

การศึกษาผลของชั้นพอร์สซิลิคอนที่สร้างขึ้นโดยเซลล์ไฟฟ้าเคมีแบบกึ่งคู่
สำหรับอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของแอลกอฮอล์

A STUDY ON EFFECT OF POROUS SILICON LAYER FABRICATED BY
DOUBLE TANK ELECTROCHEMICAL CELL FOR ALCOHOL VAPOR SENSOR



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไมโครอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2558

KMITL-2015-EN-M-043-146

การศึกษาผลของชั้นพอร์สซิลิคอนที่สร้างขึ้นโดยเซลล์ไฟฟ้าเคมีแท่งคู่
สำหรับอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของแอลกอฮอล์

A STUDY ON EFFECT OF POROUS SILICON LAYER FABRICATED BY
DOUBLE TANK ELECTROCHEMICAL CELL FOR ALCOHOL VAPOR SENSOR



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไมโครอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2558

KMITL-2015-EN-M-043-146

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A STUDY ON EFFECT OF POROUS SILICON LAYER FABRICATED BY
DOUBLE TANK ELECTROCHEMICAL CELL FOR ALCOHOL VAPOR SENSOR



PHATTHANAPHONG PHROMKET

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

2015

KMITL-2015-EN-M-043-146

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2015

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การศึกษาผลของชั้นพอร์สซิลิคอนที่สร้างขึ้นโดยเซลล์ไฟฟ้าเคมีแบบคู่สำหรับอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของแอลกอฮอล์

Thesis Title A Study on Effect of Porous Silicon Layer Fabricated by Double Tank Electrochemical Cell for Alcohol Vapor Sensor

นักศึกษา นายพัฒนพงษ์ พรหมเกตู



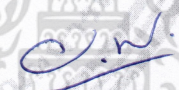
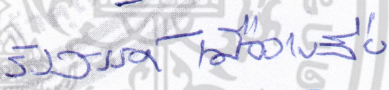
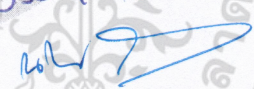
รหัสประจำตัว 56601187

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมไมโครอิเล็กทรอนิกส์

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ดร.นรินทร์ อติวงศ์แสงทอง

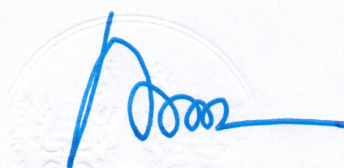
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2015-EN-M-043-146

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ผศ.ดร.สุรศักดิ์	เนียมเจริญ	
ดร.โยธิน	วงศ์ประเสริฐ	
ดร.อัมพร	โพธิ์ไย	
ดร.รังสรรค์	เมืองเหลือ	
ดร.นรินทร์	อติวงศ์แสงทอง	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันจันทร์ที่ 13 กรกฎาคม พ.ศ. 2558 เวลา 10.00-12.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคารเฉลิมพระเกียรติใหม่ ห้อง HM-305

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว


(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ใดที่เห็นประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
วันที่ 13 กรกฎาคม พ.ศ. 2558 การนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การศึกษาผลของชั้นพอร์สซิลิคอนที่สร้างขึ้นโดยเซลล์ไฟฟ้าเคมี แท่งกึ่งสำหรับอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของแอลกอฮอล์
นักศึกษา	นายพัฒนพงษ์ พรหมเกต
รหัสประจำตัว	56601187
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไมโครอิเล็กทรอนิกส์
พ.ศ.	2558
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ดร.นรินทร์ อติวงศ์แสงทอง

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จะกล่าวถึงกระบวนการสร้างและศึกษาลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าของชั้นพอร์สซิลิคอนที่สร้างขึ้นโดยใช้แผ่นซิลิคอนชนิดพี ระบาย (100) ที่มีค่าความต้านทานแผ่น 9-11 โอห์ม-เซนติเมตร ความหนา 625 ไมโครเมตร ทำการสร้างด้วยวิธีที่แตกต่างกัน พบว่าการสร้างด้วยชุดกัดเซลล์แท่งกึ่งแวนอนกับแผ่นซิลิคอนที่ไม่เคลือบลูมิเนียม มีการเกิดชั้นพอร์สซิลิคอนอย่างสม่ำเสมอที่สุด เนื่องจากชุดกัดชนิดนี้มีการสัมผัสกันของสารละลายทั้งสองด้านของแผ่นซิลิคอน จึงทำให้มีการกระจายตัวของกระแสไฟฟ้าได้ดี จึงเกิดการกัดชั้นพอร์สซิลิคอนได้สม่ำเสมอทั่วบริเวณที่ทำการสร้าง จากนั้นทำการศึกษาผลกระทบของความเข้มข้นสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกพบว่า การผสมกันระหว่างสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกกับเอทานอลที่อัตราส่วน 4:1 โดยปริมาตรนั้น จะมีการลดแรงดึงผิวของฟองก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นขณะทำการสร้าง ทำให้เกิดการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนได้สม่ำเสมอที่สุด และได้ชั้นพอร์สซิลิคอนที่แข็งแรงไม่เปราะบางแตกหักง่าย จากนั้นทำการศึกษาโดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ต่างกันตั้งแต่ 5 mA/cm^2 ถึง 25 mA/cm^2 และ ใช้เวลาในการแอนโนไดซ์เซชันที่ต่างกันตั้งแต่ 5 นาที ถึง 25 นาที พบว่า ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าและเวลาในการแอนโนไดซ์เซชัน จะส่งผลกระทบต่อค่าความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอน โดยเมื่อทำการเพิ่มค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า หรือเวลาในการแอนโนไดซ์เซชัน จะส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนนั้นเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และในการศึกษาสุดท้ายเราได้ทำการนำชั้นพอร์สซิลิคอนที่เปอร์เซ็นต์ความพรุนต่างกัน มาทำการทดสอบตรวจจับไอระเหยของแอลกอฮอล์ โดยการจ่ายไอแอลกอฮอล์ที่อัตราการไหล 1 ลิตรต่อนาที และไบอัสแรงดันให้กับอุปกรณ์ตรวจจับที่ 20 โวลต์ พบว่าที่เปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอน 64.1% มีการตอบสนองต่อไอระเหยของแอลกอฮอล์ได้ดีที่สุด ซึ่งใช้เวลาในการอิมมูบิลิตี้ของกระแสไฟฟ้าเพียง 7 วินาที จากการศึกษาจึงสรุปได้ว่าชั้นพอร์สซิลิคอนนั้นมีความสมบัติที่เหมาะสม ที่จะนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุพื้นฐานในการสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของแอลกอฮอล์ต่อไป

Thesis	A Study on Effect of Porous Silicon Layer Fabricated by Double Tank Electrochemical Cell for Alcohol Vapor Sensor
Student	Mr. Phatthanaphong Phromket
Student ID.	56601187
Degree	Master of Engineering
Program	Microelectronics Engineering
Year	2015
Thesis Advisor	Dr. Narin Atiwongsangthong

ABSTRACT

This thesis mention in the process of creating and studying the electrical properties of porous silicon layers that are formation by silicon P-type (100) resistivity 9-11 Ω -cm thickness 625 μ m. Fabricated by a different way. It was found that Fabricated by double tank electrochemical cells with a silicon non-coated aluminum. A porous silicon layer evenly as possible. Because there are exposed to HF-solution on both sides of a sheet of silicon. As a result of the distribution of electrical as well. Therefore the porous silicon etched layer that all border. Then, study the effects to concentration of hydrofluoric acid solution, founded. The mixture of hydrofluoric acid solution with ethanol at a ratio of 4:1 by volume. The surface removed surface tension of bubbles of hydrogen that occurs during formation. Resulting in the creation of the porous silicon has the most uniformly. The porous silicon layer that strong, not fragile, not easily broken. So that to used current density varies from 5 mA/cm² to 25 mA/cm², and take time in an anodization process applications varies from 5 minutes to 25 minutes showed that the current density and time for anodization will affect the porosity of the porous silicon layer when increased the current density or increased time for anodization process applications that will result in a layer of porous silicon percent porosity is increased accordingly. Finally, we used porous silicon layers percent porosity was different to test the detect vapors of alcohol. An alcohol was flowed by vapor at the rate of 1 L/min and a bias voltage to the detector at 20 V. found that the percent of porous silicon layers at 64.1% had a best responded to detected the alcohol then, The saturation of the electrical generated in just 7 seconds. The study concluded that porous silicon layers that are eligible to be applied as basic materials to make a device to detect alcohol vapors.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.นรินทร์ อติวงศ์แสงทอง ที่ช่วยวางแผน วางแนวทางในการดำเนินงานวิจัย ให้ความช่วยเหลือ ให้คำชี้แนะช่วยแก้ปัญหา ตลอดจนให้ความรู้และให้ประสบการณ์ในการวิจัยที่ดีแก่ข้าพเจ้า จนสำเร็จตามวัตถุประสงค์ที่ได้วางไว้ จึงต้องขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษาเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้ด้วย

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร.วิสุทธิ์ ฐิติรุ่งเรือง ในการแนะนำอาจารย์ที่ปรึกษาให้แก่ข้าพเจ้า และได้ประสิทธิประสาทวิชาการ ความรู้ความสามารถ อบรมสั่งสอนให้มีความรักสามัคคีในหมู่คณะ และถ่ายทอดประสบการณ์การในการใช้ชีวิตที่ดีให้แก่ข้าพเจ้าเพื่อนำไปเป็นแบบอย่างที่ดีในการดำเนินชีวิตต่อไป

ขอขอบพระคุณ ผศ.ดร.สุรศักดิ์ เนียมเจริญ ในการถ่ายทอดความรู้วิชาการ แนะนำทักษะในการเสนอผลงานทางวิชาการทำให้ข้าพเจ้ามีทักษะในการนำเสนอที่ดีขึ้น และให้ความอนุเคราะห์สนับสนุนชิลิคอนเวเฟอร์ที่ทำการเคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังแผ่นทำให้งานวิจัยนี้มีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบคุณ อาจารย์ทุกท่านในหลักสูตรการศึกษานี้ที่ได้มอบความรู้ ความสามารถ ทางด้านวิชาการ และประสบการณ์ที่แสนดีให้แก่ข้าพเจ้า

ขอขอบคุณศูนย์เทคโนโลยีไมโครอิเล็กทรอนิกส์ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการให้ความช่วยเหลือตัดแผ่นชิลิคอนเพื่อนำมาสร้างชิ้นงานพอร์ซซิลิคอน

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ร่วมสาขาวิชาทุกคนที่คอยช่วยเหลือ แนะนำทางการเรียน ตลอดจนกำลังใจและความช่วยเหลือต่างๆ อันเป็นประโยชน์ในการทำงานวิจัยนี้

ขอขอบพระคุณ รศ.ดร. วราวุฒิ เถาถัดดา และ รศ.ดร. อารีย์ วิเชียรฉาย อาจารย์ที่ปรึกษา ขณะศึกษาในระดับปริญญาตรี ผู้ซึ่งให้วิชาความรู้ความสามารถและให้แรงบันดาลใจในการศึกษาต่อ เพื่อพัฒนาศักยภาพที่มีให้สูงยิ่งขึ้น ตลอดจนครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า สำหรับคุณงามความดีอันใดที่เกิดจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้กับบิดามารดา ซึ่งเป็นที่รักและเคารพยิ่งของข้าพเจ้า

พัฒนพงษ์ พรหมเกตุ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.3 สมมติฐานของงานวิจัย.....	2
1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย.....	3
บทที่ 2 พอร์สซิลิคอน.....	4
2.1 ทฤษฎีพอร์สซิลิคอน.....	4
2.1.1 โครงสร้างของพอร์สซิลิคอน	4
2.1.2 การแบ่งประเภทของพอร์สซิลิคอน.....	5
2.1.3 ลักษณะแถบพลังงานของพอร์สซิลิคอน.....	7
2.2 เทคนิคการสร้างพอร์สซิลิคอน	10
2.2.1 การสร้างพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการกัดแบบย้อมสี (stain etching).....	11
2.2.2 การสร้างพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการกัดทางไฟฟ้าเคมี (anodization).....	12
2.3 เซลล์ไฟฟ้าเคมี.....	14
2.3.1 ลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้าภายในเซลล์ไฟฟ้าเคมี.....	15
2.3.2 ลักษณะแถบพลังงานบริเวณสัมผัสระหว่างแผ่นซิลิคอนกับสารละลาย กรดไฮโดรฟลูออริก	19
2.3.3 การกระจายตัวของศักดาไฟฟ้าภายในเซลล์ไฟฟ้าเคมี.....	20
2.4 กลไกในการเกิดพอร์สซิลิคอน	22
2.4.1 ปฏิกิริยาเคมีในการกัดบริเวณผิวของแผ่นซิลิคอน	22
2.4.2 การเกิดรูพรุนของพอร์สซิลิคอน.....	24
2.4.3 กลไกในการหยุดกัดโครงสร้างของพอร์สซิลิคอน	29
2.5 ความพรุนของพอร์สซิลิคอน	31

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การตรวจจับไอแอลกอฮอล์ของชั้นพอร์สซิลิคอน.....	33
3.1 นิยามของเซนเซอร์	33
3.1.1 เซนเซอร์ทางเคมี (chemical sensors).....	33
3.1.2 เซนเซอร์ทางฟิสิกส์ (physical sensors).....	34
3.2 หลักการตรวจจับไอแอลกอฮอล์	34
3.3 หลักการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ของชั้นพอร์สซิลิคอน	35
3.3.1 หลักการดูดซับและควบแน่นในรูพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอน.....	36
3.3.2 หลักการเหนี่ยวนำพาหะบริเวณผิวและการนำไฟฟ้าของชั้นพอร์สซิลิคอน...	40
บทที่ 4 กระบวนการสร้างและเครื่องมือที่ใช้ในการวัด	44
4.1 กระบวนการสร้างพอร์สซิลิคอน.....	44
4.1.1 การสร้างพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการกัดทางไฟฟ้าเคมี	44
4.1.2 การสร้างอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอน	45
4.2 เทคนิคและเครื่องมือที่ใช้ในการวัด	49
4.2.1 การหาความสม่ำเสมอของชั้นพอร์สซิลิคอนด้วยเทคนิคการวัด ค่าความต้านทานต่อระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า.....	49
4.2.2 การหาความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนด้วยเทคนิคเปลี่ยนแปลง น้ำหนักของวัสดุ.....	50
4.2.3 ชุดเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการตรวจจับ ไอแอลกอฮอล์	51
บทที่ 5 การทดลองและผลการทดลอง	53
5.1 การทดลองเพื่อศึกษาผลของชนิดชุดกัดไฟฟ้าเคมีในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอน	53
5.1.1 การศึกษาผลของชนิดชุดกัดไฟฟ้าเคมีต่อการเรืองแสงของชั้นพอร์ส ซิลิคอนเมื่อทำการฉายแสงจากหลอดแบล็คไลท์	53
5.1.2 การศึกษาผลของชนิดชุดกัดไฟฟ้าเคมีต่อความต้านทานของชั้นพอร์ส ซิลิคอน	55
5.1.3 การศึกษาผลของชนิดชุดกัดไฟฟ้าเคมีต่อความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอน....	56
5.2 การทดลองเพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกในการ สร้างชั้นพอร์สซิลิคอน.....	58
5.2.1 การศึกษาผลของความเข้มข้นสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อการเรืองแสง ของชั้นพอร์สซิลิคอนเมื่อทำการฉายแสงจากหลอดแบล็คไลท์	58

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
5.2.2 การศึกษาผลของความเข้มข้นสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อความ ต้านทานของชั้นพอร์ซซีลิกอน.....	60
5.2.3 การศึกษาผลของความเข้มข้นสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อความพ ของชั้นพอร์ซซีลิกอน.....	61
5.3 การทดลองเพื่อศึกษาผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการสร้างชั้น พอร์ซซีลิกอน.....	63
5.3.1 การศึกษาผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่อการเรืองแสงของชั้น พอร์ซซีลิกอนเมื่อทำการฉายแสงจากหลอดแบล็คไลท์.....	63
5.3.2 การศึกษาผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่อความต้านทานของชั้น พอร์ซซีลิกอน.....	65
5.3.3 การศึกษาผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่อความพ ของชั้นพอร์ซซีลิกอน.....	66
5.4 การทดลองเพื่อศึกษาผลของเวลาในการแอโนไดซ์เซชันในการสร้างชั้น พอร์ซซีลิกอน.....	68
5.4.1 การศึกษาผลของเวลาในการแอโนไดซ์เซชันต่อการเรืองแสงของชั้น พอร์ซซีลิกอนเมื่อทำการฉายแสงจากหลอดแบล็คไลท์.....	68
5.4.2 การศึกษาผลของเวลาในการแอโนไดซ์เซชันต่อความต้านทานของชั้น พอร์ซซีลิกอน.....	69
5.4.3 การศึกษาผลของเวลาในการแอโนไดซ์เซชันต่อความพ ของชั้นพอร์ซซีลิกอน.....	71
5.5 การทดลองเพื่อศึกษาผลของชั้นพอร์ซซีลิกอนในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์.....	73
5.5.1 การศึกษาผลของค่าเปอร์เซ็นต์ความพ ของชั้นพอร์ซซีลิกอนต่อเวลา การอิมตัวของกระแสในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์.....	83
5.5.2 การศึกษาผลของค่าเปอร์เซ็นต์ความพ ของชั้นพอร์ซซีลิกอนต่อค่ากระแส อิมตัวของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์.....	84
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	87
เอกสารอ้างอิง.....	90
ภาคผนวก ก. ผลงานทางวิชาการของงานวิจัยนี้ที่ได้รับการตีพิมพ์.....	93
ประวัติผู้เขียน.....	109

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ลักษณะสำคัญที่เกิดขึ้นเนื่องจากการไบอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่แตกต่างกัน	17
5.1 ค่าความต้านทานของชั้นพอร์ซซิลิคอนที่ระยะห่างระหว่างขั้วที่ต่างกับกับชนิดชุดกัดไฟฟ้าเคมีที่ใช้ในการแอนโดซ์เซชัน	55
5.2 ค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนในชั้นพอร์ซซิลิคอนที่สร้างด้วยชุดกัดไฟฟ้าเคมีที่ใช้ในการแอนโดซ์เซชันแตกต่างกัน	57
5.3 ค่าความต้านทานของชั้นพอร์ซซิลิคอนที่ระยะห่างระหว่างขั้วที่ต่างกับกับอัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลที่ใช้ในการแอนโดซ์เซชัน	60
5.4 ค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนในชั้นพอร์ซซิลิคอนที่สร้างด้วยอัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลที่ใช้ในการแอนโดซ์เซชันแตกต่างกัน	62
5.5 ค่าความต้านทานของชั้นพอร์ซซิลิคอนที่ระยะห่างระหว่างขั้วต่างกับกับความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการแอนโดซ์เซชัน	65
5.6 ค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนในชั้นพอร์ซซิลิคอนที่สร้างด้วยความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการแอนโดซ์เซชันแตกต่างกัน	67
5.7 ค่าความต้านทานของชั้นพอร์ซซิลิคอนที่ระยะห่างระหว่างขั้วต่างกับกับเวลาที่ใช้ในการแอนโดซ์เซชัน	70
5.8 ค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนในชั้นพอร์ซซิลิคอนที่สร้างด้วยเวลาที่ใช้ในการแอนโดซ์เซชันแตกต่างกัน	72
5.9 ค่าเวลาการอิมตัวของกระแสในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ที่สร้างด้วยชั้นพอร์ซซิลิคอนที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนแตกต่างกัน	83

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างของพอร์สซิลิคอน (ก) ภาพพื้นผิว (ข) ภาพตัดขวาง.....	4
2.2 ภาพจำลองโครงสร้างของชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีขนาดต่างๆกัน.....	5
2.3 ภาพจำลองรูพรุนของพอร์สซิลิคอนลักษณะต่างๆกัน.....	6
2.4 ภาพจำลองรูพรุนของพอร์สซิลิคอนรูปร่างต่างๆ.....	7
2.5 ลักษณะแถบพลังงานของผลึกซิลิคอนที่จำนวนอะตอมต่างๆ.....	8
2.6 แบบจำลองลักษณะโครงสร้างทางควอนตัมแบบต่างๆ.....	9
2.7 ลักษณะแถบพลังงานของพอร์สซิลิคอนเปรียบเทียบกับผลึกซิลิคอน.....	10
2.8 ภาพตัดขวางของอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการกัดแบบย้อมสี.....	11
2.9 ภาพพื้นผิวของชั้นพอร์สซิลิคอนที่ได้จากการกัดแบบย้อมสี.....	12
2.10 ภาพตัดขวางของอุปกรณ์เซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ใช้ในกระบวนการแอโนไดซ์เซชัน.....	12
2.11 ภาพพื้นผิวของชั้นพอร์สซิลิคอนที่ได้จากกระบวนการแอโนไดซ์เซชัน.....	13
2.12 ลักษณะการไปอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมีในลักษณะต่างๆ.....	15
2.13 ลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าเคมีระหว่างแผ่นซิลิคอน.....	16
2.14 ลักษณะกระแสแรงดันไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าเคมีในส่วนที่มีการไปอัสแบบแอนดิก.....	18
2.15 ลักษณะแถบพลังงานที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างแผ่นผลึกซิลิคอนกับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก.....	19
2.16 การกระจายตัวของศักดาไฟฟ้าที่ตกคร่อมบริเวณต่างๆ ภายในเซลล์ไฟฟ้าเคมีโดยที่ d เป็นความหนาของแผ่นซิลิคอน, w เป็นความกว้างของบริเวณปลอดพาหะนำกระแส และ d_1 เป็นความกว้างของบริเวณชั้นที่เกิดการแพร่ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก....	20
2.17 ขั้นตอนและกลไกทางเคมีในการกัดเนื้อของแผ่นซิลิคอน.....	22
2.18 แบบจำลองการกัดเนื้อของผลึกซิลิคอนทั้งสองลักษณะ.....	25
2.19 การเคลื่อนที่พาหะโฮลที่ถูกดึงมารวมกันที่บริเวณก้นหลุมเนื่องจากอิทธิพลของสนามไฟฟ้า.....	25
2.20 บริเวณปลอดพาหะที่เกิดขึ้นรอบๆ ผนังของรูพรุนที่บริเวณผิวของผลึกซิลิคอน.....	26
2.21 การกระจายตัวของศักดาไฟฟ้ารอบๆ ผนังของรูพรุน.....	27
2.22 การกระจายตัวของสนามไฟฟ้ารอบๆ ผนังของรูพรุน.....	28
2.23 การกระจายตัวของกระแสรอบๆ ผนังของรูพรุน.....	28
2.24 กลไกในการหยุดกัดโครงสร้างของชั้นพอร์สซิลิคอนชนิดพี.....	29
2.25 แผนภาพบริเวณปลอดพาหะนำกระแสที่เกิดขึ้นในโครงสร้างของพอร์สซิลิคอนที่สร้างจากผลึกซิลิคอนชนิดเอ็น.....	31
2.26 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของขนาดเนื้อซิลิคอน (q) กับขนาดของรูพรุน (d) ที่มีต่อความพรุนของพอร์สซิลิคอน.....	32
2.27 แผนภาพจำลองด้านบนของโครงสร้างพอร์สซิลิคอนที่เปอร์เซ็นต์ความพรุนต่างๆกัน.....	32

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.1	ส่วนประกอบพื้นฐานของเซนเซอร์ทางเคมี..... 33
3.2	ส่วนประกอบพื้นฐานของเซนเซอร์ทางฟิสิกส์..... 34
3.3	โครงสร้างของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้เซ็นเซอร์สวิตติคอน..... 36
3.4	แบบจำลองการตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้เซ็นเซอร์สวิตติคอน..... 37
3.5	แบบจำลองการเกิดสถานะผิวที่บริเวณผิวของเซ็นเซอร์สวิตติคอน..... 40
3.6	แบบจำลองการนำไฟฟ้าของเซ็นเซอร์สวิตติคอน..... 41
3.7	ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ของเซ็นเซอร์สวิตติคอน..... 42
4.1	(ก) อุปกรณ์เซลล์ไฟฟ้าเคมีแบบเซลล์แห้งกึ่งเดียวในแนวตั้ง (ข) อุปกรณ์เซลล์ไฟฟ้าเคมีแบบเซลล์แห้งกึ่งคูในแนวนอน..... 44
4.2	ขั้นตอนการสร้างเซ็นเซอร์สวิตติคอนด้วยวิธีการสร้างที่แตกต่างกัน..... 46
4.3	ขั้นตอนการสร้างขั้วอลูมิเนียมด้วยวิธีการ lift-off..... 48
4.4	อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่ทำการสร้างขั้วไฟฟ้าด้วยวิธีการ lift-off..... 49
4.5	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานไฟฟ้ากับระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า ของเซ็นเซอร์สวิตติคอนที่มีความสม่ำเสมอ..... 50
4.6	เครื่องมือต่างๆ ที่ใช้ในการวัดอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์..... 51
4.7	หน้าจอโปรแกรมที่ใช้ในการบันทึกค่ากระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์.... 52
5.1	เซ็นเซอร์สวิตติคอนที่สร้างโดยชุดกัดไฟฟ้าเคมีต่างชนิดกัน..... 54
5.2	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างขั้วกับค่าความต้านทานของเซ็นเซอร์สวิตติคอน ที่เงื่อนไขของชนิดชุดกัดไฟฟ้าเคมีที่ใช้ในกระบวนการแอนโดซ์เซชันต่างกัน..... 56
5.3	ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดชุดกัดไฟฟ้าเคมีที่ใช้ในกระบวนการแอนโดซ์เซชัน กับเปอร์เซ็นต์ความพรุนของเซ็นเซอร์สวิตติคอน..... 57
5.4	เซ็นเซอร์สวิตติคอนที่สร้างโดยอัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลต่างกัน.. 59
5.5	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างขั้วกับค่าความต้านทานของเซ็นเซอร์สวิตติคอน ที่เงื่อนไขของอัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลที่ใช้ในการ แอนโดซ์เซชันต่างกัน..... 61
5.6	ความสัมพันธ์ระหว่างสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลที่ใช้ในการ แอนโดซ์เซชันกับเปอร์เซ็นต์ความพรุนของเซ็นเซอร์สวิตติคอน..... 62
5.7	เซ็นเซอร์สวิตติคอนที่สร้างโดยความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการแอนโดซ์เซชันต่างกัน..... 63
5.8	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างขั้วกับค่าความต้านทานของเซ็นเซอร์สวิตติคอน ที่เงื่อนไขของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการแอนโดซ์เซชันต่างกัน..... 66
5.9	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการแอนโดซ์เซชัน กับเปอร์เซ็นต์ความพรุนของเซ็นเซอร์สวิตติคอน..... 67

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.10	ชั้นพอร์สซิติคอนที่สร้างโดยเวลาในการแอนโดซ์เซชันต่างกัน 68
5.11	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างขั้วกับค่าความต้านทานของชั้นพอร์สซิติคอน ที่เงื่อนไขของเวลาที่ใช้ในการแอนโดซ์เซชันต่างกัน 71
5.12	ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการแอนโดซ์เซชันกับค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุน ของชั้นพอร์สซิติคอน..... 72
5.13	ภาพอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์จากชั้นพอร์สซิติคอน 73
5.14	ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการตอบสนองการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอล์ ของอุปกรณ์ที่ไม่มีชั้นพอร์สซิติคอน..... 73
5.15	ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการตอบสนองการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอล์ ของอุปกรณ์ที่มีชั้นพอร์สซิติคอน..... 74
5.16	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเรืองแสงของชั้นพอร์สซิติคอนกับค่ากระแสไฟฟ้า..... 75
5.17	ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการตอบสนองการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอล์ ของอุปกรณ์ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิติคอนประมาณ 24.0% 76
5.18	ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการตอบสนองการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอล์ ของอุปกรณ์ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิติคอนประมาณ 33.5% 77
5.19	ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการตอบสนองการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอล์ ของอุปกรณ์ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิติคอนประมาณ 38.7% 78
5.20	ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการตอบสนองการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอล์ ของอุปกรณ์ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิติคอนประมาณ 42.5% 79
5.21	ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการตอบสนองการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอล์ ของอุปกรณ์ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิติคอนประมาณ 51.2% 80
5.22	ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการตอบสนองการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอล์ ของอุปกรณ์ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิติคอนประมาณ 64.1% 81
5.23	ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการตอบสนองการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอล์ ของอุปกรณ์ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิติคอนประมาณ 76.5% 82
5.24	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเวลาอิมิตัวของกระแสในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์กับ เปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิติคอน..... 84
5.25	ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการตอบสนองการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอล์ ของอุปกรณ์ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิติคอนแตกต่างกัน ที่ระดับอ้างอิงเดียวกัน..... 85
5.26	ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสอิมิตัวของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ กับเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิติคอน..... 85
6.1	โครงสร้างของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์สซิติคอน ที่ได้รับการปรับปรุงแล้ว..... 81

บทที่ 1

บทนำ

การตรวจวัดปริมาณสารในด้านอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบันมีจุดมุ่งหมายสำคัญคือ การวิเคราะห์ตัวผลิตภัณฑ์หรือตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการผลิตทุกขั้นตอน ไม่ว่าจะในระหว่างการผลิตจนถึงการสิ้นสุดของกระบวนการต้องใช้รูปแบบและกระบวนการวัดที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งวิธีการวัดได้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วโดยมีทั้งการวัดในด้านกายภาพและทางด้านเคมี

พอร์สซิลิคอน (porous silicon หรือ porous Si) คือเนื้อซิลิคอนที่มีลักษณะเป็นรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก ซึ่งเป็นวัสดุที่ถูกค้นพบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1956 ในขณะที่ทำการทดลองการกัดทางไฟฟ้าเคมีของแผ่นซิลิคอนในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกโดย Uhler [1] จนมาถึงปี ค.ศ. 1990 ได้มีรายงานการค้นพบสมบัติการเปล่งแสง ณ ที่อุณหภูมิห้องของพอร์สซิลิคอนเป็นครั้งแรกโดย Canham [2] ซึ่งการค้นพบคุณสมบัติเปล่งแสงของพอร์สซิลิคอนนี้ ได้ทำให้เกิดแนวความคิดและความเป็นไปได้ที่จะนำเอาพอร์สซิลิคอนมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุพื้นฐานในการสร้างเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการสร้างพอร์สซิลิคอนค่อนข้างจะง่ายไม่ยุ่งยากซับซ้อน และสามารถเข้ากันได้กับกระบวนการสร้างวงจรรวม (Integrated Circuits : ICs) มาตรฐาน ซึ่งในปัจจุบันนี้ได้มีการค้นคว้าและวิจัยอย่างต่อเนื่องเพื่อศึกษาพอร์สซิลิคอนและนำไปประยุกต์ใช้ในงานวิจัยต่างๆ มากมาย ยกตัวอย่างเช่น ใช้ในงานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ไอโซเลชัน (electronics isolation) [3-4] โดยมีการนำเอาชั้นพอร์สซิลิคอนมาใช้งานสร้างเป็นฉนวนในงานวิจัยทางด้านซิลิคอนบนฉนวน (Silicon-On-Insulator : SOI) นอกจากนี้ยังใช้เป็นชั้นลดการสะท้อนแสงสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิคอน [5] และยังสามารถใช้เป็นตัวตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์ [6] ได้อีกด้วย

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ในปัจจุบันอุบัติเหตุบนท้องถนนเป็นสาเหตุสำคัญอันดับหนึ่งของการเสียชีวิตของคนไทย โดยเฉพาะอย่างยิ่งคนในวัยหนุ่มสาว จากการคาดการณ์หากไม่มีมาตรการรองรับแล้ว ในอนาคตตัวเลขผู้เสียชีวิตจากอุบัติเหตุบนท้องถนนจะพุ่งขึ้นสูงกว่า 3 คนต่อชั่วโมง (มากกว่า 2.6 หมื่นคนต่อปี) และเป็นที่น่าเศร้าว่าสาเหตุส่วนใหญ่กว่าครึ่งหนึ่งเกิดจากผู้ขับขี่ที่มีอาการเมาสุรา ซึ่งจากการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับแอลกอฮอล์ในเลือดกับโอกาสเกิดอุบัติเหตุพบว่าผู้ที่มีแอลกอฮอล์ในเลือดสูงกว่า 50 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ จะมีโอกาสเกิดอุบัติเหตุสูงกว่าผู้ไม่ดื่มสุราถึง 2 เท่า และหากสูงถึง 100 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ โอกาสเสี่ยงจะเพิ่มขึ้นเป็นถึง 6 เท่า เพื่อป้องกันอุบัติเหตุบนท้องถนนอันเนื่องมาจากผู้ขับขี่ขาดยานพาหนะในขณะที่มึนเมา จึงได้มีการตั้งด่านตรวจระดับแอลกอฮอล์ในเลือดของผู้ขับขี่ เพื่อให้ทราบว่าผู้ขับขี่อยู่ในสภาพที่จะสามารถขับขี่ยานพาหนะต่อไปได้อีกหรือไม่โดย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่อนำไปเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และการตรวจวัดจากปัสสาวะ ซึ่งทั้ง 3 วิธีนี้ วิธีการตรวจวัดทางลมหายใจเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากทำได้สะดวกรวดเร็ว และสามารถทราบผลได้ทันที การตรวจวัดระดับแอลกอฮอล์จากลมหายใจอาศัยหลักการที่ว่าเมื่อกระแสเลือดไหลไปที่ปอดเพื่อพอกเอาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากร่างกาย แอลกอฮอล์ในกระแสเลือดบางส่วนจะซึมผ่านเข้าไปในปอด ระดับของแอลกอฮอล์ในปอดจะสัมพันธ์โดยตรงกับระดับแอลกอฮอล์ในเลือด เมื่อหายใจออกไอของแอลกอฮอล์จะถูกขับออกมาจากปอดเช่นกัน

โครงสร้างของอุปกรณ์ตรวจจับแอลกอฮอล์ส่วนใหญ่จะใช้เซ็นเซอร์รามิก [7-9] เช่น ไททาเนียมไดออกไซด์ทำหน้าที่เป็นตัวตรวจจับไอแอลกอฮอล์ ซึ่งเซ็นเซอร์ไททาเนียมไดออกไซด์มีวิธีการสร้างที่ยุ่งยาก ต้นทุนสูง และทำงานที่อุณหภูมิ 300-500 องศาเซลเซียส

พอร์สซิลิคอนถูกนำมาประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ [10] เนื่องจากชั้นพอร์สซิลิคอนนั้นสร้างในเนื้อซิลิคอนจึงสร้างเป็นวงจรรวมได้ง่าย สามารถสร้างให้มีขนาดเล็ก ทำให้ผลิตได้เป็นจำนวนมาก ส่งผลให้ราคาต่ออุปกรณ์ถูกลง กระบวนการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนทำได้ง่าย และสามารถทำการสร้างในห้องปฏิบัติการของศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ได้

1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย

1. เพื่อศึกษาชนิดชุดกักไฟฟ้าเคมีในกระบวนการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการแอโนไดซ์เซชัน
2. ศึกษาผลของความเข้มข้นสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกที่มีผลต่อคุณภาพของชั้นพอร์สซิลิคอน
3. ศึกษาผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในกระบวนการแอโนไดซ์เซชันที่มีผลต่อคุณภาพของชั้นพอร์สซิลิคอน
4. ศึกษาผลของเวลาในกระบวนการแอโนไดซ์เซชันที่มีผลต่อคุณภาพของชั้นพอร์สซิลิคอน
5. ศึกษาผลของชั้นพอร์สซิลิคอนที่เปอร์เซ็นต์ความพรุนต่างๆ ต่อประสิทธิภาพการตอบสนองไอระเหยแอลกอฮอล์

1.3 สมมติฐานของงานวิจัย

พอร์สซิลิคอนมีคุณสมบัติที่ดีสำหรับนำมาประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของแอลกอฮอล์ โดยใช้พื้นที่ผิวที่มีลักษณะเป็นรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมากของพอร์สซิลิคอนเป็นบริเวณที่ใช้ในการตรวจจับไอระเหยแอลกอฮอล์ [11-13] เมื่อไอระเหยของแอลกอฮอล์มารวมตัวกันในรูพรุนของพอร์สซิลิคอนและส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความนำไฟฟ้า จากคุณสมบัติของวัสดุนี้จึงทำให้มีสมมติฐานว่าหากนำชั้นพอร์สซิลิคอนมาประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจจับไอแอลกอฮอล์จะก่อให้เกิดคุณสมบัติในการตอบสนองไอระเหยของแอลกอฮอล์ได้ดี

1.4 วิธีการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีและวิธีการสร้างพอร์สซิลิคอน
2. ขั้นตอนการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการแอโนไดซ์เซชัน
3. ขั้นตอนการสร้างอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของแอลกอฮอล์
4. วัดและวิเคราะห์ผลอุปกรณ์ และเปรียบเทียบผลของอุปกรณ์ในชนิดต่างๆ
5. สรุปผลการทดลอง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

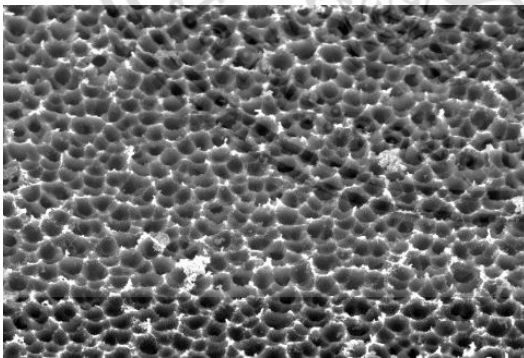
พอร์สซิลิคอน

2.1 ทฤษฎีพอร์สซิลิคอน

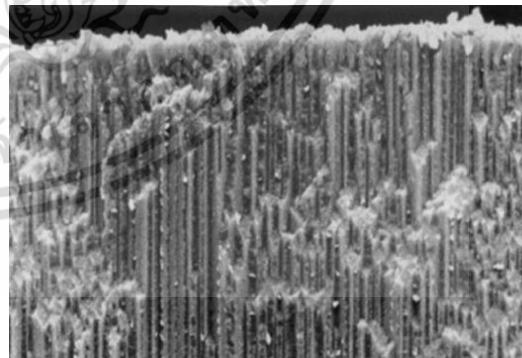
พอร์สซิลิคอนเป็นวัสดุที่มีโครงสร้างซับซ้อน มีทั้งโครงสร้างที่เป็นระเบียบและไม่เป็นระเบียบ ภายในของพอร์สซิลิคอนอะตอมนั้นนอกจากจะมีการจัดเรียงอะตอมอย่างเป็นระเบียบเหมือนกับผลึกซิลิคอนเดี่ยว แต่ยังมีจุดบกพร่องของผลึก ช่องว่าง ระยะห่างของช่องว่าง และพันธะแขนขาดกับอะตอมข้างเคียง โครงสร้างที่มีขนาดเล็กนี้สามารถพบได้ 2 รูปแบบ คือ จุด และแท่ง หรือเป็นแบบผสม ผลึกขนาดเล็กระดับนาโนเมตรนี้มีลักษณะแข็งแรงเปราะ และมีรูพรุน พอร์สซิลิคอนจึงเป็นวัสดุที่น่าสนใจ มีบทความจำนวนมากพยายามอธิบายถึงคุณสมบัติทางด้านเคมีและฟิสิกส์ของพอร์สซิลิคอน [14-16] และได้นำพอร์สซิลิคอนมาประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวางในด้านต่างๆ เช่น ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ ทางด้านการแพทย์ และเป็นอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์ เป็นต้น

2.1.1 โครงสร้างของพอร์สซิลิคอน

พอร์สซิลิคอน คือ ผลึกซิลิคอนที่มีลักษณะเป็นรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก โดยในชั้นความพรุนนี้ จะประกอบไปด้วยโครงสร้างของผลึกซิลิคอนที่มีขนาดอยู่ในระดับนาโนเมตรจนถึงระดับไมโครเมตร โดยในแต่ละชั้นจะมีขนาดของโครงสร้างที่แตกต่างกันออกไป ดังแสดงในรูปที่ 2.1



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.1 โครงสร้างของพอร์สซิลิคอน (ก) ภาพพื้นผิว (ข) ภาพตัดขวาง

โครงสร้างของพอร์สซิลิคอนในรูปที่ 2.1 เกิดขึ้นจากกระบวนการกัดเนื้อของผลึกซิลิคอนด้วยวิธีทางไฟฟ้าเคมี (electrochemical etching) นอกจากนี้จากการศึกษาของโครงสร้างพอร์สซิลิคอน โดยเฉพาะในส่วนของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนยังพบต่อไปอีกว่าที่บริเวณผิวของไมโครพอร์สซิลิคอนนั้นยังประกอบไปด้วยพันธะของซิลิคอนไฮไดรด์ (Si : H) หรือ ซิลิคอนออกซิไฮไดรด์ (Si : O : H) ปกคลุมอยู่ที่พื้นผิวโดยทั่วไป [17-19]

2.1.2 การแบ่งประเภทของพอร์สซิลิคอน

พอร์สซิลิคอนสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

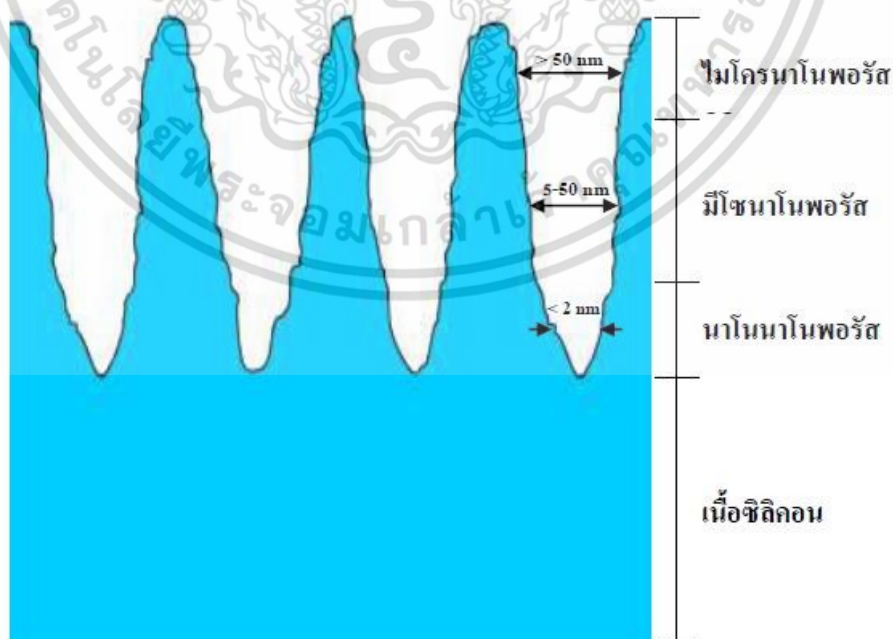
1. แบ่งตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุน

พอร์สซิลิคอนสามารถแบ่งได้ตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนดังนี้

1.1 โครงสร้างของชั้นไมโครพอร์สซิลิคอน (microporous) เป็นชั้นของพอร์สซิลิคอนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนที่ใหญ่กว่า 50 นาโนเมตรขึ้นไป

1.2 โครงสร้างของชั้นมีโซพอร์สซิลิคอน (mesoporous) เป็นชั้นของพอร์สซิลิคอนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนที่อยู่ระหว่าง 5 นาโนเมตร ถึง 50 นาโนเมตร

1.3 โครงสร้างของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน (nanoporous) เป็นชั้นของพอร์สซิลิคอนที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนที่เล็กกว่า 5 นาโนเมตรลงไป โดยโครงสร้างในชั้นนี้จะติดกับเนื้อของซิลิคอน



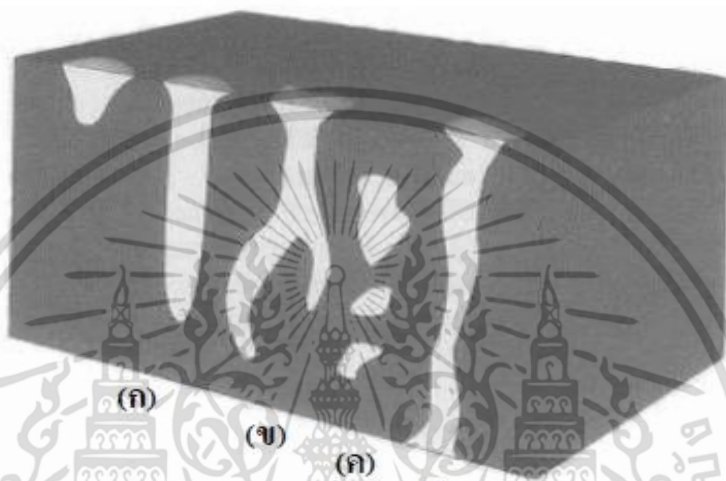
รูปที่ 2.2 ภาพจำลองโครงสร้างของชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีขนาดต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. แบ่งตามลักษณะของรูพรุน

ลักษณะรูพรุนของพอร์สซิลิคอนสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทหลักๆ ดังต่อไปนี้

- 2.1 ลักษณะเป็นรูตันและไม่มีการแยกของรูพรุน (blind)
- 2.2 ลักษณะเป็นรูตันและมีการแยกออกของรูพรุน (branched)
- 2.3 ลักษณะเป็นโพรงอากาศผิวปิดทุกด้าน (totally isolated)
- 2.4 ลักษณะเป็นรูกลวงทะลุออกไปอีกด้าน (through)



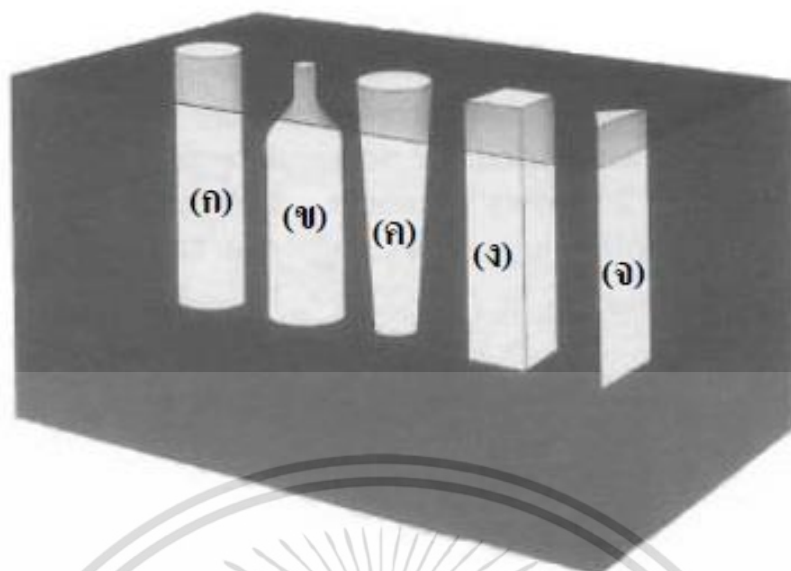
รูปที่ 2.3 ภาพจำลองรูพรุนของพอร์สซิลิคอนลักษณะต่างๆ กัน

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

3. แบ่งตามรูปร่างของรูพรุน

รูปร่างรูพรุนของพอร์สซิลิคอนสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ประเภทหลักๆ ดังต่อไปนี้

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

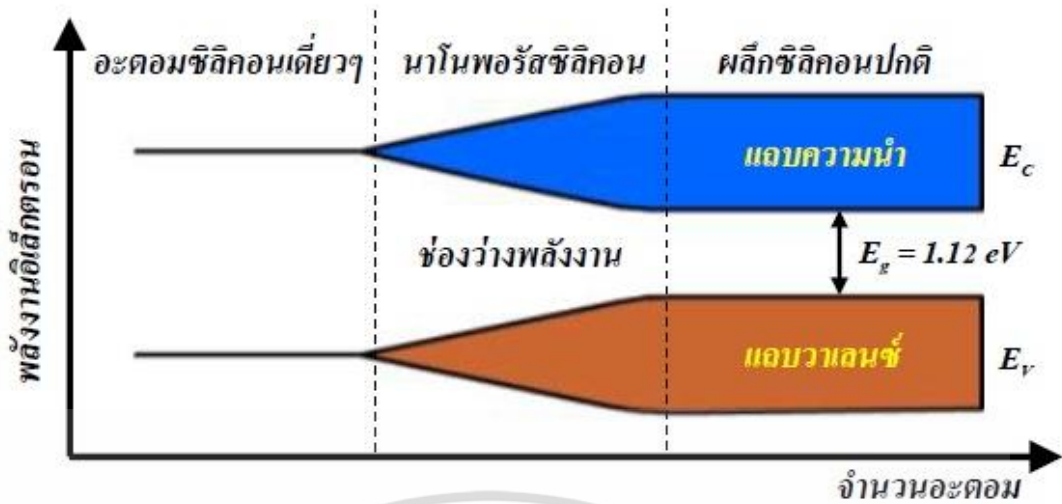


รูปที่ 2.4 ภาพจำลองรูพรุนของพอร์สซิลิคอนรูปร่างต่างๆ

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

2.1.3 ลักษณะแถบพลังงานของพอร์สซิลิคอน

เมื่ออะตอมของผลึกซิลิคอนมาอยู่ใกล้ชิดกันจนเกิดการเหลื่อมล้ำกันของระดับพลังงานในอะตอม ทำให้เกิดการแตกแยกของระดับพลังงานเหล่านั้นขึ้น ซึ่งจำนวนของระดับพลังงานที่แตกแยกออกมานั้นจะมีค่าเท่ากับจำนวนอะตอมที่อยู่ใกล้ชิดกัน จากหลักการนี้เองถ้าเราสามารถทำการลดจำนวนอะตอมภายในผลึกลงได้ ก็จะทำให้ปฏิกริยาระหว่างอะตอมที่มีต่อกันนั้นมีจำนวนลดลงด้วย ซึ่งจะไปมีผลต่อลักษณะของแถบพลังงานในส่วนของช่องว่างแถบพลังงาน (energy band gap) ที่จะมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อของผลึกซิลิคอนเดิม (มีจำนวนอะตอมของซิลิคอนอยู่ภายในประมาณ 10^{22} อะตอม/ลูกบาศก์เซนติเมตร) แสดงดังรูปที่ 2.5 [20]



รูปที่ 2.5 ลักษณะแถบพลังงานของผลึกซิลิคอนที่จำนวนอะตอมต่างๆ

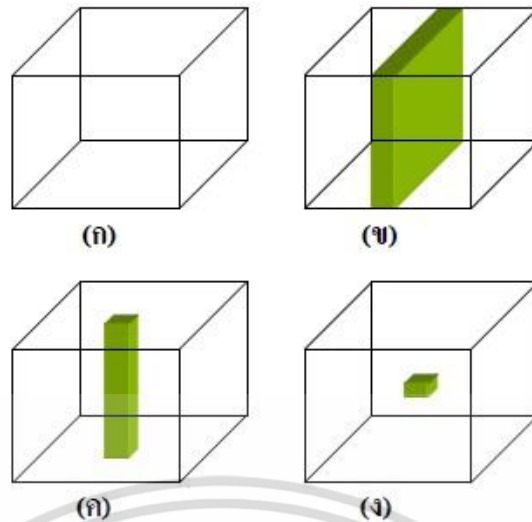
จากรูปที่ 2.5 จะเห็นได้ว่า เมื่อจำนวนอะตอมของผลึกซิลิคอนมีค่าลดลงจะมีผลทำให้ช่องว่างพลังงานมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งในทางปฏิบัติการลดจำนวนอะตอมของผลึกซิลิคอนลงนั้นสามารถทำได้โดยการลดหรือบีบขนาดโครงสร้างของผลึกซิลิคอนให้มีขนาดเล็กลงอยู่ในระดับของนาโนเมตร จนสามารถเกิดปรากฏการณ์ทางควอนตัมอันจะมีผลทำให้ลักษณะโครงสร้างทางช่องว่างพลังงานมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเนื้อผลึกซิลิคอนเดิม เรียกปรากฏการณ์เช่นนี้ว่า ผลของขนาดควอนตัม (quantum size effect) ซึ่งค่าพลังงานมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเนื่องจากปรากฏการณ์นี้จะมีค่าเท่ากับ

