดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 1:1 โดยปริมาตร ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 เวลา 10 นาที ทำการสร้างขั้วอะลูมิเนียมบนชั้นพอร์สซิลิคอนขนาด $1000 \times 5000 \text{ }\mu\text{m}^2$ โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วที่ $1000 \text{ }\mu\text{m}$ โดยศึกษาค่ากระแสไฟฟ้าอิมพัลส์ของอุปกรณ์ตรวจจับเมื่อทำการเปิดไอเอทานอลสามารถแสดงดังกราฟในรูปที่ 5.61



รูปที่ 5.61 ลักษณะการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าเมื่อทำการเปิด-ปิดไอเอทานอลของอุปกรณ์ตรวจจับ

จากรูปที่ 5.61 พบว่าอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่มีระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่ $1000 \text{ }\mu\text{m}$ กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นขณะทำการเปิดก๊าซไนโตรเจน (1 l/min) อยู่ที่ประมาณ 3.02×10^{-4} A เมื่อทำการเปิดไอเอทานอล (9 l/min) ประมาณ 90 วินาที กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นและเกิดการอิมพัลส์ที่ประมาณ 3.0×10^{-3} A หลังจากทำการปิดเอทานอลไอแอลกอฮอล์แล้ว ให้นำอุปกรณ์ตรวจจับออกจากระบบวัดแล้วนำมาทิ้งไว้ในอากาศที่อุณหภูมิห้อง เพื่อทำการไล่โมเลกุลของเอทานอลที่ตกค้างอยู่ในอุปกรณ์ตรวจจับเพื่อให้อุปกรณ์ตรวจจับกลับคืนสภาพเดิม

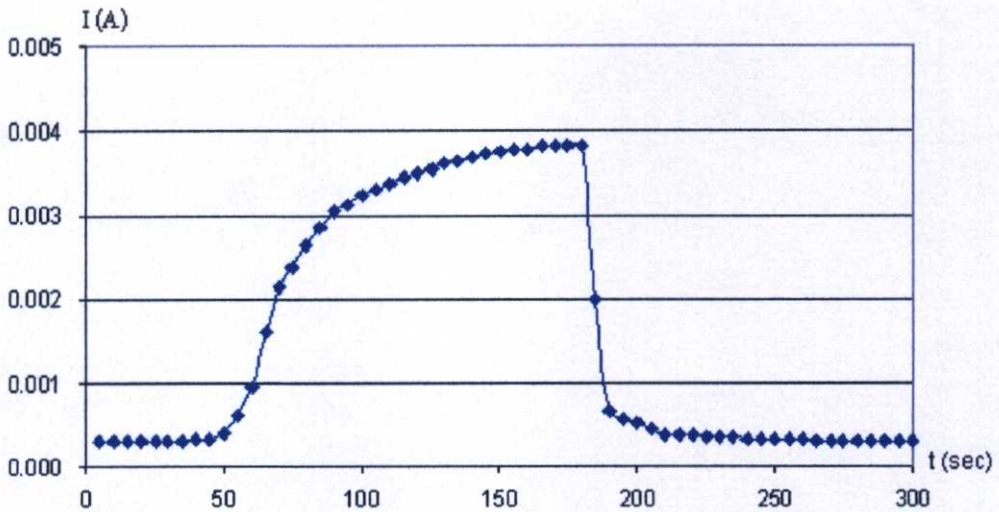
- อุปกรณ์ตรวจจับ ที่สร้างชั้นพอร์สซิลิคอนโดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 1:1 โดยปริมาตร ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 เวลา 10 นาที ทำการสร้างขั้วอะลูมิเนียมบนชั้นพอร์สซิลิคอนขนาด $1000 \times 5000 \text{ }\mu\text{m}^2$ โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วที่ $1000 \text{ }\mu\text{m}$ โดยศึกษาค่ากระแสไฟฟ้าอิมพัลส์ของอุปกรณ์ตรวจจับเมื่อทำการเปิดไอไอโซโทปฟิวแอลกอสอล สามารถแสดงดังกราฟในรูปที่ 5.62



รูปที่ 5.62 ลักษณะการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าเมื่อทำการเปิด-ปิดไอไอโซโทปฟิวแอลกอสอลของอุปกรณ์ตรวจจับ

จากรูปที่ 5.62 พบว่าอุปกรณ์ตรวจจับที่มีระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่ $1000 \text{ }\mu\text{m}$ กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นขณะทำการเปิดก๊าซไนโตรเจน (1 l/min) อยู่ที่ประมาณ $3.02 \times 10^{-4} \text{ A}$ เมื่อทำการเปิดไอไอโซโทปฟิวแอลกอสอล (9 l/min) ประมาณ 90 วินาที กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นและเกิดการอิมพัลส์ที่ประมาณ $4.5 \times 10^{-3} \text{ A}$ หลังจากที่ทำการปิดไอไอโซโทปฟิวแอลกอสอลแล้ว ให้นำอุปกรณ์ตรวจจับออกจากระบบวัดแล้วนำมาทิ้งไว้ในอากาศที่อุณหภูมิห้องเพื่อทำการไล่โมเลกุลไอไอโซโทปฟิวแอลกอสอลของที่ตกค้างอยู่ในอุปกรณ์ตรวจจับเพื่อให้อุปกรณ์ตรวจจับกลับคืนสภาพเดิม

