



ตรวจจับไอระเหยของแอลกอฮอล์โดยใช้นาโนพอร์สซิลิคอน
Alcohol vapors are detected using nano-porous silicon.

ปรัดต์ เจิมहरษา
Parat Jermhansa

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิชา Project 2
ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
พุทธศักราช 2563

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตรวจจับไอระเหยของแอลกอฮอล์โดยใช้นาโนพอร์สซิลิคอน
Alcohol vapors are detected using nano-porous silicon.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รายงานวิชา Project 2 ปีการศึกษา 2563

สาขาวิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง ตรวจจับไอระเหยของแอลกอฮอล์โดยใช้นาโนพอร์สซิลิคอน

Alcohol vapors are detected using nano-porous silicon

ผู้จัดทำ นายปรตต์ เจริมหารษา รหัสประจำตัว 60010585

รายงานนี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

หัวข้อโครงการ	ตรวจจับไอระเหยของแอลกอฮอล์โดยใช้นาโนพอร์สซิลิโคน
นักศึกษา	นาย ปรีดิ์ เจริมรรษา รหัสประจำตัว 60010585
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
ปีการศึกษา	2563
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ดร.นรินทร์ อติวงศ์แสงทอง

บทคัดย่อ

รายงานฉบับนี้ จะกล่าวถึงกระบวนการสร้างและศึกษาลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าของชั้น พอร์สซิลิโคน ที่สร้างขึ้นโดยใช้แผ่นซิลิโคนชนิดพี ระนาบ (100) ที่มีค่าความต้านทานแผ่น 9-11 โอห์ม-เซนติเมตร ความหนา 625 ไมโครเมตร ทำการสร้างด้วยวิธีที่แตกต่างกัน พบว่าการสร้างด้วย ชุดกัดเซลล์แท่งคู่แวนอนกับแผ่นซิลิโคนที่ไม่เคลือบอลูมิเนียม มีการเกิดชั้นพอร์สซิลิโคนอย่าง สม่าเสมอที่สุด เนื่องจากชุดกัดชนิดนี้มีการสัมผัสกันของสารละลายทั้งสองด้านของแผ่นซิลิโคน จึงทำให้มีการกระจายตัวของกระแสไฟฟ้าได้ดี จึงเกิดการกัดชั้นพอร์สซิลิโคนได้สม่าเสมอทั่วบริเวณที่ทำ การสร้าง จากนั้นทำการศึกษาผลกระทบของความเข้มข้นสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกพบว่า การ ผสมกันระหว่างสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกกับเอทานอลที่อัตราส่วน 4:1 โดยปริมาตรนั้น จะมร การลดแรงดึงผิวของฟองก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นขณะทำการสร้าง ทำให้เกิดการสร้างชั้นพอร์สซิลิโคน ได้สม่าเสมอที่สุด และได้ชั้นพอร์สซิลิโคนที่แข็งแรงไม่เปราะบางแตกหักง่าย จากนั้นทำการศึกษาโดย ใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่แตกต่างกันตั้งแต่ 5 mA/cm ถึง 25 mA/cm และใช้เวลาในการ แอนโนไดซ์เซชันที่แตกต่างกันตั้งแต่ 5 นาที ถึง 25 นาที พบว่า ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าและเวลาใน การแอนโนไดซ์เซชัน จะส่งผลกระทบต่อค่าความพรุนของชั้นพอร์สซิลิโคน โดยเมื่อทำการเพิ่มค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า หรือเวลาในการแอนโนไดซ์เซชัน จะส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์ส ซิลิโคน นั้นเพิ่มขึ้นตามไปด้วย และในการศึกษาสุดท้ายเราได้ทำการนำชั้นพอร์สซิลิโคนที่เปอร์เซ็นต์ ความพรุนต่างกัน มาทำการทดสอบตรวจจับไอระเหยของแอลกอฮอล์ โดยการจ่ายไอแอลกอฮอล์ที่ อัตราการไหล 1 ลิตรต่อนาที และไปอัสแรงดันให้กับอุปกรณ์ตรวจจับที่ 20 โวลต์ พบว่าที่เปอร์เซ็นต์ คามพรุนของชั้นพอร์สซิลิโคน 76.5% มีการตอบสนองต่อไอระเหยของแอลกอฮอล์ได้ดีที่สุด ซึ่งใช้ เวลาในการอิมตัวของกระแสไฟฟ้าเพียง 17 วินาที จากการศึกษาจึงสรุปได้ว่าชั้นพอร์สซิลิโคนนั้นมี คุณสมบัติที่เหมาะสม ที่จะนำมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุพื้นฐาน ในการสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหย ของแอลกอฮอล์ต่อไป

II

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

Project Title	Alcohol vapors are detected using nano-porous silicon	
Student	Mr.Parat Jermhansa	Student ID 60010585
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Electronics Engineering	
Year	2020	
Advisor	Assist.Prof.Dr.Narin Atiwongsangthong	

ABSTRACT

This report 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 Q-cm thickness 625 um. 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 76.5% had a best responded to detected the alcohol then, The saturation of the electrical generated in just 17 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
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กิตติกรรมประกาศ

โครงการตรวจจับไอระเหยของแอลกอฮอล์โดยใช้นาโนพอร์สซิลิคอน ได้รับการช่วยเหลือและคำแนะนำการให้คำปรึกษาของผศ.ดร.นรินทร์ อติวงศ์แสงทองอาจารย์ที่ปรึกษาที่คอยให้คำแนะนำและความรู้ต่างๆช่วยแก้ปัญหาต่างๆ

ปรีดิ์ เจริมรรษา



IV

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองรายงาน.....	I
บทคัดย่อภาษาไทย.....	II
บทคัดย่ออังกฤษ.....	III
กิตติกรรมประกาศ.....	IV
สารบัญ.....	V
สารบัญรูป.....	VI
สารบัญตาราง.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมติฐานการศึกษา.....	3
1.4 ขอบเขตของการศึกษา.....	3
บทที่ 2 พอร์สซิลิคอน.....	4
2.1 ทฤษฎีพอร์สซิลิคอน.....	4
2.2 เทคนิคการสร้างพอร์สซิลิคอน.....	10
2.3 เซลล์ไฟฟ้าเคมี.....	13
2.4 กลไกในการเกิดพอร์สซิลิคอน.....	20
2.5 ความพรุนของพอร์สซิลิคอน.....	29
2.6 นิยามของเซนเซอร์.....	31
2.7 หลักการตรวจจับไอแอลกอฮอล์.....	32
2.8 หลักการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ของเซ็นพอร์สซิลิคอน.....	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

	หน้า
บทที่ 3 กระบวนการสร้างและเครื่องมือที่ใช้ในการวัด.....	42
3.1 กระบวนการสร้างพอร์สซิลิคอน.....	42
3.2 เทคนิคและเครื่องมือที่ใช้ในการวัด.....	47
บทที่ 4 การทดลอง และผลการทดลอง.....	51
4.1 การทดลองเพื่อศึกษาผลของชนิดชุดกัดไฟฟ้าเคมีในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอน.....	51
4.2 การทดลองเพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอน.....	56
4.3 การทดลองเพื่อศึกษาผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอน.....	61
4.4 การทดลองเพื่อศึกษาผลของเวลาในการแอนโนไดซ์เซชันในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอน.....	66
4.5 การทดลองเพื่อศึกษาผลของชั้นพอร์สซิลิคอนในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์.....	70
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	84
เอกสารอ้างอิง.....	87

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 โครงสร้างของพอร์สซิลิคอน.....	4
รูปที่ 2.2 ภาพจำลองโครงสร้างของชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีขนาดต่างๆกัน.....	5
รูปที่ 2.3 ภาพจำลองรูพรุนของพอร์สซิลิคอนลักษณะต่างๆกัน.....	6
รูปที่ 2.4 ภาพจำลองรูพรุนของพอร์สซิลิคอนรูปร่างต่างๆ.....	7
รูปที่ 2.5 ลักษณะแถบพลังงานของผลึกซิลิคอนที่จำนวนอะตอมต่างๆ.....	7
รูปที่ 2.6 แบบจำลองลักษณะโครงสร้างทางควอนตัมแบบต่างๆ.....	8
รูปที่ 2.7 ลักษณะแถบพลังงานของพอร์สซิลิคอนเปรียบเทียบกับผลึกซิลิคอน.....	9
รูปที่ 2.8 ภาพตัดขวางของอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการกัดแบบย้อมสี.....	10
รูปที่ 2.9 ภาพพื้นผิวของชั้นพอร์สซิลิคอนที่ได้จากการกัดแบบย้อมสี.....	12
รูปที่ 2.10 ภาพตัดขวางของอุปกรณ์เซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ใช้ในกระบวนการแอนโนไดซ์เซชัน.....	12
รูปที่ 2.11 ภาพพื้นผิวของชั้นพอร์สซิลิคอนที่ได้จากกระบวนการแอนโนไดซ์เซชัน.....	13
รูปที่ 2.12 ลักษณะการไปอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมีในลักษณะต่างๆ.....	13
รูปที่ 2.13 ลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าเคมีระหว่างแผ่นซิลิคอน.....	14
รูปที่ 2.14 ลักษณะกระแสแรงดันไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าเคมีในส่วนที่มีการไปอัสแบบแอนโนดิก.....	16
รูปที่ 2.15 ลักษณะแถบพลังงานที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างแผ่นผลึกซิลิคอนกับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก.....	18
รูปที่ 2.16 การกระจายตัวของศักดาไฟฟ้าที่ตกรอบบริเวณต่างๆ ภายในเซลล์ไฟฟ้าเคมี.....	19
รูปที่ 2.17 ขั้นตอนและกลไกทางเคมีในการกัดเนื้อของแผ่นซิลิคอน.....	21
รูปที่ 2.18 แบบจำลองการกัดเนื้อของผลึกซิลิคอนทั้งสองลักษณะ.....	23
รูปที่ 2.19 การเคลื่อนที่พาหะโฮลที่ถูกดึงมารวมกันที่บริเวณก้นหลุมเนื่องจากอิทธิพลของสนามไฟฟ้า.....	24
รูปที่ 2.20 บริเวณปลดลวดพาหะที่เกิดขึ้นรอบๆ ผนังของรูพรุนที่บริเวณผิวของผลึกซิลิคอน.....	25
รูปที่ 2.21 การกระจายตัวของศักดาไฟฟ้ารอบๆ ผนังของรูพรุน.....	26
รูปที่ 2.22 การกระจายตัวของสนามไฟฟ้ารอบๆ ผนังของรูพรุน.....	26
รูปที่ 2.23 การกระจายตัวของกระแสรอบๆ ผนังของรูพรุน.....	27
รูปที่ 2.24 กลไกในการหยุดกัดโครงสร้างของชั้นพอร์สซิลิคอนชนิดพี.....	27
รูปที่ 2.25 แผนภาพบริเวณปลดลวดพาหะนำกระแสที่เกิดขึ้นในโครงสร้างของพอร์สซิลิคอนที่สร้างจากผลึกซิลิคอนชนิดเอ็น.....	29
รูปที่ 2.26 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของขนาดเนื้อซิลิคอน (c) กับขนาดของรูพรุน (d) ที่มีต่อความพรุนของพอร์สซิลิคอน.....	30

VII

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 2.27 แผนภาพจำลองด้านบนของโครงสร้างพอร์สซิลิคอนที่เปอร์เซ็นต์ความพรุนต่างๆกัน.....	30
รูปที่ 2.28 ส่วนประกอบพื้นฐานของเซนเซอร์ทางเคมี.....	31
รูปที่ 2.29 ส่วนประกอบพื้นฐานของเซนเซอร์ทางฟิสิกส์.....	32
รูปที่ 2.30 โครงสร้างของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอน.....	33
รูปที่ 2.31 แบบจำลองการตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอน.....	35
รูปที่ 2.32 แบบจำลองการเกิดสถานะผิวที่บริเวณผิวของชั้นพอร์สซิลิคอน.....	38
รูปที่ 2.33 แบบจำลองการนำไฟฟ้าของชั้นพอร์สซิลิคอน.....	39
รูปที่ 2.34 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ของชั้นพอร์สซิลิคอน.....	40
รูปที่ 3.1 อุปกรณ์เซลล์ไฟฟ้าเคมี.....	42
รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการสร้างที่แตกต่างกัน.....	44
รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการสร้างขั้วลุ่มิเนียมด้วยวิธีการ Lift-off.....	46
รูปที่ 3.4 อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่ทำการสร้างขั้วไฟฟ้าด้วยวิธีการ Lift-off.....	47
รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานไฟฟ้ากับระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าของชั้นพอร์สซิลิคอนที่มี ความสม่ำเสมอ.....	48
รูปที่ 3.6 เครื่องมือต่างๆ ที่ใช้ในการวัดอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์.....	49
รูปที่ 3.7 หน้าจอโปรแกรมที่ใช้ในการบันทึกค่ากระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์.....	50
รูปที่ 4.1 ชั้นพอร์สซิลิคอนที่สร้างโดยชุดกัดไฟฟ้าเคมีต่างชนิดกัน.....	52
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างขั้วกับความต้านทานของชั้นพอร์สซิลิคอนที่เงื่อนไขของชนิด ชุดกัดไฟฟ้าเคมีที่ใช้ในกระบวนการแอนโนไดซ์เซชันต่างกัน.....	54
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดชุดกัดไฟฟ้าเคมีที่ใช้ในกระบวนการแอนโนไดซ์เซชันกับเปอร์เซ็นต์ ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอน.....	55
รูปที่ 4.4 ชั้นพอร์สซิลิคอนที่สร้างโดยอัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลต่างกัน.....	57
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างขั้วกับความต้านทานของชั้นพอร์สซิลิคอนที่.....	59
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลที่ใช้ในการแอนโนไดซ์เซชัน กับเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอน.....	60
รูปที่ 4.7 ชั้นพอร์สซิลิคอนที่สร้างโดยความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการแอนโนไดซ์เซชันต่างกัน.....	61
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างขั้วกับความต้านทานของชั้นพอร์สซิลิคอนที่เงื่อนไขของ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการแอนโนไดซ์เซชันต่างกัน.....	64
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการแอนโนไดซ์เซชันกับเปอร์เซ็นต์ ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอน.....	65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการ VIII ศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 4.10 ชั้นพอร์สซิลิคอนที่สร้างโดยเวลาในการแอนโดซ์เซชันต่างกัน.....	66
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างซั้วกับค่าความต้านทานของชั้นพอร์สซิลิคอนที่เงื่อนไขของเวลาที่ใช้ในการแอนโดซ์เซชันต่างกัน.....	68
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการแอนโดซ์เซชันกับค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอน.....	69
รูปที่ 4.13 ภาพอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์จากชั้นพอร์สซิลิคอน.....	70
รูปที่ 4.14 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการตอบสนองการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ที่ไม่มีชั้นพอร์สซิลิคอน.....	70
รูปที่ 4.15 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการตอบสนองการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ที่มีชั้นพอร์สซิลิคอน.....	71
รูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเรืองแสงของชั้นพอร์สซิลิคอนกับค่ากระแสไฟฟ้า....	72
รูปที่ 4.17 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการตอบสนองการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนประมาณ 24.0%.....	73
รูปที่ 4.18 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการตอบสนองการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนประมาณ 33.5%.....	74
รูปที่ 4.19 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการตอบสนองการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนประมาณ 38.7%.....	75
รูปที่ 4.20 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการตอบสนองการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนประมาณ 42.59%.....	76
รูปที่ 4.21 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการตอบสนองการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนประมาณ 51.2%.....	77
รูปที่ 4.22 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการตอบสนองการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนประมาณ 64.1%.....	78
รูปที่ 4.23 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการตอบสนองการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนประมาณ 76.5%.....	79

IX

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเวลาอิมพัลส์ของกระแสในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์กับเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์ซซีลิกอน.....	80
รูปที่ 4.25 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการตอบสนองการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์ซซีลิกอนแตกต่างกัน ที่ระดับอ้างอิง เดียวกัน.....	82
รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสอิมพัลส์ของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์กับเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์ซซีลิกอน.....	83
รูปที่ 5.1 โครงสร้างของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์ซซีลิกอนที่ทำการปรับปรุงแล้ว.....	86



สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 4.1 ค่าความต้านทานของชั้นพอร์ซซิลิโคนที่ระยะห่างระหว่างขั้วต่างกัน กับชนิดชุดกัดไฟฟ้าเคมีที่ใช้ในการแอนโดซ์เซชัน.....	53
ตารางที่ 4.2 เปอร์เซ็นต์ความพรุนในชั้นพอร์ซซิลิโคนที่สร้างด้วยชนิดชุดกัดไฟฟ้าเคมีที่ใช้ในการแอนโดซ์เซชันแตกต่างกัน.....	55
ตารางที่ 4.3 ค่าความต้านทานของชั้นพอร์ซซิลิโคนที่ระยะห่างระหว่างขั้วต่างกัน กับอัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลที่ใช้ในการแอนโดซ์เซชัน.....	58
ตารางที่ 4.4 ค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนในชั้นพอร์ซซิลิโคนที่สร้างด้วยอัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดร ฟลูออริกต่อเอทานอลที่ใช้ในการแอนโดซ์เซชันแตกต่างกัน.....	60
ตารางที่ 4.5 ค่าความต้านทานของชั้นพอร์ซซิลิโคนที่ระยะห่างระหว่างขั้วต่างกัน กับความหนาแน่น กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการแอนโดซ์เซชัน.....	63
ตารางที่ 4.6 ค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนในชั้นพอร์ซซิลิโคนที่สร้างด้วยความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการแอนโดซ์เซชันแตกต่างกัน.....	65
ตารางที่ 4.7 ค่าความต้านทานของชั้นพอร์ซซิลิโคนที่ระยะห่างระหว่างขั้วต่างกันกับเวลาที่ใช้ในการแอนโดซ์เซชัน.....	67
ตารางที่ 4.8 ค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนในชั้นพอร์ซซิลิโคนที่สร้างด้วยเวลาที่ใช้ในการแอนโดซ์เซชัน แตกต่างกัน.....	69
ตารางที่ 4.9 ค่าเวลาการอิมตัวของกระแสในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ที่สร้างด้วยชั้น พอร์ซซิลิโคนที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนแตกต่างกัน.....	80

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 1

บทนำ

การตรวจวัดปริมาณสารในด้านอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ในปัจจุบันมีจุดมุ่งหมายสำคัญคือ การวิเคราะห์ตัวผลิตภัณฑ์หรือตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการผลิตทุกขั้นตอน ไม่ว่าจะในระหว่างการผลิตจนถึงการสิ้นสุดของกระบวนการต้องใช้รูปแบบและกระบวนการวัดที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งวิธีการวัดได้มีการพัฒนาอย่างรวดเร็วโดยมีทั้งการวัดในด้านกายภาพและทางด้านเคมีพอร์สซิลิคอน (porous silicon หรือ porous Si) คือเนื้อซิลิคอนที่มีลักษณะเป็นรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก ซึ่งเป็นวัสดุที่ถูกค้นพบครั้งแรกในปี ค.ศ. 1956 ในขณะที่ทำการทดลองการกัดทางไฟฟ้าเคมีของแผ่นซิลิคอนในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกโดย Uhlir [1] จนมาถึงปี ค.ศ. 1990 ได้มีรายงานการค้นพบสมบัติการเปล่งแสง ณ ที่อุณหภูมิห้องของพอร์สซิลิคอนเป็นครั้งแรกโดย Canham [2] ซึ่งการค้นพบคุณสมบัติเปล่งแสงของพอร์สซิลิคอนนี้ ได้ทำให้เกิดแนวความคิดและความเป็นไปได้ที่จะนำเอาพอร์สซิลิคอนมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุพื้นฐานในการสร้างเป็นอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่างๆ ทั้งนี้เนื่องจากกระบวนการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนค่อนข้างจะง่ายไม่ยุ่งยากซับซ้อนและสามารถเข้ากันได้กับกระบวนการสร้างวงจรรวม (Integrated Circuits : IC) 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 ซึ่งจากการทดลองหาความสัมพันธ์ระหว่างระดับแอลกอฮอล์ในเลือดกับโอกาสเกิดอุบัติเหตุพบว่าผู้ที่มีแอลกอฮอล์ใน

เลือดสูงกว่า 50 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ จะมีโอกาสเกิดอุบัติเหตุสูงกว่าผู้ไม่ดื่มสุราถึง 2 เท่า และหากสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ถึง 100 มิลลิกรัมเปอร์เซ็นต์ โอกาสเสี่ยงจะเพิ่มขึ้นเป็นถึง 6 เท่า เพื่อป้องกันอุบัติเหตุบนท้องถนนอันไม่พองามใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เนื่องมาจากผู้ขับขี่รถยนต์ยานพาหนะในขณะมีนเมา จึงได้มีการตั้งด่านตรวจระดับแอลกอฮอล์ในเลือดของผู้ขับขี่ เพื่อให้ทราบว่าผู้ขับขี่อยู่ในสภาพที่จะสามารถขับขี่รถยนต์ต่อไปได้อีกหรือไม่ โดยการตรวจระดับแอลกอฮอล์ในเลือดมีหลายวิธีได้แก่ การตรวจวัดทางลมหายใจ การตรวจวัดจากเลือด และการตรวจวัดจากปัสสาวะ ซึ่งทั้ง 3 วิธีนี้ วิธีการตรวจวัดทางลมหายใจเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด เนื่องจากทำได้สะดวกรวดเร็ว และสามารถทราบผลได้ทันที การตรวจวัดระดับแอลกอฮอล์จากลมหายใจอาศัยหลักการที่ว่าเมื่อกระแสเลือดไหลไปที่ปอดเพื่อพอกเอาก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ออกจากร่างกาย แอลกอฮอล์ในกระแสเลือดบางส่วนจะซึมผ่านเข้าไปในปอด ระดับของแอลกอฮอล์ในปอดจะสัมพันธ์โดยตรงกับระดับแอลกอฮอล์ในเลือด เมื่อหายใจออกไอของแอลกอฮอล์จะถูกขับออกมาจากปอดเช่นกันโครงสร้างของอุปกรณ์ตรวจจับแอลกอฮอล์ส่วนใหญ่จะใช้ชั้นเซรามิก [7-9] เช่น โททานเนียมไดออกไซด์

ออกไซด์ทำหน้าที่เป็นตัวตรวจจับไอแอลกอฮอล์ ซึ่งชั้นโททานเนียมไดออกไซด์มีวิธีการสร้างที่ยุ่ยาก ต้นทุนสูง และทำงานที่อุณหภูมิ 300-500 องศาเซลเซียสพอร์สซิลิคอนถูกนำมาประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ [10] เนื่องจากชั้นพอร์สซิลิคอนนั้นสร้างในเนื้อซิลิคอนจึงสร้างเป็นวงจรรวมได้ง่าย สามารถสร้างให้มีขนาดเล็ก ทำให้ผลิตได้เป็นจำนวนมาก ส่งผลให้ราคาต่ออุปกรณ์ถูกลง กระบวนการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนทำได้ง่าย และสามารถทำการสร้างในห้องปฏิบัติการของศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ได้

1.2 วัตถุประสงค์และขอบเขตของงานวิจัย

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

1.3 สมมติฐานของงานวิจัย

พอร์สซิลิคอนมีคุณสมบัติที่ดีสำหรับนำมาประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของ แอลกอฮอล์ โดยใช้พื้นที่ผิวที่มีลักษณะเป็นรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมากของพอร์สซิลิคอนเป็นบริเวณที่ใช้ในการตรวจจับไอระเหยแอลกอฮอล์ [11-13] เมื่อไอระเหยของแอลกอฮอล์มารวมตัวกันในรูพรุนของพอร์สซิลิคอนและส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความนำไฟฟ้า จากคุณสมบัติของวัสดุนี้จึงทำให้มีสมมติฐานว่าหากนำชั้นพอร์สซิลิคอนมาประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจจับไอแอลกอฮอล์จะก่อให้เกิดคุณสมบัติในการตอบสนองไอระเหยของแอลกอฮอล์ได้ดี

1.4 วิธีการดำเนินการ

1. ศึกษาทฤษฎีและวิธีการสร้างพอร์สซิลิคอน
2. ขั้นตอนสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีแอโนไดซ์เซชัน
3. ขั้นตอนสร้างอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของแอลกอฮอล์
4. วัดและวิเคราะห์ห่อุปกรณ์และเปรียบเทียบผลของอุปกรณ์
5. สรุปผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 2

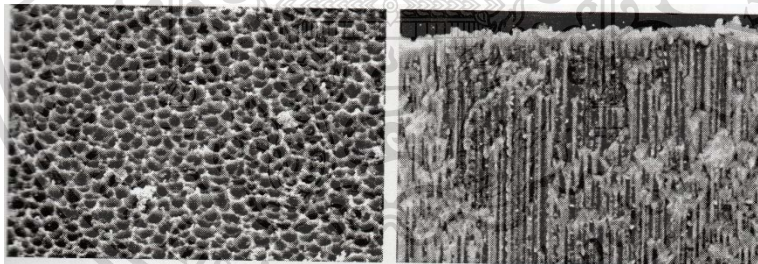
พอร์สซิลิคอน

2.1 ทฤษฎีพอร์สซิลิคอน

พอร์สซิลิคอนเป็นวัสดุที่มีโครงสร้างซับซ้อนมีทั้งโครงสร้างที่เป็นระเบียบและไม่เป็นระเบียบ ภายในของพอร์สซิลิคอนอะตอมนั้นนอกจากจะมีการจัดเรียงอะตอมอย่างเป็นระเบียบเหมือนกับผลึกซิลิคอนเดี่ยว แต่ยังพบว่ามีการจัดเรียงของผลึก ช่องว่าง ระยะห่างของช่องว่าง และพันธะแขนขาด กับอะตอมข้างเคียงโครงสร้างที่มีขนาดเล็กนี้สามารถพบได้ 2 รูปแบบ คือ จุด และแท่ง หรือเป็นแบบผสมผลึกขนาดเล็กระดับนาโนเมตรนี้มีลักษณะแข็งเปราะ และมีรูพรุน พอร์สซิลิคอนจึงเป็นวัสดุที่น่าสนใจ มีบทความจำนวนมากพยายามอธิบายถึงคุณสมบัติทางด้านเคมีและฟิสิกส์ของพอร์สซิลิคอน [14-16] และได้นำพอร์สซิลิคอนมาประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างขวางในด้านต่างๆ เช่น ทางด้าน อิเล็กทรอนิกส์ ทางด้านการแพทย์ และเป็นอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์ เป็นต้น

2.1.1 โครงสร้างของพอร์สซิลิคอน

พอร์สซิลิคอน คือ ผลึกซิลิคอนที่มีลักษณะเป็นรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก โดยในชั้นความพรุน นี้จะประกอบไปด้วยโครงสร้างของผลึกซิลิคอนที่มีขนาดอยู่ในระดับนาโนเมตรจนถึงระดับ ไมโครเมตร โดยในแต่ละชั้นจะมีขนาดของโครงสร้างที่แตกต่างกันออกไป ดังแสดงในรูปที่ 2.1



ก

ข

รูปที่ 2.1 โครงสร้างของพอร์สซิลิคอน (ก) ภาพพื้นผิว (ข) ภาพตัดขวาง

โครงสร้างของพอร์สซิลิคอนในรูปที่ 2.1 เกิดขึ้นจากกระบวนการกัดเนื้อของผลึกซิลิคอนด้วยวิธีทางไฟฟ้าเคมี (electrochemical etching) นอกจากนี้จากการศึกษาของโครงสร้างพอร์สซิลิคอน โดยเฉพาะในส่วนของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนยังพบต่อไปอีกว่าที่บริเวณผิวของไมโครพอร์สซิลิคอนนั้น ยังประกอบไปด้วยพันธะของซิลิคอนไฮไดรด์ ($\text{Si} : \text{H}$) หรือ ซิลิคอนออกซิไฮไดรด์ ($\text{Si} : \text{O} : \text{H}$) ปกคลุมอยู่ ที่พื้นผิวโดยทั่วไป [17-19]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.1.2 การแบ่งประเภทของพอร์สซิลิคอน

พอร์สซิลิคอนสามารถแบ่งออกเป็น 3 ประเภท คือ

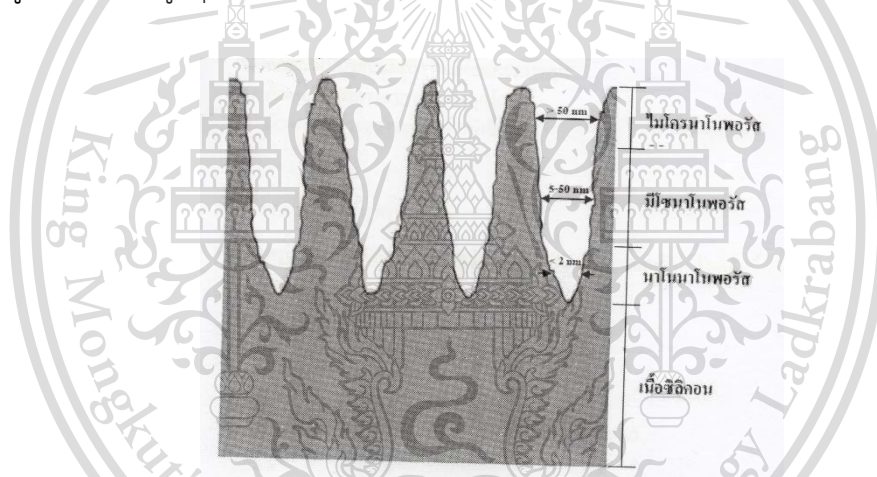
1. แบ่งตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุน

พอร์สซิลิคอนสามารถแบ่งได้ตามขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนดังนี้

1.1 โครงสร้างของชั้นไมโครพอร์สซิลิคอน (microporous) เป็นชั้นของพอร์สซิลิคอนที่มี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนที่ใหญ่กว่า 50 นาโนเมตรขึ้นไป

1.2 โครงสร้างของชั้นมีโซพอร์สซิลิคอน (mesoporous) เป็นชั้นของพอร์สซิลิคอนที่มี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนที่อยู่ระหว่าง 5 นาโนเมตร ถึง 50 นาโนเมตร

1.3 โครงสร้างของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน (nanoporous) เป็นชั้นของพอร์สซิลิคอนที่มี ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของรูพรุนที่เล็กกว่า 5 นาโนเมตรลงไป โดยโครงสร้างในชั้นนี้จะติดกับเนื้อ ของซิลิคอน



รูปที่ 2.2 ภาพจำลองโครงสร้างของชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีขนาดต่างๆกัน

2. แบ่งตามลักษณะของรูพรุน

ลักษณะรูพรุนของพอร์สซิลิคอนสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทหลักๆ ดังต่อไปนี้

2.1 ลักษณะเป็นรูตันและไม่มีการแยกของรูพรุน (bind)

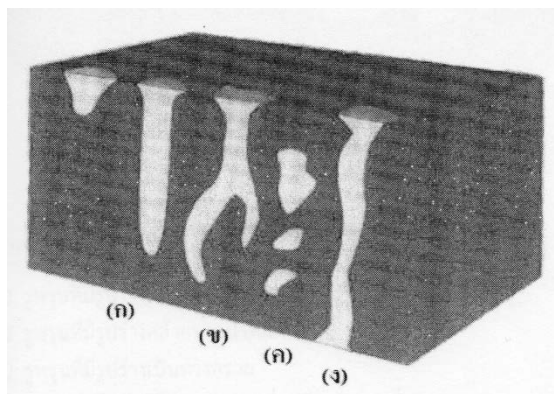
2.2 ลักษณะเป็นรูตันและมีการแยกออกของรูพรุน (branched)

2.3 ลักษณะเป็นโพรงอากาศผิวปิดทุกด้าน (totally isolated)

เอกสารนี้เป็นเอกสาร 2.4 ลักษณะเป็นรูกลางที่ทะลุออกไปอีกด้าน (through) ไมออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.3 ภาพจำลองรูปพรุนของพอร์สซิลิโคนลักษณะต่างๆกัน

- (ก) ลักษณะเป็นรูตันและไม่มีการแยกของรูปพรุน
- (ข) ลักษณะเป็นรูตันและมีการแยกออกของรูปพรุน
- (ค) ลักษณะเป็นโพรงอากาศผิวปิดทุกด้าน
- (ง) ลักษณะเป็นรูกลวงทะลุออกไปยังอีกด้าน

3. แบ่งตามรูปร่างของรูปพรุน

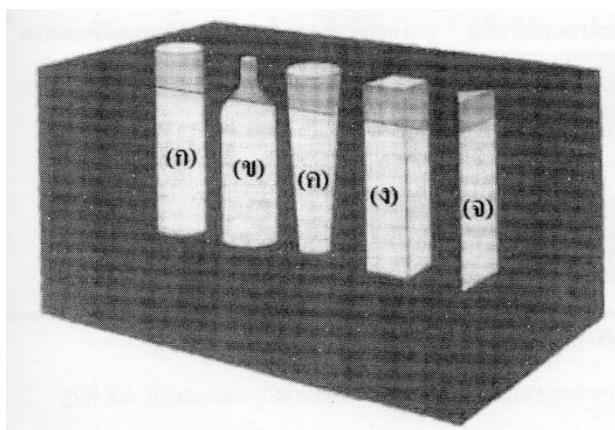
รูปร่างรูปพรุนของพอร์สซิลิโคนสามารถแบ่งออกได้เป็น 5 ประเภทหลักๆ ดังต่อไปนี้

- 3.1 รูปพรุนที่มีรูปร่างเป็นทรงกระบอก (cylindrical)
- 3.2 รูปพรุนที่มีรูปร่างคล้ายขวดน้ำหมึก (ink-bottle)
- 3.3 รูปพรุนที่มีรูปร่างเป็นทรงกรวย (funnel)
- 3.4 รูปพรุนที่มีรูปร่างเป็นลูกบาศก์ (cuboid)
- 3.5 รูปพรุนที่มีรูปร่างเป็นทรงสามเหลี่ยมพีระมิด (triangular)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

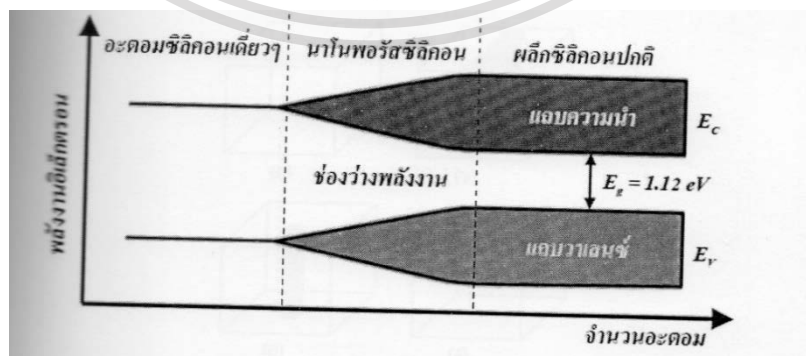


รูปที่ 2.4 ภาพจำลองรูปทรงของพอร์สซิลิคอนรูปร่างต่างๆ

- (ก) รูปทรงที่มีรูปร่างเป็นทรงกระบอก
- (ข) รูปทรงที่มีรูปร่างคล้ายขวดน้ำหมึก
- (ค) รูปทรงที่มีรูปร่างเป็นทรงกรวย
- (ง) รูปทรงที่มีรูปร่างเป็นทรงสามเหลี่ยมพีระมิด