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

โดยที่ E_q คือ พลังงานที่เกิดขึ้นจากปรากฏการณ์ผลของขนาดควอนตัม

ΔE_c คือ พลังงานที่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากระดับพลังงานต่ำสุดของแถบความนำเดิมก่อนเกิดพอร์สซิลิคอน

ΔE_v คือ พลังงานที่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากระดับพลังงานต่ำสุดของแถบวาเลนซ์เดิมก่อนเกิดพอร์สซิลิคอน



รูปที่ 2.6 แบบจำลองลักษณะโครงสร้างทางควอนตัมแบบต่างๆ

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

จากรูปที่ 2.6 พาหะนำกระแสที่อยู่ภายในโครงสร้างเล็กๆ เหล่านี้จะเสมือนว่าได้ถูกกักขังให้อยู่ภายในบริเวณที่มีเนื้อที่จำกัด ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปมาได้อย่างอิสระในแบบ 3 มิติได้เหมือนกับอยู่ในเนื้อผลึกซิลิคอนปกติ มีผลทำให้คุณสมบัติทางไฟฟ้าและคุณสมบัติทางแสงจะแตกต่างไปจากเนื้อซิลิคอนเดิม

ทิศทางการเคลื่อนที่โดยรวมของพาหะนำกระแสจะถูกบีบหรือบังคับ ด้วยลักษณะและขนาดของโครงสร้างผลึก ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ปรากฏการณ์ผลของขนาดควอนตัมสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทด้วยกันคือ

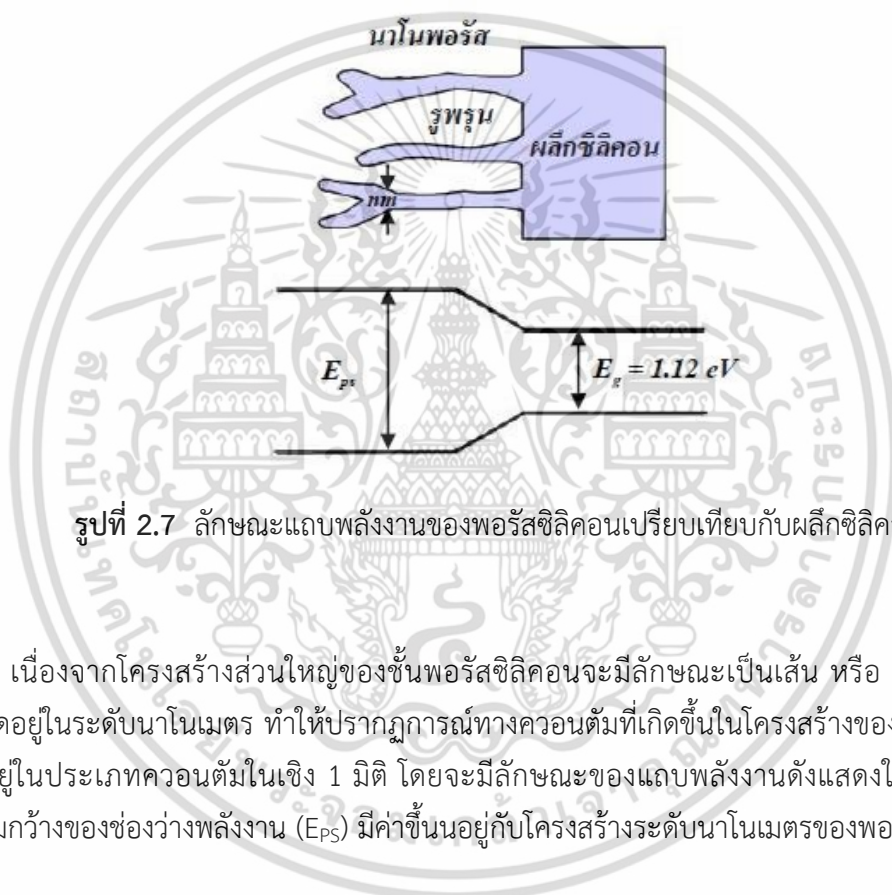
1. ควอนตัมในเชิง 2 มิติ (quantum well) เกิดจากการลดขนาดหรือปลูกผลึกให้มีลักษณะเป็นชั้นที่มีความบางมากๆ ในระดับชั้นของโมเลกุลเช่น 30-50 ชั้นโมเลกุล ($<100\text{nm}$) พาหะนำกระแสที่ถูกกักขังให้อยู่ภายในโครงสร้างลักษณะนี้ จะถูกบีบหรือจำกัดทิศทางการเคลื่อนที่โดยรวมให้สามารถเคลื่อนที่ไปมาในโครงสร้างแบบ 2 มิติ ดังแสดงในรูปที่ 2.6 (ข)

2. ควอนตัมในเชิง 1 มิติ (quantum wire) เกิดจากการลดขนาดหรือปลูกผลึกให้มีลักษณะเป็นเส้นหรือเสาแคบๆ ที่มีความหนาอยู่ในระดับนาโนเมตร ($<10\text{nm}$) พาหะนำกระแสที่ถูกกักขังอยู่ภายในโครงสร้างลักษณะนี้จะถูกจำกัดทิศทางการเคลื่อนที่โดยรวมให้สามารถเคลื่อนที่ไปในโครงสร้างแบบ 1 มิติหรือเพียงทิศทางเดียวตามความยาวของโครงสร้างที่เป็นเส้นหรือเสานั้นเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.6 (ค) ซึ่งลักษณะช่องว่างพลังงานของโครงสร้าง 1 มิติแบบนี้ จะมีขนาดที่กว้างกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ช่องว่างพลังงานของโครงสร้างแบบ 2 มิติ ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างในลักษณะแบบนี้จะมีขนาดเล็กกว่า และมีจำนวนอะตอมที่อยู่ภายในน้อยกว่าโครงสร้าง 2 มิติ

3. ควอนตัมในแบบไม่มีมิติ (quantum dot) เกิดจากการลดขนาดหรือปลูกผลึกให้มีลักษณะเป็นจุดที่มีขนาดเล็กมาก ($<1\text{nm}$) โดยพาหะนำกระแสที่ถูกกักขังให้อยู่ภายในโครงสร้างลักษณะแบบนี้ ในทางอุดมคติแล้วจะถูกจำกัดทิศทางในการเคลื่อนที่อย่างสมบูรณ์ ให้อยู่ภายในโครงสร้างในแบบที่ไม่มีมิติ ดังแสดงในรูปที่ 2.6 (ง) อะตอมที่อยู่ภายในโครงสร้างจุดเล็กๆเหล่านี้จะมีจำนวนที่น้อยกว่าในโครงสร้างสองแบบแรก ซึ่งจะมีผลทำให้ขนาดช่องว่างพลังงานของโครงสร้างที่เป็นแบบจุดนี้ จะมีความกว้างที่มากกว่าโครงสร้าง 2 แบบแรก



รูปที่ 2.7 ลักษณะแถบพลังงานของพอร์สซิลิคอนเปรียบเทียบกับผลึกซิลิคอน

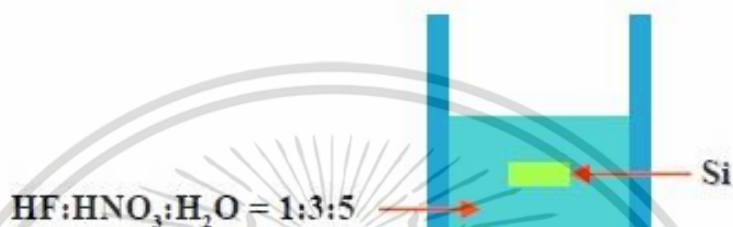
เนื่องจากโครงสร้างส่วนใหญ่ของชั้นพอร์สซิลิคอนจะมีลักษณะเป็นเส้น หรือ เสาคาบๆ ที่มีขนาดอยู่ในระดับนาโนเมตร ทำให้ปรากฏการณ์ทางควอนตัมที่เกิดขึ้นในโครงสร้างของพอร์สซิลิคอน จัดอยู่ในประเภทควอนตัมในเชิง 1 มิติ โดยจะมีลักษณะของแถบพลังงานดังแสดงในรูปที่ 2.7 ซึ่งความกว้างของช่องว่างพลังงาน (E_{ps}) มีค่าขึ้นอยู่กับโครงสร้างระดับนาโนเมตรของพอร์สซิลิคอน

2.2 เทคนิคการสร้างพอร์สซิลิคอน

กระบวนการสร้างพอร์สซิลิคอนให้มีโครงสร้างอยู่ในระดับนาโนเมตรมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน [21-25] แต่จะขอพิจารณาถึงเทคนิคการสร้างพอร์สซิลิคอนที่เหมาะสม สามารถควบคุมตัวแปรต่างๆ ในการสร้างได้ และสามารถทำการสร้างในห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ได้

2.2.1 การสร้างพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการกัดแบบย้อมสี (stain etching)

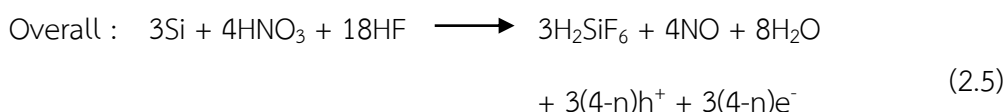
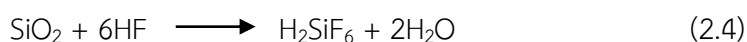
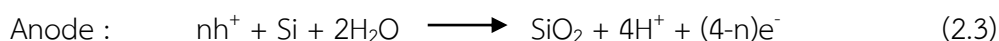
การสร้างพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการกัดแบบย้อมสี [26] เป็นเทคนิคที่ทำการจุ่มแผ่นซิลิคอนลงในสารประกอบของกรดไฮโดรฟลูออริก (hydrofluoric acid : HF) ซึ่งจะประกอบด้วยสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก กรดไนตริก (nitric : HNO₃) และน้ำในอัตราส่วน 1 : 3 : 5 เป็นส่วนประกอบหลัก นอกจากนี้ยังอาจมีการใช้การกระตุ้นด้วยแสงสว่างในขณะที่ทำการกัดด้วยปฏิกิริยาเคมีเพื่อเป็นตัวช่วยในการทำปฏิกิริยา



รูปที่ 2.8 ภาพตัดขวางของอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการกัดแบบย้อมสี

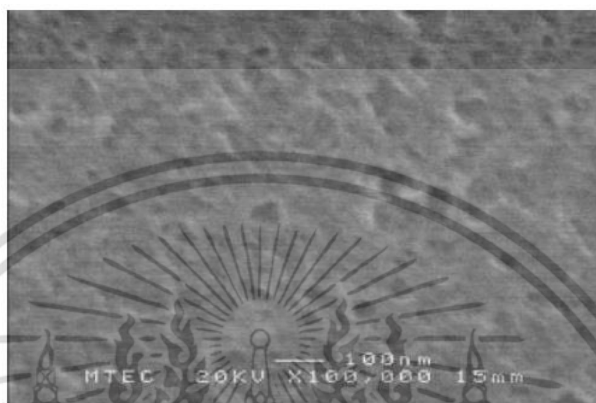
จากรูปที่ 2.8 กลไกการเกิดปฏิกิริยาเคมีของการกัดแบบย้อมสีคือ การทำให้เกิดประจุโพลเพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาการกัดเนื้อซิลิคอน ซึ่งส่วนมากจะนิยมใช้สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกทำปฏิกิริยากับกรดไนตริก เพื่อทำให้เกิดประจุโพล หลังจากนั้นประจุโพลที่เกิดขึ้นจะเข้าทำปฏิกิริยากับซิลิคอนและน้ำ เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ซิลิคอนไดออกไซด์ ขณะที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันนี้เอง สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกก็จะกัดเนื้อซิลิคอนไดออกไซด์บางส่วนออก ซึ่งการเกิดซิลิคอนไดออกไซด์ และการถูกกัดของซิลิคอนไดออกไซด์จะเป็นแบบสุ่ม เนื่องจากไม่มีกลไกในการควบคุมทิศทางการทำปฏิกิริยาเคมี ดังนั้นลักษณะโครงสร้างที่ได้จึงมักจะไม่มียูนิฟอร์ม (non-uniform)

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการกัดแบบย้อมสีสามารถเขียนเป็นสมการเคมีดังนี้เคมี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

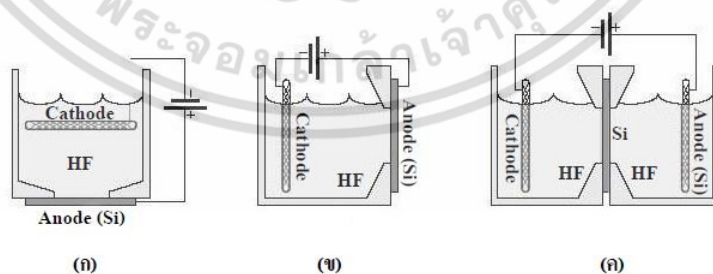
ในระหว่างกระบวนการกัดจะสังเกตเห็นว่า บริเวณที่กำลังทำปฏิกิริยาจะมีสีเปลี่ยนแปลงไปในรูปแบบที่คล้ายกับวงเวียนสีของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ ทั้งนี้เนื่องจากความหนาของชั้นพอร์ซิลิคอนที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง เช่น มีการเปลี่ยนแปลงของสีจากสีน้ำเงินเป็นสีเขียวและสีทองตามลำดับ ส่วนความหนาของชั้นพอร์ซิลิคอนที่ได้จากกระบวนการกัดแบบย้อมสีจะมีค่าประมาณ 100 nm และพื้นผิวของชั้นพอร์ซิลิคอนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการกัดแบบย้อมสีจะมีลักษณะไม่สม่ำเสมอ ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ภาพพื้นผิวของชั้นพอร์ซิลิคอนที่ได้จากการกัดแบบย้อมสี

2.2.2 การสร้างพอร์ซิลิคอนด้วยวิธีการกัดทางไฟฟ้าเคมี (anodization)

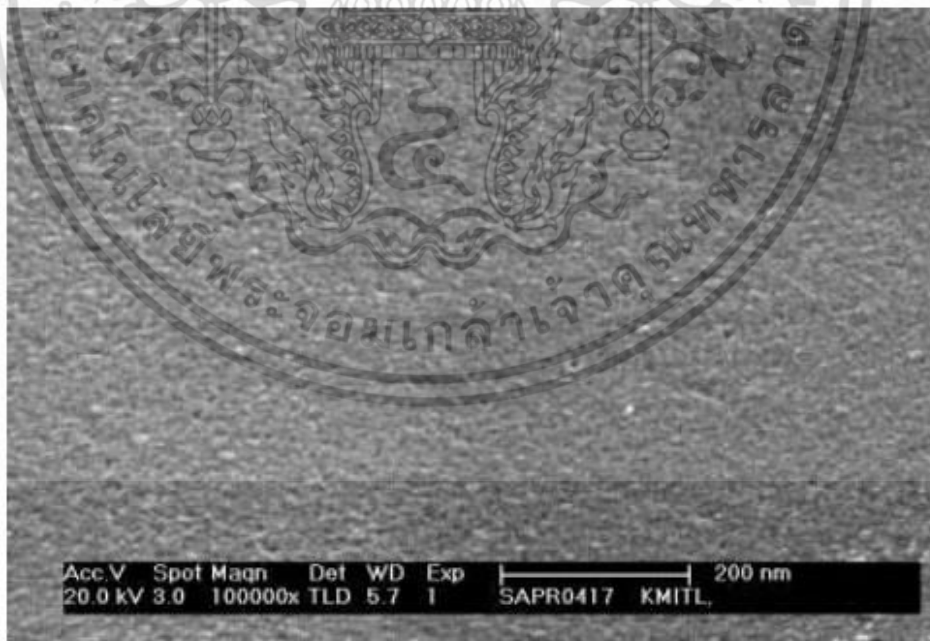
การสร้างพอร์ซิลิคอนด้วยวิธีการกัดทางไฟฟ้าเคมี หรือที่เรียกว่าแอโนไดซ์เซชัน [27-28] เป็นวิธีที่สามารถควบคุมปฏิกิริยาในการสร้างพอร์ซิลิคอนซึ่งจะส่งผลทำให้เกิดชั้นพอร์ซิลิคอนที่มีความสม่ำเสมอ (uniform) ทั่วกันทั้งแผ่น โดยวิธีการแอโนไดซ์เซชันนี้จะใช้อุปกรณ์เซลล์ไฟฟ้าเคมีดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ภาพตัดขวางของอุปกรณ์เซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ใช้ในกระบวนการแอโนไดซ์เซชัน

- (ก) เซลล์แท่งกึ่งเดี่ยวในแนวตั้ง
- (ข) เซลล์แท่งกึ่งเดี่ยวในแนวนอน
- (ค) เซลล์แท่งคู่ในแนวนอน

อุปกรณ์เซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ใช้ในกระบวนการแอนโนไดซ์เซชันนี้จะประกอบด้วยแผ่นซิลิคอนอยู่ที่ขั้วแอโนด ส่วนขั้วแคโทดจะจมอยู่ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก จากรูปที่ 2.10 (ก) เป็นเซลล์ไฟฟ้าเคมีแบบเซลล์แท่งเดี่ยวในแนวตั้ง (single tank vertical cell) มีจุดเด่นอยู่ที่ขณะทำการสร้างพอร์ซิลิคอนสามารถฉายแสงเพื่อช่วยเร่งปฏิกิริยาการกัดได้ง่าย เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 2.10 (ข) จะเห็นได้ว่าเซลล์ไฟฟ้าเคมีเป็นเซลล์แบบแท่งเดี่ยวในแนวนอน (single tank lateral cell) นั้นทำการฉายแสงได้ยากกว่า ส่วนรูปที่ 2.10 (ค) เป็นเซลล์ไฟฟ้าเคมีแบบเซลล์แท่งคู่ในแนวนอน (double tank lateral cell) ซึ่งพัฒนามาจากเซลล์ไฟฟ้าเคมีแบบเซลล์แท่งเดี่ยวในแนวนอนเพื่อใช้ต่อร่วมกับปั๊ม (pump) ทำให้มีการไหลเวียนของสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกตลอดเวลา ส่งผลให้ได้ชั้นของพอร์ซิลิคอนที่สม่ำเสมอมากขึ้น แต่ก็ยังมีปัญหาในการฉายแสงเพื่อช่วยเร่งปฏิกิริยาการกัด โดยส่วนใหญ่การสร้างชั้นพอร์ซิลิคอนด้วยวิธีการแอนโนไดซ์เซชันจะมีเงื่อนไขต่างๆ ที่ใช้ในระหว่างการสร้างก็คือ ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก การผสมเอทานอลเพื่อช่วยให้เกิดความสม่ำเสมอของชั้นพอร์ซิลิคอนมากขึ้น [28] เวลาและความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการแอนโนไดซ์เซชัน ซึ่งปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมีที่เกิดขึ้นจะมีผลทำให้บริเวณผิวของแผ่นซิลิคอนที่สัมผัสกับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกถูกกัดเป็นรูพรุนขนาดเล็กๆ จำนวนมาก โดยการสร้างพอร์ซิลิคอนด้วยวิธีการแอนโนไดซ์เซชันนี้ สามารถควบคุมความสม่ำเสมอ ความพรุน และความหนาของพอร์ซิลิคอนได้ดีกว่าวิธีการกัดแบบย้อมสี โดยภาพพื้นผิวของชั้นพอร์ซิลิคอนที่เกิดจากกระบวนการแอนโนไดซ์เซชันจะมีลักษณะสม่ำเสมอกว่าวิธีการกัดแบบย้อมสี แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ภาพพื้นผิวของชั้นพอร์ซิลิคอนที่ได้จากกระบวนการแอนโนไดซ์เซชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 เซลล์ไฟฟ้าเคมี

การสร้างพอร์ซซิลิคอนด้วยวิธีการกัดทางไฟฟ้าเคมี [29] เป็นวิธีการที่น่าสนใจเป็นอย่างมากโดยกระบวนการทางไฟฟ้าเคมีเป็นปฏิกิริยาทางเคมีที่มีการถ่ายเทของอิเล็กตรอนเกิดขึ้นภายในระบบสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

1. ปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidation reaction) เป็นปฏิกิริยาที่อะตอมของสารมีการสูญเสียอิเล็กตรอนเกิดขึ้น ดังตัวอย่างเช่น สาร M มีวาเลนซ์อิเล็กตรอนเท่ากับ n คือมีอิเล็กตรอน n อนุภาคโคจรอยู่ในวงนอกสุดของอะตอม สามารถเกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ดังนี้คือ



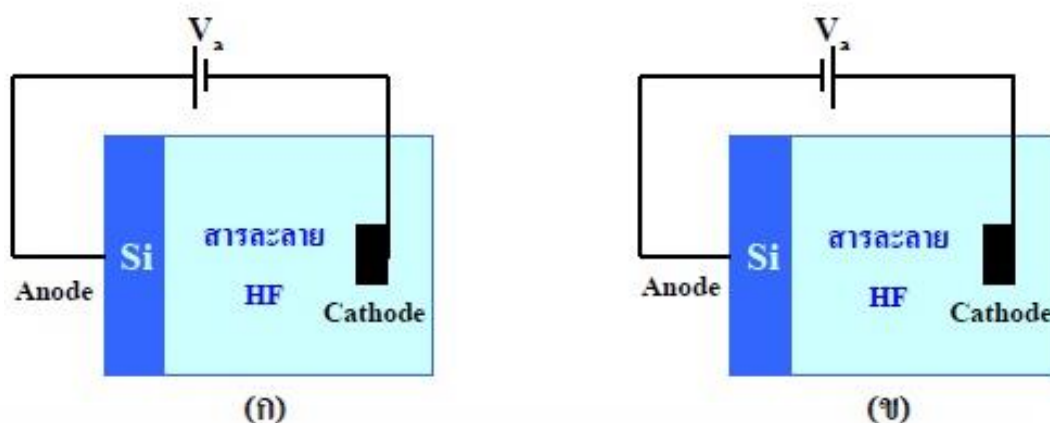
โดยบริเวณที่ซึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดขึ้นจะถูกเรียกว่า แอโนด (anode) ดังนั้นปฏิกิริยาออกซิเดชันจึงเรียกเป็น ปฏิกิริยาแอโนดิก (anodic reaction)

2. ปฏิกิริยารีดักชัน (reduction reaction) เป็นปฏิกิริยาที่อิเล็กตรอนที่เกิดจากแต่ละอะตอมของสารชนิดหนึ่งถูกถ่ายเท และเข้าร่วมเป็นส่วนหนึ่งของสารอีกชนิดหนึ่งดังตัวอย่างเช่น ไอออนของโลหะในสารละลายปฏิกิริยารีดักชันสามารถเกิดขึ้นได้ดังนี้ คือ



โดยบริเวณที่ซึ่งปฏิกิริยารีดักชันเกิดขึ้นจะถูกเรียกว่า แคโทด (cathode) ดังนั้นปฏิกิริยารีดักชันจึงเรียกเป็น ปฏิกิริยาแคโทดิก (cathodic reaction)

เมื่อพิจารณาปฏิกิริยาทั้งระบบแล้ว ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีที่เกิดขึ้นจะต้องประกอบด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันอย่างละหนึ่งปฏิกิริยาเป็นอย่างน้อยดังเช่นในระบบของเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ประกอบด้วยสาร 2 ชนิดที่ต่อกันในสารละลายอิเล็กโทรไลต์โดยสารอันหนึ่งจะเป็นแอโนดหรือสารที่ถูกกัด ส่วนสารอีกชนิดหนึ่งจะเป็นแคโทด



รูปที่ 2.12 ลักษณะการไบอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมีในลักษณะต่างๆ

(ก) แบบแอโนดิก (ข) แบบแคโทดิก

พิจารณาเซลล์ไฟฟ้าในรูปที่ 2.12 ทางด้านซ้ายจะเป็นขั้วไฟฟ้าของแผ่นซิลิคอน (Si) ซึ่งจะถูกจุ่มอยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ โดยในที่นี้ได้แก่ สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก ส่วนทางด้านขวาจะเป็นขั้วไฟฟ้าซึ่งเป็นขั้วอิเล็กโทรดที่ถูกจุ่มอยู่ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกเช่นกัน จากรูปจะเห็นว่า มีลักษณะในการไบอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมีอยู่ 2 ลักษณะด้วยกันคือ

1. การไบอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมีแบบแอโนดิก (anodic bias)

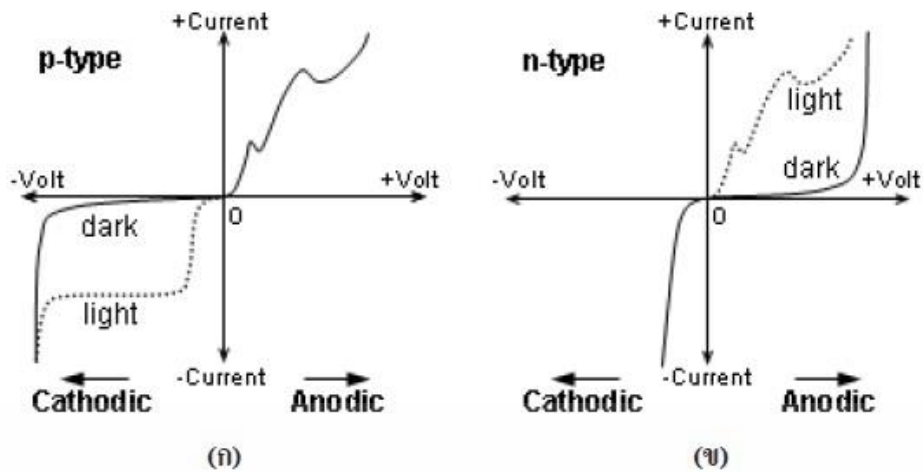
เป็นการไบอัสในลักษณะที่ขั้วไฟฟ้าของแผ่นซิลิคอนจะอยู่ทางขั้วบวก ส่วนขั้วไฟฟ้าที่จุ่มอยู่ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกจะอยู่ทางขั้วลบ การไบอัสในลักษณะเช่นนี้ แผ่นซิลิคอนจะเป็นขั้วแอโนด มีผลทำให้แผ่นซิลิคอนสามารถถูกกัดได้

2. การไบอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมีแบบแคโทดิก (cathodic bias)

เป็นการไบอัสในลักษณะที่ขั้วไฟฟ้าของแผ่นซิลิคอนจะอยู่ทางขั้วลบ ส่วนขั้วไฟฟ้าที่จุ่มอยู่ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกจะอยู่ทางขั้วบวก การไบอัสในลักษณะเช่นนี้ แผ่นซิลิคอนจะเป็นขั้วแคโทด ทำให้ไม่เกิดการกัดแผ่นซิลิคอน

2.3.1 ลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้าภายในเซลล์ไฟฟ้าเคมี

ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าเคมีที่ใช้สำหรับสร้างชั้นพอร์ซซิลิคอนมีลักษณะและพฤติกรรมเป็นแบบซ็อดทกีไดโอด (Schottky diode) ที่เกิดขึ้นจากการสัมผัสกันระหว่างวัสดุสองชนิด คือ แผ่นซิลิคอนกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งในที่นี้ได้แก่ สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก โดยจะพิจารณาถึงลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าภายในเซลล์ไฟฟ้าเคมีระหว่างแผ่นซิลิคอนชนิดพีและเอ็นในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกในเงื่อนไขการถูกฉายแสงและไม่ถูกฉายแสง แสดงดังรูปที่ 2.13 [29]



รูปที่ 2.13 ลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าเคมีระหว่างแผ่นซิลิคอน

(ก) ชนิดพีในสารละลายไฮโดรฟลูออริก

(ข) ชนิดเอ็นในสารละลายไฮโดรฟลูออริก

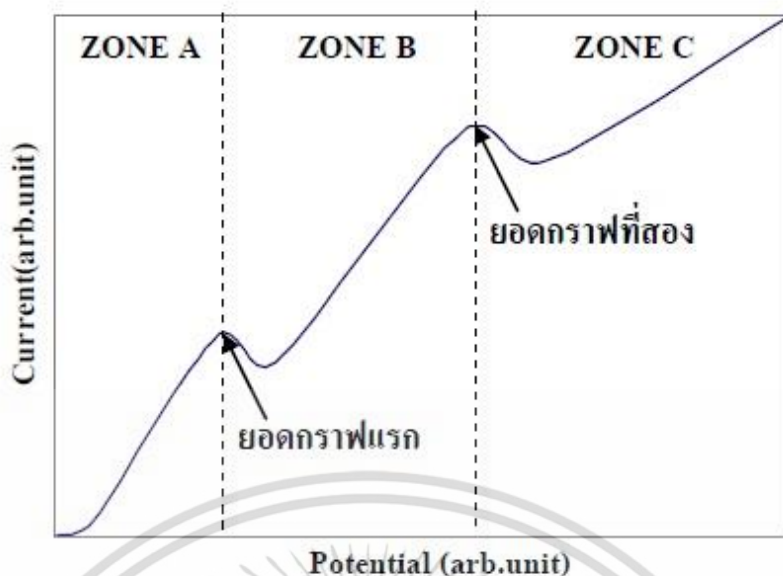
จากรูปที่ 2.13 แสดงถึงลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าเคมีระหว่างแผ่นซิลิคอนชนิดพี และเอ็นในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก โดยจะเห็นได้ว่ามีลักษณะในการไบอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมีอยู่สองลักษณะด้วยกันคือ การไบอัสเซลล์ไฟฟ้าแบบแอนดิก และการไบอัสเซลล์ไฟฟ้าแบบแคโทดิก สำหรับแผ่นซิลิคอนชนิดพี การไบอัสเซลล์ไฟฟ้าแบบแอนดิก ลักษณะของกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ได้จะมีลักษณะเช่นเดียวกันกับการไบอัสแบบตรง (forward bias) ส่วนการไบอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมีแบบแคโทดิก ลักษณะของกระแสและแรงดันไฟฟ้าจะมีลักษณะเหมือนกับการไบอัสแบบย้อนกลับ (reverse bias) โดยจะมีกระแสรั่วซึ่งเกิดขึ้นจากผลของพาหะส่วนน้อยภายในแผ่นซิลิคอนชนิดพี และจากผลของการฉายแสงเช่นเดียวกันกับไดโอดทั่วไป ส่วนในแผ่นซิลิคอนชนิดเอ็น ลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้าจะมีลักษณะตรงกันข้ามกับแผ่นซิลิคอนชนิดพี โดยการไบอัสเซลล์ไฟฟ้าแบบแอนดิกสำหรับแผ่นซิลิคอนชนิดเอ็นจะมีลักษณะเช่นเดียวกันกับการไบอัสแบบย้อนกลับ ส่วนการไบอัสเซลล์ไฟฟ้าแบบแคโทดิก ลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ได้จะมีลักษณะเดียวกันกับการไบอัสแบบตรง

ตารางที่ 2.1 ลักษณะสำคัญที่เกิดขึ้นเนื่องจากการไบอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่แตกต่างกัน

ชนิดของแผ่น ซิลิคอน	ลักษณะการไบอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมี	
	แบบแคโทดิก	แบบแอโนดิก
ชนิดพี	<ul style="list-style-type: none"> - เนื้อของแผ่นซิลิคอนจะไม่ถูกกัด - ลักษณะการไบอัสเป็นแบบย้อนกลับ 	<ul style="list-style-type: none"> เนื้อของแผ่นซิลิคอนถูกกัดโดย - จะเกิดโครงสร้างของนาโนพอร์รัสซิลิคอนที่ศักย์ไฟฟ้ามีค่าต่ำๆ - จะเกิดการขีดผิวหน้าของแผ่นซิลิคอนที่ศักย์ไฟฟ้ามีค่าสูงๆ ลักษณะการไบอัสเป็นแบบตรง
ชนิดเอ็น	<ul style="list-style-type: none"> - เนื้อของแผ่นซิลิคอนจะไม่ถูกกัด - ลักษณะการไบอัสเป็นแบบตรง 	<ul style="list-style-type: none"> เนื้อของแผ่นซิลิคอนถูกกัดโดย - จะเกิดโครงสร้างของนาโนพอร์รัสซิลิคอนที่ศักย์ไฟฟ้ามีค่าต่ำๆ - จะเกิดการขีดผิวหน้าของแผ่นซิลิคอนที่ศักย์ไฟฟ้ามีค่าสูงๆ ลักษณะการไบอัสเป็นแบบย้อนกลับ

จากตารางที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าการไบอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมีทั้งสองมีลักษณะเป็นรอยสัมผัสขี้อตึกเหมือนกัน โดยการเกิดพอร์รัสซิลิคอนจะเกิดขึ้นเฉพาะเงื่อนไขในการไบอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมีแบบแอโนดิกเท่านั้น ส่วนการไบอัสไฟฟ้าแบบแคโทดิกจะไม่เกิดพอร์รัสซิลิคอนขึ้นไม่ว่าชนิดของแผ่นซิลิคอนจะเป็นชนิดพีหรือชนิดเอ็นก็ตาม โดยส่วนของแผ่นซิลิคอนชนิดเอ็น เนื่องจากการไบอัสเซลล์ไฟฟ้าแบบแอโนดิกนั้นเป็นการไบอัสแบบย้อนกลับ ดังนั้นในระหว่างการไบอัสเซลล์ไฟฟ้าแบบแอโนดิกจึงจำเป็นที่จะต้องทำการฉายแสงลงบนผิวด้านหน้าของแผ่นซิลิคอนชนิดเอ็นด้วย ทั้งนี้เพื่อทำให้เกิดพาหะส่วนน้อย (โฮล) ขึ้นภายในแผ่นซิลิคอนชนิดเอ็น โดยโฮลจะเป็นตัวการที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากในกลไกในการเกิดพอร์รัสซิลิคอน

จากการพิจารณาลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าเคมีเฉพาะในส่วนที่มีการไบอัสแบบแอโนดิกของทั้งแผ่นซิลิคอนชนิดพีและชนิดเอ็น (ที่ได้ทำการฉายแสงขณะไบอัส) พบว่ามีลักษณะความสัมพันธ์แสดงดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ลักษณะกระแสแรงดันไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าเคมีในส่วนของไอส์แบบแอนดิก

จากรูปที่ 2.14 ลักษณะความสัมพันธ์ดังกล่าวจะประกอบได้ด้วยยอดกราฟอยู่ 2 จุดด้วยกัน โดยยอดกราฟทั้งสองจุดนี้จะเป็นตัวชี้และแบ่งแยกบริเวณที่มีลักษณะการกัดเนื้อของแผ่นซิลิคอนที่แตกต่างกัน ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 บริเวณได้แก่ บริเวณ A, B, และ C ตามลำดับ โดยในบริเวณ A เป็นช่วงในการเริ่มสร้างพอร์ซิลิคอน (porous silicon formation regions) จะเป็นบริเวณที่เนื้อของแผ่นซิลิคอนจะถูกกัดเป็นรูพรุนขนาดเล็กๆ ซึ่งจะมีผลทำให้เกิดโครงสร้างของชั้นพอร์ซิลิคอนขึ้นมาอีกต่อเมื่อค่ากระแส ภายในเซลล์ไฟฟ้าเคมีจะต้องมีค่าน้อยกว่าค่าของกระแสสูงสุดที่ยอดกราฟแรก ส่วนในบริเวณ B เป็นช่วงการกัดที่ทำให้เกิดพอร์ซิลิคอน ส่วนช่วงที่อยู่ถัดมาจะเป็นบริเวณที่เกิดการเปลี่ยนแปลงลักษณะการกัดเนื้อของซิลิคอน จากลักษณะการกัดที่ทำให้เกิดโครงสร้างของชั้นพอร์ซิลิคอนไปสู่ลักษณะช่วงการกัดแบบขัดผิวหน้า (electropolishing regions) ซึ่งอยู่ในบริเวณ C โดยโครงสร้างของชั้นพอร์ซิลิคอนที่เกิดขึ้นในบริเวณ B นี้จะมีลักษณะเป็นรูพรุนเช่นเดียวกับพอร์ซิลิคอนที่เกิดขึ้นในบริเวณแรก แต่จะมีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนที่ใหญ่กว่าและสามารถเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นได้อย่างรวดเร็ว เมื่อความต่างศักย์ของเซลล์ไฟฟ้าเคมีมีค่าเพิ่มสูงขึ้นจนเข้าสู่การกัดในลักษณะแบบขัดผิวหน้า ณ ตำแหน่งที่ค่าของกระแสมีค่าสูงสุดที่ยอดกราฟที่สอง และเมื่อพิจารณาจากยอดกราฟทั้งสองจุดในรูปจะสังเกตเห็นได้ว่า เมื่อทำการเพิ่มค่าความต่างศักย์ของเซลล์ไฟฟ้าเคมีให้มีค่ามากขึ้น จนกระแสภายในเซลล์ไฟฟ้ามีค่าสูงสุดแล้วหลังจากนั้นกระแสก็จะเริ่มมีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากเกิดปรากฏการณ์ อิมพีแดนซ์เชิงลบ (negative impedance) ขึ้น โดยจากรูปที่ 2.14

- ในส่วนของยอดกราฟแรก

สำหรับแผ่นซิลิคอนชนิดพี จะเป็นผลมาจากการเกิดปรากฏการณ์ผลของขนาดควอนตัมขึ้นภายในโครงสร้างของพอร์ซิลิคอน มีผลทำให้ช่องว่างพลังงานภายในมีความกว้างมากขึ้นกว่าเดิมได้ จนกระทั่งทำให้พาหะนำกระแสไม่สามารถผ่านเข้าไปในโครงสร้างส่วนนั้นได้ ทำให้ค่าความต้านทานภายในของชั้นพอร์ซิลิคอนมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งนำไปสู่การที่กระแสมีค่าลดลง

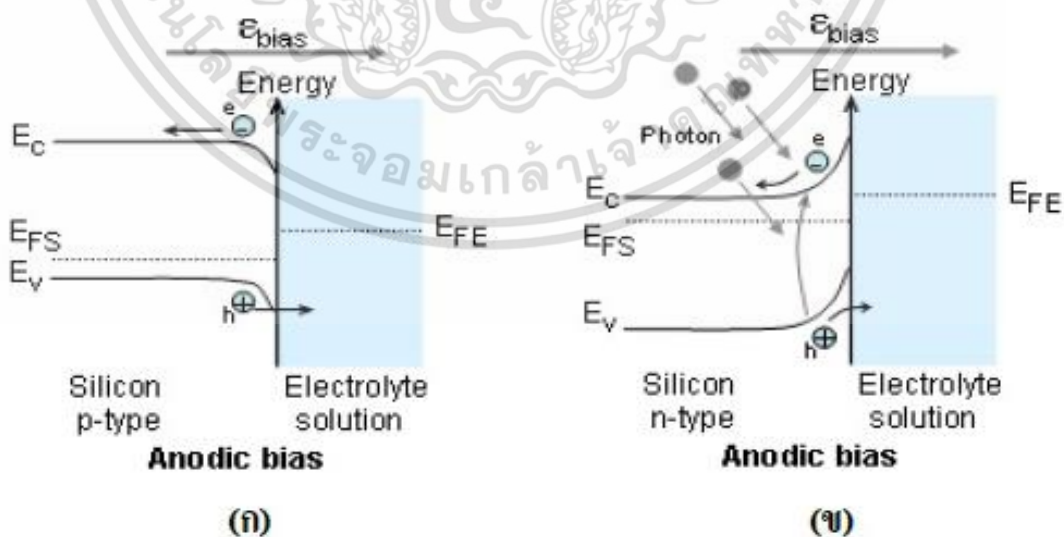
สำหรับแผ่นซิลิคอนชนิดเอ็น จะเป็นผลมาจากการเกิดบริเวณปลอดพาหะนำกระแสขึ้นรอบๆ โครงสร้างของพอร์ซิลิคอน และเมื่อโครงสร้างของพอร์ซิลิคอนมีขนาดเล็กกลงไปเรื่อยๆ จนบริเวณปลอดพาหะนำกระแสสามารถครอบคลุมโครงสร้างของพอร์ซิลิคอนได้ทั้งหมด มีผลทำให้พาหะนำกระแสไม่สามารถผ่านเข้าไปในบริเวณนั้นได้ ทำให้ค่าความต้านทานภายในชั้นพอร์ซิลิคอนมีค่าเพิ่มขึ้น

- ในส่วนยอดกราฟที่สอง

ซึ่งอยู่ระหว่างบริเวณช่องการกักที่ทำให้เกิดพอร์ซิลิคอนกับช่วงการกักแบบขีดผิวหน้า การที่กระแสมีค่าลดลงเป็นผลมาจากการเกิดออกไซด์ที่บริเวณผิวของพอร์ซิลิคอนในระหว่างกระบวนการกักนั่นเอง

2.3.2 ลักษณะแถบพลังงานบริเวณสัมผัสระหว่างแผ่นซิลิคอนกับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก

บริเวณผิวสัมผัสระหว่างแผ่นซิลิคอนกับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกภายในเซลล์ไฟฟ้าเคมี จะมีลักษณะเป็นแบบขั้วตกใจโดยจะมีลักษณะของแถบพลังงานที่บริเวณผิวสัมผัส แสดงดังรูปที่ 2.15 [30]



รูปที่ 2.15 ลักษณะแถบพลังงานที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างแผ่นผลึกซิลิคอนกับสารละลายกรด

ไฮโดรฟลูออริก (ก) ชนิดพี (ข) ชนิดเอ็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

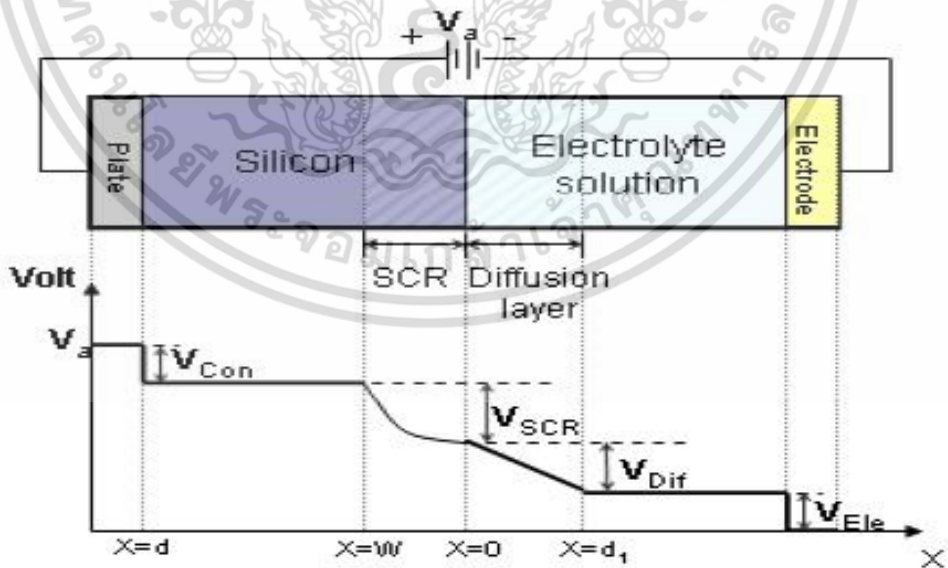
จากภาพข้างต้นจะเห็นได้ว่าการโค้งงอของแถบพลังงานเกิดขึ้นที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างแผ่นซิลิคอนกับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกโดย

- ในแผ่นซิลิคอนชนิดพี การโค้งงอของแถบพลังงาน ณ บริเวณผิวสัมผัสจะมีลักษณะโค้งงอลง ซึ่งภายใต้การไบอัสเซลล์ไฟฟ้าแบบแอนดิก กระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่านผิวสัมผัสได้ เนื่องจากเป็นการไบอัสแบบตรง ทำให้เกิดกระบวนการกัดเนื้อของแผ่นซิลิคอนอย่างต่อเนื่องขึ้นได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.15 (ก)

- ในแผ่นซิลิคอนชนิดเอ็น การโค้งงอของแถบพลังงาน ณ บริเวณผิวสัมผัสจะมีลักษณะโค้งงอขึ้น โดยการโค้งงอจะมีค่ามากขึ้นกว่าเดิมเมื่อแผ่นซิลิคอนชนิดเอ็นอยู่ภายใต้การไบอัสแบบแอนดิก ทำให้กระแสไฟฟ้าไม่สามารถไหลผ่านกำแพงศักย์ไปที่ผิวสัมผัสได้ ทำให้ไม่เกิดกระบวนการกัดเนื้อของแผ่นซิลิคอนชนิดเอ็น ดังนั้นในระหว่างการสร้างชั้นพอร์ซิลิคอนจึงจำเป็นต้องทำการฉายแสงให้กับแผ่นซิลิคอนชนิดเอ็น ทั้งนี้ก็เพื่อเพิ่มจำนวนพาหะนำกระแสขึ้นภายในแผ่นซิลิคอนชนิดเอ็น เพื่อให้เกิดกระบวนการกัดเนื้อของแผ่นซิลิคอนดังแสดงในรูปที่ 2.15 (ข)

2.3.3 การกระจายตัวของศักย์ไฟฟ้าภายในเซลล์ไฟฟ้าเคมี

เซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ใช้ในกระบวนการกัดพอร์ซิลิคอน จะประกอบด้วยแผ่นซิลิคอนถูกจุ่มอยู่ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก โดยมีกรไบอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมีแบบแอนดิก ซึ่งมีผลทำให้ที่บริเวณผิวสัมผัสต่างๆ ภายในเซลล์ไฟฟ้าเคมีจะมีศักย์ไฟฟ้าแตกต่างกัน และมีการกระจายตัวของศักย์ไฟฟ้าภายในเซลล์ไฟฟ้าเคมี แสดงดังรูปที่ 2.16 [31]



รูปที่ 2.16 การกระจายตัวของศักย์ไฟฟ้าที่ตกคร่อมบริเวณต่างๆ ภายในเซลล์ไฟฟ้าเคมีโดยที่ d เป็นความหนาของแผ่นซิลิคอน, w เป็นความกว้างของบริเวณปลอดพาหะนำกระแส และ d_1 เป็นความกว้างของบริเวณชั้นที่เกิดการแพร่ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 2.16 จะเห็นได้ว่ามีศักดาไฟฟ้าตกคร่อมบริเวณต่างๆ ภายในเซลล์ไฟฟ้าเคมี ดังนี้คือ

- ในเนื้อของแผ่นซิลิคอนจะมีศักดาไฟฟ้าตกคร่อมบริเวณดังต่อไปนี้ คือ
 1. ศักดาไฟฟ้าที่ตกคร่อมบริเวณข้อสัมผัสระหว่างขั้วโลหะกับแผ่นซิลิคอน
 2. ศักดาไฟฟ้าที่ตกคร่อมบริเวณปลอดพาหะ
- ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก จะมีศักดาไฟฟ้าตกคร่อมบริเวณดังต่อไปนี้ คือ
 3. ศักดาไฟฟ้าที่ตกคร่อมบริเวณข้อสัมผัสระหว่างขั้วอิเล็กโทรดกับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก
 4. ศักดาไฟฟ้าที่ตกคร่อมบริเวณชั้นที่เกิดการแพร่ (diffusion layer)

ถ้าให้ V_a เป็นศักดาไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่เซลล์ไฟฟ้าเคมี เราสามารถเขียนสมการศักดาไฟฟ้ารวมของระบบได้ดังนี้ คือ

$$V_a = V_{diff} + V_{SCR} + V_{con} + V_{elec} \quad (2.8)$$

โดยที่ V_{diff} คือ ศักดาไฟฟ้าที่ตกคร่อมบริเวณชั้นที่เกิดการแพร่

V_{SCR} คือ ศักดาไฟฟ้าที่ตกคร่อมบริเวณปลอดพาหะ

V_{con} คือ ศักดาไฟฟ้าที่ตกคร่อมบริเวณข้อสัมผัสระหว่างขั้วโลหะกับแผ่นซิลิคอน

V_{elec} คือ ศักดาไฟฟ้าที่ตกคร่อมบริเวณข้อสัมผัสระหว่างขั้วอิเล็กโทรดกับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก

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

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

จากสมการที่ (2.9) จะเห็นได้ว่าศักดาไฟฟ้าที่ตกคร่อมบริเวณชั้นที่เกิดการแพร่ (V_{diff}) กับศักดาไฟฟ้าที่ตกคร่อมบริเวณปลอดพาหะเป็นตัวแปรที่สำคัญภายในเซลล์ไฟฟ้าเคมี ซึ่งจะเป็นตัวควบคุมพาหะและปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นโดย

- ในแผ่นซิลิคอนชนิดพี เนื่องจากเป็นการไปอัสแบบตรง ทำให้ไม่เกิดบริเวณปลอดพาหะขึ้นในแผ่นซิลิคอน ดังนั้นศักดาไฟฟ้าหลักที่ตกคร่อมอยู่ในเซลล์ไฟฟ้าเคมีก็คือ ศักดาไฟฟ้าที่ตกคร่อม

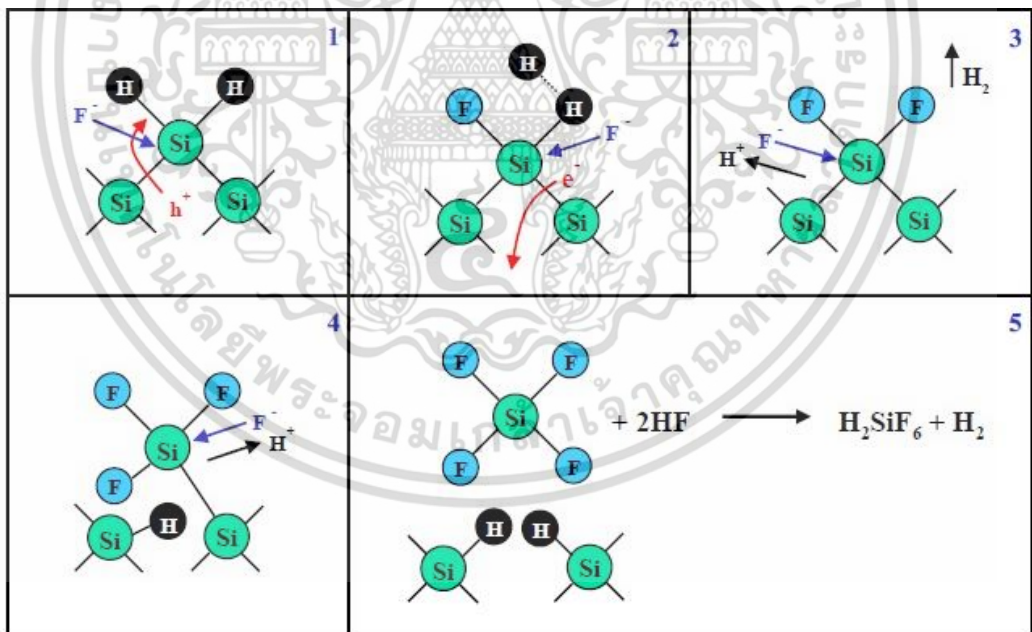
บริเวณชั้นที่เกิดการแพร่โดย V_{diff} นี้จะควบคุมอ็อนลบของฟลูออรีนที่อยู่ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกตรงบริเวณที่เกิดการแพร่