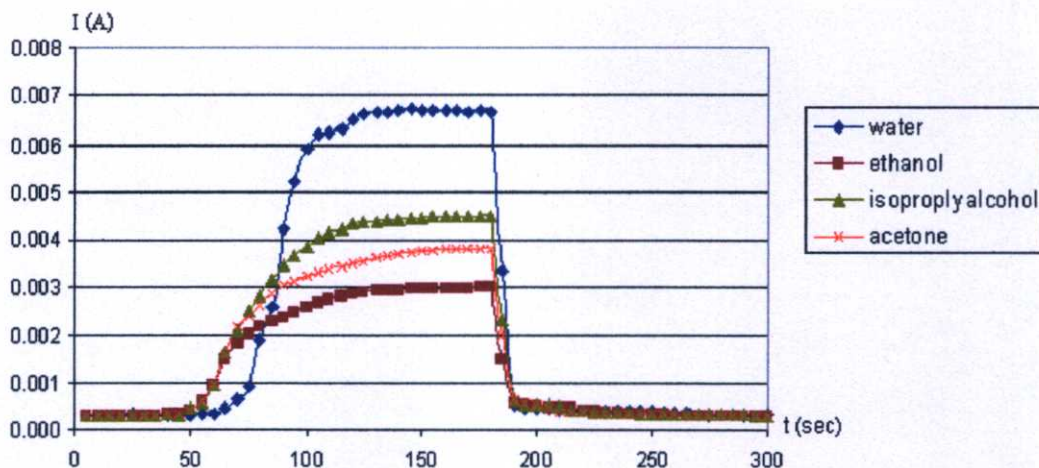
- อุปกรณ์ตรวจจับ ที่สร้างชั้นพอร์สซิลิคอนโดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 1:1 โดยปริมาตร ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 เวลา 10 นาที ทำการสร้างขั้วอะลูมิเนียมบนชั้นพอร์สซิลิคอนขนาด $1000 \times 5000 \text{ }\mu\text{m}^2$ โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วที่ $1000 \text{ }\mu\text{m}$ โดยศึกษาค่ากระแสไฟฟ้าอิมพัลส์ของอุปกรณ์ตรวจจับเมื่อทำการเปิดไออะซิโตน สามารถแสดงดังกราฟในรูปที่ 5.63



รูปที่ 5.63 ลักษณะการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าเมื่อทำการเปิด-ปิดไออะซิโตนของอุปกรณ์ตรวจจับ

จากรูปที่ 5.63 พบว่าอุปกรณ์ตรวจจับที่มีระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่ $1000 \mu\text{m}$ กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นขณะทำการเปิดก๊าซไนโตรเจน (1 l/min) อยู่ที่ประมาณ $3.02 \times 10^{-4} \text{ A}$ เมื่อทำการเปิดไออะซิโตน (9 l/min) ประมาณ 105 วินาที กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นและเกิดการอิมพัลส์ที่ประมาณ $3.8 \times 10^{-3} \text{ A}$ หลังจากทำการปิดไออะซิโตนแล้ว ให้นำอุปกรณ์ตรวจจับออกจากระบบวัดแล้วนำมาทิ้งไว้ในอากาศที่อุณหภูมิห้อง เพื่อทำการไล่โมเลกุลของอะซิโตนที่ตกค้างอยู่ในอุปกรณ์ตรวจจับเพื่อให้อุปกรณ์ตรวจจับกลับคืนสภาพเดิม

ทำการเปรียบเทียบค่าการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าต่อการเปิด-ปิด ไอสารเคมีต่างชนิดของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ โดยใช้ ความหนาแน่นกระแสในการแอโนไดซ์เซชันที่ 10 mA/cm^2 ใช้เวลา 10 นาที โดยมีขนาดของขั้วอะลูมิเนียมที่ขนาด $1000 \times 5000 \mu\text{m}^2$ ระยะห่างระหว่างขั้วอะลูมิเนียม $1000 \mu\text{m}$ โดยทำการใช้ไอสารเคมีต่างชนิดอันได้แก่ ไอน้ำ, ไอเอทานอล, ไอไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์และ ไออะซิโตน ตามลำดับ ดังแสดงในกราฟรูปที่ 5.64



รูปที่ 5.64 แสดงการเปรียบเทียบการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าในการตอบสนองต่อการเปิด-ปิด ไอสารเคมีต่างชนิด

จากกราฟรูปที่ 5.64 เมื่อทำการวัดไอของสารเคมีต่างชนิด พบว่าค่าการอิ่มตัวของกระแสไฟฟ้าในสารแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน โดยพบว่าไอน้ำนั้นจะมีค่าการอิ่มตัวของกระแสไฟฟ้าสูงสุด รองลงมาคือ ไอไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์, ไออะซิโตน และไอเอทานอล ตามลำดับ นอกจากนี้เวลาที่ใช้ในการเพิ่มขึ้นของกระแสไฟฟ้าจากจุดเริ่มต้นจนอิ่มตัวมีความแตกต่างกัน โดยพบว่าในการวัดไออะซิโตนจะใช้เวลานานที่สุด รองลงมาคือ ไอไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์, ไอเอทานอล และไอน้ำ ตามลำดับ

