

การสร้างชั้นพอร์ซซิลิคอนสำหรับการสร้างอุปกรณ์ตรวจจับไอของแอลกอฮอล์

FORMATION OF POROUS SILICON LAYER
FOR ALCOHOL DETECTOR



โดย

นายสนธยา
นายสรรัชชัย

เชื่องศิลป์
สัมมาตระกูล

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 62407
วัน,เดือน,ปี 17 ส.ค. 2549

b. 11623123
i.

ปริญญาบัตรนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างชั้นพอร์ซซิลิคอนสำหรับการสร้างอุปกรณ์ตรวจจับ

ไอของแอลกอฮอล์

FORMATION OF POROUS SILICON LAYER

FOR ALCOHOL DETECTOR



ปริญญาโทสำหรับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2548

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ ปีการศึกษา 2548

ภาควิชา อิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การสร้างชั้นพอร์ซเซิลคอนสำหรับการสร้างอุปกรณ์ตรวจจับไอของแอลกอฮอล์

ผู้จัดทำ

1. นายสนธยา เชื่องศิลป์
2. นายสรรัชต์ สัมมาตระกูล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การสร้างชั้นพอร์สซิติคอนสำหรับการสร้างอุปกรณ์ตรวจจับไอ ของแอลกอฮอล์

นายสนธยา เชื่องศิลป์ รหัส 46015199
นายสรรชัย สัมมาตระกูล รหัส 46015201
ผศ.ดร.สุรศักดิ์ เนียมเจริญ
ภาควิชาอิเล็กทรอนิกส์
ปีการศึกษา 2548/2

บทคัดย่อ

ในรายงานเล่มนี้จะกล่าวถึงอุปกรณ์ตรวจจับไอของแอลกอฮอล์ที่ใช้ชั้นพอร์สซิติคอนเป็นตัวตรวจจับไอของแอลกอฮอล์ จึงทำการศึกษการสร้างชั้นพอร์สซิติคอนด้วยวิธีแอนโนไดเซชัน โดยจะศึกษาวิธีการสร้างชั้นพอร์สซิติคอนด้วยการใช้สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อน้ำบริสุทธิ์ เปรียบเทียบกับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอล ที่อัตราส่วนโดยปริมาตรต่างๆ กัน นอกจากนั้นยังศึกษาถึง เวลา และ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า ในการใช้การสร้างชั้นพอร์สซิติคอน เพื่อให้ได้ชั้นพอร์สซิติคอนที่มีความเหมาะสมมากที่สุด ที่จะนำไปสร้างเป็นตัวตรวจจับไอของแอลกอฮอล์ นำตัวตรวจจับไอของแอลกอฮอล์มาศึกษาผลการตอบสนองที่เวลาในการสร้างชั้นพอร์สซิติคอนต่างๆกัน เพื่อหาเวลาที่เหมาะสมที่สุด และนำตัวตรวจจับไอของแอลกอฮอล์มาศึกษาผลการตอบสนองที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการสร้างชั้นพอร์สซิติคอนต่างๆ กันด้วย

Formation of Porous Silicon Layer for Alcohol Detector

Mr.Sontaya Chuangsin ID 46015199

Mr.Sanchai Sammatrakool ID 46015201

Asst. Prof Dr. Surasak Niemchareon Advisor

Electronics Engineering

Educational Year 2005

Abstract

In this paper present about alcohol detector device by Porous Silicon layer for Alcohol detector. Study in Porous Silicon layer formation for anodization. By Study in formation process of Porous Silicon layer by using mixing DI water in hydrofluoric solution and ethanol in hydrofluoric solution ratio to compare together and control time and current. In formation of Porous Silicon Layer to be smooth Porous Silicon to apply for alcohol detector. By alcohol detector study control time in formation of Porous Silicon Layer to be perfect time and by alcohol detector study control current in formation of Porous Silicon Layer too.

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	I
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	II
สารบัญ	III
สารบัญรูป	VI
บทที่ 1 บทนำ	1
วัตถุประสงค์	1
ขั้นตอนการดำเนินงาน	1
บทที่ 2 ทฤษฎี	2
2.1 ผลึกซิติคอน	2
2.1.1 โครงสร้างของผลึกซิติคอน	2
2.1.2 ลักษณะแถบพลังงานของผลึกซิติคอน	3
2.1.3 ชนิดของผลึกซิติคอน	6
2.1.3.1 ซิติคอนบริสุทธิ์	6
2.1.3.2 ซิติคอนเจือปน	8
2.2 พอร์สซิติคอน	10
2.2.1 โครงสร้างของพอร์สซิติคอน	10
2.2.2 การแบ่งประเภทของพอร์สซิติคอน	11
2.2.2.1 แบ่งตามขนาดของแท่งพอร์ส	11
2.2.2.2 แบ่งตามลักษณะของรูพรุน	12
2.2.2.3 แบ่งตามรูปร่างของรูพรุน	12
2.2.3 ลักษณะของแถบพลังงานของพอร์สซิติคอน	12
2.3 กระบวนการสร้างชั้นพอร์สซิติคอน	15
2.3.1 การสร้างพอร์สซิติคอนด้วยการกัดแบบข้อมสี่	16
2.3.2 การสร้างพอร์สซิติคอนด้วยวิธีกัดทางไฟฟ้าเคมี	17
2.4 กลไกในการเกิดพอร์สซิติคอน	17
2.4.1 ปฏิกริยาเคมีในการกัดที่ผิวของผลึกซิติคอน	17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.4.2 การเกิดรูปทรงของพอร์สซิติคอน	18
2.5 กลไกในการหยุดกัศ โครงสร้างของพอร์สซิติคอน	23
2.5.1 การหยุดกัศพอร์สซิติคอนที่ถูกสร้างขึ้นจากผลึกซิติคอนชนิดพี	23
2.5.2 การหยุดกัศพอร์สซิติคอนที่ถูกสร้างขึ้นจากผลึกซิติคอนชนิดเอ็น	25
2.6 ความพรุนของพอร์สซิติคอน	26
2.7 พฤติกรรมทางแสง	28
2.7.1 พฤติกรรมทางแสงของสารกึ่งตัวนำ	28
2.7.1.1 การดูดกลืนแสง	29
2.7.1.2 การเปล่งแสง	30
2.7.1.3 ลักษณะการเปล่งแสงชนิดต่างๆ	31
2.7.2 พฤติกรรมทางแสงของผลึกซิติคอน	33
2.7.3 พฤติกรรมทางแสงของพอร์สซิติคอน	36
บทที่ 3 หลักการเซนเซอร์ทางเคมี	37
3.1 นิยามของเซนเซอร์	37
3.2 อุปกรณ์ตรวจจับสารเคมี	38
3.2.1 อุปกรณ์ประเภท วัดความนำไฟฟ้า	39
3.2.2 อุปกรณ์ประเภทวัดค่าศักย์ไฟฟ้า	39
3.2.3 อุปกรณ์ตรวจจับ ไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์สซิติคอน	40
บทที่ 4 กระบวนการสร้าง	43
4.1 การสร้างพอร์สซิติคอนด้วยวิธีการกัศทางไฟฟ้าเคมี	43
4.2 ขั้นตอนในการสร้างชั้นพอร์สซิติคอน	44
4.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวัดอุปกรณ์ตรวจจับ ไอของแอลกอฮอล์	47
บทที่ 5 ผลการทดลอง	50
5.1 ผลการทดลองที่ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่างๆ กัน	50
5.1.1 สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกค่อน้ำบริสุทธิ์	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