- ในแผ่นซิลิคอนชนิดเอ็น เนื่องจากการไบอัสแบบย้อนกลับ ทำให้ที่บริเวณผิวสัมผัสของแผ่นซิลิคอนชนิดเอ็นเกิดบริเวณปลอดพาหะขึ้น และเกิดศักดาไฟฟ้าตกคร่อมบริเวณปลอดพาหะตกคร่อมบริเวณนี้ โดยบริเวณปลอดพาหะนี้จะเป็นตัวควบคุมพาหะนำกระแสภายในแผ่นซิลิคอน ซึ่งจะมีผลต่อปฏิกิริยาเคมีในการกัด และโครงสร้างของพอร์สซิลิคอนที่จะถูกสร้างขึ้น

2.4 กลไกในการเกิดพอร์สซิลิคอน [32]

2.4.1 ปฏิกิริยาเคมีในการกัดบริเวณผิวของแผ่นซิลิคอน

ในสภาวะปกติเมื่อทำการจุ่มผลึกซิลิคอนลงในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก ผิวหน้าของผลึกซิลิคอนจะไม่ถูกสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกทำปฏิกิริยา แต่เมื่อไรก็ตามที่แผ่นซิลิคอนถูกนำมาอยู่ในเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่มีการไบอัสแบบแอโนดิกแล้ว ผิวหน้าของแผ่นซิลิคอนที่สัมผัสกับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกจะถูกกัดเป็นรูพรุนขนาดเล็กๆ เกิดเป็นชั้นพอร์สซิลิคอนขึ้นมาโดยปฏิกิริยาเคมีและขั้นตอนในการกัดเนื้อของผลึกซิลิคอน แสดงดังรูปที่ 2.17

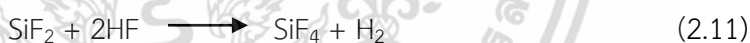
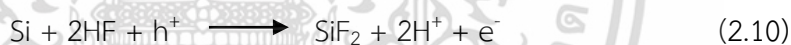


รูปที่ 2.17 ขั้นตอนและกลไกทางเคมีในการกัดเนื้อของแผ่นซิลิคอน

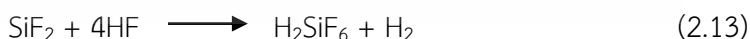
เริ่มต้นจากขั้นตอนแรกเมื่อยังไม่มีกรไบอัสแบบแอโนดิก ซึ่งเป็นกระบวนการในการป้อนศักย์ไฟฟ้าบวกให้กับขั้วแอโนด (Si) ที่บริเวณผิวหน้าของแผ่นซิลิคอนจะมีอะตอมของไฮโดรเจนปกคลุมอยู่ทั่วบริเวณ มีผลทำให้อ็อนลบของฟลูออรีนที่อยู่ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกไม่สามารถที่จะแยกสารนี้เป็นไอออนที่สวนเวลาสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาดเห็นาเบเซประเไฮชนดานการการไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้ามาทำลายพันธะเคมีระหว่างซิลิคอนกับไฮโดรเจนอะตอมได้ (Si - H) แต่เมื่อไหร่ก็ตามที่มีการไบอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมีแบบแอโนดิก โดยมีการป้อนศักย์ไฟฟ้าบวกให้แก่ขั้วแอโนด (Si) จนพาหะโฮล สามารถเคลื่อนที่มาถึงบริเวณผิวหน้าของแผ่นซิลิคอนที่สัมผัสกับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก มีผลทำให้พันธะเคมีระหว่างซิลิคอนกับไฮโดรเจนอะตอมที่ผิวสามารถถูกทำลายได้ โดยอิออนของฟลูออรีนที่อยู่ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกเกิดเป็นพันธะเคมีระหว่างซิลิคอนกับฟลูออรีน (Si - F) ขึ้นมาแทนดังแสดงเอาไว้ในขั้นตอนที่ 1 และเนื่องจากอิทธิพลในการโพลาไรซ์ (polarizing) ของพันธะฟลูออรีนที่เกิดขึ้นในขั้นตอนแรก ส่งผลให้อิออนของฟลูออรีน (F⁻) อีกตัวที่อยู่ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกสามารถที่จะเข้าทำลายพันธะเคมีระหว่างซิลิคอนกับไฮโดรเจนอะตอม (Si - H) ที่ยังคงเหลืออยู่อีกข้างหนึ่งได้พร้อมกับเกิดโมเลกุลของก๊าซไฮโดรเจน (H₂) และมีการปล่อยพาหะอิเล็กตรอน 1 ตัวไปยังขั้วแอโนด ดังแสดงในขั้นตอนที่ 2 และ 3 ต่อจากนั้นจะเกิดการเหนี่ยวนำวาเลนซ์อิเล็กตรอน โดยกลุ่มของพันธะเคมีซิลิคอนกับฟลูออรีน (Si - F groups) ที่เกิดขึ้นในขั้นตอนที่ 2 และ 3 มีผลทำให้พันธะเคมีระหว่างซิลิคอนที่ผิวกับซิลิคอนที่อยู่ถัดเข้ามามีความแข็งแรงลดลง ทำให้พันธะเคมีดังกล่าวสามารถที่จะถูกทำลายได้ โดยอิออนของฟลูออรีนเกิดเป็นพันธะเคมีระหว่างซิลิคอนกับฟลูออรีนขึ้นมาแทน ดังแสดงในขั้นตอนที่ 3 และ 4 จากขั้นตอนนี้เองจะเห็นได้ว่า อะตอมของซิลิคอนจะถูกดึงให้หลุดออกมาจากผิวหน้าของแผ่นซิลิคอนพร้อมกับการเกิดพันธะเคมีระหว่างไฮโดรเจนกับซิลิคอนอะตอมที่อยู่ถัดเข้ามา ดังแสดงเอาไว้ในขั้นตอนที่ 5

ส่วนปฏิกิริยาเคมีในการกัดที่เกิดขึ้นสามารถเขียนสมการเคมีได้ดังนี้คือ [32]



จากสมการข้างต้นสามารถเขียนปฏิกิริยาเคมีรวมได้เป็น



จากสมการปฏิกิริยาเคมีข้างต้นนั้น เริ่มจากปฏิกิริยาเคมีในสมการที่ (2.10) ที่มีแผ่นซิลิคอน (Si) เป็นสารเริ่มต้นอยู่ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก (HF) โดยในปฏิกิริยาเคมีนี้จำเป็นต้องอาศัยโฮล (h⁺) ในการเกิดปฏิกิริยาเคมี ซึ่งจะทำให้เกิด SiF₂ ขึ้นที่บริเวณผิวของแผ่นซิลิคอน ต่อจากนั้นก็เกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่าง SiF₂ กับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก ดังแสดงในสมการที่ (2.11) ได้ผลลัพธ์เป็น SiF₄ หลุดออกมาจากผิวของแผ่นซิลิคอน ในระหว่างกระบวนการกัดขั้นตอนนี้เอง สังเกตเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ว่าจะเกิดก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ขึ้นที่บริเวณผิวหน้าของแผ่นซิลิคอนที่ถูกกัด ท้ายสุดก็จะเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่าง SiF_4 กับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก ซึ่งจะได้ผลิตภัณฑ์สุดท้ายก็คือสารละลาย H_2SiF_6 อยู่ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก ดังแสดงในสมการที่ (2.12)

2.4.2 การเกิดรูพรุนของพอร์สซิลิคอน

แผ่นซิลิคอนเมื่ออยู่ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกจะไม่ถูกกัด แต่เมื่อไหร่ก็ตามที่ทำการป้อนกระแสไฟฟ้าในลักษณะแบบไบอัสขั้วบวกแก่เซลล์ไฟฟ้าเคมี ให้กระแสไหลผ่านรอยสัมผัสระหว่างแผ่นซิลิคอนกับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก จะมีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาการกัดทางไฟฟ้าเคมีเกิดขึ้นโดยลักษณะการกัดทางไฟฟ้าเคมีจะมีอยู่ 2 แบบ คือ (1) การกัดแบบขัดผิวหน้าด้วยไฟฟ้า (electropolishing) และ (2) การกัดแบบทำให้เกิดพอร์สซิลิคอน (porous etching)

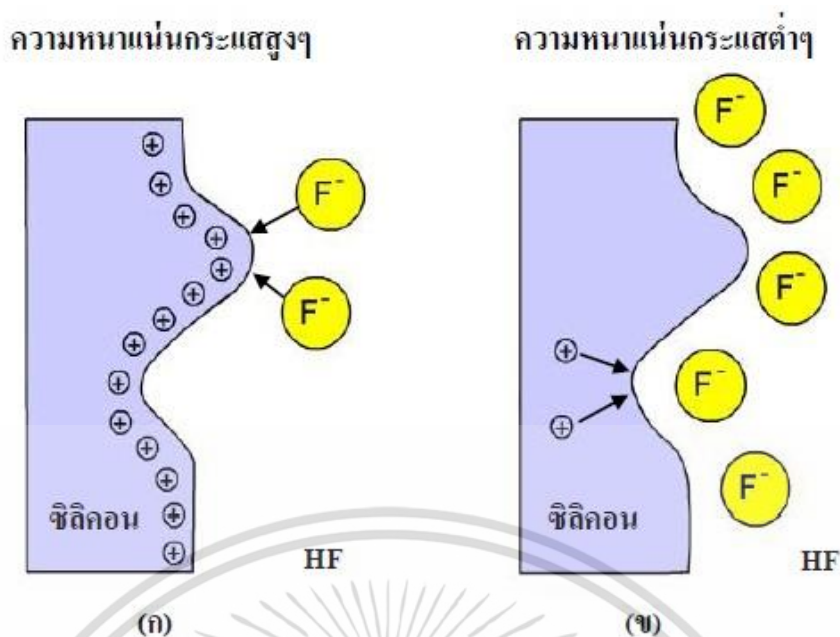
ทั้งสองแบบมีลักษณะการกัดที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในระหว่างการแอโนไดซ์เซชัน โดยประจุพาหะชนิดบวก (โฮล) จะเป็นตัวที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อกระบวนการกัดทั้งสองลักษณะ

- การกัดแบบขัดผิวหน้าด้วยไฟฟ้า

การกัดในลักษณะนี้จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อทำการป้อนความหนาแน่นกระแสให้แก่เซลล์ไฟฟ้าเคมีในปริมาณสูงๆ ($J > J_{ps}$) ซึ่งจะทำให้ที่บริเวณผิวสัมผัสของแผ่นซิลิคอนมีปริมาณของพาหะโฮลสะสมอยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้การกัดที่เกิดขึ้นจะถูกจำกัดโดยอ็อกซิเจนของฟลูออรีนที่อยู่ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก โดยอ็อกซิเจนฟลูออรีนเหล่านี้จะเคลื่อนที่ภายในสนามไฟฟ้า ดังนั้นถ้าผิวของแผ่นซิลิคอนมีส่วนที่ยื่นออกมา ดังแสดงในรูปที่ 2.18 (ก) จะมีผลทำให้ที่บริเวณปลายสุดของส่วนที่ยื่นออกมามีปริมาณความเข้มข้นของสนามไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งจะดึงเอาอ็อกซิเจนของฟลูออรีนเข้ามาทำปฏิกิริยาเคมีในการกัดเนื้อของแผ่นซิลิคอนที่บริเวณปลายสุดที่ยื่นออกมาเป็นส่วนมาก มีผลทำให้ส่วนที่ยื่นออกมาถูกกัดจนเรียบ ดังนั้นจึงเรียกรกัดในลักษณะเช่นนี้ว่า การขัดผิวหน้าด้วยไฟฟ้า

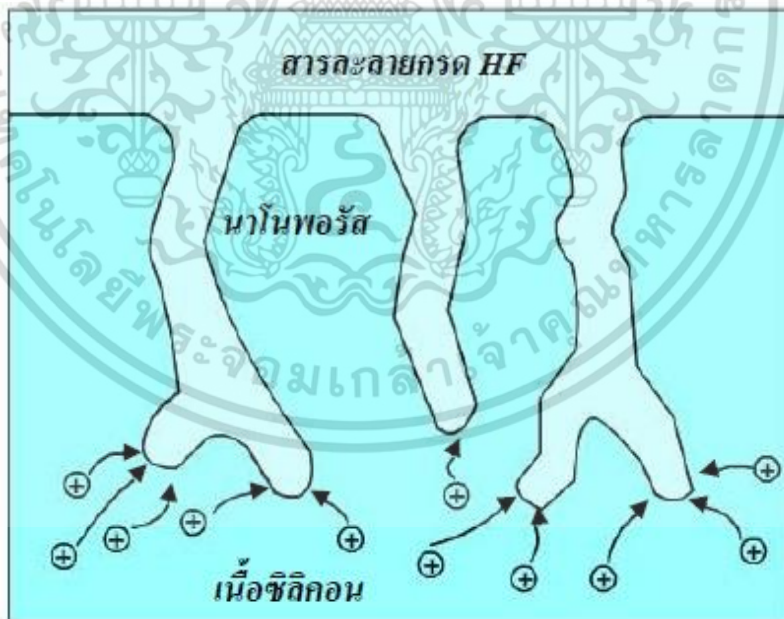
- การกัดแบบทำให้เกิดพอร์สซิลิคอน

ลักษณะการกัดแบบทำให้เกิดพอร์สซิลิคอน จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อทำการป้อนความหนาแน่นกระแสในปริมาณต่ำ ($J < J_{ps}$) ซึ่งจะทำให้ปริมาณอ็อกซิเจนของฟลูออรีนในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก มีจำนวนมากกว่าจำนวนของโฮลที่อยู่บริเวณผิวสัมผัสของผลึกซิลิคอน ทำให้การกัดในลักษณะนี้จะถูกจำกัดโดยจำนวนโฮล ดังนั้นถ้าผิวของผลึกซิลิคอนมีลักษณะเป็นหลุมหรือรอย ซึ่งเกิดจากความไม่เรียบของพื้นผิวหรือจุดบกพร่องต่างๆ ในผลึกซิลิคอน ดังแสดงในรูปที่ 2.18 (ข) เมื่อทำการไบอัสแบบแอโนดิกให้แก่เซลล์ไฟฟ้าเคมีจะมีผลทำให้ที่บริเวณก้นหลุมหรือจุดบกพร่องเหล่านี้มีปริมาณความเข้มข้นสนามไฟฟ้าสูงกว่าที่บริเวณอื่นๆ ซึ่งจะเอาพาหะโฮลเข้ามาอย่างจุดนี้กันมาก ดังแสดงในรูปที่ 2.19 ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีในการกัดเนื้อของผลึกซิลิคอนที่บริเวณก้นหลุมจนเกิดเป็นรูพรุนลึกลงไปเป็นเนื้อของผลึกซิลิคอน



รูปที่ 2.18 แบบจำลองการกัดเนื้อของผลึกซิลิคอนทั้งสองลักษณะ

- (ก) ลักษณะการกัดแบบขีดผิวหน้าด้วยไฟฟ้า
 (ข) ลักษณะการกัดแบบทำให้เกิดพอร์ซิลิคอน



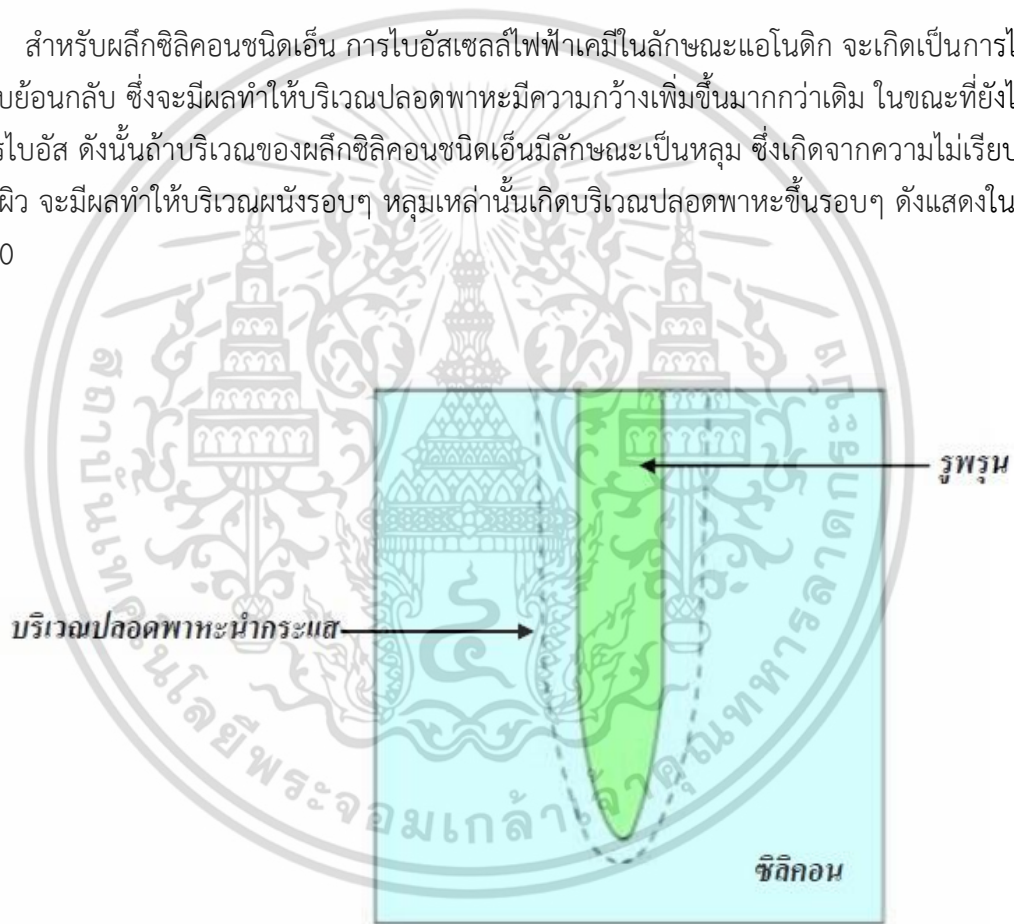
รูปที่ 2.19 การเคลื่อนที่พาหะโฮลที่ถูกดึงมารวมกันที่บริเวณก้นหลุมเนื่องจากอิทธิพลของสนามไฟฟ้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากที่กล่าวมาข้างต้น เป็นกลไกการเกิดรูพรุนภายในผลึกซิลิคอนทั้งชนิดพี และชนิดเอ็นอย่างง่าย ๆ ซึ่งถ้าจะพิจารณาโดยละเอียดแล้วพบว่า ผลึกซิลิคอนทั้งสองชนิดมีกลไกการเกิดโครงสร้างของพอร์ซิลิคอนที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากการไปอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมีในลักษณะแบบแอโนดิก

สำหรับผลึกซิลิคอนชนิดพี จะเป็นการไปอัสในแบบตรง ซึ่งการไปอัสในลักษณะเช่นนี้จะไปลดสนามไฟฟ้าภายในบริเวณปลอดพาหะลงโดยจะเกิดขึ้นตามผิวสัมผัสของผลึกซิลิคอน อันเป็นผลมาจากการสัมผัสกันระหว่างผิวหน้าของผลึกซิลิคอนกับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก มีผลทำให้กระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่านรอยสัมผัสระหว่างผลึกซิลิคอนกับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกได้ ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมีในการกัดเนื้อของผลึกซิลิคอนเกิดเป็นรูพรุนได้อย่างต่อเนื่องตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

สำหรับผลึกซิลิคอนชนิดเอ็น การไปอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมีในลักษณะแอโนดิก จะเกิดเป็นการไปอัสแบบย้อนกลับ ซึ่งจะมีผลทำให้บริเวณปลอดพาหะมีความกว้างเพิ่มขึ้นมากกว่าเดิม ในขณะที่ยังไม่ทำการไปอัส ดังนั้นถ้าบริเวณของผลึกซิลิคอนชนิดเอ็นมีลักษณะเป็นหลุม ซึ่งเกิดจากความไม่เรียบของพื้นผิว จะมีผลทำให้บริเวณผนังรอบๆ หลุมเหล่านั้นเกิดบริเวณปลอดพาหะขึ้นรอบๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 บริเวณปลอดพาหะที่เกิดขึ้นรอบๆ ผนังของรูพรุนที่บริเวณผิวของผลึกซิลิคอน

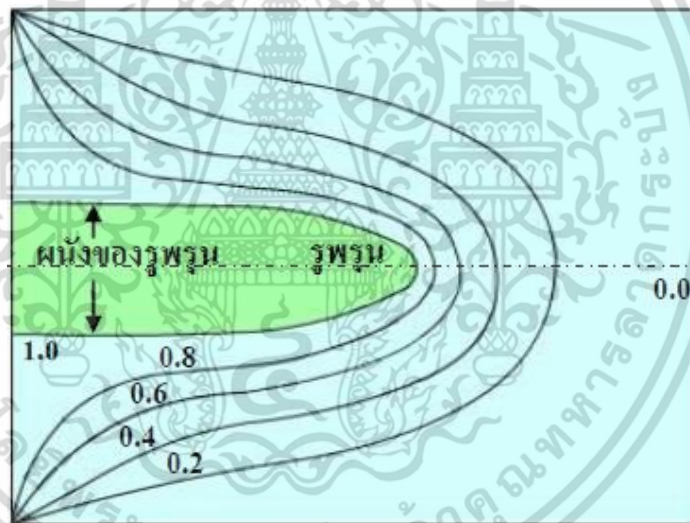
โดยความกว้างของบริเวณปลอดพาหะที่เกิดขึ้นจะมีค่าเท่ากับ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- โดยที่ W คือ ความกว้างบริเวณปลอดพาด
- ϵ_s คือ เปรอริมิติวิตี (permittivity) ของผลึกซิลิคอน
- ϵ_0 คือ เปรอริมิติวิตีของสุญญากาศ
- V_{SCR} คือ ความต่างศักย์ที่ตกคร่อมบริเวณปลอดพาด
- q คือ ประจุของอิเล็กตรอน
- N_D คือ จำนวนอะตอมสารเจือผู้ให้

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



รูปที่ 2.21 การกระจายตัวของศักดาไฟฟ้ารอบๆ ผนังของรูพรุน

บริเวณปลอดพาดที่เกิดขึ้นรอบรูพรุนจะมีการกระจายตัวของศักดาไฟฟ้าเป็นไปตามรูปที่ 2.21 โดยมีปริมาณของสนามไฟฟ้ารอบๆ ผนังรูพรุน (E_s) มีค่าเท่ากับ

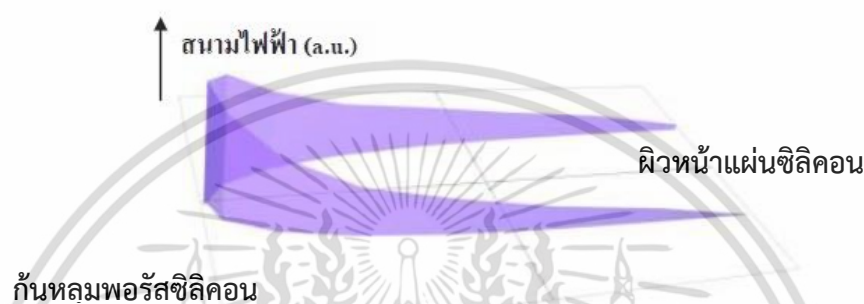
$$E_s = 2V_{SCR}/W \quad (2.15)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนค่าสนามไฟฟ้าที่เกิดรอบๆ ก้นหลุมของรูพรุน (E_s) จะมีค่า

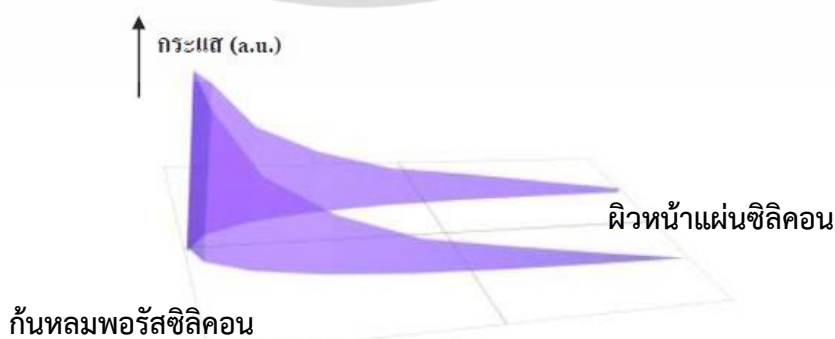
$$E'_s = V_{SCR}/r \quad (2.16)$$

โดยที่ r คือ รัศมีก้นหลุมของรูพรุน



รูปที่ 2.22 การกระจายตัวของสนามไฟฟ้ารอบๆ ผนังของรูพรุน

จากรูปที่ 2.22 จะเห็นได้ว่าขนาดของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นรอบๆ ผนังของรูพรุนจะมีขนาดที่แตกต่างกัน กล่าวคือผนังบริเวณก้นหลุมของรูพรุนมีปริมาณของสนามไฟฟ้าที่สูงกว่าบริเวณผนังรอบๆ ของรูพรุนอยู่ถึงประมาณ 2 – 3 เท่า ส่วนผนังบริเวณปากรูจะมีค่าต่ำสุดจนเกือบมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ซึ่งจากการที่ก้นหลุมของรูพรุนมีขนาดของสนามไฟฟ้าในปริมาณสูงนั้น มีผลทำให้สามารถดึงพาหะนำกระแส (โฮล) มาที่บริเวณนี้กันได้มาก ส่งผลทำให้ที่บริเวณก้นหลุม จะมีปริมาณกระแสที่สูงกว่าบริเวณอื่นๆ แสดงดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 การกระจายตัวของกระแสรอบๆ ผนังของรูพรุน

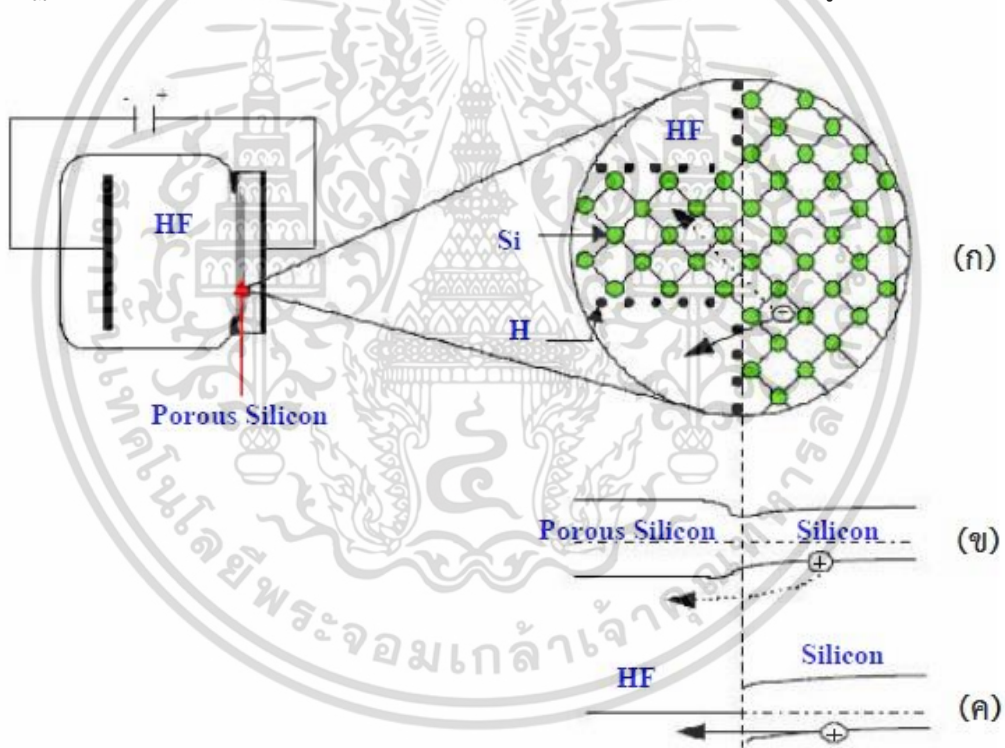
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 กลไกในการหยุดกัดโครงสร้างของพอร์สซิลิคอน

จากการเกิดโครงสร้างของพอร์สซิลิคอนขึ้น โดยพาหะนำกระแสชนิดบวกหรือโฮลในผลึกซิลิคอนจะเป็นตัวการที่มีบทบาทและความสำคัญ ต่อกระบวนการกัดเนื้อของผลึกซิลิคอนด้วยวิธีการทางไฟฟ้าเคมี เป็นกระบวนการกัดที่สามารถลดขนาดโครงสร้างของพอร์สซิลิคอนให้มีขนาดเล็กลงเรื่อยๆ จนสามารถเข้าสู่ในระดับนาโนเมตร แต่กระบวนการนี้ก็จะอาศัยกลไกในการหยุดกัดโครงสร้างของพอร์สซิลิคอนด้วย ซึ่งจากการศึกษาพบว่าพอร์สซิลิคอนที่ถูกสร้างขึ้นจากผลึกซิลิคอนชนิดพีและชนิดเอ็นจะมีกลไกในการหยุดกัดที่ต่างกัน กล่าวคือ

- การหยุดกัดพอร์สซิลิคอนที่ถูกสร้างขึ้นจากซิลิคอนชนิดพี

สำหรับผลึกซิลิคอนชนิดพี การไบอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมีในลักษณะแอนอดิกทำให้บริเวณผิวสัมผัสของผลึกซิลิคอนชนิดพีไม่เกิดบริเวณปลดปล่อยพาหะขึ้น ทำให้สามารถทำการกัดเนื้อของผลึกซิลิคอนได้อย่างต่อเนื่อง โดยกลไกการหยุดกัดสำหรับผลึกซิลิคอนชนิดพีจะเกิดขึ้นเนื่องจากการเกิดปรากฏการณ์ผลของขนาดควอนตัมขึ้นในส่วนของนาโนพอร์สซิลิคอน แสดงดังรูปที่ 2.24



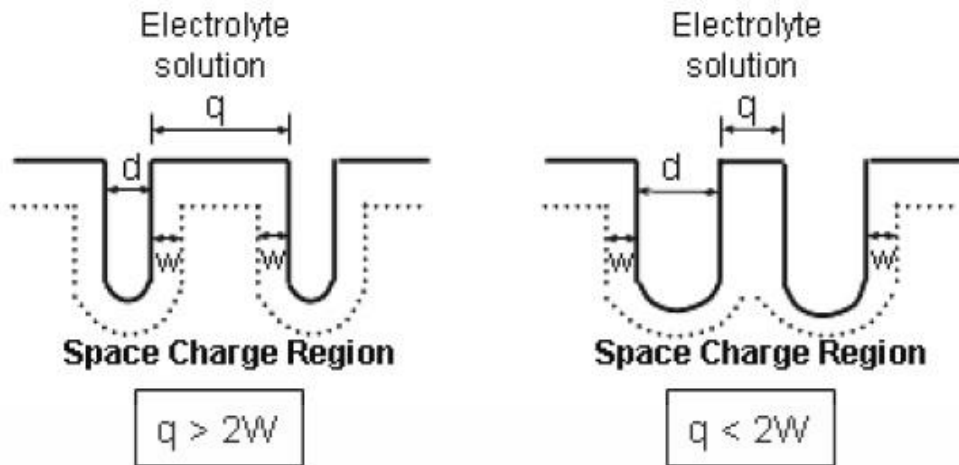
รูปที่ 2.24 กลไกในการหยุดกัดโครงสร้างของชั้นพอร์สซิลิคอนชนิดพีโดยที่

- โครงสร้างของพอร์สซิลิคอน และทิศทางการเคลื่อนที่ของพาหะโฮล
- ลักษณะแถบพลังงาน และการเคลื่อนที่ของพาหะโฮลจากผลึกซิลิคอนผ่านเข้าไปในโครงสร้างของพอร์สซิลิคอน
- ลักษณะแถบพลังงาน และการเคลื่อนที่พาหะโฮล จากผลึกซิลิคอนผ่านไปยังสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกที่บริเวณผิวสัมผัสที่กั้นหลุมของรูพรุน

จากรูปจะเห็นได้ว่า เนื้อของผลึกซิลิคอนชนิดพีจะถูกกัดจนเป็นโครงสร้างของพอร์ซิลิคอนขึ้นมา และเมื่อนำการกัดอย่างต่อเนื่องจนทำให้โครงสร้างของพอร์ซิลิคอนมีขนาดเล็กลงไปเรื่อยๆ จนมีขนาดเข้าสู่ในระดับนาโนเมตรดังแสดงในรูปที่ 2.24 (ก) มีผลทำให้ช่องว่างพลังงานในพอร์ซิลิคอนมีความกว้างมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับผลึกซิลิคอนเดิม ทั้งนี้เป็นผลมาจากการเกิดปรากฏการณ์ผลของขนาดควอนตัม ทำให้เกิดความแตกต่างของระดับพลังงานสูงสุดของแถบวาเลนซ์ระหว่างพอร์ซิลิคอนกับผลึกซิลิคอนขึ้น โดยค่าความแตกต่างที่เกิดขึ้นนี้จะเป็นกำแพงศักย์ซึ่งมีค่าเท่ากับ ΔE_v สำหรับโฮล และเท่ากับ ΔE_c สำหรับอิเล็กตรอน ดังนั้นการที่พาหะโฮลหรือผลึกซิลิคอนชนิดพีจะสามารถผ่านเข้าไปในโครงสร้างของนาโนพอร์ซิลิคอนเพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีในการกัดโครงสร้างในส่วนต่อไปได้นั้น พาหะโฮลจำเป็นที่จะต้องได้รับพลังงานที่มีค่ามากกว่า ΔE_v ดังแสดงในรูปที่ 2.24 (ข) แต่เมื่อไหร่ก็ตามที่กำแพงศักย์ ΔE_v มีค่าพลังงานมากกว่าพลังงานภายนอกที่ให้กับโฮล จะมีผลทำให้พาหะโฮลในผลึกซิลิคอนไม่สามารถผ่านเข้าไปในส่วนของนาโนพอร์ซิลิคอนได้ ผลที่ตามมาก็คือเกิดการหยุดกัดโครงสร้างของพอร์ซิลิคอนในส่วนนี้ขึ้นทันที จากที่กล่าวมานั้นจะเห็นได้ว่า ΔE_v นั้นมีค่าขึ้นอยู่กับขนาดของนาโนพอร์ซิลิคอน โดย ΔE_v จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของนาโนพอร์ซิลิคอนมีคาลดลง อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าจะเกิดการหยุดกัดในส่วนของนาโนพอร์ซิลิคอนเนื่องจากพาหะโฮลไม่สามารถผ่านเข้าไปในบริเวณนาโนพอร์ซิลิคอนนี้ได้ แต่ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีในการกัดเนื้อของผลึกซิลิคอนยังคงดำเนินต่อไป โดยบริเวณที่ถูกกัดอย่างต่อเนื่องจะเป็นบริเวณก้นหลุมของรูพรุน ทั้งนี้เนื่องจากพาหะโฮลในผลึกซิลิคอนชนิดพีสามารถผ่านผิวสัมผัสเข้าไปในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกที่บริเวณก้นหลุมของรูพรุนได้สะดวกกว่าที่ผ่านเข้าไปในโครงสร้างของนาโนพอร์ซิลิคอน ดังแสดงในรูปที่ 2.24 (ค) ดังนั้นจึงทำให้บริเวณก้นหลุมของพอร์ซิลิคอนจะถูกกัดลึกเข้าไปในเนื้อของผลึกซิลิคอนอย่างต่อเนื่อง

- การหยุดกัดของพอร์ซิลิคอนที่ถูกสร้างขึ้นจากผลึกซิลิคอนชนิดเอ็น

เนื่องจากการไบอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมีในลักษณะแอโนดิก สำหรับผลึกซิลิคอนชนิดเอ็นจะเป็นการไบอัสแบบย้อนกลับ มีผลทำให้เกิดบริเวณปลอดพาหะนำกระแสขึ้นตามบริเวณผิวสัมผัสของผลึกซิลิคอน โดยความกว้างของบริเวณปลอดพาหะนำกระแสจะมีค่าเท่ากับ w ดังนั้นกลไกในการหยุดกัดของพอร์ซิลิคอนสำหรับผลึกซิลิคอนชนิดเอ็นแล้วจะเป็นผลมาจากการเกิดบริเวณปลอดพาหะนำกระแสขึ้นภายในโครงสร้างของพอร์ซิลิคอน แสดงดังรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 แผนภาพบริเวณปลอดพาหะนำกระแสที่เกิดขึ้นในโครงสร้างของพอร์สซิลิคอนที่สร้างจากผลึกซิลิคอนชนิดเอ็น โดยที่

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

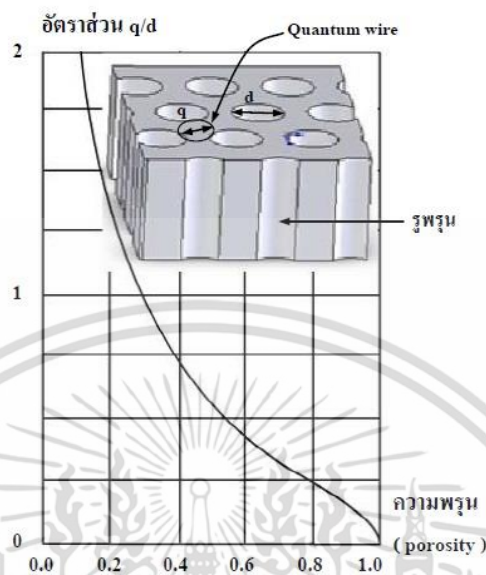
จากรูปที่ 2.25 (ก) จะเห็นได้ว่าพอร์สซิลิคอนที่สร้างขึ้นจากแผ่นซิลิคอนชนิดเอ็น เมื่อถูกทำการกัดจะทำให้ขนาดโครงสร้างของพอร์สซิลิคอน (q) มีขนาดลดลงอย่างต่อเนื่อง เกิดเป็นรูพูนภายในแผ่นซิลิคอนชนิดเอ็นขึ้น โดยมีบริเวณปลอดพาหะนำกระแสปกคลุมอยู่รอบๆ รูพูนแต่ละรูในกรณีนี้ขนาดของโครงสร้างพอร์สซิลิคอนยังมีขนาดที่มากกว่าสองเท่าของความกว้างบริเวณปลอดพาหะนำกระแส ($q > 2w$) ดังนั้นจึงยังสามารถทำการกัดเพื่อลดขนาดของโครงสร้างพอร์สซิลิคอนในส่วนนี้ต่อไปได้อีกจนเมื่อไรก็ตามที่ขนาดของโครงสร้างพอร์สซิลิคอนมีขนาดที่น้อยกว่าสองเท่าของความกว้างของบริเวณปลอดพาหะนำกระแส ($q < 2w$) ดังรูปที่ 2.25 (ข) จะมีผลทำให้เกิดการซ้อนทับกันของบริเวณปลอดพาหะนำกระแสจนโครงสร้างของพอร์สซิลิคอนถูกครอบคลุมโดยบริเวณปลอดพาหะนำกระแสทั้งหมด ส่งผลทำให้เกิดการหยุดกัดของพอร์สซิลิคอนในส่วนนี้

2.5 ความพูนของพอร์สซิลิคอน

โดยทั่วไปแล้ววัสดุใดๆก็ตามที่มีลักษณะโครงสร้างเป็นรูพูนจำนวนมากกระจายอยู่ภายในเนื้อของวัสดุ ก็จะได้ว่าวัสดุนั้นเป็นวัสดุที่มีความพูน โดยค่าความพูนนี้เป็นปริมาณที่สามารถแบ่งออกได้ถึงลักษณะขนาดโครงสร้างของวัสดุได้อย่างคร่าวๆ ซึ่งสามารถหาได้จากการเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างมวลหรือปริมาตรของเนื้อวัสดุกับช่องว่างที่เกิดขึ้นภายในวัสดุนั้นๆ

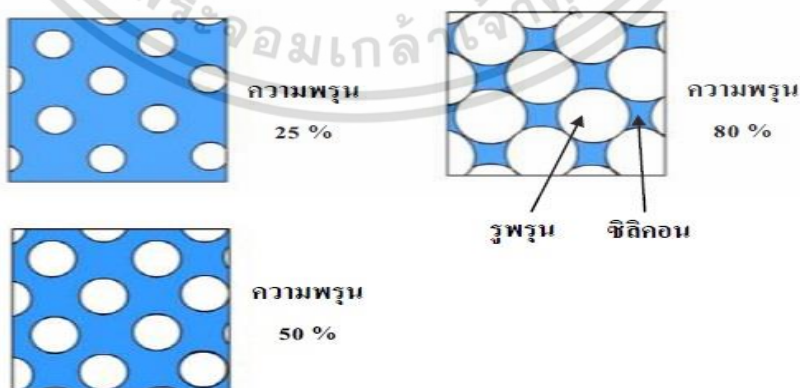
พอร์สซิลิคอน คือผลึกซิลิคอนที่มีลักษณะเป็นรูพูนขนาดเล็กจำนวนมากโดยขนาดของเนื้อผลึกซิลิคอนที่เหลือและขนาดของรูพูน จะมีขนาดอยู่ในระดับนาโนเมตร เนื้อของผลึกซิลิคอนในระดับนาโนเมตรนี้จะแสดงคุณสมบัติทางผลของขนาดควอนตัม ส่งผลในลักษณะของควอนตัมในเชิง 1 มิติ ซึ่ง

ความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อของผลึกซิลิคอนในระดับนาโนเมตรกับขนาดของรูพรุนจะมีผลต่อความพรุนของชั้นพอร์ซซิลิคอน แสดงดังรูปที่ 2.26 [33]



รูปที่ 2.26 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของขนาดเนื้อซิลิคอน (q) กับขนาดของรูพรุน (d) ที่มีต่อความพรุนของพอร์ซซิลิคอน

จากรูปข้างต้นจะเห็นได้ว่า ทั้งขนาดของเนื้อซิลิคอนและขนาดของรูพรุนมีผลต่อความพรุนของพอร์ซซิลิคอน โดยถ้าเนื้อของผลึกซิลิคอนถูกกัดจนมีขนาดเล็กลง หรือขนาดของรูพรุนมีขนาดกว้างขึ้น จะมีผลทำให้ชั้นพอร์ซซิลิคอนนั้นมีความพรุนมากกว่าเดิม แสดงดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 แผนภาพจำลองด้านบนของโครงสร้างพอร์ซซิลิคอนที่เปอร์เซ็นต์ความพรุนต่างๆกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

การตรวจจับไอแอลกอฮอล์ของชั้นพอร์สซิลิคอน

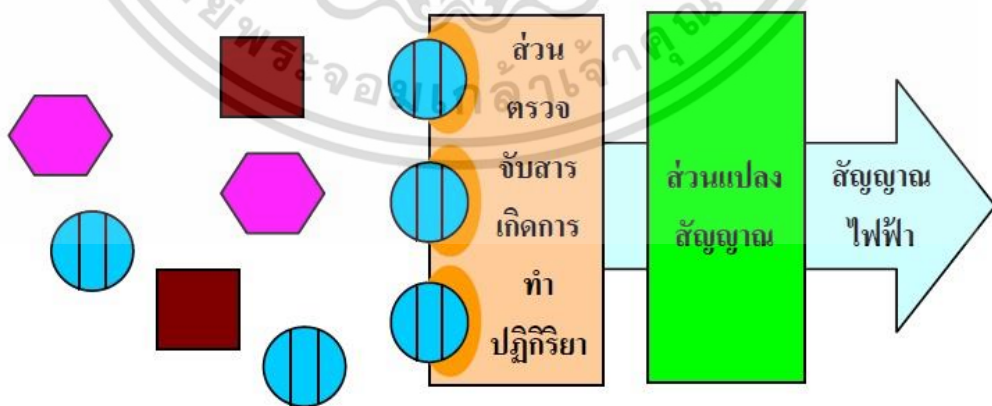
3.1 นิยามของเซนเซอร์ [34]

เนื่องจากความต้องการอุปกรณ์ที่มีความสามารถใช้แทนการตอบสนองทางประสาทสัมผัสของมนุษย์ เช่น การมองเห็น การสัมผัส การดมกลิ่น และการลิ้มรส จึงได้มีการสร้างและพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เซนเซอร์เพื่อใช้ในการตรวจวัดและแสดงผลออกมาในรูปของสัญญาณหรือพลังงานในรูปแบบหนึ่ง

เซนเซอร์ หมายถึงอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณพลังงานในรูปแบบต่างๆ เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า เช่น โฟโตทรานซิสเตอร์ อุปกรณ์ตรวจวัดความดัน และอุปกรณ์ตรวจวัดไอสารเคมี เป็นต้น ซึ่งสามารถแบ่งเซนเซอร์ได้เป็น 2 แบบคือ เซนเซอร์ทางเคมีและเซนเซอร์ทางฟิสิกส์

3.1.1 เซนเซอร์ทางเคมี (chemical sensors)

เซนเซอร์ทางเคมี จัดเป็นอุปกรณ์ตรวจสอบสารประเภทหนึ่ง โดยส่วนประกอบพื้นฐานของเซนเซอร์ทางเคมีประกอบด้วยขั้นตอนการตรวจจับสาร เชื่อมต่อกับส่วนแปลงสัญญาณ โดยขั้นตอนการตรวจจับสารจะทำหน้าที่ตรวจจับด้วยการทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของสารที่ผ่านเข้ามา จากนั้นส่วนแปลงสัญญาณจะทำหน้าที่แปลงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นไปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 3.1

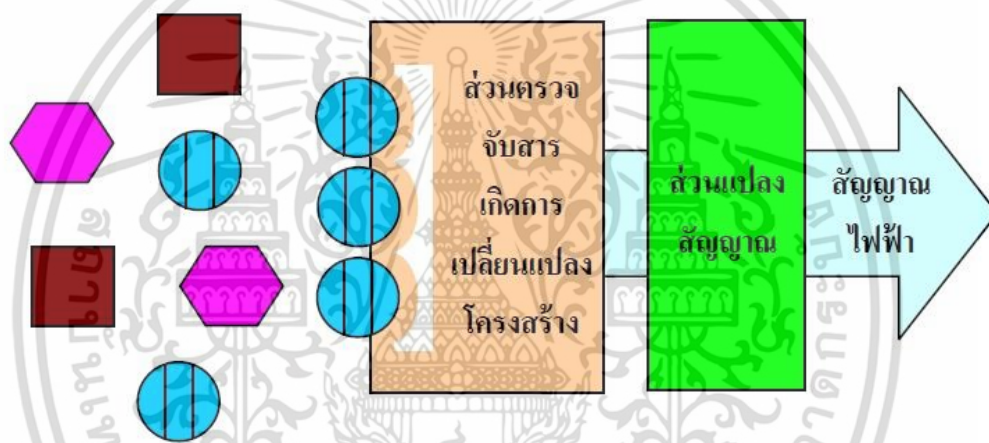


รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบพื้นฐานของเซนเซอร์ทางเคมี

โดยสามารถแบ่งอุปกรณ์เซนเซอร์ทางเคมีที่สำคัญได้เป็น 2 ประเภทคือ ประเภทวัดความนำไฟฟ้า (conductimetric) และประเภทวัดศักย์ไฟฟ้า (potentiometric)

3.1.2 เซนเซอร์ทางฟิสิกส์ (physical sensors)

เซนเซอร์ทางฟิสิกส์ จัดเป็นอุปกรณ์ตรวจจับสารอีกชนิดหนึ่ง โดยส่วนประกอบพื้นฐานของเซนเซอร์ทางฟิสิกส์ประกอบด้วย ขั้นตอนของการตรวจจับสารเชื่อมต่อกับส่วนแปลงสัญญาณ โดยขั้นตอนของการตรวจจับสารจะทำหน้าที่ตรวจจับด้วยการที่โมเลกุลของสารที่ผ่านเข้ามาจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างภายใน ของขั้นตอนของการตรวจจับสาร จากนั้นส่วนแปลงสัญญาณจะทำหน้าที่แปลงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นไปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ส่วนประกอบพื้นฐานของเซนเซอร์ทางฟิสิกส์

โดยตัวอย่างอุปกรณ์เซนเซอร์ทางฟิสิกส์ที่สำคัญคือ เซนเซอร์วัดความดัน (pressure sensors) เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (temperature sensors)

3.2 หลักการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ [35]

วิธีการตรวจจับไอแอลกอฮอล์สามารถทำได้หลายวิธี โดยใช้หลักการดังนี้

1. หลักการวิธีวัดทางเคมี วิธีนี้จะตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้แอลกอฮอล์รีดิวซ์โพแทสเซียมไดโครเมต (K_2CrO_7) มีสีแดงส้มในสภาวะที่มีกรดกำมะถันอยู่ด้วยให้กลายเป็นโครเมียมซัลเฟต ($Cr_2(SO_4)_3$) มีสีเขียว ซึ่งความเข้มของสีที่เปลี่ยนแปลงไปจะสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณไอแอลกอฮอล์ที่ตรวจวัดได้ ถ้ามีปริมาณไอแอลกอฮอล์มากขึ้นก็จะทำให้สีเปลี่ยนเป็นสีเขียวเข้มขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. หลักการวัดทาง การดูดกลืนรังสี วิธีนี้จะตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้หลักการดูดกลืนรังสีอินฟราเรดของไอแอลกอฮอล์ ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัว ซึ่งทำให้ปริมาณรังสีอินฟราเรดที่ผ่านไประหว่างความเข้มข้นของรังสีลดลง ถ้าปริมาณไอแอลกอฮอล์มากการดูดกลืนรังสีจะมากขึ้นเป็นสัดส่วนตามกัน เมื่อวัดความเข้มรังสีที่เปลี่ยนไป ก็จะทำให้ทราบว่าปริมาณแอลกอฮอล์อยู่ที่ใด

3. หลักการวัดทางเคมีไฟฟ้า วิธีนี้จะตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยการให้ไอแอลกอฮอล์ทำปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้ากับเครื่องตรวจวัด ซึ่งประกอบด้วยแผ่นแพลตตินัมบางๆ 2 แผ่นขนานกันและมีสารละลายอิเล็กโทรไลต์กรดอยู่ระหว่างกลางไอแอลกอฮอล์จะถูกดูดซับอยู่บนแผ่นแพลตตินัมและถูกออกซิไดซ์เป็นกรดอะซิติก (acetic acid) จึงทำให้อิเล็กตรอนออกมา ซึ่งอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจะไหลผ่านแผ่นแพลตตินัม ผ่านไปยังเครื่องวัดกระแสไฟฟ้า โดยกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับปริมาณไอแอลกอฮอล์

จากหลักการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ทั้งสามวิธีข้างต้น เป็นวิธีการที่ยุ่งยากและใช้ค่าใช้จ่ายที่สูง งานวิจัยนี้จึงได้มีความสนใจที่จะใช้เซ็นเซอร์ซิลิคอนซึ่งมีลักษณะพื้นผิวเป็นรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก ทำการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ ซึ่งเซ็นเซอร์ซิลิคอนนั้นจะทำการสร้างในเนื้อซิลิคอนจึงสร้างเป็นวงจรรวมได้ง่าย สามารถสร้างให้มีขนาดเล็ก ทำให้ผลิตได้เป็นจำนวนมาก ส่งผลให้ราคาต่ออุปกรณ์ถูก และกระบวนการสร้างเซ็นเซอร์ซิลิคอนนั้นทำได้ง่าย สามารถทำการสร้างในห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ได้