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับลักษณะ โครงสร้างของชั้นพอร์สซิลิคอน การสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการแอนโนไดซ์เซชันเพื่อการประยุกต์ใช้งานทางด้านการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ โดยมีโครงสร้างอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์แบบประกอบด้วยฐานรองซิลิคอนชนิดพีที่สร้างชั้นพอร์สซิลิคอนอยู่บนผิวหน้า และมีขั้วโลหะที่เป็นอะลูมิเนียมอยู่บนชั้นพอร์สซิลิคอน ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ง่าย เหมาะที่จะนำไปใช้สร้างเป็นวงจรรวมต่อไปในอนาคต

ชั้นพอร์สซิลิคอนที่สร้างด้วยวิธีการแอนโนไดซ์เซชันในงานวิจัยนี้มีค่าพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงอยู่ 2 ส่วน โดยส่วนแรก คือความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 5 mA/cm^2 , 10 mA/cm^2 , 15 mA/cm^2 , 20 mA/cm^2 และ 25 mA/cm^2 ใช้เวลาในการสร้างที่ 10 นาที ทำการสร้างขั้วอะลูมิเนียมระยะห่าง $500 \text{ }\mu\text{m}$ บนชั้นพอร์สซิลิคอน นำมาศึกษาโครงสร้าง และค่าการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าต่อไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ ส่วนที่ 2 คือ นำเงื่อนไขของความหนาแน่นของกระแสในการสร้างที่เหมาะสม โดยพิจารณาจากค่าการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าที่มีค่าสูงต่อไอแอลกอฮอล์ มาทำการศึกษาผลของระยะเวลาในการสร้าง 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 20 นาที และ 25 นาที จากนั้นนำชั้นพอร์สซิลิคอนที่ได้มาศึกษาโครงสร้าง และศึกษาค่าการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าต่อไอแอลกอฮอล์โดยการสร้างขั้วอะลูมิเนียมบนชั้นพอร์สซิลิคอน

จากการศึกษาผลของค่าความหนาแน่นของกระแสในการแอนโนไดซ์เซชันที่ $5\text{-}25 \text{ mA/cm}^2$ โดยกำหนดเวลาในการแอนโนไดซ์เซชันที่ 10 นาที พบว่าจากเงื่อนไขข้างต้นที่ความหนาแน่นของกระแสในการแอนโนไดซ์เซชันที่ 10 mA/cm^2 จะให้ค่าการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าต่อไอแอลกอฮอล์สูงสุด โดยวัดการเพิ่มขึ้นของกระแสไฟฟ้าได้ประมาณ $2.35 \times 10^{-3} \text{ A}$ จากนั้นนำค่าการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการทดลองในส่วนแรกคือ 10 mA/cm^2 มาศึกษาผลของเวลาในการแอนโนไดซ์เซชันในช่วง $5\text{-}25$ นาที พบว่าเมื่อใช้เวลาในการแอนโนไดซ์เซชันที่ 10 นาที มีปริมาณกระแสไฟฟ้าที่วัดได้เมื่อเปิดไอแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้นจากกระแสไฟฟ้าขณะปิดไอแอลกอฮอล์สูงสุด โดยวัดการเพิ่มขึ้นของกระแสไฟฟ้าได้ประมาณ $2.35 \times 10^{-3} \text{ A}$ ดังนั้นในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงใช้เงื่อนไขในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนที่ความหนาแน่นของกระแสไฟฟ้าที่ 10 mA/cm^2 ระยะเวลาในการกัด 10 นาที ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่ให้ค่าการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าต่อไอแอลกอฮอล์สูงสุดจากการทดลองข้างต้น

จากนั้นทำการศึกษาระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าของอุปกรณ์ตรวจจับ ที่ระยะ $500 \text{ }\mu\text{m}$, $1000 \text{ }\mu\text{m}$, $1500 \text{ }\mu\text{m}$, $2000 \text{ }\mu\text{m}$ และ $2500 \text{ }\mu\text{m}$ ตามลำดับ พบว่าอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่มีระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าที่ $1000 \text{ }\mu\text{m}$ เป็นระยะที่เหมาะสมในการดูดซับไอแอลกอฮอล์โดย

พิจารณาได้จากปริมาณกระแสไฟฟ้าที่วัดได้เมื่อเปิดไอแอลกอฮอล์เพิ่มขึ้นจากกระแสไฟฟ้าขณะเปิดไอแอลกอฮอล์สูงที่สุด โดยวัดการเพิ่มขึ้นของกระแสไฟฟ้าได้ประมาณ 2.7×10^{-3} A ซึ่งถือเป็นค่าการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าสูงสุด ทำให้ลดผลกระทบของสัญญาณรบกวนที่มีต่อค่ากระแสอิมพัลส์ที่วัดได้ จากผลการทดลองนี้จะได้ทำการสร้างขั้วไฟฟ้าที่มีระยะห่างระหว่างขั้วที่ $1000 \mu\text{m}$ เพื่อใช้ในการศึกษาสมบัติการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ของเซ็นเซอร์ชนิดคอนเดนซิ่งในอุปกรณ์ตรวจจับ