2.1.3 ลักษณะแถบพลังงานของพอร์สซิลิคอน

เมื่ออะตอมของผลึกซิลิคอนมาอยู่ใกล้ชิดกันจนเกิดการหลอมหล้ากันของระดับพลังงานใน อะตอม ทำให้เกิดการแตกแยกของระดับพลังงานเหล่านั้นขึ้น ซึ่งจำนวนของระดับพลังงานที่แตกแยก ออกมานั้น จะมีค่าเท่ากับจำนวนอะตอมที่อยู่ใกล้ชิดกัน จากหลักการนี้เองถ้าเราสามารถทำการลด จำนวนอะตอม ภายในผลึกลงได้ ก็จะทำให้ปฏิกริยาระหว่างอะตอมที่มีต่อกันนั้นมีจำนวนลดลงด้วย ซึ่ง จะไปมีผลต่อ ลักษณะของแถบพลังงานในส่วนของช่องว่างแถบพลังงาน (energy band gap) ที่จะมี การเปลี่ยนแปลง เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อของผลึกซิลิคอนเดิม (มีจำนวนอะตอมของซิลิคอนอยู่ ภายในประมาณ 10 อะตอม/ลูกบาศก์เซนติเมตร) แสดงดังรูปที่ 2.5 [20]



รูปที่ 2.5 ลักษณะแถบพลังงานของผลึกซิลิคอนที่จำนวนอะตอมต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้ใช้เฉพาะในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ในเชิงพาณิชย์ได้

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากรูปที่ 2.5 จะเห็นได้ว่า เมื่อจำนวนอะตอมของผลึกซิลิคอนมีค่าลดลงจะมีผลทำให้ช่องว่างพลังงานมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งในทางปฏิบัติการลดจำนวนอะตอมของผลึกซิลิคอนลงนั้นสามารถทำได้โดย การลดหรือบีบขนาดโครงสร้างของผลึกซิลิคอนให้มีขนาดเล็กลงอยู่ในระดับของนาโนเมตร จน สามารถเกิดปรากฏการณ์ทางควอนตัมอันจะมีผลทำให้ลักษณะโครงสร้างทางช่องว่างพลังงานมีการ เปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเนื้อผลึกซิลิคอนเดิม เรียกปรากฏการณ์เช่นนี้ว่า ผลของขนาดควอนตัม (quantum size effect) ซึ่งค่าพลังงานมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเนื่องจากปรากฏการณ์นี้จะมีค่า เท่ากับ

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

โดยที่ E_q คือ พลังงานที่เกิดขึ้นจากปรากฏการณ์ผลของขนาดควอนตัม

ΔE_c คือ พลังงานที่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากระดับพลังงานต่ำสุดของแถบ ความนำเดิมก่อนเกิดพอร์สซิลิคอน

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 มีผลทำให้คุณสมบัติทางไฟฟ้าและคุณสมบัติทางแสงจะแตกต่างไปจากเนื้อ ซิลิคอนเดิม

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

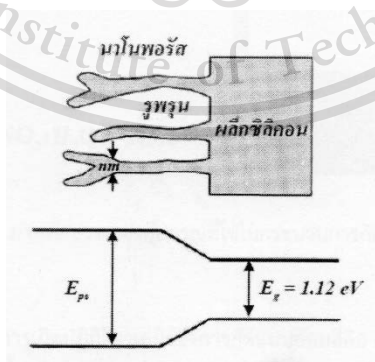
ทิศทางการเคลื่อนที่โดยรวมของพาหะนำกระแสจะถูกบีบหรือบังคับ ด้วยลักษณะและขนาดของโครงสร้างผลึก ด้วยเหตุนี้จึงทำให้ปรากฏการณ์ผลของขนาดควอนตัมสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภทด้วยกันคือ

1. ควอนตัมในเชิง 2 มิติ (quantum well) เกิดจากการลดขนาดหรือปลูกผลึกให้มีลักษณะเป็นชั้นที่มีความบางมากๆ ในระดับชั้นของโมเลกุลเช่น 30-50 ชั้นโมเลกุล (<100nm) พาหะนำกระแสที่ถูกกักขังให้อยู่ภายในโครงสร้างลักษณะนี้ จะถูกบีบหรือจำกัดทิศทางการเคลื่อนที่โดยรวมให้ สามารถเคลื่อนที่ไปมาในโครงสร้างแบบ 2 มิติ ดังแสดงในรูปที่ 2.6 (ข)

2. ควอนตัมในเชิง 1 มิติ (quantum wire) เกิดจากการลดขนาดหรือปลูกผลึกให้มีลักษณะเป็นเส้นหรือเสาแคบๆ ที่มีความหนาอยู่ในระดับนาโนเมตร (<10nm) พาหะนำกระแสที่ถูกกักขังอยู่ ภายในโครงสร้างลักษณะนี้ จะถูกจำกัดทิศทางการเคลื่อนที่โดยรวมให้สามารถเคลื่อนที่ไปใน โครงสร้างแบบ 1 มิติหรือเพียงทิศทางเดียวตามความยาวของโครงสร้างที่เป็นเส้นหรือเสานี้เท่านั้น ดัง แสดงในรูปที่ 2.6 (ค) ซึ่งลักษณะช่องว่างพลังงานของโครงสร้าง 1 มิติแบบนี้ จะมีขนาดที่กว้างกว่า

ช่องว่างพลังงานของโครงสร้างแบบ 2 มิติ ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างในลักษณะแบบนี้จะมีขนาดที่เล็ก กว่า และมีจำนวนอะตอมที่อยู่ภายในน้อยกว่าโครงสร้าง 2 มิติ

3. ควอนตัมในแบบไม่มีมิติ (quantum dot) เกิดจากการลดขนาดหรือปลูกผลึกให้มีลักษณะเป็นจุดที่มีขนาดเล็กมาก (<1nm) โดยพาหะนำกระแสที่ถูกกักขังให้อยู่ภายในโครงสร้างลักษณะแบบ นี้ ในทางอุดมคติแล้วจะถูกจำกัดทิศทางการเคลื่อนที่อย่างสมบูรณ์ ให้อยู่ภายในโครงสร้างในแบบที่ ไม่มีมิติ ดังแสดงในรูปที่ 2.6 (ง) อะตอมที่อยู่ภายในโครงสร้างจุดเล็กๆเหล่านี้จะมีจำนวนที่น้อยกว่าในโครงสร้างสองแบบแรก ซึ่งจะมีผลทำให้ขนาดช่องว่างพลังงานของโครงสร้างที่เป็นแบบจุดนี้ จะมี ความกว้างที่มากกว่าโครงสร้าง 2 แบบแรก



รูปที่ 2.7 ลักษณะแถบพลังงานของพอร์สซิลิคอนเปรียบเทียบกับผลึกซิลิคอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

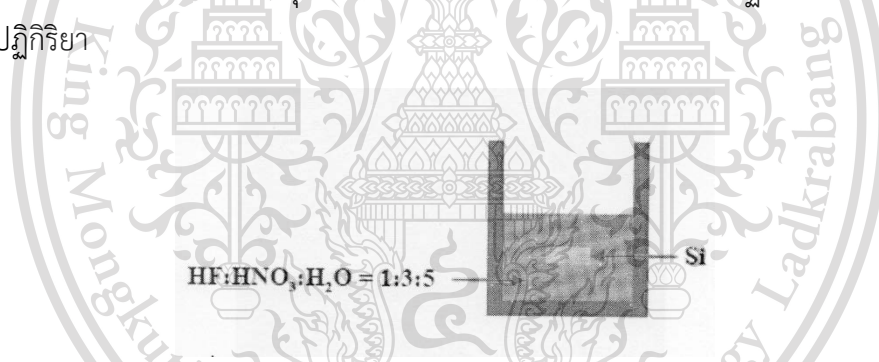
เนื่องจากโครงสร้างส่วนใหญ่ของชั้นพอร์ซซิลิคอนจะมีลักษณะเป็นเส้น หรือ เสาแคบๆ ที่มี ขนาด อยู่ในระดับนาโนเมตร ทำให้ปรากฏการณ์ทางควอนตัมที่เกิดขึ้นในโครงสร้างของพอร์ซซิลิคอน จัดอยู่ใน ประเภทควอนตัมในเชิง 1 มิติ โดยจะมีลักษณะของแถบพลังงานดังแสดงในรูปที่ 2.7 ซึ่ง ความกว้างของ ช่องว่างพลังงาน (Eps) มีค่าขึ้นอยู่กับโครงสร้างระดับนาโนเมตรของพอร์ซซิลิคอน

2.2 เทคนิคการสร้างพอร์ซซิลิคอน

กระบวนการสร้างพอร์ซซิลิคอนให้มีโครงสร้างอยู่ในระดับนาโนเมตรมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน [21-25] แต่จะขอพิจารณาถึงเทคนิคการสร้างพอร์ซซิลิคอนที่เหมาะสม สามารถควบคุมตัวแปรต่างๆ ใน การ สร้างได้ และสามารถทำการสร้างในห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ได้

2.2.1 การสร้างพอร์ซซิลิคอนด้วยวิธีการกัดแบบย้อมสี (stain etching)

การสร้างพอร์ซซิลิคอนด้วยวิธีการกัดแบบย้อมสี [26] เป็นเทคนิคที่ทำการจุ่มแผ่นซิลิคอนลงใน สารประกอบของกรดไฮโดรฟลูออริก (hydrofluoric acid : HF) ซึ่งจะประกอบด้วยสารละลายกรด ไฮโดรฟลูออริก กรดไนตริก (nitric : HNO₃) และน้ำในอัตราส่วน 1 : 3 : 5 เป็นส่วนประกอบหลัก นอกจากนี้ยังอาจมีการใช้การกระตุ้นด้วยแสงสว่างในขณะที่ทำการกัดด้วยปฏิกิริยาเคมีเพื่อเป็นตัว ช่วยในการทำปฏิกิริยา



รูปที่ 2.8 ภาพตัดขวางของอุปกรณ์ที่ใช้ในกระบวนการกัดแบบย้อมสี

จากรูปที่ 2.8 กลไกการเกิดปฏิกิริยาเคมีของการกัดแบบย้อมสีคือ การทำให้เกิดประจุโฮลเพื่อ ทำให้เกิดปฏิกิริยาการกัดเนื้อซิลิคอน ซึ่งส่วนมากจะนิยมใช้สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกทำปฏิกิริยา กับ กรดไนตริก เพื่อทำให้เกิดประจุโฮล หลังจากนั้นประจุโฮลที่เกิดขึ้นจะเข้าทำปฏิกิริยากับซิลิคอน และน้ำ เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันได้ซิลิคอนไดออกไซด์ ขณะที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันนี้เอง สารละลายกรดไฮโดร ฟลูออริกก็จะกัดเนื้อซิลิคอนไดออกไซด์บางส่วนออก ซึ่งการเกิดซิลิคอนได ออกไซด์ และการถูกกัดของ ซิลิคอนไดออกไซด์จะเป็นแบบสุ่ม เนื่องจากไม่มีกลไกในการควบคุมทิศทางการทำปฏิกิริยาเคมี ดังนั้น ลักษณะโครงสร้างที่ได้จึงมักจะไม่มีการเรียงแบบ (non-uniform)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการกัดแบบย้อมสีสามารถเขียนเป็นสมการเคมีดังนี้เคมี



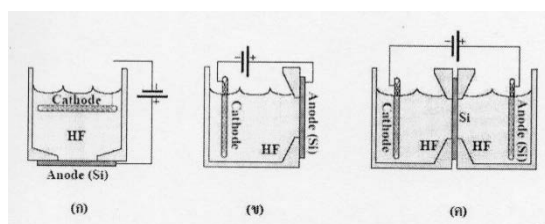
ในระหว่างกระบวนการกัดจะสังเกตเห็นว่า บริเวณที่กำลังทำปฏิกิริยาจะมีสีสันเปลี่ยนไปในรูปแบบที่คล้ายกับวงเวียนสีของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ ทั้งนี้เนื่องจากความหนาของชั้นพอร์ซิลิคอนที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง เช่น มีการเปลี่ยนแปลงของสีสันจากสีน้ำเงินเป็นสีเขียวและสีทองตามลำดับ ส่วนความหนาของชั้นพอร์ซิลิคอนที่ได้จากกระบวนการกัดแบบย้อมสีจะมีค่าประมาณ 100 nm และพื้นผิว ของชั้นพอร์ซิลิคอนที่เกิดขึ้นจากกระบวนการกัดแบบย้อมสีจะมีลักษณะไม่สม่ำเสมอ ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ภาพพื้นผิวของชั้นพอร์ซิลิคอนที่ได้จากการกัดแบบย้อมสี

2.2.2 การสร้างพอร์ซิลิคอนด้วยวิธีการกัดทางไฟฟ้าเคมี (anodization)

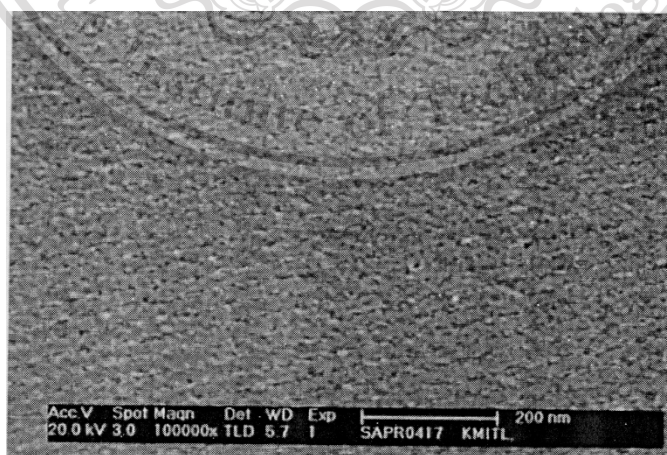
การสร้างพอร์ซิลิคอนด้วยวิธีการกัดทางไฟฟ้าเคมี หรือที่เรียกว่าแอนโนไดซ์เซชัน [27-28] เป็น วิธีที่สามารถควบคุมปฏิกิริยาในการสร้างพอร์ซิลิคอนซึ่งจะส่งผลทำให้เกิดชั้นพอร์ซิลิคอนที่มีความสม่ำเสมอ (uniform) ทั่วกันทั้งแผ่น โดยวิธีการแอนโนไดซ์เซชันนี้จะใช้อุปกรณ์เซลล์ไฟฟ้าเคมีดังรูปที่ 2.10



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.10 ภาพตัดขวางของอุปกรณ์เซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ใช้ในกระบวนการแอนโนไดซ์เซชัน

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

อุปกรณ์เซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ใช้ในกระบวนการแอนโอดิกเซชันนี้จะประกอบด้วยแผ่นซีลีคอนอยู่ที่ขั้วแอโนด ส่วนขั้วแคโทดจะจมอยู่ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก จากรูปที่ 2.10 (ก) เป็น เซลล์ไฟฟ้าเคมีแบบเซลล์แท่งกึ่งเดี่ยวในแนวตั้ง (Single tank vertical cell) มีจุดเด่นอยู่ที่ขณะทำการ สร้างพอร์สซีลีคอนสามารถฉายแสงเพื่อช่วยเร่งปฏิกิริยาการกัดได้ง่าย เมื่อเปรียบเทียบกับรูปที่ 2.10 (ข) จะเห็นได้ว่าเซลล์ไฟฟ้าเคมีเป็นเซลล์แบบแท่งกึ่งเดี่ยวในแนวนอน (Single tank lateral cell) นั้น ทำการฉายแสงได้ยากกว่า ส่วนรูปที่ 2.10 (ค) เป็นเซลล์ไฟฟ้าเคมีแบบเซลล์แท่งคู่ในแนวนอน (double tank lateral cell) ซึ่งพัฒนามาจากเซลล์ไฟฟ้าเคมีแบบเซลล์แท่งกึ่งเดี่ยวในแนวนอนเพื่อใช้ ต่อร่วมกับปั๊ม (pump) ทำให้มีการไหลเวียนของสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกตลอดเวลา ส่งผลให้ได้ ชั้นของพอร์สซีลีคอนที่สม่ำเสมอมากขึ้น แต่ก็ยังมีปัญหาในการฉายแสงเพื่อช่วยเร่งปฏิกิริยาการกัด โดยส่วนใหญ่การสร้างชั้นพอร์สซีลีคอนด้วยวิธีการแอนโอดิกเซชันจะมีเงื่อนไขต่างๆ ที่ใช้ในระหว่าง การสร้างก็คือ ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก การผสมเอทานอลเพื่อช่วยให้เกิด ความสม่ำเสมอของชั้นพอร์สซีลีคอนมากขึ้น [28] เวลาและความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการแอนโอดิกเซชัน ซึ่งปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมีที่เกิดขึ้นจะมีผลทำให้บริเวณผิวของแผ่นซีลีคอนที่สัมผัสกับ สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกถูกกัดเป็นรูพรุนขนาดเล็กๆ จำนวนมาก โดยการสร้างพอร์สซีลีคอน ด้วยวิธีการแอนโอดิกเซชันนี้ สามารถควบคุมความสม่ำเสมอ ความพรุน และความหนาของพอร์สซีลีคอนได้ดีกว่าวิธีการกัดแบบย้อมสี โดยภาพพื้นผิวของชั้นพอร์สซีลีคอนที่เกิดจากกระบวนการแอนโอดิกเซชันจะมีลักษณะสม่ำเสมอกว่าวิธีการกัดแบบย้อมสี แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ภาพพื้นผิวของชั้นพอร์สซีลีคอนที่ได้จากกระบวนการแอนโอดิกเซชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และใช้เฉพาะเพื่อการวิจัยเท่านั้น ไม่อนุญาตให้แก้ไข ใดๆ ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.3 เซลล์ไฟฟ้าเคมี

การสร้างพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการกัดทางไฟฟ้าเคมี [29] เป็นวิธีการที่น่าสนใจเป็นอย่างมากโดยกระบวนการทางไฟฟ้าเคมีเป็นปฏิกิริยาทางเคมีที่มีการถ่ายเทของอิเล็กตรอนเกิดขึ้นภายในระบบสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทคือ

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



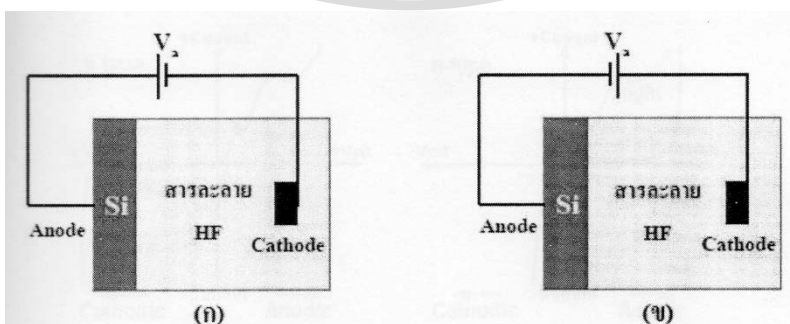
โดยบริเวณที่ซึ่งปฏิกิริยาออกซิเดชันเกิดขึ้นจะถูกเรียกว่า แอโนด (anode) ดังนั้นปฏิกิริยาออกซิเดชันจึงเรียกเป็น ปฏิกิริยาแอโนดิก (anodic reaction)

2. ปฏิกิริยารีดักชัน (reduction reaction) เป็นปฏิกิริยาที่อิเล็กตรอนที่เกิดจากแต่ละอะตอมของสารชนิดหนึ่งถูกถ่ายเท และเข้าร่วมเป็นส่วนหนึ่งของสารอีกชนิดหนึ่งดังตัวอย่างเช่น ไอออนของโลหะในสารละลายปฏิกิริยารีดักชันสามารถเกิดขึ้นได้ดังนี้ คือ



โดยบริเวณที่ซึ่งปฏิกิริยารีดักชันเกิดขึ้นจะถูกเรียกว่า แคโทด (Cathode) ดังนั้นปฏิกิริยารีดักชันจึงเรียกเป็น ปฏิกิริยาแคโทดิก (cathodic reaction)

เมื่อพิจารณาปฏิกิริยาทั้งระบบแล้ว ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีที่เกิดขึ้นจะต้องประกอบด้วยปฏิกิริยาออกซิเดชันอย่างละหนึ่งปฏิกิริยาเป็นอย่างน้อยดังเช่นในระบบของเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ประกอบด้วยสาร 2 ชนิดที่ต่อกันในสารละลายอิเล็กโทรไลต์โดยสารอันหนึ่งจะเป็นแอโนดหรือสารที่ถูกกัด ส่วนสารอีก หนึ่งจะเป็นแคโทด



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามแก้ไขเนื้อหา และตัดย่อ ilyng เองได้ ทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.12 ลักษณะการไปอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมีในลักษณะต่างๆ

(ก) แบบแอโนดิก

(ข) แบบแคโทดิก

พิจารณาเซลล์ไฟฟ้าในรูปที่ 2.12 ทางด้านซ้ายจะเป็นขั้วไฟฟ้าของแผ่นซิลิคอน (Si) ซึ่งจะถูกล้อมอยู่ในสารละลายอิเล็กโทรไลต์ โดยในที่นี้ได้แก่ สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก ส่วนทางด้านขวาจะเป็นขั้วไฟฟ้าซึ่งเป็นขั้วอิเล็กโทรดที่ถูกจุ่มอยู่ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกเช่นกัน จากรูปจะเห็นได้ว่ามีลักษณะในการไบอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมีอยู่ 2 ลักษณะด้วยกันคือ

1. การไบอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมีแบบแอโนดิก (anodic bias)

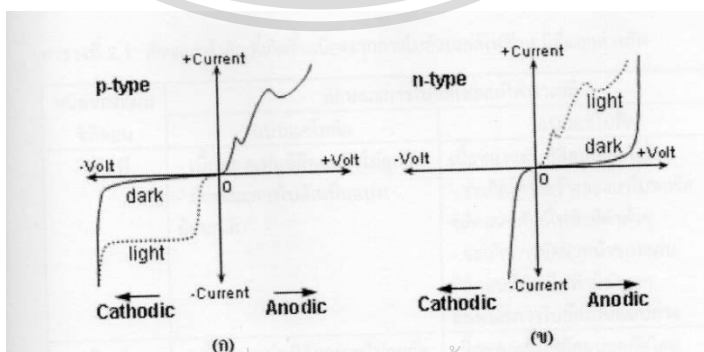
เป็นการไบอัสในลักษณะที่ขั้วไฟฟ้าของแผ่นซิลิคอนจะอยู่ทางขั้วบวก ส่วนขั้วไฟฟ้าที่จุ่มอยู่ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกจะอยู่ทางขั้วลบ การไบอัสในลักษณะเช่นนี้ แผ่นซิลิคอนจะเป็น ขั้วแอโนด มีผลทำให้แผ่นซิลิคอนสามารถถูกกัดได้

2. การไบอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมีแบบแคโทดิก (Cathodic bias)

เป็นการไบอัสในลักษณะที่ขั้วไฟฟ้าของแผ่นซิลิคอนจะอยู่ทางขั้วลบ ส่วนขั้วไฟฟ้าที่จุ่มอยู่ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกจะอยู่ทางขั้วบวก การไบอัสในลักษณะเช่นนี้ แผ่นซิลิคอนจะเป็นขั้ว แคโทด ทำให้ไม่เกิดการกัดแผ่นซิลิคอน

2.3.1 ลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้าภายในเซลล์ไฟฟ้าเคมี

ลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าเคมีที่ใช้สำหรับสร้างชั้นพอร์ซิลิคอนมีลักษณะและพฤติกรรมเป็นแบบซ็อดตีไดโอด (Schottky diode) ที่เกิดขึ้นจากการสัมผัสกันระหว่าง วัสดุสองชนิด คือ แผ่นซิลิคอนกับสารละลายอิเล็กโทรไลต์ ซึ่งในที่นี้ได้แก่ สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก โดยจะพิจารณาถึงลักษณะความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและแรงดันไฟฟ้าภายในเซลล์ไฟฟ้าเคมี ระหว่างแผ่นซิลิคอนชนิดพีและเอ็นในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกในเงื่อนไขในการถูกฉายแสงและไม่ถูกฉายแสงแสดงดังรูปที่ 2.13 [29]



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
รูปที่ 2.13 ลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าเคมีระหว่างแผ่นซิลิคอน
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

(ก) ชนิดพีในสารละลายไฮโดรฟลูออริก

(ข) ชนิดเอ็นในสารละลายไฮโดรฟลูออริก

จากรูปที่ 2.13 แสดงถึงลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้าของเซลล์ไฟฟ้าเคมีระหว่างแผ่นซิลิคอนชนิดพี และเอ็นในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก โดยจะเห็นได้ว่ามีลักษณะในการไบอัสเซลล์ไฟฟ้า เคมีอยู่สองลักษณะด้วยกันคือ การไบอัสเซลล์ไฟฟ้าแบบแอนดิก และการไบอัสเซลล์ไฟฟ้าแบบแคโทดิก สำหรับแผ่นซิลิคอนชนิดพี การไบอัสเซลล์ไฟฟ้าแบบแอนดิก ลักษณะของกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ได้จะมีลักษณะเช่นเดียวกันกับการไบอัสแบบตรง (forward bias) ส่วนการไบอัส เซลล์ไฟฟ้าเคมีแบบแคโทดิก ลักษณะของกระแสและแรงดันไฟฟ้าจะมีลักษณะเหมือนกับการไบอัส แบบย้อนกลับ (reverse bias) โดยจะมีกระแสรั่วซึ่งเกิดขึ้นจากผลของพาหะส่วนน้อยภายในแผ่น ซิลิคอนชนิดพี และจากผลของการฉายแสงเช่นเดียวกันกับไดโอดทั่วไป ส่วนในแผ่นซิลิคอนชนิดเอ็น ลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้าจะมีลักษณะตรงกันข้ามกับแผ่นซิลิคอนชนิดพี โดยการไบอัส เซลล์ไฟฟ้าแบบแอนดิกสำหรับแผ่นซิลิคอนชนิดเอ็นจะมีลักษณะเช่นเดียวกันกับการไบอัสแบบ ย้อนกลับ ส่วนการไบอัสเซลล์ไฟฟ้าแบบแคโทดิก ลักษณะกระแสและแรงดันไฟฟ้าที่ได้จะมีลักษณะ เดียวกันกับการไบอัสแบบตรง

ตารางที่ 2.1 ลักษณะสำคัญที่เกิดขึ้นเนื่องจากการไบอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่แตกต่างกัน

ชนิดของแผ่นซิลิคอน	แบบแอนดิก	แบบแคโทดิก
ชนิดพี	<ul style="list-style-type: none"> - เนื้อของแผ่นซิลิคอนจะไม่ถูกกัด - ลักษณะการไบอัสเป็นแบบย้อนกลับ 	<ul style="list-style-type: none"> เนื้อของแผ่นซิลิคอนถูกกัดโดยจะเกิดโครงสร้างของนาโนพอร์ซิลิคอนที่ศักย์ไฟฟ้ามีค่าต่ำๆ -- จะเกิดการขัดผิวหน้าของแผ่นซิลิคอนที่ศักย์ไฟฟ้ามีค่าสูงๆ - ลักษณะการไบอัสเป็นแบบตรง
ชนิดเอ็น	<ul style="list-style-type: none"> - เนื้อของแผ่นซิลิคอนจะไม่ถูกกัด - ลักษณะการไบอัสเป็นแบบตรง 	<ul style="list-style-type: none"> เนื้อของแผ่นซิลิคอนถูกกัดโดยจะเกิดโครงสร้างของนาโนพอร์ซิลิคอนที่ศักย์ไฟฟ้ามีค่าต่ำๆ - จะเกิดการขัดผิวหน้าของแผ่นซิลิคอนที่ศักย์ไฟฟ้ามีค่าสูงๆ - ลักษณะการไบอัสเป็นแบบย้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารจากตารางที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าการไบอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมีทั้งสองมีลักษณะเป็นรอยสัมผัสขั้วตกร่วมกัน โดยการเกิดพอร์ซิลิคอนจะเกิดขึ้นเฉพาะเงื่อนไขในการไบอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมีแบบแอนดิก

ผิวหน้า ณ ตำแหน่งที่ค่าของกระแสมีค่าสูงสุดที่ยอดกราฟที่สอง และ เมื่อพิจารณาจากยอดกราฟทั้งสอง จุดในรูปจะสังเกตเห็นได้ว่า เมื่อทำการเพิ่มค่าความต่างศักย์ของ เซลล์ไฟฟ้าเคมีให้มีความมากขึ้น จนกระแสภายในเซลล์ไฟฟ้ามีค่าสูงสุดแล้วหลังจากนั้นกระแสก็จะเริ่มมี ค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากเกิดปรากฏการณ์ อิมพีแดนซ์เชิงลบ (negative impedance) ขึ้น โดยจาก รูปที่ 2.14

- ในส่วนของยอดกราฟแรก

สำหรับแผ่นซิลิคอนชนิดพี จะเป็นผลมาจากการเกิดปรากฏการณ์ผลของขนาดควอนตัมขึ้น ภายในโครงสร้างของพอร์ซิลิคอน มีผลทำให้ช่องว่างพลังงานภายในมีความกว้างมากขึ้นกว่าเดิมได้ จนกระทั่งทำให้พาหะนำกระแสไม่สามารถผ่านเข้าไปในโครงสร้างส่วนนั้นได้ ทำให้ค่าความต้านทานภายในของชั้นพอร์ซิลิคอนมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งนำไปสู่การที่กระแสมีค่าลดลง

สำหรับแผ่นซิลิคอนชนิดเอ็น จะเป็นผลมาจากการเกิดบริเวณปลอดพาหะนำกระแสขึ้นรอบๆ โครงสร้างของพอร์ซิลิคอน และเมื่อโครงสร้างของพอร์ซิลิคอนมีขนาดเล็กลงไปเรื่อยๆ จนบริเวณปลอดพาหะนำกระแสสามารถครอบคลุมโครงสร้างของพอร์ซิลิคอนได้ทั้งหมด มีผลทำให้พาหะนำกระแสไม่สามารถผ่านเข้าไปในบริเวณนั้นได้ ทำให้ค่าความต้านทานภายในชั้นพอร์ซิลิคอนมีค่าเพิ่มขึ้น

- ในส่วนยอดกราฟที่สอง

ซึ่งอยู่ระหว่างบริเวณช่องการกักที่ทำให้เกิดพอร์ซิลิคอนกับช่วงการกักแบบขีดผิวหน้า การที่กระแสมีค่าลดลงเป็นผลมาจากการเกิดออกไซด์ที่บริเวณผิวของพอร์ซิลิคอนในระหว่างกระบวนการ กัดนั่นเอง

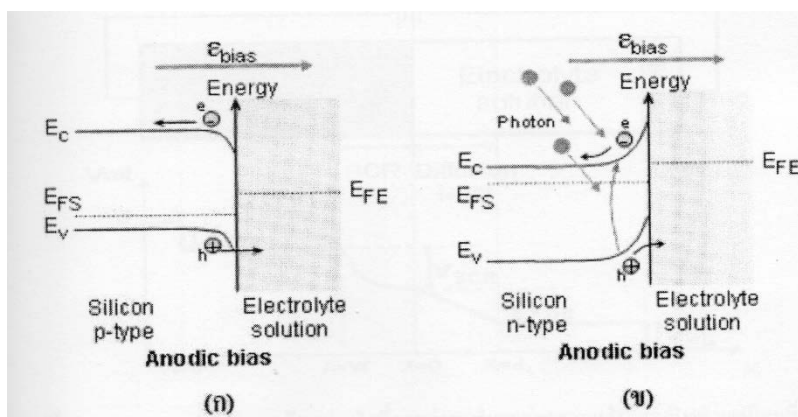
2.3.2 ลักษณะแถบพลังงานบริเวณสัมผัสระหว่างแผ่นซิลิคอนกับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก

บริเวณผิวสัมผัสระหว่างแผ่นซิลิคอนกับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกภายในเซลล์ไฟฟ้าเคมี จะมีลักษณะเป็นแบบช็อกโดยจะมีลักษณะของแถบพลังงานที่บริเวณผิวสัมผัส แสดงดังรูปที่ 2.15 [30]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.15 ลักษณะแถบพลังงานที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างแผ่นผลึกซิลิคอนกับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก

(ก) ชนิดพี

(ข) ชนิดเอ็น

จากภาพข้างต้นจะเห็นได้ว่าการโค้งงอของแถบพลังงานเกิดขึ้นที่บริเวณผิวสัมผัสระหว่างแผ่น ซิลิคอนกับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกโดย

- ในแผ่นซิลิคอนชนิดพี การโค้งงอของแถบพลังงาน ณ บริเวณผิวสัมผัสจะมีลักษณะโค้งงอลง ซึ่งภายใต้การไบอัสเซลล์ไฟฟ้าแบบแอนดิก กระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่านผิวสัมผัสได้เนื่องจากการไบอัสแบบตรงทำให้เกิดกระบวนการกัดเนื้อของแผ่นซิลิคอนอย่างต่อเนื่องขึ้นได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.15 (ก)

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

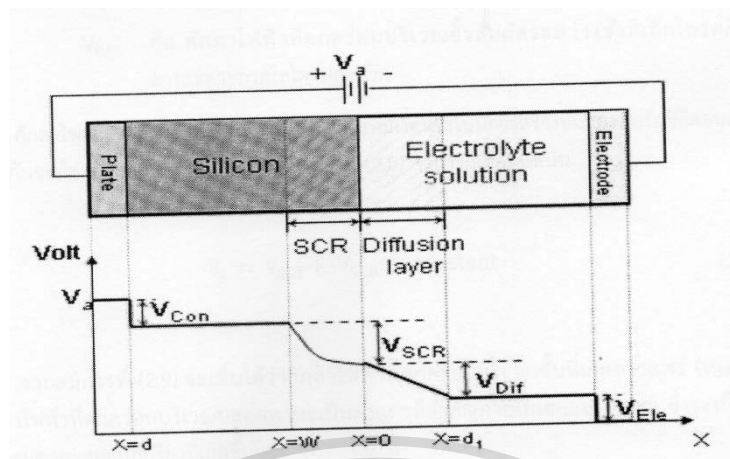
2.3.3 การกระจายตัวของศักดาไฟฟ้าภายในเซลล์ไฟฟ้าเคมี

เซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ใช้ในกระบวนการกัดพอร์ซิลิคอน จะประกอบด้วยแผ่นซิลิคอนถูกล้อมอยู่ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก โดยมีการไบอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมีแบบแอนดิก ซึ่งมีผลทำให้ที่บริเวณผิวสัมผัสต่างๆ ภายในเซลล์ไฟฟ้าเคมีจะมีศักดาไฟฟ้าตกคร่อม และมีการกระจายตัวของศักดาไฟฟ้าภายในเซลล์ไฟฟ้าเคมี แสดงดังรูปที่ 2.16 [31]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.16 การกระจายตัวของศักดาไฟฟ้าที่ตกคร่อมบริเวณต่างๆ ภายในเซลล์ไฟฟ้าเคมีโดยที่

D เป็นความหนาของแผ่นซิลิคอน, W เป็นความกว้างของบริเวณปลอดพาหะนำกระแส และ d , เป็นความกว้างของบริเวณชั้นที่เกิดการแพร่ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก

จากรูปที่ 2.16 จะเห็นได้ว่ามีศักดาไฟฟ้าตกคร่อมบริเวณต่างๆ ภายในเซลล์ไฟฟ้าเคมี ดังนี้คือ

ในเนื้อของแผ่นซิลิคอนจะมีศักดาไฟฟ้าตกคร่อมบริเวณดังต่อไปนี้ คือ

1. ศักดาไฟฟ้าที่ตกคร่อมบริเวณขั้วสัมผัสระหว่างขั้วโลหะกับแผ่นซิลิคอน
2. ศักดาไฟฟ้าที่ตกคร่อมบริเวณปลอดพาหะ ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก จะมีศักดาไฟฟ้าตกคร่อมบริเวณ
3. ศักดาไฟฟ้าที่ตกคร่อมบริเวณสัมผัสระหว่างขั้วอิเล็กโทรดกับสารละลายกรดไฮโดร ฟลูออริก
4. ศักดาไฟฟ้าที่ตกคร่อมบริเวณชั้นที่เกิดการแพร่ (diffusion layer)

ถ้าให้ V_s เป็นศักดาไฟฟ้าที่ป้อนให้แก่เซลล์ไฟฟ้าเคมี เราสามารถเขียนสมการศักดาไฟฟ้ารวม ของระบบ ได้ดังนี้ คือ

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

V_{diff} คือ ศักดาไฟฟ้าที่ตกคร่อมบริเวณชั้นที่เกิดการแพร่

V_{scr} คือ ศักดาไฟฟ้าที่ตกคร่อมบริเวณปลอดพาหะ

V_{con} คือ ศักดาไฟฟ้าที่ตกคร่อมบริเวณขั้วสัมผัสระหว่างขั้วโลหะกับแผ่นซิลิคอน

เอกสารนี้เป็น V_{elec} คือ ศักดาไฟฟ้าที่ตกคร่อมบริเวณขั้วสัมผัสระหว่างขั้วอิเล็กโทรดกับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก การค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ศักดาไฟฟ้า V_{con} กับ V_{alee} ในเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่มีเงื่อนไขในการสร้างขึ้นของพอร์สซิลิคอนแบบเดียวกันจะมีค่าที่คงที่เสมอ ดังนั้นจึงทำให้สมการที่ (2.8) สามารถเขียนได้เป็น

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

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

ในแผ่นซิลิคอนชนิดพี เนื่องจากการไบอัสแบบตรง ทำให้ไม่เกิดบริเวณปลอดพาหะขึ้นในแผ่นซิลิคอน ดังนั้นศักดาไฟฟ้าหลักที่ตกคร่อมอยู่ในเซลล์ไฟฟ้าเคมีก็คือ ศักดาไฟฟ้าที่ตกคร่อม

บริเวณชั้นที่เกิดการแพร่โดย V_{arf} นี้จะควบคุมอ็อนลบของฟลูออรีนที่อยู่ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกตรงบริเวณที่เกิดการแพร่

- ในแผ่นซิลิคอนชนิดเอ็น เนื่องจากการไบอัสแบบย้อนกลับ ทำให้ที่บริเวณผิวสัมผัสของแผ่นซิลิคอนชนิดเอ็นเกิดบริเวณปลอดพาหะขึ้น และเกิดศักดาไฟฟ้าตกคร่อมบริเวณปลอดพาหะตกคร่อมบริเวณนี้ โดยบริเวณปลอดพาหะนี้จะเป็นตัวควบคุมพาหะนำกระแสภายในแผ่นซิลิคอน ซึ่งจะมีผลต่อปฏิกิริยาเคมีในการกัด และโครงสร้างของพอร์สซิลิคอนที่จะถูกสร้างขึ้น

2.4 กลไกในการเกิดพอร์สซิลิคอน [32]

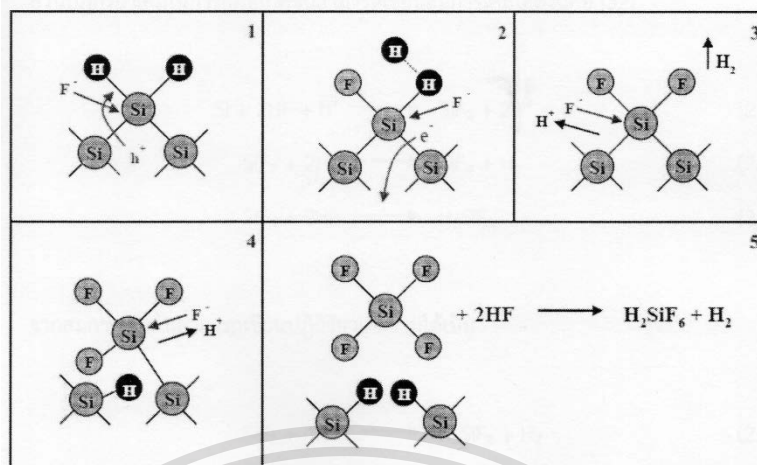
2.4.1 ปฏิกิริยาเคมีในการกัดบริเวณผิวของแผ่นซิลิคอน

ในสภาวะปกติเมื่อทำการจุ่มผลึกซิลิคอนลงไปนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก ผิวหน้าของผลึกซิลิคอนจะไม่ถูกสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกทำปฏิกิริยา แต่เมื่อไรก็ตามที่แผ่นซิลิคอนถูกนำมาอยู่ในเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่มีการไบอัสแบบแอโนดิกแล้ว ผิวหน้าของแผ่นซิลิคอนที่สัมผัสกับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกจะถูกกัดเป็นรูพรุนขนาดเล็กๆ เกิดเป็นชั้นพอร์สซิลิคอนขึ้นมาโดยปฏิกิริยาเคมีและ ขั้นตอนในการกัดเนื้อของผลึกซิลิคอน แสดงดังรูปที่ 2.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.17 ขั้นตอนและกลไกทางเคมีในการกัดเนื้อของแผ่นซิลิคอน

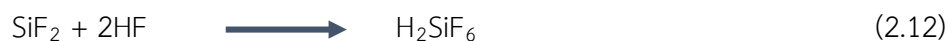
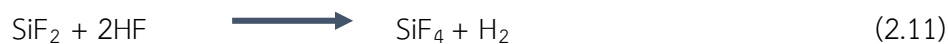
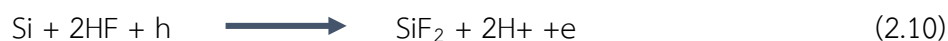
เริ่มต้นจากขั้นตอนแรกเมื่อยังไม่มีกรไบอัสแบบแอนอดิก ซึ่งเป็นกระบวนการในการป้อนศักย์ไฟฟ้าบวกให้กับซิลิคอน (Si) ที่บริเวณผิวหน้าของแผ่นซิลิคอนจะมีอะตอมของไฮโดรเจนปกคลุมอยู่ทั่วบริเวณ มีผลทำให้อิออนของฟลูออรีนที่อยู่ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกไม่สามารถที่จะเข้ามาทำลายพันธะเคมีระหว่างซิลิคอนกับไฮโดรเจนอะตอมได้ (Si - H) แต่เมื่อไหร่ก็ตามที่มีการไบอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมีแบบแอนอดิก โดยมีการป้อนศักย์ไฟฟ้าบวกให้แก่ซิลิคอน (Si) จนพาหะโฮล เคลื่อนที่มาถึงบริเวณผิวหน้าของแผ่นซิลิคอนที่สัมผัสกับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก มีผลทำให้ พันธะเคมีระหว่างซิลิคอนกับไฮโดรเจนอะตอมที่ผิวสามารถถูกทำลายได้ โดยอิออนของฟลูออรีนที่อยู่ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกเกิดเป็นพันธะเคมีระหว่างซิลิคอนกับฟลูออรีน (Si - F) ขึ้นมาแทน ดังแสดงเอาไว้ในขั้นตอนที่ 1 และเนื่องจากอิทธิพลในการโพลาไรซ์ (polarizing) ของพันธะฟลูออรีน ที่เกิดขึ้นในขั้นตอนแรก ส่งผลให้อิออนของฟลูออรีน (F) อีกตัวที่อยู่ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกสามารถที่จะเข้าทำลายพันธะเคมีระหว่างซิลิคอนกับไฮโดรเจนอะตอม (Si - H) ที่ยังคงเหลืออยู่อีก ข้างหนึ่งได้พร้อมกับการเกิดโมเลกุลของก๊าซไฮโดรเจน (H₂) และมีการปล่อยพาหะอิเล็กตรอน 1 ตัวไปยังซิลิคอน ดังแสดงในขั้นตอนที่ 2 และ 3 ต่อจากนั้นจะเกิดการเหนี่ยวนำวาลเลนซ์อิเล็กตรอน โดยกลุ่มของพันธะเคมีซิลิคอนกับฟลูออรีน (Si - F groups) ที่เกิดขึ้นในขั้นตอนที่ 2 และ 3 มีผลทำให้พันธะเคมีระหว่างซิลิคอนที่ผิวกับซิลิคอนที่อยู่ถัดเข้ามามีความแข็งแรงลดลง ทำให้พันธะเคมีดังกล่าว สามารถที่จะถูกทำลายได้โดยอิออนของฟลูออรีนเกิดเป็นพันธะเคมีระหว่างซิลิคอนกับฟลูออรีนขึ้นมา แทน ดังแสดงในขั้นตอนที่ 3 และ 4 จากขั้นตอนนี้เองจะเห็นได้ว่า อะตอมของซิลิคอนจะถูกดึงให้หลุด ออกจากผิวหน้าของแผ่นซิลิคอนพร้อมกับการเกิดพันธะเคมีระหว่างไฮโดรเจนกับซิลิคอนอะตอมที่อยู่ถัดเข้ามา ดังแสดงเอาไว้ในขั้นตอนที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ส่วนปฏิกิริยาเคมีในการกัดที่เกิดขึ้นสามารถเขียนสมการเคมีได้ดังนี้คือ [32]



จากสมการข้างต้นสามารถเขียนปฏิกิริยาเคมีรวมได้เป็น



จากสมการปฏิกิริยาเคมีข้างต้นนั้น เริ่มจากปฏิกิริยาเคมีในสมการที่ (2.10) ที่มีแผ่นซิลิคอน (Si) เป็นสารเริ่มต้นอยู่ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก (HF) โดยในปฏิกิริยาเคมีนี้จำเป็นต้องอาศัย โอล (h) ในการเกิดปฏิกิริยาเคมี ซึ่งจะทำให้เกิด SiF₂ ขึ้นที่บริเวณผิวของแผ่นซิลิคอน ต่อจากนั้นก็เกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่าง SiF₂ กับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก ดังแสดงในสมการที่ (2.11) ได้ ผลลัพธ์เป็น SiF₄ หลุดออกมาจากผิวของแผ่นซิลิคอน ในระหว่างกระบวนการกัดขั้นตอนนี้เอง สังเกตได้ว่าจะเกิดก๊าซไฮโดรเจน (H₂) ขึ้นที่บริเวณผิวหน้าของแผ่นซิลิคอนที่ถูกกัด ท้ายสุดก็จะเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่าง SiF₄ กับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก ซึ่งจะได้ออกผลสุดท้ายก็คือสารละลาย H₂SiF₆ อยู่ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก ดังแสดงในสมการที่ (2.12)

2.4.2 การเกิดรูพรุนของพอร์สซิลิคอน

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

ทั้งสองแบบมีลักษณะการกัดที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในระหว่าง การแอโนไดซ์เซชัน โดยประจุพาหะชนิดบวก (โฮล) จะเป็นตัวที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อ กระบวนการกัดทั้งสองลักษณะ

- การกัดแบบขัดผิวหน้าด้วยไฟฟ้า

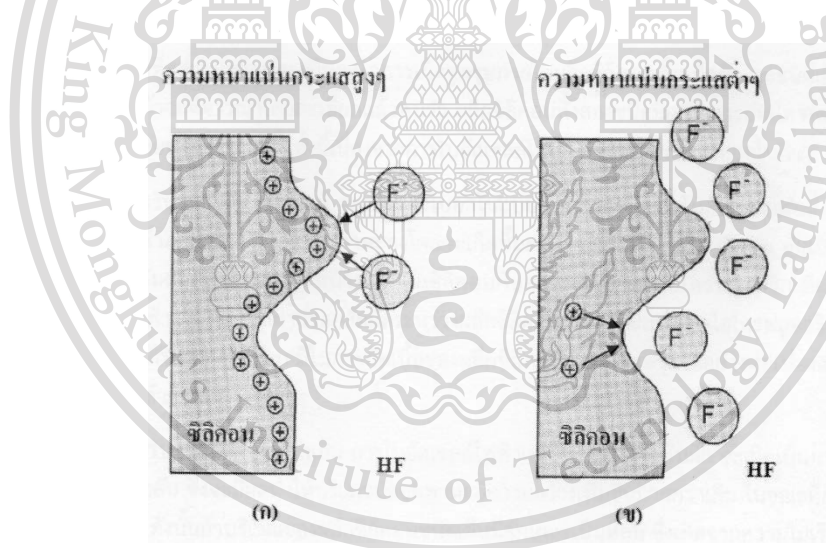
การกัดในลักษณะนี้จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อทำการป้อนความหนาแน่นกระแสให้แก่เซลล์ไฟฟ้าเคมีในปริมาณสูงๆ ($J > J_{ps}$) ซึ่งจะทำให้ที่บริเวณผิวสัมผัสของแผ่นซิลิคอนมีปริมาณของพาหะโฮลสะสมอยู่ เป็นจำนวนมาก ทำให้การกัดที่เกิดขึ้นจะถูกจำกัดโดยอ็อกซิเจนของฟลูออรีนที่อยู่ในสารละลายกรดไฮโดร ฟลูออริก โดยอ็อกซิเจนฟลูออรีนเหล่านี้จะเคลื่อนที่ภายในสนามไฟฟ้า ดังนั้นถ้าผิวของแผ่นซิลิคอนมีส่วน ที่ยื่น

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ออกมา ดังแสดงในรูปที่ 2.18 (ก) จะมีผลทำให้ที่บริเวณปลายสุดของส่วนที่ยื่นออกมามีปริมาณ ความเข้มข้นของสนามไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งจะดึงเอาไอออนของฟลูออรีนเข้ามาทำปฏิกิริยาเคมีในการกัดเนื้อ ของแผ่นซิลิคอนที่บริเวณปลายสุดที่ยื่นออกมาเป็นส่วนมาก มีผลทำให้ส่วนที่ยื่นออกมาถูกกัดจนเรียบ ดังนั้นจึงเรียกการกัดในลักษณะเช่นนี้ว่า การขัดผิวหน้าด้วยไฟฟ้า

- การกัดแบบทำให้เกิดพอร์สซิลิคอน

ลักษณะการกัดแบบทำให้เกิดพอร์สซิลิคอน จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อทำการป้อนความหนาแน่นกระแสในปริมาณต่ำ ($J < J_{ps}$) ซึ่งจะทำให้ปริมาณไอออนของฟลูออรีนในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก มีจำนวนมากว่าจำนวนของโฮลที่อยู่บริเวณผิวสัมผัสของผลึกซิลิคอน ทำให้การกัดในลักษณะนี้ จะถูกจำกัดโดยจำนวนโฮล ดังนั้นถ้าผิวของผลึกซิลิคอนมีลักษณะเป็นหลุมหรือรอย ซึ่งเกิดจากความไม่เรียบของพื้นผิวหรือจุดบกพร่องต่างๆ ในผลึกซิลิคอน ดังแสดงในรูปที่ 2.18 (ข) เมื่อทำการไบอัส แบบแอโนดิกให้แก่เซลล์ไฟฟ้าเคมีจะมีผลทำให้ที่บริเวณก้นหลุมหรือจุดบกพร่องเหล่านี้มีปริมาณ ความเข้มข้นสนามไฟฟ้าสูงกว่าที่บริเวณอื่นๆ ซึ่งจะเอาพาหะโฮลเข้ามายังจุดนี้กันมาก ดังแสดงในรูป ที่ 2.19 ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีในการกัดเนื้อของผลึกซิลิคอนที่บริเวณก้นหลุมจนเกิดเป็นรูพรุนลึกลงไปในเนื้อของผลึกซิลิคอน



รูปที่ 2.18 แบบจำลองการกัดเนื้อของผลึกซิลิคอนทั้งสองลักษณะ

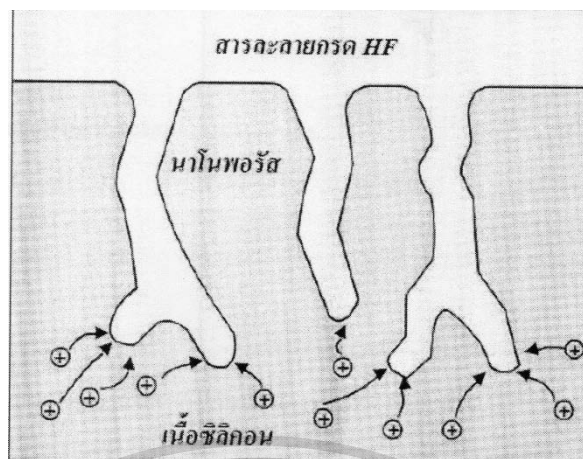
(ก) ลักษณะการกัดแบบขัดผิวหน้าด้วยไฟฟ้า

(ข) ลักษณะการกัดแบบทำให้เกิดพอร์สซิลิคอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.19 การเคลื่อนที่พาหะโฮลที่ถูกดึงมารวมกันที่บริเวณก้นหลุมเนื่องจากอิทธิพลของสนามไฟฟ้า

จากที่กล่าวมาข้างต้น เป็นกลไกการเกิดรูพรุนภายในผลึกซิลิกอนทั้งชนิดพี และชนิดเอ็นอย่างง่าย ซึ่งถ้าจะพิจารณาโดยละเอียดแล้วพบว่า ผลึกซิลิกอนทั้งสองชนิดมีกลไกการเกิดโครงสร้างของ ขอรัสซิลิกอนที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากการไบอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมีในลักษณะแบบแอนดิก

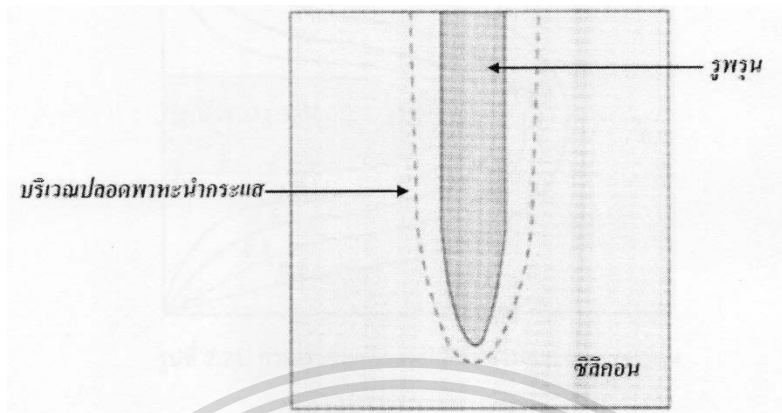
สำหรับผลึกซิลิกอนชนิดพี จะเป็นการไบอัสในแบบตรง ซึ่งการไบอัสในลักษณะเช่นนี้จะปลด สนามไฟฟ้าภายในบริเวณปลอดพาหะลงโดยจะเกิดขึ้นตามผิวสัมผัสของผลึกซิลิกอน อันเป็นผลมา จากการสัมผัสกันระหว่างผิวหน้าของผลึกซิลิกอนกับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก มีผลทำให้ กระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่านรอยสัมผัสระหว่างผลึกซิลิกอนกับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกได้ ทำให้เกิดปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมีในการกัดเนื้อของผลึกซิลิกอนเกิดเป็นรูพรุนได้อย่างต่อเนื่องตามที่ได้ กล่าวมาแล้วข้างต้น

สำหรับผลึกซิลิกอนชนิดเอ็น การไบอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมีในลักษณะแอนดิก จะเกิดเป็นการไบอัสแบบย้อนกลับ ซึ่งจะมีผลทำให้บริเวณปลอดพาหะมีความกว้างเพิ่มขึ้นมากกว่าเดิม ในขณะที่ยังไม่ทำ การไบอัส ดังนั้นถ้าบริเวณของผลึกซิลิกอนชนิดเอ็นมีลักษณะเป็นหลุม ซึ่งเกิดจากความไม่เรียบของ ชั้นผิว จะมีผลทำให้บริเวณผนังรอบๆ หลุมเหล่านั้นเกิดบริเวณปลอดพาหะขึ้นรอบๆ ดังแสดงในรูปที่2.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.20 บริเวณปลอดพาหะที่เกิดขึ้นรอบๆ ผนังของรูพรุนที่บริเวณผิวของผลึกซิลิกอน โดยความกว้างของบริเวณปลอดพาหะที่เกิดขึ้นจะมีค่าเท่ากับ

$$W = \sqrt{\frac{2EsEoVscr}{qNd}} \quad (2.14)$$

W คือ ความกว้างบริเวณปลอดพาหะ

Es คือ เอมิตีวิตี (permittivity) ของผลึกซิลิกอน Si

Eo คือ เอมิตีวิตีของสุญญากาศ

Vscr คือ ความต่างศักย์ที่ตกคร่อมบริเวณปลอดพาหะ

q คือ ประจุของอิเล็กตรอน

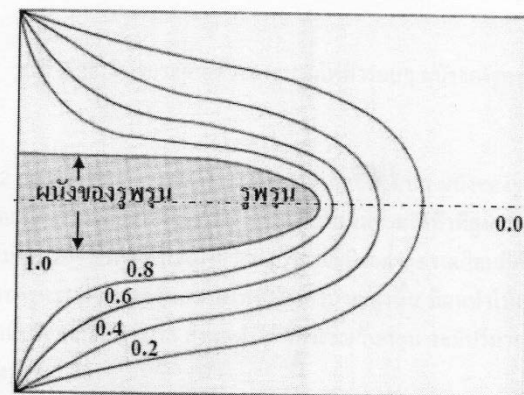
Np คือ จำนวนอะตอมสารเจือผู้ให้

จากสมการที่ (2.14) จะเห็นได้ว่าความกว้างของบริเวณปลอดพาหะจะมีค่าขึ้นอยู่กับค่าความต่างศักย์ที่ตกคร่อมบริเวณปลอดพาหะ (Vsc) และจำนวนอะตอมสารเจือผู้ให้ (NB) ในผลึกซิลิกอน ชนิดอื่น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.21 การกระจายตัวของศักดาไฟฟ้ารอบๆ ผนังของรูพรุน

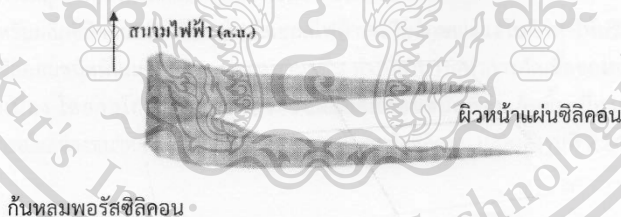
บริเวณปลอดพาหะที่เกิดขึ้นรอบรูพรุนจะมีการกระจายตัวของศักดาไฟฟ้าเป็นไปตามรูปที่ 2.21 โดยมีปริมาณของสนามไฟฟ้ารอบๆ ผนังรูพรุน (E) มีค่าเท่ากับ

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

ส่วนค่าสนามไฟฟ้าที่เกิดรอบๆ ก้นหลุมของรูพรุน (E) จะมีค่า

$$E_s = V_{scr}/r \quad (2.16)$$

r คือ รัศมีก้นหลุมของรูพรุน



รูปที่ 2.22 การกระจายตัวของสนามไฟฟ้ารอบๆ ผนังของรูพรุน

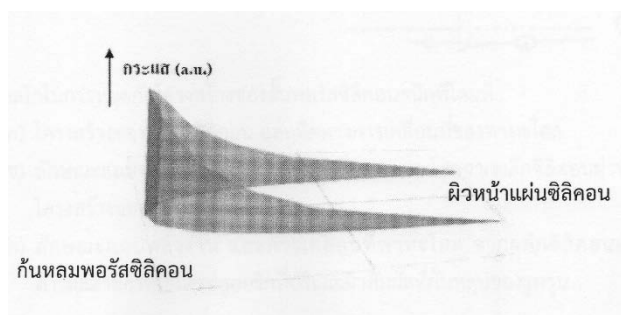
จากรูปที่ 2.22 จะเห็นได้ว่าขนาดของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นรอบๆ ผนังของรูพรุนจะมีขนาดที่แตกต่างกัน กล่าวคือผนังบริเวณก้นหลุมของรูพรุนมีปริมาณของสนามไฟฟ้าที่สูงกว่าบริเวณผนังรอบๆ ของรูพรุนอยู่ถึงประมาณ 2 - 3 เท่า ส่วนผนังบริเวณปากรูจะมีค่าต่ำสุดจนเกือบมีค่าเข้าใกล้ศูนย์ ซึ่งจากการที่ก้นหลุมของรูพรุนมีขนาดของสนามไฟฟ้าในปริมาณสูงนั้น มีผลทำให้สามารถดึงดูดพาหะ นำกระแส (โฮล) มาที่บริเวณนี้กันได้มาก ส่งผลทำให้ที่บริเวณก้นหลุม จะมีปริมาณกระแสที่สูงกว่า บริเวณอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



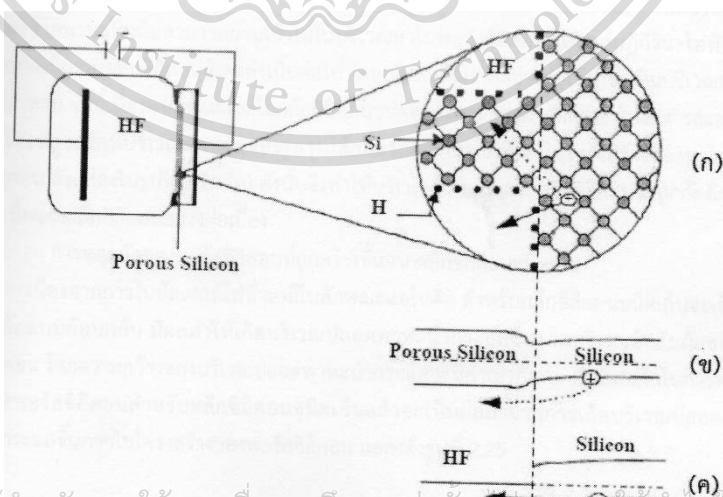
รูปที่ 2.23 การกระจายตัวของกระแสรอบๆ ผนังของรูพรุน

2.4.3 กลไกในการหยุดกัดโครงสร้างของพอร์สซิลิคอน

จากการเกิดโครงสร้างของพอร์สซิลิคอนขึ้น โดยพาหะนำกระแสชนิดบวกหรือโฮลในผลึกซิลิคอนจะเป็นตัวการที่มีบทบาทและความสำคัญ ต่อกระบวนการกัดเนื้อของผลึกซิลิคอนด้วยวิธีการทางไฟฟ้าเคมี เป็นกระบวนการกัดที่สามารถลดขนาดโครงสร้างของพอร์สซิลิคอนให้มีขนาดเล็กลงเรื่อยๆ จนสามารถเข้าสู่ในระดับนาโนเมตร แต่กระบวนการนี้ก็จะอาศัยกลไกในการหยุดกัดโครงสร้างของพอร์สซิลิคอนด้วย ซึ่งจากการศึกษาพบว่าพอร์สซิลิคอนที่ถูกสร้างขึ้นจากผลึกซิลิคอนชนิดพีและ ชนิดเอ็นจะมีกลไกในการหยุดกัดที่ต่างกกัน กล่าวคือ

- การหยุดกัดพอร์สซิลิคอนที่ถูกสร้างขึ้นจากซิลิคอนชนิดพี

สำหรับผลึกซิลิคอนชนิดพี การไบอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมีในลักษณะแอนอดิกทำให้บริเวณผิวสัมผัสของผลึกซิลิคอนชนิดพีไม่เกิดบริเวณปลดพาหะขึ้น ทำให้สามารถทำการกัดเนื้อของผลึกซิลิคอนได้อย่างต่อเนื่อง โดยกลไกการหยุดกัดสำหรับผลึกซิลิคอนชนิดพีจะเกิดขึ้นเนื่องจากการเกิด ปฏิกิริยาการผลของขนาดควอนตัมขึ้นในส่วนของนาโนพอร์สซิลิคอน แสดงดังรูปที่ 2.24



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามเผยแพร่ต่อสาธารณะ และต้องอ้างอิงชื่อของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.24 กลไกในการหยุดกัดโครงสร้างของชั้นพอร์สซิลิคอนชนิดพี

โดยที่ (ก) โครงสร้างของพอร์สซิลิคอน และทิศทางการเคลื่อนที่ของพาหะโฮล

(ข) ลักษณะแถบพลังงาน และการเคลื่อนที่ของพาหะโฮลจากผลึกซิลิคอนผ่านเข้าไปในโครงสร้างของพอร์สซิลิคอน

(ค) ลักษณะแถบพลังงาน และการเคลื่อนที่พาหะโฮล จากผลึกซิลิคอนผ่านไปยังสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกที่บริเวณผิวสัมผัสที่กั้นหลุมของรูพรุน

จากรูปจะเห็นได้ว่า เนื้อของผลึกซิลิคอนชนิดพีจะถูกกัดจนเป็นโครงสร้างของพอร์สซิลิคอนขึ้นมา และเมื่อนำการกัดอย่างต่อเนื่องจนทำให้โครงสร้างของพอร์สซิลิคอนมีขนาดเล็กลงไปเรื่อยๆ จนมีขนาดเข้าสู่ในระดับนาโนเมตรดังแสดงในรูปที่ 2.24 (ก) มีผลทำให้ช่องว่างพลังงานในพอร์ส ซิลิคอนมีความกว้างมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับผลึกซิลิคอนเดิม ทั้งนี้เป็นผลมาจากการเกิด ปฏิกิริยาการกัดของขนาดควอนตัม ทำให้เกิดความแตกต่างของระดับพลังงานสูงสุดของแถบวาเลนซ์ ระหว่างพอร์สซิลิคอนกับผลึกซิลิคอนขึ้น โดยค่าความแตกต่างที่เกิดขึ้นนี้จะพ้องกับค่า E_g เท่ากับ AE, สำหรับโฮล และเท่ากับ AE สำหรับอิเล็กตรอน ดังนั้นการที่พาหะโฮลหรือผลึกซิลิคอน ชนิดพีจะสามารถผ่านเข้าไปในโครงสร้างของนาโนพอร์สซิลิคอนเพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีใน การกัดโครงสร้างในส่วนต่อไปได้นั้น พาหะโฮลจำเป็นที่จะต้องได้รับพลังงานที่มีค่ามากกว่า AE, ดัง แสดงในรูปที่ 2.24 (ข) แต่เมื่อไหร่ก็ตามที่ E_g มีค่าพลังงานมากกว่าพลังงานภายนอกที่ ให้กับโฮล จะมีผลทำให้พาหะโฮลในผลึกซิลิคอนไม่สามารถผ่านเข้าไปในส่วนของนาโนพอร์สซิลิคอน ได้ ผลที่ตามมาคือเกิดการหยุดกัดโครงสร้างของพอร์สซิลิคอนในส่วนนี้ขึ้นทันที จากที่กล่าวมานั้นจะ เห็นได้ว่า AE, นั้นมีค่าขึ้นอยู่กับขนาดของนาโนพอร์สซิลิคอน โดย AE, จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของ นาโนพอร์สซิลิคอนมีค่าลดลง อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าจะเกิดการหยุดกัดในส่วนของนาโนพอร์สซิลิคอน เนื่องจากพาหะโฮลไม่สามารถผ่านเข้าไปในบริเวณนาโนพอร์สซิลิคอนนี้ได้ แต่ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีใน การกัดเนื้อของผลึกซิลิคอนยังคงดำเนินต่อไป โดยบริเวณที่ถูกกัดอย่างต่อเนื่องจะเป็นบริเวณกั้นหลุม ของรูพรุน ทั้งนี้เนื่องจากพาหะโฮลในผลึกซิลิคอนชนิดที่สามารถผ่านผิวสัมผัสเข้าไปในสารละลายกรด ไฮโดรฟลูออริกที่บริเวณกั้นหลุมของรูพรุนได้สะดวกกว่าที่ผ่านเข้าไปในโครงสร้างของนาโนพอร์ส ซิลิคอน ดังแสดงในรูปที่ 2.24 (ค) ดังนั้นจึงทำให้บริเวณกั้นหลุมของพอร์สซิลิคอนจะถูกกัดลึกเข้าไป ในเนื้อของผลึกซิลิคอนอย่างต่อเนื่อง

- การหยุดกัดของพอร์สซิลิคอนที่ถูกสร้างขึ้นจากผลึกซิลิคอนชนิดเอ็น

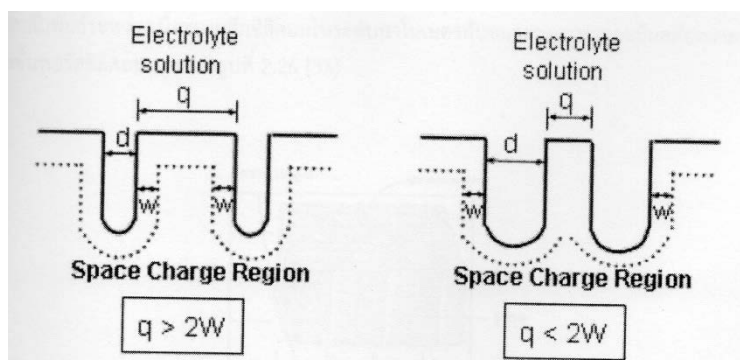
เนื่องจากการไบอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมีในลักษณะแอนดิก สำหรับผลึกซิลิคอนชนิดเอ็นจะเป็นการไบอัสแบบย้อนกลับ มีผลทำให้เกิดบริเวณปลอดพาหะนำกระแสขึ้นตามบริเวณผิวสัมผัสของผลึก ซิลิคอน โดยความกว้างของบริเวณปลอดพาหะนำกระแสจะมีค่าเท่ากับ W ดังนั้นกลไกในการหยุดกัด ของพอร์สซิลิคอนสำหรับผลึกซิลิคอนชนิดเอ็นแล้วจะเป็นผลมาจากการเกิดบริเวณปลอดพาหะ นำกระแสขึ้นภายใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.25 แผนภาพบริเวณปลอดพาหะนำกระแสที่เกิดขึ้นในโครงสร้างของพอร์สซิลิคอนที่สร้างจากผลึกซิลิคอนชนิดเอ็น โดยที่