3.3 หลักการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ของเซ็นเซอร์ซิลิคอน

อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้เซ็นเซอร์ซิลิคอนในงานวิจัยนี้เป็นโครงสร้างแบบง่าย ซึ่งมีส่วนประกอบสำคัญอยู่ 2 ส่วนคือ

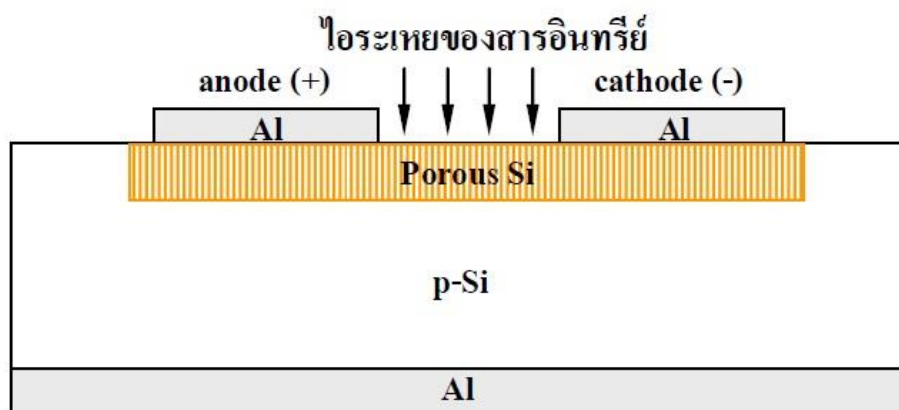
- ส่วนที่เป็นขั้วไฟฟ้า

ขั้วไฟฟ้าจะมีอยู่สองขั้วคือขั้วแคโทดกับขั้วแอโนดอยู่บนเซ็นเซอร์ซิลิคอนจะทำหน้าที่ในการตรวจวัดลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อโมเลกุลไอแอลกอฮอล์ถูกดูดซับเข้ามาในรูพรุนของเซ็นเซอร์ซิลิคอน

- ส่วนที่เป็นเซ็นเซอร์ซิลิคอน

เซ็นเซอร์ซิลิคอนมีลักษณะเป็นรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก ทำให้สามารถดูดซับโมเลกุลไอแอลกอฮอล์ได้ดีและมีเนื้อที่ในการดูดซับมากกว่าพื้นผิวเรียบที่ไม่มีรูพรุน จะทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับไอแอลกอฮอล์

โดยอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้เซ็นเซอร์ซิลิคอนโครงสร้างแบบง่ายนี้ จะแสดงรายละเอียดดังรูปที่ 3.3

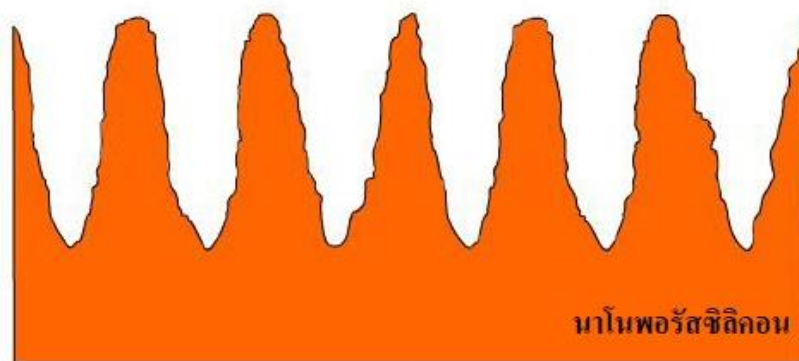


รูปที่ 3.3 โครงสร้างของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์ซิลิคอน

โดยหลักการหลักๆ ในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ของชั้นพอร์ซิลิคอนนี้มีอยู่ 2 หลักการคือ หลักการแรกเป็นหลักการดูดซับและควบแน่นในรูพรุนของชั้นพอร์ซิลิคอน และหลักการที่สอง เป็นหลักการเหนี่ยวนำพาหะบริเวณผิว และการนำไฟฟ้าของชั้นพอร์ซิลิคอน ซึ่งทั้ง 2 หลักการนี้จะเกิดขึ้นพร้อมๆ กันสามารถอธิบายแยกเป็นหัวข้อต่างๆ ดังต่อไปนี้

3.3.1 หลักการดูดซับและควบแน่นในรูพรุนของชั้นพอร์ซิลิคอน

ชั้นพอร์ซิลิคอนจะทำหน้าที่เป็นชั้นดูดซับ (adsorption) โมเลกุลไอแอลกอฮอล์เนื่องจากพื้นผิวที่มีรูพรุนของชั้นพอร์ซิลิคอนสามารถดูดซับโมเลกุลก๊าซได้ดีกว่า และมีเนื้อที่ในการดูดซับมากกว่าพื้นผิวราบเรียบที่ไม่มีรูพรุน โดยการตรวจจับไอแอลกอฮอล์จะเริ่มจากชั้นพอร์ซิลิคอนที่ยังไม่มีโมเลกุลไอแอลกอฮอล์มาเกาะ เมื่อมีโมเลกุลไอแอลกอฮอล์เข้ามาในระบบผ่านบริเวณพื้นผิวของชั้นพอร์ซิลิคอน โมเลกุลไอแอลกอฮอล์นี้จะถูกดูดซับและจับตัวกับผนังรูพรุนของชั้นพอร์ซิลิคอน ด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander Waals attractive force) เมื่อมีโมเลกุลไอแอลกอฮอล์เข้ามาเพิ่มมากขึ้น โมเลกุลไอแอลกอฮอล์จะรวมตัวกันเพิ่มมากขึ้นเรียงตัวกันเป็นชั้นโมโนเลเยอร์ (monolayer) ต่อมาเมื่อมีโมเลกุลไอแอลกอฮอล์เข้ามาเพิ่มมากขึ้น โมเลกุลไอแอลกอฮอล์ก็จะรวมตัวกันเพิ่มมากขึ้นอีกหลายๆ ชั้นเป็นชั้นมัลติเลเยอร์ (multilayer) และเมื่อมีโมเลกุลไอแอลกอฮอล์มาเพิ่มมากขึ้นอีกหลายๆ ชั้นจะส่งผลให้ความดันไอภายในรูพรุนมีค่าเพิ่มมากขึ้นจนเกิดการควบแน่นเป็นของเหลวภายในรูพรุน (capillary condensation) ส่งผลทำให้เกิดการอิมมิดีในการดูดซับโมเลกุลไอแอลกอฮอล์ภายในรูพรุน และเมื่อไม่มีโมเลกุลไอแอลกอฮอล์เข้ามาในระบบจะส่งผลทำให้โมเลกุลไอแอลกอฮอล์ระเหยออกจากรูพรุน ซึ่งที่อุณหภูมิห้องโมเลกุลไอแอลกอฮอล์ก็สามารถระเหยได้เองแต่จะใช้เวลานานจึงควรใช้ความร้อนหรือลมเป่าไล่ซึ่งจะทำให้โมเลกุลไอแอลกอฮอล์ระเหยไปจนหมดได้ไวขึ้น โดยกระบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นนี้ แสดงดังรูปที่ 3.4



(ก)

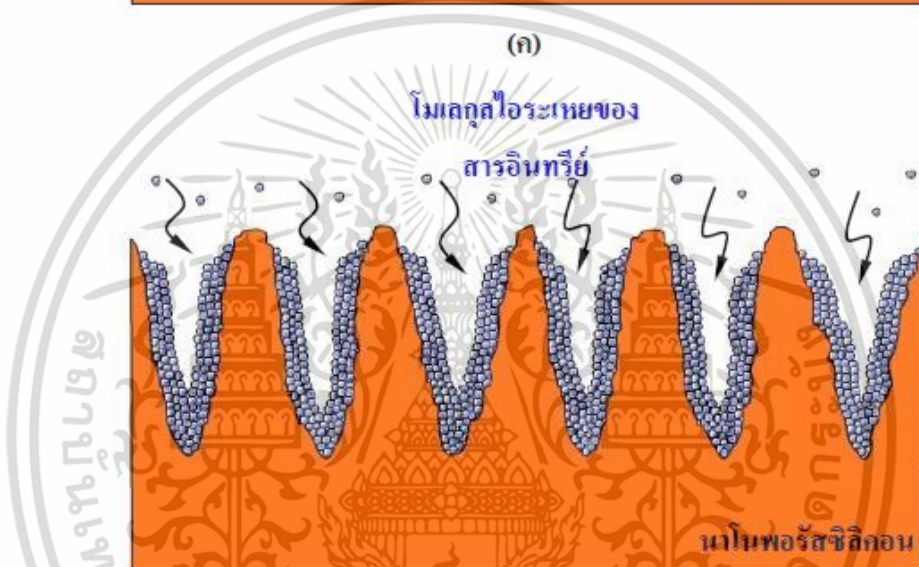


(ข)

รูปที่ 3.4 แบบจำลองการตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์ซซิลิคอน

- (ก) ชั้นพอร์ซซิลิคอนที่ยังไม่มีโมเลกุลไอแอลกอฮอล์มาเกาะ
- (ข) โมเลกุลไอแอลกอฮอล์มาจับตัวกันที่บริเวณพื้นผิวของรูพรุน
- (ค) โมเลกุลไอแอลกอฮอล์มาจับตัวกันเพิ่มขึ้นเรียงตัวกันเป็นชั้นโมโนเลเยอร์
- (ง) โมเลกุลไอแอลกอฮอล์มาจับตัวกันเพิ่มขึ้นหลายๆ ชั้นเป็นมัลติเลเยอร์
- (จ) โมเลกุลไอแอลกอฮอล์มาจับตัวกันเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนเกิดการควบแน่นในรูพรุน
- (ฉ) โมเลกุลไอแอลกอฮอล์เกิดการระเหยออกไปจากชั้นพอร์ซซิลิคอน
- (ช) ชั้นพอร์ซซิลิคอนที่โมเลกุลไอแอลกอฮอล์ระเหยออกไปหมดแล้ว

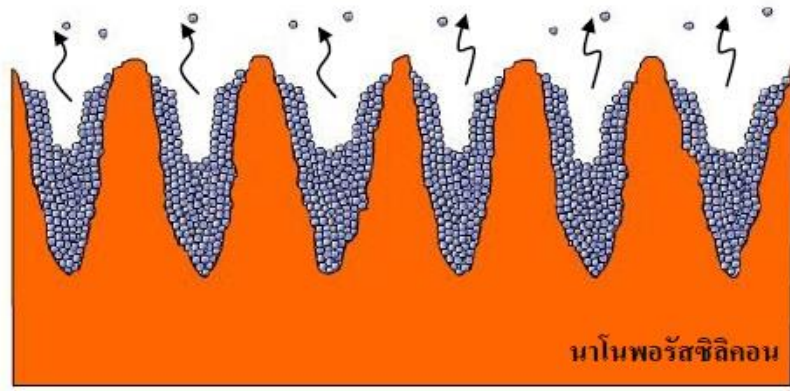
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)

รูปที่ 3.4 แบบจำลองการตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้เซ็นเซอร์ซิลิกา (ต่อ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.4 แบบจำลองการตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์ซิลิคอน (ต่อ)

จากรูปที่ 3.4 เป็นแบบจำลองของการตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์ซิลิคอน ซึ่งในแต่ละขั้นตอนสามารถอธิบายได้ดังนี้

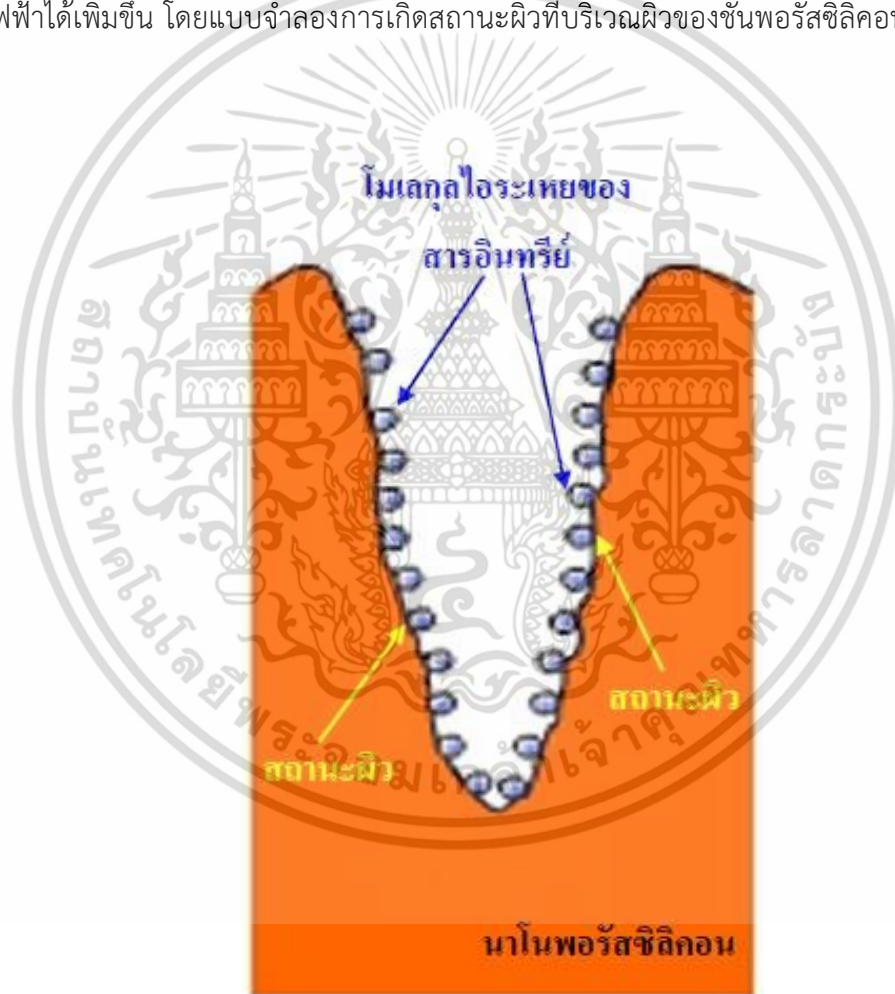
- (ก) เริ่มจากชั้นพอร์ซิลิคอนที่ยังไม่มีโมเลกุลไอแอลกอฮอล์มาเกาะ
- (ข) เมื่อมีการไหลของโมเลกุลไอแอลกอฮอล์เข้ามาในระบบ โมเลกุลไอแอลกอฮอล์จะเข้ามาในบริเวณรูพรุนของชั้นพอร์ซิลิคอน แล้วจับตัวกับผนังของรูพรุน
- (ค) เมื่อโมเลกุลไอแอลกอฮอล์เข้ามารวมตัวกันเพิ่มมากขึ้น จะเรียงตัวกันเป็นชั้นที่เรียกว่าชั้นโมโนเลเยอร์
- (ง) เมื่อโมเลกุลไอแอลกอฮอล์เข้ามารวมตัวกันเพิ่มมากขึ้นอีกหลายๆ ชั้นเป็นชั้นที่เรียกว่าชั้นมัลติเลเยอร์
- (จ) เมื่อโมเลกุลไอแอลกอฮอล์เข้ามารวมตัวกันเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จะส่งผลทำให้ความดันไอภายในรูพรุนมีค่าเพิ่มมากขึ้นจนเกิดการควบแน่นเป็นของเหลวภายในรูพรุน ทำให้เกิดการอึดตัวในการดูดซึมโมเลกุลไอแอลกอฮอล์ภายในรูพรุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- (ฉ) เมื่อไม่มีการไหลของโมเลกุลไอแอลกอฮอล์เข้ามาในระบบ จะส่งผลทำให้โมเลกุลไอแอลกอฮอล์ระเหยออกจากรูพรุน
- (ข) เมื่อโมเลกุลไอแอลกอฮอล์ระเหยออกจากรูพรุนไปจนหมดก็จะเหลือแต่ชั้นพอร์สซิลิโคน

3.3.2 หลักการเหนี่ยวนำพาหะบริเวณผิวและการนำไฟฟ้าของชั้นพอร์สซิลิโคน

บริเวณผิวของชั้นพอร์สซิลิโคนมีพันธะแขวนขาดและสารเจือปนอื่นๆ อยู่บริเวณผิวซึ่งจะทำให้มีระดับพลังงานที่เรียกว่าสถานะผิว (surface states) เกิดขึ้น เมื่อโมเลกุลไอแอลกอฮอล์ถูกดูดซับและจับตัวกับผนังรูพรุนของชั้นพอร์สซิลิโคนจะส่งผลให้เกิดการเหนี่ยวนำพาหะที่บริเวณผิวของชั้นพอร์สซิลิโคนเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดสถานะผิวเพิ่มมากขึ้น บริเวณผิวของชั้นพอร์สซิลิโคนจึงสามารถนำไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น โดยแบบจำลองการเกิดสถานะผิวที่บริเวณผิวของชั้นพอร์สซิลิโคนแสดงดังรูปที่ 3.5

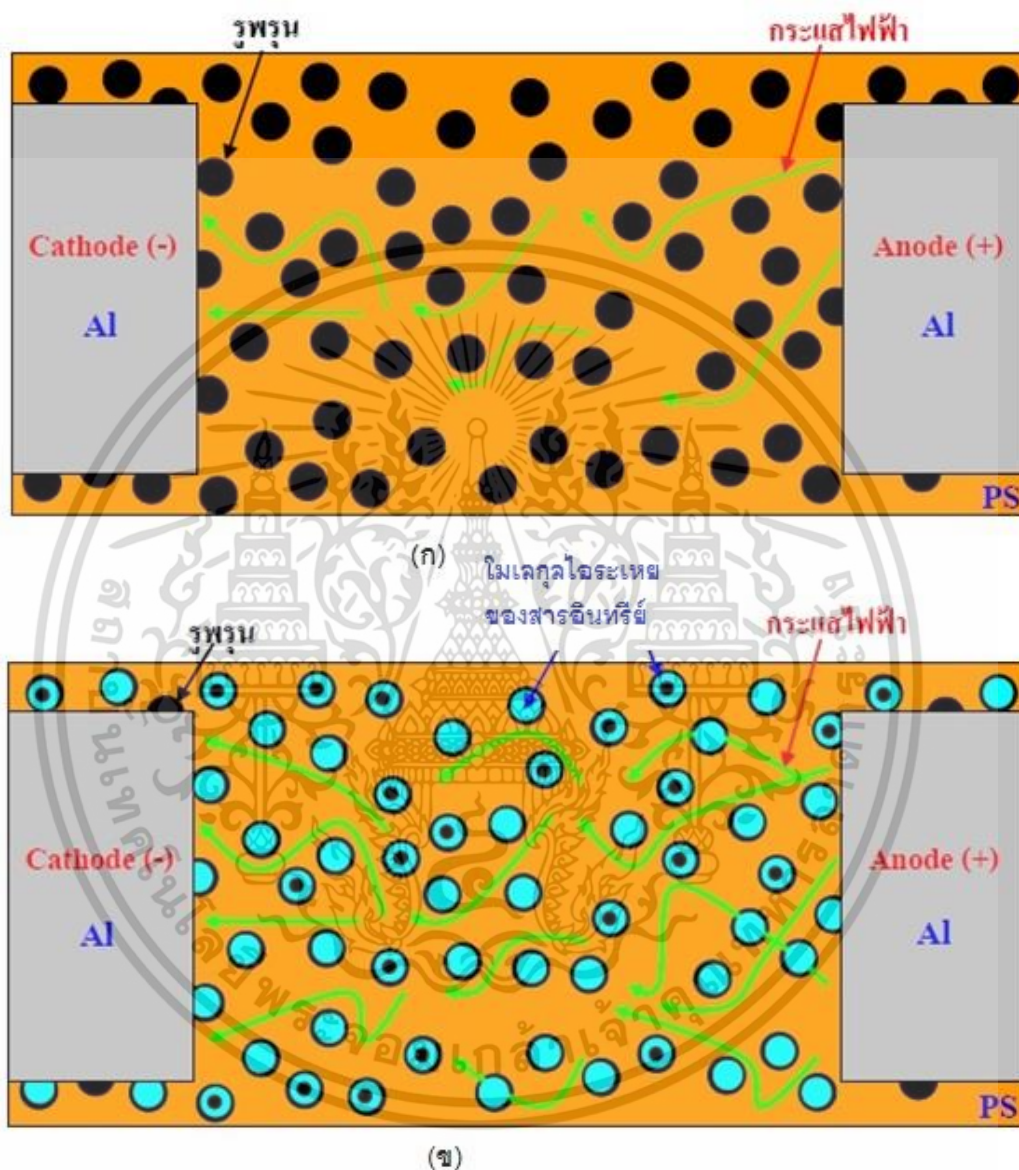


รูปที่ 3.5 แบบจำลองการเกิดสถานะผิวที่บริเวณผิวของชั้นพอร์สซิลิโคน

จากรูปที่ 3.5 เมื่อโมเลกุลไอแอลกอฮอล์เข้ามารวมตัวกันภายในรูพรุนของชั้นพอร์สซิลิโคนทำให้เกิดสถานะผิวเพิ่มมากขึ้น ชั้นพอร์สซิลิโคนสามารถนำไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น และเมื่อมีโมเลกุลไอแอลกอฮอล์เข้ามารวมตัวกันภายในรูพรุนเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จนเกิดการควบแน่นเป็นของเหลวภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูพรุน ส่งผลทำให้ชั้นพอร์ซซิลิคอนสามารถนำไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้นจนไปคงที่อยู่ที่ค่าหนึ่ง เนื่องจากเกิดการอิมิตัวในการตรวจจับโมเลกุลไอแอลกอฮอล์ โดยการนำไฟฟ้าของชั้นพอร์ซซิลิคอนที่เพิ่มขึ้นนี้จะเกิดจาก 2 สาเหตุคือ สถานะผิวที่เพิ่มมากขึ้นของชั้นพอร์ซซิลิคอน และการนำไฟฟ้าของแอลกอฮอล์ที่ควบแน่นเป็นของเหลวภายในรูพรุน แสดงดังรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 แบบจำลองการนำไฟฟ้าของชั้นพอร์ซซิลิคอน

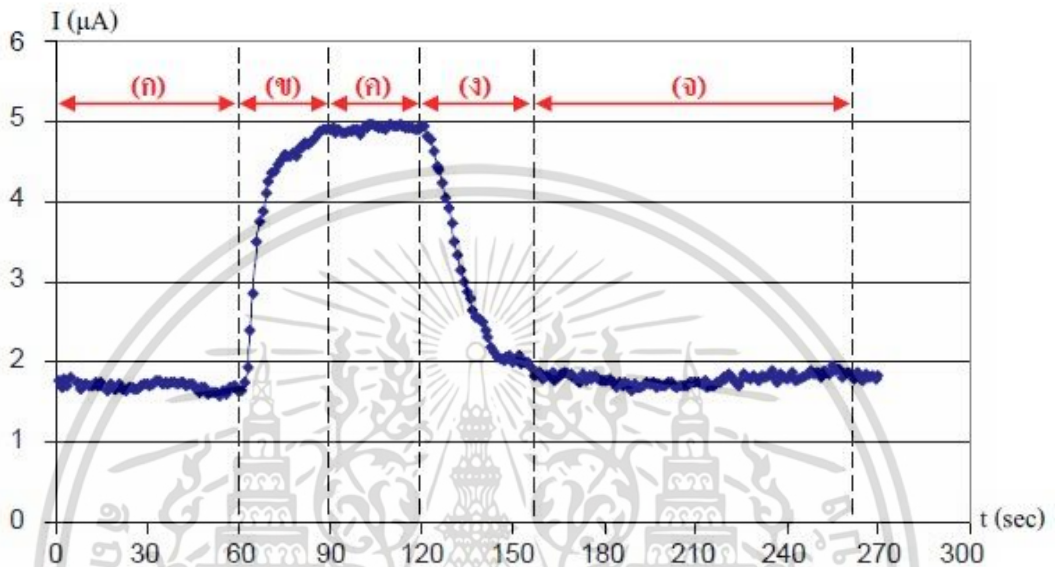
(ก) ก่อนตรวจจับไอแอลกอฮอล์

(ข) ขณะตรวจจับไอแอลกอฮอล์

จากรูปที่ 3.6 (ก) เป็นการนำไฟฟ้าของชั้นพอร์ซซิลิคอนจากขั้วแอโนดไปยังขั้วแคโทดก่อนที่จะมีการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ สังเกตได้ว่าจะมีปริมาณกระแสไฟฟ้าน้อยมากเนื่องจากชั้นพอร์ซซิลิคอนมีค่าความต้านทานที่สูง และจากรูปที่ 3.6 (ข) เมื่อมีโมเลกุลไอแอลกอฮอล์เข้ามารวมตัวกันภายในรูพรุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของชั้นพอร์สซิลิคอนมากขึ้น ทำให้มีการนำไฟฟ้าของชั้นพอร์สซิลิคอนเพิ่มมากขึ้น สังเกตได้ว่าจะมีปริมาณกระแสไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะเกิดจาก 2 สาเหตุหลักๆ คือ เกิดจากสถานะผิวของชั้นพอร์สซิลิคอนที่เพิ่มมากขึ้น และเกิดจากการนำไฟฟ้าของแอลกอฮอล์ที่ควบแน่นเป็นของเหลวภายในรูพรุน โดยตัวอย่างผลการทดลองลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ของชั้นพอร์สซิลิคอน แสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ของชั้นพอร์สซิลิคอน

- (ก) ช่วงที่ไม่มีโมเลกุลไอแอลกอฮอล์
- (ข) ช่วงที่โมเลกุลไอแอลกอฮอล์มาจับตัวกันที่บริเวณพื้นผิวของรูพรุนเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และเกิดการควบแน่นภายในรูพรุน
- (ค) ช่วงที่เกิดการอิมตัวในการตรวจจับโมเลกุลไอแอลกอฮอล์
- (ง) ช่วงที่โมเลกุลไอแอลกอฮอล์เกิดการระเหยออกไปจากชั้นพอร์สซิลิคอน
- (จ) ช่วงที่โมเลกุลไอแอลกอฮอล์ระเหยออกไปหมดแล้ว

จากรูปที่ 3.7 เป็นช่วงต่างๆ ของลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอน ซึ่งในแต่ละขั้นตอนสามารถอธิบายได้ดังนี้

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

(ค) ช่วงที่เกิดการอิมิตัวในการตรวจจับโมเลกุลไอแอลกอฮอล์ ทำให้การนำไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นมานั้น จะคงที่อยู่ที่ค่าๆ หนึ่ง

(ง) ช่วงที่หยุดการไหลของไอแอลกอฮอล์ ทำให้ไอแอลกอฮอล์เกิดการระเหยออกจากรูพรุนไปเรื่อยๆ ส่งผลทำให้การนำกระแสไฟฟ้าของชั้นพอร์สซิลิคอนที่ค่าลดลง

(จ) ช่วงที่โมเลกุลไอแอลกอฮอล์เกิดการระเหยออกจากรูพรุนจนหมด ส่งผลทำให้บริเวณผิวของชั้นพอร์สซิลิคอนกลับมานำไฟฟ้าอยู่ที่ระดับเดิมในตอนแรก

โดยเหตุการณ์การดูดซับและควบแน่นในรูพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนและเหตุการณ์การเหนี่ยวนำพาหะบริเวณผิวและการนำไฟฟ้าของชั้นพอร์สซิลิคอนจะเป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นพร้อมๆ กัน ส่งผลทำให้ชั้นพอร์สซิลิคอนสามารถทำการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

กระบวนการสร้างและเครื่องมือที่ใช้ในการวัด

4.1 กระบวนการสร้างพอร์สซิลิคอน

4.1.1 การสร้างพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการกัดทางไฟฟ้าเคมี

การสร้างพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการกัดทางไฟฟ้าเคมีหรือที่เรียกว่าแอนโอดิซเซชัน เป็นวิธีการที่น่าสนใจอย่างมาก เนื่องจากสามารถควบคุมปฏิกิริยาในการกัดเพื่อทำให้เกิดชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีความสม่ำเสมอ ความพรุน และความหนาตามต้องการได้ โดยงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้อุปกรณ์เซลล์ไฟฟ้าเคมีสองชนิดด้วยกันคือชุดกัดไฟฟ้าเคมีแบบเซลล์แท่งกึ่งเดี่ยวแนวตั้ง และชุดกัดไฟฟ้าเคมีแบบเซลล์แท่งกึ่งเดี่ยวแนวนอน แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 (ก) อุปกรณ์เซลล์ไฟฟ้าเคมีแบบเซลล์แท่งกึ่งเดี่ยวแนวตั้ง

(ข) อุปกรณ์เซลล์ไฟฟ้าเคมีแบบเซลล์แท่งกึ่งเดี่ยวแนวนอน

จากรูปที่ 4.1 จะเห็นว่าชุดกัดเซลล์ไฟฟ้าเคมีทั้งสองแบบนี้มีความแตกต่างกันค่อนข้างมาก ส่วนวิธีการใช้งานก็แตกต่างกันเล็กน้อย โดยชุดกัดไฟฟ้าเคมีแบบเซลล์แท่งกึ่งเดี่ยวแนวตั้งนั้นจะมีบริเวณที่สัมผัสกับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกเพียงด้านเดียว ส่วนเซลล์แท่งกึ่งเดี่ยวแนวนอนนั้นจะมีส่วนที่สัมผัสกับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกด้วยกันทั้งสองด้าน ซึ่งก็จะทำให้ได้ผลการทดลองในการสร้างชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น มิอนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอร์สซิลิคอนที่แตกต่างกันออกไปด้วย หลักการก็คือเราจะทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้วิ่งไหลผ่านตัวกลางทั้งสองชนิดนั้นก็คือ สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกและแผ่นผลึกซิลิคอน ซึ่งเมื่อมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน บริเวณที่สัมผัสกับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกซึ่งเป็นทางด้านแคโทดนั้น จะถูกกัดเป็นรูพรุนขึ้น ซึ่งบริเวณนี้เองที่เราเรียกกันว่าชั้นพอร์สซิลิคอน

4.1.2 การสร้างอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอน

ชั้นพอร์สซิลิคอนที่นำมาสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ในงานวิจัยนี้ จะเลือกใช้การสร้างด้วยวิธีการกัดทางไฟฟ้าเคมี เนื่องจากเป็นวิธีการที่ไม่ยุ่งยาก สามารถควบคุมตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนให้มีความสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น และสามารถควบคุมความหนาของชั้นพอร์สซิลิคอนได้อีกด้วย

ขั้นตอนการสร้างอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอน

1. การเตรียมแผ่นซิลิคอน

ใช้แผ่นซิลิคอนชนิดพี มีระนาบ (100) สภาพด้านทาน 9-11 โอห์ม-เซนติเมตร ความหนาของแผ่นซิลิคอนเท่ากับ 625 ไมโครเมตร

2. การทำความสะอาดผิวแผ่นซิลิคอนเริ่มต้น

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

- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์

- ต้มในกรดไนตริก (HNO_3) เป็นเวลา 5 นาที เพื่อทำการกำจัดเศษโลหะหนักที่ผิวหน้า

- ต้มในน้ำบริสุทธิ์ 2 แก้ว เป็นเวลาแก้วละ 5 นาที

- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์ 2 แก้ว เป็นเวลาแก้วละ 5 นาที

- เป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน

- ต้มในไตรโคลโรเอททีลีน (trichloroethylene) เป็นเวลา 5 นาที เพื่อกำจัดไขมัน

- ล้างด้วยอะซิโตน (acetone) ในเครื่องสั่นความถี่สูง เป็นเวลา 5 นาที

- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์ 2 แก้ว เป็นเวลาแก้วละ 5 นาที

- เป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน

3. การสร้างชั้นพอร์สซิลิคอน

กระบวนการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนในงานวิจัยนี้จะประกอบไปด้วยกระบวนการสร้างที่แตกต่างกันออกไปทั้งหมด 3 วิธีด้วยกัน ประกอบไปด้วย

- การสร้างโดยชุดกัดเซลล์แทงก์เดี่ยวแนวตั้งกับแผ่นซิลิคอนไม่เคลือบอลูมิเนียมที่ด้านหลัง

ทำการสร้างโดยนำแผ่นผลึกซิลิคอนที่ทำความสะอาดเรียบร้อยแล้ว มาประกอบในชุดกัดแบบเซลล์แทงก์เดี่ยวแนวตั้ง จากนั้นจึงทำการเติมสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกลงไป ในชุดกัด แล้วทำการ

ไบอัสแบบแอนโอดีเซชันเข้าไปตามเงื่อนไขที่กำหนด จะได้เป็นชั้นพอร์ซิลิคอนออกมา แสดงขั้นตอนดังรูปที่ 4.2 (ก)

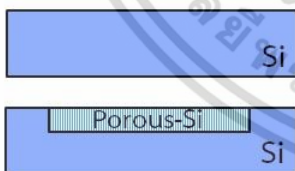
- การสร้างโดยชุดกัดเซลล์แท่งเดี่ยวแนวตั้งกับแผ่นซิลิคอนเคลือบอลูมิเนียมเหนืงด้านหลัง

ทำการสร้างโดยนำแผ่นผลึกซิลิคอนที่ทำความสะอาดเรียบร้อยแล้ว มาทำการเคลือบโลหะอลูมิเนียมที่บริเวณด้านหลังของแผ่นซิลิคอน เพื่อทำขั้วด้านหลังของอุปกรณ์ด้วยวิธีการระเหยสารด้วยความร้อนในสุญญากาศ โดยใช้เครื่องระเหยสารด้วยความร้อนในสุญญากาศ (vacuum evaporator) ซึ่งสามารถทำการเคลือบโลหะอลูมิเนียมที่ด้านหลังของแผ่นซิลิคอนได้ความหนาประมาณ 1 ไมโครเมตร จากนั้นนำแผ่นซิลิคอนที่ทำการเคลือบอลูมิเนียมด้านหลังแผ่นไปทำการซินเตอร์ริงเพื่อให้ส่วนของโลหะอลูมิเนียมที่สัมผัสกับเนื้อซิลิคอนเป็นรอยสัมผัสแบบโอห์มมิก ซึ่งจะมีผลทำให้กระแสที่ป้อนให้ระหว่างกระบวนการแอนโอดีเซชันมีการกระจายตัวไปทั่วแผ่นได้อย่างสม่ำเสมอ โดยการวางไว้ในบรรยากาศไนโตรเจนที่มีอัตราการไหล 1 L/min อุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 15 นาที นำชิ้นงานที่ได้มาประกอบในชุดกัดแบบเซลล์แท่งเดี่ยวแนวตั้ง จากนั้นจึงทำการเติมสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกลงไปในชุดกัด แล้วทำการไบอัสแบบแอนโอดีเซชันเข้าไปตามเงื่อนไขที่กำหนด จะได้เป็นชั้นพอร์ซิลิคอนออกมา แสดงขั้นตอนดังรูปที่ 4.2 (ข)

- การสร้างโดยชุดกัดเซลล์แท่งคู่แนวอนกับแผ่นซิลิคอนไม่เคลือบอลูมิเนียมที่ด้านหลัง

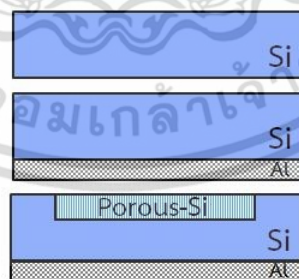
ทำการสร้างโดยนำแผ่นผลึกซิลิคอนที่ทำความสะอาดเรียบร้อยแล้ว มาประกอบในชุดกัดแบบเซลล์แท่งคู่แนวอน จากนั้นจึงทำการเติมสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกลงไปในชุดกัด แล้วทำการไบอัสแบบแอนโอดีเซชันเข้าไปตามเงื่อนไขที่กำหนด จะได้เป็นชั้นพอร์ซิลิคอนออกมา แสดงขั้นตอนดังรูปที่ 4.2 (ค)

ชุดกัดเซลล์แท่งเดี่ยวแนวตั้ง
กับซิลิคอนไม่เคลือบอลูมิเนียม



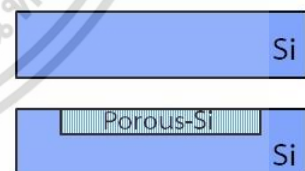
(ก)

ชุดกัดเซลล์แท่งเดี่ยวแนวตั้ง
กับซิลิคอนเคลือบอลูมิเนียม



(ข)

ชุดกัดเซลล์แท่งคู่แนวอน
กับซิลิคอนไม่เคลือบอลูมิเนียม



(ค)

รูปที่ 4.2 ขั้นตอนการสร้างชั้นพอร์ซิลิคอนด้วยวิธีการสร้างที่แตกต่างกัน

- (ก) สร้างโดยชุดกัดเซลล์แท่งเดี่ยวแนวตั้งกับแผ่นซิลิคอนไม่เคลือบอลูมิเนียมด้านหลัง
- (ข) สร้างโดยชุดกัดเซลล์แท่งเดี่ยวแนวตั้งกับแผ่นซิลิคอนเคลือบอลูมิเนียมด้านหลัง
- (ค) สร้างโดยชุดกัดเซลล์แท่งคู่แนวอนกับแผ่นซิลิคอนไม่เคลือบอลูมิเนียมด้านหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

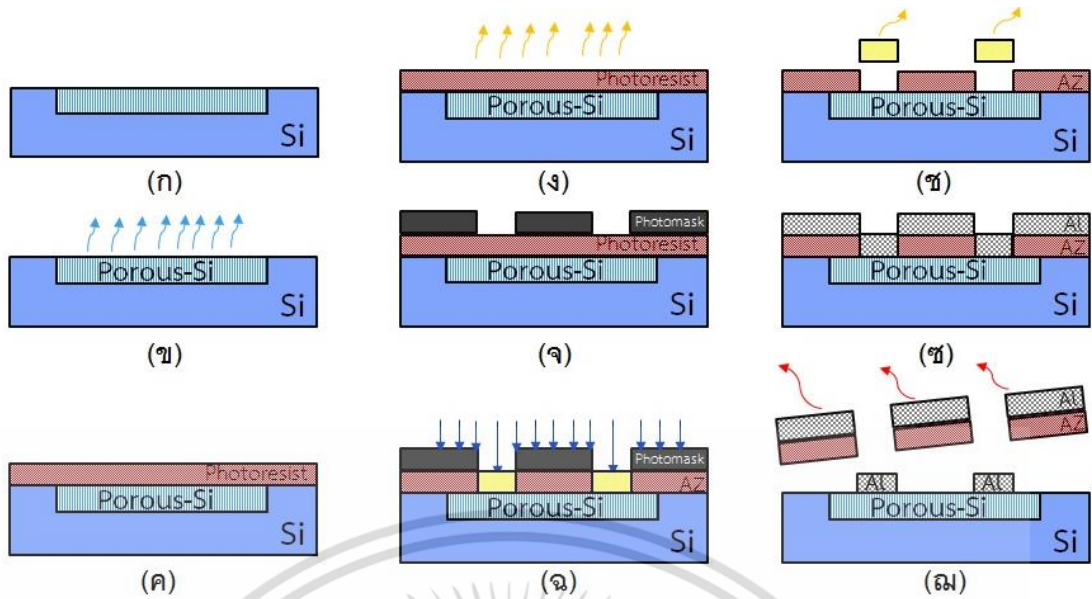
4. การทำความสะอาดผิวแผ่นซิลิคอนหลังจากการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอน
นำแผ่นซิลิคอนออกจากเซลล์ไฟฟ้าเคมี ไปผ่านการทำความสะอาดแผ่นซิลิคอนครั้งสุดท้าย โดยมีขั้นตอนดังนี้

- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์
- แช่แผ่นซิลิคอนในแอลกอฮอล์เป็นเวลา 10 นาที เพื่อกำจัดขี้ผึ้งสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกที่ยังตกค้างอยู่ในชั้นพอร์สซิลิคอน

5. การสร้างขั้วอลูมิเนียมด้านหน้าด้วยวิธีการ lift-off

หลังจากผ่านกระบวนการทำความสะอาดผิวของแผ่นซิลิคอนเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ต่อจากนั้นจะทำการเคลือบโลหะอลูมิเนียมที่บริเวณด้านหน้าของแผ่นซิลิคอน บริเวณที่มีชั้นพอร์สซิลิคอน ด้วยวิธีการสร้างขั้วไฟฟ้าที่เรียกว่าวิธีการ lift-off โดยมีขั้นตอนการสร้างดังนี้

- ใช้ชั้นพอร์สซิลิคอนที่สร้างโดยกระบวนการแอนโนไดซ์เซชันที่ทำความสะอาดเรียบร้อยแล้ว แสดงดังรูปที่ 4.3 (ก)
- นำไปทำการอบ pre-bake เพื่อไล่ความชื้นที่อยู่ภายในชั้นพอร์สซิลิคอนออกไป แสดงดังรูปที่ 4.3 (ข)
- ทำการเคลือบน้ำยาไวแสง เบอร์ AZ P4620 เคลือบด้วยวิธีการ spin-coating ที่ความเร็วรอบ 2000 rpm จะได้น้ำยาไวแสงที่มีความหนา 8-9 μm แสดงดังรูปที่ 4.3 (ค)
- ทำการอบ post-bake เพื่อทำการระเหยตัวทำละลายของน้ำยาไวแสงออกไปจนแห้ง แสดงดังรูปที่ 4.3 (ง)
- ทำการ alignment โดยใช้มาสค์ต้นแบบที่ได้ทำการสร้างไว้แล้วสำหรับน้ำยาไวแสงชนิดบวก แสดงดังรูปที่ 4.3 (จ)
- ทำการฉายแสง ด้วยแสง UV ลงบนน้ำยาไวแสงเพื่อสร้างลายสำหรับขั้วไฟฟ้างรูปที่ 4.3 (ฉ)
- นำชิ้นงานไปล้างในน้ำยา developer เพื่อลอกชั้นน้ำยาไวแสงบริเวณที่โดนแสงออก จะเหลือเป็นช่องว่างสำหรับสร้างขั้วอลูมิเนียมบนชั้นพอร์สซิลิคอน แสดงดังรูปที่ 4.3 (ช)
- ทำการเคลือบโลหะอลูมิเนียมที่บริเวณด้านบนของชิ้นงาน เพื่อทำขั้วของอุปกรณ์ด้วยวิธีการระเหยสารด้วยความร้อนในสุญญากาศ โดยใช้เครื่องระเหยสารด้วยความร้อนในสุญญากาศ (vacuum evaporator) ซึ่งสามารถทำการเคลือบโลหะอลูมิเนียมที่ด้านบนของชิ้นงานได้ความหนาประมาณ 1 ไมโครเมตร แสดงดังรูปที่ 4.3 (ซ)
- นำชิ้นงานมาล้างด้วยอะซิโตนในเครื่องสั่นความถี่สูง เพื่อลอกชั้นน้ำยาไวแสงและชั้นอลูมิเนียมที่อยู่ด้านบนน้ำยาไวแสงออก จะเหลือทิ้งไว้เพียงขั้วอลูมิเนียมที่เราต้องการ ดังรูปที่ 4.3 (ฌ)



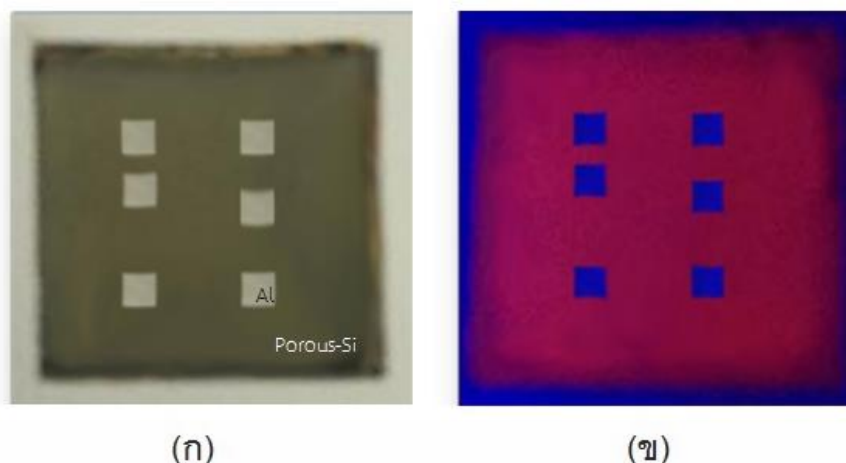
รูปที่ 4.3 ขั้นตอนการสร้างขั้วลุ่มิเนียมด้วยวิธีการ lift-off

- (ก) ชั้นพอร์สซิลิคอนที่สร้างด้วยกระบวนการแอโนไดซ์เซชัน
- (ข) อบ pre-bake เพื่อระเหยความชื้น
- (ค) เคลือบน้ำยาไวแสง
- (ง) อบ post-bake ระเหยตัวทำละลายน้ำยาไวแสง
- (จ) ทำการ alignment ด้วยมาร์คต้นแบบ
- (ฉ) ทำการฉายแสงยูวี
- (ช) ล้างด้วยน้ำยา developer
- (ซ) เคลือบลุ่มิเนียมด้วยวิธีการระเหยสารในสุญญากาศ
- (ฌ) ล้างในอะซิโตนด้วยเครื่องสั่นความถี่สูง

6. กระบวนการซินเตอร์ริง

นำแผ่นซิลิคอนที่ทำขั้วลุ่มิเนียมด้านหน้าไปทำการซินเตอร์ริง เพื่อให้ส่วนของโลหะลุ่มิเนียมที่สัมผัสกับเนื้อพอร์สซิลิคอนเป็นรอยสัมผัสแบบโอห์มมิก โดยการวางแผ่นซิลิคอนไว้ในบรรยากาศไนโตรเจนที่มีอัตราการไหล 1 L/min อุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 15 นาที

อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอนที่สร้างจากกระบวนการข้างต้นมีขนาดของขั้วลุ่มิเนียมประมาณ $1000 \times 1000 \mu\text{m}^2$ และมีระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า ประมาณ 500 μm , 1000 μm , 1500 μm , 2000 μm , และ 2500 μm ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่ทำการสร้างขั้วไฟฟ้าด้วยวิธีการ lift-off

(ก) ภาพชิ้นงานในสถานะแสงขาว

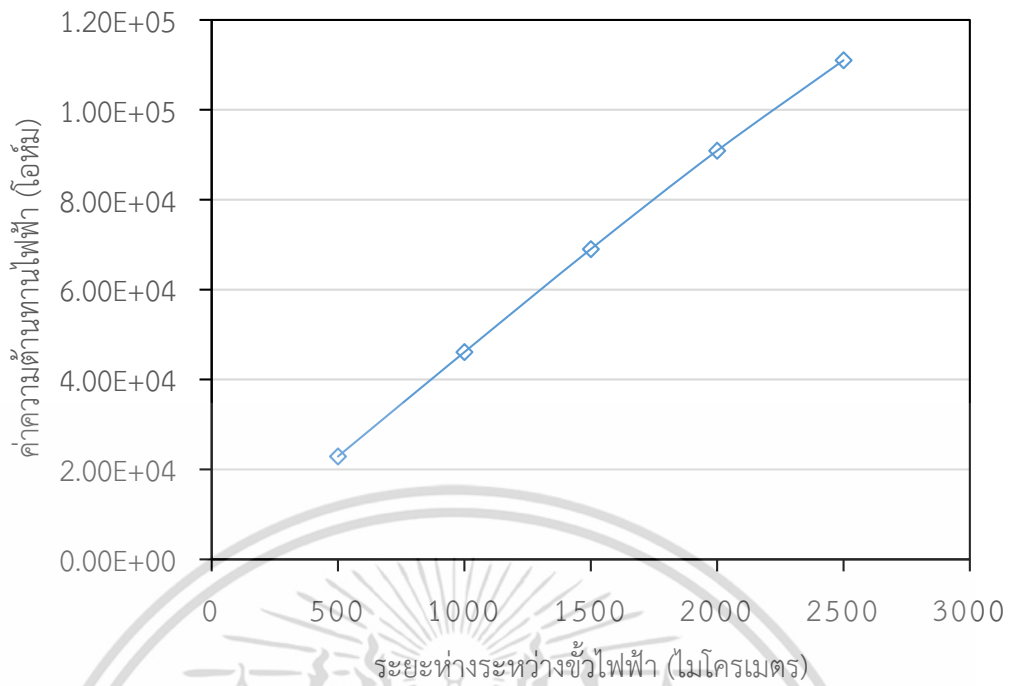
(ข) ภาพชิ้นงานเมื่อทำการฉายแสงด้วยหลอดแบล็คไลท์

4.2 เทคนิคและเครื่องมือที่ใช้ในการวัด

4.2.1 การหาความสม่ำเสมอของชั้นพอร์ซิลิคอนด้วยเทคนิคการวัดค่าความต้านทานต่อระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า

การหาความสม่ำเสมอของชั้นพอร์ซิลิคอนด้วยวิธีการวัดค่าความต้านทานของชั้นพอร์ซิลิคอนที่ระยะห่างระหว่างขั้วแตกต่างกัน โดยเราจะสร้างขั้วไฟฟ้าบนชั้นพอร์ซิลิคอนทั่วบริเวณผิวของชั้นพอร์ซิลิคอนให้มีระยะห่างระหว่างขั้วแตกต่างกันคือ 500 μm , 1000 μm , 1500 μm , 2000 μm , และ 2500 μm ตามลำดับ จากนั้นนำมาทำการวัดค่าความต้านทานของชั้นพอร์ซิลิคอนที่ระยะขั้วแตกต่างกัน แล้วนำค่าที่ได้ไปพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของขั้วไฟฟ้ากับค่าความต้านทานไฟฟ้า ซึ่งหากได้ชั้นพอร์ซิลิคอนที่มีความสม่ำเสมอเส้นกราฟก็จะมีความสัมพันธ์เพิ่มขึ้นแบบเส้นตรงดังแสดงในรูปที่ 4.5

จากความสัมพันธ์ที่ว่า $R = \rho \frac{l}{A}$ หากชั้นพอร์ซิลิคอนของเรานั้นมีความสม่ำเสมอจะต้องมีค่าสภาพความต้านทานของชั้นพอร์ซิลิคอนที่สม่ำเสมอเท่ากันทั่วบริเวณด้วย และขั้วไฟฟ้าทุกขั้วที่เราสร้างนั้นจะมีขนาดของขั้วไฟฟ้าที่เท่ากัน ดังนั้นค่าความต้านทานที่วัดได้จึงแปรผันตรงกับระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าเท่านั้น ถ้าชั้นพอร์ซิลิคอนเรามีความสม่ำเสมอ เมื่อเราทำการเพื่อระยะห่างระหว่างขั้วจะทำให้ได้ค่าความต้านทานที่สูงขึ้นเป็นเส้นตรงดังรูปที่ 4.5 แต่หากชั้นพอร์ซิลิคอนที่เราสร้างขึ้นนั้นมีความไม่สม่ำเสมอกราฟที่ได้จะมีความสัมพันธ์ไม่เป็นเส้นตรง



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานไฟฟ้ากับระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าของชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีความสม่ำเสมอ

4.2.2 การหาความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนด้วยเทคนิคการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของวัสดุ

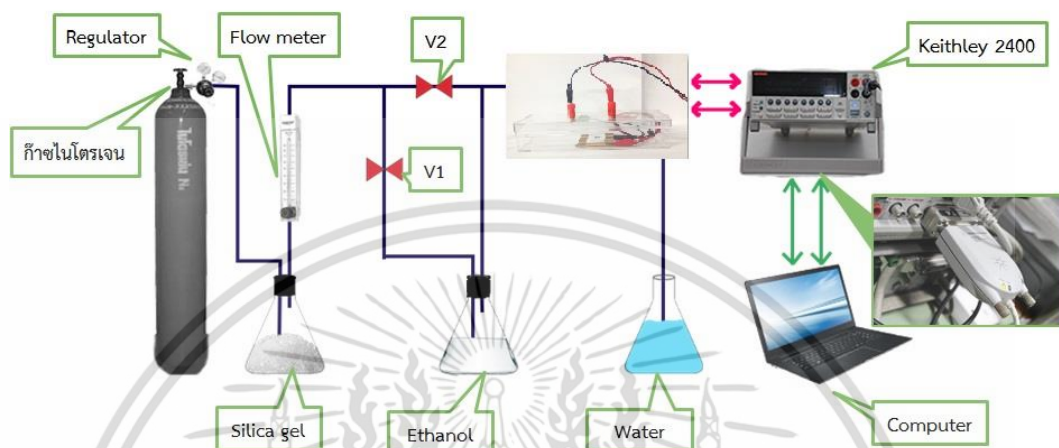
การวัดค่าความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอน ใช้หลักการการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของวัสดุก่อนและหลังการเกิดรูพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอน โดยค่าความพรุนของวัสดุใดๆ สามารถหาได้ดังนี้

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

โดยที่ m_1 คือ น้ำหนักของวัสดุเริ่มต้นก่อนการเกิดรูพรุน
 m_2 คือ น้ำหนักของวัสดุหลังการเกิดรูพรุน
 m_3 คือ น้ำหนักของวัสดุที่เหลือหลังจากการลอกชั้นความพรุนออก

4.2.3 ชุดเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการตรวจจับไอแอลกอฮอล์

การศึกษาปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการตรวจจับไอระเหยแอลกอฮอล์จะใช้ชุดเครื่องมือในการวัดผล แสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 เครื่องมือต่างๆ ที่ใช้ในการวัดอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์

จากรูปที่ 4.6 ชุดเครื่องมือในการวัดอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

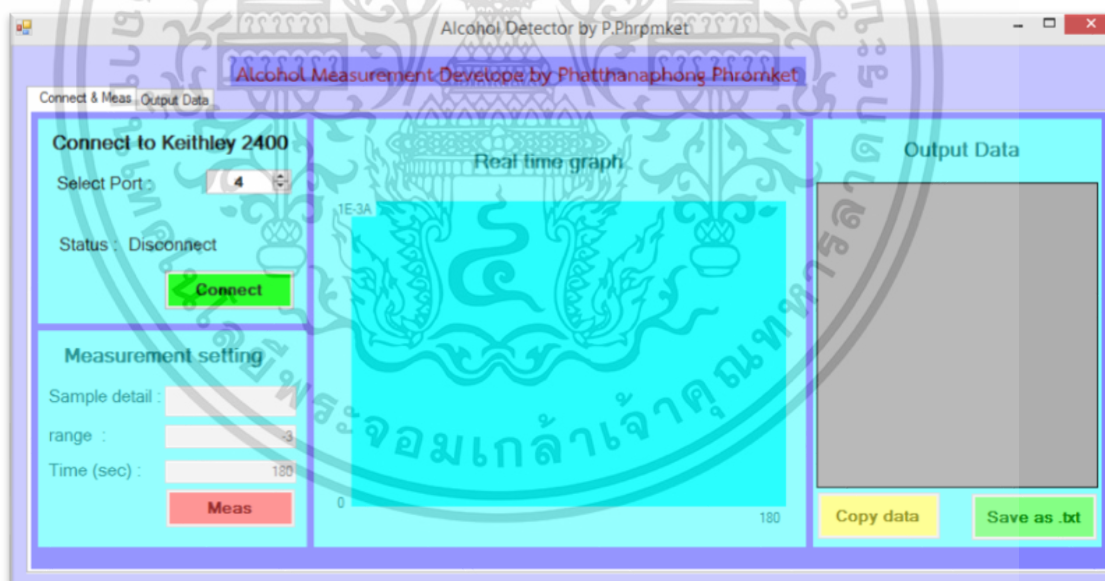
1. ถังก๊าซไนโตรเจน โดยใช้ก๊าซไนโตรเจนเป็นตัวพาไอแอลกอฮอล์ เนื่องจากก๊าซไนโตรเจนไม่ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์และชั้นพอร์สซิลิคอน
2. รีเกกูเลเตอร์ (regulator) ทำหน้าที่ควบคุมความดันในระบบ
3. ซิลิกาเจล (silica gel) ทำหน้าที่ดูดความชื้นของก๊าซไนโตรเจน
4. Flow meter
5. แอลกอฮอล์
6. ระบบวาล์วควบคุมทิศทางการไหลของก๊าซ
7. อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ซึ่งอยู่ในกล่องที่ปิดสนิท
8. เครื่องมือวัดแรงดัน/กระแสไฟฟ้าของบริษัท Keithley รุ่น 2400 ใช้ในการวัดปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการตรวจจับไอแอลกอฮอล์
9. คอมพิวเตอร์ ทำหน้าที่เก็บข้อมูลกระแสไฟฟ้าจากเครื่องมือวัดกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ ผ่านสาย IEEE 488

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10. อ่างน้ำ ทำหน้าที่รักษาความดันในระบบให้คงที่

โดยวิธีการวัดค่ากระแสไฟฟ้าในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์นี้จะทำโดยเริ่มต้นจากการเปิดถังก๊าซไนโตรเจน แล้วทำการปรับเร็กกูเลเตอร์เพื่อให้ก๊าซไนโตรเจนไหลออกมาได้ จากนั้นก๊าซไนโตรเจนจะถูกไหลไปยังชุดของซิลิกาเจล ซึ่งซิลิกาเจลจะทำการดูดซับความชื้นที่มีอยู่ในก๊าซไนโตรเจนออกไปจนหมด จากนั้นก๊าซไนโตรเจนจะไหลไปยังส่วนของ Flow meter ให้ทำการปรับให้มีอัตราการไหลของก๊าซไนโตรเจนที่ 1 ลิตรต่อนาที

ในขั้นตอนแรกให้เราทำการปิดวาล์วที่ 1 และเปิดเฉพาะวาล์วที่ 2 เพื่อทำการจ่ายก๊าซไนโตรเจนไปยังอุปกรณ์ตรวจจับของเรา และเมื่อต้องการทำการจ่ายไอระเหยของแอลกอฮอล์ให้ทำการปิดวาล์วที่ 2 และเปิดเฉพาะวาล์วที่ 1 ก๊าซไนโตรเจนจะไหลไปยังชุดของแอลกอฮอล์และนำพาไอแอลกอฮอล์เข้าไปยังส่วนของอุปกรณ์ตรวจจับของเรา ตัวอุปกรณ์ตรวจจับจะทำการดูดซับไอแอลกอฮอล์ และจะทำการบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าโดยเครื่องมือวัดแรงดันกระแสไฟฟ้าของบริษัท Keithley รุ่น 2400 และบันทึกลงบนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ผ่านสาย IEEE 488 โดยโปรแกรมที่เราใช้ในการบันทึกผลนั้นได้ทำการพัฒนาขึ้นโดยโปรแกรม Visual Studio 2010 แสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 หน้าจอโปรแกรมที่ใช้ในการบันทึกค่ากระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์

บทที่ 5

การทดลอง และผลการทดลอง

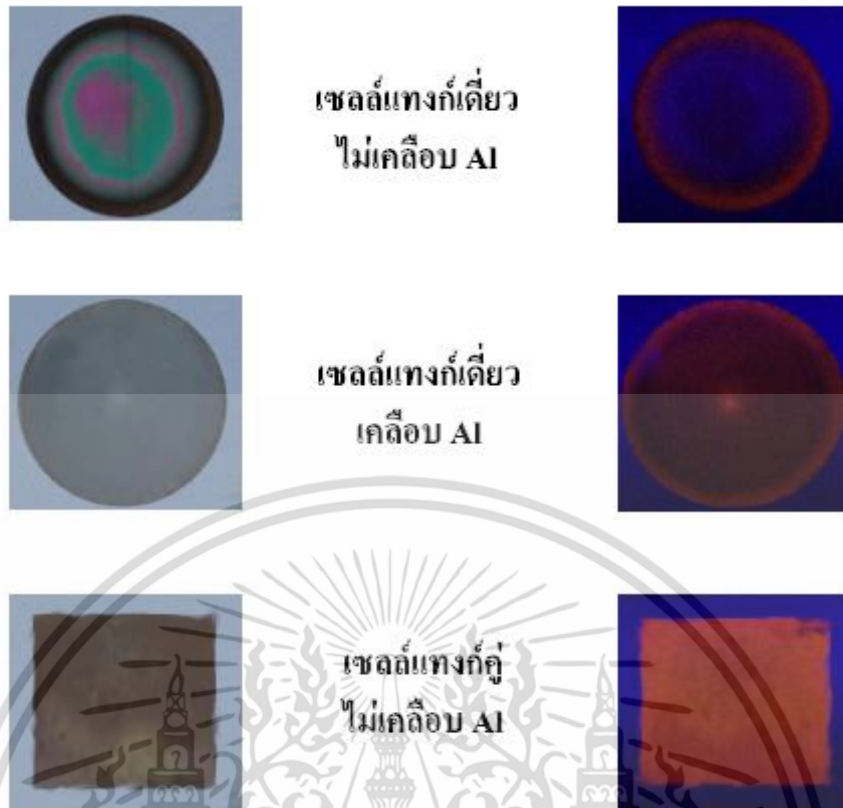
ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอน รวมทั้งผลของการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ของชั้นพอร์สซิลิคอนในอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ ซึ่งมีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

5.1 การทดลองเพื่อศึกษาผลของชนิดขุดกัดไฟฟ้าเคมีในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอน

การทดลองนี้ทำการศึกษาถึง ผลของชนิดขุดกัดไฟฟ้าเคมีในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอน โดยเปรียบเทียบกันระหว่างขุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งกึ่งเดี่ยวแนวตั้งกัดโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังซิลิคอนเวเฟอร์ ขุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งกึ่งเดี่ยวแนวตั้งกัดโดยเคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังซิลิคอนเวเฟอร์ และขุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งกึ่งเดี่ยวแนวอนกัดโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังซิลิคอนเวเฟอร์ ตามลำดับ โดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 เวลาในการแอนโนไดซ์เซชัน 10 นาที ในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการแอนโนไดซ์เซชัน

5.1.1 การศึกษาผลของชนิดขุดกัดไฟฟ้าเคมีต่อการเรืองแสงของชั้นพอร์สซิลิคอนเมื่อทำการฉายแสงจากหลอดแบล็คไลท์

การทดลองนี้ทำการศึกษาถึงการเรืองแสงของชั้นพอร์สซิลิคอน ซึ่งทำการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการแอนโนไดซ์เซชัน โดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 เวลาในการแอนโนไดซ์เซชัน 10 นาที ด้วยขุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งกึ่งเดี่ยวแนวตั้งกัดโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังซิลิคอนเวเฟอร์ ขุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งกึ่งเดี่ยวแนวตั้งกัดโดยเคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังซิลิคอนเวเฟอร์ และขุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งกึ่งเดี่ยวแนวอนกัดโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลัง ตามลำดับ เมื่อทำการฉายแสงด้วยหลอดแบล็คไลท์จะทำให้เกิดการเรืองแสงขึ้นของชั้นพอร์สซิลิคอน แสดงดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 ชั้นพอร์สซิติคอนที่สร้างโดยชุดกัดไฟฟ้าเคมีต่างชนิดกัน

(ก) พื้นผิวของชั้นพอร์สซิติคอน (ข) การเรืองแสงของชั้นพอร์สซิติคอน

จากรูปที่ 5.1 (ก) สังเกตได้ว่าการสร้างชั้นพอร์สซิติคอนด้วยชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งคู่ แนวนอนกัดโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังซิลิคอนเวเฟอร์ มีการเกิดชั้นพอร์สซิติคอนที่มีความสม่ำเสมอมากที่สุด รองลงมาคือการสร้างชั้นพอร์สซิติคอนด้วยชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งเดี่ยว แนวตั้งกัดโดยเคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังซิลิคอนเวเฟอร์ และการสร้างชั้นพอร์สซิติคอนด้วยชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งเดี่ยวแนวตั้งกัดโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังซิลิคอนเวเฟอร์ และเมื่อสังเกตการเรืองแสงของชั้นพอร์สซิติคอนด้วยการฉายแสงจากหลอดแบล็คไลท์ แสดงดังรูปที่ 5.1 (ข) สังเกตได้ว่าชั้นพอร์สซิติคอนที่สร้างด้วยชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งคู่แนวนอนกัดโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังซิลิคอนเวเฟอร์ จะมีการเรืองแสงของชั้นพอร์สซิติคอนอย่างสม่ำเสมอมากกว่าการสร้างในชนิดอื่น เนื่องจากชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งคู่แนวนอนนั้นมีการสัมผัสของสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกจากทั้งสองด้านของซิลิคอนเวเฟอร์ทำให้มีการกระจายของกระแสไฟฟ้ามีความสม่ำเสมอซึ่งส่งผลให้เกิดการกัดซิลิคอนชั้นพอร์สซิติคอนได้ทั่วทั้งแผ่นนั่นเอง ส่วนชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งเดี่ยวแนวตั้งนั้นมีการสัมผัสจากสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกเพียงด้านเดียวส่วนอีกด้านเป็นการสัมผัสกับขั้วโลหะ ทำให้การกระจายของกระแสไฟฟ้าไม่ดีหากมีการสัมผัสของขั้วโลหะไม่สม่ำเสมอนั่นเอง

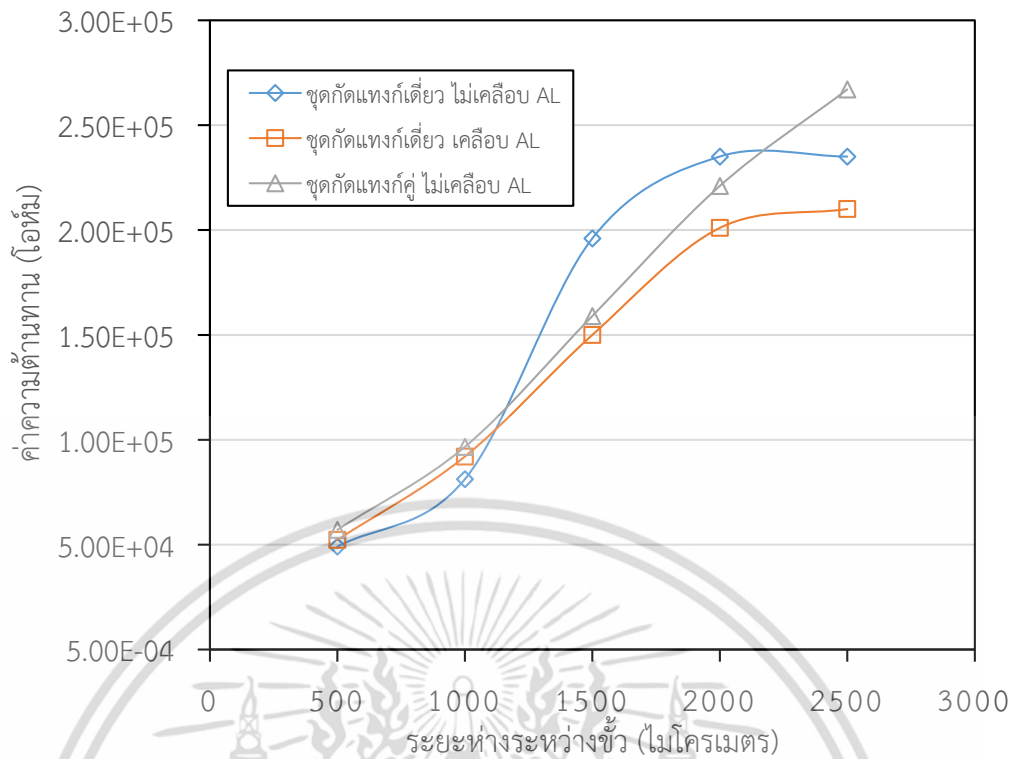
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2 การศึกษาผลของชนิดขุดกัดไฟฟ้าเคมีต่อความต้านทานของชั้นพอร์สซิลิคอน

การทดลองนี้ทำการศึกษาถึงค่าความต้านทานของชั้นพอร์สซิลิคอนที่วัดโดยระยะห่างระหว่างขั้วต่างๆกัน ซึ่งทำการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการแอนโอดซ์เซชัน โดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 เวลาในการแอนโอดซ์เซชัน 10 นาที ด้วยขุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งกึ่งเดี่ยวแนวตั้งกัดโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังซิลิคอนเวเฟอร์ ขุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งกึ่งเดี่ยวแนวตั้งกัดโดยเคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังซิลิคอนเวเฟอร์ และขุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งกึ่งเดี่ยวแนวอนกัดโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลัง ตามลำดับ โดยได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานของชั้นพอร์สซิลิคอนที่ระยะห่างระหว่างขั้วต่างๆกัน กับชนิดขุดกัดไฟฟ้าเคมีที่ใช้ในการแอนโอดซ์เซชัน ดังตารางที่ 5.1 และรูปที่ 5.2

ตารางที่ 5.1 ค่าความต้านทานของชั้นพอร์สซิลิคอนที่ระยะห่างระหว่างขั้วต่างๆกัน กับชนิดขุดกัดไฟฟ้าเคมีที่ใช้ในการแอนโอดซ์เซชัน

ชนิดขุดกัดไฟฟ้าเคมี	ค่าความต้านทาน (Ω) ต่อระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า (μm)				
	L=500 μm	L=1000 μm	L=1500 μm	L=2000 μm	L=2500 μm
ขุดกัดเซลล์แท่งกึ่งเดี่ยวแนวตั้งกัดโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังซิลิคอน	$4.91 \times 10^4 \Omega$	$8.12 \times 10^4 \Omega$	$1.96 \times 10^5 \Omega$	$2.35 \times 10^5 \Omega$	$2.11 \times 10^5 \Omega$
ขุดกัดเซลล์แท่งกึ่งเดี่ยวแนวตั้งกัดโดยเคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังซิลิคอน	$5.23 \times 10^4 \Omega$	$9.20 \times 10^4 \Omega$	$1.50 \times 10^5 \Omega$	$2.01 \times 10^5 \Omega$	$2.10 \times 10^5 \Omega$
ขุดกัดเซลล์แท่งกึ่งเดี่ยวแนวอนกัดโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังซิลิคอน	$5.71 \times 10^4 \Omega$	$9.66 \times 10^4 \Omega$	$1.59 \times 10^5 \Omega$	$2.21 \times 10^5 \Omega$	$2.67 \times 10^5 \Omega$



รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างขั้วกับค่าความต้านทานของชั้นพอร์ซซิลิคอนที่เงื่อนไขของชนิดชุดกัณฑ์ไฟฟ้าเคมีที่ใช้ในกระบวนการแอโนไดซ์เซชันต่างกัน

จากรูปที่ 5.2 พบว่าค่าความต้านทานของชั้นพอร์ซซิลิคอนที่สร้างโดยชุดกัณฑ์ไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งคู่แวนอนกัณฑ์โดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังเมื่อระยะห่างระหว่างขั้วเพิ่มสูงขึ้นก็มีการเพิ่มขึ้นของค่าความต้านทานโดยมีความสัมพันธ์กันค่อนข้างเป็นเส้นตรง แสดงให้เห็นถึงความสม่ำเสมอของชั้นพอร์ซซิลิคอนที่เกิดขึ้น ส่วนค่าความต้านทานของชั้นพอร์ซซิลิคอนที่สร้างโดยชุดกัณฑ์ไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งเดี่ยวแนวตั้งกัณฑ์โดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังซิลิคอนเวเฟอร์ และชุดกัณฑ์ไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งเดี่ยวแนวตั้งกัณฑ์โดยเคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังซิลิคอนเวเฟอร์นั้น มีการเพิ่มขึ้นของค่าความต้านทานแต่มีความสัมพันธ์ไม่เป็นเส้นตรง แสดงให้เห็นถึงความไม่สม่ำเสมอของชั้นพอร์ซซิลิคอนที่สร้างด้วยการกัณฑ์ทั้งสองวิธีนี้

5.1.3 การศึกษาผลของชนิดชุดกัณฑ์ไฟฟ้าเคมีต่อความพรุนของชั้นพอร์ซซิลิคอน

การทดลองนี้ทำการศึกษาความพรุนของชั้นพอร์ซซิลิคอน ซึ่งทำการสร้างชั้นพอร์ซซิลิคอนด้วยวิธีการแอโนไดซ์เซชัน โดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm² เวลาในการแอโนไดซ์เซชัน 10 นาที ด้วยชุดกัณฑ์ไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งเดี่ยวแนวตั้งกัณฑ์โดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังซิลิคอนเวเฟอร์ ชุดกัณฑ์ไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งเดี่ยวแนวตั้งกัณฑ์โดยเคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังซิลิคอนเวเฟอร์ และชุดกัณฑ์ไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งเดี่ยวแนวตั้งกัณฑ์โดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังซิลิคอนเวเฟอร์ และชุดกัณฑ์ไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งเดี่ยวแนวตั้งกัณฑ์โดยเคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังซิลิคอนเวเฟอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เซลล์แท่งกึ่งวงวนอนกัตโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลัง ตามลำดับ โดยคำนวณหาค่าความพรุนจากสมการเปอร์เซ็นต์ความพรุนโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของวัสดุก่อนและหลังการเกิดรูพรุน

ตารางที่ 5.2 เปอร์เซ็นต์ความพรุนในชั้นพอร์ซซิลิคอนที่สร้างด้วยชนิดชุดกัดไฟฟ้าเคมีที่ใช้ในการแอโนไดซ์เซชันแตกต่างกัน

ชนิดชุดกัดไฟฟ้าเคมีที่ใช้ในการแอโนไดซ์เซชัน	เปอร์เซ็นต์ความพรุน
ชุดกัดเซลล์แท่งกึ่งเดี่ยวแนวตั้งกัตโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังซิลิคอนเวเฟอร์	31.1 %
ชุดกัดเซลล์แท่งกึ่งเดี่ยวแนวตั้งกัตโดยเคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังซิลิคอนเวเฟอร์	34.2 %
ชุดกัดเซลล์แท่งกึ่งวงวนอนกัตโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังซิลิคอนเวเฟอร์	42.5 %



รูปที่ 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดชุดกัดไฟฟ้าเคมีที่ใช้ในกระบวนการแอโนไดซ์เซชันกับเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์ซซิลิคอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

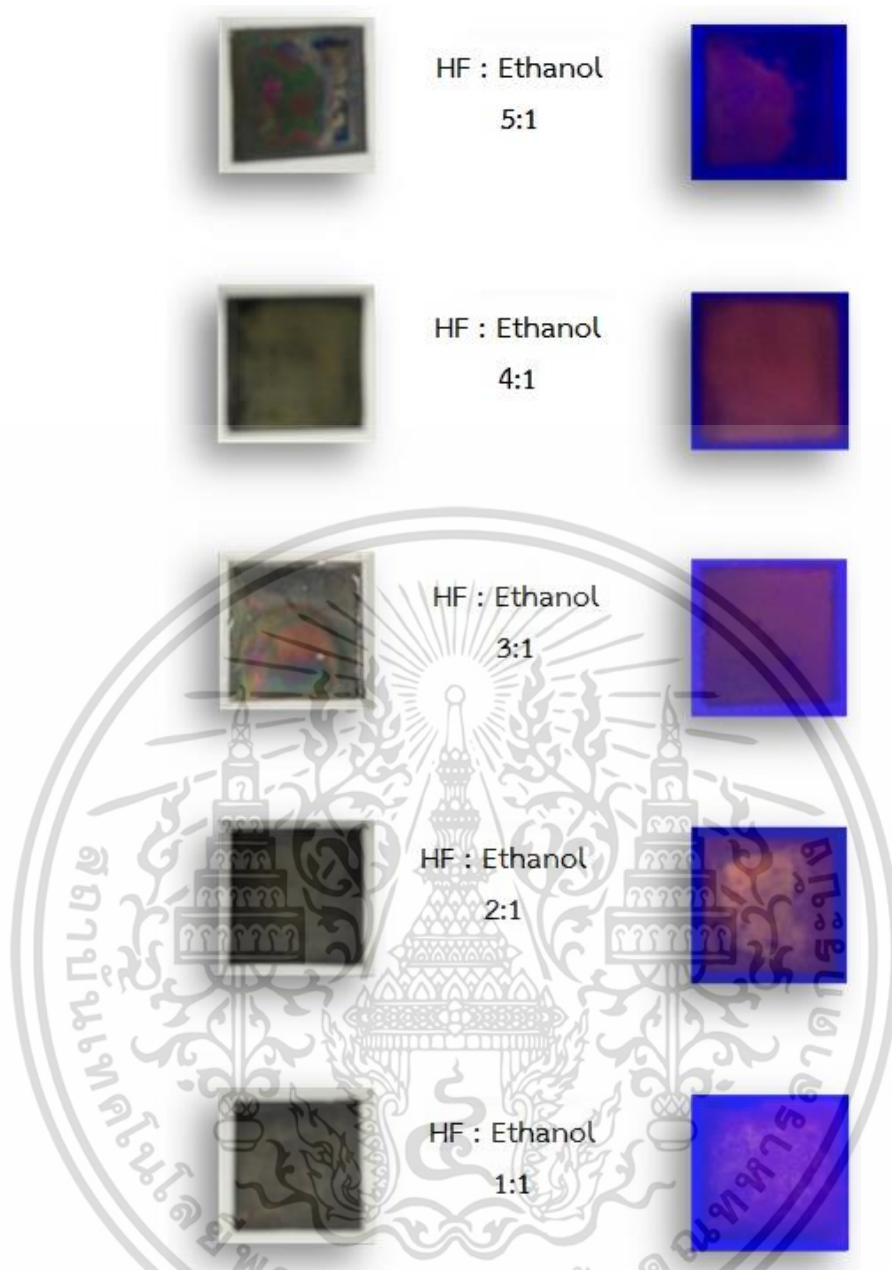
จากรูปที่ 5.3 พบว่าค่าความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนที่สร้างด้วยชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งกึ่งคูแวนอนกัตโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลัง มีความพรุนสูงที่สุดตามด้วยชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งเดี่ยวแนวตั้งกัตโดยเคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังซิลิคอนเวเฟอร์ และชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งเดี่ยวแนวตั้งกัตโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังซิลิคอนเวเฟอร์ ตามลำดับ ซึ่งจากการทดลองที่ 5.1.1 – 5.1.3 พบว่าในขณะที่ใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า และเวลาในการแอโนไดซ์เซชันเท่ากัน การกัตด้วยชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งกึ่งคูแวนอนกัตโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังนั้นมีความสม่ำเสมอจากการเรียงแสงมากกว่า มีความสม่ำเสมอของค่าความต้านทานมากกว่า และได้เปอร์เซ็นต์ความพรุนที่สูงกว่าการสร้างทั้งสามชนิดที่ได้ทำการทดลอง ซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่ต้องการสำหรับการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการแอโนไดซ์เซชัน ดังนั้นในการทดลองต่อไปจึงเลือกใช้ชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งกึ่งคูแวนอนกัตโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังเป็นวิธีการหลักในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการแอโนไดซ์เซชัน

5.2 การทดลองเพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอน

การทดลองนี้ทำการศึกษาถึง ผลของความเข้มข้นสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอน โดยเปรียบเทียบกันระหว่างอัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 5:1, 4:1, 3:1, 2:1 และ 1:1 ตามลำดับ โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 เวลาในการแอโนไดซ์เซชัน 10 นาที ด้วยชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งกึ่งคูแวนอนกัตโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลัง ในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการแอโนไดซ์เซชัน

5.2.1 การศึกษาผลของความเข้มข้นสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อการเรียงแสงของชั้นพอร์สซิลิคอนเมื่อทำการฉายแสงจากหลอดแบล็คไลท์

การทดลองนี้ทำการศึกษาถึงการเรียงแสงของชั้นพอร์สซิลิคอน ซึ่งทำการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการแอโนไดซ์เซชัน โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 เวลาในการแอโนไดซ์เซชัน 10 นาที ด้วยชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งกึ่งคูแวนอนกัตโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลัง โดยเปรียบเทียบกันระหว่างอัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 5:1, 4:1, 3:1, 2:1 และ 1:1 ตามลำดับ เมื่อทำการฉายแสงด้วยหลอดแบล็คไลท์จะทำให้เกิดการเรียงแสงขึ้นของชั้นพอร์สซิลิคอน แสดงดังรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 ชั้นพอลิเอเธอริกอนที่สร้างโดยอัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลต่างกัน
(ก) พื้นผิวของชั้นพอลิเอเธอริกอน (ข) การเรืองแสงของชั้นพอลิเอเธอริกอน

จากรูปที่ 5.4 (ก) สังเกตได้ว่าการสร้างชั้นพอลิเอเธอริกอนด้วยอัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 มีการเกิดชั้นพอลิเอเธอริกอนที่มีความสม่ำเสมอมากที่สุด พร้อมทั้งมีโครงสร้างที่ไม่เปราะบางแตกหักง่าย ซึ่งที่อัตราส่วน 3:1, 2:1 และ 1:1 มีโครงสร้างที่เปราะบางแตกหักง่าย และสังเกตสมบัติการเรืองแสงของชั้นพอลิเอเธอริกอนด้วยการฉายแสงจากหลอดแบล็คไลท์ แสดงดังรูปที่ 5.4 (ข) สังเกตได้ว่าชั้นพอลิเอเธอริกอนที่สร้างด้วยอัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 จะมีการเรืองแสงของชั้นพอลิเอเธอริกอนอย่างสม่ำเสมอมากกว่าการสร้างในอัตราส่วน

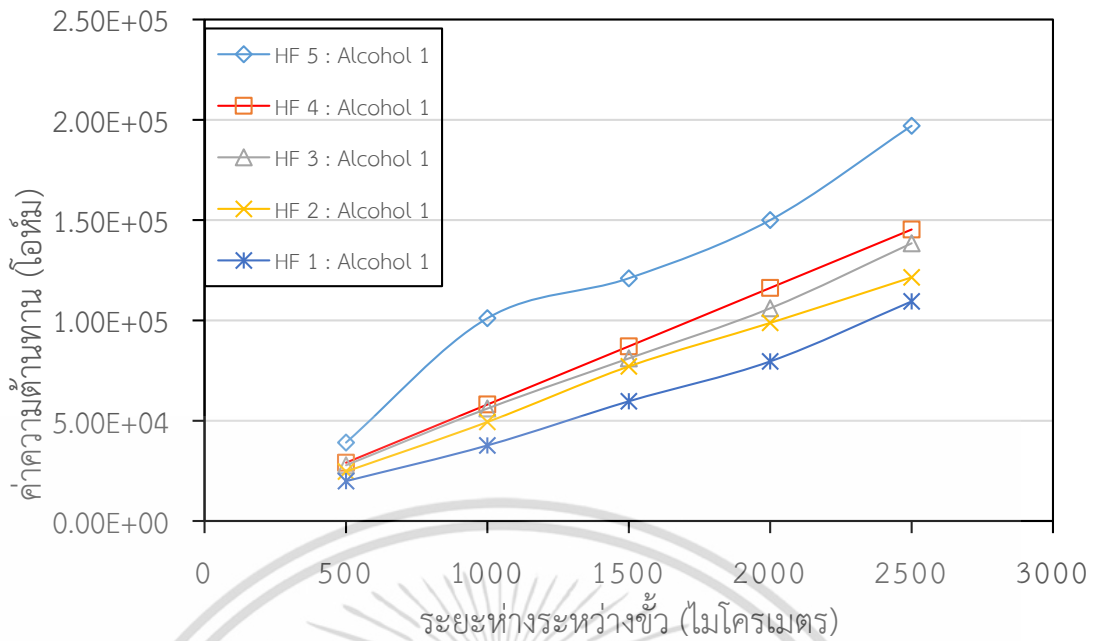
อื่นๆ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2.2 การศึกษาผลของความเข้มข้นสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อความต้านทานของชั้นพอร์ซซิลิคอน

การทดลองนี้ทำการศึกษาถึงค่าความต้านทานของชั้นพอร์ซซิลิคอนที่วัดโดยระยะห่างระหว่างขั้วต่างๆกัน ซึ่งทำการสร้างชั้นพอร์ซซิลิคอนด้วยวิธีการแอนโนไดซ์เซชัน โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 เวลาในการแอนโนไดซ์เซชัน 10 นาที ด้วยชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แห้งกึ่งคูแวนอนกัดโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลัง โดยเปรียบเทียบกันระหว่างอัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 5:1, 4:1, 3:1, 2:1 และ 1:1 ตามลำดับ โดยได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานของชั้นพอร์ซซิลิคอนที่ระยะห่างระหว่างขั้วต่างๆกัน กับอัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอล ดังตารางที่ 5.3 และรูปที่ 5.5

ตารางที่ 5.3 ค่าความต้านทานของชั้นพอร์ซซิลิคอนที่ระยะห่างระหว่างขั้วต่างๆกัน กับอัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลที่ใช้ในการแอนโนไดซ์เซชัน

อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอล	ค่าความต้านทาน (Ω) ต่อระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า (μm)				
	L=500 μm	L=1000 μm	L=1500 μm	L=2000 μm	L=2500 μm
5:1	$3.91 \times 10^4 \Omega$	$1.01 \times 10^5 \Omega$	$1.12 \times 10^5 \Omega$	$1.50 \times 10^5 \Omega$	$1.97 \times 10^5 \Omega$
4:1	$2.91 \times 10^4 \Omega$	$5.81 \times 10^4 \Omega$	$8.74 \times 10^4 \Omega$	$1.16 \times 10^5 \Omega$	$1.45 \times 10^5 \Omega$
3:1	$2.78 \times 10^4 \Omega$	$5.61 \times 10^4 \Omega$	$8.11 \times 10^4 \Omega$	$1.06 \times 10^5 \Omega$	$1.39 \times 10^5 \Omega$
2:1	$2.47 \times 10^4 \Omega$	$4.94 \times 10^4 \Omega$	$7.71 \times 10^4 \Omega$	$9.88 \times 10^4 \Omega$	$1.22 \times 10^5 \Omega$
1:1	$1.99 \times 10^4 \Omega$	$3.77 \times 10^4 \Omega$	$5.97 \times 10^4 \Omega$	$7.96 \times 10^4 \Omega$	$1.09 \times 10^5 \Omega$



รูปที่ 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างชั้นกับค่าความต้านทานของชั้นพอร์ซซิลิคอนที่เงื่อนไขของอัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลที่ใช้ในการแอโนไดซ์เซชันต่างกัน

จากรูปที่ 5.5 พบว่าค่าความต้านทานของชั้นพอร์ซซิลิคอนที่สร้างด้วยอัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 เมื่อระยะห่างระหว่างชั้นเพิ่มสูงขึ้นก็มีการเพิ่มขึ้นของค่าความต้านทานโดยมีความสัมพันธ์กันค่อนข้างเป็นเส้นตรง แสดงให้เห็นถึงความสม่ำเสมอของชั้นพอร์ซซิลิคอนที่เกิดขึ้น ส่วนค่าความต้านทานของชั้นพอร์ซซิลิคอนที่สร้างด้วยอัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 5:1 มีการเพิ่มขึ้นของค่าความต้านทานกับระยะห่างระหว่างชั้นแต่มีความสัมพันธ์กันไม่เป็นเส้นตรง แสดงให้เห็นถึงความไม่สม่ำเสมอของชั้นพอร์ซซิลิคอนที่สร้างด้วยอัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลนี้เนื่องจากเป็นความเข้มข้นที่ยังทำให้เกิดฟองก๊าซขณะทำการสร้างชั้นพอร์ซซิลิคอน จึงเกิดชั้นพอร์ซซิลิคอนไม่ทั่วบริเวณนั่นเอง

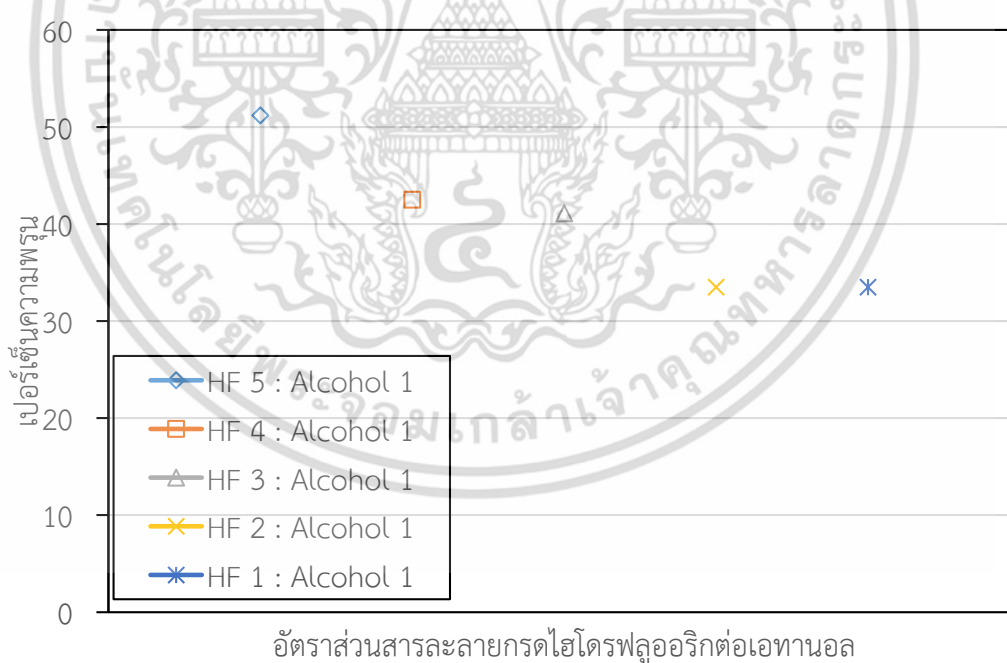
5.2.3 การศึกษาผลของความเข้มข้นสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อความพรุนของชั้นพอร์ซซิลิคอน

การทดลองนี้ทำการศึกษาความพรุนของชั้นพอร์ซซิลิคอน ซึ่งทำการสร้างชั้นพอร์ซซิลิคอนด้วยวิธีการแอโนไดซ์เซชัน โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 เวลาในการแอโนไดซ์เซชัน 10 นาที ด้วยชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งกึ่งแวนอนกัตโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลัง โดยเปรียบเทียบกับระหว่างอัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 5:1, 4:1, 3:1, 2:1

และ 1:1 ตามลำดับ โดยคำนวณหาค่าความพรุนจากสมการเปอร์เซ็นต์ความพรุนโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของวัสดุก่อนและหลังการเกิดรูพรุน

ตารางที่ 5.4 ค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนในชั้นพอร์ซซิลิคอนที่สร้างด้วยอัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลที่ใช้ในการแอนโดซ์เซชันแตกต่างกัน

อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอล	เปอร์เซ็นต์ความพรุน
5:1	51.2 %
4:1	42.5 %
3:1	41.1 %
2:1	38.7 %
1:1	33.5 %



รูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลที่ใช้ในการแอนโดซ์เซชันกับเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์ซซิลิคอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.6 พบว่าเมื่อทำการลดอัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลลงจะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนลดลงตามไปด้วย การผสมเอทานอลเข้าไปผลดีคือจะช่วยให้ลดแรงตึงผิวของฟองก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นขณะทำการแอนโนไดซ์เซชัน จะทำให้มีการกักผิวหน้าของซิลิคอนได้ทั่วบริเวณ แต่ถ้าผสมเอทานอลเข้าไปมากเกินไปก็จะทำให้การนำไฟฟ้าของสารละลายแย่งทำให้อัตราการเกิดขึ้นพอร์สซิลิคอนช้าลงส่งผลให้มีเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนที่ลดลงด้วยนั่นเอง

5.3 การทดลองเพื่อศึกษาผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอน

การทดลองนี้ทำการศึกษาถึง ผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอน โดยเปรียบเทียบกันระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 5 mA/cm^2 , 10 mA/cm^2 , 15 mA/cm^2 , 20 mA/cm^2 และ 25 mA/cm^2 ตามลำดับ โดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 เวลาในการแอนโนไดซ์เซชัน 10 นาที ด้วยชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แทงก์คู่นวนอนกักโดยไม่เคลื่อนชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลัง ในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการแอนโนไดซ์เซชัน

5.3.1 การศึกษาผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่อการเรืองแสงของชั้นพอร์สซิลิคอนเมื่อทำการฉายแสงจากหลอดแบล็คไลท์

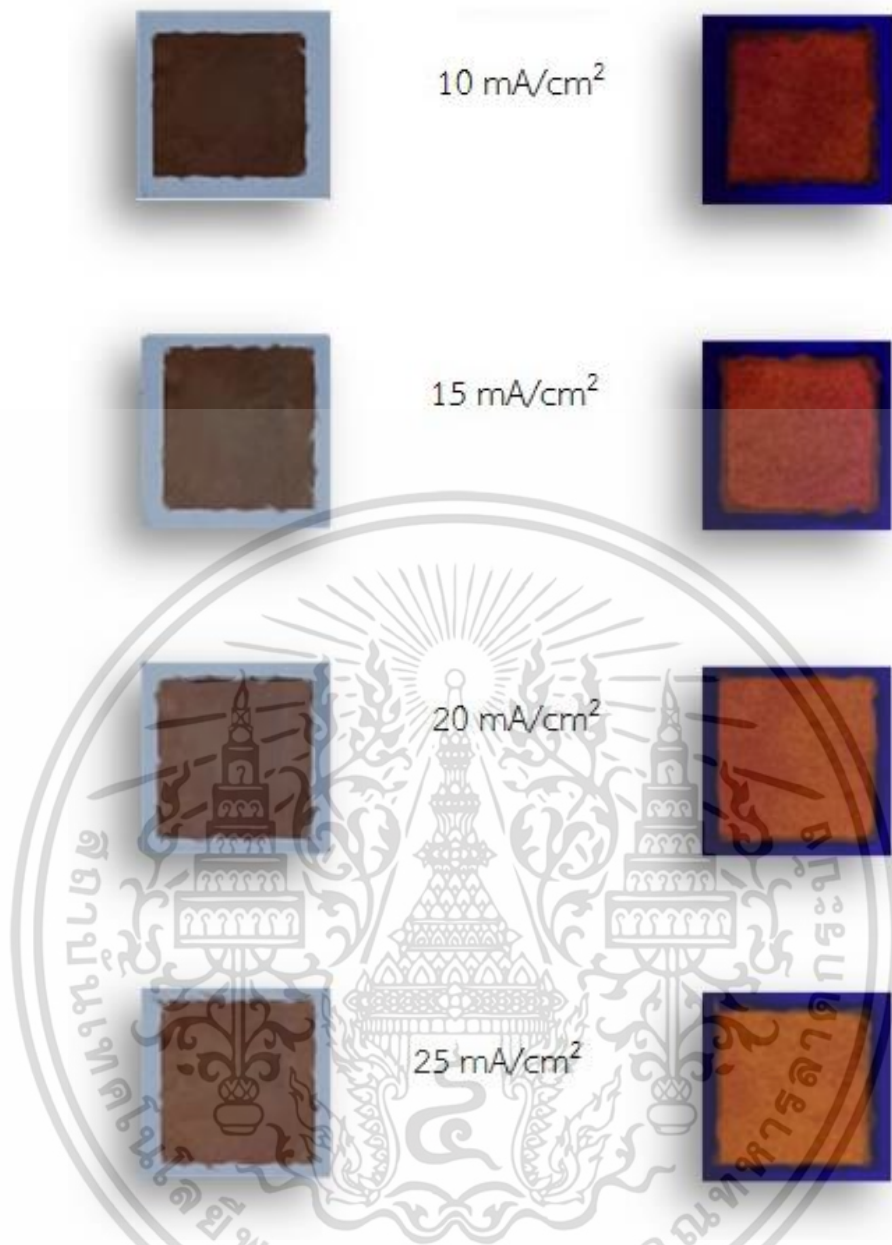
การทดลองนี้ทำการศึกษาถึงการเรืองแสงของชั้นพอร์สซิลิคอน ซึ่งทำการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการแอนโนไดซ์เซชัน โดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 เวลาในการแอนโนไดซ์เซชัน 10 นาที ด้วยชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แทงก์คู่นวนอนกักโดยไม่เคลื่อนชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลัง โดยเปรียบเทียบกันระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 5 mA/cm^2 , 10 mA/cm^2 , 15 mA/cm^2 , 20 mA/cm^2 และ 25 mA/cm^2 ตามลำดับ เมื่อทำการฉายแสงด้วยหลอดแบล็คไลท์จะทำให้เกิดการเรืองแสงขึ้นของชั้นพอร์สซิลิคอน แสดงดังรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 ชั้นพอร์สซิลิคอนที่สร้างโดยความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการแอนโนไดซ์เซชันต่างกัน

(ก) พื้นผิวของชั้นพอร์สซิลิคอน (ข) การเรืองแสงของชั้นพอร์สซิลิคอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.7 ชั้นพอร์สซิลิคอนที่สร้างโดยความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการแอโนไดซ์เซชันต่างกัน (ต่อ)

(ก) พื้นผิวของชั้นพอร์สซิลิคอน (ข) การเรืองแสงของชั้นพอร์สซิลิคอน

จากรูปที่ 5.7 (ก) สังเกตได้ว่าเมื่อเราทำการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนด้วยความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้นชั้นพอร์สซิลิคอนจะมีการเปลี่ยนแปลงจากสีน้ำตาลดำไปเป็นสีน้ำตาลเข้มจนกระทั่งเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอ่อน และเมื่อสังเกตสมบัติการเรืองแสงของชั้นพอร์สซิลิคอนด้วยการฉายแสงจากหลอดแบล็คไลท์ แสดงดังรูปที่ 5.7 (ข) สังเกตได้ว่าสีในการเรืองแสงของชั้นพอร์สซิลิคอนจะมีการเปลี่ยนแปลงจากสีเข้มไปเป็นสีอ่อน เนื่องจากการใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการแอโนไดซ์เซชันมากขึ้นโครงสร้างของชั้นพอร์สซิลิคอนก็จะถูกกัดเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนมีเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้สีพื้นผิวเปลี่ยนแปลงจากสีน้ำตาลดำไปเป็นสีน้ำตาลเข้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนักเรียนไปใช้ประโยชน์จากเอกสารนี้ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จนกระทั่งเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอ่อน และการเรืองแสงของชั้นพอร์สซิลิคอนจึงมีการเปลี่ยนแปลงจากสีส้มเข้มไปเป็นสีส้มอ่อน

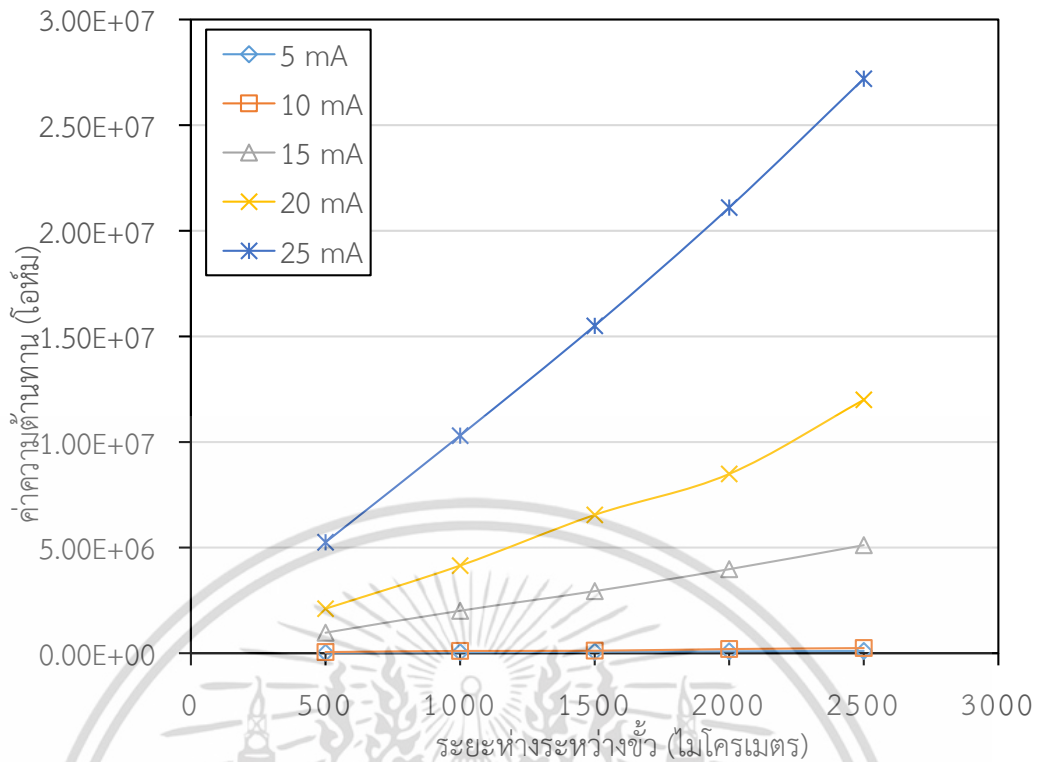
5.3.2 การศึกษาผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่อความต้านทานของชั้นพอร์สซิลิคอน

การทดลองนี้ทำการศึกษาถึงค่าความต้านทานของชั้นพอร์สซิลิคอนที่วัดโดยระยะห่างระหว่างขั้วต่างๆกัน ซึ่งทำการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการแอนโอดซ์เซชัน โดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 เวลาในการแอนโอดซ์เซชัน 10 นาที ด้วยชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แทงก์คู่นวนอนกักโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลัง โดยเปรียบเทียบกันระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 5 mA/cm^2 , 10 mA/cm^2 , 15 mA/cm^2 , 20 mA/cm^2 และ 25 mA/cm^2 ตามลำดับ โดยได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานของชั้นพอร์สซิลิคอนที่ระยะห่างระหว่างขั้วต่างกัน กับอัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอล ดังตารางที่ 5.5 และรูปที่ 5.8

ตารางที่ 5.5 ค่าความต้านทานของชั้นพอร์สซิลิคอนที่ระยะห่างระหว่างขั้วต่างกัน กับความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการแอนโอดซ์เซชัน

ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า ในการแอนโอดซ์เซชัน	ค่าความต้านทาน (Ω) ต่อระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า (μm)				
	L=500 μm	L=1000 μm	L=1500 μm	L=2000 μm	L=2500 μm
5 mA/cm^2	$2.29 \times 10^4 \Omega$	$4.61 \times 10^4 \Omega$	$6.90 \times 10^4 \Omega$	$9.09 \times 10^4 \Omega$	$1.11 \times 10^5 \Omega$
10 mA/cm^2	$5.71 \times 10^4 \Omega$	$1.11 \times 10^5 \Omega$	$1.20 \times 10^5 \Omega$	$1.99 \times 10^5 \Omega$	$2.45 \times 10^5 \Omega$
15 mA/cm^2	$9.69 \times 10^5 \Omega$	$2.01 \times 10^6 \Omega$	$2.94 \times 10^6 \Omega$	$3.98 \times 10^6 \Omega$	$5.12 \times 10^6 \Omega$
20 mA/cm^2	$2.11 \times 10^6 \Omega$	$4.15 \times 10^6 \Omega$	$6.55 \times 10^6 \Omega$	$8.49 \times 10^6 \Omega$	$1.12 \times 10^7 \Omega$
25 mA/cm^2	$5.25 \times 10^6 \Omega$	$1.03 \times 10^7 \Omega$	$1.55 \times 10^7 \Omega$	$2.11 \times 10^7 \Omega$	$2.72 \times 10^7 \Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างขั้วกับค่าความต้านทานของชั้นพอร์สซิลิคอนที่เงื่อนไขของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการแอโนไดซ์เซชันต่างกัน