ขั้นต่อมาจึงได้ทำการศึกษาผลของอัตราการไหลของไอแอลกอฮอล์ที่เข้าสู่อุปกรณ์ตรวจจับโดยที่การศึกษาอัตราการไหลที่ 1 l/min ,3 l/min ,5 l/min ,7 l/min และ 9 l/min พบว่าอัตราการไหลที่ 9 l/min จะใช้ระยะเวลาที่จะทำให้ค่าการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าถึงจุดอิมพัลส์เมื่อทำการเปิดไอแอลกอฮอล์สั้นที่สุดประมาณ 90 วินาที เพื่อที่จะเป็นการลดระยะเวลาในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ให้สั้นลง จึงได้ใช้อัตราการไหลนี้ในการทดลองในขั้นต่อไป

การทดลองในส่วนต่อไปจะได้ทำการศึกษาผลของความเข้มข้นของไอแอลกอฮอล์พบว่าเมื่อใช้ไอน้ำ (0 mg%) ในการตรวจวัด การค่ากระแสไฟฟ้าอิมพัลส์มีค่าสูงที่สุด และเมื่อเพิ่มความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ (mg%) ในสารละลายมากขึ้น อุปกรณ์ตรวจจับแสดงค่าการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าอิมพัลส์ที่ลดลงตามลำดับ และจะใช้ระยะเวลาการอิมพัลส์ของกระแสไฟฟ้าในการวัดเพิ่มมากขึ้นตามลำดับเช่นกัน ไอน้ำนั้นเมื่อเกิดการควบแน่นภายในรูพรุนด้วยค่าการนำกระแสไฟฟ้าที่สูงของน้ำมากกว่าแอลกอฮอล์จึงทำให้น้ำมีค่าการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าสูงสุด แต่เนื่องจากน้ำนั้นมี $[\text{H}_3\text{O}^+] = [\text{OH}^-]$ ทำให้การเหนี่ยวนำให้เกิดสถานะควิวกว่าในกรณีของไอแอลกอฮอล์อยู่มาก จึงกล่าวได้ว่าการนำไฟฟ้าของไอน้ำนั้นเกิดจากการควบแน่นของของเหลวภายในรูพรุนเป็นหลักทำให้เกิดช่องทางเดินกระแสที่ผิวหน้าเพิ่มมากขึ้นทำให้น้ำกระแสได้สูงสุดขึ้นนั่นเอง

ในส่วนสุดท้ายทำการวัดไอของสารเคมีต่างชนิด พบว่าค่าการอิมพัลส์ของกระแสไฟฟ้าในสารแต่ละชนิดจะแตกต่างกัน โดยพบว่าไอน้ำนั้นจะมีค่าการอิมพัลส์ของกระแสไฟฟ้าสูงสุดรองลงมาคือไอไอโซโพรพิลแอลกอฮอล์, ไออะซิโตน และไอเอทานอล ตามลำดับ จึงสามารถกล่าวได้ว่าอุปกรณ์ตรวจจับนี้เป็นแบบไม่จำเพาะเจาะจงต่อไอแอลกอฮอล์ แต่จะสามารถตรวจจับไอของสารเคมีต่างชนิดได้โดยแสดงจากค่าการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป

โดยจากการทดลองข้างต้นทั้งหมดจะพบว่า จากการศึกษาสมบัติการตรวจจับไอแอลกอฮอล์อุปกรณ์ตรวจจับที่ใช้เซ็นเซอร์ชนิดคอนเดนซิ่ง ที่ได้ทำการสร้างขึ้นนั้นมีค่าการตอบสนองกระแสไฟฟ้าที่ค่อนข้างสูงโดยอยู่ในระดับมิลลิแอมป์ จึงทำให้อุปกรณ์ตรวจจับจะได้รับผลจากสัญญาณรบกวนได้ยาก ทำให้การวัดมีประสิทธิภาพขึ้นซึ่งนี่จะเป็นข้อได้เปรียบของงานวิจัยนี้ ซึ่งเป็นการพัฒนาต่อยอดจากงานวิจัยที่มีอยู่เดิม