เรื่อง	หน้า
5.1.2 สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอล	52
5.1.3 การเปรียบเทียบผลการตรวจจับไอแอลกอฮอล์	54
5.2 ผลการทดลองการสร้างที่เวลาต่างๆ กัน	55
5.3 ผลการทดลองที่ปริมาณความหนาแน่นกระแสต่างๆ กัน	62
บทที่ 6 สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง	72
บรรณานุกรม	74
ภาคผนวก	75
ภาคผนวก ก ส่วนโปรแกรมที่ช่วยในการวัดค่าปริมาณกระแสไฟฟ้าต่อเวลา	76
ภาคผนวก ข ข้อมูลอ้างอิงเกี่ยวกับความพหุน	79

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แบบจำลองง่ายๆ ของอะตอมชิลิกอน	2
2.2 แบบจำลองพันธะ โควาเลนต์ระหว่างอะตอมชิลิกอน	3
2.3 ระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในกรณีที่มี 7 อะตอมถูกนำเข้ามาใกล้ชิดกัน	4
2.4 การแตกแยกของระดับพลังงาน $3s$ และ $3p$ ของผลึกชิลิกอนที่ตำแหน่งระยะระหว่างอะตอมค่าต่างๆ	5
2.5 แผนภูมิแถบพลังงานของผลึกชิลิกอนในมิติของ k -space	6
2.6 แสดงลักษณะ โครงสร้างพลังงานของผลึกชิลิกอนบริสุทธิ์	7
2.7 การเกิดอิเล็กตรอนอิสระและโฮลภายใน โครงสร้างแถบพลังงานของชิลิกอนบริสุทธิ์	7
2.8 แบบจำลอง โครงสร้างผลึกชิลิกอนชนิดอื่น	
(ก) ลักษณะผลึกชิลิกอนชนิดอื่น	9
(ข) โครงสร้างแถบพลังงานของผลึกชิลิกอนชนิดอื่น	9
2.9 แบบจำลอง โครงสร้างผลึกชิลิกอนชนิดพี	
(ก) ลักษณะผลึกชิลิกอนชนิดพี	10
(ข) โครงสร้างแถบพลังงานของผลึกชิลิกอนชนิดพี	10
2.10 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	
(ก) ภาพตัดขวางชั้นพอร์สชิลิกอน	11
(ข) ภาพผิวหน้าของชั้นพอร์สชิลิกอน	11
2.11 ลักษณะแถบพลังงานของผลึกชิลิกอนที่จำนวนอะตอมต่างๆ	13
2.12 แบบจำลองลักษณะ โครงสร้างทางควมดัมแบบต่างๆ และทิศทางการเคลื่อนที่ของพาหะภายใน	14
2.13 ลักษณะแถบพลังงานของพอร์สชิลิกอนเปรียบเทียบกับผลึกชิลิกอน	15
2.14 ขั้นตอนและกลไกทางเคมีในการกัดเนื้อของผลึกชิลิกอน	18
2.15 แบบจำลองการกัดเนื้อของผลึกชิลิกอนทั้งสองลักษณะ โดยที่	
(ก) การกัดแบบขั้วผิวหน้าด้วยไฟฟ้า	19
(ข) ลักษณะการกัดแบบพอร์ส	19
2.16 การเคลื่อนที่พาหะ โฮลที่ถูกดึงมารวมกับที่บริเวณก้นหลุมเนื่องจากอิทธิพลของสนามไฟฟ้า	20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.17 บริเวณปลอดภัยพาดำกระแสที่เกิดขึ้นรอบๆ ผนังของรูหรือหลุมที่บริเวณผิวของผลึกซิลิคอน	21
2.18 การกระจายตัวของศักดาไฟฟ้ารอบๆ ผนังของรูพูน	22
2.19 การกระจายตัวของสนามไฟฟ้ารอบๆ ผนังของรูพูน	22
2.20 การกระจายตัวของกระแสรอบๆ ผนังของรูพูน	23
2.21 กลไกในการหยุดกักโครงสร้างของชั้นพอร์สซิลิคอนชนิดพี โดยที่	
(ก) โครงสร้างของพอร์สซิลิคอนและทิศทางการเคลื่อนที่ของพาหะโฮล	25
(ข) ลักษณะแถบพลังงานและการเคลื่อนที่ของพาหะโฮลจากผลึกซิลิคอนผ่านเข้าไปในโครงสร้างของพอร์สซิลิคอน	25
(ค) ลักษณะแถบพลังงานและการเคลื่อนที่ของพาหะโฮลจากผลึกซิลิคอนผ่านไปยังสารละลายกรด HF ที่บริเวณผิวสัมผัสที่กั้นหลุมของรูพูน	25
2.22 แผนภาพบริเวณปลอดภัยพาดำกระแสที่เกิดขึ้นในโครงสร้างของพอร์สซิลิคอนที่สร้างจากผลึกซิลิคอนชนิดเอ็น โดยที่	26
(ก) โครงสร้างของพอร์สซิลิคอนที่มีขนาดมากกว่า 2W	26
(ข) โครงสร้างของพอร์สซิลิคอนที่มีขนาดน้อยกว่า 2W	26
2.23 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของเนื้อผลึกซิลิคอนกับขนาดของรูพูนที่มีต่อความพูนของพอร์สซิลิคอน	27
2.24 แผนภาพจำลองด้านบนของโครงสร้างพอร์สซิลิคอนที่เปอร์เซ็นต์ความพูนต่างๆ	27
2.25 การกระจายตัวของระดับพลังงาน	28
(ก) ระดับพลังงานตำแหน่ง	28
(ข) ระดับพลังงานที่ผิวหน้า	28
2.26 กระบวนการรวมตัวของพาหะแบบเปล่งแสงในสารกึ่งตัวนำ	31
(ก) แถบพลังงานสู่ระดับพลังงาน	31
(ข) ระดับพลังงานผู้ให้สู่ระดับพลังงานผู้รับ	31
(ค) แถบพลังงานสู่แถบพลังงาน	31
2.27 แผนภาพสีของแสงที่ความยาวคลื่นและค่าพลังงานต่างๆ	33
2.28 แผนภาพโครงสร้างของแถบพลังงานแบบช่องแถบตรง	34
2.29 แผนภาพโครงสร้างของแถบพลังงานแบบช่องแถบไม่ตรง	35