จากรูปที่ 5.8 พบว่าชั้นพอร์สซิลิคอนที่ทำการแอโนไดซ์เซชันด้วยความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นจะมีค่าความต้านทานที่สูงขึ้น เนื่องจากเมื่อทำการแอโนไดซ์เซชันด้วยความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้เกิดการกัดชั้นพอร์สซิลิคอนที่มากขึ้น ส่งผลให้ค่าความต้านทานสูงขึ้นไปด้วย นอกจากนี้ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้ากับความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการแอโนไดซ์เซชันยังมีความสัมพันธ์กันค่อนข้างเป็นเส้นตรงในทุกเงื่อนไขของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า ซึ่งบ่งบอกถึงความสม่ำเสมอของชั้นพอร์สซิลิคอนที่เกิดขึ้น

5.3.3 การศึกษาผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่อความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอน

การทดลองนี้ทำการศึกษาความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอน ซึ่งทำการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการแอโนไดซ์เซชัน โดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 เวลาในการแอโนไดซ์เซชัน 10 นาที ด้วยชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แทงก์คูแวนอนกัตโดยไม่เคลื่อนชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลัง โดยเปรียบเทียบกันระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 5 mA/cm², 10 mA/cm², 15 mA/cm², 20 mA/cm² และ 25 mA/cm² ตามลำดับ โดยคำนวณหาความพรุนจากสมการเปอร์เซ็นต์ความพรุนโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของวัสดุก่อนและหลังการเกิดรูพรุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 5.6 ค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนในชั้นพอร์ซซิลิคอนที่สร้างด้วยความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการแอโนไดซ์เซชันแตกต่างกัน

ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการ แอโนไดซ์เซชัน	เปอร์เซ็นต์ความพรุน
5 mA/cm ²	21.8 %
10 mA/cm ²	42.5 %
15 mA/cm ²	51.2 %
20 mA/cm ²	64.1 %
25 mA/cm ²	76.5 %



รูปที่ 5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการแอโนไดซ์เซชันกับเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์ซซิลิคอน

จากรูปที่ 5.9 พบว่าเมื่อทำการเพิ่มค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการแอโนไดซ์เซชันแล้วจะทำให้เปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์ซซิลิคอนมีความสัมพันธ์เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกันกับค่าความต้านทานของชั้นพอร์ซซิลิคอนที่มีความสัมพันธ์สูงขึ้นเมื่อทำการเพิ่มค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการแอโนไดซ์เซชัน

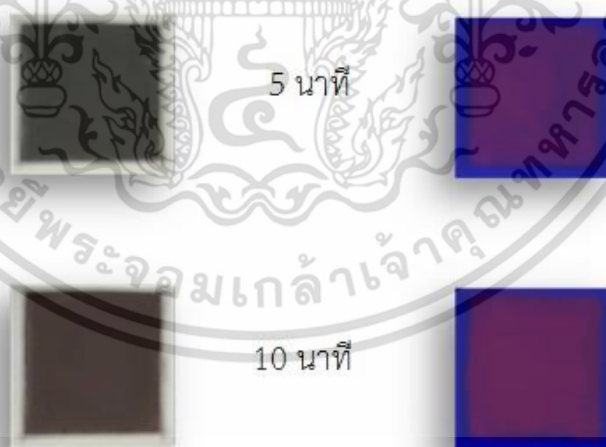
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.4 การทดลองเพื่อศึกษาผลของเวลาในการแอนโนไดซ์เซชันในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอน

การทดลองนี้ทำการศึกษาถึง ผลของเวลาในการแอนโนไดซ์เซชันในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอน โดยเปรียบเทียบกันระหว่างเวลาในการแอนโนไดซ์เซชัน 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 20 นาที และ 25 นาที ตามลำดับ โดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 ด้วยชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งกึ่งคู่นวนอนกัตโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลัง ในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการแอนโนไดซ์เซชัน

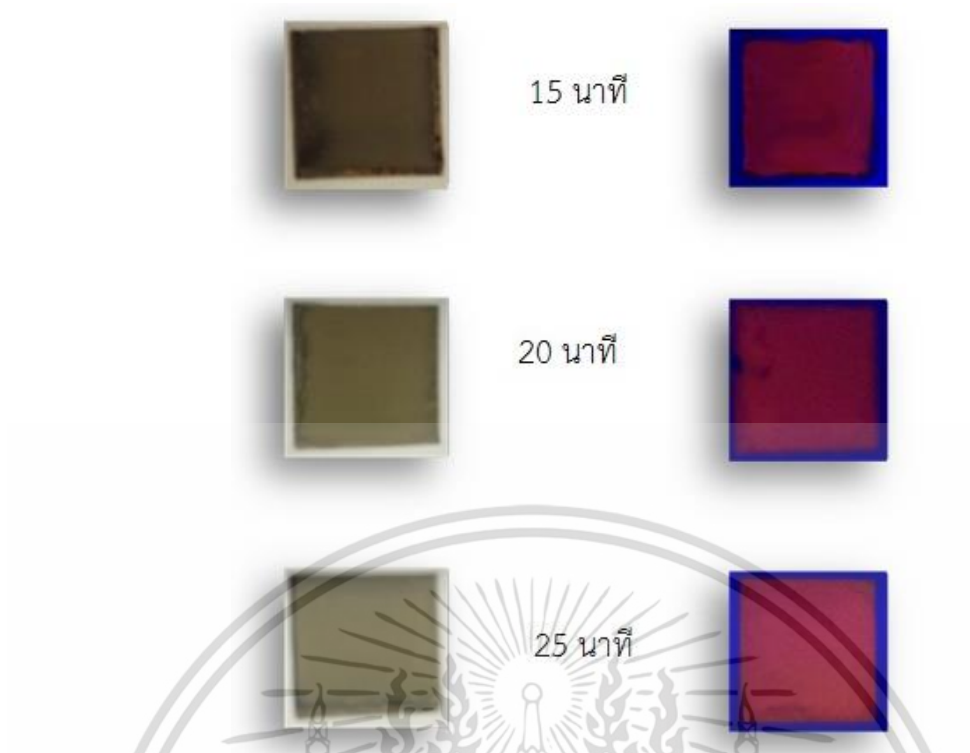
5.4.1 การศึกษาผลของเวลาในการแอนโนไดซ์เซชันต่อการเรืองแสงของชั้นพอร์สซิลิคอน เมื่อทำการฉายแสงจากหลอดแบล็คไลท์

การทดลองนี้ทำการศึกษาถึงการเรืองแสงของชั้นพอร์สซิลิคอน ซึ่งทำการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอน ด้วยวิธีการแอนโนไดซ์เซชัน โดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการแอนโนไดซ์เซชัน 10 mA/cm^2 ด้วยชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งกึ่งคู่นวนอนกัตโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลัง โดยเปรียบเทียบกันระหว่างเวลาในการแอนโนไดซ์เซชัน 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 20 นาที และ 25 นาที ตามลำดับ เมื่อทำการฉายแสงด้วยหลอดแบล็คไลท์จะทำให้เกิดการเรืองแสงขึ้นของชั้นพอร์สซิลิคอน แสดงดังรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.10 ชั้นพอร์สซิลิคอนที่สร้างโดยเวลาในการแอนโนไดซ์เซชันต่างกัน

(ก) พื้นผิวของชั้นพอร์สซิลิคอน (ข) การเรืองแสงของชั้นพอร์สซิลิคอน



รูปที่ 5.10 ชั้นพอร์สซิลิโคนที่สร้างโดยเวลาในการแอนโดซ์เซชันต่างกัน (ต่อ)

(ก) พื้นผิวของชั้นพอร์สซิลิโคน (ข) การเรืองแสงของชั้นพอร์สซิลิโคน

จากรูปที่ 5.10 (ก) สังเกตได้ว่าเมื่อเราทำการสร้างชั้นพอร์สซิลิโคนด้วยเวลาในการแอนโดซ์เซชันที่เพิ่มมากขึ้นชั้นพอร์สซิลิโคนจะมีการเปลี่ยนแปลงจากสีน้ำตาลดำไปเป็นสีน้ำตาลเข้มจนกระทั่งเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอ่อน และเมื่อสังเกตสมบัติการเรืองแสงของชั้นพอร์สซิลิโคนด้วยการฉายแสงจากหลอดแบล็คไลท์ แสดงดังรูปที่ 5.10 (ข) สังเกตได้ว่าสีในการเรืองแสงของชั้นพอร์สซิลิโคนจะมีการเปลี่ยนแปลงจากสีส้มเข้มไปเป็นสีส้มอ่อน เนื่องจากการใช้เวลาในการแอนโดซ์เซชันมากขึ้นโครงสร้างของชั้นพอร์สซิลิโคนก็จะถูกกัดเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิโคนมีเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย จึงทำให้สีพื้นผิวเปลี่ยนแปลงจากสีน้ำตาลดำไปเป็นสีน้ำตาลเข้มจนกระทั่งเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอ่อน และการเรืองแสงของชั้นพอร์สซิลิโคนจึงมีการเปลี่ยนแปลงจากสีส้มเข้มไปเป็นสีส้มอ่อน เช่นเดียวกันกับการเพิ่มความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการแอนโดซ์เซชัน

5.4.2 การศึกษาผลของเวลาในการแอนโดซ์เซชันต่อความต้านทานของชั้นพอร์สซิลิโคน

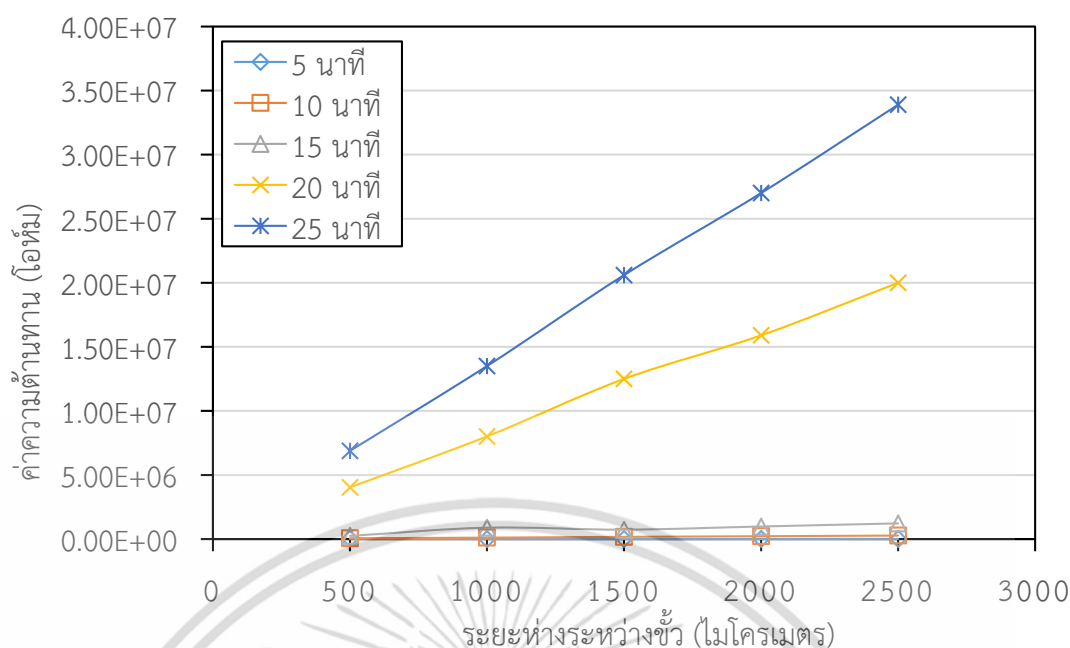
การทดลองนี้ทำการศึกษาถึงค่าความต้านทานของชั้นพอร์สซิลิโคนที่วัดโดยระยะห่างระหว่างขั้วต่างๆกัน ซึ่งทำการสร้างชั้นพอร์สซิลิโคนด้วยวิธีการแอนโดซ์เซชัน โดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการแอนโดซ์เซชัน 10 mA/cm^2 ด้วยชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แทงก์คูแวนอนกัดโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลัง เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเปรียบเทียบกันระหว่างเวลาในการแอนโดซ์เซชัน 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 20 นาที และ 25 นาที ตามลำดับ โดยได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานของชั้นพอร์สซิลิโคนที่ระยะห่างระหว่างซี่ต่างกัน กับอัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอล ดังตารางที่ 5.7 และรูปที่ 5.11

ตารางที่ 5.7 ค่าความต้านทานของชั้นพอร์สซิลิโคนที่ระยะห่างระหว่างซี่ต่างกัน กับเวลาที่ใช้ในการแอนโดซ์เซชัน

เวลาที่ใช้ ในการแอนโดซ์เซชัน	ค่าความต้านทาน (Ω) ต่อระยะห่างระหว่างซี่ไฟฟ้า (μm)				
	L=500 μm	L=1000 μm	L=1500 μm	L=2000 μm	L=2500 μm
5 นาที	$2.86 \times 10^4 \Omega$	$5.70 \times 10^3 \Omega$	$8.58 \times 10^4 \Omega$	$1.10 \times 10^4 \Omega$	$1.49 \times 10^4 \Omega$
10 นาที	$5.70 \times 10^4 \Omega$	$1.10 \times 10^5 \Omega$	$1.73 \times 10^5 \Omega$	$2.25 \times 10^5 \Omega$	$2.80 \times 10^5 \Omega$
15 นาที	$2.44 \times 10^5 \Omega$	$8.85 \times 10^5 \Omega$	$7.30 \times 10^5 \Omega$	$9.79 \times 10^5 \Omega$	$1.22 \times 10^6 \Omega$
20 นาที	$4.03 \times 10^6 \Omega$	$8.01 \times 10^6 \Omega$	$1.25 \times 10^7 \Omega$	$1.59 \times 10^7 \Omega$	$2.00 \times 10^7 \Omega$
25 นาที	$6.88 \times 10^6 \Omega$	$1.37 \times 10^7 \Omega$	$2.06 \times 10^7 \Omega$	$2.70 \times 10^7 \Omega$	$3.39 \times 10^7 \Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.11 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างขั้วกับค่าความต้านทานของชั้นพอร์สซิลิคอนที่เงื่อนไขของเวลาที่ใช้ในการแอนโนดซ์เซชันต่างกัน

จากรูปที่ 5.11 พบว่าชั้นพอร์สซิลิคอนที่ทำการแอนโนดซ์เซชันด้วยเวลาที่เพิ่มมากขึ้นจะมีค่าความต้านทานที่สูงขึ้น เนื่องจากเมื่อทำการแอนโนดซ์เซชันด้วยเวลาที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้เกิดการกัดชั้นพอร์สซิลิคอนที่มากขึ้น ส่งผลให้ค่าความต้านทานสูงขึ้นตามไปด้วย นอกจากนี้ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้ากับเวลาในการแอนโนดซ์เซชันยังมีความสัมพันธ์กันค่อนข้างเป็นเส้นตรงในทุกเงื่อนไขของเวลาในการแอนโนดซ์เซชัน ซึ่งบ่งบอกถึงความสม่ำเสมอของชั้นพอร์สซิลิคอนที่เกิดขึ้น

5.4.3 การศึกษาผลของเวลาในการแอนโนดซ์เซชันต่อความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอน

การทดลองนี้ทำการศึกษาความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอน ซึ่งทำการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการแอนโนดซ์เซชัน โดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการแอนโนดซ์เซชัน 10 mA/cm^2 ด้วยชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แทงก์คู่ แนวนอนกัดโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลัง โดยเปรียบเทียบกันระหว่างเวลาในการแอนโนดซ์เซชัน 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 20 นาที และ 25 นาที ตามลำดับ โดยคำนวณหาค่าความพรุนจากสมการเปอร์เซ็นต์ความพรุนโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของวัสดุก่อนและหลังการเกิดรูพรุน

ตารางที่ 5.8 ค่าเปอร์เซ็นต์ความพูนในชั้นพอร์สซิลิคอนที่สร้างด้วยเวลาที่ใช้ในการแอนโดซ์เซชันแตกต่างกัน

เวลาที่ใช้ในการแอนโดซ์เซชัน	เปอร์เซ็นต์ความพูน
5 นาที	24.0 %
10 นาที	41.9 %
15 นาที	66.8 %
20 นาที	73.1 %
25 นาที	81.1 %

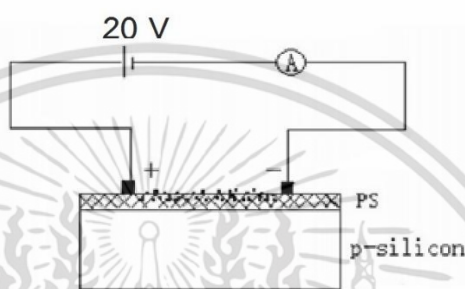


รูปที่ 5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการแอนโดซ์เซชันกับค่าเปอร์เซ็นต์ความพูนของชั้นพอร์สซิลิคอน

จากรูปที่ 5.12 พบว่าเมื่อทำการเพิ่มค่าเวลาที่ใช้ในการแอนโดซ์เซชันแล้วจะทำให้เปอร์เซ็นต์ความพูนของชั้นพอร์สซิลิคอนมีความสัมพันธ์เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกันกับค่าความต้านทานของชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีความสัมพันธ์สูงขึ้นเมื่อทำการเพิ่มเวลาในการแอนโดซ์เซชัน

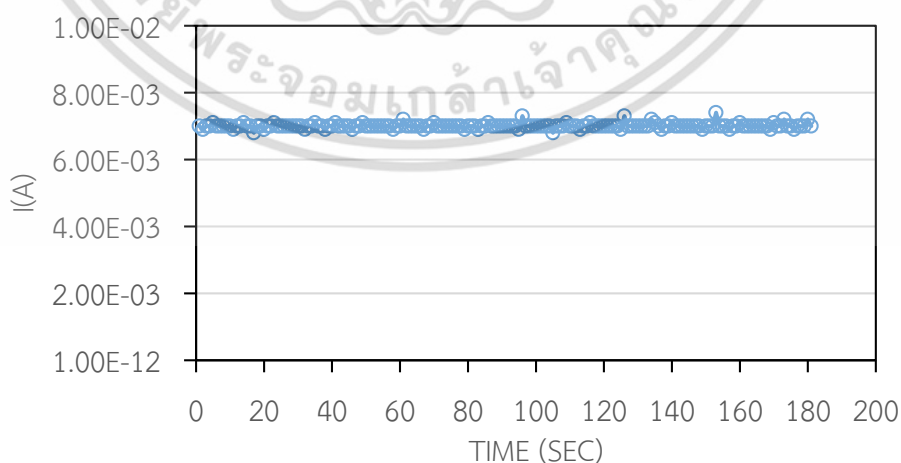
5.5 การทดลองเพื่อศึกษาผลของชั้นพอร์ซิลิคอนในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์

การทดลองนี้ทำการศึกษาถึง การตอบสนองของกระแสไฟฟ้าต่อไอแอลกอฮอล์ โดยใช้ชั้นพอร์ซิลิคอนที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนที่ 51.2% ซึ่งทำการสร้างอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์ซิลิคอน ทำการสร้างด้วยวิธีการแอนโอดิซ์เซชันด้วยชุดกัดแบบเซลล์แทงก์คู่แวนอนกัตโดยไม่เคลือบชั้นลูมิเนียมที่ด้านหลัง ทำการสร้างขั้วลูมิเนียมบนชั้นพอร์ซิลิคอนขนาด $1000 \times 1000 \mu\text{m}^2$ โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วที่ $500 \mu\text{m}$ แล้วทำการต่อขั้วเพื่อใช้ในการวัดลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ 5.13



รูปที่ 5.13 ภาพอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์จากชั้นพอร์ซิลิคอน

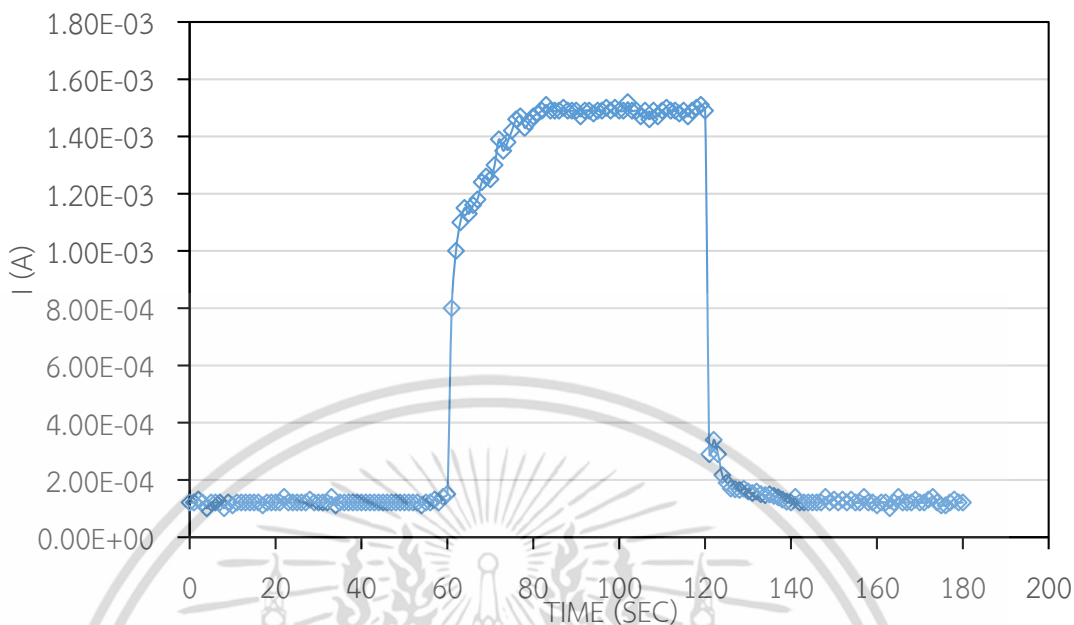
ทำการวัดคุณลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลา ในการเปิดก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 60 วินาที แล้วเปิดไนโตรเจนผสมกับไอเอทานอล 60 วินาที และเปิดก๊าซไนโตรเจน 60 วินาที ของอุปกรณ์ที่ไม่มีชั้นพอร์ซิลิคอน ที่อุณหภูมิห้อง แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับอุปกรณ์ 20 โวลต์ เปรียบเทียบกับอุปกรณ์ที่มีชั้นพอร์ซิลิคอน แสดงดังรูปที่ 5.14-5.15



รูปที่ 5.14 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการตอบสนองการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ที่ไม่มีชั้นพอร์ซิลิคอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 5.14 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการตอบสนองการเปิด-ปิดไอแอลกอดฮอลล์ของอุปกรณ์ที่ไม่มีชั้นพอร์สซิลิคอน

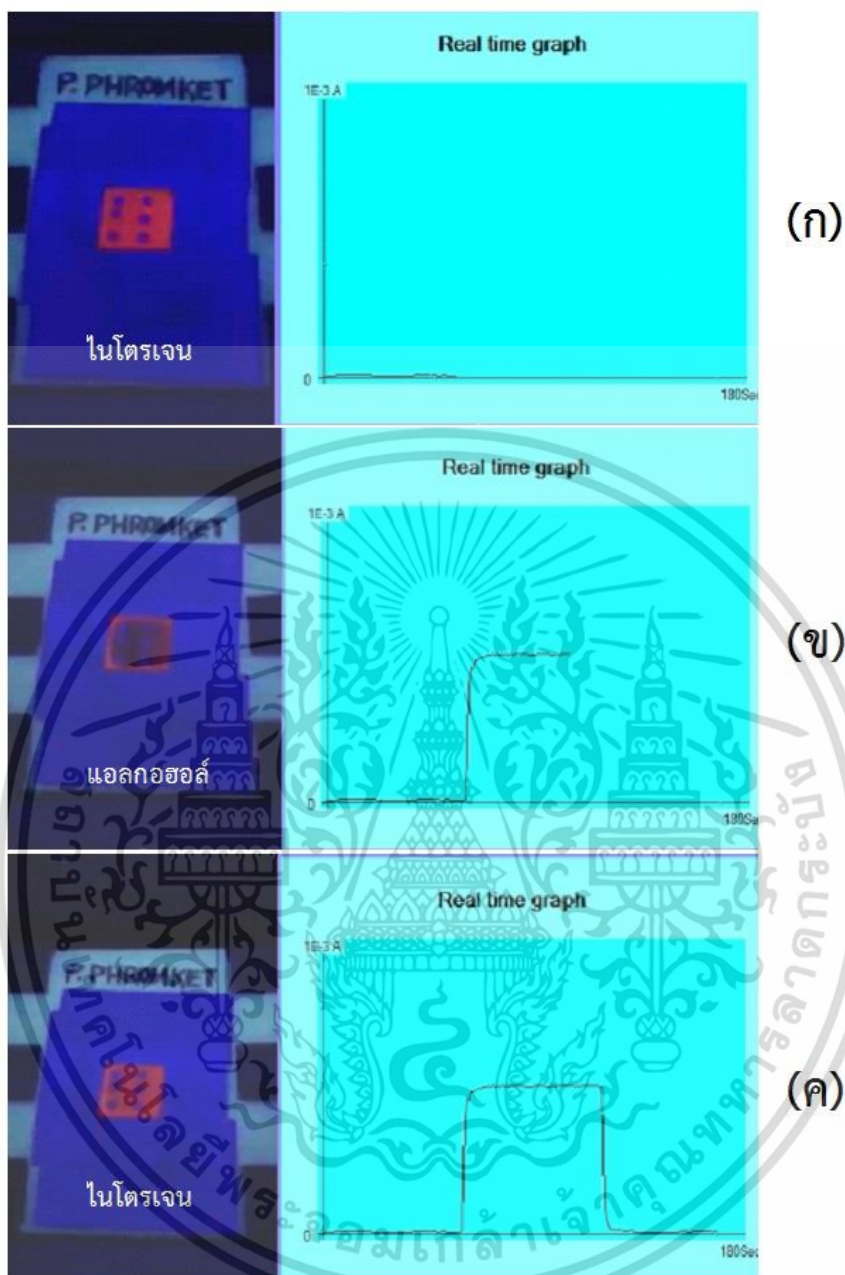


รูปที่ 5.15 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการตอบสนองการเปิด-ปิดไอแอลกอดฮอลล์ของอุปกรณ์ที่มีชั้นพอร์สซิลิคอน

จากรูปที่ 5.14 พบว่าอุปกรณ์ที่ไม่มีชั้นพอร์สซิลิคอนไม่มีการตอบสนองต่อการตรวจจับไอแอลกอดฮอลล์ แต่จากรูปที่ 5.15 พบว่าอุปกรณ์ที่มีชั้นพอร์สซิลิคอนนั้นมีการตอบสนองต่อการตรวจจับไอแอลกอดฮอลล์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์ที่มีชั้นพอร์สซิลิคอนสามารถนำไปใช้ในการตรวจจับไอแอลกอดฮอลล์ได้ จึงได้มีการศึกษาถึงผลกระทบของค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีต่ออุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอดฮอลล์ ดังหัวข้อต่อไป

จากรูปที่ 5.16 จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเรืองแสงของชั้นพอร์สซิลิคอนและค่ากระแสไฟฟ้าขณะทำการตรวจจับไอระเหยของแอลกอดฮอลล์พบว่า ในช่วงแรก รูปที่ 5.16 (ก) เราได้ทำการฉายก๊าซไนโตรเจนพบว่าชั้นพอร์สซิลิคอนที่ถูกฉายแสงจากหลอดแบล็คไลท์มีการเรืองแสงเป็นสีส้ม และมีค่ากระแสไฟฟ้าที่ค่อนข้างต่ำเนื่องจากชั้นพอร์สซิลิคอนนั้นมีค่าความต้านทานที่สูง จากนั้นทำการฉายไอแอลกอดฮอลล์ รูปที่ 5.16 (ข) พบว่าชั้นพอร์สซิลิคอนที่ได้รับการฉายแสงจากหลอดแบล็คไลท์นั้นมีการเรืองแสงลดน้อยลงเนื่องจากมีไอแอลกอดฮอลล์มารวมตัวกันอยู่ภายในรูพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนทำให้ค่าสถานะผิวนั้นเปลี่ยนไป และยังพบว่ามีค่ากระแสไฟฟ้าที่สูงขึ้นเนื่องจากมีการเหนี่ยวนำพาหะจากไอแอลกอดฮอลล์ทำให้มีค่ากระแสไฟฟ้าสูงขึ้น แล้วเมื่อเราทำการฉายก๊าซไนโตรเจนเพื่อไล่ไอแอลกอดฮอลล์ออกไป รูปที่ 5.16 (ค) พบว่า ชั้นพอร์สซิลิคอนที่ได้รับการฉายแสงด้วยหลอดแบล็คไลท์นั้นกลับมาเรืองแสงเป็นสีส้มเหมือนเดิม และมีค่ากระแสไฟฟ้าน้อยลงเหมือนขณะยังไม่ทำการฉายไอแอลกอดฮอลล์ในตอนแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



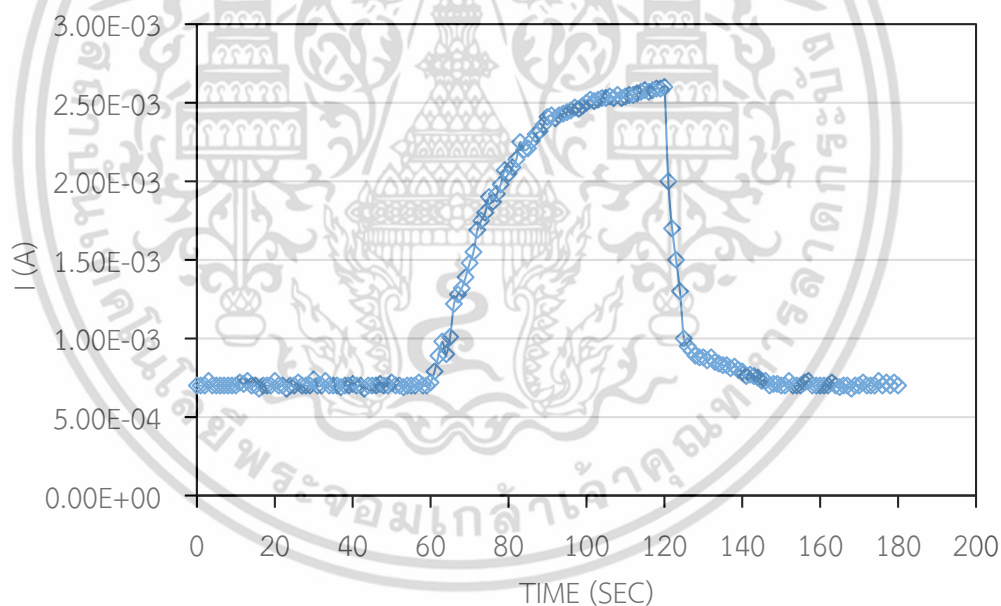
รูปที่ 5.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเรียงแสงของชั้นพอร์ซิลิคอนกับค่ากระแสไฟฟ้า

- (ก) ขณะทำการจ่ายก๊าซไนโตรเจน
- (ข) ขณะทำการจ่ายไอแอลกอฮอล์
- (ค) ขณะทำการจ่ายก๊าซไนโตรเจนเพื่อไล่ไอแอลกอฮอล์

จากนั้นทำการทดลองเพื่อการศึกษาถึง ผลของค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์ซิลิคอนที่ส่งผลต่อตัวแปรต่างๆ ในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ ซึ่งทำการสร้างอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยใช้ชั้นพอร์ซซิลิคอน ทำการสร้างด้วยวิธีการแอนโดซ์เซชันด้วยชุดกัดแบบเซลล์แท่งกึ่งวงนอน กัดโดยไม่เคลื่อนชั้นลูมิเนียมที่ด้านหลัง ทำการสร้างขั้วลูมิเนียมบนชั้นพอร์ซซิลิคอนขนาด $1000 \times 1000 \mu\text{m}^2$ โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วที่ $500 \mu\text{m}$ แล้วทำการต่อขั้วเพื่อใช้ในการวัดลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้า โดยเปรียบเทียบกับกันระหว่างชั้นพอร์ซซิลิคอนที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนที่ 24.0%, 33.5%, 38.7%, 42.5%, 51.2%, 64.1% และ 76.5% ตามลำดับ ทำการวัดคุณลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลา ในการเปิดก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 60 วินาที แล้วเปิดไนโตรเจนผสมกับ ไอเอทานอล 60 วินาที และเปิดก๊าซไนโตรเจน 60 วินาที ที่อุณหภูมิห้อง แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับ อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ 20 โวลต์ ซึ่งได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

- อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่สร้างชั้นพอร์ซซิลิคอนโดยใช้ชั้นพอร์ซซิลิคอนที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนประมาณ 24.0% ทำการสร้างขั้วลูมิเนียมบนชั้นพอร์ซซิลิคอนขนาด $1000 \times 1000 \mu\text{m}^2$ โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วที่ $500 \mu\text{m}$ แล้วทำการต่อขั้วเพื่อใช้ในการวัดลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้า นำมาวัดลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการเปิด - ปิด ไอแอลกอฮอล์ แสดงดังรูปที่ 5.17



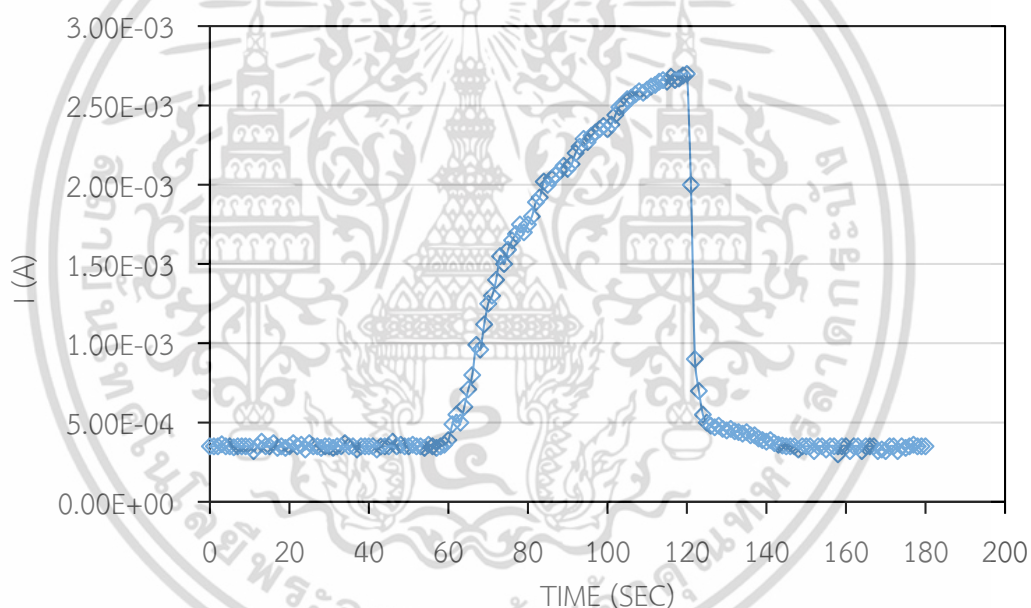
รูปที่ 5.17 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการตอบสนองการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอล์ของ อุปกรณ์ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์ซซิลิคอนประมาณ 24.0%

จากรูปที่ 5.17 พบว่าอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่สร้างชั้นพอร์ซซิลิคอนโดยใช้ชั้นพอร์ซซิลิคอนที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนประมาณ 24.0% กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นขณะทำการเปิดก๊าซไนโตรเจนอยู่ที่ประมาณ 7.0×10^{-4} A เมื่อทำการวัดไอแอลกอฮอล์ขณะเปิดก๊าซไนโตรเจนผสมกับไอแอลกอฮอล์ที่เวลาประมาณ 60 วินาที กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนขึ้นไปอยู่ที่ประมาณ 2.6×10^{-3} A เมื่อปิดก๊าซไนโตรเจนและเปิดก๊าซไนโตรเจนผสมกับไอแอลกอฮอล์ที่เวลาประมาณ 120 วินาที กระแสไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ จนกลับไปอยู่ที่ประมาณ 0.75×10^{-3} A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

10^{-3} A ที่เวลาประมาณ 120 วินาที และทำการปิดไอแอลกอฮอล์พร้อมกับเปิดก๊าซไนโตรเจนที่เวลาประมาณ 120 วินาที กระแสไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ จนตกลงมาที่จุดเดิมตอนเริ่มต้นคือที่ประมาณ 7.0×10^{-4} A ที่เวลาประมาณ 150 วินาที ซึ่งปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงมีค่าประมาณ 1.9×10^{-3} A เมื่อมีการตรวจจับไอแอลกอฮอล์กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จะใช้เวลาในการอิมตัวประมาณ 60 วินาที และเมื่อมีการปิดไอแอลกอฮอล์กระแสไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ ใช้เวลาในการกลับมาจุดเริ่มต้นเดิมประมาณ 30 วินาที

- อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่สร้างขึ้นพอร์สซิลิคอนโดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนประมาณ 33.5% ทำการสร้างขั้วลูมิเนียมบนชั้นพอร์สซิลิคอนขนาด $1000 \times 1000 \mu\text{m}^2$ โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วที่ $500 \mu\text{m}$ แล้วทำการต่อขั้วเพื่อใช้ในการวัดลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้า นำมาวัดลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการเปิด - ปิด ไอแอลกอฮอล์ แสดงดังรูปที่ 5.18



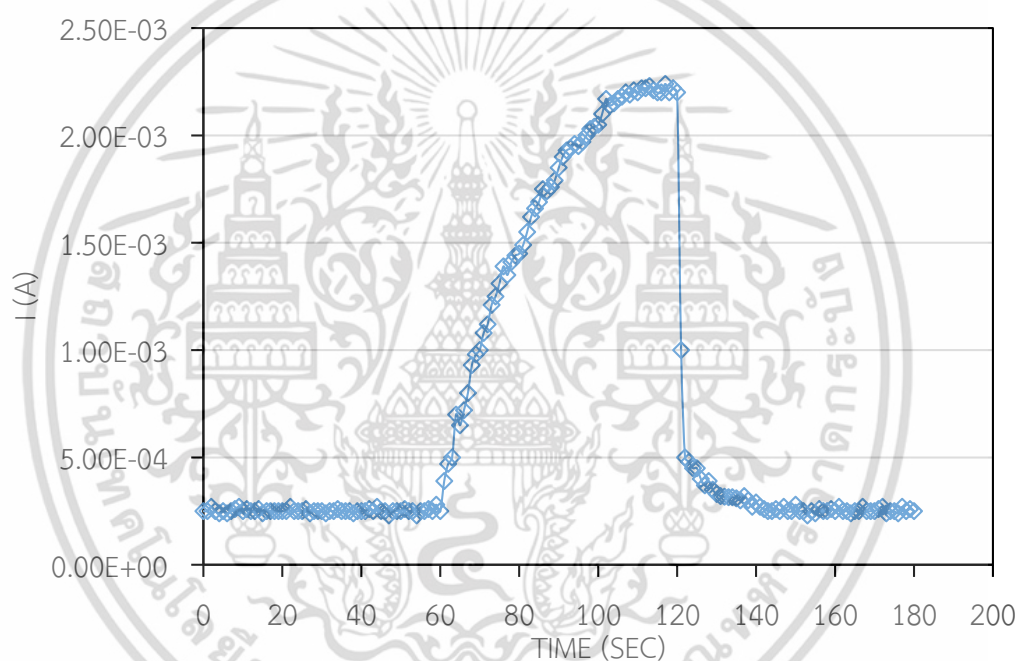
รูปที่ 5.18 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการตอบสนองการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนประมาณ 33.5%

จากรูปที่ 5.18 พบว่าอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่สร้างขึ้นพอร์สซิลิคอนโดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนประมาณ 33.5% กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นขณะทำการเปิดก๊าซไนโตรเจนอยู่ที่ประมาณ 3.5×10^{-4} A เมื่อทำการวัดไอแอลกอฮอล์ขณะเปิดก๊าซไนโตรเจนผสมกับไอแอลกอฮอล์ที่เวลาประมาณ 60 วินาที กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนขึ้นไปอยู่ที่ประมาณ 2.7×10^{-3} A ที่เวลาประมาณ 120 วินาที และทำการปิดไอแอลกอฮอล์พร้อมกับเปิดก๊าซไนโตรเจนที่เวลาประมาณ 120 วินาที กระแสไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ จนตกลงมาที่จุดเดิมตอนเริ่มต้นคือที่ประมาณ 3.5×10^{-4} A

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\times 10^{-4}$ A ที่เวลาประมาณ 145 วินาที ซึ่งปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงมีค่าประมาณ 2.35×10^{-3} A เมื่อมีการตรวจจับไอแอลกอฮอล์กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จะใช้เวลาในการอิมตัวประมาณ 60 วินาที และเมื่อมีการปิดไอแอลกอฮอล์กระแสไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ ใช้เวลาในการกลับมาจุดเริ่มต้นเดิมประมาณ 25 วินาที

- อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่สร้างขึ้นพอร์สซิลิคอนโดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนประมาณ 38.7% ทำการสร้างขั้วลุ่มิเนียมบนชั้นพอร์สซิลิคอนขนาด $1000 \times 1000 \mu\text{m}^2$ โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วที่ $500 \mu\text{m}$ แล้วทำการต่อขั้วเพื่อใช้ในการวัดลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้า นำมาวัดลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการเปิด - ปิด ไอแอลกอฮอล์ แสดงดังรูปที่ 5.19

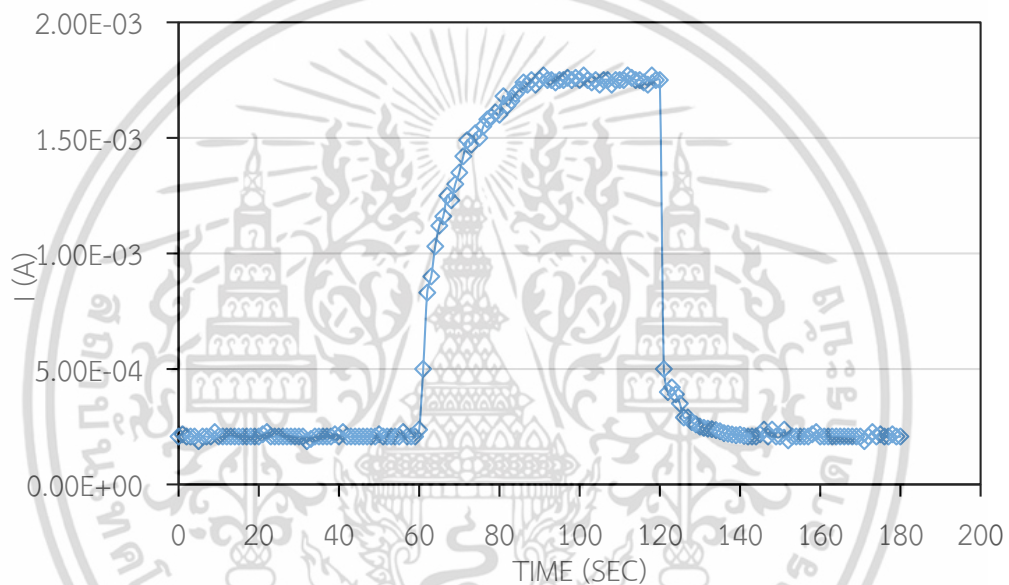


รูปที่ 5.19 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการตอบสนองการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนประมาณ 38.7%

จากรูปที่ 5.19 พบว่าอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่สร้างขึ้นพอร์สซิลิคอนโดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนประมาณ 38.7% กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นขณะทำการเปิดก๊าซไนโตรเจนอยู่ที่ประมาณ 2.50×10^{-4} A เมื่อทำการวัดไอแอลกอฮอล์ขณะเปิดก๊าซไนโตรเจนผสมกับไอแอลกอฮอล์ที่เวลาประมาณ 60 วินาที กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนขึ้นไปอยู่ที่ประมาณ 2.20×10^{-3} A ที่เวลาประมาณ 110 วินาที และทำการปิดไอแอลกอฮอล์พร้อมกับเปิดก๊าซไนโตรเจนที่เวลาประมาณ 120 วินาที กระแสไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ จนตกลงมาที่จุดเดิมตอนเริ่มต้นคือที่ประมาณ 2.50×10^{-4} A ที่เวลาประมาณ 143 วินาที ซึ่งปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงมีค่าประมาณ 1.95 เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\times 10^{-3}$ A เมื่อมีการตรวจจับไอแอลกอฮอล์กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จะใช้เวลาในการอ้อมตัวประมาณ 50 วินาที และเมื่อมีการปิดไอแอลกอฮอล์กระแสไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ ใช้เวลาในการกลับมาจุดเริ่มต้นเดิมประมาณ 23 วินาที

- อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่สร้างขึ้นพอร์สซิลิคอนโดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนประมาณ 42.5% ทำการสร้างขั้วลุ่มิเนียมบนชั้นพอร์สซิลิคอนขนาด $1000 \times 1000 \mu\text{m}^2$ โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วที่ $500 \mu\text{m}$ แล้วทำการต่อขั้วเพื่อใช้ในการวัดลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้า นำมาวัดลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการเปิด - ปิด ไอแอลกอฮอล์ แสดงดังรูปที่ 5.20

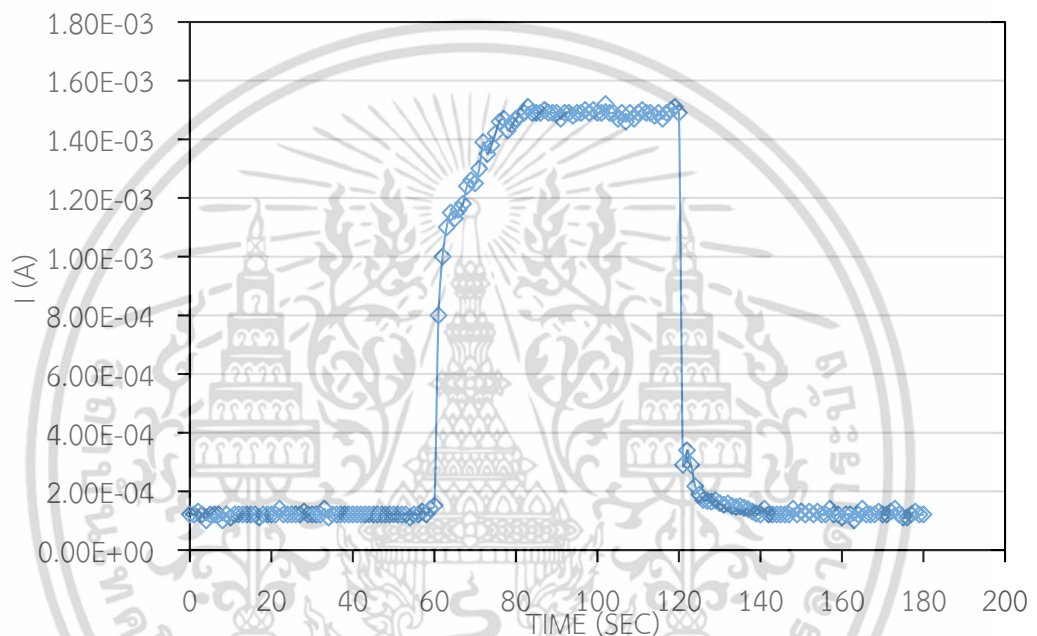


รูปที่ 5.20 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการตอบสนองการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนประมาณ 42.5%

จากรูปที่ 5.20 พบว่าอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่สร้างขึ้นพอร์สซิลิคอนโดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนประมาณ 42.5% กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นขณะทำการเปิดก๊าซไนโตรเจนอยู่ที่ประมาณ 2.07×10^{-4} A เมื่อทำการวัดไอแอลกอฮอล์ขณะเปิดก๊าซไนโตรเจนผสมกับไอแอลกอฮอล์ที่เวลาประมาณ 60 วินาที กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนขึ้นไปอยู่ที่ประมาณ 1.75×10^{-3} A ที่เวลาประมาณ 91 วินาที และทำการปิดไอแอลกอฮอล์พร้อมกับเปิดก๊าซไนโตรเจนที่เวลาประมาณ 120 วินาที กระแสไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ จนตกลงมาที่จุดเดิมตอนเริ่มต้นคือที่ประมาณ 2.07×10^{-4} A ที่เวลาประมาณ 142 วินาที ซึ่งปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงมีค่าประมาณ 1.54×10^{-3} A เมื่อมีการตรวจจับไอแอลกอฮอล์กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จะใช้เวลาในการอ้อมตัว

ประมาณ 31 วินาที และเมื่อมีการปิดไอแอลกอฮอล์กระแสไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ ใช้เวลาในการกลับมาจุดเริ่มต้นเดิมประมาณ 22 วินาที

- อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่สร้างขึ้นพอร์สซิลิคอนโดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนประมาณ 51.2% ทำการสร้างขั้วลุ่มิเนียมบนชั้นพอร์สซิลิคอนขนาด $1000 \times 1000 \mu\text{m}^2$ โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วที่ $500 \mu\text{m}$ แล้วทำการต่อขั้วเพื่อใช้ในการวัดลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้า นำมาวัดลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการเปิด - ปิด ไอแอลกอฮอล์ แสดงดังรูปที่ 5.21

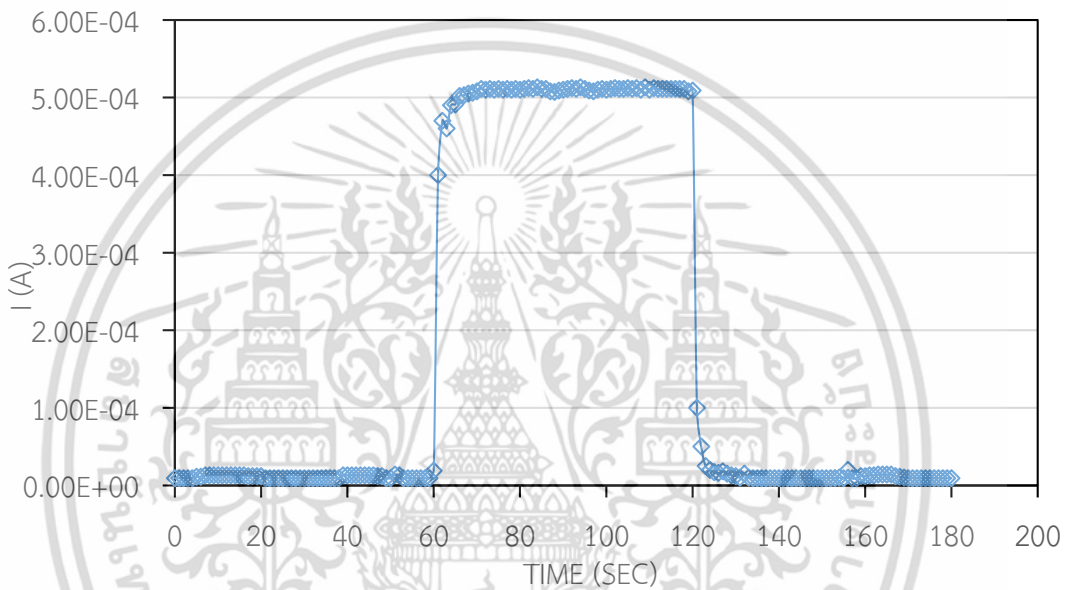


รูปที่ 5.21 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการตอบสนองการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนประมาณ 51.2%