บรรณานุกรม

- [1] วรวิทย์ พัฒนอาจกุล, “การศึกษาผลของชั้นพอร์สซิลิคอนโดยวิธีแอดโซร์ชันในอุปกรณ์ตรวจจับไอของแอลกอฮอล์,” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมวิชาไมโครอิเล็กทรอนิกส์, บัณฑิตวิทยาลัย, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2549.
- [2] K. Watanabe, T. Okada, I. Choe, Y. Sato, “Organic vapor sensitivity in a porous silicon device,” *Sensor and Actuators B* 33, pp. 194-197, 1996.
- [3] W.M. Kwok, Y.C. Bow, W.Y. Chan, M.C. Poon, P.G. Han, H. Wong, “Study of porous silicon gas sensor,” *IEEE*, pp. 80-83, 1999.
- [4] Seong-Jeen Kin, Sang-Hoon Lee, “Organic vapor sensing by current response of porous silicon layer,” *IOP Publishing Ltd.*, pp. 3505-3509, 2001.
- [5] M.B. Chohrin and A. Kurex, “Adsorbance effects on photoluminescence and electrical conductivity of porous silicon,” *Appl. Phys. Lett.*, v-64, pp. 481-483, 1994.
- [6] A. Richter, “Design consideration and performance of adsorptive humidity sensor with capacitive readout,” *The 7th Int. Conf. Solid-State Sensor and Actuators. Transducers’93, Yokohama Japan*, 1993.
- [7] Canham L. T., “Silicon quantum wire array fabrication by electrochemical and chemical dissolution of wafer,” *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 57, 1046-8, 1990.
- [8] W.Lang, P.Steiner and H.Sandmaier, “Porous silicon : a novel material for micro system,” *Sensor and actuators*, A 21-23, 835-9, 1995.
- [9] Leigh canham, “Properties of porous silicon,” *IEE Inspec*, pp.1-43, 1997.
- [10] C. Tsai, K.H. Li, J. Sarathy, J.C. Campbell, B.K. Hance and J.M. White, “Thermal treatment studies of the photoluminescence intensity of porous silicon,” *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 59, pp. 2814-2816, 1992.
- [11] C. Tsai, K.H. Li, D.S. Kinosky, R.Z. Qian, T.C. Hus, J.T. Irby, S.K. Banerjee, A.F. Tasch and J.C. Campbell, “Correlation between silicon hydride specie and the photoluminescence intensity of porous silicon,” *Appl. Phys. Lett.*, Vol. 60, pp. 1700-1702, 1992.

- [12] Y. Kanemitsu, T. Matsumoto, T. Futagi and H. Mimura, “**Hydrogen termination and optical properties of porous silicon : photochemical etching effect,**” Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 32, Part 1, No. 1B, pp. 411–414, 1993.
- [13] H.F. Wolf, “**Semiconductors willey-interscience a division of Jonhn & Sons,**” pp. 50, 1917.
- [14] H. Takagi, M. Mitome, R. Yano and T. Nakagiri, “**Microwave plasma depositon,**” Solid State Phys, Vol. 27, pp. 875, 1992.
- [15] Y. Kanemitsu, T. Ogawa, K. Shiraishi and K. Takeda, “**Nanocrystalline: Laser breakdown,**” Phy. Rev., B48 , pp. 4883, 1993.
- [16] T. Kawaguchi and S. Miyazima, Japan J., “**Laser breakdown in pure SiH₄,**” Appl. Phys. Vol. 32, pp. L215, 1993.
- [17] R.E. Hummel, A. Morrone, M. Ludwing and S.S. Chang, “**High-frequency spark discharge**” Appl. Phys. Lett., Vol. 63, pp. 2771, 1993.
- [18] H.M. Ludwig, E. E. Hummel and M. Stora, “**Thin Solid Films,**” Vol. 255, pp. 103, 1995.
- [19] สรวิศ มุ่งการนา, สมเกียรติ สุขเกษ และ สุรศักดิ์ เนียมเจริญ, “**การเลือกสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนเฉพาะที่โดยวิธีการกัดด้วยอมสึ,**” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า, ครั้งที่ 28, เล่ม 2, หน้า 1109-1112, 2548.
- [20] Z. Gaburro, N. Daldosso and L. Pavesi, “**Porous silicon,**” Dipartimento di Fisica, Università di Trento, Via Sommarive 14, I-38050.
- [21] วรวิทย์ พัฒนอาจกุล, สุรศักดิ์ เนียมเจริญ และ นรินทร์ อติวงศ์แสงทอง, “**ผลกระทบของผสมเอทานอลในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนโดยวิธีแอโนไดเซชัน,**” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า, ครั้งที่ 28, เล่ม 2, หน้า 1101-1104, 2548.
- [22] Y. Kanemitsu, “**Light emission from porous silicon and related materials,**” Physics reports, Vol. 263, No. 1, pp.8, 1995.
- [23] T.E. Jenkin, “**Semiconductor science growth and characterization techniques,**” pp.177.
- [24] Y. Kang and J. Jorne, “**Porous silicon formation : Morphological Stability Analysis,**” Appl. Phys. Lett., Vol. 62, No. 8, pp. 2224 – 2226, 1993.
- [25] W. Lang, P. Steiner, H. Sandmaier, “**Porous silicon: anovel for Microsystems,**” Sensor and Acturators A51, pp. 31-36, 1995.
- [26] V. Lehmann and U. Gosele, “**Porous silicon formation : A Quantum wire effect,**” Appl. Phys. Lett., Vol. 58, No. 8, pp. 856 – 858, 1991.