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า	
3.1	การจัดกลุ่มอุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์	37
3.2	อุปกรณ์พื้นฐานของ อุปกรณ์ตรวจจับทางเคมี	38
3.3	การแบ่งประเภทต่างๆ ของอุปกรณ์ตรวจจับทางเคมี	38
3.4	โครงสร้างอุปกรณ์ตรวจจับแก๊สแบบไดอะแฟรม	39
3.5	แบบจำลองการตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์สที่ยังไม่มีโมเลกุลของก๊าซมาเกาะ ซึ่งชั้นพอร์สซิลิคอนจะมีความต้านทานสูงมาก	40
3.6	มีการไหลของแอลกอฮอล์ ทำให้เริ่มมี โมเลกุลของไอแอลกอฮอล์มาจับตัวกันที่พื้นผิว ของรูพรุน	41
3.7	ชั้นพอร์สซิลิคอนที่มี โมเลกุลก๊าซเพิ่มขึ้นเรียงตัวกันเป็นชั้น โมโนเลเยอร์	41
3.8	ชั้นพอร์สซิลิคอนที่มี โมเลกุลก๊าซมารวมตัวกันเพิ่มขึ้นอีกหลายๆ ชั้นเป็นมัลติเลเยอร์	41
3.9	ชั้นพอร์สซิลิคอนที่มี โมเลกุลก๊าซมารวมตัวกันเพิ่มขึ้นจนเกิดการควบแน่นภายในรูพรุน	42
4.1	ภาคตัดขวางของอุปกรณ์เซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ใช้ในกระบวนการกักทางไฟฟ้าเคมี	43
4.2	ภาคตัดขวางของแผ่นผลึกซิลิคอนเริ่มต้น	46
4.3	ภาคตัดขวางของของแผ่นผลึกซิลิคอนที่มีการเคลือบ โลหะอลูมิเนียมที่บริเวณด้านหลัง	46
4.4	ภาคตัดขวางของของแผ่นผลึกซิลิคอนที่มีการสร้างพอร์สซิลิคอน	46
4.5	ภาคตัดขวางของของแผ่นผลึกซิลิคอนที่มีการสร้างพอร์สซิลิคอนแล้วทำหัวของอุปกรณ์	47
4.6	ภาพของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์แบบพอร์สซิลิคอน	47
4.7	เครื่องมือการวัดอุปกรณ์ตรวจจับไอของแอลกอฮอล์แบบพอร์สซิลิคอน	48
4.8	ส่วนต่างๆของ เครื่องมือการวัดอุปกรณ์ตรวจจับไอของแอลกอฮอล์แบบพอร์สซิลิคอน	48
5.1	การสร้างชั้นพอร์สซิลิคอน โดยอัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก ต่อปริมาตร เป็น 4:1	50
5.2	ชั้นพอร์สซิลิคอนที่ความเข้มข้นสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อน้ำปริมาตร โดยปริมาตรต่างๆ กัน	
	(ก) พื้นผิวของชั้นพอร์สซิลิคอน	51
	(ข) การเรืองแสงของชั้นพอร์สซิลิคอน	51
5.3	การสร้างชั้นพอร์สซิลิคอน โดยอัตราส่วนสารละลาย กรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอล เป็น 4:1	52

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.4	ชั้นพอร์สซิติคอนที่ความเข้มข้นสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอล โดยปริมาตรต่างๆ กัน
(ก)	พื้นผิวของชั้นพอร์สซิติคอน 53
(ข)	การเรืองแสงของชั้นพอร์สซิติคอน 53
5.5	ผลการตอบสนองกระแสต่อเวลา ของอุปกรณ์แบบมีพอร์สซิติคอน 54
5.6	ผลการตอบสนองกระแสต่อเวลา ของอุปกรณ์แบบไม่มีพอร์สซิติคอน 54
5.7	ชั้นพอร์สซิติคอนที่ความเข้มข้นสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอล โดยใช้เวลาในการกักด้วยไฟฟ้าเคมีต่างๆ กัน
(ก)	พื้นผิวของชั้นพอร์สซิติคอน 55
(ข)	การเรืองแสงของชั้นพอร์สซิติคอน 55
5.8	การตอบสนองของกระแสต่อเวลาในการสร้างชั้นพอร์สซิติคอนที่เวลา 5 นาที 56
5.9	การตอบสนองของกระแสต่อเวลาในการสร้างชั้นพอร์สซิติคอนที่เวลา 10 นาที 57
5.10	การตอบสนองของกระแสต่อเวลาในการสร้างชั้นพอร์สซิติคอนที่เวลา 15 นาที 58
5.11	การตอบสนองของกระแสต่อเวลาในการสร้างชั้นพอร์สซิติคอนที่เวลา 20 นาที 59
5.12	การตอบสนองของกระแสต่อเวลาในการสร้างชั้นพอร์สซิติคอนที่เวลา 25 นาที 60
5.13	ผลการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ ที่อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอล 4:1 ที่ความหนาแน่นกระแส 10 mA/cm^2 และทำการทดลอง ใช้เวลาต่างๆ กัน 61
5.14	ผลการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ ที่อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอล 4:1 ที่ความหนาแน่นกระแส 10 mA/cm^2 และทำการทดลอง ใช้เวลาต่างๆ กัน อ้างอิงที่ 0 A 61
5.15	ชั้นพอร์สซิติคอนที่ความเข้มข้นสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอล โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการกักด้วยไฟฟ้าเคมีต่างๆ กัน
(ก)	พื้นผิวของชั้นพอร์สซิติคอน 62
(ข)	การเรืองแสงของชั้นพอร์สซิติคอน 62
5.16	การตอบสนองของกระแสต่อเวลาในการสร้างชั้นพอร์สซิติคอนที่ ความหนาแน่นกระแส 5 mA/cm^2 64
5.17	การตอบสนองของกระแสต่อเวลาในการสร้างชั้นพอร์สซิติคอนที่ ความหนาแน่นกระแส 10 mA/cm^2 65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.18 การตอบสนองของกระแสต่อเวลาในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนที่ ความหนาแน่นกระแส 15 mA/cm ²	66
5.19 การตอบสนองของกระแสต่อเวลาในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนที่ ความหนาแน่นกระแส 20 mA/cm ²	67
5.20 การตอบสนองของกระแสต่อเวลาในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนที่ ความหนาแน่นกระแส 25 mA/cm ²	68
5.21 การตอบสนองของกระแสต่อเวลาในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนที่ ความหนาแน่นกระแส 30 mA/cm ²	69
5.22 ผลการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ ที่อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก ต่อเอทานอล 4:1 ที่เวลา 10 นาที ความหนาแน่นกระแสต่างๆ กัน	70
5.23 ผลการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ ที่อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก ต่อเอทานอล 4:1 การตรวจจับไอแอลกอฮอล์ ที่อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก ต่อเอทานอลที่ 0 A	70