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

จากรูปที่ 2.25 (ก) จะเห็นได้ว่าพอร์สซิลิคอนที่สร้างขึ้นจากแผ่นซิลิคอนชนิดเอ็น เมื่อถูกทำการ กัดจะทำให้ขนาดโครงสร้างของพอร์สซิลิคอน (4) มีขนาดลดลงอย่างต่อเนื่อง เกิดเป็นรูพรุนภายใน แผ่นซิลิคอนชนิดเอ็นขึ้น โดยมีบริเวณปลอดพาหะนำกระแสปกคลุมอยู่รอบๆ รูพรุนแต่ละรูในกรณีนี้ ขนาดของโครงสร้างพอร์สซิลิคอนยังมีขนาดที่มากกว่าสองเท่าของความกว้างบริเวณปลอดพาหะ นำกระแส ($9-2w$) ดังนั้นจึงยังสามารถทำการกัดเพื่อลดขนาดของโครงสร้างพอร์สซิลิคอนในส่วนนี้ ต่อไปได้อีกจนเมื่อไรก็ตามที่ขนาดของโครงสร้างพอร์สซิลิคอนมีขนาดที่น้อยกว่าสองเท่าของความ กว้างของบริเวณปลอดพาหะ นำกระแส ($q < 2w$) ดังรูปที่ 2.25 (ข) จะมีผลทำให้เกิดการซ้อนทับกัน ของบริเวณปลอดพาหะนำกระแส จนโครงสร้างของพอร์สซิลิคอนถูกครอบคลุมโดยบริเวณปลอดพาหะ นำกระแสทั้งหมด ส่งผลให้เกิดการหยุดกัดของพอร์สซิลิคอนในส่วนนี้

2.5 ความพรุนของพอร์สซิลิคอน

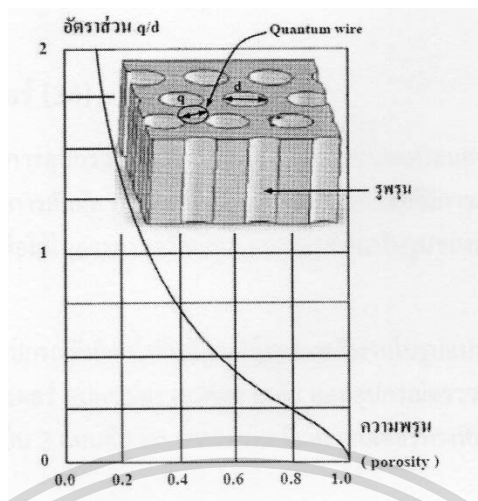
โดยทั่วไปแล้ววัสดุใดๆก็ตามที่มีลักษณะโครงสร้างเป็นรูพรุนจำนวนมากกระจายอยู่ภายในเนื้อ ของวัสดุ ก็ จะถือได้ว่าวัสดุนั้นเป็นวัสดุที่มีความพรุน โดยค่าความพรุนนี้เป็นปริมาณที่สามารถแบ่งออก ได้ถึงลักษณะ ขนาดโครงสร้างของวัสดุได้อย่างคร่าวๆ ซึ่งสามารถหาได้จากการเปรียบเทียบอัตราส่วน ระหว่างมวลหรือ ปริมาตรของเนื้อวัสดุกับช่องว่างที่เกิดขึ้นภายในวัสดุนั้นๆ

พอร์สซิลิคอน คือผลึกซิลิคอนที่มีลักษณะเป็นรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมากโดยขนาดของเนื้อผลึก ซิลิคอนที่ เหลือและขนาดของรูพรุน จะมีขนาดอยู่ในระดับนาโนเมตร เนื้อของผลึกซิลิคอนในระดับนา โนเมตรนี้จะ แสดงคุณสมบัติทางผลของขนาดควอนตัม ส่งผลในลักษณะของควอนตัมในเชิง 1 มิติ ซึ่งความสัมพันธ์ ระหว่างเนื้อของผลึกซิลิคอนในระดับนาโนเมตรกับขนาดของรูพรุนจะมีผลต่อความพรุน ของชั้นพอร์ส ซิลิคอน แสดงดังรูปที่ 2.26

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

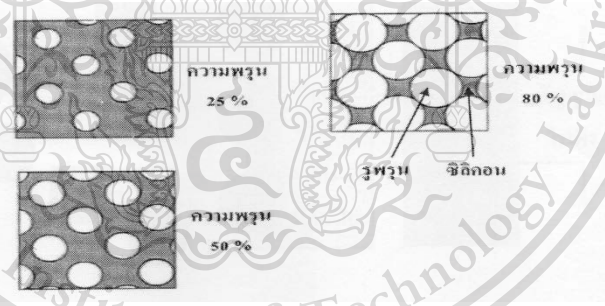
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.26 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของขนาดเนื้อซิลิคอน (q) กับขนาดของรูพรุน (d) ที่มีต่อความพรุนของพอร์สซิลิคอน

จากรูปข้างต้นจะเห็นได้ว่า ทั้งขนาดของเนื้อซิลิคอนและขนาดของรูพรุนมีผลต่อความพรุนของพอร์สซิลิคอน โดยถ้าเนื้อของผลึกซิลิคอนถูกกัดจนมีขนาดเล็กลง หรือขนาดของรูพรุนมีขนาดกว้างขึ้น จะมีผลทำให้ชั้นพอร์สซิลิคอนนั้นมีความพรุนมากกว่าเดิม แสดงดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 แผนภาพจำลองด้านบนของโครงสร้างพอร์สซิลิคอนที่เปอร์เซ็นต์ความพรุนต่างๆกัน

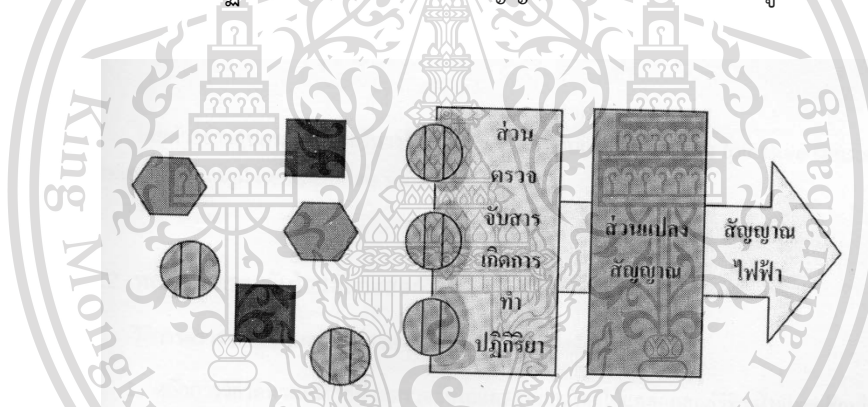
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.6 นิยามของเซนเซอร์

เนื่องจากความต้องการอุปกรณ์ที่มีความสามารถใช้แทนการตอบสนองทางประสาทสัมผัสของมนุษย์ เช่น การมองเห็น การสัมผัส การดมกลิ่น และการลิ้มรส จึงได้มีการสร้างและพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เซนเซอร์เพื่อใช้ในการตรวจวัดและแสดงผลออกมาในรูปของสัญญาณหรือพลังงานในรูปแบบหนึ่งเซนเซอร์ หมายถึงอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณพลังงานในรูปแบบต่างๆ เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า เช่น โฟโตทรานซิสเตอร์ อุปกรณ์ตรวจวัดความดัน และอุปกรณ์ตรวจวัดไอสารเคมี เป็นต้น ซึ่งสามารถแบ่งเซนเซอร์ได้เป็น 2 แบบคือ เซนเซอร์ทางเคมีและเซนเซอร์ทางฟิสิกส์

2.6.1 เซนเซอร์ทางเคมี (Chemical sensors)

เซนเซอร์ทางเคมี จัดเป็นอุปกรณ์ตรวจจับสารประเภทหนึ่ง โดยส่วนประกอบพื้นฐานของเซนเซอร์ทางเคมีประกอบด้วยขั้นตอนการตรวจจับสาร เชื่อมต่อกับส่วนแปลงสัญญาณ โดยขั้นตอนการตรวจจับสารจะทำหน้าที่ตรวจจับด้วยการทำปฏิกิริยากับโมเลกุลของสารที่ผ่านเข้ามา จากนั้นส่วนแปลงสัญญาณจะทำหน้าที่แปลงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นไปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้าแสดงดังรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 ส่วนประกอบพื้นฐานของเซนเซอร์ทางเคมี

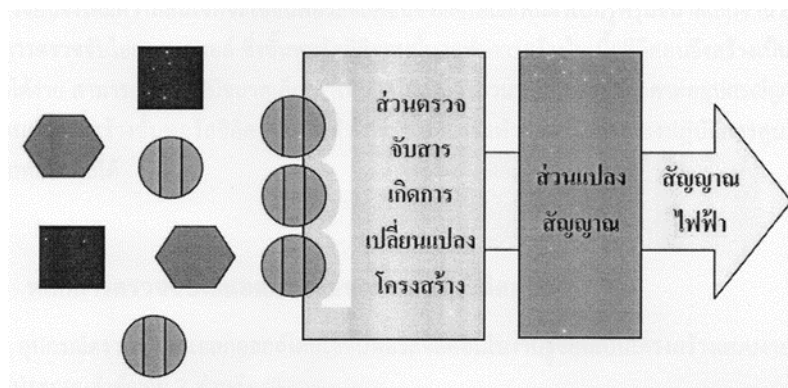
โดยสามารถแบ่งอุปกรณ์เซนเซอร์ทางเคมีที่สำคัญได้เป็น 2 ประเภทคือ ประเภทวัดความนำไฟฟ้า (Conductimetric) และประเภทวัดศักย์ไฟฟ้า (potentiometric)

2.6.2 เซนเซอร์ทางฟิสิกส์ (physical sensors)

เซนเซอร์ทางฟิสิกส์ จัดเป็นอุปกรณ์ตรวจจับสารอีกชนิดหนึ่ง โดยส่วนประกอบพื้นฐานของเซนเซอร์ทางฟิสิกส์ประกอบด้วย ขั้นตอนการตรวจจับสารเชื่อมต่อกับส่วนแปลงสัญญาณ โดยขั้นตอนการตรวจจับสารจะทำหน้าที่ตรวจจับด้วยการที่โมเลกุลของสารที่ผ่านเข้ามาจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้าง

ภายใน ของขั้นตอนการตรวจจับสาร จากนั้นส่วนแปลงสัญญาณจะทำหน้าที่แปลงปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นไปเป็นสัญญาณทางไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ 2.29

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.29 ส่วนประกอบพื้นฐานของเซนเซอร์ทางฟิสิกส์

โดยตัวอย่างอุปกรณ์เซนเซอร์ทางฟิสิกส์ที่สำคัญคือ เซนเซอร์วัดความดัน (pressure sensors) เซนเซอร์วัดอุณหภูมิ (temperature sensors)

2.7 หลักการตรวจจับไอแอลกอฮอล์

วิธีการตรวจจับไอแอลกอฮอล์สามารถทำได้หลายวิธี โดยใช้หลักการดังนี้

1. หลักการวิธีวัดทางเคมี วิธีนี้จะตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้แอลกอฮอล์รีดิวซ์โพแทสเซียมไดโครเมต (KyCrO7) มีสีแดงส้มในสถานะที่มีกรดกำมะถันอยู่ด้วยให้กลายเป็นโครเมียมซัลเฟต (Cry(SO4)3) มีสีเขียว ซึ่งความเข้มของสีที่เปลี่ยนแปลงไปจะสัมพันธ์โดยตรงกับปริมาณไอแอลกอฮอล์ ที่ตรวจวัดได้ ถ้ามีปริมาณไอแอลกอฮอล์มากขึ้นก็จะทำให้สีเปลี่ยนเป็นสีเขียวเข้มขึ้น

2. หลักการวิธีวัดทางการดูดกลืนรังสี วิธีนี้จะตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้หลักการดูดกลืนรังสี อินฟราเรดของไอแอลกอฮอล์ ซึ่งเป็นลักษณะเฉพาะตัว ซึ่งทำให้ปริมาณรังสีอินฟราเรดที่ผ่านไปมีความเข้มขึ้นของรังสีลดลง ถ้าปริมาณไอแอลกอฮอล์มากการดูดกลืนรังสีจะมากขึ้นเป็นสัดส่วนตามกัน เมื่อ วัดความเข้มรังสีที่เปลี่ยนไป ก็จะทำให้ทราบว่ามีปริมาณแอลกอฮอล์อยู่เท่าใด

3. หลักการวัดทางเคมีไฟฟ้า วิธีนี้จะตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยการให้ไอแอลกอฮอล์ทำ ปฏิกิริยาเคมีไฟฟ้ากับเครื่องตรวจวัด ซึ่งประกอบด้วยแผ่นแพลตตินัมบางๆ 2 แผ่นขนานกันและมี สารละลายอิเล็กโทรไลต์กรดอยู่ระหว่างกลางไอแอลกอฮอล์จะถูกดูดซับอยู่บนแผ่นแพลตตินัมและถูก ออกซิไดซ์เป็นกรดอะซิติก (acetic acid) จึงทำให้อิเล็กตรอนออกมา ซึ่งอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นจะไหล ผ่านแผ่นแพลตตินัมผ่านไปยังเครื่องวัดกระแสไฟฟ้า โดยกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนไปจะเป็นสัดส่วน โดยตรงกับปริมาณไอแอลกอฮอล์จากหลักการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ทั้งสามวิธีข้างต้น เป็นวิธีการที่ยุงยากและใช้ค่าใช้จ่ายที่สูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์สงวนไว้สำหรับใช้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ทางการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

กระบวนการสร้างชั้นพอร์ซิลิคอนนั้นทำได้ง่าย สามารถทำการสร้างในห้องปฏิบัติการศูนย์วิจัย อิเล็กทรอนิกส์ได้Q2

2.8 หลักการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ของชั้นพอร์ซิลิคอน

อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์ซิลิคอนในงานวิจัยนี้เป็นโครงสร้างแบบง่าย ซึ่งมี ส่วนประกอบสำคัญอยู่ 2 ส่วนคือ

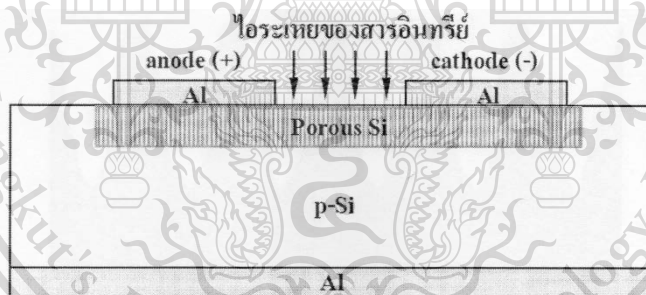
- ส่วนที่เป็นขั้วไฟฟ้า

ขั้วไฟฟ้าจะมีอยู่สองขั้วคือขั้วแคโทดกับขั้วแอโนดอยู่บนชั้นพอร์ซิลิคอนจะทำหน้าที่ในการตรวจวัด ลักษณะสมบัติทางไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงไป เมื่อโมเลกุลไอแอลกอฮอล์ถูกดูดซับเข้ามาในรูพรุนของชั้นพอร์ซิลิคอน

- ส่วนที่เป็นชั้นพอร์ซิลิคอน

ชั้นพอร์ซิลิคอนมีลักษณะเป็นรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมากทำให้สามารถดูดซับโมเลกุลไอแอลกอฮอล์ได้ดี และมีเนื้อที่ในการดูดซับมากกว่าพื้นผิวเรียบที่ไม่มีรูพรุนจะทำหน้าที่เป็นตัวดูดซับไอแอลกอฮอล์

โดยอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์ซิลิคอนโครงสร้างแบบง่ายนี้ จะแสดง รายละเอียดดัง รูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30 โครงสร้างของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์ซิลิคอน

โดยหลักการหลักๆ ในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ของชั้นพอร์ซิลิคอนนี้มีอยู่ 2 หลักการคือ หลักการแรกเป็นหลักการดูดซับและควบแน่นในรูพรุนของชั้นพอร์ซิลิคอน และหลักการที่สอง เป็น หลักการเหนี่ยวนำพาหะบริเวณผิว และการนำไฟฟ้าของชั้นพอร์ซิลิคอน ซึ่งทั้ง 2 หลักการนี้จะ เกิดขึ้นพร้อมๆ กันสามารถอธิบายแยกเป็นหัวข้อต่างๆ ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

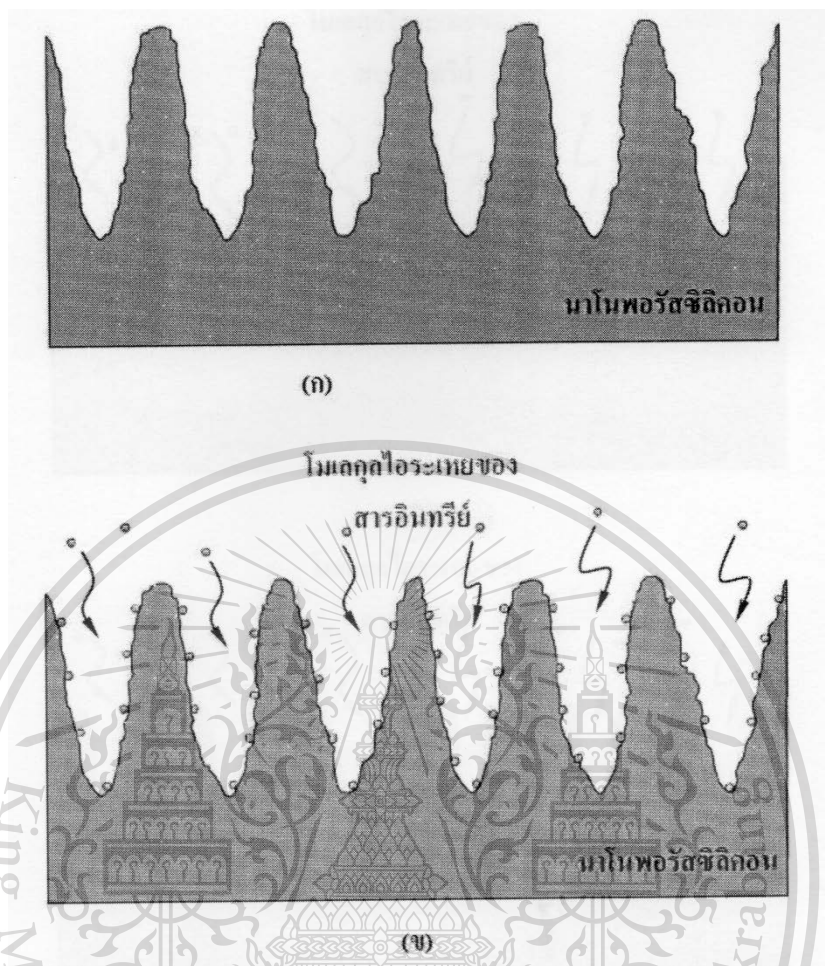
2.8.1 หลักการดูดซับและควบแน่นในรูพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอน

ชั้นพอร์สซิลิคอนจะทำหน้าที่เป็นชั้นดูดซับ (adsorption) โมเลกุลไออนแอลกอฮอล์เนื่องจากพื้นผิวที่มีรูพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนสามารถดูดซับโมเลกุลก๊าซได้ดีกว่า และมีเนื้อที่ในการดูดซับมากกว่า พื้นผิวราบเรียบที่ไม่มีรูพรุน โดยการตรวจจับไออนแอลกอฮอล์จะเริ่มจากชั้นพอร์สซิลิคอนที่ยังไม่มี โมเลกุลไออนแอลกอฮอล์มาเกาะ เมื่อมีโมเลกุลไออนแอลกอฮอล์เข้ามาในระบบผ่านบริเวณพื้นผิวของชั้น พอร์สซิลิคอน โมเลกุลไออนแอลกอฮอล์นี้จะถูกดูดซับและจับตัวกับผนังรูพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอน ด้วย แรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander Waals attractive force) เมื่อมีโมเลกุลไออนแอลกอฮอล์เข้ามาเพิ่มมากขึ้น โมเลกุลไออนแอลกอฮอล์จะรวมตัวกันเพิ่มมากขึ้นเรียงตัวกันเป็นชั้นโมโนเลเยอร์ (monolayer) ต่อมาเมื่อมีโมเลกุลไออนแอลกอฮอล์เข้ามาเพิ่มมากขึ้น โมเลกุลไออนแอลกอฮอล์ก็จะรวมตัวกันเพิ่มมากขึ้น อีกหลายๆ ชั้นเป็นชั้นมัลติเลเยอร์ (multilayer) และเมื่อโมเลกุลไออนแอลกอฮอล์มาเพิ่มมากขึ้นอีก หลายๆ ชั้นจะส่งผลให้ความดันไออนภายในรูพรุนมีค่าเพิ่มมากขึ้นจนเกิดการควบแน่นเป็นของเหลว ภายในรูพรุน (capillary Condensation) ส่งผลทำให้เกิดการอิมมิดีในการดูดซับโมเลกุลไออนแอลกอฮอล์ภายในรูพรุน และเมื่อไม่มีโมเลกุลไออนแอลกอฮอล์เข้ามาในระบบจะส่งผลทำให้โมเลกุลไออนแอลกอฮอล์ระเหยออกจากรูพรุน ซึ่งที่อุณหภูมิห้องโมเลกุลไออนแอลกอฮอล์ก็สามารถระเหยได้เองแต่ จะใช้เวลานานจึงควรใช้ความร้อนหรือลมเป่าไล่ซึ่งจะทำให้โมเลกุลไออนแอลกอฮอล์ระเหยไปจนหมดได้ ไวขึ้น โดยกระบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นนี้ แสดงดังรูปที่ 2.31

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



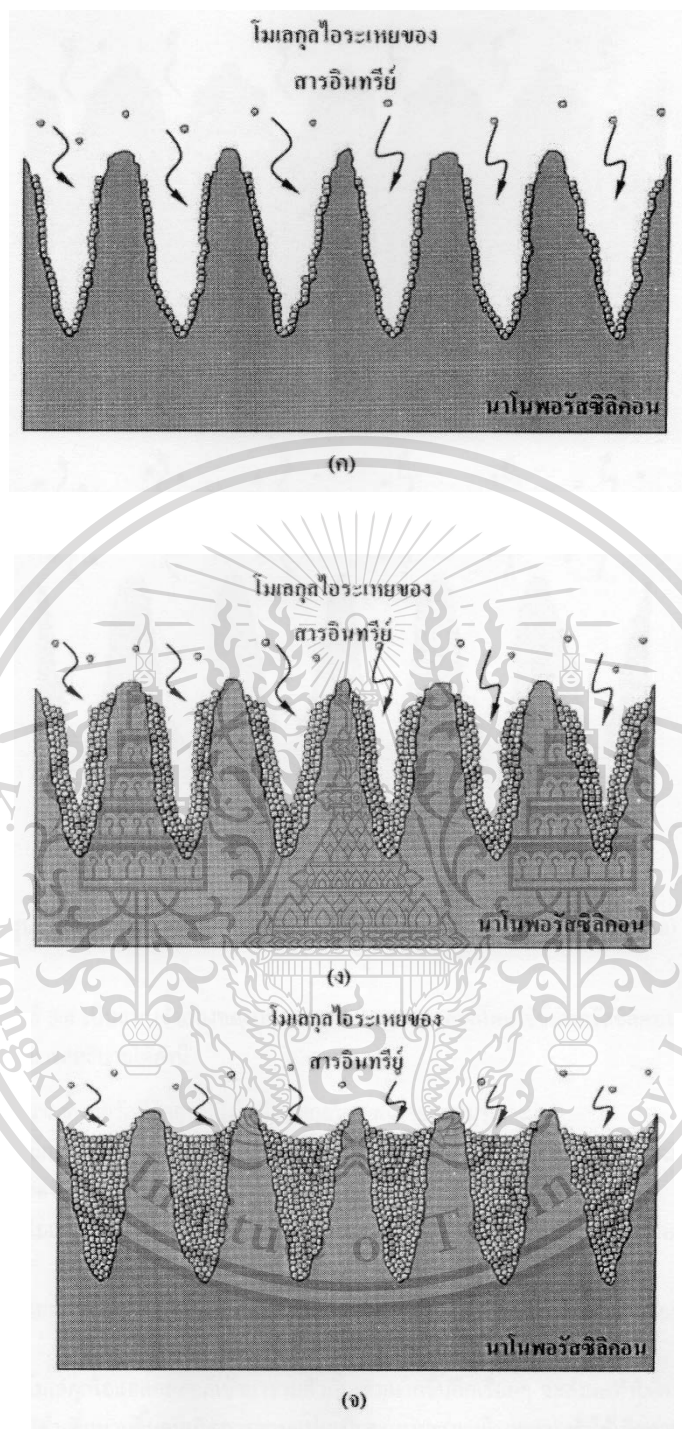
รูปที่ 2.31 แบบจำลองการตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์ซิลิคอน

- (ก) ชั้นพอร์ซิลิคอนที่ยังไม่มีโมเลกุลไอแอลกอฮอล์มาเกาะ
- (ข) โมเลกุลไอแอลกอฮอล์มาจับตัวกันที่บริเวณพื้นผิวของรูพรุน
- (ค) โมเลกุลไอแอลกอฮอล์มาจับตัวกันเพิ่มขึ้นเรียงตัวกันเป็นชั้นโมโนเลเยอร์
- (ง) โมเลกุลไอแอลกอฮอล์มาจับตัวกันเพิ่มขึ้นหลายๆ ชั้นเป็นมัลติเลเยอร์
- (จ) โมเลกุลไอแอลกอฮอล์มาจับตัวกันเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนเกิดการควบแน่นในรูพรุน
- (ฉ) โมเลกุลไอแอลกอฮอล์เกิดการระเหยออกไปจากชั้นพอร์ซิลิคอน
- (ช) ชั้นพอร์ซิลิคอนที่โมเลกุลไอแอลกอฮอล์ระเหยออกไปหมดแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

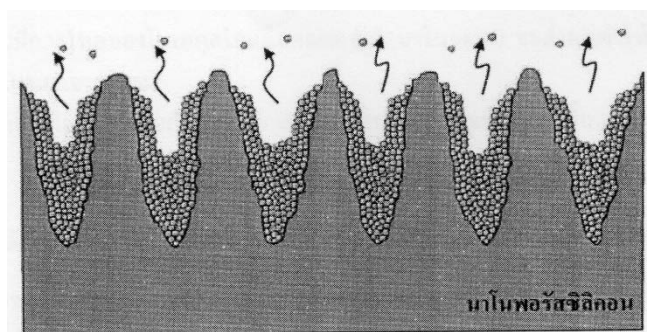


รูปที่ 2.31 แบบจำลองการตรวจจับโฟตอนโดยใช้นาโนพอร์ซิลิคอน (ต่อ)

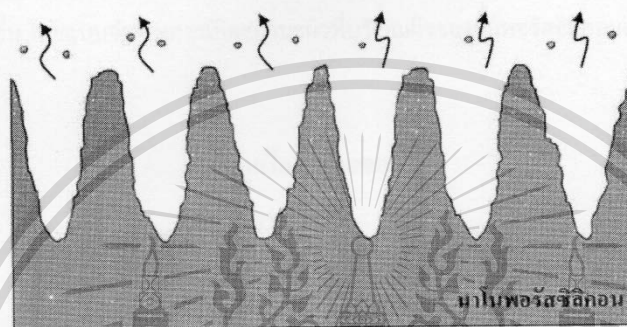
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.31 แบบจำลองการตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์สซิลิโคน (ต่อ)

จากรูปที่ 2.31 เป็นแบบจำลองของการตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์สซิลิโคน ซึ่งในแต่ละขั้นตอนสามารถอธิบายได้ดังนี้

- (ก) เริ่มจากชั้นพอร์สซิลิโคนที่ยังไม่มีโมเลกุลไอแอลกอฮอล์มาเกาะ
- (ข) เมื่อมีการไหลของโมเลกุลไอแอลกอฮอล์เข้ามาในระบบ โมเลกุลไอแอลกอฮอล์จะเข้ามาใน บริเวณรูพรุนของชั้นพอร์สซิลิโคน แล้วจับตัวกับผนังของรูพรุน
- (ค) เมื่อโมเลกุลไอแอลกอฮอล์เข้ามารวมตัวกันเพิ่มมากขึ้น จะเรียงตัวกันเป็นชั้นที่เรียกว่าชั้นโมโนเลเยอร์
- (ง) เมื่อโมเลกุลไอแอลกอฮอล์เข้ามารวมตัวกันเพิ่มมากขึ้นอีกหลายๆ ชั้นเป็นชั้นที่เรียกว่าชั้นมัลติเลเยอร์
- (จ) เมื่อโมเลกุลไอแอลกอฮอล์เข้ามารวมตัวกันเพิ่มมากขึ้นอีกเรื่อยๆ จะส่งผลทำให้ความดันไอภายในรูพรุนมีค่าเพิ่มมากขึ้นจนเกิดการควบแน่นเป็นของเหลวภายในรูพรุนทำให้เกิดการอิมมูเนชันโมเลกุลไอแอลกอฮอล์ภายในรูพรุน
- (ฉ) เมื่อไม่มีการไหลของโมเลกุลไอแอลกอฮอล์เข้ามาในระบบ จะส่งผลทำให้โมเลกุลไอแอลกอฮอล์ระเหยออกจากรูพรุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 (ข) เมื่อโมเลกุลไอแอลกอฮอล์ระเหยออกจากรูพรุนไปจนหมดก็จะเหลือแต่ชั้นพอร์สซิลิโคน
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

2.8.2 หลักการเหนี่ยวนำพาหะบริเวณผิวและการนำไฟฟ้าของชั้นพอร์สซิลิคอน

บริเวณผิวของชั้นพอร์สซิลิคอนมีพันธะแขวนขาดและสารเจือปนอื่นๆ อยู่บริเวณผิวซึ่งจะทำให้มีระดับพลังงานที่เรียกว่าสถานะผิว (Surface states) เกิดขึ้น เมื่อโมเลกุลไอแอลกอฮอล์ถูกดูดซับและ จับตัวกับผนังรูพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนจะส่งผลทำให้เกิดการเหนี่ยวนำพาหะที่บริเวณผิวของชั้น พอร์สซิลิคอนเพิ่มมากขึ้น ทำให้เกิดสถานะผิวเพิ่มมากขึ้น บริเวณผิวของชั้นพอร์สซิลิคอนจึงสามารถ นำไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น โดยแบบจำลองการเกิดสถานะผิวที่บริเวณผิวของชั้นพอร์สซิลิคอนแสดงดังรูปที่ 2.32



รูปที่ 2.32 แบบจำลองการเกิดสถานะผิวที่บริเวณผิวของชั้นพอร์สซิลิคอน

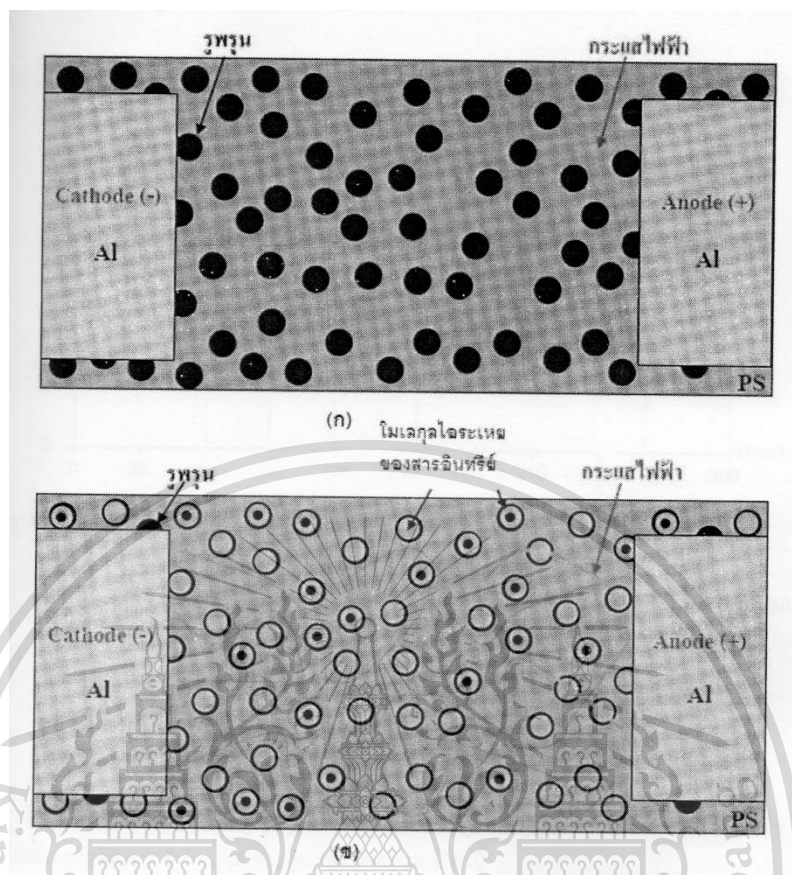
จากรูปที่ 3.5 เมื่อโมเลกุลไอแอลกอฮอล์เข้ามารวมตัวกันภายในรูพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนทำให้เกิดสถานะผิวเพิ่มมากขึ้น ชั้นพอร์สซิลิคอนสามารถนำไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น และเมื่อมีโมเลกุลไอ แอลกอฮอล์เข้ามารวมตัวกันภายในรูพรุนเพิ่มมากขึ้นเรื่อยๆ จนเกิดการควบแน่นเป็นของเหลวภายใน

รูพรุน ส่งผลทำให้ชั้นพอร์สซิลิคอนสามารถนำไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้นจนไปคงที่อยู่ที่ค่าหนึ่ง เนื่องจากเกิดการอิมิตัวในการตรวจจับโมเลกุลไอแอลกอฮอล์ โดยการนำไฟฟ้าของชั้นพอร์สซิลิคอนที่เพิ่มขึ้นนี้จะเกิด จาก 2 สาเหตุคือ สถานะผิวที่เพิ่มมากขึ้นของชั้นพอร์สซิลิคอน และการนำไฟฟ้าของแอลกอฮอล์ที่ ควบแน่น เป็นของเหลวภายในรูพรุน แสดงดังรูปที่ 2.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.33 แบบจำลองการนำไฟฟ้าของชั้นพอร์สซิลิคอน