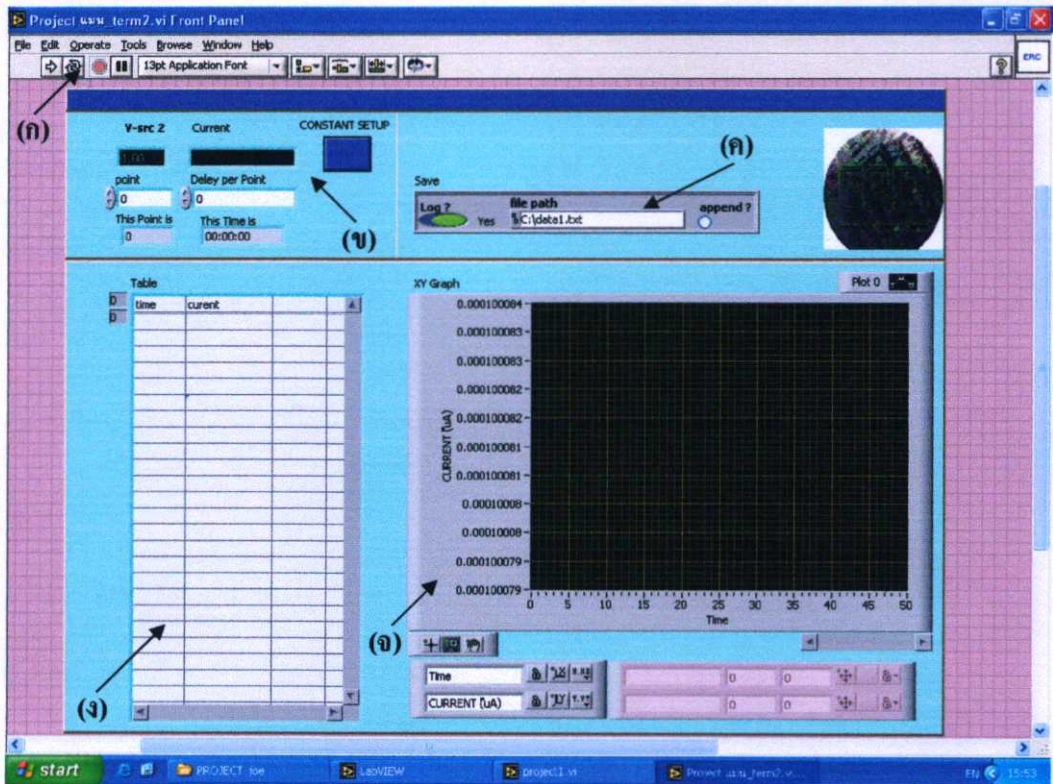
- [27] J. Singh, **“Semiconductor optoelectronics physic and technology,”** Mcgraw-hill international edition, pp. 339, 1992.
- [28] สุรศักดิ์ ปรีดิชัยกุล , **“การวัดระดับแอลกอฮอล์ในเลือดโดยวิธีเป่าลมหายใจ,”** กองรังสี และเครื่องมือแพทย์ กรมวิทยาศาสตร์การแพทย์กระทรวงสาธารณสุข, [www.dmsc.moph.go. th/webroot/radiation/thad/Download/ALCOHOLG1](http://www.dmsc.moph.go.th/webroot/radiation/thad/Download/ALCOHOLG1).
- [29] S. Lowell and Joan E. Shields, **“Powder surface area and porosity,”** Third edition, pp. 1-9,1991.
- [30] Roland N. Horne, Henry J. Ramey, Jr., Shubo Shang, Antonio Correa, John Horn brook, **“Improving models of vapor-dominated geothermal fields:The effects of adsorption,”** New Zeland Geothermal Workshop, pp. 1-6, 1994.
- [31] Greg Thiele, **“Characterrization of ceramic materials:Por-size distribution,”**American Ceramic Society Bulletin, Vol. 84, No.8, 2005
- [32] Erica J. Wanless and Hugo K. Christenson, **“Interaction between surfaces in ethanol : Adsorption, capillary condensation, and solvation forces,”** Chem. Phys. pp. 2460-4267,1994.
- [33] Markus Tuller, Dani Or, and Lynn M. Dudley, **”Adsorption and capillary condensation in porous media : Liquid retention and interfacial configurations in angular pores,”** Water Resorrces Research, Vol. 35, No. 7, pp.1949–1964, 1999.
- [34] S.Z. Qiao, S.K. Bhatia, X.S. Zhao **“Prediction of multilayer adsorption and capillary condensation phenomena in cylindrical mesopores,”** Elsevier Inc., pp. 287–298, 2003.
- [35] D. Stievenard and D. Deresm, **“Electrical properties of an aluminum-porous silicon junction governed by dangling bonds,”** IEMN, UMR 9929, 1570-1572, 1995.
- [36] C. J. Oton, L. Pancheri, Z. Gaburro1, L. Pavesi1, C. Baratto, G. Fagliaand, G. Sberveglieri, **“Multiparametric porous silicon gas sensors with improved quality and Sensitivity.”** Phys.stat.sol(9)., Vol.2, pp.523-27, 2003.
- [37] Zeno Gaburro, Claudio J. Oton, and Lorenzo Pavesi, **“Opposite effects of NO₂ on electrical injection in porous silicon gas sensors,”** Appl. Phys. Lett., Vol. 84, No. 22, 2004.
- [38] Yu. A. Vashpanov, **“Adsorption sensiyivity of microporous silicon to organic and biomelecules with high dipole moment,”** Plenary reports, vol. 1, pp. 40-41, 2002.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