จากรูปที่ 5.21 พบว่าอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่สร้างขึ้นพอร์สซิลิคอนโดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนประมาณ 51.2% กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นขณะทำการเปิดก๊าซไนโตรเจนอยู่ที่ประมาณ 1.21×10^{-4} A เมื่อทำการวัดไอแอลกอฮอล์ขณะเปิดก๊าซไนโตรเจนผสมกับไอแอลกอฮอล์ที่เวลาประมาณ 60 วินาที กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนขึ้นไปอยู่ที่ประมาณ 1.49×10^{-3} A ที่เวลาประมาณ 84 วินาที และทำการปิดไอแอลกอฮอล์พร้อมกับเปิดก๊าซไนโตรเจนที่เวลาประมาณ 120 วินาที กระแสไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ จนตกลงมาที่จุดเดิมตอนเริ่มต้นคือที่ประมาณ 1.21×10^{-4} A ที่เวลาประมาณ 140 วินาที ซึ่งปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงมีค่าประมาณ 1.37×10^{-3} A เมื่อมีการตรวจจับไอแอลกอฮอล์กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จะใช้เวลาในการอ้อมตัว

ประมาณ 24 วินาที และเมื่อมีการปิดไอแอลกอฮอล์กระแสไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ ใช้เวลาในการกลับมาจุดเริ่มต้นเดิมประมาณ 20 วินาที

- อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่สร้างขึ้นพอร์สซิลิคอนโดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนประมาณ 64.1% ทำการสร้างขั้วลุ่มิเนียบบนชั้นพอร์สซิลิคอนขนาด $1000 \times 1000 \mu\text{m}^2$ โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วที่ $500 \mu\text{m}$ แล้วทำการต่อขั้วเพื่อใช้ในการวัดลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้า นำมาวัดลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการเปิด - ปิด ไอแอลกอฮอล์ แสดงดังรูปที่ 5.22

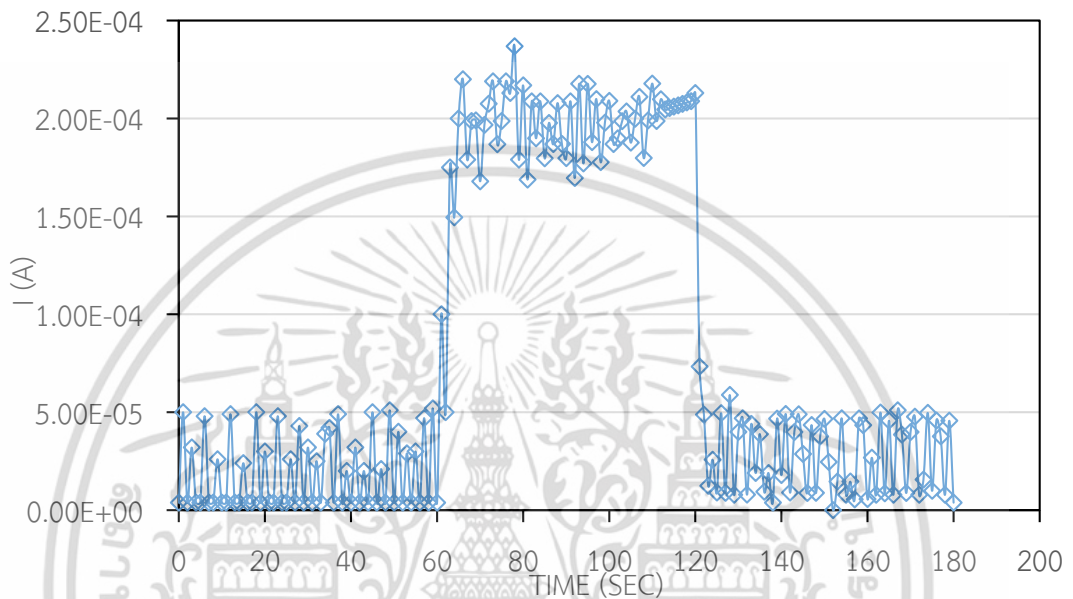


รูปที่ 5.22 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการตอบสนองการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนประมาณ 64.1%

จากรูปที่ 5.22 พบว่าอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่สร้างขึ้นพอร์สซิลิคอนโดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนประมาณ 64.1% กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นขณะทำการเปิดก๊าซไนโตรเจนอยู่ที่ประมาณ 9.28×10^{-6} A เมื่อทำการวัดไอแอลกอฮอล์ขณะเปิดก๊าซไนโตรเจนผสมกับไอแอลกอฮอล์ที่เวลาประมาณ 60 วินาที กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนขึ้นไปอยู่ที่ประมาณ 5.10×10^{-4} A ที่เวลาประมาณ 67 วินาที และทำการปิดไอแอลกอฮอล์พร้อมกับเปิดก๊าซไนโตรเจนที่เวลาประมาณ 120 วินาที กระแสไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ จนตกลงมาที่จุดเดิมตอนเริ่มต้นคือที่ประมาณ 9.28×10^{-6} A ที่เวลาประมาณ 134 วินาที ซึ่งปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงมีค่าประมาณ 5.0×10^{-4} A เมื่อมีการตรวจจับไอแอลกอฮอล์กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จะใช้เวลาในการอิมตัวประมาณ 7 วินาที และเมื่อมีการปิดไอแอลกอฮอล์กระแสไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ ใช้เวลาในการกลับมาจุดเริ่มต้นเดิมประมาณ 14 วินาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่สร้างขึ้นพอร์สซิลิคอนโดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนประมาณ 76.5% ทำการสร้างขั้วลุ่มิเนียมบนชั้นพอร์สซิลิคอนขนาด $1000 \times 1000 \mu\text{m}^2$ โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วที่ $500 \mu\text{m}$ แล้วทำการต่อขั้วเพื่อใช้ในการวัดลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้า นำมาวัดลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการเปิด - ปิด ไอแอลกอฮอล์ แสดงดังรูปที่ 5.23



รูปที่ 5.23 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการตอบสนองการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนประมาณ 76.5%

จากรูปที่ 5.23 พบว่าอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่สร้างขึ้นพอร์สซิลิคอนโดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนประมาณ 76.5% กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นขณะทำการเปิดก๊าซไนโตรเจนอยู่ที่ประมาณ 3.85×10^{-6} A เมื่อทำการวัดไอแอลกอฮอล์ขณะเปิดก๊าซไนโตรเจนผสมกับไอแอลกอฮอล์ที่เวลาประมาณ 60 วินาที กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนขึ้นไปอยู่ที่ประมาณ 2.13×10^{-4} A ที่เวลาประมาณ 77 วินาที และทำการปิดไอแอลกอฮอล์พร้อมกับเปิดก๊าซไนโตรเจนที่เวลาประมาณ 120 วินาที กระแสไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ จนตกลงมาที่จุดเดิมตอนเริ่มต้นคือที่ประมาณ 3.88×10^{-6} A ที่เวลาประมาณ 138 วินาที ซึ่งปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงมีค่าประมาณ 2.10×10^{-4} A เมื่อมีการตรวจจับไอแอลกอฮอล์กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จะใช้เวลาในการอ้อมตัวประมาณ 17 วินาที และเมื่อมีการปิดไอแอลกอฮอล์กระแสไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ ใช้เวลาในการกลับมาจุดเริ่มต้นเดิมประมาณ 18 วินาที

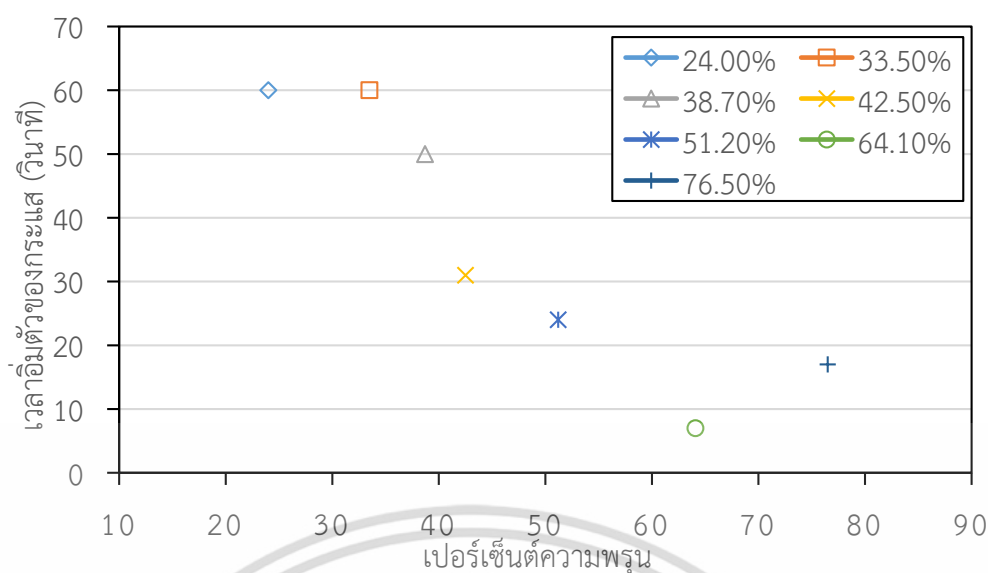
ผลการทดลองที่ได้ จากรูปที่ 5.17 – 5.23 จะถูกนำมาวิเคราะห์ และทำการศึกษาถึงผลกระทบของค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีต่อตัวแปรต่างๆ ในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ในหัวข้อการศึกษาต่อไปนี้

5.5.1 การศึกษาผลของค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนต่อเวลาการอิมตัวของกระแสในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์

การทดลองนี้ทำการศึกษาถึง ผลของค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนที่ส่งผลต่อเวลาการอิมตัวของกระแสในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ ซึ่งทำการสร้างอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอน ทำการสร้างด้วยวิธีการแอนโอดีซ์เซชันด้วยชุดกัดแบบเซลล์แทงก์คู่นวนอนกัดโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลัง ทำการสร้างขั้วอลูมิเนียมบนชั้นพอร์สซิลิคอนขนาด $1000 \times 1000 \mu\text{m}^2$ โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วที่ $500 \mu\text{m}$ แล้วทำการต่อขั้วเพื่อใช้ในการวัดลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้า โดยเปรียบเทียบกับชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนที่ 24.0%, 33.5%, 38.7%, 42.5%, 51.2%, 64.1% และ 76.5% ตามลำดับ ทำการวัดคุณลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลา ในการเปิดก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 60 วินาที แล้วเปิดไนโตรเจนผสมกับไอเอทานอล 60 วินาที และเปิดก๊าซไนโตรเจน 60 วินาที ที่อุณหภูมิห้อง แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ 20 โวลต์ ซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ 5.9 และรูปที่ 5.24

ตารางที่ 5.9 ค่าเวลาการอิมตัวของกระแสในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ที่สร้างด้วยชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนแตกต่างกัน

ค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอน	ค่าเวลาการอิมตัวของกระแสในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์
24.0%	60 วินาที
33.5%	60 วินาที
38.7%	50 วินาที
42.5%	31 วินาที
51.2%	24 วินาที
64.1%	7 วินาที
76.5%	17 วินาที



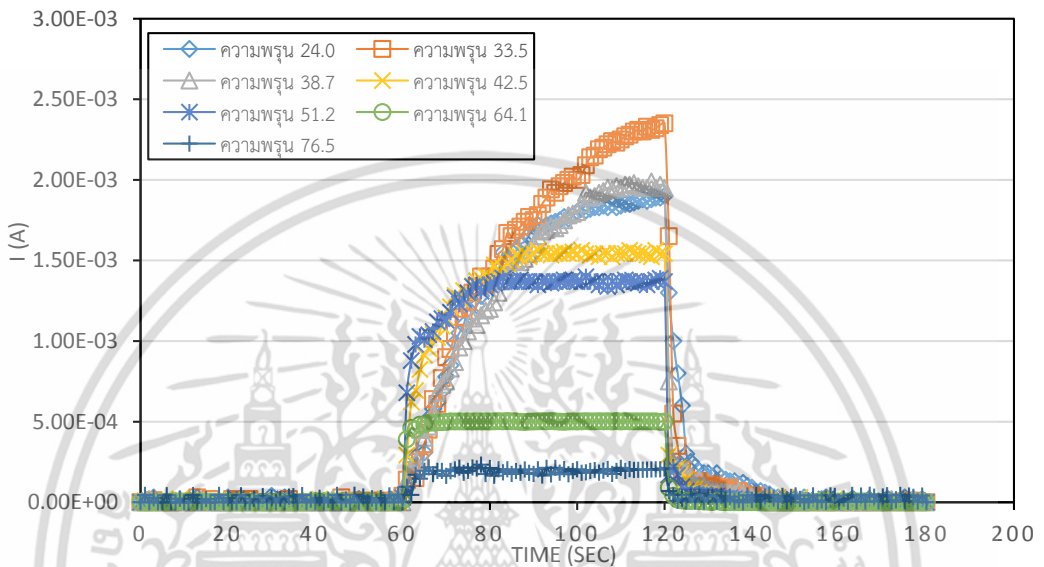
รูปที่ 5.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเวลาอิมตัวของกระแสในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์กับเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอน

จากรูปที่ 5.24 พบว่าเมื่อทำการสร้างอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของแอลกอฮอล์ด้วยชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีเปอร์เซ็นต์ความพรุนเพิ่มสูงขึ้นจะยิ่งทำให้ได้ค่าเวลาอิมตัวของกระแสในการตรวจจับไอระเหยของแอลกอฮอล์ลดลง จนกระทั่งได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนที่ทำให้ได้ค่าเวลาอิมตัวของกระแสในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์น้อยที่สุดในการทดลองนี้ก็คือที่เปอร์เซ็นต์ความพรุน 64.10% ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีในการนำมาประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์ในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ และเมื่อใช้ชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีค่าความพรุนสูงมากกว่านี้ ในการทดลองนี้คือที่เปอร์เซ็นต์ความพรุน 76.50% จะทำให้ค่ากระแสที่ได้ในการตรวจจับนั้นแวกไม่คงที่ ซึ่งเป็นผลมาจากเปอร์เซ็นต์ความพรุนที่สูงเกินไป จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์

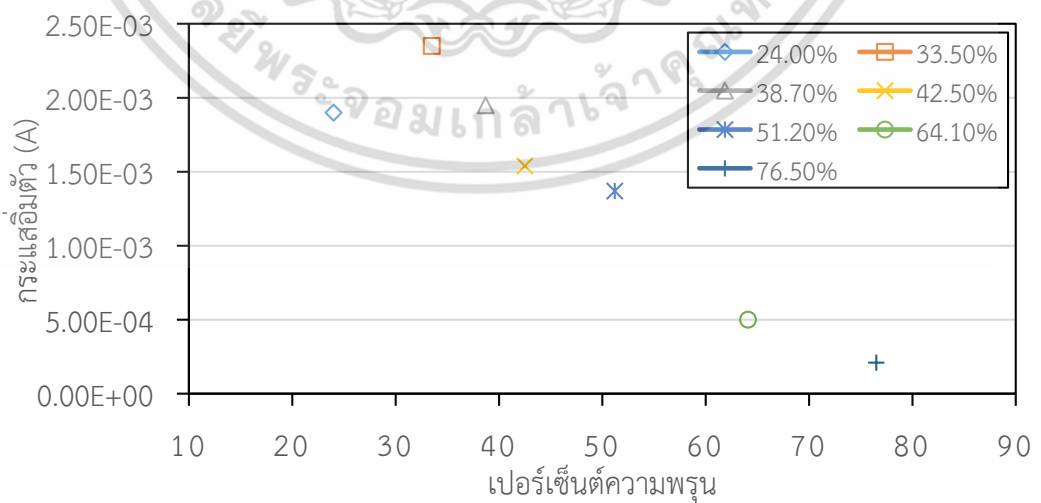
5.5.2 การศึกษาผลของค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนต่อค่ากระแสมิมตัวของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์

การทดลองนี้ทำการศึกษาถึง ผลของค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนที่ส่งผลต่อค่ากระแสมิมตัวของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ ซึ่งทำการสร้างอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอน ทำการสร้างด้วยวิธีการแอนโนไดซ์เซชันด้วยชุดกัดแบบเซลล์แทงก์คู่นวนอนกัตโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลัง ทำการสร้างขั้วอลูมิเนียมบนชั้นพอร์สซิลิคอนขนาด $1000 \times 1000 \mu\text{m}^2$ โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วที่ $500 \mu\text{m}$ แล้วทำการต่อขั้วเพื่อใช้ในการวัดลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้า โดยเปรียบเทียบกันระหว่างชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนที่ 24.0%, 33.5%, 38.7%, 42.5%, 51.2%, 64.1% และ 76.5% ตามลำดับ ทำการวัดคุณลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลา ในการเปิดก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 60 วินาที แล้วเปิดไนโตรเจนผสมกับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไอเอทานอล 60 วินาที และเปิดก๊าซไนโตรเจน 60 วินาที ที่อุณหภูมิห้อง แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับ อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ 20 โวลต์ โดยนำลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการตอบสนอง การเปิด-ปิดไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนแตกต่างกันมา เทียบที่ระดับอ้างอิงเดียวกัน เพื่อเปรียบเทียบค่ากระแสอิมิตัวของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ แสดงดังรูปที่ 5.25



รูปที่ 5.25 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการตอบสนองการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอล์ของ อุปกรณ์ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนแตกต่างกัน ที่ระดับอ้างอิง เดียวกัน



รูปที่ 5.26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสอิมิตัวของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์กับ เปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 5.25 – 5.26 พบว่าอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่มีชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีความพรุนต่ำจะมีค่ากระแสไอ้มตัวที่สูง เนื่องจากชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีความพรุนต่ำนั้นยังมีเนื้อของผลึกซิลิคอนอยู่มากจึงทำให้มีพาหะในการนำกระแสที่สูง และมีค่าความต้านทานต่ำกว่าชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีความพรุนสูงๆ แต่หากพิจารณารวมกับการทดลองที่ 5.5.1 ก็จะทำให้พบว่าชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีความพรุนต่ำนั้น ยังไม่เหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์เป็นอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ เนื่องจากมีเวลาในการอิมตัวของกระแสที่ช้า ส่วนชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีความพรุนสูงอยู่ในช่วง 60% - 65% นั้น ถึงแม้จะมีค่ากระแสไอ้มตัวที่ต่ำ แต่เวลาในการอิมตัวของกระแสก็ต่ำเช่นกัน ซึ่งจะมีความเหมาะสมในการนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุตรวจจับไอแอลกอฮอล์มากกว่า ดังนั้นแนวทางในการพัฒนาชั้นพอร์สซิลิคอนเพื่อสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของแอลกอฮอล์นั้นคือการพัฒนาให้ชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีความพรุนอยู่ในช่วง 60% - 65% มีค่ากระแสไอ้มตัวเพิ่มมากขึ้น ก็จะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนาอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยแอลกอฮอล์ด้วยชั้นพอร์สซิลิคอนให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น



บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาเกี่ยวกับลักษณะโครงสร้างของชั้นพอร์สซิลิคอน การสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการแอโนไดซ์เซชันเพื่อการประยุกต์ใช้งานทางด้านการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ โดยมีโครงสร้างอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่ประกอบไปด้วย ฐานรองซิลิคอนชนิดพีที่สร้างชั้นพอร์สซิลิคอนอยู่บนผิวหน้า และมีขั้วโลหะที่เป็นอลูมิเนียมอยู่บนชั้นพอร์สซิลิคอน ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ง่าย เหมาะที่จะนำไปใช้สร้างเป็นวงจรรวมต่อไปในอนาคต

ในงานวิจัยของเราเริ่มต้นโดยการใช้แผ่นผลึกซิลิคอนชนิดพี สภาพความต้านทานแผ่นที่ 9-11 โอห์ม-เซนติเมตร ความหนา 625 ไมโครเมตร มาทำการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการแอโนไดซ์เซชัน โดยมีวิธีการสร้างที่แตกต่างกันออกไป 3 วิธีด้วยกันได้แก่ การสร้างโดยชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งกึ่งเดี่ยวแนวตั้งกัดโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังซิลิคอนเวเฟอร์ การสร้างโดยชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งกึ่งเดี่ยวแนวตั้งกัดโดยเคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังซิลิคอนเวเฟอร์ และการสร้างโดยชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งกึ่งเดี่ยวแนวตั้งกัดโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลัง นอกจากนี้ยังมีเงื่อนไขในการแอโนไดซ์เซชันที่ต่างกันออกไป 3 เงื่อนไขได้แก่ เงื่อนไขแรก อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลที่อัตราส่วน 5:1, 4:1, 3:1, 2:1 และ 1:1 โดยปริมาตร เงื่อนไขที่สอง ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการแอโนไดซ์เซชัน 5 mA/cm^2 , 10 mA/cm^2 , 15 mA/cm^2 , 20 mA/cm^2 และ 25 mA/cm^2 เงื่อนไขที่สาม ระยะเวลาในการสร้าง 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 20 นาที และ 25 นาที จากนั้นนำชั้นพอร์สซิลิคอนที่ได้มาทำการศึกษาการเรืองแสงเมื่อทำการฉายแสงด้วยหลอดแบล็คไลท์ ศึกษาความสม่ำเสมอ และศึกษาค่าความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอน สรุปผลการวิจัยได้ดังนี้

การทดลองสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนด้วยชุดกัดไฟฟ้าเคมีที่ต่างกันพบว่า การสร้างด้วยชุดกัดเซลล์แท่งกึ่งเดี่ยวแนวตั้งกับแผ่นซิลิคอนไม่เคลือบอลูมิเนียมที่ด้านหลังนั้นมีการเกิดชั้นพอร์สซิลิคอนเฉพาะที่บริเวณขอบของชุดกัด เนื่องจากเป็นบริเวณที่มี o-ring กดทับอยู่ จากแรงกดนี้ทำให้มีการไหลของกระแสได้มากกว่าบริเวณอื่นๆ จึงมีการเกิดชั้นพอร์สซิลิคอนเฉพาะบริเวณนี้มากกว่าบริเวณอื่นๆ จึงได้ทำการปรับปรุงด้วยการเคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังแผ่นซิลิคอน ทำให้มีการกระจายตัวของกระแสได้ดีขึ้น จึงมีการเกิดชั้นพอร์สซิลิคอนได้ทั่วบริเวณมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ก็มีกระบวนการที่เพิ่มมากขึ้นมาคือการสร้างชั้นอลูมิเนียม จึงได้ทำการทดลองสร้างด้วยชุดกัดเซลล์แท่งกึ่งเดี่ยวแนวตั้งกับแผ่นซิลิคอนที่ไม่เคลือบอลูมิเนียมพบว่า ได้ชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีความสม่ำเสมอ เกิดชั้นพอร์สซิลิคอนทั่วบริเวณที่ทำการกัด เนื่องจากชุดกัดชนิดนี้มีการสัมผัสของสารละลายทั้งสองด้านของผลึกซิลิคอนจึงมีการกระจายตัวของกระแสไฟฟ้าได้ดีจึงทำให้เกิดชั้นพอร์สซิลิคอนได้อย่างสม่ำเสมอทั่วบริเวณที่เราทำการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอน นอกจากนี้ยังลดขั้นตอนในการสร้างชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังแผ่นซิลิคอนก่อนทำการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนออกไป จึงทำให้สามารถลดต้นทุนในกระบวนการผลิตลงได้อีกด้วย ดังนั้นจึงทำการเลือกใช้ชุดกัดชนิดเซลล์แท่งกึ่งเดี่ยวแนวตั้งเป็นชุดกัดหลักในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนในการทดลองทั้งหมดของวิทยานิพนธ์นี้

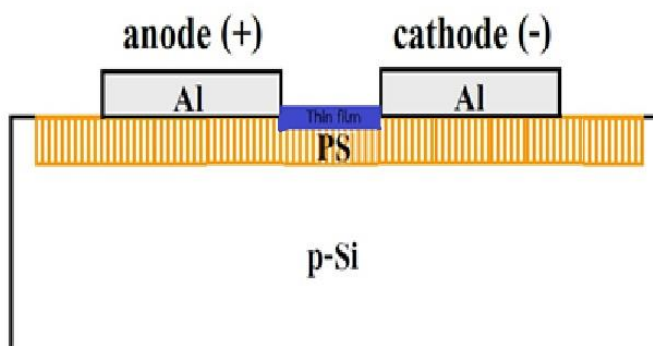
เอกสารนี้เป็นเอกสารทงสงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดสอบความสม่ำเสมอ พบว่าชั้นพอร์สซิลิโคนที่สร้างจากความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกผสมกับเอทานอล พบว่าชั้นพอร์สซิลิโคนที่สร้างโดยอัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 โดยปริมาตรทำให้ได้ชั้นพอร์สซิลิโคนที่มีความสม่ำเสมอมากที่สุดและไม่ประะบางแตกหักง่าย ซึ่งการเติมเอทานอลเข้าไปในในสารละลายจะช่วยทำให้แรงตึงผิวของสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกลดลง ทำให้ลดจำนวนฟองก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นขณะทำการทดลองได้ แต่หากใส่เอทานอลในปริมาณมากไปจะไปทำให้ความสามารถในการกัดชั้นพอร์สซิลิโคนนั้นลดลงทำให้การกัดไม่ดี ดังนั้นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการสร้างชั้นพอร์สซิลิโคนในการทดลองนี้คือที่ 4:1 โดยปริมาตร

เมื่อทำการทดลองถึงผลของค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการสร้างชั้นพอร์สซิลิโคนพบว่าเมื่อทำการเพิ่มค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการแอโนไดซ์เซชันจะทำให้เกิดการกัดชั้นพอร์สซิลิโคนได้มากขึ้น จากผลความพรุนก็พบว่ามีความพรุนมากขึ้นด้วยเช่นกัน ส่วนการทดลองเรื่องเวลาในการสร้างชั้นพอร์สซิลิโคนก็พบว่าเมื่อทำการเพิ่มเวลาในการสร้างชั้นพอร์สซิลิโคน ก็ทำให้เกิดการกัดชั้นพอร์สซิลิโคนที่มากขึ้นเช่นกัน ซึ่งผลของค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนก็มีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลาด้วย

จากนั้นนำชั้นพอร์สซิลิโคนที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนต่างๆ ได้แก่ ค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนที่ 24.0%, 33.5%, 38.7%, 42.5%, 51.2%, 64.1% และ 76.5% มาทำการทดสอบตรวจจับไอแอลกอฮอล์ซึ่งชั้นพอร์สซิลิโคนที่ได้ค่ากระแสไฟฟ้าอิมิตัวสูงสุดคือที่ค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุน 33.50% ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิโคนที่ทำให้ได้เวลาการอิมิตัวของกระแสในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์น้อยที่สุดคือที่ความพรุน 64.10% เนื่องจากที่เปอร์เซ็นต์ความพรุนที่ได้ผลกระแสไฟฟ้าอิมิตัวสูงนั้นก็มีความเร็วในการตอบสนองที่ช้า ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ไม่ดีในการนำมาประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของแอลกอฮอล์ ดังนั้นค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนที่เหมาะสมจะมาประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ต้องมีค่าเวลาในการตอบสนองน้อย ในการทดลองนี้ก็คือที่ค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุน 64.10% ซึ่งมีระยะเวลาเวลาการอิมิตัวของกระแสในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์อยู่ที่ 7 วินาที ซึ่งในทางการสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจจับนั้นยังถือว่ามีความเหมาะสม

อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์สซิลิโคนในงานวิจัยนี้เป็นโครงสร้างแบบง่าย โดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงค่าความนำไฟฟ้าของชั้นพอร์สซิลิโคนเมื่อมีการตรวจจับไอแอลกอฮอล์แต่ อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์สซิลิโคนนี้มีข้อเสียอยู่ที่ขั้วไฟฟ้าอยู่บนชั้นพอร์สซิลิโคนส่งผลให้รอยสัมผัสระหว่างขั้วไฟฟ้ากับชั้นพอร์สซิลิโคนมีค่าความต้านสูง ซึ่งได้ส่งผลกระทบต่อกระแสไฟฟ้าในการตอบสนองที่วัดได้นั้นมีค่าต่ำ ซึ่งควรมีการปรับปรุงโครงสร้างของอุปกรณ์ดังแสดงในรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 โครงสร้างของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอนที่ทำการปรับปรุงแล้ว

จากรูปที่ 6.1 เป็นโครงสร้างของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่ได้รับการปรับปรุงแล้ว โดยมีการเพิ่มชั้นฟิล์มบางที่มีคุณสมบัติในการตอบสนองไอแอลกอฮอล์ที่ด้านบนของชั้นพอร์สซิลิคอน เพื่อให้ได้ค่าความไวในการตอบสนองการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่ดียิ่งขึ้น โดยการใช้ชั้นพอร์สซิลิคอนนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ตรวจจับไอสารเคมีได้หลายชนิด และยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์ที่เป็นวงจรรวมได้อีกด้วย



เอกสารอ้างอิง

- [1] A. Uhler, "Electrochemical Etching of Silicon in HF Acid," Tech. J., Vol. 35, pp. 333, 1956.
- [2] L. Canham, "A glowing future for silicon," New Scientist, 1995.
- [3] K. Imai, "A new dielectric isolation method using porous silicon," Solid State Electronic, Vol. 24, pp. 155-164, 1980.
- [4] K. Imai and H. Unno, "FIPOS (Full Isolation by Porous silicon Oxidized Silicon) technology and It's application to LSI's," IEEE Transaction on electron devices, Vol. ED-31, No. 3, 1984.
- [5] สมเกียรติ ศุภเดช, สรวิต มุ่งการนา, มนัสชัย ไชยนอก, มโน มีร์กษ และสุรศักดิ์ เนียมเจริญ, "การสร้างชั้นพอร์ซิลิคอน โดยการกัดย้อมสีเพื่อเป็นชั้นลดการสะท้อนแสงสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิคอน," การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 27, เล่ม 2, หน้า 237-240, 2547.
- [6] I. Schechter, M. Ben-Chorin and Kux, "Gas sensing properties of porous silicon," Anal Chem. 67, pp. 3727-3732, 1995.
- [7] M. Gratzel, "TiO₂ Photocatalytic purification and treatment of water and air," Proc. First Intern. Conf., pp. 23, 1992.
- [8] Z.M. Rittersma, "Recent achievement in miniaturized humidity sensor," Sensors and Actuators, Vol. 96, pp. 196-210, 2002.
- [9] E. Comini, G. Fragilia, G. Sberveglieri, M.Z. Atashbar, W. Wlodarski., "Alcohol and Organic Vapours Sensor Based on Nano-sized TiO₂ Thin Film," IEEE, pp. 302-304, 1999.
- [10] A. Foucaran, F. Pascal-Delannoy, A. Sackda, P. Combette, A. Boyer, "Porous silicon layers used for gas sensor applications," Thin Solid Films Vol. 297, pp. 317-320, 1997.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] Seong-Jeen Kin, Sang-Hoon Lee, "Organic vapor sensing by current response of porous silicon layer," IOP Publishing Ltd., pp. 3505-3509, 2001.
- [14] M.B. Chohrin and A. Kurex, "Adsorbance effects on photoluminescence and electrical conductivity of porous silicon," Appl. Lett., v-64, pp. 481-483, 1994.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [15] A. Richter, "Design consideration and performance of adsorptive humidity sensor with capacitive readout," The 7th Int. Conf. Solid-State and Actuators. Transducers'93, Yokohama Japan, 1993.
- [16] Canham L. T., "Silicon quantum wire array fabrication by electrochemical and chemical dissolution of wafer," Appl. Phys. Lett., Vol. 57, 1046-8, 1990.
- [17] W. Lang, P. Steiner and H. Sandmaier, "Porous silicon : a novel material for microsystem," Sensor and actuators, A 21-23, 835-9, 1995.
- [18] L. Canham, "Properties of porous silicon," IEE Inspec, pp. 1-43, 1997.
- [19] 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.
- [20] C. Tsai, K.H. Li, D.S. Kinosky, "Correlation between silicon hydride specie and the photoluminescence intensity of porous silicon," Appl. Phys. Lett., Vol. 60, pp. 1700-1702, 1992.
- [21] 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.
- [22] H.F. Wolf, "Semiconductors willey-interscience a division of Jonhn & Sons," pp. 50, 1971.
- [23] H. Takagi, M. Mitome, R. Yano and T. Nakkagiri, "Microwave plasma deposition," Solid State Phys, Vol. 27, pp. 875, 1992.
- [24] Y. Kanemitsu, T. Ogawa, K. Shiraishi and K. Takeda, "Nanocrystalline : Laser breakdown," Phy. Rev., B48, pp. 4883, 1993.
- [25] T. Kawaguchi and S. Miyazima, Japan J., "Laser breakdown in pure SiH₄ ," Appl. Phys. Vol. 32, pp. L215, 1993.
- [26] R.E. Hummel, A. Morrone, M. Ludwing and S.S. Chang, "High-frequency spark discharge" Appl. Phys. Lett., Vol. 63, pp. 2771, 1993.
- [27] H.M. Ludwig, E.E. Hummel and M. Stora, "Thin Solid Films," Vol. 255, pp. 103, 1995.
- [28] สรวิต มุ่งการนา, สมเกียรติ ศุภเดช และ สุรศักดิ์ เนียมเจริญ, "การเลือกสร้างชั้นพอร์ซิลิคอนเฉพาะที่โดยวิธีการกัดด้วยอมสี," การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า, ครั้งที่ 28, เล่ม 2, หน้า 1109-1112, 2548.
- [29] วรวิทย์ พัฒนอาจกุล, สุรศักดิ์ เนียมเจริญ และ นรินทร์ อติวงศ์แสงทอง, "ผลกระทบของการผสมเอทานอลในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกในการสร้างชั้นพอร์ซิลิคอนโดยวิธีการแอโนไดซ์เซชัน," การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า, ครั้งที่ 28, เล่ม 2, หน้า 1101-1104, 2548.
- [30] Z. Gaburro, N. Dalosso and L. Pavesi, "Porous silicon," Dipartimento di Fisica, Universita di Trento, Via Sommarive 14, I-38050.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [31] Y. Kanemitsu, "Light emission from porous silicon and related materials," Physics reports, Vol. 263, No. 1, pp. 8, 1995.
- [32] Y. Kang and J. Jorne, "Porous silicon formation : Morphological Stability Analysis," Appl. Phys. Lett., Vol. 62, No. 8, pp. 2224-2226, 1993.
- [33] W.Lang, P. Steiner, H. Sandmier, "Porous silicon : anovel for Microsistems," Sensor and Acturators A51, pp. 31-36, 1995.
- [34] T.E. Jenkin, "Semiconductor science growth and characterization techniques," pp. 177.
- [35] V. Lehmann and U. Gosele, "Porous silicon formation : A Quantum wire effect," Appl. Phys. Lett., Vol. 58, No. 8, pp. 856-858, 1991.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.

ผลงานทางวิชาการของงานวิจัยนี้ที่ได้รับการตีพิมพ์

- [1] **พัฒนพงษ์ พรหมเกต,** นรินทร์ อติวงศ์แสงทอง และสุรศักดิ์ เนียมเจริญ “ผลกระทบของการเคลือบอลูมิเนียมที่ด้านหลังของซิลิคอนเวเฟอร์ในการสร้างชั้นนาโนพอร์ซิลิคอนด้วยวิธีการแอโนไดซ์เซชัน,” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 37, เล่ม 2, หน้า 673 – 676, 2557.
- [2] **พัฒนพงษ์ พรหมเกต,** นรินทร์ อติวงศ์แสงทอง และสุรศักดิ์ เนียมเจริญ “ตัวตรวจจับไอระเหยของแอลกอฮอล์ที่สร้างขึ้นจากชั้นพอร์ซิลิคอนด้วยวิธีการแอโนไดซ์เซชัน,” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 6, เล่ม 2, หน้า 601 – 604, 2557.
- [3] พรรณา บุระดา, นรินทร์ อติวงศ์แสงทอง, สุรศักดิ์ เนียมเจริญ และ**พัฒนพงษ์ พรหมเกต** “การศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์โดยใช้กระบวนการโซล-เจลเคลือบแบบสปีน,” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 37, เล่ม 2, หน้า 677 – 680, 2557.



การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 37
The 37th Electrical Engineering Conference
(EECON-37)

วันที่ 19-21 พฤศจิกายน 2557 ณ โรงแรมพูลแมน ขอนแก่น ราชา ออคิด

Vol.2

CM, EL, CT, CP, DS, PH, BE, GN

EECON XXXVII

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยขอนแก่น
KHON KAEN UNIVERSITY

ส.ป.ด.
กระทรวงศึกษาธิการ

nans.

PEA

Trinergy

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลกระทบของการเคลือบอลูมิเนียมที่ด้านหลังของซิลิคอนเวเฟอร์ในการสร้างชั้นนาโนพอร์ซิลิคอน

ด้วยวิธีการแอโนไดซ์เซชัน

The Effect of Coating Aluminum on Back of Silicon Wafer to Formation of Nanoporous Silicon Layer by Anodization

พัฒนาพร พรมเกตุ* พรธนา บุระดา นรินทร์ อติวงศ์เสงทอง และ สุรศักดิ์ เนียมเจริญ

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถนนจตุรพักตรพิมาน แขวงลำปลาทิว เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

* E-mail: top.a.physics@gmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้มาเสนอถึงการสร้างชั้นนาโนพอร์ซิลิคอนด้วยวิธีการแอโนไดซ์เซชันของซิลิคอนเวเฟอร์ ในชุดกัดแบบเซลล์แท่งที่เดี่ยวแนวตั้ง โดยพิจารณาถึงผลกระทบของการเคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังของซิลิคอนเวเฟอร์ รวมถึงเวลาและความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า พบว่าการสร้างชั้นนาโนพอร์ซิลิคอนโดยเคลือบอลูมิเนียมที่ด้านหลังของซิลิคอนเวเฟอร์มีผลทำให้ได้ชั้นนาโนพอร์ซิลิคอนที่มีความสม่ำเสมอมากขึ้น ส่วนเวลาในการแอโนไดซ์เซชันที่มากขึ้นจะส่งผลให้ได้เปอร์เซ็นต์ความพรุนมากขึ้น และลดความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่มากขึ้นก็ส่งผลให้ได้เปอร์เซ็นต์ความพรุนมากขึ้นด้วยเช่นกัน

คำสำคัญ: นาโนพอร์ซิลิคอน, เปอร์เซ็นต์ความพรุน, แอโนไดซ์เซชัน

Abstract

This research paper is propose of the nanoporous silicon layer formed by Anodization method of silicon wafer in etching tool single vertical axis type. By considering in the effect of coating aluminum on back of silicon wafer, the effect of time, and current density for Anodization. The experiment results show when formed nanoporous silicon by coated aluminum on back of silicon wafer affect to nanoporous silicon layer that more uniform. The increase in time for Anodization method affect to more percentage of porosity, and the increase in current density that affect to more percentage of porosity too.

Keywords: nanoporous silicon, Percentage of Porosity, Anodization

1. บทนำ

นาโนพอร์ซิลิคอน คือเนื้อซิลิคอนที่มีลักษณะเป็นรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมากซึ่งเป็นที่ถูกค้นพบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1956 ในขณะที่ทำการทดลองการกัดทางไฟฟ้าเคมีของแผ่นซิลิคอนในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก โดย Uhlir [1] จนมาถึงปี ค.ศ. 1990 ได้มีการรายงานการค้นพบสมบัติการเรืองแสง (photoluminescence) ที่อุณหภูมิห้อง

ของนาโนพอร์ซิลิคอนเป็นครั้งแรกโดย Canham [2] ซึ่งการค้นพบคุณสมบัติการเรืองแสงของนาโนพอร์ซิลิคอนได้ทำให้เกิดแนวความคิดที่จะนำมาใช้เป็นวัสดุพื้นฐานในการสร้างเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์แสง นอกจากนี้ชั้นนาโนพอร์ซิลิคอนยังถูกใช้เป็นชั้นลดการสะท้อนแสงสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิคอน [3] หรือใช้เป็นตัวตรวจจับไอของสารอินทรีย์ [4] ตัวอย่างเช่นตรวจจับไอระเหยของแอลกอฮอล์ [5] การสร้างชั้นนาโนพอร์ซิลิคอนทำได้หลายวิธี แต่วิธีที่งานวิจัยนี้ได้ให้ความสนใจคือ วิธีสร้างชั้นนาโนพอร์ซิลิคอนจากปฏิกิริยาการกัดทางไฟฟ้าเคมีที่เรียกว่า แอโนไดซ์เซชันของแผ่นซิลิคอนในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก (hydrofluoric HF solution) ด้วยชุดกัดแบบเซลล์แท่งเดี่ยวแนวตั้ง เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถควบคุมการกัด ให้เกิดชั้นนาโนพอร์ซิลิคอนได้ดี และอุปกรณ์สามารถสร้างได้ง่ายและสะดวกต่อการใช้งานมากกว่าชุดกัดในลักษณะอื่นๆ

แต่การสร้างชั้นนาโนพอร์ซิลิคอนด้วยวิธีการแอโนไดซ์เซชันโดยใช้ชุดกัดแบบเซลล์แท่งเดี่ยวแนวตั้ง จะพบปัญหาในเรื่องการเกิดชั้นพอร์ซิลิคอนที่มีความไม่สม่ำเสมอทั้งกับพื้นที่ และหนึ่งในสาเหตุหนึ่งก็คือการไหลของกระแสผ่านแผ่นซิลิคอนนั้นมีความไม่สม่ำเสมอกันทั่วแผ่น เนื่องจากชุดกัดแบบเซลล์แท่งเดี่ยวแนวตั้งจะมีโครงสร้างที่แผ่นซิลิคอนไว้ทำให้บริเวณที่ถูกกัดโดยไอจริง จะมีการเนบสนิมกันระหว่างแผ่นซิลิคอนและขั้วโลหะด้านล่างมากกว่าบริเวณอื่น ทำให้มีการไหลของกระแสไฟฟ้าที่บริเวณนั้นมากกว่าบริเวณอื่นๆ ดังนั้นเพื่อแก้ปัญหาที่นี้จึงได้มีแนวคิดในการเคลือบชั้นโลหะไว้ที่ผิวด้านหลังของแผ่นซิลิคอน เพื่อเพิ่มความนำไฟฟ้าช่วยให้มีการไหลของกระแสไฟฟ้าระหว่างแผ่นซิลิคอนกับขั้วโลหะด้านล่างได้ดีขึ้น มีความสม่ำเสมอมากขึ้น โดยโลหะที่เร็วสลับนำมาเคลือบชั้นโลหะที่เคลือบอลูมิเนียม ซึ่งเป็นวัสดุที่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายในการสร้างชั้นโลหะ

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอ การศึกษาความสัมพันธ์ของชั้นนาโนพอร์ซิลิคอนที่สร้างขึ้นจากแผ่นซิลิคอนที่มีเคลือบชั้นอลูมิเนียมเปรียบเทียบกับแผ่นซิลิคอนที่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลัง รวมถึงตัวแปรอัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอล เวลา และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าด้วย

EL002

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การทดลอง

2.1 การสร้างชั้นออกซิเดียมที่ด้านหลังของซิลิคอนเวเฟอร์

การสร้างชั้นออกซิเดียมที่ด้านหลังของซิลิคอนเวเฟอร์ในการทดลองนี้จะใช้เครื่องสเปคโตรริง ดังรูปที่ 1 (ก) ในการเคลือบออกซิเดียม จากนั้นทำการอินเตอร์ริงด้วยความร้อนที่อุณหภูมิ 500 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที จะทำให้ได้ชั้นออกซิเดียมที่ด้านหลังของแผ่นซิลิคอน ดังแสดงในรูปที่ 1 (ข) ซึ่งพร้อมสำหรับขั้นตอนในการสร้างชั้นนาโนพอร์ซิลิคอนต่อไป



(ก)



(ข)

รูปที่ 1 (ก) เครื่องสเปคโตรริงที่ใช้ในการเคลือบออกซิเดียม (ข) แผ่นซิลิคอนที่ผ่านการเคลือบชั้นออกซิเดียมด้วยวิธีการสเปคโตรริง

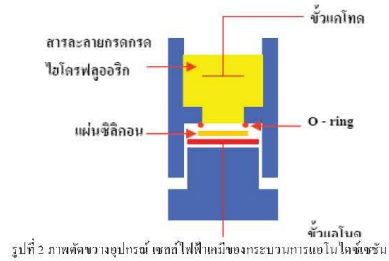
2.2 การสร้างชั้นนาโนพอร์ซิลิคอน

การสร้างชั้นนาโนพอร์ซิลิคอนโดยวิธีการแอโนไดซ์เซชันในการทดลองนี้ใช้อุปกรณ์เซลล์ไฟฟ้าเคมีในรูปที่ 2 [6] โดยมีวิธีดังนี้

- การเตรียมแผ่นซิลิคอนเบื้องต้น
- แผ่นซิลิคอนชนิดพี หนา 100) ค่าที่วัดความต้านทาน 1-2 โอห์ม-เซนติเมตร ความหนา 450 ไมโครเมตร ขนาด 1.3 x 1.3 ตารางเซนติเมตร ที่ผ่านการเคลือบออกซิเดียมด้านหลังและไม่เคลือบ
- การทำความสะอาดผิวหน้าแผ่นซิลิคอนเบื้องต้น
- การสร้างชั้นนาโนพอร์ซิลิคอน

นำแผ่นซิลิคอนที่ผ่านกระบวนการต่างๆ ข้างต้นไปวางบริเวณด้านล่างของเซลล์ไฟฟ้าเคมี เทสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก ลงในเซลล์ไฟฟ้าเคมี ขั้วแอโนดจะจมอยู่ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก และให้กระแสไฟฟ้ากับขั้วแคโทด ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมีขึ้น

- การทำความสะอาดแผ่นผลึกครั้งสุดท้าย



รูปที่ 2 ภาพตัดขวางของอุปกรณ์ เซลล์ไฟฟ้าเคมีของระบบการแอโนไดซ์เซชัน

2.3 การทดสอบคุณสมบัติของชั้นพอร์ซิลิคอนที่สร้างขึ้น

-ทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการสร้างชั้นนาโนพอร์ซิลิคอนโดยวิธีแอโนไดซ์เซชันด้วยแผ่นซิลิคอนที่เคลือบออกซิเดียมด้านหลังเปรียบเทียบกับแผ่นซิลิคอนที่ไม่ได้เคลือบออกซิเดียมด้านหลัง

-ทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการสร้างชั้นนาโนพอร์ซิลิคอนด้วยวิธีการแอโนไดซ์เซชันด้วยเวลาที่ต่างกันออกไป

-ทำการเปรียบเทียบผลที่ได้จากการสร้างชั้นนาโนพอร์ซิลิคอนด้วยวิธีการแอโนไดซ์เซชันด้วยความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ต่างกันออกไป

3. ผลการทดลอง

3.1 ผลการทดลองด้วยแผ่นซิลิคอนที่เคลือบออกซิเดียมที่ด้านหลังและไม่เคลือบออกซิเดียมที่ด้านหลัง

แผ่นซิลิคอนที่ไม่ได้เคลือบออกซิเดียมด้านหลัง การสร้างชั้นนาโนพอร์ซิลิคอนด้วยวิธีแอโนไดซ์เซชันโดยใช้ความหนาแน่นกระแส 10 mA/cm² ใช้เวลา 10 นาที อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอล 4:1 โคปริมาตรซึ่งเป็นอัตราส่วนที่เหมาะสม ล้างแผ่นซิลิคอนที่ไม่เคลือบออกซิเดียมด้านหลังพบว่าการกักนาโนพอร์ซิลิคอนนั้นจะเกิดขึ้นที่บริเวณของแผ่นซิลิคอนมากกว่าที่บริเวณตรงกลางของแผ่นซิลิคอน ซึ่งเกิดได้จากในรูปที่ 3 คือรูปของแผ่นซิลิคอนหลังจากทำการกัดด้วยวิธีแอโนไดซ์เซชันแล้วนำไปทำการทดสอบการเรืองแสงด้วยการฉายแสงจากหลอด black light (ความยาวคลื่น 365 นาโนเมตร) เพื่อดูการเรืองแสงของชั้นนาโนพอร์ซิลิคอน



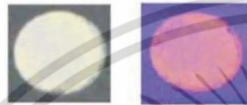
รูปที่ 3 (ก) แผ่นซิลิคอน (ข) การเรืองแสงของนาโนพอร์ซิลิคอนที่สร้างโดยแผ่นซิลิคอนที่ไม่ได้เคลือบออกซิเดียมที่ด้านหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พบว่ามีการเรืองแสงของนาโนพอร์ซิลิกอนที่บริเวณขอบของแผ่นมากกว่าที่บริเวณตรงกลางแผ่นซึ่งอาจมีสาเหตุมาจากที่บริเวณขอบของแผ่นซิลิกอนได้รับแรงกดจากอิฐของชุดกัด ทำให้แผ่นซิลิกอนที่บริเวณขอบมีการแนบสนิทกับขั้วแอโนดได้มากกว่าบริเวณอื่น จึงทำให้มีการไหลของกระแสที่มากกว่า และเกิดปฏิกิริยาการกัดนาโนพอร์ซิลิกอนมากกว่าที่บริเวณอื่นด้วย

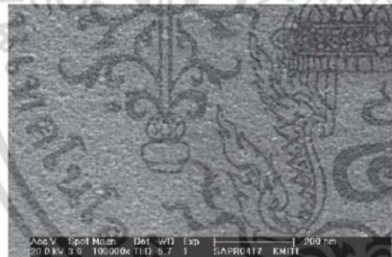
-แผ่นซิลิกอนที่เคลือบด้วยออกซิเดียมที่ด้านหลัง

การสร้างชั้นนาโนพอร์ซิลิกอนด้วยวิธีการเอโนไลซ์ชั้นโดยใช้ความหนาแน่นกระแส 10 mA/cm² ใช้เวลา 10 นาที อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอล 4:1 โดยปริมาตร ด้วยแผ่นซิลิกอนที่ผ่านการเคลือบออกซิเดียมที่ด้านหลังมาแล้ว ได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 (ก) ที่ผิวและ (ข) การเรืองแสงของนาโนพอร์ซิลิกอนที่สร้างโดยแผ่นซิลิกอนที่ผ่านการเคลือบออกซิเดียมที่ด้านหลัง

พบว่านาโนพอร์ซิลิกอนที่กัดด้วยวิธีเอโนไลซ์ชั้นด้วยแผ่นซิลิกอนที่ผ่านการเคลือบออกซิเดียมที่ด้านหลัง มีการเกิดนาโนพอร์ซิลิกอนอย่างสม่ำเสมอทั่วบริเวณมากกว่าการกัดโดยใช้แผ่นซิลิกอนที่ไม่ได้ทำการเคลือบออกซิเดียมที่ด้านหลัง สังเกตได้จากกร่องแสงของนาโนพอร์ซิลิกอนเมื่อได้รับการฉายแสงด้วยหลอด black light จะมีการเรืองแสงทั่วบริเวณของแผ่นซิลิกอน ดังนั้นจึงได้นำชิ้นงานไปทำการ SEM เพื่อศึกษาสภาพพื้นผิวของชั้นนาโนพอร์ซิลิกอนที่สร้างขึ้น ดังกล่าว ได้ผลแสดงดังรูปที่ 5 สามารถสังเกตเห็นได้ว่าผิวหน้าของชั้นนาโนพอร์ซิลิกอนนั้นมีลักษณะเป็นรูพรุน