(ก) ก่อนตรวจจับไอแอลกอฮอล์

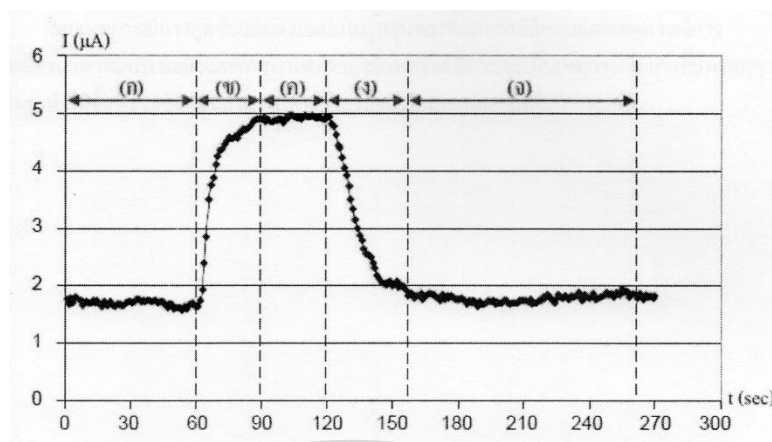
(ข) ขณะตรวจจับไอแอลกอฮอล์

จากรูปที่ 2.33 (ก) เป็นการนำไฟฟ้าของชั้นพอร์สซิลิคอนจากขั้วแอโนดไปยังขั้วแคโทดก่อนที่จะมีการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ สังเกตได้ว่าจะมีปริมาณกระแสไฟฟ้าน้อยมากเนื่องจากชั้นพอร์สซิลิคอนมีค่าความต้านทานที่สูง และจากรูปที่ 2.33 (ข) เมื่อมีโมเลกุลโพลีสไตรีนเข้ามารวมตัวกันภายในรูพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนมากขึ้น ทำให้มีการนำไฟฟ้าของชั้นพอร์สซิลิคอนเพิ่มมากขึ้น สังเกตได้ว่าจะมีปริมาณกระแสไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้น ซึ่งจะเกิดจาก 2 สาเหตุหลักๆ คือ เกิดจากสถานะผิวของชั้นพอร์สซิลิคอนที่เพิ่มมากขึ้น และเกิดจากการนำไฟฟ้าของแอลกอฮอล์ที่ควบแน่นเป็นของเหลวภายในรูพรุน โดยตัวอย่างผลการทดลองลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ของชั้นพอร์สซิลิคอนแสดงดังรูปที่ 2.34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 2.34 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ของเซ็นเซอร์ซิลิคอน

- (ก) ช่วงที่ไม่มีโมเลกุลไอแอลกอฮอล์
- (ข) ช่วงที่โมเลกุลไอแอลกอฮอล์มาจับตัวกันที่บริเวณพื้นผิวของรูพรุนเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และเกิดการควบแน่นภายในรูพรุน
- (ค) ช่วงที่เกิดการอึดตัวในการตรวจจับโมเลกุลไอแอลกอฮอล์
- (ง) ช่วงที่โมเลกุลไอแอลกอฮอล์เกิดการระเหยออกไปจากเซ็นเซอร์ซิลิคอน
- (จ) ช่วงที่โมเลกุลไอแอลกอฮอล์ระเหยออกไปหมดแล้ว

จากรูปที่ 2.34 เป็นช่วงต่างๆ ของลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้เซ็นเซอร์ซิลิคอน ซึ่งในแต่ละขั้นตอนสามารถอธิบายได้ดังนี้

- (ก) ช่วงที่เซ็นเซอร์ซิลิคอนยังไม่มี การดูดซับโมเลกุลไอแอลกอฮอล์
- (ข) ช่วงที่โมเลกุลไอแอลกอฮอล์เข้ามาในระบบแล้วเข้ามารวมตัวกันภายในรูพรุนของเซ็นเซอร์ซิลิคอน จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำพาหะที่ผิวของเซ็นเซอร์ซิลิคอนเพิ่มมากขึ้น เกิดสถานะผิวเพิ่มมากขึ้น ทำให้บริเวณผิวของเซ็นเซอร์ซิลิคอนสามารถนำไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้น และช่วงที่โมเลกุลไอแอลกอฮอล์มารวมตัวกันภายในรูพรุนเป็นจำนวนมากขึ้นเรื่อยๆ จนเกิดการควบแน่นเป็นของเหลวภายในรูพรุน ทำให้มีการนำไฟฟ้าของแอลกอฮอล์ที่ควบแน่นเป็นของเหลวภายในรูพรุนเกิดขึ้น
- (ค) ช่วงที่เกิดการอึดตัวในการตรวจจับโมเลกุลไอแอลกอฮอล์ ทำให้การนำไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นมานั้น จะคงที่อยู่ที่ค่าๆ หนึ่ง

(ง) ช่วงที่หยุดการไหลของไอแอลกอฮอล์ ทำให้ไอแอลกอฮอล์เกิดการระเหยออกจากรูพรุนไปเรื่อยๆ ส่งผลทำให้การนำกระแสไฟฟ้าของเซ็นเซอร์ซิลิคอนที่ค่าลดลง

(จ) ช่วงที่โมเลกุลไอแอลกอฮอล์เกิดการระเหยออกจากสุรพจนจนหมด ส่งผลทำให้บริเวณผิวของ ชั้นพอร์สซิลิคอนกลับมานำไฟฟ้าอยู่ที่ระดับเดิมในตอนแรก

โดยเหตุการณ์การดูดซับและควบแน่นในสุรพจนของชั้นพอร์สซิลิคอนและเหตุการณ์การ เหนี่ยวนำพาหะบริเวณผิวและการนำไฟฟ้าของชั้นพอร์สซิลิคอนจะเป็นเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นพร้อมๆ กัน ส่งผลทำให้ชั้นพอร์สซิลิคอนสามารถทำการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ได้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

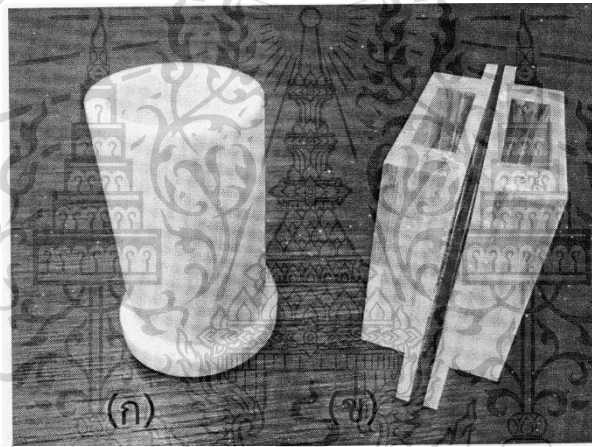
บทที่ 3

กระบวนการสร้างและเครื่องมือที่ใช้ในการวัด

3.1 กระบวนการสร้างพอร์สซิลิคอน

3.1.1 การสร้างพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการกัดทางไฟฟ้าเคมี

การสร้างพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการกัดทางไฟฟ้าเคมีหรือที่เรียกว่าแอโนไดซ์เซชัน เป็นวิธีการที่ น่าสนใจอย่างมาก เนื่องจากสามารถควบคุมปฏิกิริยาในการกัดเพื่อทำให้เกิดชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีความสม่ำเสมอ ความพรุน และความหนาตามต้องการได้ โดยงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้อุปกรณ์เซลล์ไฟฟ้า เคมีสองชนิดด้วยกัน คือชุดกัดไฟฟ้าเคมีแบบเซลล์แท่งกึ่งเดี่ยวแนวตั้ง และชุดกัดไฟฟ้าเคมีแบบเซลล์ แท่งกึ่งเดี่ยวแนวนอน แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 3.1 (ก) อุปกรณ์เซลล์ไฟฟ้าเคมีแบบเซลล์แท่งกึ่งเดี่ยวในแนวตั้ง
(ข) อุปกรณ์เซลล์ไฟฟ้าเคมีแบบเซลล์แท่งกึ่งเดี่ยวในแนวนอน

จากรูปที่ 3.1 จะเห็นว่าชุดกัดเซลล์ไฟฟ้าเคมีทั้งสองแบบนี้มีความแตกต่างกันค่อนข้างมาก ส่วน วิธีการใช้งานก็แตกต่างกันเล็กน้อย โดยชุดกัดไฟฟ้าเคมีแบบเซลล์แท่งกึ่งเดี่ยวแนวตั้งนั้นจะมีบริเวณที่ สัมผัสกับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกเพียงด้านเดียว ส่วนเซลล์แท่งกึ่งเดี่ยวแนวนอนนั้นจะมีพื้นที่สัมผัส กับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกด้วยกันถึงสองด้าน ซึ่งก็จะทำให้ได้ผลการทดลองในการสร้างชั้น

พอร์สซิลิคอนที่แตกต่างกันออกไปด้วย หลักการก็คือเราจะทำการจ่ายกระแสไฟฟ้าให้วิ่งไหลผ่าน ตัวกลางทั้งสองชนิดนั้นก็คือ สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกและแผ่นผลึกซิลิคอน ซึ่งเมื่อมีกระแส ไฟฟ้าไหลผ่าน บริเวณที่สัมผัสกับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกซึ่งเป็นทางด้านแคโทดนั้น จะถูกกัด เป็นรูพรุนขึ้น ซึ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารสงวนลิขสิทธิ์ของโรงเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปเผยแพร่ขึ้นด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

3.1.2 การสร้างอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์ซซิลิคอน

ชั้นพอร์ซซิลิคอนที่นำมาสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ในงานวิจัยนี้ จะเลือกใช้การ สร้างด้วยวิธีการกัดทางไฟฟ้าเคมี เนื่องจากเป็นวิธีการที่ไม่ยุ่งยาก สามารถควบคุมตัวแปรต่างๆ ที่ใช้ ในการสร้างชั้นพอร์ซซิลิคอนให้มีความสม่ำเสมอทั่วทั้งแผ่น และสามารถควบคุมความหนาของชั้น พอร์ซซิลิคอนได้อีกด้วย

ขั้นตอนการสร้างอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์ซซิลิคอน

1. การเตรียมแผ่นซิลิคอน

ใช้แผ่นซิลิคอนชนิดพี มีระนาบ (100) สภาพต้านทาน 9-11 โอห์ม-เซนติเมตร ความหนาของ แผ่นซิลิคอนเท่ากับ 625 ไมโครเมตร

2. การทำความสะอาดผิวแผ่นซิลิคอนเริ่มต้น

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

- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์ - ต้มในกรดไนตริก (HNO₃) เป็นเวลา 5 นาที เพื่อทำการกำจัดเศษโลหะหนักที่ผิวหน้า

ต้มในน้ำบริสุทธิ์ 2 แก้ว เป็นเวลาแก้วละ 5 นาที ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์ 2 แก้ว เป็นเวลาแก้วละ 5 นาที เป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน ต้มในไตรโคลโรเอทิลีน (trichloroethylene) เป็นเวลา 5 นาที เพื่อกำจัดไขมัน

ล้างด้วยอะซิโตน (acetone) ในเครื่องสั่นความถี่สูง เป็นเวลา 5 นาที - ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์ 2 แก้ว เป็นเวลาแก้วละ 5 นาที - เป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน

3. การสร้างชั้นพอร์ซซิลิคอน

กระบวนการสร้างชั้นพอร์ซซิลิคอนในงานวิจัยนี้จะประกอบไปด้วยกระบวนการสร้างที่แตกต่างกันออกไปทั้งหมด 3 วิธีด้วยกัน ประกอบไปด้วย - การสร้างโดยชุดกัดเซลล์เทงก์เดี่ยวแนวตั้งกับแผ่นซิลิคอนไม่เคลือบอลูมิเนียมที่ด้านหลัง

ทำการสร้างโดยนำแผ่นผลึกซิลิคอนที่ทำความสะอาดเรียบร้อยแล้ว มาประกอบในชุดกัดแบบเซลล์เทงก์เดี่ยวแนวตั้ง จากนั้นจึงทำการเติมสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกกลงไปในชุดกัด แล้วทำการ

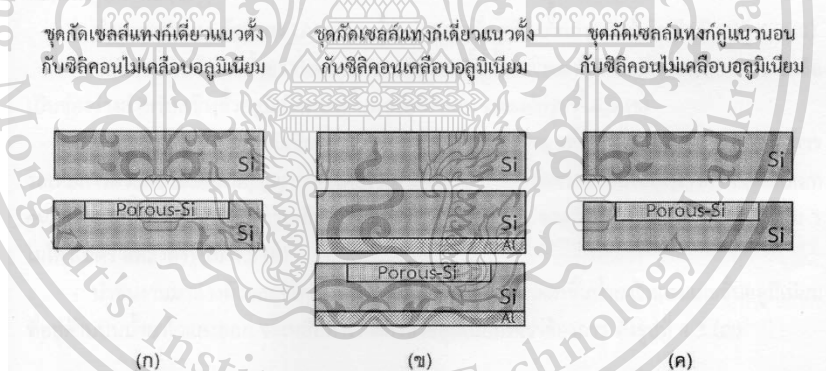
ไบอัสแบบแอโนไดซ์เซชันเข้าไปตามเงื่อนไขที่กำหนด จะได้เป็นชั้นพอร์ซซิลิคอนออกมา แสดงขั้นตอน ดังรูปที่ 3.2 (ก) - การสร้างโดยชุดกัดเซลล์เทงก์เดี่ยวแนวตั้งกับแผ่นซิลิคอนเคลือบอลูมิเนียมที่ด้านหลัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการสร้างโดยนำแผ่นผลึกซิลิคอนที่ทำความสะอาดเรียบร้อยแล้ว มาทำการเคลือบโลหะอลูมิเนียมที่บริเวณด้านหลังของแผ่นซิลิคอน เพื่อทำขั้วด้านหลังของอุปกรณ์ด้วยวิธีการระเหย สารด้วยความร้อนในสุญญากาศ โดยใช้เครื่องระเหยสารด้วยความร้อนในสุญญากาศ (Vacuum evaporator) ซึ่งสามารถทำการเคลือบโลหะอลูมิเนียมที่ด้านหลังของแผ่นซิลิคอนได้ความหนา ประมาณ 1 ไมโครเมตร จากนั้นนำแผ่นซิลิคอนที่ทำการเคลือบอลูมิเนียมด้านหลังแผ่นไปทำการขึ้น เเตอร์ริงเพื่อให้ส่วนของโลหะอลูมิเนียมที่สัมผัสกับเนื้อซิลิคอนเป็นรอยสัมผัสแบบโอห์มมิก ซึ่งจะมีผล ทำให้กระแสที่ป้อนให้ระหว่างกระบวนการแอโนไดซ์เซชันมีการกระจายตัวไปทั่วแผ่นได้อย่าง สม่าเสมอ โดยการวางไว้ในบรรยากาศไนโตรเจนที่มีอัตราการไหล 1 L/min อุณหภูมิ 500 °C เป็น เวลา 15 นาที นำชิ้นงานที่ได้มาประกอบในชุดกัดแบบเซลล์แท่งเดี่ยวแนวตั้ง จากนั้นจึงทำการเติม สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกลงในชุดกัด แล้วทำการไปอัสแบบแอโนไดซ์เซชันเข้าไปตามเงื่อนไข ที่กำหนด จะได้เป็นชั้นพอร์ซซิลิคอนออกมา แสดงขั้นตอนดังรูปที่ 3.2 (ข) - การสร้างโดยชุดกัดเซลล์แท่งคู่แนวนอนกับแผ่นซิลิคอนไม่เคลือบอลูมิเนียมที่ด้านหลัง

ทำการสร้างโดยนำแผ่นผลึกซิลิคอนที่ทำความสะอาดเรียบร้อยแล้ว มาประกอบในชุดกัดแบบ เซลล์แท่งคู่แนวนอน จากนั้นจึงทำการเติมสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกลงในชุดกัด แล้วทำการ ไปอัสแบบแอโนไดซ์เซชันเข้าไปตามเงื่อนไขที่กำหนด จะได้เป็นชั้นพอร์ซซิลิคอนออกมา แสดงขั้นตอน ดังรูปที่ 3.2 (ค)



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการสร้างชั้นพอร์ซซิลิคอนด้วยวิธีการสร้างที่แตกต่างกัน

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4. การทำความสะอาดผิวแผ่นซิลิคอนหลังจากการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอน

นำแผ่นซิลิคอนออกจากเซลล์ไฟฟ้าเคมี ไปผ่านการทำความสะอาดแผ่นซิลิคอนครั้งสุดท้าย โดยมีขั้นตอนดังนี้

- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์
- แช่แผ่นซิลิคอนในแอลกอฮอล์เป็นเวลา 10 นาที เพื่อกำจัดละอองสารละลายกรดไฮโดร ฟลูออริกที่ยังตกค้างอยู่ในชั้นพอร์สซิลิคอน

5. การสร้างชั้นอลูมิเนียมด้านหน้าด้วยวิธีการ Lift-off

หลังจากผ่านกระบวนการทำความสะอาดผิวของแผ่นซิลิคอนเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ต่อจากนั้นจะ ทำการเคลือบโลหะอลูมิเนียมที่บริเวณด้านหน้าของแผ่นซิลิคอน บริเวณที่มีชั้นพอร์สซิลิคอน ด้วย วิธีการสร้างชั้นไฟฟ้าที่เรียกว่าวิธีการ Lift-off โดยมีขั้นตอนการสร้างดังนี้

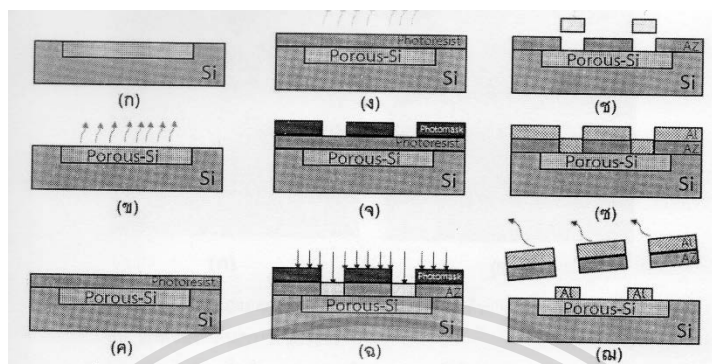
- ใช้ชั้นพอร์สซิลิคอนที่สร้างโดยกระบวนการแอโนไดซ์เซชันที่ทำความสะอาดเรียบร้อยแล้ว แสดงดังรูปที่ 3.3 (ก)
- นำไปทำการอบ pre-bake เพื่อไล่ความชื้นที่อยู่ภายในชั้นพอร์สซิลิคอนออกไป แสดงดังรูปที่ 3.3 (ข)
- ทำการเคลือบหมึกยาไวแสง เบอร์ AZ P4620 เคลือบด้วยวิธีการ spin-Coating ที่ความเร็ว รอบ 2000 rpm จะได้หมึกยาไวแสงที่มีความหนา 8-9 um แสดงดังรูปที่ 3.3 (ค)
- ทำการอบ post-bake เพื่อทำการระเหยตัวทำละลายของหมึกยาไวแสงออกไปจนแห้ง แสดง ดังรูปที่ 3.3 (ง)
- ทำการ alignment โดยใช้มาร์คต้นแบบที่ได้ทำการสร้างไว้แล้วสำหรับหมึกยาไวแสงชนิดบวก แสดงดังรูปที่ 3.3 (จ)
- ทำการฉายแสง ด้วยแสง UV ลงบนหมึกยาไวแสงเพื่อสร้างลายสำหรับชั้นไฟฟ้าดังรูปที่ 3.3 (2)
- นำชิ้นงานไปล้างในหมึกยา developer เพื่อลอกชั้นหมึกยาไวแสงบริเวณที่โดนแสงออก จะเหลือ เป็นช่องว่างสำหรับสร้างชั้นอลูมิเนียมบนชั้นพอร์สซิลิคอน แสดงดังรูปที่ 3.3 (ข)
- ทำการเคลือบโลหะอลูมิเนียมที่บริเวณด้านบนของชิ้นงาน เพื่อทำชั้นของอุปกรณ์ด้วยวิธีการ ระเหยสารด้วยความร้อนในสุญญากาศ โดยใช้เครื่องระเหยสารด้วยความร้อนในสุญญากาศ (Vacuum evaporator) ซึ่งสามารถทำการเคลือบโลหะอลูมิเนียมที่ด้านบนของชิ้นงานได้ความหนาประมาณ 1 ไมโครเมตร แสดงดังรูปที่ 3.3 (ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- นำชิ้นงานมาล้างด้วยอะซิโตนในเครื่องสั่นความถี่สูง เพื่อลอกชั้นน้ำยาไวแสงและชั้นอลูมิเนียม ที่อยู่ด้านบนน้ำยาไวแสงออก จะเหลือทิ้งไว้เพียงขั้วอลูมิเนียมที่เราต้องการ ดังรูปที่ 3.3 (ณ)



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการสร้างขั้วอลูมิเนียมด้วยวิธีการ Lift-off

(ก) ชั้นพอร์ซิลิคอนที่สร้างด้วยกระบวนการแอโนไดซ์เซชัน

(ข) อบ pre-bake เพื่อระเหยความชื้น

(ค) เคลือบน้ำยาไวแสง

(ง) อบ post-bake ระเหยตัวทำละลายน้ำยาไวแสง

(จ) ทำการ alignment ด้วยมาสก์ต้นแบบ

(ฉ) ทำการฉายแสงยูวี

(ช) ล้างด้วยน้ำยา developer

(ซ) เคลือบอลูมิเนียมด้วยวิธีการระเหยสารในสุญญากาศ

(ณ) ล้างในอะซิโตนด้วยเครื่องสั่นความถี่สูง

6. กระบวนการซินเตอร์ริง

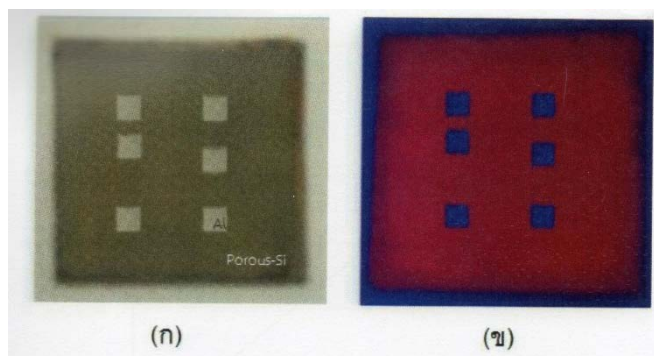
นำแผ่นซิลิคอนที่ทำขั้วอลูมิเนียมด้านหน้าไปทำการซินเตอร์ริง เพื่อให้ส่วนของโลหะอลูมิเนียมที่ สัมผัสกับเนื้อพอร์ซิลิคอนเป็นรอยสัมผัสแบบโอห์มมิก โดยการวางแผ่นซิลิคอนไว้ในบรรยากาศ ไนโตรเจนที่มีอัตราการไหล 1 L/min อุณหภูมิ 500 °C เป็นเวลา 15 นาที

อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์ซิลิคอนที่สร้างจากกระบวนการข้างต้นมีขนาด ของขั้วอลูมิเนียมประมาณ 1000 × 1000 μm และมีระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า ประมาณ 500 μm, 1000 μm, 1500 μm, 2000 μm, และ 2500 μm ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 3.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น, เมื่ออนุญาตเห็น ใบเขียวระเบียนดำเนินการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.4 อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่ทำการสร้างขั้วไฟฟ้าด้วยวิธีการ Lift-off

(ก) ภาพชิ้นงานในสถานะแสงขาว

(ข) ภาพชิ้นงานเมื่อทำการฉายแสงด้วยหลอดแบล็คไลท์

3.2 เทคนิคและเครื่องมือที่ใช้ในการวัด

3.2.1 การหาความสม่ำเสมอของชั้นพอร์สซิลิคอนด้วยเทคนิคการวัดค่าความต้านทานต่อ ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า

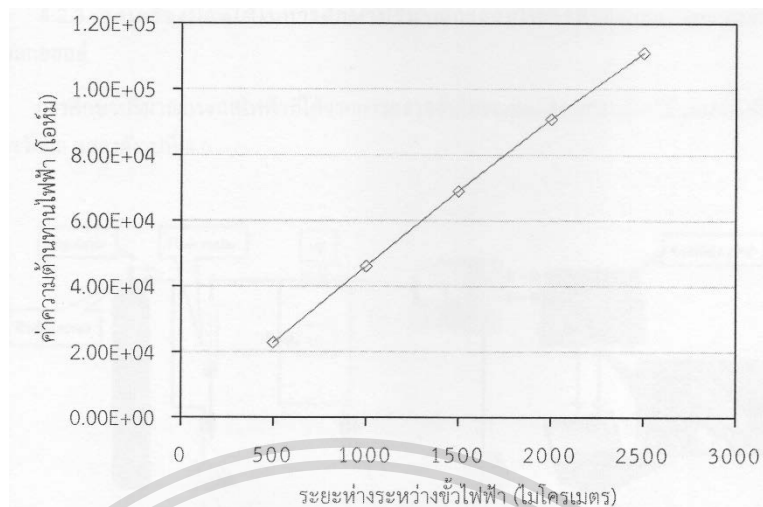
การหาความสม่ำเสมอของชั้นพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการวัดค่าความต้านทานของชั้นพอร์ส ซิลิคอนที่ระยะห่างระหว่างขั้วแตกต่างกัน โดยเราจะสร้างขั้วไฟฟ้าบนชั้นพอร์สซิลิคอนทั่วบริเวณผิว ของชั้นพอร์สซิลิคอนให้มีระยะห่างระหว่างขั้วแตกต่างกันคือ 500 um, 1000 um, 1500 um, 2000 นา, และ 2500 um ตามลำดับ จากนั้นนำมาทำการวัดค่าความต้านทานของชั้นพอร์สซิลิคอนที่ระยะ ขั้วแตกต่างกัน แล้วนำค่าที่ได้ไปพล็อตกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของขั้วไฟฟ้ากับค่าความ ต้านทานไฟฟ้า ซึ่งหากได้ชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีความสม่ำเสมอเส้นกราฟก็จะมีความสัมพันธ์เพิ่มขึ้นแบบ เส้นตรงดังแสดงในรูปที่ 3.5

จากความสัมพันธ์ที่ว่า $R = \frac{\rho L}{A}$; หากชั้นพอร์สซิลิคอนของเรานั้นมีความสม่ำเสมอจะต้องมีค่า สภาพความต้านทานของชั้นพอร์สซิลิคอนที่สม่ำเสมอเท่ากันทั่วบริเวณด้วย และขั้วไฟฟ้าทุกขั้วที่เรา สร้างนั้นจะมีขนาดของขั้วไฟฟ้าที่เท่ากัน ดังนั้นค่าความต้านทานที่วัดได้จึงแปรผันตรงกับระยะห่าง ระหว่างขั้วไฟฟ้าเท่านั้น ถ้าชั้นพอร์สซิลิคอนเรามีความสม่ำเสมอ เมื่อเราทำการเพื่อระยะห่างระหว่างขั้ว จะทำให้ได้ค่าความต้านทานที่สูงขึ้นเป็นเส้นตรงดังรูปที่ 3.5 แต่หากชั้นพอร์สซิลิคอนที่เราสร้างขึ้นนั้น มีความไม่สม่ำเสมอ กราฟที่ได้จะมีความสัมพันธ์ไม่เป็นเส้นตรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานไฟฟ้ากับระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้าของชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีความสม่ำเสมอ

3.2.2 การหาความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนด้วยเทคนิคการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของวัสดุ

การวัดหาค่าความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอน ใช้หลักการการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของวัสดุก่อน และหลังการเกิดรูพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอน โดยค่าความพรุนของวัสดุใดๆ สามารถหาได้ดังนี้

$$\text{Porosity \%} = \frac{(m_1 - m_2)}{(m_1 - m_3)} \times 100$$

โดยที่

m_1 คือ น้ำหนักของวัสดุเริ่มต้นก่อนการเกิดรูพรุน

m_2 คือ น้ำหนักของวัสดุหลังการเกิดรูพรุน

m_3 คือ น้ำหนักของวัสดุที่เหลือหลังจากการลอกชั้นความพรุนออก

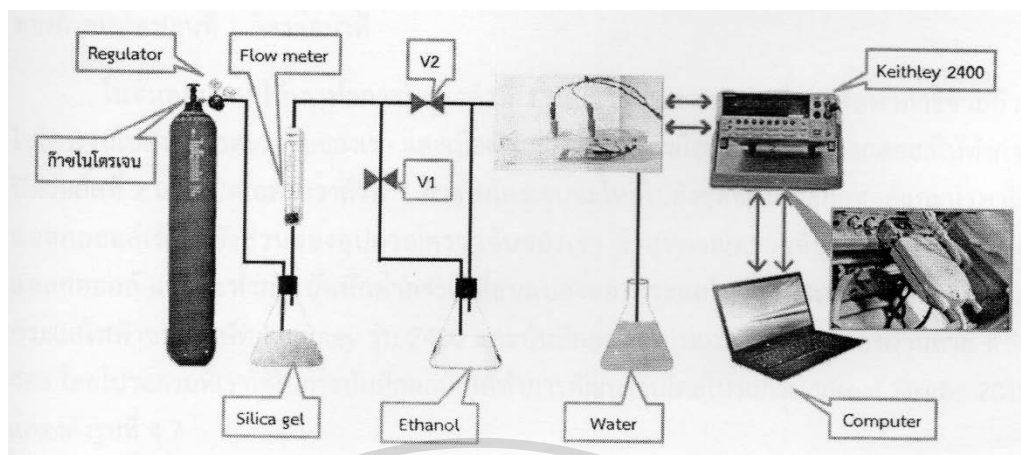
3.2.3 ชุดเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการตรวจจับไอ แอลกอฮอล์

การศึกษาปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการตรวจจับไอระเหยแอลกอฮอล์จะใช้ชุดเครื่องมือในการวัดผล แสดงดังรูปที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 3.6 เครื่องมือต่างๆ ที่ใช้ในการวัดอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์

จากรูปที่ 3.6 ชุดเครื่องมือในการวัดอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

1. ถังก๊าซไนโตรเจน โดยใช้ก๊าซไนโตรเจนเป็นตัวพาไอแอลกอฮอล์ เนื่องจากก๊าซไนโตรเจนไม่ทำปฏิกิริยากับแอลกอฮอล์และเซ็นเซอร์ซิลิโคน
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
10. อ่างน้ำ ทำหน้าที่รักษาความดันในระบบให้คงที่

โดยวิธีการวัดค่ากระแสไฟฟ้าในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์นี้จะทำโดยเริ่มต้นจากการเปิดถัง ก๊าซไนโตรเจน แล้วทำการปรับรีเกกูเลเตอร์เพื่อให้ก๊าซไนโตรเจนไหลออกมาได้ จากนั้นก๊าซไนโตรเจน จะถูก

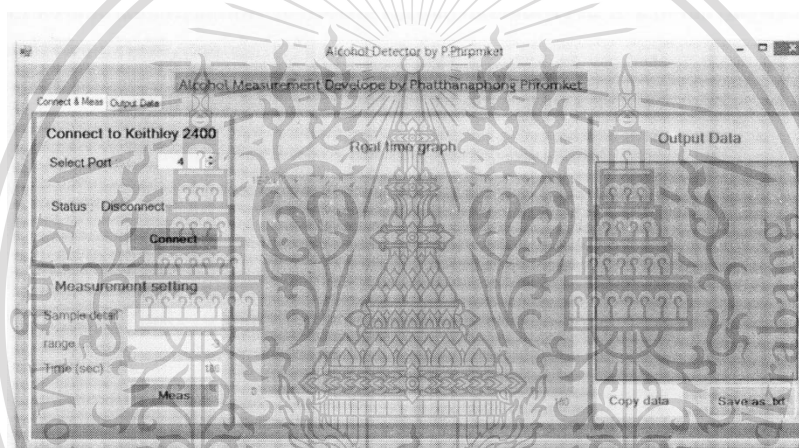
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ไหลไปยังชุดของซิลิกาเจล ซึ่งซิลิกาเจลจะทำการดูดซับความชื้นที่มีอยู่ในก๊าซไนโตรเจนออกไป จนหมด จากนั้นก๊าซไนโตรเจนจะไหลไปยังส่วนของ Flow meter ให้ทำการปรับให้มีอัตราการไหล ของก๊าซไนโตรเจนที่ 1 ลิตรต่อนาที

ในขั้นตอนแรกให้เราทำการปิดวาล์วที่ 1 และเปิดเฉพาะวาล์วที่ 2 เพื่อทำการจ่ายก๊าซ ไนโตรเจนไปยังอุปกรณ์ตรวจจับของเรา และเมื่อต้องการทำการจ่ายไอระเหยของแอลกอฮอล์ให้ทำการ ปิดวาล์วที่ 2 และเปิดเฉพาะวาล์วที่ 1 ก๊าซไนโตรเจนจะไหลไปยังชุดของแอลกอฮอล์และนำพาไอ แอลกอฮอล์เข้าไปยังส่วนของอุปกรณ์ตรวจจับของเรา ตัวอุปกรณ์ตรวจจับจะทำการดูดซับไอ แอลกอฮอล์ และจะทำการบันทึกค่าการเปลี่ยนแปลงของกระแสไฟฟ้าโดยเครื่องมือวัดแรงดัน กระแสไฟฟ้าของบริษัท Keithley รุ่น 2400 และบันทึกลงบนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ผ่านสาย IEEE 488 โดยโปรแกรมที่เราใช้ในการบันทึกผลนั้นได้ทำการพัฒนาขึ้นโดยโปรแกรม Visual Studio 2010 แสดงดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 หน้าจอโปรแกรมที่ใช้ในการบันทึกค่ากระแสไฟฟ้าของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 4

การทดลอง และผลการทดลอง

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอน รวมทั้งผลของการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ของชั้นพอร์สซิลิคอนในอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ ซึ่งมีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

4.1 การทดลองเพื่อศึกษาผลของชนิดขุดกัดไฟฟ้าเคมีในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอน

การทดลองนี้ทำการศึกษาถึง ผลของชนิดขุดกัดไฟฟ้าเคมีในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอน โดยเปรียบเทียบกันระหว่างขุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งกึ่งเดี่ยวแนวตั้งกัดโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังซิลิคอนเวเฟอร์ ขุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งกึ่งเดี่ยวแนวตั้งกัดโดยเคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังซิลิคอนเวเฟอร์ และขุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งกึ่งคู่นวนอนกัดโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียม ที่ด้านหลังซิลิคอนเวเฟอร์ ตามลำดับ โดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mWcm เวลาในการแอนโนไดซ์เซชัน 10 นาที ในการสร้างชั้น พอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการแอนโนไดซ์เซชัน

4.1.1 การศึกษาผลของชนิดขุดกัดไฟฟ้าเคมีต่อการเรืองแสงของชั้นพอร์สซิลิคอนเมื่อทำการฉายแสงจากหลอดแบล็คไลท์

การทดลองนี้ทำการศึกษาถึงการเรืองแสงของชั้นพอร์สซิลิคอน ซึ่งทำการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการแอนโนไดซ์เซชัน โดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mWcm เวลาในการแอนโนไดซ์เซชัน 10 นาที ด้วยขุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิด เซลล์แท่งกึ่งเดี่ยวแนวตั้งกัดโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังซิลิคอนเวเฟอร์ ขุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิด เซลล์แท่งกึ่งเดี่ยวแนวตั้งกัดโดยเคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังซิลิคอนเวเฟอร์ และขุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิด เซลล์แท่งกึ่งคู่นวนอนกัดโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลัง ตามลำดับ เมื่อทำการฉายแสงด้วย หลอดแบล็คไลท์จะทำให้เกิดการเรืองแสงขึ้นของชั้นพอร์สซิลิคอน แสดงดังรูปที่ 4.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.1 ชั้นฟอสฟอริคอนที่สร้างโดยชุดกัดไฟฟ้าเคมีต่างชนิดกัน