โปรแกรมที่ใช้ในการวัดลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลา

ก.1 โปรแกรมที่ใช้ในการวัดลักษณะสมบัติกระแสต่อเวลา

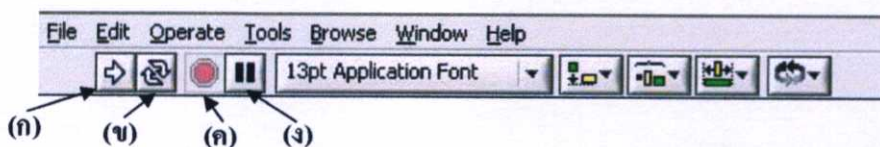


รูปที่ ก.1 ภาพหน้าจอของของโปรแกรมที่ใช้ในการวัดลักษณะสมบัติกระแสต่อเวลา โดย

- (ก) ส่วนโปรแกรม LabVIEW
- (ข) ส่วนการตั้งค่าการทำงาน
- (ค) ส่วนบันทึกผล
- (ง) ส่วนตาราง
- (จ) ส่วนแสดงกราฟ

จากรูปที่ ก.1 สามารถแบ่งโปรแกรมออกเป็นส่วนต่างๆ ได้ดังนี้

1. ส่วนโปรแกรม LabVIEW เป็นส่วนที่ใช้ในการควบคุมการทำงานหลักของโปรแกรมที่ใช้ในการวัดลักษณะสมบัติกระแสต่อเวลา แสดงดังรูปที่ ก.2



รูปที่ ก.2 ภาพส่วนโปรแกรม LabVIEW โดย

- (ก) สั่งให้โปรแกรมทำงานจนครบรอบ
- (ข) สั่งให้โปรแกรมที่เขียนขึ้นทำงานไปเรื่อยๆ
- (ค) สั่งให้โปรแกรมหยุดการทำงาน
- (ง) สั่งให้โปรแกรมหยุดการทำงานชั่วคราว

ปุ่มในการใช้งานหลักๆ ของโปรแกรมมีดังนี้

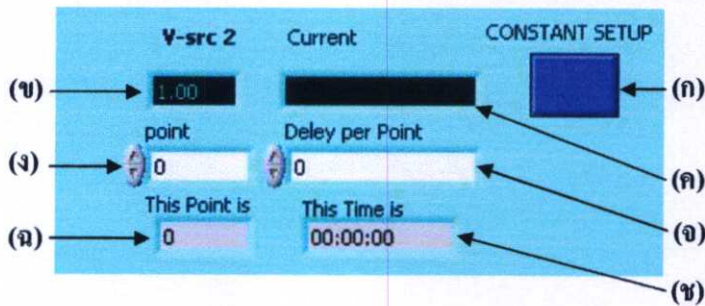
- ปุ่ม (ก) จะเป็นการสั่งให้โปรแกรมที่เขียนขึ้นทำงานจนครบรอบ หรือจนกว่าจะครบเงื่อนไขจึงออกจากโปรแกรม

- ปุ่ม (ข) จะเป็นการสั่งให้โปรแกรมที่เขียนขึ้นทำงานไปเรื่อยๆ จนกว่าจะมีการกดปุ่ม (ค) หรือปุ่ม (ง) หากโปรแกรมทำงานครบรอบ หรือครบตามเงื่อนไขแล้ว โปรแกรมที่เขียนขึ้นจะยังไม่ออกจากโปรแกรม แต่จะทำงานวนซ้ำไปเรื่อยๆ

- ปุ่ม (ค) จะเป็นการสั่งให้โปรแกรมหยุดการทำงาน และสามารถทำงานใหม่อีกครั้งเมื่อกดปุ่ม (ก)

- ปุ่ม (ง) จะเป็นการสั่งให้โปรแกรมหยุดการทำงานชั่วคราว และสามารถทำงานต่อจากเดิมเมื่อกดปุ่ม (ง)

2. ส่วนตั้งค่าการทำงานของโปรแกรมวัดลักษณะสมบัติกระแสต่อเวลา แสดงดังรูปที่ ก.3



รูปที่ ก.3 ภาพส่วนตั้งค่าการทำงานของโปรแกรม

- | | |
|--------------------------------------|--------------------------------|
| (ก) ปุ่มสั่งยืนยันการการป้อนค่าต่างๆ | (ข) ช่องกำหนดแรงดัน |
| (ค) ช่องแสดงค่าของกระแสที่วัดได้ | (ง) ช่องกำหนดจำนวนจุดของการวัด |
| (จ) ช่องกำหนดเวลาห่างระหว่างแต่ละจุด | (ฉ) ช่องแสดงจุดขณะทำการวัด |
| (ช) ส่วนแสดงเวลาขณะทำการวัด | |

ส่วนต่างๆ ในการตั้งค่าการทำงานของโปรแกรมวัดลักษณะสมบัติกระแสต่อเวลามีดังนี้

- ปุ่ม (ก) จะเป็นการสั่งยืนยันการการป้อนค่าต่างๆ ผู้ทำการวัดลักษณะสมบัติกระแสต่อแรงดัน