บทที่ 1

บทนำ

โครงสร้างของอุปกรณ์ตรวจจับไอของแอลกอฮอล์ส่วนใหญ่จะใช้ชั้นเซรามิก เช่น ไททาเนียมไดออกไซด์ทำหน้าที่เป็นตัวจับไอของแอลกอฮอล์ ซึ่งชั้นไททาเนียมไดออกไซด์นี้มีวิธีการสร้างขุ่ยาก สร้างบนผิวของ Al_2O_3 ใช้ต้นทุนการผลิตสูง และทำงานที่อุณหภูมิสูง

โดยงานวิจัยนี้ได้มีความคิดที่จะนำชั้นพอร์ซเซลิคอนมาประยุกต์ใช้เป็นตัวตรวจจับไอของแอลกอฮอล์ เนื่องจากชั้นพอร์ซเซลิคอนนั้น สร้างในเนื้อเซลิคอนจึงสร้างเป็นวงจรรวมได้ง่าย สามารถสร้างให้มีขนาดเล็ก ทำให้ผลิตได้เป็นจำนวนมาก ส่งผลให้ราคาต่ออุปกรณ์ถูก และกระบวนการสร้างชั้นพอร์ซเซลิคอนนั้นทำได้ง่าย สามารถทำการสร้างในห้องปฏิบัติการของศูนย์วิจัยอิเล็กทรอนิกส์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังได้

วัตถุประสงค์

1. เพื่อสร้างชั้นพอร์ซเซลิคอนที่มีความสม่ำเสมอเหมาะที่จะสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์
2. เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อน้ำบริสุทธิ์ เปรียบเทียบกับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอล ในการสร้างชั้นพอร์ซเซลิคอน
3. เพื่อศึกษาการสร้างชั้นพอร์ซเซลิคอนที่ตัวแปรในการสร้างต่างๆกัน และผลกระทบที่เกิดขึ้นกับอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์
4. เพื่อทำการตรวจวัดคุณสมบัติกระแสต่อเวลา ในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์

ขั้นตอนการดำเนินงาน

1. ศึกษาชั้นพอร์ซเซลิคอน และกระบวนการสร้างชั้นพอร์ซเซลิคอน
2. ทำการสร้างชั้นพอร์ซเซลิคอนด้วยวิธีแอโนไดเซชันให้ได้ชั้นพอร์ซเซลิคอนที่มีความสม่ำเสมอ
3. ทำการสร้างอุปกรณ์ตรวจจับไอของแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์ซเซลิคอน
4. วัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าของอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์ซเซลิคอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

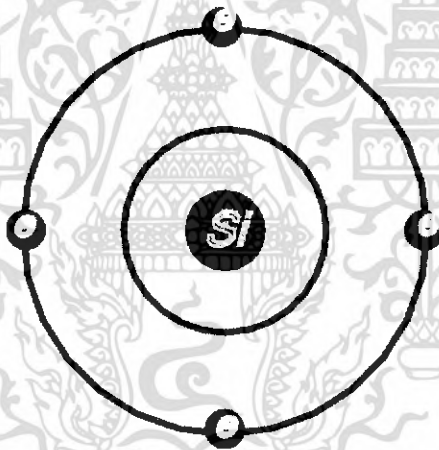
บทที่ 2 ทฤษฎี

2.1 ผลึกซิลิคอน

2.1.1 โครงสร้างของผลึกซิลิคอน

ซิลิคอนเป็นสารกึ่งตัวนำที่ประกอบขึ้นจากอะตอมของธาตุซิลิคอนหลายๆ อะตอมมาอยู่ใกล้ชิดกัน โดยอะตอมดังกล่าวจะมีการยึดเกาะเกี่ยวซึ่งกันและกันเพื่อความมั่นคงของอะตอม การเกาะเกี่ยวกันระหว่างอะตอมซิลิคอนเหล่านี้เรียกว่า พันธะ (bond) กลไกในการเกาะเกี่ยวหรือการเกิดพันธะนี้มีอยู่หลายชนิดด้วยกันแต่ ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะพันธะที่เกิดขึ้นในผลึกซิลิคอนเท่านั้น

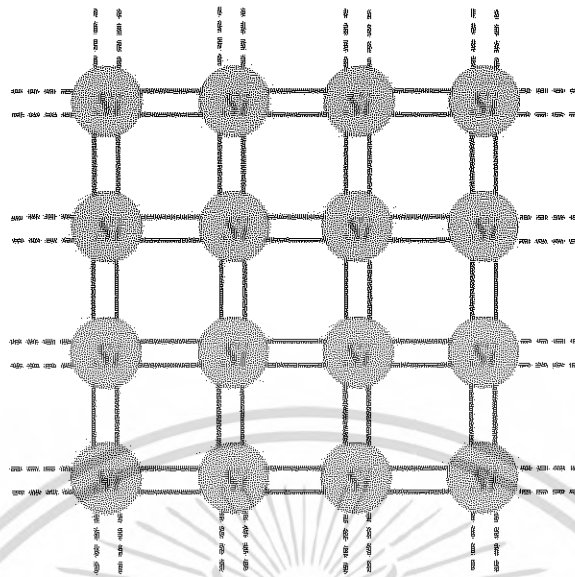
ในผลึกซิลิคอนเมื่ออะตอมของซิลิคอนเข้ามาอยู่ใกล้ชิดกันจะทำให้วงโคจรชั้นนอกสุดของแต่ละอะตอมซึ่งประกอบด้วยอิเล็กตรอนวงนอกสุด (valence electrons) อยู่ถึง 4 ตัว ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แบบจำลองง่ายๆ ของอะตอมซิลิคอน

เกิดการทับซ้อนกัน อันจะทำให้เกิดพันธะแบบที่เรียกว่า พันธะโควาเลนต์ (covalent bond) ขึ้น โดยพันธะดังกล่าวนี้เกิดจากอะตอมที่อยู่ใกล้เคียงกันจะมีการใช้อิเล็กตรอนวงนอกสุดร่วมกัน ทั้งนี้ก็เพื่อให้อะตอมอยู่ในภาวะที่มั่นคง ดังแสดงในรูปที่ 2.2