(ก) พื้นผิวของชั้นฟอสฟอริคอน (ข) การเรืองแสงของชั้นฟอสฟอริคอน

จากรูปที่ 4.1 (ก) สังเกตได้ว่าการสร้างชั้นฟอสฟอริคอนด้วยชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งคู่ แนวนอนกัดโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังซิลิคอนเวเฟอร์ มีการเกิดชั้นฟอสฟอริคอนที่มีความสม่ำเสมอมากที่สุด รองลงมาคือการสร้างชั้นฟอสฟอริคอนด้วยชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งเดี่ยว แนวตั้งกัดโดยเคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังซิลิคอนเวเฟอร์ และการสร้างชั้นฟอสฟอริคอนด้วยชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งเดี่ยวแนวตั้งกัดโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังซิลิคอนเวเฟอร์ และ เมื่อสังเกตการเรืองแสงของชั้นฟอสฟอริคอนด้วยการฉายแสงจากหลอดแบล็คไลท์ แสดงดังรูปที่ 4.1 (ข) สังเกตได้ว่าชั้นฟอสฟอริคอนที่สร้างด้วยชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งคู่ แนวนอนกัดโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังซิลิคอนเวเฟอร์ จะมีการเรืองแสงของชั้นฟอสฟอริคอนอย่างสม่ำเสมอ มากกว่าการสร้างในชนิดอื่น เนื่องจากชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งคู่ แนวนอนนั้นมีการสัมผัสของ สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกจากทั้งสองด้านของซิลิคอนเวเฟอร์ทำให้มีการกระจายของ กระแสไฟฟ้ามีความสม่ำเสมอ ซึ่งส่งผลให้เกิดการกัดซิลิคอนชั้นฟอสฟอริคอนได้ทั่วทั้งแผ่นนั่นเอง ส่วน ชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งเดี่ยวแนวตั้งนั้นมีการสัมผัสจากสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกเพียง ด้านเดียวส่วนอีกด้านเป็นการสัมผัสกับขั้วโลหะ ทำให้การกระจายของกระแสไฟฟ้าไม่ดีหากมีการ สัมผัสของขั้วโลหะไม่สม่ำเสมอนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.1.2 การศึกษาผลของชนิดชุดกัดไฟฟ้าเคมีต่อความต้านทานของชั้นพอร์ซซิลิคอน

การทดลองนี้ทำการศึกษาค่าความต้านทานของชั้นพอร์ซซิลิคอนที่วัดโดยระยะห่างระหว่าง ขั้วต่างๆกัน ซึ่งทำการสร้างชั้นพอร์ซซิลิคอนด้วยวิธีการแอโนไดซ์เซชัน โดยใช้อัตราส่วนสารละลาย กรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mWcm เวลาในการแอโนไดซ์เซชัน 10 นาที ด้วยชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งกึ่งเดี่ยวแนวตั้งกัดโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ ด้านหลังซิลิคอนเวเฟอร์ ชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งกึ่งเดี่ยวแนวตั้งกัดโดยเคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ ด้านหลังซิลิคอนเวเฟอร์ และชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งกึ่งคู่แนวอนกัดโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียม ที่ด้านหลังตามลำดับ โดยได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานของชั้นพอร์ซซิลิคอนที่ ระยะห่างระหว่างขั้วต่างกัน กับชนิดชุดกัดไฟฟ้าเคมีที่ใช้ในการแอโนไดซ์เซชัน ดังตารางที่ 4.1 และรูป ที่ 4.2

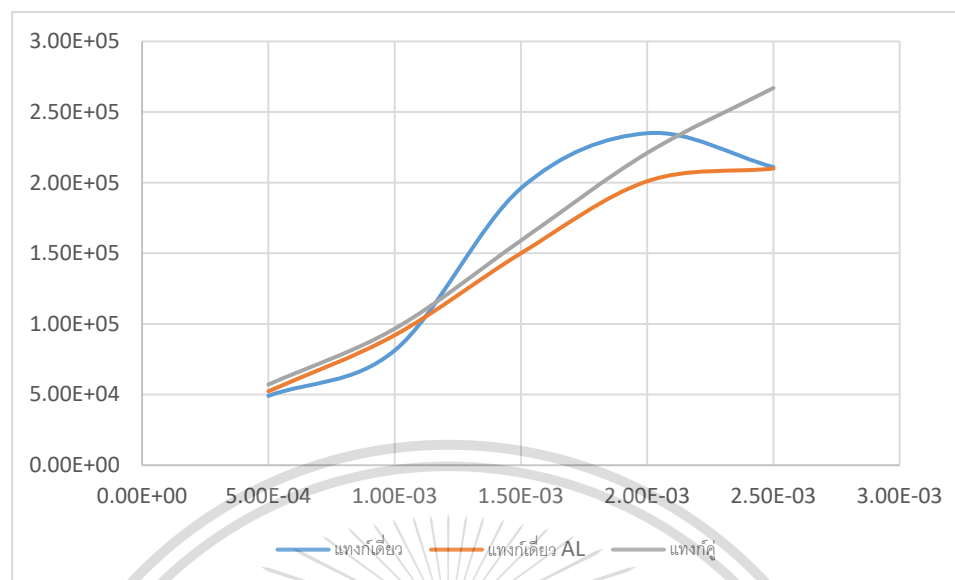
ตารางที่ 4.1 ค่าความต้านทานของชั้นพอร์ซซิลิคอนที่ระยะห่างระหว่างขั้วต่างกัน กับชนิดชุดกัด ไฟฟ้าเคมีที่ใช้ในการแอโนไดซ์เซชัน

ชนิดชุดกัดไฟฟ้าเคมี	ค่าความต้านทาน (Ω) ต่อระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้า (μm)				
	L=500 μm	L=1000 μm	L=1500 μm	L=2000 μm	L=2500 μm
ชุดกัดเซลล์แท่งกึ่งเดี่ยวแนวตั้งกัดโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังซิลิคอน	4.91 X $10^4 \Omega$	8.12 X $10^4 \Omega$	1.96 X $10^5 \Omega$	2.35 X $10^5 \Omega$	2.11 X $10^5 \Omega$
ชุดกัดเซลล์แท่งกึ่งเดี่ยวแนวตั้งกัดโดยเคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังซิลิคอน	5.23 X $10^4 \Omega$	9.20 X $10^4 \Omega$	1.50 X $10^5 \Omega$	2.01 X $10^5 \Omega$	2.10 X $10^5 \Omega$
ชุดกัดเซลล์แท่งกึ่งคู่แนวอนกัดโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังซิลิคอน	5.71 X $10^4 \Omega$	9.66 X $10^4 \Omega$	1.59 X $10^5 \Omega$	2.21 X $10^5 \Omega$	2.67 X $10^5 \Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างขั้วกับค่าความต้านทานของชั้นพอร์สซิลิคอนที่เงื่อนไขของชนิดชุดกัดไฟฟ้าเคมีที่ใช้ในกระบวนการแอนโนไดซ์เซชันต่างกัน

จากรูปที่ 4.2 พบว่าค่าความต้านทานของชั้นพอร์สซิลิคอนที่สร้างโดยชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์ แทงก์คู่ แนวนอนกัดโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังเมื่อระยะห่างระหว่างขั้วเพิ่มสูงขึ้นก็มีการเพิ่มขึ้นของค่าความต้านทานโดยมีความสัมพันธ์กันค่อนข้างเป็นเส้นตรง แสดงให้เห็นถึงความสม่ำเสมอของชั้นพอร์สซิลิคอนที่เกิดขึ้น ส่วนค่าความต้านทานของชั้นพอร์สซิลิคอนที่สร้างโดยชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แทงก์เดี่ยวแนวตั้งกัดโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังซิลิคอนเวเฟอร์ และชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แทงก์เดี่ยวแนวตั้งกัดโดยเคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังซิลิคอนเวเฟอร์นั้น มีการเพิ่มขึ้นของค่าความต้านทานแต่มีความสัมพันธ์ไม่เป็นเส้นตรง แสดงให้เห็นถึงความไม่สม่ำเสมอของชั้นพอร์สซิลิคอนที่สร้างด้วยการกัดทั้งสองวิธีนี้

4.1.3 การศึกษาผลของชนิดชุดกัดไฟฟ้าเคมีต่อความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอน

การทดลองนี้ทำการศึกษาความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอน ซึ่งทำการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการแอนโนไดซ์เซชัน โดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm เวลาในการแอนโนไดซ์เซชัน 10 นาที ด้วยชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แทงก์เดี่ยวแนวตั้งกัดโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังซิลิคอนเวเฟอร์ ชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แทงก์เดี่ยวแนวตั้งกัดโดยเคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังซิลิคอนเวเฟอร์ และชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิด

เซลล์แทงก์คู่แนวนอนกัดโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลัง ตามลำดับ โดยคำนวณหาความพรุนจากสมการเปอร์เซ็นต์ความพรุนโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของวัสดุก่อนและหลังการเกิดรูพรุน

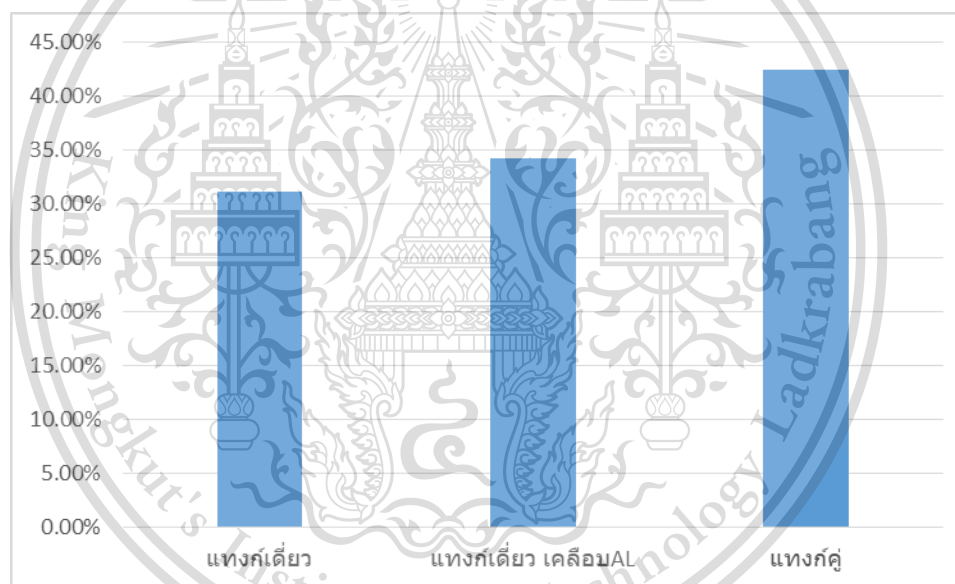
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.2 เปอร์เซนต์ความพรุนในชั้นพอร์ซซิลิคอนที่สร้างด้วยชนิดชุดกัดไฟฟ้าเคมีที่ใช้ในการแอโนไดซ์เซชันแตกต่างกัน

ชนิดชุดกัดไฟฟ้าเคมีที่ใช้ในการแอโนไดซ์เซชัน	เปอร์เซนต์ความพรุน
ชุดกัดเซลล์แท่งเดี่ยวแนวตั้งกัดโดยไม่เคลือบชั้น อลูมิเนียมที่ด้านหลังซิลิคอนเวเฟอร์	31.1%
ชุดกัดเซลล์แท่งเดี่ยวแนวตั้งกัดโดยเคลือบชั้น อลูมิเนียมที่ด้านหลังซิลิคอนเวเฟอร์	34.2%
ชุดกัดเซลล์แท่งคู่แนวอนกัดโดยไม่เคลือบชั้น อลูมิเนียมที่ด้านหลังซิลิคอนเวเฟอร์	42.5%



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างชนิดชุดกัดไฟฟ้าเคมีที่ใช้ในกระบวนการแอโนไดซ์เซชันกับเปอร์เซนต์ความพรุนของชั้นพอร์ซซิลิคอน

จากรูปที่ 4.3 พบว่าค่าความพรุนของชั้นพอร์ซซิลิคอนที่สร้างด้วยชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์ แท่งคู่แนวอนกัดโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลัง มีความพรุนสูงที่สุดตามด้วยชุดกัดไฟฟ้าเคมี ชนิดเซลล์แท่งเดี่ยวแนวตั้งกัดโดยเคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังซิลิคอนเวเฟอร์ และชุดกัดไฟฟ้าเคมี ชนิดเซลล์แท่งเดี่ยวแนวตั้งกัดโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังซิลิคอนเวเฟอร์ ตามลำดับ ซึ่ง จากการทดลองที่ 4.1.1 –4.1.3 พบว่าในขณะที่ใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า และเวลาในการแอโนไดซ์เซชันเท่ากัน การกัดด้วยชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งคู่แนวอนกัดโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียม ที่ด้านหลังนั้นมีความ

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

สม่ำเสมอจากการเรืองแสงมากกว่า มีความสม่ำเสมอของค่าความต้านทาน มากกว่า และได้เปอร์เซ็นต์ความพรุนที่สูงกว่าการสร้างทั้งสามชนิดที่ได้ทำการทดลอง ซึ่งเป็นผลลัพธ์ ที่ต้องการสำหรับการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการแอนโอดิซ์เซชัน ดังนั้นในการทดลองต่อไปจึง เลือกใช้ชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งกึ่งวงวนอนกัดโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังเป็นวิธีการ หลักในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการแอนโอดิซ์เซชัน

4.2 การทดลองเพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกในการ สร้างชั้นพอร์สซิลิคอน

การทดลองนี้ทำการศึกษาถึง ผลของความเข้มข้นสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกในการสร้างชั้น พอร์สซิลิคอน โดยเปรียบเทียบกับระหว่างอัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 5:1, 4:1, 3:1, 2:1 และ 1:1 ตามลำดับ โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mNcm เวลาในการ แอนโอดิซ์เซชัน 10 นาที ด้วยชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งกึ่งวงวนอนกัดโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียม ที่ด้านหลัง ในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการแอนโอดิซ์เซชัน

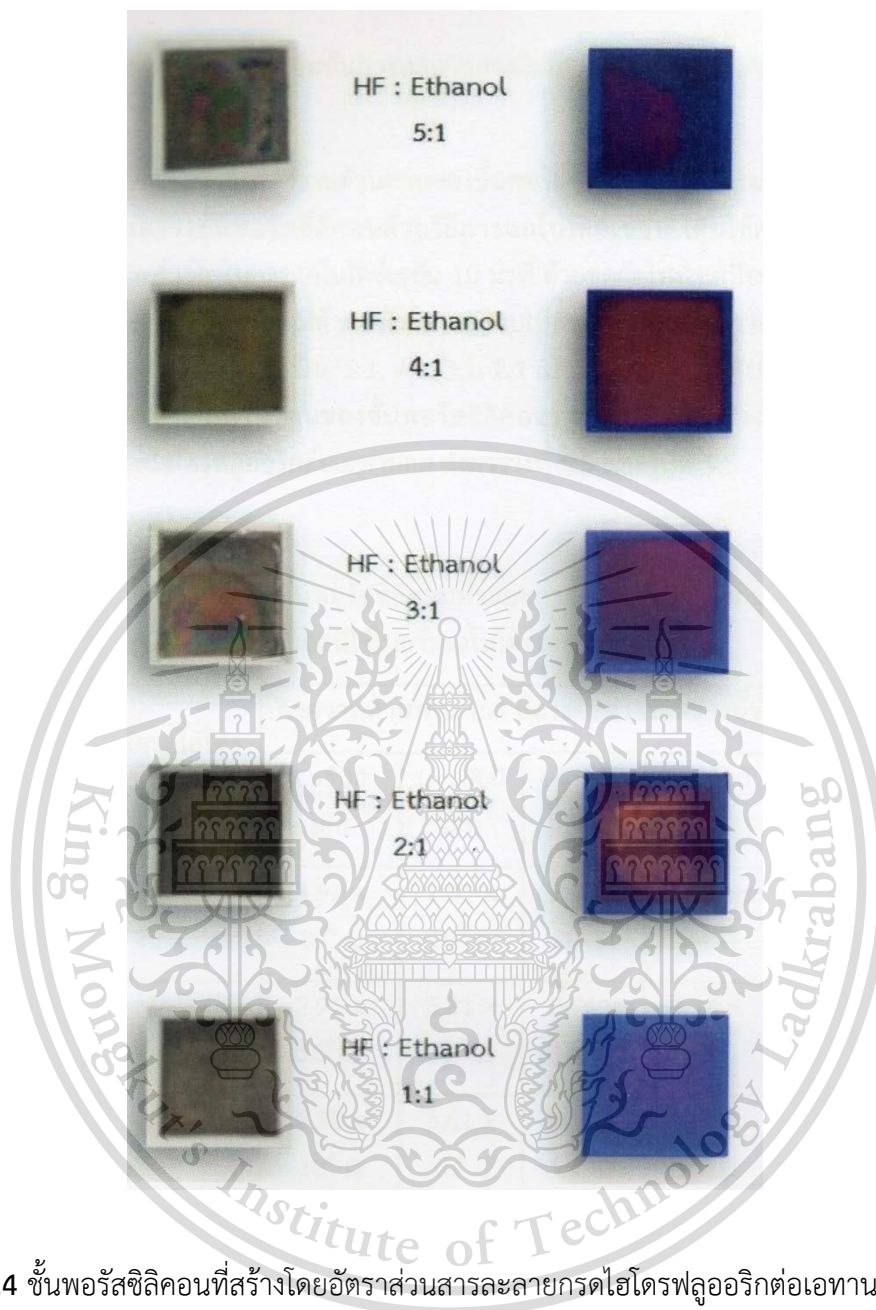
4.2.1 การศึกษาผลของความเข้มข้นสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อการเรืองแสงของชั้นพอร์สซิลิคอนเมื่อทำการฉายแสงจากหลอดแบล็คไลท์

การทดลองนี้ทำการศึกษาถึงการเรืองแสงของชั้นพอร์สซิลิคอน ซึ่งทำการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการแอนโอดิซ์เซชัน โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mWcm เวลาในการแอนโอดิซ์เซชัน 10 นาที ด้วยชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งกึ่งวงวนอนกัดโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลัง โดยเปรียบเทียบกับระหว่างอัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 5:1, 4:1, 3:1, 2.1 และ 1:1 ตามลำดับ เมื่อทำการฉายแสงด้วยหลอดแบล็คไลท์จะทำให้เกิดการเรืองแสงขึ้นของชั้น พอร์สซิลิคอนแสดงดังรูปที่ 4.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.4 ชั้นพอร์ซซาลิคอนที่สร้างโดยอัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลต่างกัน

(ก) พื้นผิวของชั้นพอร์ซซาลิคอน (ข) การเรืองแสงของชั้นพอร์ซซาลิคอน

จากรูปที่ 4.4 (ก) สังเกตได้ว่าการสร้างชั้นพอร์ซซาลิคอนด้วยอัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดร ฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 มีการเกิดชั้นพอร์ซซาลิคอนที่มีความสม่ำเสมอมากที่สุด พร้อมทั้งมี โครงสร้างที่ไม่เปราะบางแตกหักง่าย ซึ่งที่อัตราส่วน 3:1, 2:1 และ 1:1 มีโครงสร้างที่เปราะบางแตกหัก ง่าย และสังเกตสมบัติการเรืองแสงของชั้นพอร์ซซาลิคอนด้วยการฉายแสงจากหลอดแบล็คไลท์ แสดง ดังรูปที่ 4.4 (ข)

สังเกตได้ว่าชั้นพอร์ซซาลิคอนที่สร้างด้วยอัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอ ทานอลเป็น 4:1 จะมีการเรืองแสงของชั้นพอร์ซซาลิคอนอย่างสม่ำเสมอมากกว่าการสร้างในอัตราส่วนอื่นๆ ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.2.2 การศึกษาผลของความเข้มข้นสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อความต้านทานของ ชั้นพอร์สซิลิโคน

การทดลองนี้ทำการศึกษาถึงค่าความต้านทานของชั้นพอร์สซิลิโคนที่วัดโดยระยะห่างระหว่าง ขั้วต่างๆกัน ซึ่งทำการสร้างชั้นพอร์สซิลิโคนด้วยวิธีการแอโนไดซ์เซชัน โดยใช้ความหนาแน่น กระแสไฟฟ้า 10 mA/cm เวลาในการแอโนไดซ์เซชัน 10 นาที ด้วยชุดกักไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แทงก์คู่ แนวนอนกักโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลัง โดยเปรียบเทียบกับระหว่างอัตราส่วนสารละลาย กรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 5:1, 4:1, 3:1, 2:1 และ 1:1 ตามลำดับ โดยได้แสดง ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานของชั้นพอร์สซิลิโคนที่ระยะห่างระหว่างขั้วต่างกัน กับ อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอล ดังตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.5

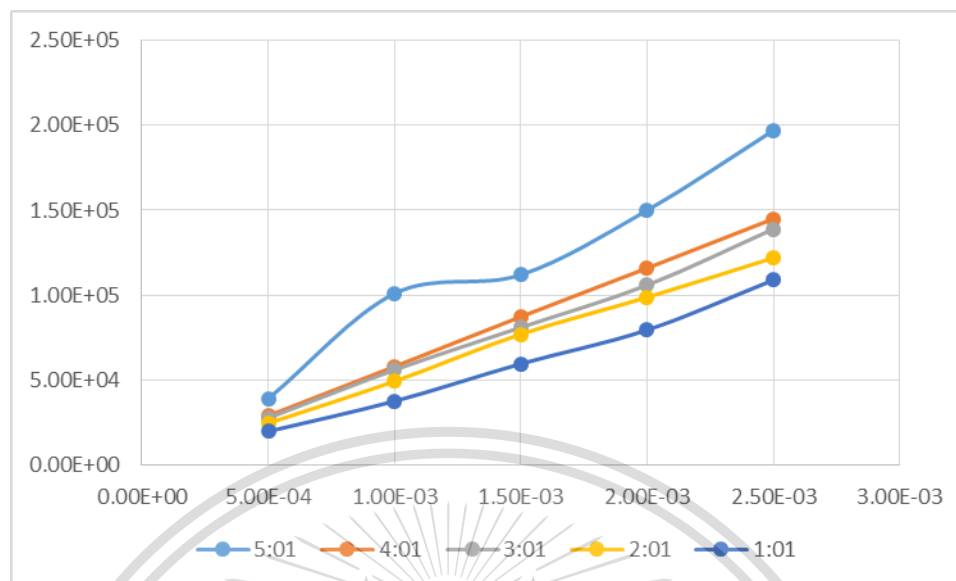
ตารางที่ 4.3 ค่าความต้านทานของชั้นพอร์สซิลิโคนที่ระยะห่างระหว่างขั้วต่างกัน กับอัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลที่ใช้ในการแอโนไดซ์เซชัน

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	$1.99 \times 10^4 \Omega$	$3.77 \times 10^4 \Omega$	$5.97 \times 10^4 \Omega$	$7.96 \times 10^4 \Omega$	$1.09 \times 10^5 \Omega$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างขั้วกับค่าความต้านทานของชั้นพอร์สซิลิคอนที่

เงื่อนไขของอัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลที่ใช้ในการแอนโนไดซ์เซชันต่างกัน

จากรูปที่ 4.5 พบว่าค่าความต้านทานของชั้นพอร์สซิลิคอนที่สร้างด้วยอัตราส่วนสารละลายกรด ไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 เมื่อระยะห่างระหว่างขั้วเพิ่มสูงขึ้นก็มีการเพิ่มขึ้นของค่าความต้านทาน โดยมีความสัมพันธ์กันค่อนข้างเป็นเส้นตรง แสดงให้เห็นถึงความสม่ำเสมอของชั้นพอร์สซิลิคอนที่เกิดขึ้น ส่วนค่าความต้านทานของชั้นพอร์สซิลิคอนที่สร้างด้วยอัตราส่วนสารละลายกรด ไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 5:1 มีการเพิ่มขึ้นของค่าความต้านทานกับระยะห่างระหว่างขั้วแต่มีความสัมพันธ์กันไม่ เป็นเส้นตรง แสดงให้เห็นถึงความไม่สม่ำเสมอของชั้นพอร์สซิลิคอนที่สร้างด้วย อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลนี้เนื่องจากเป็นความเข้มข้นที่ยังทำให้เกิดฟอง ก๊าซขณะทำการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอน จึงเกิดชั้นพอร์สซิลิคอนไม่ทั่วบริเวณนั่นเอง

4.2.3 การศึกษาผลของความเข้มข้นสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อความพรุนของชั้น พอร์สซิลิคอน

การทดลองนี้ทำการศึกษาความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอน ซึ่งทำการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนด้วย วิธีการแอนโนไดซ์เซชัน โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm เวลาในการแอนโนไดซ์เซชัน 10 นาที ด้วยชุดกักไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งกึ่งแวนอนกัตโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลัง โดย เปรียบเทียบกันระหว่างอัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 5:1, 4:1, 3:1, 2:1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

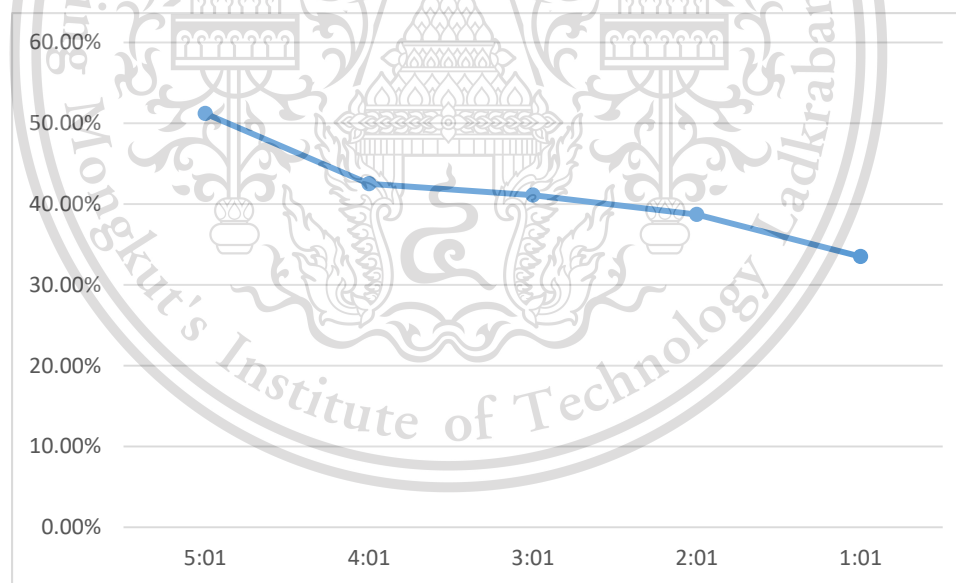
This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

และ 1:1 ตามลำดับ โดยคำนวณหาค่าความพรุนจากสมการเปอร์เซ็นต์ความพรุนโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงมวลหนักของวัสดุก่อนและหลังการเกิดรูพรุน

ตารางที่ 4.4 ค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนในชั้นพอร์สซิลิคอนที่สร้างด้วยอัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดร ฟลูออริกต่อเอทานอลที่ใช้ในการแอนโนไดซ์เซชันแตกต่างกัน

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



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลที่ใช้ในการแอนโนไดซ์เซชันกับเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากรูปที่ 4.6 พบว่าเมื่อทำการลดอัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลลงจะทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์ซซิลิคอนลดลงตามไปด้วย การผสมเอทานอลเข้าไปผลดีคือจะช่วยให้ลดแรงตึงผิวของฟองก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นขณะทำการแอนโนไดซ์เซชัน จะทำให้มีการกัด ผิวหน้าของซิลิคอนได้ทั่วบริเวณ แต่ถ้าผสมเอทานอลเข้าไปมากเกินไปก็จะทำให้การนำไฟฟ้าของ สารละลายแย่งลงทำให้อัตราการเกิดชั้นพอร์ซซิลิคอนช้าลงส่งผลให้มีเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้น พอร์ซซิลิคอนที่ลดลงไปด้วยนั่นเอง

4.3 การทดลองเพื่อศึกษาผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการสร้างชั้นพอร์ซซิลิคอน

การทดลองนี้ทำการศึกษาถึง ผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการสร้างชั้นพอร์ซซิลิคอน โดยเปรียบเทียบกันระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 5 mA/cm, 10 mA/cm, 15 mA/cm², 20 mA/cm และ 25 mA/cm ตามลำดับ โดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอล เป็น 4:1 เวลาในการแอนโนไดซ์เซชัน 10 นาที ด้วยชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งกึ่งคูแวนนอนกัตโดยไม่ เคลือบชั้น อลูมิเนียมที่ด้านหลัง ในการสร้างชั้นพอร์ซซิลิคอนด้วยวิธีการแอนโนไดซ์เซชัน

4.3.1 การศึกษาผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่อการเรืองแสงของชั้นพอร์ซซิลิคอน เมื่อทำการฉายแสงจากหลอดแบล็คไลท์

การทดลองนี้ทำการศึกษาถึงการเรืองแสงของชั้นพอร์ซซิลิคอน ซึ่งทำการสร้างชั้นพอร์ซซิลิคอน ด้วยวิธีการแอนโนไดซ์เซชัน โดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 เวลา ในการแอนโนไดซ์เซชัน 10 นาที ด้วยชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งกึ่งคูแวนนอนกัตโดยไม่เคลือบชั้น อลูมิเนียมที่ด้านหลัง โดยเปรียบเทียบกันระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 5 mA/cm, 10 mA/cm, 15 mA/cm, 20 mA/cm” และ 25 mA/cm ตามลำดับ เมื่อทำการฉายแสงด้วยหลอด แบล็คไลท์จะทำให้เกิดการเรืองแสงขึ้นของชั้นพอร์ซซิลิคอน แสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ชั้นพอร์ซซิลิคอนที่สร้างโดยความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการแอนโนไดซ์เซชันต่างกัน

(ก) พื้นผิวของชั้นพอร์ซซิลิคอน (ข) การเรืองแสงของชั้นพอร์ซซิลิคอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.7 ชั้นพอร์สซิลิคอนที่สร้างโดยความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการแอโนไดซ์เซชันต่างกัน (ต่อ)

(ก) พื้นผิวของชั้นพอร์สซิลิคอน (ข) การเรืองแสงของชั้นพอร์สซิลิคอน

จากรูปที่ 4.7 (ก) สังเกตได้ว่าเมื่อเราทำการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนด้วยความหนาแน่น กระแสไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้นชั้นพอร์สซิลิคอนจะมีการเปลี่ยนแปลงจากสีน้ำตาลดำไปเป็นสีน้ำตาลเข้ม จนกระทั่งเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอ่อน และเมื่อสังเกตสมบัตการเรืองแสงของชั้นพอร์สซิลิคอนด้วยการ ฉายแสงจากหลอดแบล็คไลท์ แสดงดังรูปที่ 4.7 (ข) สังเกตได้ว่าสีในการเรืองแสงของชั้นพอร์สซิลิคอน จะมีการเปลี่ยนแปลงจากสีส้มเข้มไปเป็นสีส้มอ่อน เนื่องจากการใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการ แอโนไดซ์เซชันมากขึ้นโครงสร้างของชั้นพอร์สซิลิคอนก็จะถูกกัดเพิ่มมากขึ้น ส่งผลให้ความพรุนของ ชั้นพอร์สซิลิคอนมีเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้สีพื้นผิวเปลี่ยนแปลงจากสีน้ำตาลดำไปเป็นสีน้ำตาลเข้ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการเรียนการสอนเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จนกระทั่งเปลี่ยนเป็นสีน้ำตาลอ่อน และการเรืองแสงของชั้นพอร์ซซิลิคอนจึงมีการเปลี่ยนแปลงจากสี ส้มเข้มไปเป็นสีส้มอ่อน

4.3.2 การศึกษาผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่อความต้านทานของชั้นพอร์ซซิลิคอน

การทดลองนี้ทำการศึกษาถึงค่าความต้านทานของชั้นพอร์ซซิลิคอนที่วัดโดยระยะห่างระหว่าง ขั้วต่างๆกัน ซึ่งทำการสร้างชั้นพอร์ซซิลิคอนด้วยวิธีการแอนโนไดซ์เซชัน โดยใช้อัตราส่วนสารละลาย กรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 เวลาในการแอนโนไดซ์เซชัน 10 นาที ด้วยชุดกัดไฟฟ้าเคมี ชนิดเซลล์แท่งคู่ แนวนอนกัดโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลัง โดยเปรียบเทียบกันระหว่างความ หนาแน่น กระแสไฟฟ้า 5 mA/cm², 10 mA/cm², 15 mA/cm², 20 mA/cm² และ 25 mA/cm² ตามลำดับ โดย ได้แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความต้านทานของชั้นพอร์ซซิลิคอนที่ระยะห่าง ระหว่างขั้วต่างๆกัน กับ อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอล ดังตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.8

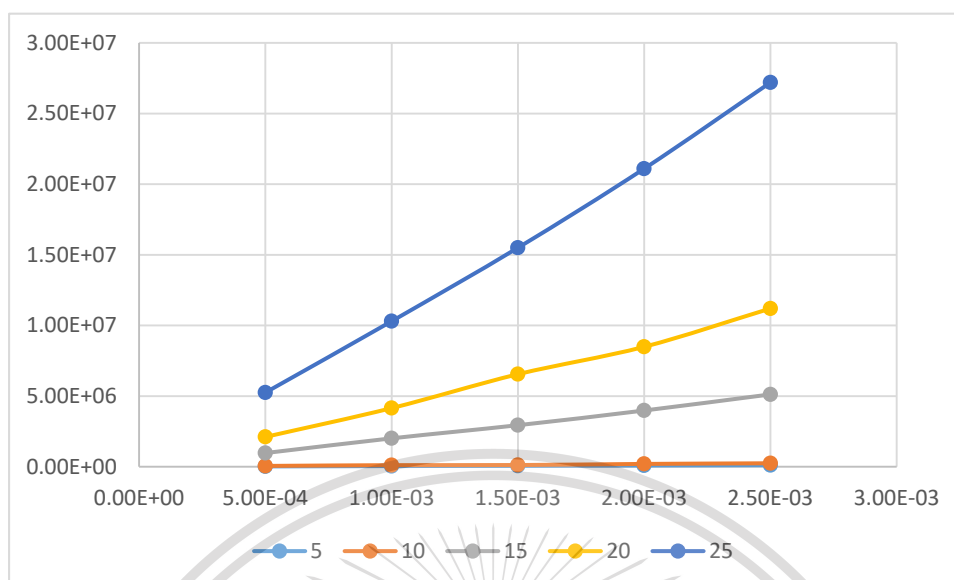
ตารางที่ 4.5 ค่าความต้านทานของชั้นพอร์ซซิลิคอนที่ระยะห่างระหว่างขั้วต่างๆกัน กับความหนาแน่น กระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการแอนโนไดซ์เซชัน

ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า ในการแอนโนไดซ์เซชัน	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 x 10 ⁴ Ω	4.61 x 10 ⁴ Ω	6.90 x 10 ⁴ Ω	9.09 x 10 ⁴ Ω	1.11 x 10 ⁵ Ω
10 mA/cm ²	5.71 x 10 ⁴ Ω	1.11 x 10 ⁵ Ω	1.20 x 10 ⁵ Ω	1.99 x 10 ⁵ Ω	2.45 x 10 ⁵ Ω
15 mA/cm ²	9.69 x 10 ⁵ Ω	2.01 x 10 ⁶ Ω	2.94 x 10 ⁶ Ω	3.98 x 10 ⁶ Ω	5.12 x 10 ⁶ Ω
20 mA/cm ²	2.11 x 10 ⁶ Ω	4.15 x 10 ⁶ Ω	6.55 x 10 ⁶ Ω	8.49 x 10 ⁶ Ω	1.12 x 10 ⁷ Ω
25 mA/cm ²	5.25 x 10 ⁶ Ω	1.03 x 10 ⁷ Ω	1.55 x 10 ⁷ Ω	2.11 x 10 ⁷ Ω	2.72 x 10 ⁷ Ω

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างชั้นกับความต้านทานของชั้นพอร์สซิลิคอนที่

เงื่อนไขของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการแอโนไดซ์เซชันต่างกัน

จากรูปที่ 4.8 พบว่าชั้นพอร์สซิลิคอนที่ทำการแอโนไดซ์เซชันด้วยความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าเพิ่มมากขึ้นจะมีค่าความต้านทานที่สูงขึ้น เนื่องจากเมื่อทำการแอโนไดซ์เซชันด้วยความหนาแน่น กระแสไฟฟ้าที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้เกิดการกัดชั้นพอร์สซิลิคอนที่มากขึ้น ส่งผลให้ค่าความต้านทาน สูงขึ้นตามไปด้วย นอกจากนี้ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างชั้นไฟฟ้ากับความหนาแน่น กระแสไฟฟ้าในการแอโนไดซ์เซชันยังมีความสัมพันธ์กันค่อนข้างเป็นเส้นตรงในทุกเงื่อนไขของความ หนาแน่นกระแสไฟฟ้า ซึ่งบ่งบอกถึงความสม่ำเสมอของชั้นพอร์สซิลิคอนที่เกิดขึ้น

4.3.3 การศึกษาผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่อความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอน

การทดลองนี้ทำการศึกษาความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอน ซึ่งทำการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนด้วย วิธีการแอโนไดซ์เซชัน โดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 เวลาในการแอโนไดซ์เซชัน 10 นาที ด้วยชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งกึ่งแวนนอนกัดโดยไม่เคลือบชั้น อลูมิเนียมที่ด้านหลัง โดยเปรียบเทียบกับกันระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 5 mA/cm, 10 mA/cm, 15 mA/cm, 20 mA/cm และ 25 mA/cm ตามลำดับ โดยคำนวณหาค่าความพรุน จากสมการเปอร์เซ็นต์ความพรุนโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของวัสดุก่อนและหลังการเกิดรูพรุน

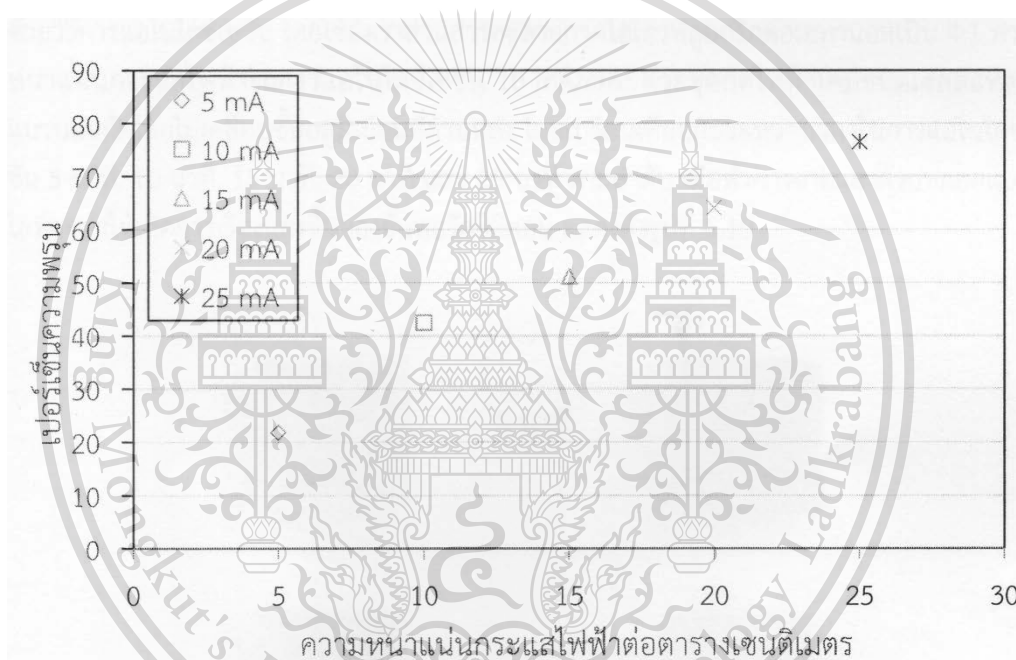
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.6 ค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนในชั้นพอร์ซซาลิคอนที่สร้างด้วยความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ใช้ ในการแอโนไดซ์เซชันแตกต่างกัน

ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ใช้ ในการแอโนไดซ์เซชัน	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 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการแอโนไดซ์เซชันกับเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์ซซาลิคอน

จากรูปที่ 4.9 พบว่าเมื่อทำการเพิ่มค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการแอโนไดซ์เซชันแล้วจะ ทำให้เปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์ซซาลิคอนมีความสัมพันธ์เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกันกับ ค่าความต้านทานของชั้นพอร์ซซาลิคอนที่มีความสัมพันธ์สูงขึ้นเมื่อทำการเพิ่มค่าความหนาแน่น กระแสไฟฟ้าในการแอโนไดซ์เซชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

4.4 การทดลองเพื่อศึกษาผลของเวลาในการแอนโนไดซ์เซชันในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอน

การทดลองนี้ทำการศึกษาถึง ผลของเวลาในการแอนโนไดซ์เซชันในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอน โดยเปรียบเทียบกันระหว่างเวลาในการแอนโนไดซ์เซชัน 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 20 นาที และ 25 นาที ตามลำดับ โดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/Cm ด้วยชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งกึ่งคู่นวนอนกักโดยไม่เคลื่อนที่ อลูมิเนียมที่ด้านหลัง ในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการแอนโนไดซ์เซชัน

4.4.1 การศึกษาผลของเวลาในการแอนโนไดซ์เซชันต่อการเรืองแสงของชั้นพอร์สซิลิคอน เมื่อทำการฉายแสงจากหลอดแบล็คไลท์

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



รูปที่ 4.10 ชั้นพอร์สซิลิคอนที่สร้างโดยเวลาในการแอนโนไดซ์เซชันต่างกัน

(ก) พื้นผิวของชั้นพอร์สซิลิคอน

(ข) การเรืองแสงของชั้นพอร์สซิลิคอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

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

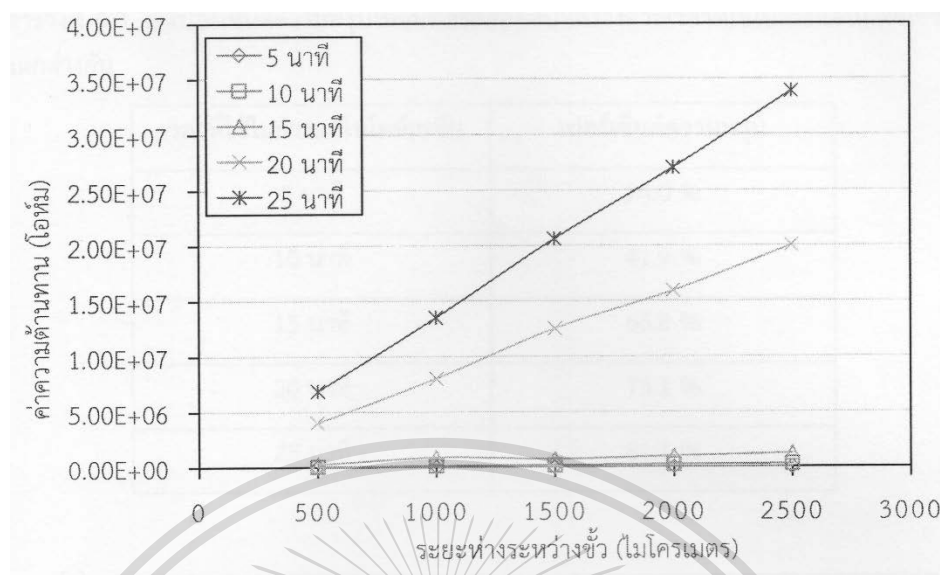
ตารางที่ 4.7 ค่าความต้านทานของชั้นพอร์ซซิลิคอนที่ระยะห่างระหว่างขั้วต่างกันกับเวลาที่ใช้ในการแอนโดซ์เซชัน

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างระหว่างขั้วกับค่าความต้านทานของชั้นพอร์สซิลิคอนที่เงื่อนไขของเวลาที่ใช้ในการแอโนไดซ์เซชันต่างกัน

จากรูปที่ 5.11 พบว่าชั้นพอร์สซิลิคอนที่ทำการแอโนไดซ์เซชันด้วยเวลาที่เพิ่มมากขึ้นจะมีค่าความต้านที่สูงขึ้น เนื่องจากเมื่อทำการแอโนไดซ์เซชันด้วยเวลาที่เพิ่มมากขึ้นจะทำให้เกิดการกัดชั้น พอร์สซิลิคอนที่มากขึ้น ส่งผลให้ค่าความต้านทานสูงขึ้นตามไปด้วย นอกจากนี้ความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะห่างระหว่างขั้วไฟฟ้ากับเวลาในการแอโนไดซ์เซชันยังมีความสัมพันธ์กันค่อนข้างเป็นเส้นตรงใน ทุกเงื่อนไขของเวลาในการแอโนไดซ์เซชัน ซึ่งบ่งบอกถึงความสม่ำเสมอของชั้นพอร์สซิลิคอนที่เกิดขึ้น

4.4.3 การศึกษาผลของเวลาในการแอโนไดซ์เซชันต่อความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอน

การทดลองนี้ทำการศึกษาความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอน ซึ่งทำการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนด้วย วิธีการแอโนไดซ์เซชัน โดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการแอโนไดซ์เซชัน 10 mA/cm ด้วยชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แท่งกู่ แนวนอนกัดโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลัง โดยเปรียบเทียบกันระหว่างเวลาในการแอโนไดซ์เซชัน 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 20 นาที และ 25 นาที ตามลำดับ โดยคำนวณหาความพรุนจาก สมการเปอร์เซ็นต์ความพรุน โดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของวัสดุก่อนและหลังการเกิดรูพรุน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

ตารางที่ 4.8 ค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนในชั้นพอร์สซิลิคอนที่สร้างด้วยเวลาที่ใช้ในการแอโนไดซ์เซชันแตกต่างกัน

เวลาที่ใช้ในการแอโนไดซ์เซชัน	เปอร์เซ็นต์ความพรุน
5 นาที	24.0 %
10 นาที	41.9 %
15 นาที	66.8 %
20 นาที	73.1%
25 นาที	81.1%



รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการแอโนไดซ์เซชันกับค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอน

จากรูปที่ 4.12 พบว่าเมื่อทำการเพิ่มค่าเวลาที่ใช้ในการแอโนไดซ์เซชันแล้วจะทำให้เปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนมีความสัมพันธ์เพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งสอดคล้องกันกับค่าความต้านทานของชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีความสัมพันธ์สูงขึ้นเมื่อทำการเพิ่มเวลาในการแอโนไดซ์เซชัน

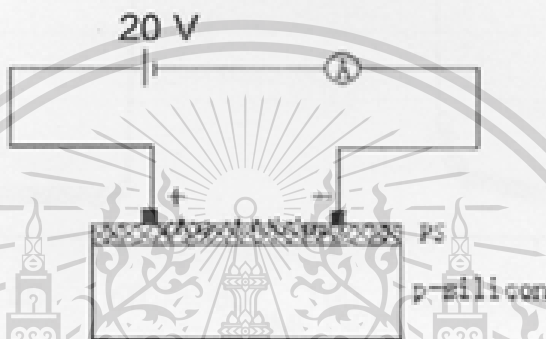
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

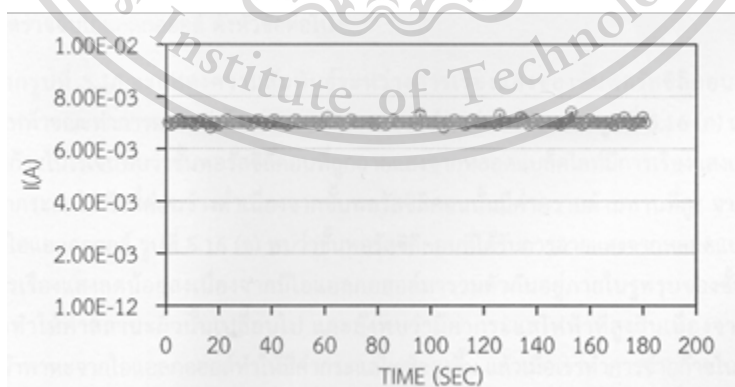
4.5 การทดลองเพื่อศึกษาผลของชั้นพอร์สซิลิคอนในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์

การทดลองนี้ทำการศึกษาถึง การตอบสนองของกระแสไฟฟ้าต่อไอแอลกอฮอล์ โดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนที่ 51.2% ซึ่งทำการสร้างอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอน ทำการสร้างด้วยวิธีการแอนโดซ์เซชันด้วยชุดกัดแบบเซลล์แทงก์คู่แวนอนกัตโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลัง ทำการสร้างขั้วอลูมิเนียมบนชั้นพอร์สซิลิคอนขนาด 1000×1000 am โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วที่ 500 um แล้วทำการต่อขั้วเพื่อใช้ในการวัดลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ 5.13



รูปที่ 4.13 ภาพอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์จากชั้นพอร์สซิลิคอน

ทำการวัดคุณลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลา ในการเปิดก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 60 วินาที แล้วเปิดไนโตรเจนผสมกับไอเอทานอล 60 วินาที และเปิดก๊าซไนโตรเจน 60 วินาที ของอุปกรณ์ที่ไม่มีชั้นพอร์สซิลิคอน ที่อุณหภูมิห้อง แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับอุปกรณ์ 20 โวลต์ เปรียบเทียบกับอุปกรณ์ ที่มีชั้นพอร์สซิลิคอน แสดงดังรูปที่ 4.14

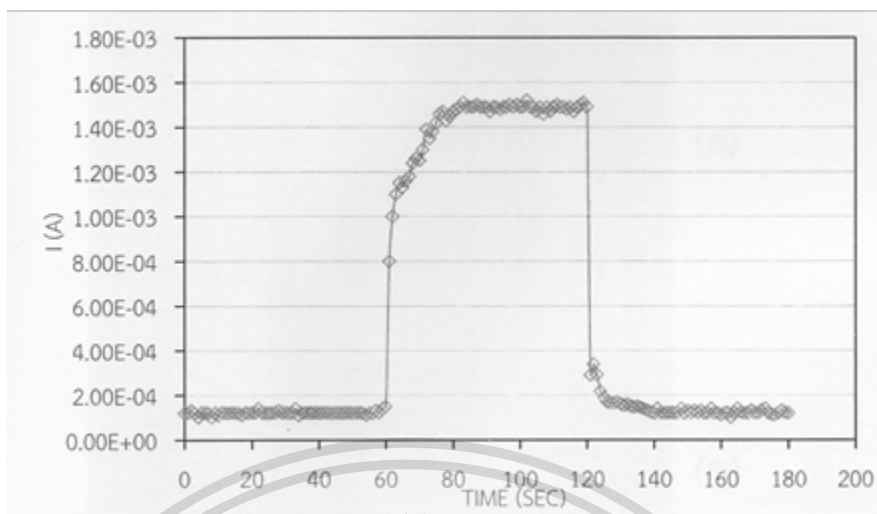


รูปที่ 4.14 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการตอบสนองการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอล์ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 อุปกรณ์ที่ไม่มีชั้นพอร์สซิลิคอน
 ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุใดที่เปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.15 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการตอบสนองการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอลล์ของอุปกรณ์ที่มีชั้นฟอสฟอริคคอน

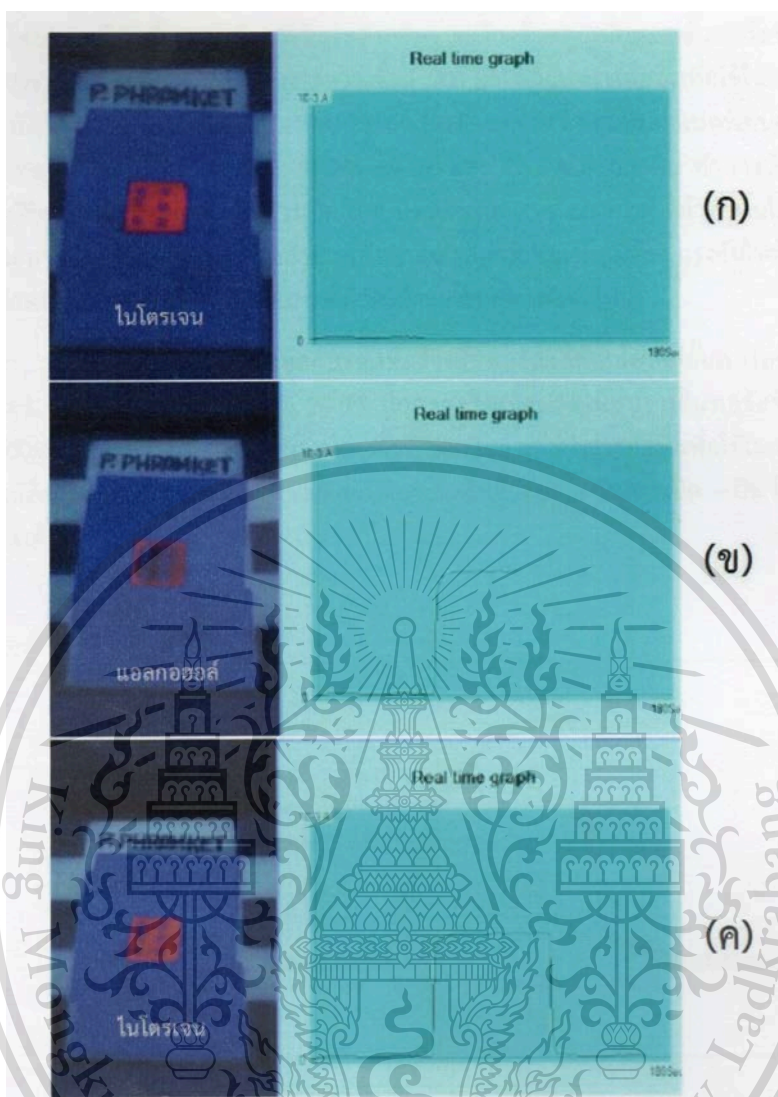
จากรูปที่ 4.14 พบว่าอุปกรณ์ที่ไม่มีชั้นฟอสฟอริคคอนไม่มีการตอบสนองต่อการตรวจจับไอแอลกอฮอลล์ แต่จากรูปที่ 4.15 พบว่าอุปกรณ์ที่มีชั้นฟอสฟอริคคอนนั้นมีการตอบสนองต่อการตรวจจับ ไอแอลกอฮอลล์ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์ที่มีชั้นฟอสฟอริคคอนสามารถนำไปใช้ในการตรวจจับไอแอลกอฮอลล์ได้ จึงได้มีการศึกษาถึงผลกระทบของค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นฟอสฟอริคคอนที่มีต่อ อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอลล์ ดังหัวข้อต่อไป

จากรูปที่ 4.16 จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเรืองแสงของชั้นฟอสฟอริคคอนและค่า กระแสไฟฟ้าขณะทำการตรวจจับไอระเหยของแอลกอฮอลล์พบว่า ในช่วงแรก รูปที่ 4.16 (ก) เราได้ทำ การจ่ายก๊าซไนโตรเจนพบว่าชั้นฟอสฟอริคคอนที่ถูกฉายแสงจากหลอดแบล็คไลท์มีการเรืองแสงเป็นสีส้ม และมีค่ากระแสไฟฟ้าที่ค่อนข้างต่ำเนื่องจากชั้นฟอสฟอริคคอนนั้นมีค่าความต้านทานที่สูง จากนั้นทำ การจ่ายไอแอลกอฮอลล์ รูปที่ 4.16 (ข) พบว่าชั้นฟอสฟอริคคอนที่ได้รับการฉายแสงจากหลอดแบล็คไลท์ นั้นมีการเรืองแสงลดน้อยลงเนื่องจากมีไอแอลกอฮอลล์มารวมตัวกันอยู่ภายในรูพรุนของชั้นฟอสฟอริค คอนทำให้ค่าสถานะผิวนั้นเปลี่ยนไป และยังพบว่ามีการกระแสไฟฟ้าที่สูงขึ้นเนื่องจากมีการ เหนี่ยวนำพาหะจากไอแอลกอฮอลล์ทำให้มีค่ากระแสไฟฟ้าสูงขึ้น แล้วเมื่อเราทำการจ่ายก๊าซไนโตรเจน เพื่อไล่ไอแอลกอฮอลล์ออกไป รูปที่ 4.16 (ค) พบว่า ชั้นฟอสฟอริคคอนที่ได้รับการฉายแสงด้วยหลอด แบล็คไลท์นั้นกลับมาเรืองแสงเป็นสีส้มเหมือนเดิม และมีค่ากระแสไฟฟ้าน้อยลงเหมือนขณะยังไม่ทำ การจ่ายไอแอลกอฮอลล์ในตอนแรก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการเรืองแสงของชั้นพอร์สซิลิคอนกับค่ากระแสไฟฟ้า

(ก) ขณะทำการจ่ายก๊าซไนโตรเจน

(ข) ขณะทำการจ่ายไอแอลกอฮอล์

(ค) ขณะทำการจ่ายก๊าซไนโตรเจนเพื่อไล่ไอแอลกอฮอล์

จากนั้นทำการทดลองเพื่อการศึกษาถึง ผลของค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนที่ ส่งผลต่อตัวแปรต่างๆ ในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ ซึ่งทำการสร้างอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

โดยใช้ชั้นพอร์ซซิลิคอน ทำการสร้างด้วยวิธีการแอโนไดซ์เซชันด้วยชุดกัดแบบเซลล์แท่งคู่ ผนวอนอน กัดโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลัง ทำการสร้างขั้วอลูมิเนียมบนชั้นพอร์ซซิลิคอนขนาด 1000x1000 am โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วที่ 500 um แล้วทำการต่อขั้วเพื่อใช้ในการวัดลักษณะ สมบัติ กระแสไฟฟ้า โดยเปรียบเทียบกันระหว่างชั้นพอร์ซซิลิคอนที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนที่ 24.09%, 33.5%, 38.7%, 42.5%, 51.2%, 64.19% และ 76.5% ตามลำดับ ทำการวัดคุณลักษณะ สมบัติกระแสไฟฟ้าต่อ เวลา ในการเปิดก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 60 วินาที แล้วเปิดไนโตรเจนผสมกับ ไอเอทานอล 60 วินาที และเปิดก๊าซไนโตรเจน 60 วินาที ที่อุณหภูมิห้อง แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับ อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ 20 โวลต์ ซึ่งได้ผลการทดลองดังต่อไปนี้

- อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่สร้างชั้นพอร์ซซิลิคอนโดยใช้ชั้นพอร์ซซิลิคอนที่มีค่า เปอร์เซ็นต์ความ พรุนประมาณ 24.09% ทำการสร้างขั้วอลูมิเนียมบนชั้นพอร์ซซิลิคอนขนาด 1000x1000 am โดยมี ระยะห่างระหว่างขั้วที่ 500 um แล้วทำการต่อขั้วเพื่อใช้ในการวัดลักษณะ สมบัติกระแสไฟฟ้า นำมาวัด ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการเปิด - ปิด ไอแอลกอฮอล์ แสดงดังรูปที่ 4.17



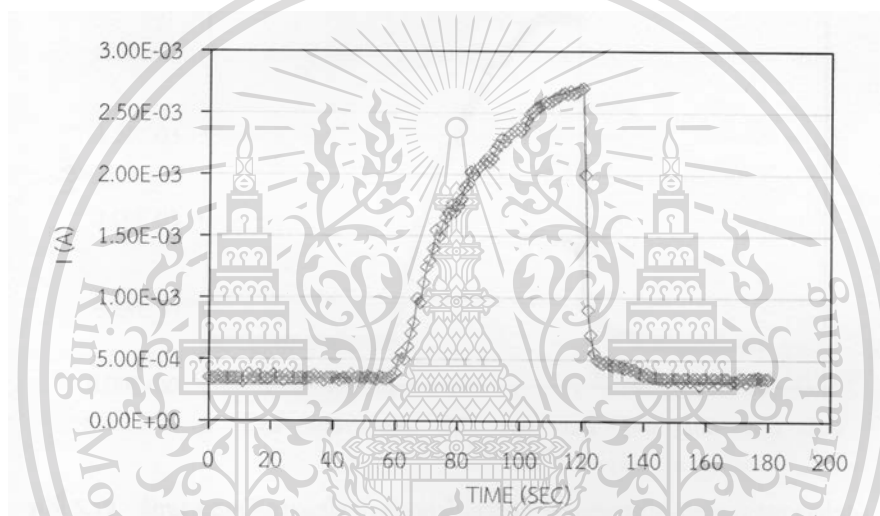
รูปที่ 4.17 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการตอบสนองการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์ซซิลิคอนประมาณ 24.0%

จากรูปที่ 4.17 พบว่าอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่สร้างชั้นพอร์ซซิลิคอนโดยใช้ชั้นพอร์ซซิลิคอนที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนประมาณ 24.09% กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นขณะทำการเปิดก๊าซ ไนโตรเจน อยู่ที่ประมาณ 7.0×10^{-4} A เมื่อทำการวัดไอแอลกอฮอล์ขณะเปิดก๊าซไนโตรเจนผสมกับไอ แอลกอฮอล์ที่ เวลาประมาณ 60 วินาที กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนขึ้นไปอยู่ที่ประมาณ 2.6×10^{-3} A ที่เวลา ประมาณ 120 วินาที และทำการปิดไอแอลกอฮอล์พร้อมกับเปิดก๊าซไนโตรเจนที่เวลา ประมาณ 120 วินาที กระแสไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ จนตกลงมาที่จุดเดิมตอนเริ่มต้นคือที่ประมาณ 7.0×10^{-4} A ที่เวลา

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประมาณ 150 วินาที ซึ่งปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงมีค่าประมาณ 1.9×10^{-3} A เมื่อมีการตรวจจับไอแอลกอฮอล์กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จะใช้เวลาในการอิมตัวประมาณ 60 วินาที และเมื่อมีการปิดไอแอลกอฮอล์กระแสไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ ใช้เวลาในการกลับมาจุดเริ่มต้น เดิมประมาณ 30 วินาที

- อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่สร้างขึ้นพอร์สซิลิคอนโดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนประมาณ 33.5% ทำการสร้างขั้วลูมิเนียมบนชั้นพอร์สซิลิคอนขนาด 1000×1000 um” โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วที่ 500 um แล้วทำการต่อขั้วเพื่อใช้ในการวัดลักษณะ สมบัติกระแสไฟฟ้านำมาวัดลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการเปิด - ปิด ไอแอลกอฮอล์ แสดงดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการตอบสนองการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนประมาณ 33.5%

จากรูปที่ 4.18 พบว่าอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่สร้างขึ้นพอร์สซิลิคอนโดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนประมาณ 33.5% กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นขณะทำการเปิดก๊าซ ไนโตรเจนอยู่ที่ประมาณ 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 ที่เวลาประมาณ 145 วินาที ซึ่งปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงมีค่าประมาณ 2.35×10^{-3} A เมื่อมีการตรวจจับไอแอลกอฮอล์กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จะใช้เวลาในการอิมตัวประมาณ 60 วินาทีและเมื่อมีการปิดไอแอลกอฮอล์กระแสไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ ใช้เวลาในการกลับมาจุดเริ่มต้น เดิมประมาณ 25 วินาที

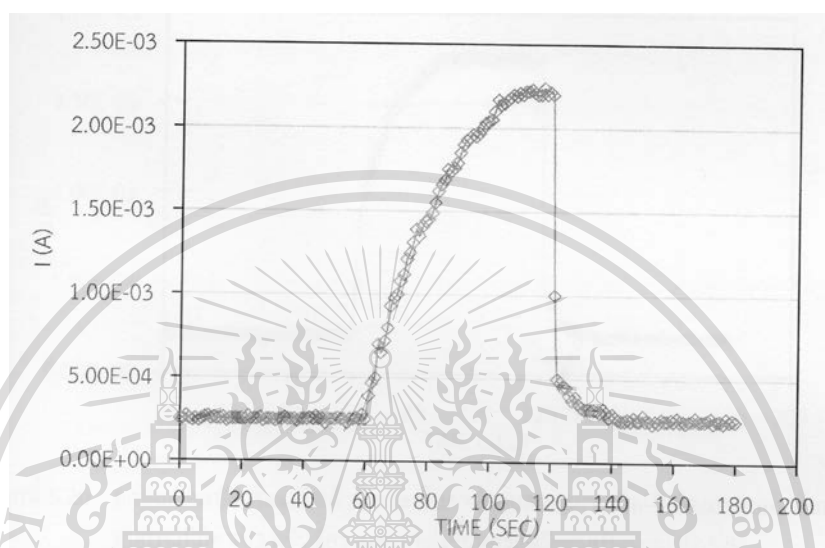
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตในการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

- อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่สร้างขึ้นพอร์สซิลิคอนโดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนประมาณ 38.7% ทำการสร้างขั้วลุ่มิเนียมบนชั้นพอร์สซิลิคอนขนาด 1000×1000 am โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วที่ 500 um แล้วทำการต่อขั้วเพื่อใช้ในการวัดลักษณะ สมบัติกระแสไฟฟ้า นำมาวัดลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการเปิด - ปิด ไอแอลกอฮอล์ แสดงดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการตอบสนองการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนประมาณ 38.7%

จากรูปที่ 4.19 พบว่าอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่สร้างขึ้นพอร์สซิลิคอนโดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนประมาณ 38.7% กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นขณะทำการเปิดก๊าซ ไนโตรเจนอยู่ที่ประมาณ 2.50×10^{-3} A เมื่อทำการวัดไอแอลกอฮอล์ขณะเปิดก๊าซไนโตรเจนผสมกับ ไอแอลกอฮอล์ที่เวลาประมาณ 60 วินาที กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนขึ้นไปถึงอยู่ที่ประมาณ 2.20×10^{-3} A ที่เวลาประมาณ 110 วินาที และทำการปิดไอแอลกอฮอล์พร้อมกับเปิดก๊าซไนโตรเจนที่เวลา ประมาณ 120 วินาที กระแสไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ จนตกลงมาที่จุดเดิมตอนเริ่มต้นคือที่ประมาณ 2.50×10^{-3} A ที่เวลาประมาณ 143 วินาที ซึ่งปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงมีค่าประมาณ 1.95×10^{-3} A เมื่อมีการตรวจจับไอแอลกอฮอล์กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จะใช้เวลาในการอ้อมตัว ประมาณ 50 วินาที และเมื่อมีการปิดไอแอลกอฮอล์กระแสไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ ใช้เวลาในการ กลับมาจุดเริ่มต้นเดิมประมาณ 23 วินาที

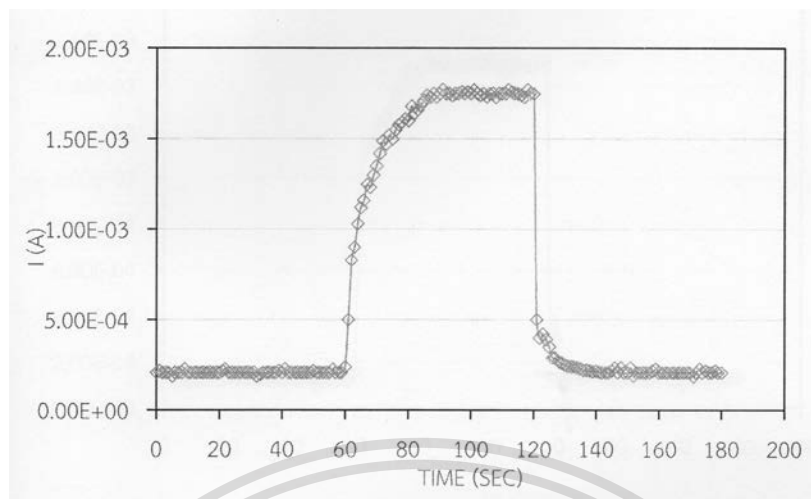
- อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่สร้างขึ้นพอร์สซิลิคอนโดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีค่า เปอร์เซ็นต์ความพรุนประมาณ 42.5% ทำการสร้างขั้วลุ่มิเนียมบนชั้นพอร์สซิลิคอนขนาด 1000×1000 am โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วที่ 500 um แล้วทำการต่อขั้วเพื่อใช้ในการวัดลักษณะ สมบัติกระแสไฟฟ้า นำมาวัดลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการเปิด - ปิด ไอแอลกอฮอล์ แสดงดังรูปที่ 4.20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับใช้ในเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น มิใช่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.20 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการตอบสนองการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนประมาณ 42.59%