- ช่อง (ข) จะเป็นส่วนกำหนดแรงดันคงที่ให้กับวงจรเพื่อทำการวัดค่ากระแสที่เวลาต่างๆ

- ช่อง (ค) จะเป็นส่วนแสดงค่าของกระแสที่วัดได้

- ช่อง (ง) จะเป็นส่วนกำหนดจำนวนจุดของการวัดหรือจำนวนครั้งของการวัดค่า

- ช่อง (จ) จะเป็นส่วนกำหนดเวลาห่างระหว่างแต่ละจุดที่ต้องการวัดมีหน่วยเป็น

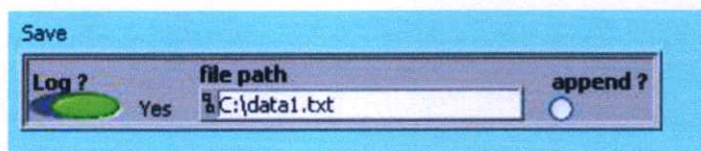
มิลลิวินาที

- ช่อง (ฉ) จะเป็นส่วนแสดงว่า เวลาขณะนั้นกำลังวัดจุดที่เท่าใด

- ช่อง (ช) จะเป็นส่วนแสดงเวลาขณะทำการวัด

3. ส่วนบันทึกผล

ส่วนนี้จะช่วยในการบันทึกข้อมูลที่วัดได้ โดยการบันทึกจะต้องกดปุ่ม Log ? ไปที่ Yes แล้วกำหนดตำแหน่งและชื่อไฟล์ที่เราต้องการบันทึก แสดงดังรูปที่ ก.4



รูปที่ ก.4 ภาพส่วนบันทึกข้อมูล

4. ส่วนตาราง

ส่วนนี้จะแสดงข้อมูลที่วัดได้ออกมาเป็นตารางให้ทราบข้อมูล โดยข้อมูลที่แสดงออกมานี้ จะแสดงเมื่อการทำงานของโปรแกรมสิ้นสุดลงแล้ว ซึ่งค่าในตารางจะมี 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นเวลา และส่วนที่เป็นค่าที่วัดได้

5. ส่วนแสดงกราฟ

ส่วนนี้จะแสดงผลของข้อมูลออกมาเป็นกราฟเพื่อให้สะดวกแก่การสังเกตค่า และสามารถดูรายละเอียดของข้อมูลที่วัดออกมาได้

ภาคผนวก ข
ค่าคงที่ทางฟิสิกส์

ตารางที่ ข.1 ค่าคงที่ทางฟิสิกส์ที่ใช้ในวิทยานิพนธ์นี้

พารามิเตอร์	สัญลักษณ์	ค่า	หน่วย
ค่าคงที่ของพลังค์	h	6.626×10^{-34}	J-sec
ความเร็วแสงในสุญญากาศ	c	3×10^8	m/sec
ประจุไฟฟ้าของอิเล็กตรอน	q	1.602×10^{-19}	C
ค่าคงที่โบสค์มันน์	k	1.38×10^{-23}	J/K
เปอร์มิติวิตีในสุญญากาศ	ϵ_0	8.854×10^{-14}	F/cm
เปอร์มิติวิตีของสารกึ่งตัวนำ (Si)	ϵ_s	$11.8 \epsilon_0$	F/cm
สภาพคล่องของอิเล็กตรอน (Si)	μ_n	1350	$\text{cm}^2/\text{V-sec}$

ภาคผนวก ก

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวิทยานิพนธ์นี้

- [1] สุรศักดิ์ เนียมเจริญ, ชินรัตน์ อ่อนหวาน, นรินทร์ อติวงศ์แสงทอง และ วิสุทธิ์ ฐิติรุ่งเรือง
“การประยุกต์ใช้งานชั้นพอร์ซิลิคอนเป็นเซ็นเซอร์ตรวจจับไอของแอลกอฮอล์,” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 30, เล่ม 2, หน้า 986-988, 2550.
- [2] S. Nemcharoen, **C Onwan**, N. Atiwongsangthong, K. Sato, W. Titiroongruang, S. Supadech
“Application of Nanoporous Silicon for Alcohol Vapor Sensor,” Malaysia-Japan International Symposium on Advanced Technology ,2007.
- [3] S. Nemcharoen, **C Onwan**, A.Pankiew , N. Atiwongsangthong, W. Titiroongruang
“Investigation on suitable condition of p-type porous silicon layer by electrochemical anodization process for alcohol vapor sensor,” Science and technology for global challenges 34th, 2008.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นางสาวชินรัตน์ อ่อนหวาน
วัน เดือน ปีเกิด	4 ตุลาคม 2525 ที่กรุงเทพมหานคร
ที่อยู่	1564/21 บางซื่อ กทม. 10800
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2549 วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1.) สิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ 2.) พอร์สซิลิคอน

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวิทยานุกราน

- [1] สุรศักดิ์ เนียมเจริญ,ชินรัตน์ อ่อนหวาน, นรินทร์ อติวงศ์แสงทอง และ วิสุทธิ์ จูติรุ่งเรือง
“การประยุกต์ใช้งานชั้นพอร์สซิลิคอนเป็นเซ็นเซอร์ตรวจจับไอของแอลกอฮอล์,” การ
ประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 30, เล่ม 2, หน้า 986-988, 2550.
- [2] S. Nemcharoen, C Onwan, N. Atiwongsangthong, K. Sato, W. Titiroongruang, S. Supadech
“Application of Nanoporous Silicon for Alcohol Vapor Sensor,” Malaysia-Japan
International Symposium on Advanced Technology ,2007.
- [3] S. Nemcharoen, C Onwan, A.Pankiew , N. Atiwongsangthong, W. Titiroongruang
“Investigation on suitable condition of p-type porous silicon layer by electrochemical
anodization process for alcohol vapor sensor,” Science and technology for global
challenges 34 th,2008.