จากรูปข้างต้นจะเป็น โครงสร้างของผลึกซิลิคอนบริสุทธิ์ในแบบสองมิติ โดยแต่ละอะตอมจะมีการใช้อิเล็กตรอนวงนอกสุดทั้ง 4 ร่วมกันกับอิเล็กตรอนนอกสุดของอะตอมข้างเคียง 4 อะตอม เกิดพันธะ โควาเลนต์ขึ้น 4 พันธะด้วยกัน การใช้อิเล็กตรอนร่วมกันนี้เองทำให้อะตอมของซิลิคอนต่างๆ มีความมั่นคง และสามารถประกอบรวมกันเป็นโครงสร้างของผลึกได้



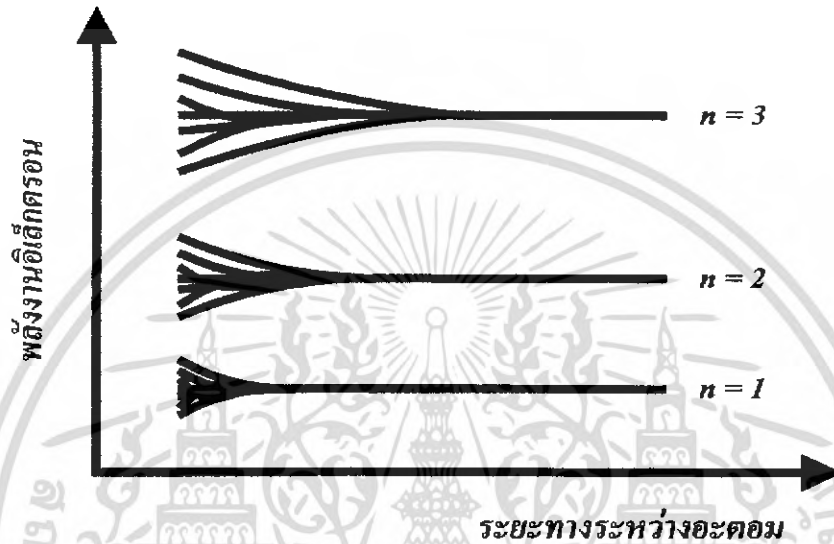
รูปที่ 2.2 แบบจำลองพื้นระโควาเลนที่ระหว่างอะตอมซิลิคอน

2.1.2 ลักษณะแถบพลังงานของผลึกซิลิคอน

ในอะตอมเดี่ยวๆ ของวัสดุทุกชนิด จะประกอบด้วยอิเล็กตรอนโคจรอยู่ที่ระดับพลังงานต่างๆ โดยระดับพลังงานเหล่านี้เป็นระดับพลังงานที่ไม่ต่อเนื่อง และจากกฎการแยกตัว (exclusion principle) ซึ่งได้กล่าวไว้ว่า แต่ละระดับพลังงานที่ถูกกำหนดไว้ด้วยตัวเลขควอนตัม 3 ตัว (n, l, m) นั้นจะมีอิเล็กตรอนอยู่ได้เพียงสองตัว โดยที่อิเล็กตรอนสองตัวนี้ต้องมีการหมุนที่ไม่เหมือนกัน แต่เมื่อพิจารณาในรูปของผลึก ซึ่งประกอบด้วยอะตอมจำนวนมากที่เข้ามาอยู่ใกล้ชิดกัน จึงจำเป็นที่จะต้องพิจารณาถึงกลุ่มของอิเล็กตรอนที่โคจรอยู่ในแถบพลังงาน ซึ่งหมายถึงระดับพลังงานจำนวนมากมายที่อยู่ใกล้ชิดกันมากจนเกิดเป็นแถบพลังงานขึ้นมา โดยแถบพลังงานเหล่านี้เกิดขึ้นจากการที่วงโคจรของอิเล็กตรอนของแต่ละอะตอมเดิมเกิดการทับซ้อน และเหลื่อมล้ำกันกับวงโคจรของอิเล็กตรอนของอะตอมข้างเคียง ทำให้วงโคจรหรือก็คือระดับพลังงานเดิมของแต่ละอะตอมมีการเปลี่ยนแปลงไปจากเดิม เช่น กรณีอะตอมที่เหมือนกันสองอะตอมถูกนำเข้ามาใกล้ๆ กันทีละน้อยๆ จนกระทั่งวงโคจรชั้นนอกสุดของแต่ละอะตอมเกิดการทับซ้อนกันขึ้น อิเล็กตรอนต่างๆ ซึ่งแต่เดิมมีพลังงานเท่ากันในแต่ละอะตอมเดิม จะเกิดมีการเปลี่ยนแปลงพลังงานไปอีกเล็กน้อย ทั้งนี้ก็เพราะหลักความจริงของกฎการแยกตัว ซึ่งกล่าวว่าแต่ละระดับพลังงานจะมีอิเล็กตรอนเกินสองตัวไม่ได้ ทำให้ระดับพลังงานเดิมเกิดการแยกออกเป็นระดับพลังงานสองระดับ ซึ่งอยู่ใกล้กันมากและถ้าหากอะตอมทั้งสองดังกล่าวยังคงถูกทำให้เข้ามาใกล้กันมากขึ้นไปอีก อิเล็กตรอนต่างๆ ในระดับวงโคจรถัดต่อไปข้างในของแต่ละอะตอมก็จะมีปฏิกิริยาต่อกันอีกทำให้ระดับพลังงานเดิมเกิดการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แตกแยกของระดับพลังงานเหล่านี้จะมีจำนวนเท่ากับจำนวนอะตอมที่ถูกนำเข้ามาให้อยู่ใกล้ชิดกัน ดังนั้นถ้าหากมีอะตอมจำนวน n อะตอมถูกนำเข้ามาให้อยู่ใกล้ชิดกันแล้ว ระดับพลังงานแต่ละระดับของอะตอมเดิมจะแตกแยกออกเป็นจำนวน n ระดับซึ่งอยู่ใกล้กันมาก เช่น ในกรณีที่มี 7 อะตอมถูกนำเข้ามาใกล้ชิดกัน ดังในรูปที่ 2.3