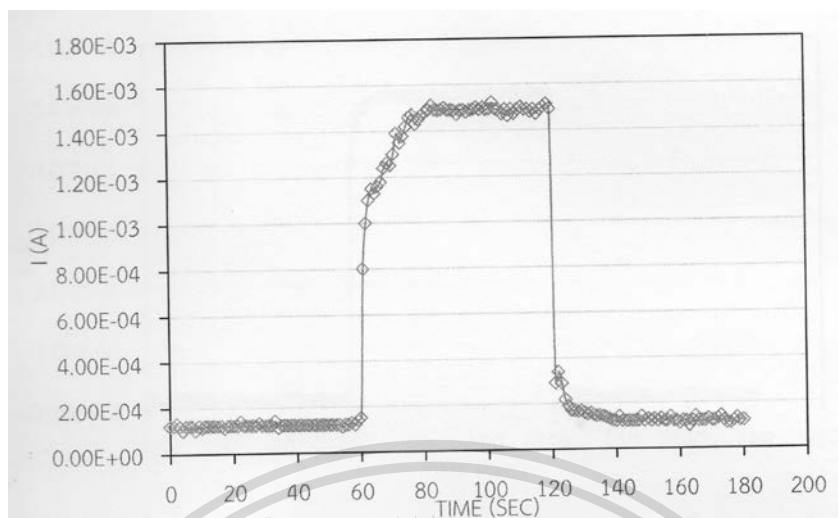
จากรูปที่ 4.20 พบว่าอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่สร้างขึ้นพอร์สซิลิคอนโดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนประมาณ 42.59% กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นขณะทำการเปิดก๊าซ ไนโตรเจนอยู่ที่ประมาณ 2.07×10^{-4} A เมื่อทำการวัดไอแอลกอฮอล์ขณะเปิดก๊าซไนโตรเจนผสมกับ ไอแอลกอฮอล์ที่เวลาประมาณ 60 วินาที กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนขึ้นไปอยู่ที่ประมาณ 1.75×10^{-3} A ที่เวลาประมาณ 91 วินาที และทำการปิดไอแอลกอฮอล์พร้อมกับเปิดก๊าซไนโตรเจนที่เวลา ประมาณ 120 วินาที กระแสไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ จนตกลงมาที่จุดเดิมตอนเริ่มต้นคือที่ประมาณ 2.07×10^{-4} A ที่เวลาประมาณ 142 วินาที ซึ่งปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงมีค่าประมาณ 1.54×10^{-3} A เมื่อมีการตรวจจับไอแอลกอฮอล์กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จะใช้เวลาในการอ้อมตัวประมาณ 31 วินาที และเมื่อมีการปิดไอแอลกอฮอล์กระแสไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ ใช้เวลาในการ กลับมาจุดเริ่มต้นเดิมประมาณ 22 วินาที

อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่สร้างขึ้นพอร์สซิลิคอนโดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีค่า เปอร์เซ็นต์ความพรุนประมาณ 51.2% ทำการสร้างขั้วลุ่มิเนี่ยมบนชั้นพอร์สซิลิคอนขนาด 1000×1000 um โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วที่ 500 um แล้วทำการต่อขั้วเพื่อใช้ในการวัดลักษณะ สมบัติกระแสไฟฟ้า นำมาวัดลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการเปิด - ปิด ไอแอลกอฮอล์ แสดงดังรูปที่ 4.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.21 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการตอบสนองการเปิด-ปิดไอแอลกอสอลล์ของอุปกรณ์ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนประมาณ 51.2%

จากรูปที่ 4.21 พบว่าอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอสอลล์ที่สร้างชั้นพอร์สซิลิคอนโดยใช้ชั้นพอร์ส ซิลิคอนที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนประมาณ 51.29% กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นขณะทำการเปิดก๊าซ ไนโตรเจนอยู่ที่ประมาณ 1.21×10^{-3} A เมื่อทำการวัดไอแอลกอสอลล์ขณะเปิดก๊าซไนโตรเจนผสมกับ ไอแอลกอสอลล์ที่เวลาประมาณ 60 วินาที กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนขึ้นไปอยู่ที่ประมาณ 1.49×10^{-3} A ที่เวลาประมาณ 84 วินาที และทำการปิดไอแอลกอสอลล์พร้อมกับเปิดก๊าซไนโตรเจนที่เวลา ประมาณ 120 วินาที กระแสไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ จนตกลงมาที่จุดเดิมตอนเริ่มต้นคือที่ประมาณ 1.21×10^{-3} A ที่เวลาประมาณ 140 วินาที ซึ่งปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงมีค่าประมาณ 1.37×10^{-3} A เมื่อมีการตรวจจับไอแอลกอสอลล์กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จะใช้เวลาในการอ้อมตัว

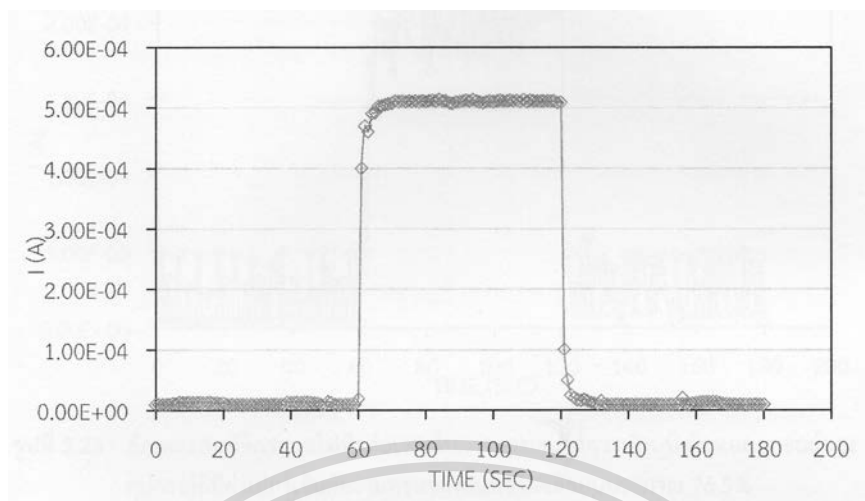
ประมาณ 20 วินาที และเมื่อมีการปิดไอแอลกอสอลล์กระแสไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ ใช้เวลาในการ กลับมาจุดเริ่มต้นเดิมประมาณ 20 วินาที

- อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอสอลล์ที่สร้างชั้นพอร์สซิลิคอนโดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนประมาณ 64.1% ทำการสร้างขั้วลุ่มิเนียมบนชั้นพอร์สซิลิคอนขนาด 1000×1000 am โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วที่ 500 um แล้วทำการต่อขั้วเพื่อใช้ในการวัดลักษณะ สมบัติกระแสไฟฟ้า นำมาวัดลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการเปิด - ปิด ไอแอลกอสอลล์ แสดงดังรูปที่ 44.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.22 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการตอบสนองการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอลล์ของอุปกรณ์ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนประมาณ 64.1%

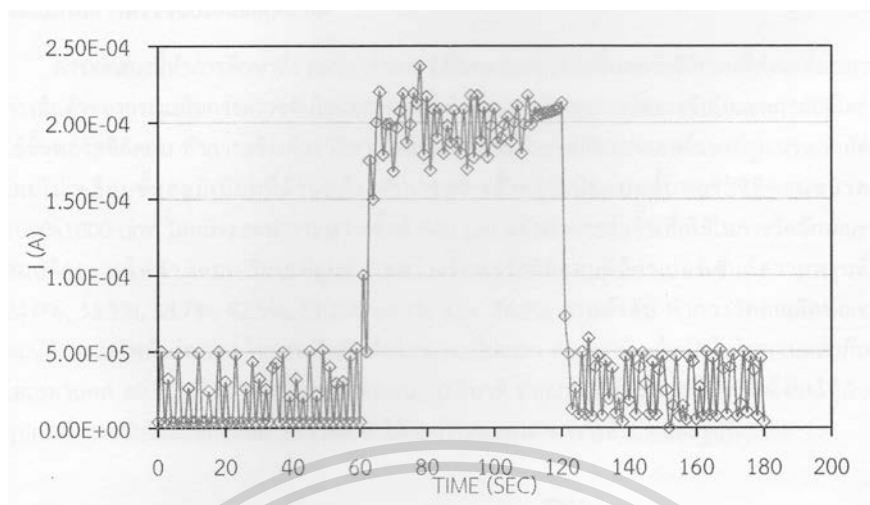
จากรูปที่ 4.22 พบว่าอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอลล์ที่สร้างขึ้นพอร์สซิลิคอนโดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนประมาณ 64.1% กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นขณะทำการเปิดก๊าซ ไนโตรเจนอยู่ที่ประมาณ 9.28×10^{-6} A เมื่อทำการวัดไอแอลกอฮอลล์ขณะเปิดก๊าซไนโตรเจนผสมกับ ไอแอลกอฮอลล์ที่เวลาประมาณ 60 วินาที กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนขึ้นไปอยู่ที่ประมาณ 5.10×10^{-4} A ที่เวลาประมาณ 67 วินาที และทำการปิดไอแอลกอฮอลล์พร้อมกับเปิดก๊าซไนโตรเจนที่เวลา ประมาณ 120 วินาที กระแสไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ จนตกลงมาที่จุดเดิมตอนเริ่มต้นคือที่ประมาณ 9.28×10^{-6} A ที่เวลาประมาณ 134 วินาที ซึ่งปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงมีค่าประมาณ 5.0×10^{-4} A เมื่อมีการตรวจจับไอแอลกอฮอลล์กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จะใช้เวลาในการอิ่มตัว ประมาณ 7 วินาที และเมื่อมีการปิดไอแอลกอฮอลล์กระแสไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ ใช้เวลาในการกลับมา จุดเริ่มต้นเดิมประมาณ 14 วินาที

อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอลล์ที่สร้างขึ้นพอร์สซิลิคอนโดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีค่า เปอร์เซ็นต์ความพรุนประมาณ 76.5% ทำการสร้างขั้วลุ่มิเนียมบนชั้นพอร์สซิลิคอนขนาด 1000×1000 um โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วที่ 500 um แล้วทำการต่อขั้วเพื่อใช้ในการวัดลักษณะ สมบัติกระแสไฟฟ้า นำมาวัดลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการเปิด - ปิด ไอแอลกอฮอลล์ แสดงดังรูปที่ 4.23

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.23 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการตอบสนองการเปิด-ปิดไอแอลกอฮอลล์ของ

อุปกรณ์ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนประมาณ 76.5%

จากรูปที่ 4.23 พบว่าอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอลล์ที่สร้างชั้นพอร์สซิลิคอนโดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนประมาณ 76.5% กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นขณะทำการเปิดก๊าซ ไนโตรเจนอยู่ที่ประมาณ 3.85×10^{-5} A เมื่อทำการวัดไอแอลกอฮอลล์ขณะเปิดก๊าซไนโตรเจนผสมกับ ไอแอลกอฮอลล์ที่เวลาประมาณ 60 วินาที กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนขึ้นไปอยู่ที่ประมาณ 2.13×10^{-4} A ที่เวลาประมาณ 77 วินาที และทำการปิดไอแอลกอฮอลล์พร้อมกับเปิดก๊าซไนโตรเจนที่เวลา ประมาณ 120 วินาที กระแสไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ จนตกลงมาที่จุดเดิมตอนเริ่มต้นคือที่ประมาณ 3.88×10^{-5} A ที่เวลาประมาณ 138 วินาที ซึ่งปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงมีค่าประมาณ 2.10×10^{-4} A เมื่อมีการตรวจจับไอแอลกอฮอลล์กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จะใช้เวลาในการอ้อมตัว ประมาณ 17 วินาที และเมื่อมีการปิดไอแอลกอฮอลล์กระแสไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ ใช้เวลาในการ กลับมาจุดเริ่มต้นเดิมประมาณ 18 วินาที

ผลการทดลองที่ได้ จากรูปที่ 4.17 - 4.23 จะถูกนำมาวิเคราะห์ และทำการศึกษาถึงผลกระทบของค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีต่อตัวแปรต่างๆ ในการตรวจจับไอแอลกอฮอลล์ในหัวข้อการศึกษาต่อไปดังนี้

4.5.1 การศึกษาผลของค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนต่อเวลาการอ้อมตัวของ กระแสในการตรวจจับไอแอลกอฮอลล์

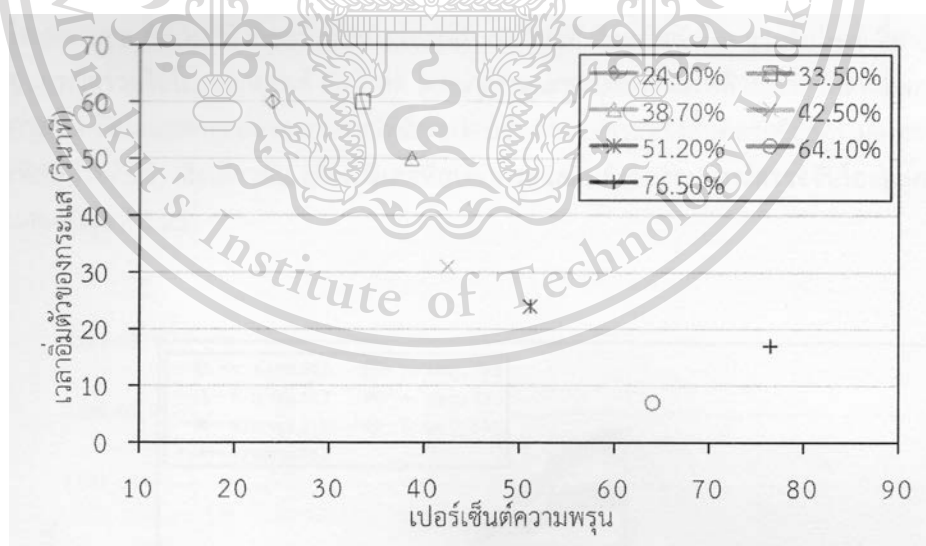
การทดลองนี้ทำการศึกษาถึง ผลของค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนที่ส่งผลต่อเวลา การอ้อมตัวของกระแสในการตรวจจับไอแอลกอฮอลล์ ซึ่งทำการสร้างอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอลล์โดย ใช้ชั้น

พอร์สซิลิคอน ทำการสร้างด้วยวิธีการแอนโนไดซ์เซชันด้วยชุดกัดแบบเซลล์แทงก์คูแวนอนกัต โดยไม่เคลือบชั้นอนุภาคนิยมที่ด้านหลัง ทำการสร้างขั้วลุ่มิเยมนบนชั้นพอร์สซิลิคอนขนาด 1000×1000 um โดยไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีระยะห่างระหว่างขั้วที่ 500 um แล้วทำการต่อขั้วเพื่อใช้ในการวัดลักษณะ สมบัติกระแสไฟฟ้า โดยเปรียบเทียบกันระหว่างชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนที่ 24.0%, 33.5%, 38.7%, 42.5%, 51.2%, 64.1% และ 76.5% ตามลำดับ ทำการวัดคุณลักษณะ สมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลา ในการเปิดก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 60 วินาที แล้วเปิดไนโตรเจนผสมกับ ไอเอทานอล 60 วินาที และเปิดก๊าซไนโตรเจน 60 วินาที ที่อุณหภูมิห้อง แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับ อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ 20 โวลต์ ซึ่งได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.9 และรูปที่ 4.24

ตารางที่ 4.9 ค่าเวลาการอิมตัวของกระแสในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ที่สร้างด้วยชั้น พอร์สซิลิคอนที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนแตกต่างกัน

ค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้น	ค่าเวลาการอิมตัวของกระแส พอร์สซิลิคอน ในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์
24.0%	60 วินาที
33.5%	60 วินาที
38.7%	50 วินาที
42.5%	31 วินาที
51.2%	20 วินาที
76.5%	17 วินาที



รูปที่ 4.24 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเวลาอิมตัวของกระแสในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์กับเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

จากรูปที่ 4.24 พบว่าเมื่อทำการสร้างอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของแอลกอฮอล์ด้วยชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีเปอร์เซ็นต์ความพรุนเพิ่มสูงขึ้นจะยิ่งทำให้ได้ค่าเวลาอิมตัวของกระแสในการตรวจจับไอระเหยของแอลกอฮอล์ลดน้อยลง จนกระทั่งได้ค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนที่ทำให้ได้ค่าเวลาอิมตัวของ กระแสในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์น้อยที่สุดในการทดลองนี้ก็คือที่เปอร์เซ็นต์ความพรุน 64.10% ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ดีในการนำมาประยุกต์ใช้เป็นอุปกรณ์ในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ และเมื่อใช้ชั้น พอร์สซิลิคอนที่มีค่าความพรุนสูงมากกว่านี้ ในการทดลองนี้คือที่เปอร์เซ็นต์ความพรุน 76.50% จะทำให้ค่ากระแสที่ได้ในการตรวจจับนั้นแกว่งไม่คงที่ ซึ่งเป็นผลมาจากเปอร์เซ็นต์ความพรุนที่สูงเกินไป จึง ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์

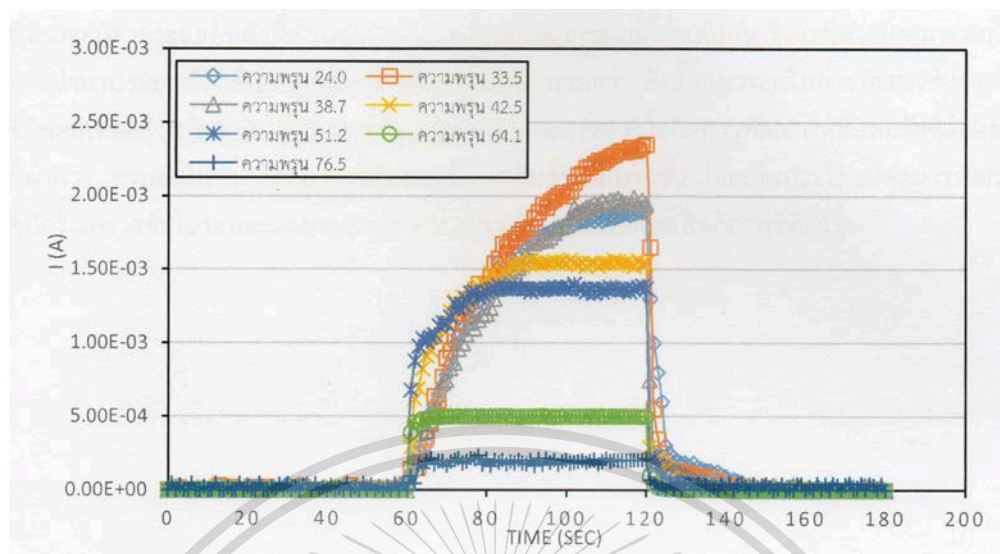
4.5.2 การศึกษาผลของค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนต่อค่ากระแสอิมตัวของ อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์

การทดลองนี้ทำการศึกษาถึง ผลของค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนที่ส่งผลต่อ ค่ากระแสอิมตัวของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ ซึ่งทำการสร้างอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ โดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอน ทำการสร้างด้วยวิธีการแอโนไดซ์เซชันด้วยชุดกัดแบบเซลล์แทงก์คู่แนวนอน กัดโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลัง ทำการสร้างขั้วลุ่มิเนียมบนชั้นพอร์สซิลิคอนขนาด 1000x1000 am โดยมีระยะห่างระหว่างขั้วที่ 500 um แล้วทำการต่อขั้วเพื่อใช้ในการวัดลักษณะ สมบัติกระแสไฟฟ้า โดยเปรียบเทียบกับระหว่างชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนที่ 24.0%, 33.59%, 38.7%, 42.5%, 51.2%, 64.19% และ 76.5% ตามลำดับ ทำการวัดคุณลักษณะ สมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลา ในการเปิดก๊าซไนโตรเจนเป็นเวลา 60 วินาที แล้วเปิดไนโตรเจนผสมกับไอเอทานอล 60 วินาที และเปิดก๊าซไนโตรเจน 60 วินาที ที่อุณหภูมิห้อง แรงดันไฟฟ้าที่จ่ายให้กับ อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ 20 โวลต์ โดยนำลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการตอบสนอง การเปิด-ปิดไอแอลกอฮอล์ของอุปกรณ์ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนแตกต่างกันมา เทียบที่ระดับอ้างอิงเดียวกัน เพื่อเปรียบเทียบค่ากระแสอิมตัวของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ แสดงดังรูปที่ 4.25

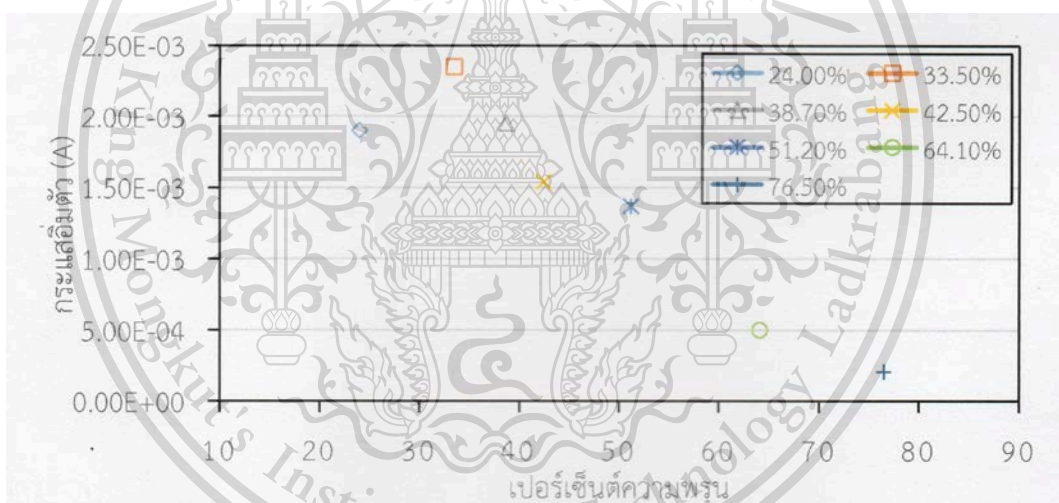
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 4.25 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการตอบสนองการเปิด-ปิดไอแอลกอดฮอลล์ของอุปกรณ์ที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์ซซิลิคอนแตกต่างกัน ที่ระดับอ้างอิง เดียวกัน



รูปที่ 4.26 ความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสอิมตัวของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอดฮอลล์กับเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์ซซิลิคอน

จากรูปที่ 4.25 - 4.26 พบว่าอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอดฮอลล์ที่มีชั้นพอร์ซซิลิคอนที่มีความพรุนต่ำจะมีค่ากระแสอิมตัวที่สูง เนื่องจากชั้นพอร์ซซิลิคอนที่มีความพรุนต่ำนั้นยังมีเนื้อของผลึกซิลิคอนอยู่มากจึงทำให้มีพาหะในการนำกระแสที่สูง และมีค่าความต้านทานต่ำกว่าชั้นพอร์ซซิลิคอนที่มีค่า ความพรุนสูงๆ แต่หากพิจารณารวมกับการทดลองที่ 5.5.1 ก็จะทำให้พบว่าชั้นพอร์ซซิลิคอนที่มีค่า ความพรุนต่ำนั้น ยังไม่เหมาะสมที่จะนำประยุกต์เป็นอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอดฮอลล์ เนื่องจากมีเวลา ในการอิมตัว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น มิอาจเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตจากผู้จัดทำเอกสาร
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น ยกเว้นที่นำมาเพื่อวัตถุประสงค์ในการศึกษา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

เป็นวัสดุตรวจจับไอแอลกอฮอล์มากกว่า ดังนั้นแนวทางในการพัฒนาเซ็นเซอร์ซิลิคอนเพื่อสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของแอลกอฮอล์นั้นคือการพัฒนาให้เซ็นเซอร์ซิลิคอนที่มีค่าความพรุนอยู่ในช่วง 60% - 65% มีค่ากระแสอิ่มตัวเพิ่มมากขึ้น ก็จะเป็นประโยชน์ต่อการพัฒนา อุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยแอลกอฮอล์ด้วยเซ็นเซอร์ซิลิคอนให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่งขึ้น



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

การทดลองนี้ศึกษาเกี่ยวกับลักษณะโครงสร้างของชั้นพอร์ซิลิคอน การสร้างชั้นพอร์ซิลิคอนด้วยวิธีการแอนโนไดซ์เซชันเพื่อการประยุกต์ใช้งานทางด้านการตรวจจับไอ แอลกอฮอล์ โดยมีโครงสร้างอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่ประกอบไปด้วย ฐานรองซิลิคอนชนิดพี ที่สร้างชั้นพอร์ซิลิคอนอยู่บนผิวหน้า และมีขั้วโลหะที่เป็นอลูมิเนียมอยู่บนชั้นพอร์ซิลิคอน ซึ่งเป็น โครงสร้างที่ง่าย เหมาะที่จะนำไปใช้สร้างเป็นวงจรรวมต่อไปในอนาคต

ในการทดลองของเราเริ่มต้นโดยการใช้แผ่นผลึกซิลิคอนชนิดพี สภาพความต้านทานแผ่นที่ 9-11 โอห์ม-เซนติเมตร ความหนา 625 ไมโครเมตร มาทำการสร้างชั้นพอร์ซิลิคอนด้วยวิธีการแอนโนไดซ์เซชัน โดยมีวิธีการสร้างที่แตกต่างกันออกไป 3 วิธีด้วยกันได้แก่ การสร้างโดยชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์ แหงกเดี่ยวแนวตั้งกัดโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังซิลิคอนเวเฟอร์ การสร้างโดยชุดกัดไฟฟ้า เคมีชนิดเซลล์แหงกเดี่ยวแนวตั้งกัดโดยเคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังซิลิคอนเวเฟอร์ และการสร้าง โดยชุดกัดไฟฟ้าเคมีชนิดเซลล์แหงกคู่แนวอนกัดโดยไม่เคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลัง นอกจากนี้ยังมีเงื่อนไขในการแอนโนไดซ์เซชันที่ต่างกันออกไป 3 เงื่อนไขได้แก่ เงื่อนไขแรก อัตราส่วนสารละลายกรด ไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลที่อัตราส่วน 5:1, 4:1, 3:1, 2:1 และ 1:1 โดยปริมาตร เงื่อนไขที่สอง ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในการแอนโนไดซ์เซชัน 5 mA/cm, 10 mA/cm, 15 mA/cm, 20 mA/cm และ 25 mA/cm เงื่อนไขที่สาม ระยะเวลาในการสร้าง 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 20 นาที และ 25 นาที จากนั้นนำชั้นพอร์ซิลิคอนที่ได้มาทำการศึกษาการเรืองแสงเมื่อทำการฉายแสง ด้วยหลอดแบล็คไลท์ ศึกษาความสม่ำเสมอ และศึกษาค่าความพรุนของชั้นพอร์ซิลิคอน สรุป ผลการวิจัยได้ดังนี้

การทดลองสร้างชั้นพอร์ซิลิคอนด้วยชนิดชุดกัดไฟฟ้าเคมีที่ต่างกันพบว่า การสร้างด้วยชุดกัดเซลล์แหงกเดี่ยวแนวตั้งกับแผ่นซิลิคอนไม่เคลือบอลูมิเนียมที่ด้านหลังนั้นมีการเกิดชั้นพอร์ซิลิคอนเฉพาะที่บริเวณขอบของชุดกัด เนื่องจากเป็นบริเวณที่มี 0 - ring กัดห้อยอยู่ จากแรงกดดันทำให้มีการไหลของกระแสได้มากกว่าบริเวณอื่นๆ จึงมีการเกิดชั้นพอร์ซิลิคอนเฉพาะบริเวณนี้มากกว่าบริเวณ อื่นๆ จึงได้ทำการปรับปรุงด้วยการเคลือบชั้นอลูมิเนียมที่ด้านหลังแผ่นซิลิคอน ทำให้มีการกระจายตัวของกระแสได้ดีขึ้น จึงมีการเกิดชั้นพอร์ซิลิคอนได้ทั่วบริเวณมากขึ้น แต่อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ก็มี กระบวนการที่เพิ่มมากขึ้นมาคือการสร้างชั้นอลูมิเนียม จึงได้ทำการทดลองสร้างด้วยชุดกัดเซลล์แหงก คู่แนวอนกับแผ่นซิลิคอนที่ไม่เคลือบอลูมิเนียมพบว่า ได้ชั้นพอร์ซิลิคอนที่มีความสม่ำเสมอ เกิดขึ้น พอร์ซิลิคอนทั่วบริเวณที่ทำการกัด เนื่องจากชุดกัดชนิดนี้มีการสัมผัสของสารละลายทั้งสองด้านของ ผลึกซิลิคอนจึงมีการกระจายตัวของกระแสไฟฟ้าได้ดีจึงทำให้เกิดชั้นพอร์ซิลิคอนได้อย่างสม่ำเสมอ ทั่วบริเวณที่เราทำการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และสงวนสิทธิ์ใน การค้า
ไม่ว่ากรณีใด ๆ ทั้งสิ้น ยกเว้นที่ระบุไว้เป็นอย่างอื่น

การเลือกใช้ชุดกักชนิดเซลล์แท่งกึ่งแนวอนเป็นชุดกักหลัก ในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนในการทดลอง ทั้งหมดของวิทยานิพนธ์นี้

จากการทดสอบความสม่ำเสมอ พบว่าชั้นพอร์สซิลิคอนที่สร้างจากความเข้มข้นของสารละลาย กรดไฮโดรฟลูออริกผสมกับเอทานอล พบว่าชั้นพอร์สซิลิคอนที่สร้างโดยอัตราส่วนสารละลายกรด ไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 โดยปริมาตรทำให้ได้ชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีความสม่ำเสมอมากที่สุดและไม่เปราะบางแตกหักง่าย ซึ่งการเติมเอทานอลเข้าไปในในสารละลายจะช่วยทำให้แรงตึงผิว ของสารละลาย กรดไฮโดรฟลูออริกตกลง ทำให้ลดจำนวนฟองก๊าซไฮโดรเจนที่เกิดขึ้นขณะทำการ ทดลองได้ แต่หากใส่เอทานอลในปริมาณมากไปจะไปทำให้ความสามารถในการกักชั้นพอร์สซิลิคอน นั้นลดลงทำให้การกักไม่ดี ดังนั้นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนในการทดลองนี้คือ ที่ 4:1 โดยปริมาตร

เมื่อทำการทดลองถึงผลของค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนพบว่า เมื่อทำการเพิ่มค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการแอโนไดซ์จะก่อให้เกิดการกักชั้นพอร์ส ซิลิคอน ได้มากขึ้น จากผลความพรุนก็พบว่ามีความพรุนมากขึ้นด้วยเช่นกัน ส่วนการทดลองเรื่องเวลา ในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนก็พบว่าเมื่อทำการเพิ่มเวลาในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอน ก็ทำให้เกิดการ กักชั้นพอร์สซิลิคอนที่มากขึ้นเช่นกัน ซึ่งผลของค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนก็มีค่าเพิ่มขึ้นตามเวลาด้วย

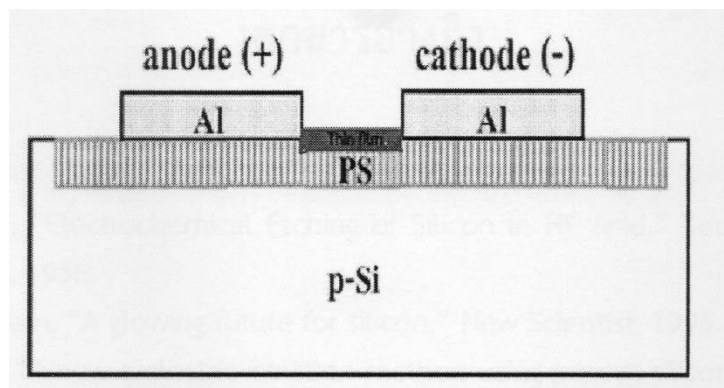
จากนั้นนำชั้นพอร์สซิลิคอนที่มีค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนต่างๆ ได้แก่ ค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนที่ 24.09%, 33.5%, 38.7%, 42.5%, 51.2%, 64.1% และ 76.5% มาทำการทดสอบตรวจจับไอ แอลกอฮอล์ซึ่งชั้นพอร์สซิลิคอนที่ได้ค่ากระแสไฟฟ้าอิมิตัวสูงสุดคือที่ค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุน 33.50% ส่วนค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอนที่ทำให้ได้เวลาการอิมิตัวของกระแสในการตรวจจับไอ แอลกอฮอล์น้อยที่สุดคือที่ความพรุน 64.10% เนื่องจากที่เปอร์เซ็นต์ความพรุนที่ได้ผลกระแสไฟฟ้า อิมิตัวสูงนั้นก็มีความเวลาในการตอบสนองที่ช้า ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่ไม่ดีในการนำมาประยุกต์ใช้เป็น อุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของแอลกอฮอล์ ดังนั้นค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุนที่เหมาะสมจะมาประยุกต์ใช้ เป็น อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ต้องมีค่าเวลาในการตอบสนองน้อย ในการทดลองนี้ก็คือที่ค่า เปอร์เซ็นต์ความพรุน 64.10% ซึ่งมีระยะเวลาเวลาการอิมิตัวของกระแสในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ อยู่ที่ 7 วินาที ซึ่งในทางการสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจจับนั้นยังถือว่ามีความสูงพอสมควร

อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอนในงานวิจัยนี้เป็นโครงสร้างแบบง่าย โดย ใช้หลักการเปลี่ยนแปลงค่าความนำไฟฟ้าของชั้นพอร์สซิลิคอนเมื่อมีการตรวจจับไอแอลกอฮอล์แต่ อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอนนี้มีข้อเสียอยู่ที่ขั้วไฟฟ้าอยู่บนชั้นพอร์สซิลิคอน ส่งผลให้รอยสัมผัสระหว่างขั้วไฟฟ้ากับชั้นพอร์สซิลิคอนมีความต้านสูง ซึ่งได้ส่งผลกระทบต่อทำให้ กระแสไฟฟ้าในการตอบสนองที่วัดได้นั้นมีค่าต่ำ ซึ่งควรมีการปรับปรุงโครงสร้างของอุปกรณ์ดังแสดง ในรูปที่ 5.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.



รูปที่ 5.1 โครงสร้างของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์สซิลิคอนที่ทำการปรับปรุงแล้ว

จากรูปที่ 5.1 เป็นโครงสร้างของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่ได้รับการปรับปรุงแล้ว โดยมีการเพิ่มชั้นฟิล์มบางที่มีคุณสมบัติในการตอบสนองไอแอลกอฮอล์ที่ด้านบนของชั้นพอร์สซิลิคอนเพื่อให้ได้ค่าความไวในการตอบสนองการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่ดียิ่งขึ้น โดยการใช้ชั้นพอร์สซิลิคอนนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ตรวจจับไอสารเคมีได้หลายชนิด และยังสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์ที่เป็นวงจรรวมได้อีกด้วย



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

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 มีรักษ์ และสุรศักดิ์ เนียมเจริญ - “การสร้างชั้นพอร์ซิลิคอน โดยการกัดย้อมสีเพื่อเป็นชั้นลดการสะท้อนแสงสำหรับเซลล์
- [6] ulasannmelluudinau," asus yuhunansnngmanssalwöh nieñ 27, Lau 2, nun 237-240, 2547. 1. 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในทางอื่น
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

[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.

[15] Richter, "Design consideration and performance of adsorptive humidity nsor 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-intercience a division of Jonhn & Sons," pp. 50, 1971.

[23] H. Takagi, M. Mitome, R. Yano and T. Nakkagiri, "Mucrowave 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 Siha," Appl. Phys. Vol. 32, pp. L215, 1993.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.

[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.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

This material is reserved for educational use only, not allowed for commercial use.

Forbidden to modify the content, and cite the document when use.