รูปที่ 5 ภาพ SEM พื้นผิวของชั้นนาโนพอร์ซิลิกอนที่ทำการเคลือบออกซิเดียมที่ด้านหลังของแผ่นซิลิกอนก่อนกระบวนการกัด

3.2 ผลการทดลองการสร้างที่เวลาต่างๆกัน

เนื่องจากนาโนพอร์ซิลิกอนที่เราระงับไปใช้งานนั้นต้องการค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของนาโนพอร์ซิลิกอนที่เหมาะสมกับงานแต่ละ

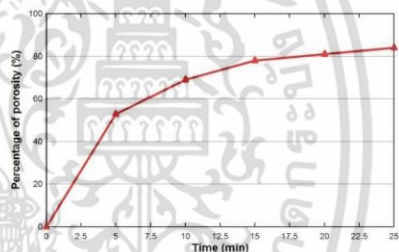
ชนิด จึงได้ทำการหาเวลาในการสร้างว่ามีความสอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์ความพรุนอย่างไร โดยกำหนดให้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 โดยปริมาตร ความหนาแน่นกระแส 10 mA/cm² และทำการทดลองใช้เวลาดังๆกันคือ 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 20 นาที และ 25 นาที ตามลำดับ

จากนั้นนำไปทำการทดลองหาค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นนาโนพอร์ซิลิกอน โดยการวัดค่าความพรุนของชั้นนาโนพอร์ซิลิกอนนั้น ใช้หลักการเปลี่ยนน้ำหนักของวัสดุก่อนและหลังการเกิดรูพรุน โดยค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของวัสดุใดๆ สามารถหาได้ดังนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ความพรุน} = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 - m_3)} \times 100 \quad (1)$$

โดยที่ m₁ คือ น้ำหนักของวัสดุเริ่มต้นก่อนการเกิดรูพรุน
 m₂ คือ น้ำหนักของวัสดุหลังการเกิดรูพรุน
 m₃ คือ น้ำหนักของวัสดุที่เหลือหลังจากการลอกชั้นความพรุนออก

จากการหาค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นนาโนพอร์ซิลิกอนด้วยการใช้หลักการเปลี่ยนน้ำหนักของวัสดุก่อนและหลังการเกิดรูพรุนดังที่กล่าวมาทำให้ได้ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นนาโนพอร์ซิลิกอนกับเวลาในการเอโนไลซ์ชั้น ได้ผลการทดลองดังรูปที่ 6



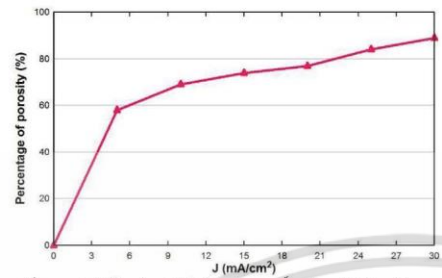
รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นนาโนพอร์ซิลิกอนกับเวลาในการเอโนไลซ์ชั้น

พบว่าเมื่อทำการเพิ่มเวลาในการสร้างชั้นนาโนพอร์ซิลิกอนด้วยวิธีการเอโนไลซ์ชั้นจะมีผลทำให้ชั้นนาโนพอร์ซิลิกอนมีเปอร์เซ็นต์ความพรุนเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยมีความสัมพันธ์ดังรูปที่ 6

3.3 ผลการทดลองที่ปริมาณความหนาแน่นกระแสต่างๆกัน

จากการทดลองข้างต้น พบว่าเวลาในการเอโนไลซ์ชั้นมีผลต่อเปอร์เซ็นต์ความพรุนของนาโนพอร์ซิลิกอนแล้ว ดังนั้นในการทดลองนี้ จึงได้ทำการหาความหนาแน่นของกระแสว่ามีความสอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์ความพรุนของนาโนพอร์ซิลิกอนอย่างไรบ้าง โดยทำการ

ทดลองที่ปริมาณความหนาแน่นกระแสต่างๆกันคือ 5 mA/cm², 10 mA/cm², 15 mA/cm², 20 mA/cm², 25 mA/cm² และ 30 mA/cm² ได้ผลการทดลองแสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นนาโนพอร์ซิลิคอนกับความหนาแน่นกระแสในการเอโนไลซ์เซชัน

เมื่อทำการเพิ่มความหนาแน่นกระแสในการสร้างชั้นนาโนพอร์ซิลิคอนด้วยวิธีการเอโนไลซ์เซชันจะส่งผลทำให้ชั้นนาโนพอร์ซิลิคอนนั้นมีเปอร์เซ็นต์ความพรุนเพิ่มขึ้นตามไปด้วย โดยมีความสัมพันธ์แสดงดังรูปที่ 7

4. สรุปผลการทดลอง

ชั้นพอร์ซิลิคอนที่สร้างด้วยวิธีเอโนไลซ์เซชันด้วยแผ่นซิลิคอนที่ทำการเคลือบชั้นออกไซด์เหนืงที่ด้านหลังจะมีความสม่ำเสมอของผิวหน้ามากกว่าแผ่นซิลิคอนที่ไม่ได้ทำการเคลือบชั้นออกไซด์ที่ด้านหลัง เนื่องจากการเคลือบชั้นออกไซด์เหนืงที่ด้านหลังของแผ่นซิลิคอน จะช่วยให้การกระจายตัวของกระแสไฟฟ้าขณะทำการเอโนไลซ์เซชันในแผ่นซิลิคอนนั้นมีความสม่ำเสมอทั่วบริเวณ จึงทำให้เกิดปฏิกิริยาเอโนไลซ์เซชันได้สม่ำเสมอทั่วบริเวณมากกว่าแผ่นซิลิคอนที่ไม่ได้ทำการเคลือบชั้นออกไซด์ที่ด้านหลังซึ่งจะมีการเกิดปฏิกิริยาเอโนไลซ์เซชันที่บริเวณขอบของแผ่นซิลิคอนมากกว่าที่บริเวณอื่นๆ

เวลาและความหนาแน่นกระแสในการเอโนไลซ์เซชันเพื่อสร้างพอร์ซิลิคอนนั้น เมื่อมีค่าสูงเกินไปจะทำให้ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของพอร์ซิลิคอนสูงเกินไปด้วย ซึ่งอุปกรณบางชนิด เช่น ตัวตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์ต่างๆต้องการค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของพอร์ซิลิคอนที่สูงๆ เพื่อทำการดูดซับไอระเหยของสารอินทรีย์เหล่านั้น แต่ด้านหากมีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของพอร์ซิลิคอนที่สูงเกินไปก็จะทำให้โครงสร้างของพอร์ซิลิคอนนั้นมีความไม่เสถียร ประาะบางแตกหักง่าย ดังนั้นจากผลการทดลองข้างต้นจะทำให้สามารถนำค่าเวลาและค่าความหนาแน่นกระแสที่สอดคล้องกับเปอร์เซ็นต์ความพรุนที่เหมาะสมกับงานแต่ละชนิดไปประยุกต์ใช้กับอุปกรณ์ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ชนิดต่างๆต่อไป

เอกสารอ้างอิง

[1] A. Uhlir, "Electrochemical Etching of Porous Silicon in HF Acid," Tech. J., vol. 35, pp. 333,1956
 [2] L. T. Canham, Appl. Phys. Lett. (USA), vol. 57, pp. 1096, 1990
 [3] สมเกียรติ สุภเดช ตรีวิศ มุ่งการนา มนต์ชัย ไชยนอก มโน มีร์ภย์ และ สุรศักดิ์ เนียมเจริญ, "การสร้างชั้นพอร์ซิลิคอนโดยการกัดออกไซด์เพื่อเป็นชั้นลดการสะท้อนแสงสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์แบบซิลิคอน," การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 27, vol. 2, หน้า 237-240, 2547
 [4] K. Watanabe, T. Okada, I. Choe, Y. Sato, "Organic vapor sensitivity in a porous silicon device," Sensor and Actuators, pp. 194-197, 1996
 [5] พัฒนพงษ์ พรหมเกตุ นรินทร์ อติวงศ์แสงทอง และ สุรศักดิ์ เนียมเจริญ, "ตัวตรวจจับไอระเหยของแอลกอฮอล์ที่สร้างขึ้นจากชั้นนาโนพอร์ซิลิคอนด้วยวิธีการเอโนไลซ์เซชัน," การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 6, vol. 2, หน้า 601-604, 2557
 [6] นรินทร์ อติวงศ์แสงทอง, "การศึกษากลุ่มสมบัติคุณสมบัติของชั้นพอร์ซิลิคอน," วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ศกส., หน้า 56, 2542



พัฒนพงษ์ พรหมเกตุ
ปริญญาตรี วท.บ. สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ ศกส.
ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมไมโครอิเล็กทรอนิกส์ ศกส.



พรธนา บุระเดา
ปริญญาตรี วท.บ. สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ ศกส.
ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมไมโครอิเล็กทรอนิกส์ ศกส.



นรินทร์ อติวงศ์แสงทอง
ปริญญาตรี วท.บ. สาขาวัสดุศาสตร์ มข.
ปริญญาโทและเอก สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ศกส.



สุรศักดิ์ เนียมเจริญ
ปริญญาตรี วท.บ. สาขาฟิสิกส์ มข.
ปริญญาโทและเอก สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ศกส.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล **ครั้งที่ ๖**

6th Electrical Engineering Network 2014
of Rajamangala University of Technology Conference

นวัตกรรมวิจัยแห่งเทคโนโลยี ตอบสนองเออีซีด้านโครงข่ายพลังงาน
Technology Research Innovation for Responding
to the Energy Network of AEC

Volume II

- อิเล็กทรอนิกส์ (EL)
- ไฟฟ้าสื่อสาร (CM)
- คอมพิวเตอร์และเทคโนโลยีสารสนเทศ (CP)
- ระบบควบคุมและการวัด (CT)
- การประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DS)
- งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมไฟฟ้า (GN)



๒๖ - ๒๘ มีนาคม พ.ศ. ๒๕๕๗

ณ มาร์ทิมส์ ปาร์คแอนสปาร์ตัสอร์ท จังหวัดกระบี่



ดำเนินการโดย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 6

Proceedings of the 6th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2014 (EENET 2014)

ตัวตรวจจับไอระเหยของแอลกอฮอล์ที่สร้างขึ้นจากชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการแอนโนไดซ์เซชัน
The Formation Alcohol Vapor Sensor from Nanoporous Silicon Layer by Anodization Method

พัฒนพงษ์ พรหมเกตุ นรินทร์ อติวงศ์แสงทอง และ สุรศักดิ์ เนียมเจริญ

สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถนนฉลองกรุง แขวงลำปลาทิว เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 E-mail: kanarin@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

ในบทความวิจัยนี้จะกล่าวถึงกระบวนการสร้างและลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนในอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ ที่มีจุดเด่นอยู่ที่ สามารถสร้างได้ง่าย สร้างบนเนื้อซิลิคอน ใช้ต้นทุนการผลิตที่ต่ำ และสามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิห้อง ซึ่งมีโครงสร้างประกอบไปด้วยชั้นพอร์สซิลิคอนกับขั้วอลูมิเนียม 2 ขั้ว โดยทำการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการแอนโนไดซ์เซชันบนแผ่นซิลิคอนชนิดพี และทำการสร้างขั้วอลูมิเนียมบนชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า 500 ไมโครเมตร ซึ่งชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนจะทำหน้าที่เป็นตัวตรวจจับไอแอลกอฮอล์ พบว่าชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนที่ใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 โดยปริมาตร เวลา 2 นาที และความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm² เหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ จากนั้นจึงทำการศึกษาลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าเพื่อการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน พบว่าชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนสามารถตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ต่างๆ กัน ได้ ซึ่งเหมาะที่จะนำมาพัฒนาสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ชนิดต่างๆ ต่อไป

คำสำคัญ: นาโนพอร์สซิลิคอน, การแอนโนไดซ์เซชัน, สมบัติการเรียงแสง

Abstract

The purpose of this paper is to present the fabrication process and electrical characteristics of nanoporous silicon sensor in alcohol vapor. The advantage of this device are simple process compatible in silicon technology and usable in room temperature. The device consists of nanoporous silicon layer which is deposited by aluminum film with 500 μm electrode gap. Nanoporous silicon is used as the alcohol vapor sensing element. In this study, the result showed that when using hydrofluoric solution and ethanol 4:1 by volume with current 10 mA/cm² in 2 minutes, the nanoporous silicon can detect alcohol vapor efficiently. Studying on electrical characteristics of nanoporous silicon, it was found that the nanoporous silicon layer can

detect the different percent alcohol vapor concentrations Therefore, the nanoporous silicon in alcohol vapor sensor is important to develop other applications in the future.

Keywords: nanoporous silicon, anodization, alcohol vapor sensor

1. บทนำ

การตรวจสอบความชื้นในสภาพแวดล้อมมีความสำคัญมากในอุตสาหกรรม, วิทยาศาสตร์ และ ในด้านอื่นๆ [1] แม้ว่า การใช้ตัวตรวจจับความชื้นถูกใช้ได้ในหลายพื้นที่ แต่ความต้องการในเรื่องความไวที่สูงขึ้นและเวลาในการตอบสนองที่น้อยลงยังเป็นเรื่องที่ต้องพัฒนาต่อไป

นาโนพอร์สซิลิคอน ได้ถูกค้นพบว่าเป็นวัสดุที่มีศักยภาพในการตรวจจับก๊าซ, ไอระเหยและความชื้น มันจึงถูกนำมาใช้เป็นวัสดุหลักในการตรวจวัดไอระเหยของสารอินทรีย์ต่างๆตามการเปลี่ยนแปลงของคุณสมบัติทางไฟฟ้าของมัน เช่น ความต้านทานและความจุไฟฟ้า [2-4]

ข้อได้เปรียบของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนสำหรับการประยุกต์ใช้งานในการตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์ต่างๆอยู่ที่บริเวณพื้นผิวที่มีขนาดใหญ่ อีกทั้งกระบวนการสร้างโครงสร้างของชั้นนาโนพอร์สยังสามารถเข้ากันได้กับกระบวนการทางไมโครอิเล็กทรอนิกส์ของซิลิคอนที่มีอยู่ได้ และเมื่อไม่นานมานี้ นักวิจัยยังพบว่า การรวมตัวกันของ nanosized architectures เช่น โลหะ ออกไซด์ และพอลิเมอร์ [5-7] เข้ากับชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนทำให้สามารถเพิ่มคุณสมบัติในการตรวจจับและส่งผลให้ความไว การเลือกที่เข้มข้น และลดเวลาในการตอบสนองของตัวตรวจจับนาโนพอร์สซิลิคอน

2. การทดลอง

2.1 การสร้างชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน

ในการทดลองนี้ แผ่นผลึกซิลิคอนชนิดพีระนาบ (100) ที่มีค่าสภาพต้านทาน 10 โอห์ม เซนติเมตร ถูกนำมาใช้สำหรับสร้างชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน โดยมีสารละลายอิเล็กโทรไลต์ประกอบด้วย สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก และเอทานอล ที่มีอัตราส่วนการผสมตามปริมาตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

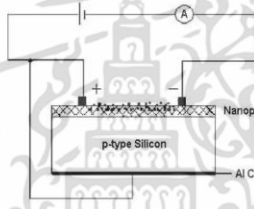
บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 6

Proceedings of the 6th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2014 (EENET 2014)

เท่ากับ 4:1 โดยทานออกจะถูกผสมเข้าไปเพื่อลดแรงดึงผิวของสารละลายไฮโดรฟลูออริก ทำให้เพิ่มความสามารถในการสัมผัสกับพื้นผิวของนาโนพอร์ซิลิคอนและกำจัดฟองอากาศจากบริเวณพื้นผิวที่เกิดปฏิกิริยา ชั้นนาโนพอร์ซิลิคอนจะถูกสร้างขึ้นทั่วบริเวณพื้นผิวของเวเฟอร์ที่สัมผัสกับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก โดยมีกระบวนการหมั่นกระแสไฟฟ้าที่เท่ากับ 10 mA/cm² เป็นเวลา 2 นาที

พื้นผิวของชั้นนาโนพอร์ซิลิคอนที่ปลูกได้ใหม่ จะถูกปกคลุมด้วยพันธะ Si-H และมีความไม่เสถียรในบรรยากาศ ดังนั้นการรักษาสภาพของชั้นนาโนพอร์ซิลิคอนจึงเป็นสิ่งจำเป็น ในการศึกษานี้ชั้นนาโนพอร์ซิลิคอนจะถูกแช่ไว้ในสารละลาย H₂O₂ เป็นเวลาอย่างน้อย 30 นาที เพื่อแทนที่พันธะที่ไม่เสถียรของ Si-H โดยพันธะที่เสถียรของ Si-O หลังจากที่ได้ทำการสร้างชั้นนาโนพอร์ซิลิคอนเรียบร้อยแล้ว เวเฟอร์จะถูกตัดออกเป็นชิ้นๆ แล้วทำการติดตั้งไปบน DIP package ด้วยกาวเงิน โดยมีการสร้างขั้วไฟฟ้าที่มีระยะห่างเท่ากับ 500 ไมครอน บนชั้นนาโนพอร์ซิลิคอน และมีการเชื่อมต่อสายทองแดง (เส้นผ่านศูนย์กลาง 0.2 มิลลิเมตร) ด้วยกาวเงิน เพื่อลดการรั่วไหลของกระแส พื้นผิวด้านหลังจะถูกเชื่อมต่อกับแรงดันบวก ดังแสดงในรูปที่ 1.

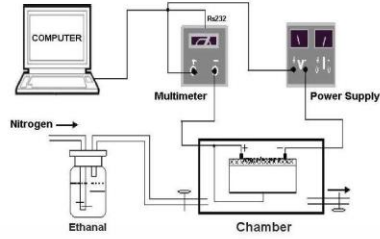


รูปที่ 1 แผนภาพตัดขวางของอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยแอลกอฮอล์และการต่อขั้วทางไฟฟ้า

2.2 การทดสอบคุณสมบัติทางไฟฟ้าในการตรวจวัดไอระเหยของแอลกอฮอล์ของชั้นนาโนพอร์ซิลิคอนที่สร้างขึ้น

ภาพแผนผังแสดงการติดตั้งอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของแอลกอฮอล์ ดังแสดงในรูปที่ 2. โดยการควบคุมปริมาณไอระเหยแอลกอฮอล์ด้วยก๊าซไนโตรเจน แอมเบอร์ที่ใช้ทดสอบมีระบบปิดและสามารถควบคุมความชื้น อุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของแอลกอฮอล์จะถูกนำไปวางไว้ในแอมเบอร์และการทดสอบทั้งหมดจะดำเนินการที่อุณหภูมิห้อง

พารามิเตอร์ในการวัด (I) ถูกแสดงโดยมัลติมิเตอร์ จากนั้นข้อมูลจะถูกบันทึกลงในคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (PC) ด้วยซอฟต์แวร์โปรแกรมอินเทอร์เฟซผ่าน RS232C.

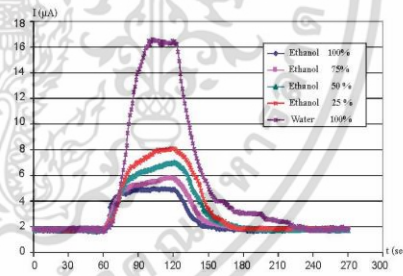


รูปที่ 2 แผนภาพการติดตั้งอุปกรณ์ต่างๆ ที่ใช้สำหรับตรวจวัดไอระเหยของแอลกอฮอล์

3. ผลการทดลอง

3.1 ผลการทดลองการตรวจวัดไอระเหยของแอลกอฮอล์ของชั้นนาโนพอร์ซิลิคอนที่เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ต่างๆ

การทดลองนี้จะศึกษาถึงผลของเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ต่อการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นนาโนพอร์ซิลิคอนด้วยวิธีการแอมเบอร์ไนโตรเจนชั้นที่อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อทานออกเป็น 4:1 โดยปริมาตร เวลา 2 นาที ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm² วัดลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการเปิดก๊าซไนโตรเจน 60 วินาที แล้วปิดก๊าซไนโตรเจนผสมกับไอเอทานอลและไอน้ำ 60 วินาที และเปิดก๊าซไนโตรเจน 150 วินาที ที่อุณหภูมิห้อง อัตราการไหล 1 l/min แรงดันไฟฟ้า 20 โวลต์ โดยใช้ทานออกบริสุทธิ์ผสมกับน้ำ DI ได้เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์เป็น 100%, 75%, 50%, 25% และเปอร์เซ็นต์น้ำ 100% ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 3.



รูปที่ 3 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ต่างๆ กัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 6

Proceedings of the 6th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2014 (EENET 2014)

จากรูปที่ 3 พบว่า เมื่อทำการตรวจจ่ายไอแอลกอฮอล์ที่เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ต่างๆ กัน จะได้ผลการทดลองดังนี้

- เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ 100% ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงมีค่าประมาณ 3.1 μA เมื่อมีการตรวจจ่ายไอแอลกอฮอล์กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จะใช้เวลาในการอ้อมตัวประมาณ 30 วินาที และเมื่อมีการปิดไอแอลกอฮอล์กระแสไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ ใช้เวลาในการกลับมายจุดเริ่มต้นเดิมประมาณ 40 วินาที

- เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ 75% ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงมีค่าประมาณ 4 μA เมื่อมีการตรวจจ่ายไอแอลกอฮอล์กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จะใช้เวลาในการอ้อมตัวมากกว่า 60 วินาที และเมื่อมีการปิดไอแอลกอฮอล์กระแสไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ ใช้เวลาในการกลับมายจุดเริ่มต้นเดิมประมาณ 50 วินาที

- เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ 50% ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงมีค่าประมาณ 5.7 μA เมื่อมีการตรวจจ่ายไอแอลกอฮอล์กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จะใช้เวลาในการอ้อมตัวมากกว่า 60 วินาที และเมื่อมีการปิดไอแอลกอฮอล์กระแสไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ ใช้เวลาในการกลับมายจุดเริ่มต้นเดิมประมาณ 55 วินาที

- เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ 25% ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงมีค่าประมาณ 6.2 μA เมื่อมีการตรวจจ่ายไอแอลกอฮอล์กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จะใช้เวลาในการอ้อมตัวมากกว่า 60 วินาที และเมื่อมีการปิดไอแอลกอฮอล์กระแสไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ ใช้เวลาในการกลับมายจุดเริ่มต้นเดิมประมาณ 60 วินาที

- เปอร์เซ็นต์น้ำ 100% ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงมีค่าประมาณ 14.3 μA เมื่อมีการตรวจจ่ายไอแอลกอฮอล์กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จะใช้เวลาในการอ้อมตัวประมาณ 45 วินาที และเมื่อมีการปิดไอแอลกอฮอล์กระแสไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ ใช้เวลาในการกลับมายจุดเริ่มต้นเดิมประมาณ 110 วินาที

จะเห็นว่าปริมาณนาโพรซซิลิคอนสามารถตรวจจ่ายได้ทั้งไอแอลกอฮอล์และไอน้ำ ซึ่งระดับกระแสไฟฟ้าในการอ้อมตัวของไอน้ำ 100% จะมีค่าประมาณ 4.6 เท่าของระดับกระแสไฟฟ้าในการอ้อมตัวของไอแอลกอฮอล์ 100% ส่วนเวลาในการอ้อมตัวและเวลาในการกลับมายจุดเดิมของไอแอลกอฮอล์ 100% จะเร็วกว่าของไอน้ำ 100% เมื่อทำการตรวจจ่ายที่เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ 75%, 50% และ 25% ตามลำดับ ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงก็มีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับด้วย แต่จะมีค่าไม่มากเกินกว่าระดับกระแสไฟฟ้าในการอ้อมตัวของไอน้ำ 100% โดยที่เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ 75%, 50% และ 25% จะใช้เวลาในการอ้อมตัวของปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นมากกว่า 60 วินาที และเวลาในการกลับมายจุดเริ่มต้นเดิมก็จะใช้เวลาเพิ่มขึ้นตามลำดับ ดังนั้นอุปกรณ์ตรวจจ่ายไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นนาโพรซซิลิคอนสามารถตรวจจ่ายไอแอลกอฮอล์ที่เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ต่างๆ กันได้

3.2 ผลการทดลองการศึกษาความไวในการตรวจจ่ายไอระเหยของแอลกอฮอล์ของชั้นนาโพรซซิลิคอนที่เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ต่างๆ

เมื่อทำการศึกษาถึงความไวในการตรวจจ่ายไอแอลกอฮอล์ที่เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ต่างๆ กันนั้น จะพิจารณาค่าความไวในการตรวจจ่ายไอแอลกอฮอล์โดยใช้สมการที่ 1.

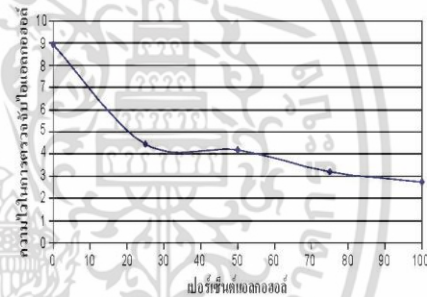
$$S = I_E / I_N \quad (1)$$

โดยที่ S คือ ความไวในการตรวจจ่ายไอแอลกอฮอล์

I_E คือ ปริมาณกระแสไฟฟ้าขณะทำการตรวจจ่ายแอลกอฮอล์

I_N คือ ปริมาณกระแสไฟฟ้าก่อนทำการตรวจจ่ายแอลกอฮอล์

จากสมการที่ 1. จะได้ ความไวในการตรวจจ่ายไอแอลกอฮอล์ที่เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ผสมกับน้ำเป็น 100%, 75%, 50%, 25% และน้ำ 100% ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.



รูปที่ 4 ความไวในการตรวจจ่ายไอแอลกอฮอล์ที่เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ต่างๆ กัน

จากรูปที่ 4 พบว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์มีค่าเพิ่มขึ้น ความไวในการตรวจจ่ายไอแอลกอฮอล์จะมีค่าลดลง เนื่องจากอุปกรณ์ตรวจจ่ายไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นนาโพรซซิลิคอนสามารถตรวจจ่ายไอน้ำได้ และการตรวจจ่ายไอน้ำมีค่าปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นสูงกว่าการตรวจจ่ายไอแอลกอฮอล์ เมื่อเปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์มีค่าเพิ่มขึ้นทำให้น้ำที่ผสมอยู่ด้วยมีปริมาณลดลง ส่งผลทำให้ค่าความไวในการตรวจจ่ายแอลกอฮอล์จึงมีค่าลดลงด้วย

26-28 มีนาคม 2557 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีสุทรี จัหวัดศรีสะเกษ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทความวิจัย

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้ามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ครั้งที่ 6

Proceedings of the 6th Conference of Electrical Engineering Network of Rajamangala University of Technology 2014 (EENET 2014)

4 สรุปผลการทดลอง

อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นนาโนพอร์ซิลิคอนที่สร้างด้วยวิธีการเอโนโคไซเซชัน อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 โดยปริมาตร เวลา 2 นาที ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm² เพื่อทำการศึกษาดังลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ พร้อมทั้งทำการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ผสมกับน้ำเป็น 100%, 75%, 50%, 25% และน้ำ 100% ตามลำดับ

จากการทดสอบลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นนาโนพอร์ซิลิคอน พบว่าอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นนาโนพอร์ซิลิคอนนี้ สามารถทำการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่เปอร์เซ็นต์แอลกอฮอล์ต่างๆ กันได้ โดยอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่ใช้ชั้นนาโนพอร์ซิลิคอนในงานวิจัยนี้เป็นโครงสร้างแบบง่ายๆ โดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงค่าความนำไฟฟ้าของชั้นนาโนพอร์ซิลิคอนเมื่อมีการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ แต่อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่ใช้ชั้นนาโนพอร์ซิลิคอนที่มีข้อเสียอยู่ที่ปฏิกิริยาไฟฟ้าอยู่บนชั้นนาโนพอร์ซิลิคอนส่งผลทำให้รอยสัมผัสระหว่างขั้วไฟฟ้ากับชั้นนาโนพอร์ซิลิคอนมีความต้านทานที่สูง ซึ่งมีผลกระทบต่อการปรับกระแสไฟฟ้าที่วัดได้เป็นอย่างมาก จึงควรสร้างขั้วไฟฟ้าอยู่บนเนื้อซิลิคอนเพื่อช่วยลดค่าความต้านทานที่รอยสัมผัสลง โดยใช้โครงสร้างที่มีชั้น Si₃N₄ เพิ่มเข้ามาจากโครงสร้างเดิม

เอกสารอ้างอิง

- [1] Z.M. Rittersma, "Recent achievements in miniaturised humidity sensors: a review of transduction techniques," *Sens. Actuators*, vol. A96, pp. 196-210, 2002.
- [2] S. Green, P. Kathirgamanathan, "Effect of oxygen on the surface conductance of porous silicon: towards room temperature sensor applications," *Materials Letters*, vol. 52, pp. 106-113, 2002.
- [3] Z.M. Rittersma, A. Splinter, A. Bodecker, W. Benecke, "A novel surface-micromachined capacitive porous silicon humidity sensor," *Sensors and Actuators B*, vol. 68, pp.210-217, 2000.
- [4] G. Di Francia, A. Castaldo, E. Massera, I. Nasti, L. Quercia, I. Rea, "A very sensitive porous silicon based humidity sensor," *Sensors and Actuators B*, vol. 111-112, pp. 135-139, 2005.
- [5] Sanjay Chakane, AnishaGokarna, S.V. Bhoraskar, "Metallophthalocyanine coated porous silicon gas sensor selective to NO₂," *Sensors and Actuators B*, vol. 92, pp. 1-5, 2003.

- [6] J. W. P. Bakker, H. Arwin, G. Wang, and K. Jfrrendahl, "Improvement of porous silicon based gas sensors by polymer modification," *phys. stat. sol.*, vol. 197, No. 2, pp. 378-381, 2003.
- [7] Alan Saghatelian, Jillian Buriak, Victor S.Y.Lin and M.RezaGhadiri, "Transition metal mediated surface modification of porous silicon," *Tetrahedron*, vol. 57, pp. S131-S136, 2001.



พัฒนพงษ์ พรหมเกตุ
ปริญญาตรี วท.บ. สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ สจล.
ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมไมโครอิเล็กทรอนิกส์ สจล.



นรินทร์ อธิวงค์แสงทอง
ปริญญาตรี วท.บ. สาขาวิศวกรรม มข.
ปริญญาโทและเอก สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สจล.
ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สจล.



สุรศักดิ์ เนียมเจริญ
ปริญญาตรี วท.บ. สาขาฟิสิกส์ มข.
ปริญญาโทและเอก สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สจล.
ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ สจล.

26-28 มีนาคม 2557 มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จังหวัดสระบุรี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้าครั้งที่ 37

The 37th Electrical Engineering Conference (EECON-37)

วันที่ 19-21 พฤศจิกายน 2557 ณ โรงแรมพูลแมน ขอนแก่น ราชา ออคิด

Vol.2

CM, EL, CT, CP, DS, PH, BE, GN



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์โดยใช้กระบวนการโซล-เจลเคลือบแบบสปิน A Study of ZnO Thin Films Properties by Sol – Gel Spin Coating Process

พรพนา บุระดา* นรินทร์ อติวงศ์แห่งทอง สุรศักดิ์ เข็มมเจริญ และพัฒนาพงษ์ พรหมเกตุ

สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ถนนจตุรลงกรุง แขวงลำปลาทิว เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520 E-mail: kamarin@kmitl.ac.th

บทคัดย่อ

ในบทความวิจัยได้กล่าวถึงการสร้างฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์โดยใช้กระบวนการโซล-เจล ด้วยเทคนิคการเคลือบแบบสปินบนฐานรองที่เป็นกระจกใช้ความเร็วรอบของการสปิน 3000, 4000 และ 5000 รอบต่อนาที นานเป็นเวลา 30 วินาที จากนั้นนำไปเผาในเตาที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมงและนำฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ที่ได้ไปตรวจสอบโครงสร้างผลึกโดยใช้รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ จากเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟร็กโตรมิเตอร์ (XRD) ได้ขนาดของเกรนมีค่าอยู่ระหว่าง 25-32 นาโนเมตร โดยขนาดของเกรนมีมากที่สุด อยู่ที่ความเร็วรอบของการสปิน 3000 รอบต่อนาที และจากการศึกษาลักษณะพื้นผิวของฟิล์มโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าที่ความเร็วรอบของการสปินที่ 3000 รอบต่อนาที ผิวหน้าของฟิล์มมีความหนาและความเรียบของฟิล์มดีที่สุด โดยมีความหนาของฟิล์มอยู่ที่ 185 นาโนเมตร สามารถสรุปได้ว่าคุณภาพของฟิล์มขึ้นอยู่กับความเร็วรอบในการหมุนของการเคลือบ

คำสำคัญ: ฟิล์มบาง, โซล-เจล, เทคนิคการเคลือบแบบสปิน

Abstract

In this research paper, the zinc oxide thin films prepared by the process sol - gel spin coating technique on a glass substrate at rotation speeds ranging from 3000 – 5000 rpm for 30 sec. Then, the sample was heated in a furnace at a temperature of 650 °C for 1 hr. The crystalline structure was analyzed by X-ray diffraction. The grain size of crystallites was found to be in the range of 25-32 nm and the grain size at most rotation rate of speed 3000 rpm. The surface morphology of ZnO thin films were studied by scanning electron microscopy. It is found that rotation speed at 3000 rpm has an average thickness of about 185 nm. As a result, a fast coating speed can reduce the average films thickness and improve the flatness of the ZnO film.

Keywords: Thin Films, Sol-Gel, Spin Coating Technique

1. บทนำ

ในปัจจุบันฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ได้รับความสนใจเป็นอย่างมาก เนื่องจากมีความหลากหลายของคุณสมบัติทางไฟฟ้าและคุณสมบัติทางแสงสามารถนำไปประยุกต์ใช้ทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ ไอแก้วนํ้าแสง และอุปกรณ์เทคโนโลยีสารสนเทศรวมทั้งหน้าจอแสดงผล เซลล์แสงอาทิตย์และเซนเซอร์ [1]

โดยทั่วไปเทคนิคที่นิยมใช้ในการปลูกฟิล์มบางของซิงค์ออกไซด์ประกอบด้วย สเปคเตอร์ริง (sputtering), เทคนิคปลูกฟิล์มอิตาซึ (molecular-beam epitaxy ; MBE), การเคลือบคิวโละเซพิดอ (metal-organic chemical vapor deposition; MOCVD), พัลส์เลเซอร์ (Pulsed laser deposition ; PLD), สเปรย์ไพโรไลซิส (Spray Pyrolysis) และการบวนการโซล-เจล (Sol – Gel Process)

กระบวนการโซล-เจลมีข้อได้เปรียบมากกว่ากระบวนการอื่นๆ เนื่องจากใช้อุณหภูมิในการตกผลึกต่ำ สามารถปรับเปลี่ยนโครงสร้างจุลภาคสำหรับกระบวนการโซล-เจลสามารถควบคุมองค์ประกอบได้และมีประสิทธิภาพในการเคลือบพื้นผิวที่มีขนาดใหญ่ สามารถปลูกได้ง่ายในห้องปฏิบัติการที่มีไว้สำหรับเคลือบฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ นอกจากนี้ประสิทธิภาพของเทคนิคการสร้างฟิล์มบางโซล-เจลซิงค์ออกไซด์เป็นที่น่าสนใจมากในวงการฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำออกไซด์

ในงานวิจัยนี้ ฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ถูกเตรียมขึ้น โดยกระบวนการโซล-เจลและเคลือบบนฐานรองที่เป็นกระจกโดยเทคนิคการเคลือบแบบสปิน มีความเร็วรอบของการสปินที่ใช้คือ 3000, 4000 และ 5000 รอบต่อนาที นานเป็นเวลา 30 วินาที จากนั้นนำไปเผาในเตาที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง หลังจากได้ฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ตามที่ต้องการแล้ว นำไปตรวจสอบโครงสร้างผลึกโดยใช้รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ จากเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟร็กโตรมิเตอร์ (XRD), ค่าขนาดหาขนาดของเกรนและหาค่าเฉลี่ยอนุภาคของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ที่คำนวณจากการวัดความสูงของจุดยอดใช้ข้อมูลจาก FWHM และตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของฟิล์มโดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM)

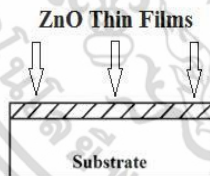
EL003

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

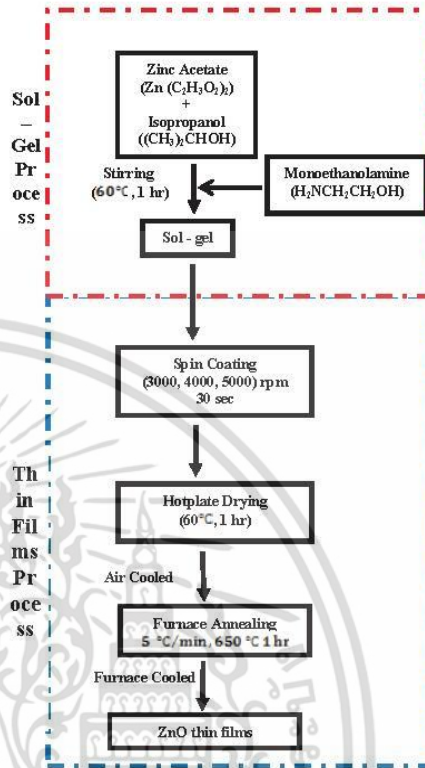
2. การทดลอง

ฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ถูกเตรียมบนฐานรองที่เป็นกระจกและก่อนที่จะนำกระจกสไลด์ไปใช้งานต้องนำไปทำความสะอาดในน้ำบริสุทธิ์โดยใช้เครื่องอัลตราโซนิก เป็นเวลา 5 นาที ต่อมากระจกสไลด์ไปทำความสะอาดอีกครั้งในไอโซโพรพานอลแอลกอฮอล์ โดยใช้เครื่องอัลตราโซนิกอีก เป็นเวลา 10 นาที ฟิล์มบางที่จะมีโครงสร้างภาพตัดขวาง ดังแสดงในรูปที่ 1 ฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์สร้างขึ้นโดยใช้กระบวนการโซล-เจลด้วยเทคนิคการเคลือบแบบสปิน ขั้นตอนและการเตรียมสารที่ใช้ในกระบวนการ โซล-เจล ดังแสดงในรูปที่ 2 ประกอบด้วย ซิงค์อะซิเตท ($Zn(C_2H_3O_2)_2$) ที่มีความบริสุทธิ์ทางเคมี 99.99 เปอร์เซ็นต์ผสมกับกับไอโซโพรพานอล ($(CH_3)_2CHOH$) ที่อุณหภูมิห้อง จากนั้นนำส่วนผสมทั้งสองไปกวนภายใต้อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ในขณะที่กวนส่วนผสมทั้งสองทำการเติมโมโนเอทานอลามีน ($H_2NCH_2CH_2OH$) [2] โดย โมโนเอทานอลามีน ที่เติมเข้าไปมีอัตราส่วนกับซิงค์อะซิเตทเป็น 1:1 และให้ความเข้มข้นของซิงค์อะซิเตทเป็น 0.35 M ทำการกวนต่อเนื่องจนกระทั่งส่วนผสมของสารละลายเข้ากันดีและใส เมื่อได้โซล-เจลที่ต้องการแล้วนำไปกรองเพื่อเอาอนุภาคที่ไม่ต้องการออกไปและปล่อยให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนนำมาใช้ที่ฟิล์มบาง

การปลูกฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ถูกเตรียม โดยการเคลือบแบบสปินจากเครื่อง MIKASA SPINCOATER 1H-D3 บนฐานรองที่เป็นกระจกมีความเร็วรอบในการสปินอยู่ที่ 3000, 4000 และ 5000 รอบต่อ นาที ใช้เวลาในการสปิน 30 วินาที เมื่อได้ฟิล์มแล้วนำไปอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส บน hotplate เพื่อไล่ตัวทำละลายที่อยู่บนผิวของฟิล์มเป็นเวลา 1 ชั่วโมง รองฟิล์มเย็นตัว, จากนั้นนำไปเผาในเตาเผา เพื่อให้ผิวฟิล์มมีความเรียบสม่ำเสมอ โดยอัตราความร้อนของการเผาอยู่ที่ 5 องศาเซลเซียสต่อ นาที ไปจนถึงอุณหภูมิสุดท้ายที่ 650 องศาเซลเซียสและทิ้งไว้ที่อุณหภูมินี้เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ก่อนที่จะนำออกมายังอุณหภูมิห้อง



รูปที่ 1 โครงสร้างภาพตัดขวางของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์



รูปที่ 2 แผนภาพแสดงกระบวนการและขั้นตอนในการเตรียมโซล-เจลและฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์

ทำการวิเคราะห์โครงสร้างของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีการเลี้ยวเบนรังสีเอ็กซ์จากเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟร็กโตเมตรีชื่อ Bruker รุ่น DS Advance ดังแสดงในรูปที่ 3 ใช้รังสีเอกซ์ย่าน $Cu(K\alpha)$ ที่มีความยาวคลื่น 1.54060 อังสตรอม มีความต่างศักย์ไฟฟ้า 40 กิโลโวลต์ ซึ่งใช้กระแสไฟฟ้า 30 มิลลิแอมป์ มีมุม 2θ ที่ใช้อยู่ระหว่าง 20 – 50 องศา ค่าเฉลี่ยอนุภาคของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์คำนวณจากการวัดความสูงของจุดยอดใช้ข้อมูลจาก FWHM

ศึกษาลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์จากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ชื่อ JEOL รุ่น JSM – 5410LV ดังแสดงในรูปที่ 4 โดยใช้กระแส 40 มิลลิแอมป์ และศักย์ไฟฟ้า 40 กิโลโวลต์

การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 37 (BECON-37) 19 – 21 พฤศจิกายน 2557 มหาวิทยาลัยขอนแก่น



รูปที่ 3 ภาพถ่ายเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโทรมิเตอร์
ชื่อ Bruker รุ่น D8 Advance

3. ผลการทดลองและอภิปรายผลการทดลอง

3.1 โครงสร้างผลึกของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์

โครงสร้างผลึกและระนาบของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ตรวจสอบได้โดยใช้รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์จากเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟรคโทรมิเตอร์ชื่อ Bruker รุ่น D8 Advance ใช้รังสีเอกซ์จาก Cu(K α) มีความยาวคลื่น 1.54060 อังสตรอมมีความต่างศักย์ 40 กิโลโวลต์ใช้กระแสไฟฟ้า 30 มิลลิแอมป์ มุม 2 θ อยู่ระหว่าง 20 – 50 องศา สเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์แสดงดังรูปที่ 5 จุดยอดการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์อยู่ที่ระนาบ (100), (002) และ (101) เมื่อนำข้อมูลการเลี้ยวเบนไปเปรียบเทียบกับโครงสร้าง Zincite รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์จากตัวอย่างทุกตัวจะมีจุดยอดเดียวกันคืออยู่ที่ระนาบ (002)



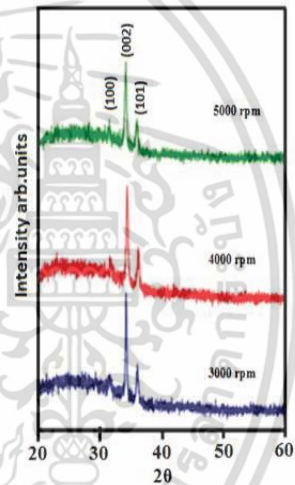
รูปที่ 4 ภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดชื่อ JEOL
รุ่น JSM – 5410LV

ตารางที่ 1 ตัวแปรโครงสร้างของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์

	2 θ	FWHM	D (nm)	$\delta \times 10^4$ (nm) ²
3000 rpm	34.319	0.272	31.9	9.80
4000 rpm	34.460	0.288	30.2	10.98
5000 rpm	34.280	0.341	25.5	15.41

จากตารางที่ 1 ค่า FWHM ของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์สำหรับระนาบ (002) จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเร็วรอบของการสปีนและขนาดของเกรน (D) สามารถคำนวณได้โดยใช้ well-Known Scherrer's Formula [3], ความหนาแน่นของอติสทริก (delta) คำนวณได้จากสูตร $\delta = 1/D^2$ [4]

เมื่อขนาดของเกรน (D) มีขนาดใหญ่และค่าของ FWHM มีค่าน้อยจะได้ฟิล์มบางที่มีการตกผลึกดีแต่ถ้าหากว่าอัตราการหมุนของหัวสปีนเพิ่มขึ้นขนาดของเกรน (D) ลดลงการตกผลึกของฟิล์มจะเสื่อมสภาพลง

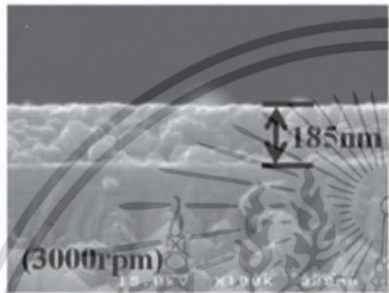


รูปที่ 5 สเปกตรัมการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ที่มีความเร็วรอบของการสปีน 3000, 4000 และ 5000 รอบต่อนาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์

จากการใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ชื่อ JEOL รุ่น JSM – 5410LV โดยใช้กระแส 40 มิลลิแอมป์และศักย์ไฟฟ้า 40 กิโลโวลต์ ในการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของฟิล์มบางพบว่าที่ความเร็วรอบในการหมุนของหัวสปินที่ 3000 รอบต่อนาที เป็นเงื่อนไขที่ดีที่สุดมีความหนาของฟิล์มที่ 185 นาโนเมตรดังแสดงในรูปที่ 6 เป็นผลให้ความเร็วรอบในการหมุนของการเคลือบที่มากจะสามารถลดความหนาเฉลี่ยและปรับปรุงความเรียบของฟิล์มซิงค์ออกไซด์และสามารถสรุปได้ว่าคุณภาพของฟิล์มขึ้นอยู่กับความเร็วรอบในการหมุนของการเคลือบ



รูปที่ 6 ภาพตัดขวางฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ที่มีความเร็วรอบการหมุนที่ 3000 รอบต่อนาที

4. สรุป

ฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ที่ได้จากกระบวนการโซล-เจลด้วยการเทคนิคการเคลือบแบบสปิน ที่มีความเร็วรอบในการสปิน 3000, 4000 และ 5000 รอบต่อนาที นานเป็นเวลา 30 วินาที จากนั้นนำไปเผาในเตาเผาที่อุณหภูมิ 650 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง จากการศึกษาคอร์สสร้างโดยใช้รูปแบบการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ จากเครื่องเอกซเรย์ดิฟแฟร็กโทรมิเตอร์ (XRD) ของฟิล์มพบว่าเป็นโครงสร้างแบบโพลิคริสตัลไลน์ ขนาดเกรน (D) ของฟิล์มพบอยู่ในช่วงระหว่าง 25-32 นาโนเมตร โดยขนาดของเกรนที่มากที่สุด อยู่ที่ความเร็วรอบของการสปิน 3000 รอบต่อนาที และจากการศึกษาลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม โดยใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่าที่ความเร็วรอบของการสปิน 3000 รอบต่อนาที ผิวหน้าของฟิล์มมีความหนาและความเรียบสม่ำเสมอของฟิล์มดีที่สุด โดยมีความหนาของฟิล์มอยู่ที่ 185 นาโนเมตร สามารถสรุปได้ว่าคุณภาพของฟิล์มขึ้นอยู่กับความเร็วรอบในการหมุนของการเคลือบ ซึ่งฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์ได้ทั้งนำแสงและอุปกรณ์เทคโนโลยีสารสนเทศรวมทั้งนำเสนอแสดงผลแสดงอาทิตย์และเซนเซอร์

เอกสารอ้างอิง

- [1] Y. Natsume, H. Sakata, Thin Solid Films 372 (2000) 30.
- [2] H. Li, J. Wang, H. Liu, H. Zhang, X. Li, J. Cryst. Growth 275 (2005) e943.
- [3] G. B. Williamson, R.C. Smallman, Philos. Mag. 1, 34(1956).
- [4] X. S. Wang, Z.C. Wu, J.F. Webb, Z.G. Liu, Applied Physics A 77, 561 (2003).

ประวัติผู้เขียน



พรรณา บุระชา
ปริญญาตรี วท.บ. สาขาฟิสิกส์ สจล.
ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชา
วิศวกรรม ไมโครอิเล็กทรอนิกส์ สจล.



นรินทร์เรืองแสงทอง
ปริญญาตรีวท.บ. สาขาวิศวกรรม มข.
ปริญญาโทและเอกสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สจล.
ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรม
อิเล็กทรอนิกส์ สจล.



สุทธศักดิ์นิยมเจริญ
ปริญญาตรีวท.บ. สาขาฟิสิกส์ มข.
ปริญญาโทและเอกสาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สจล.
ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรม
อิเล็กทรอนิกส์ สจล.



พัฒนพงษ์ ทรมกฤ
ปริญญาตรี วท.บ. สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ สจล.
ปัจจุบันกำลังศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชา
วิศวกรรม ไมโครอิเล็กทรอนิกส์ สจล.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายพัฒนพงษ์ พรหมเกตู
วัน เดือน ปีเกิด	28 กันยายน 2533 ที่จังหวัดขอนแก่น
ที่อยู่	353 หมู่ 1 ตำบลโคกสะอาด อำเภอภูเขียว จังหวัดชัยภูมิ 36110 โทร. 044-881329
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2555 วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาฟิสิกส์ประยุกต์ (โพลิตีเทคนิคอิเล็กทรอนิกส์) คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ความชำนาญเฉพาะด้าน	1.) พอร์สซิลิคอน 2.) ตัวตรวจจับไอระเหยแอลกอฮอล์ 3.) ระบบการวัดผลของปรากฏการณ์ฮอลล์

ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์ในวิทยานานพจน์นี้

- [1] **พัฒนพงษ์ พรหมเกตู**, นรินทร์ อติวงศ์แสงทอง และสุรศักดิ์ เนียมเจริญ “ผลกระทบของการเคลือบอลูมิเนียมที่ด้านหลังของซิลิคอนเวเฟอร์ในการสร้างชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการแอโนไดซ์เซชัน,” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 37, เล่ม 2, หน้า 673 – 676, 2557.
- [2] **พัฒนพงษ์ พรหมเกตู**, นรินทร์ อติวงศ์แสงทอง และสุรศักดิ์ เนียมเจริญ “ตัวตรวจจับไอระเหยของแอลกอฮอล์ที่สร้างขึ้นจากชั้นพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการแอโนไดซ์เซชัน,” การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 6, เล่ม 2, หน้า 601 – 604, 2557.
- [3] พรรณา บุระดา, นรินทร์ อติวงศ์แสงทอง, สุรศักดิ์ เนียมเจริญ และ**พัฒนพงษ์ พรหมเกตู** “การศึกษาคุณสมบัติของฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์โดยใช้กระบวนการโซล-เจลเคลือบแบบสปีน,” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 37, เล่ม 2, หน้า 677 – 680, 2557.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้