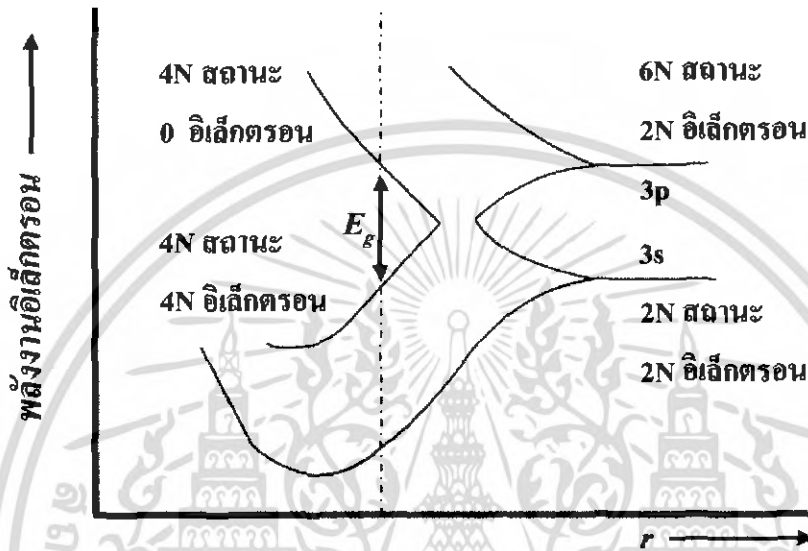
รูปที่ 2.3 ระดับพลังงานของอิเล็กตรอนในกรณีที่มี 7 อะตอมถูกนำเข้ามาใกล้ชิดกัน

สำหรับผลึกซิลิคอน จำนวนอะตอมที่มีปฏิกิริยาต่อกันนั้นมีค่ามากกว่า 2 หรือ 7 อะตอมที่ได้กล่าวมาข้างต้นอยู่มาก เช่นอาจจะเป็น 10^{22} อะตอม/ลูกบาศก์เซนติเมตร และช่องกว้างของแถบพลังงานที่อิเล็กตรอนที่สามารถอยู่ได้มีค่าประมาณ 1 eV ดังนั้นระดับพลังงาน 10^{22} ระดับเหล่านี้จะอยู่ใกล้ชิดกันมากจนคล้ายกับติดกันเป็นแถบพลังงาน ระดับพลังงานภายในแถบพลังงานนี้อาจเรียกว่า ระดับพลังงานต่อเนื่องได้

ในผลึกของแข็งระดับพลังงานที่อิเล็กตรอนจะมีได้ จะปรากฏอยู่ในลักษณะเป็นแถบของพลังงาน (energy bands) ที่แยกจากกันด้วยบริเวณต้องห้าม ซึ่งหมายถึงระดับพลังงานที่อิเล็กตรอนจะอยู่ไม่ได้ โดยในกรณีของผลึกซิลิคอน (Si) ซึ่งมีโครงรูปอิเล็กตรอน (electron configuration) คือ $1s^2 2s^2 2p^2 3s^2 3p^2$ เมื่อนำอะตอมของซิลิคอนเข้ามาใกล้กันเพื่อก่อเป็นรูปผลึก ระดับพลังงาน $3s$ และ $3p$ ซึ่งเป็นระดับพลังงานของอิเล็กตรอนวงนอกสุดก็จะเกิดการแตกแยกของระดับพลังงานขึ้น ดังที่ได้เคยกล่าวมาแล้ว เกิดเป็นแถบพลังงานที่อิเล็กตรอนสามารถอยู่ได้ขึ้น และขณะที่ระยะห่างระหว่างอะตอมลดลงแถบพลังงานทั้งสองจะซ้อนกันจนในที่สุดถ้าระยะห่างระหว่างอะตอมมีค่าลดลงต่อไปอีก แถบพลังงานที่ซ้อนกันอยู่ก็จะแยกออกเป็นสองแถบ โดยแถบพลังงานทั้งสองนี้จะอยู่แยกออกจากกันด้วยแถบพลังงานต้องห้าม (forbidden gap) แต่โดยความเป็นจริงแล้วไม่สามารถ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่เปลี่ยนแปลงระยะห่างระหว่างอะตอมได้อย่างต่อเนื่องตามที่ได้อธิบายไว้ ที่เป็นเช่นนี้ก็เพราะว่าในผลึกของแข็งแต่ละชนิดมีค่าคงตัวแลตทิซ (lattice constant) ที่คงที่เปลี่ยนแปลงไม่ได้ ดังนั้นโครงสร้างของแถบพลังงานของผลึกของแข็งชนิดหนึ่งๆ ก็คือตำแหน่งหนึ่งๆ บนแถบ r นั้นเอง โดยสำหรับผลึกซิลิคอนแล้วค่าคงตัวแลตทิซที่ $r = a_0$ จะมีค่าเท่ากับ 5.43 \AA ดังในรูปที่ 2.4

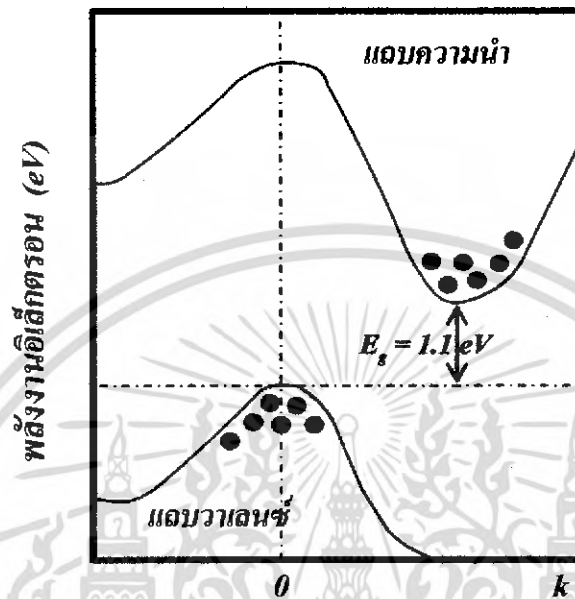


รูปที่ 2.4 การแตกแยกของระดับพลังงาน 3s และ 3p ของผลึกซิลิคอนที่ตำแหน่งระยะระหว่างอะตอมค่าต่างๆ

พิจารณาจากรูปที่ 2.5 จะเห็นว่าโครงสร้างของแถบพลังงานจะประกอบด้วยแถบยินยอม (allowed band) ซึ่งเป็นแถบพลังงานที่อิเล็กตรอนสามารถอยู่ได้ถึงสองแบบ ที่ถูกคั่นระหว่างกลางด้วยแถบต้องห้าม (forbidden gap) ซึ่งเป็นบริเวณที่อิเล็กตรอนไม่สามารถอยู่ได้ โดยในสารกึ่งตัวนำ แถบยินยอมแถบล่างนี้จะเรียกว่า แถบวาเลนซ์ (valence band) ซึ่งเป็นแถบพลังงานที่มีอิเล็กตรอนอยู่เกือบเต็มทุกสถานะพลังงาน ส่วนแถบบนจะเรียกว่า แถบความนำ (conduction band) ซึ่งจะเป็นแถบพลังงานที่มีอิเล็กตรอนอยู่เพียงเล็กน้อย ส่วนแถบพลังงานต้องห้ามจะถูกเรียกว่า ช่องว่างพลังงาน (energy gap) โดยในผลึกซิลิคอนค่าของช่องว่างพลังงาน (E_g) จะมีค่าเท่ากับ 1.14 eV และมีโครงสร้างของแถบพลังงานในมิติของโมเมนตัม (k-space) จะถูกแสดงเอาไว้ในรูปที่ 2.5

จากภาพจะเห็นได้ว่าระดับพลังงานสูงสุดของแถบวาเลนซ์จะอยู่ที่ตำแหน่ง $k = 0$ แต่ระดับพลังงานต่ำสุดของแถบความนำกลับอยู่ที่ตำแหน่ง $k \neq 0$ เรียกสารกึ่งตัวนำที่มีโครงสร้างของแถบพลังงานลักษณะเช่นนี้ว่า สารกึ่งตัวนำแบบช่องแถบตรง (indirect-band gap) ซึ่งการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงาน (transition) ของอิเล็กตรอนจากแถบวาเลนซ์ไปสู่แถบความนำ สำหรับ

สารกึ่งตัวนำแบบช่องแถบตรงจะต้องอาศัยโฟตอนเข้าช่วย ทั้งนี้ก็เพื่อรักษาเงื่อนไขในการอนุรักษ์โมเมนตัมไว้ ซึ่งจะมีผลต่อคุณสมบัติทางแสงของผลึกซิลิคอน



รูปที่ 2.5 แผนภูมิแถบพลังงานของผลึกซิลิคอนในมิติของ k-space

2.1.3 ชนิดของผลึกซิลิคอน

ผลึกซิลิคอนนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็นสองชนิดใหญ่ๆ ได้คือ

2.1.3.1 ซิลิคอนบริสุทธิ์ (Intrinsic Silicon)

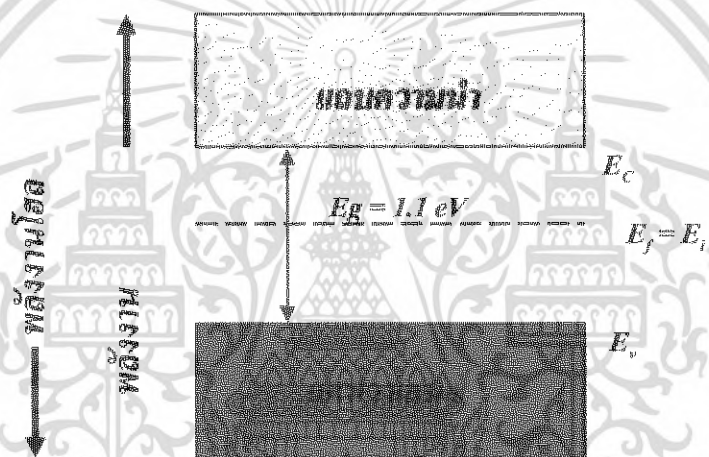
ผลึกซิลิคอนซึ่งมาได้ถูกเติมหรือเจือปนด้วยอะตอมของธาตุอื่น ที่ในบางครั้งนิยมเรียกว่า อะตอมสารเจือ (impurity atom) จะมีลักษณะแถบพลังงานดังแสดงในรูปที่ 2.6 ซึ่งจากภาพเป็นลักษณะโครงสร้างพลังงานของซิลิคอนบริสุทธิ์ที่ประกอบไปด้วยแถบวาเลนซ์ แถบความนำ และแถบพลังงานต้องห้าม โดยระดับพลังงานซึ่งแสดงเป็นเส้นตรงที่อยู่ระหว่างแถบวาเลนซ์และแถบความนำ คือ ระดับพลังงานเฟอร์มิ โดยสำหรับสารกึ่งตัวนำซิลิคอนบริสุทธิ์แล้วระดับพลังงานนี้จะถูกเรียกเป็นระดับพลังงานอินทรินซิก และเมื่อทำการพิจารณาแถบพลังงานของซิลิคอนบริสุทธิ์ การที่พันธะโควาเลนต์ถูกแตกออกเนื่องจากกระตุ้นด้วยพลังงานจากภายนอก นั่นก็คือการที่อิเล็กตรอนภายในแถบวาเลนซ์ ได้รับพลังงานจากภายนอกเพิ่มขึ้นมากพอที่จะเปลี่ยนแปลงไปอยู่ในระดับพลังงานในแถบความนำ และจะทำให้เกิดที่ว่าง (โฮล) ขึ้นที่แถบวาเลนซ์ ดังแสดงในรูปที่

2.7

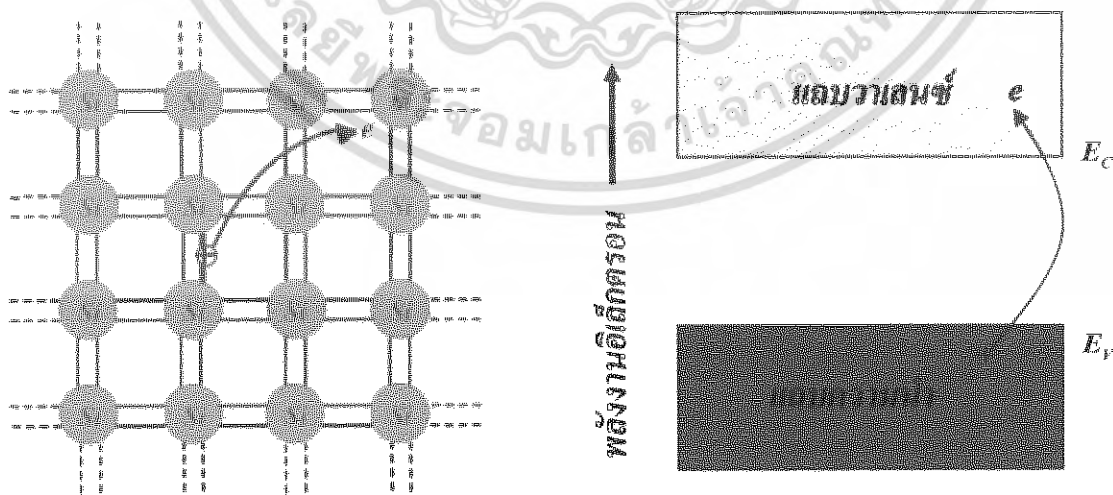
โดยสภาพนำไฟฟ้าของซิลิคอนบริสุทธิ์จะมีค่ามากหรือน้อยก็ขึ้นอยู่กับจำนวนของอิเล็กตรอนในแถบความนำและ โฮลในแถบวาเลนซ์ ซึ่งการเกิดประจุพาหะในซิลิคอนบริสุทธิ์จะเกิดได้เฉพาะในกรณีนี้เท่านั้น และจำนวนอิเล็กตรอนอิสระที่เกิดขึ้นในแถบความนำ จะมีจำนวนเท่ากับจำนวน โฮลที่เกิดขึ้นในแถบวาเลนซ์ สามารถเขียนสมการได้เป็น

$$n = p = n_i \quad \text{สมการที่ 2.1}$$

โดยที่ n = ความหนาแน่นของอิเล็กตรอนอิสระ
 p = ความหนาแน่นของโฮล
 n_i = ความหนาแน่นอินทรินซิก



รูปที่ 2.6 แสดงลักษณะ โครงสร้างพลังงานของผลึกซิลิคอนบริสุทธิ์



รูปที่ 2.7 การเกิดอิเล็กตรอนอิสระและ โฮลภายใน โครงสร้างแถบพลังงานของซิลิคอนบริสุทธิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3.2 ซิลิคอนเจือปน (Extrinsic Silicon)

ซิลิคอนบริสุทธิ์หรือที่เรียกว่าอินทรีนซิกซิลิคอนนั้น ตามความเป็นจริงแล้วจะถูกนำไปใช้งานเพื่อการสร้างเป็นสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำได้น้อยมาก ทั้งนี้เนื่องจากซิลิคอนบริสุทธิ์มีสภาพความนำไฟฟ้าต่ำและมีค่าจำกัด โดยค่าความนำไฟฟ้าจะเปลี่ยนแปลงได้ก็เฉพาะในกรณีที่ได้รับการกระตุ้นจากพลังงานภายนอกเช่น ความร้อนหรือแสง เป็นต้น ดังนั้นเพื่อเป็นการเพิ่มสภาพความนำไฟฟ้าให้แก่ผลึกซิลิคอนจึงมีการเติมอะตอมของธาตุอื่นเข้าไปในผลึกด้วย ผลึกซิลิคอนที่ถูกเจือปนด้วยอะตอมของธาตุเจือปนถูกเรียกว่า ซิลิคอนเจือปน หรือเอ็กทรีนซิกซิลิคอน ทำให้ผลึกซิลิคอนดังกล่าวมีคุณสมบัติที่น่าสนใจและเป็นประโยชน์อย่างยิ่งต่อการนำไปใช้สร้างเป็นสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำต่างๆ

สำหรับอะตอมของธาตุที่นำมาใช้เป็นสารเจือ (impurity) เติมลงไปในผลึกซิลิคอนบริสุทธิ์นั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. อะตอมธาตุเจือปนชนิดเอ็น (n-type impurity atom)

ได้แก่อะตอมของธาตุในกลุ่มที่ 5 ของธาตุ เช่น ฟอสฟอรัส สารหนู พลวง เป็นต้น เมื่อเติมเข้าไปในผลึกซิลิคอนบริสุทธิ์แล้วจะทำให้ได้ผลึกซิลิคอนชนิดเอ็น สามารถนำไฟฟ้าได้ดีโดยมีอิเล็กตรอนอิสระจำนวนมากมาย อะตอมสารเจือชนิดเอ็นนี้จะถูกเรียกว่า อะตอมผู้ให้ (donor atom)

2. อะตอมธาตุเจือปนชนิดพี (p-type impurity atom)

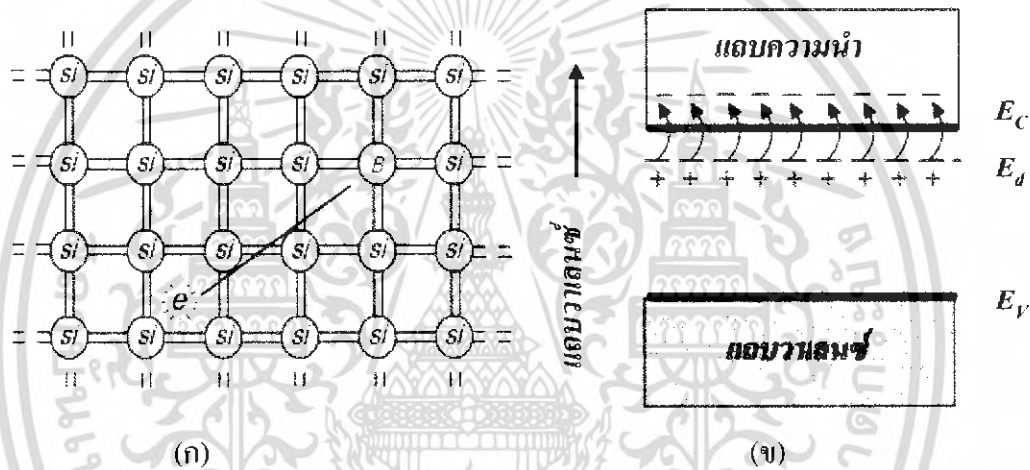
ได้แก่อะตอมของธาตุในกลุ่มที่ 3 ของตารางธาตุ เช่น โบรอน อะลูมิเนียม อินเดียม เป็นต้น เมื่อเติมเข้าไปในผลึกซิลิคอนบริสุทธิ์แล้ว จะทำให้ได้ผลึกซิลิคอนชนิดพี สามารถนำไฟฟ้าได้ดีโดยมีโฮลซึ่งเป็นประจุพาหะชนิดบวกจำนวนมากมาย อะตอมสารเจือชนิดพีนี้จะถูกเรียกว่า อะตอมผู้รับ (acceptor atom)

ส่วนซิลิคอนเจือปนที่ได้หลังจากการเติมอะตอมสารเจือแล้วสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. ผลึกซิลิคอนชนิดเอ็น (n-type silicon)

ได้แก่ผลึกซิลิคอนที่ถูกเติมด้วยอะตอมสารเจือชนิดเอ็น หรืออะตอมผู้ให้ เช่นอะตอมของฟอสฟอรัสซึ่งเป็นธาตุในกลุ่มที่ 5 ดังนั้นจึงมีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 5 ตัว เมื่ออะตอมถูกเติมเข้าไปในผลึกซิลิคอนก็จะไปเกาะเกี่ยวกับอะตอมข้างเคียงอีก 4 อะตอม ซึ่งอยู่รอบๆเกิดเป็นพันธะโควาเลนซ์ขึ้น 4 พันธะ ดังนั้นจึงเหลือวาเลนซ์อิเล็กตรอนอีก 1 ตัว ซึ่งไม่มีพันธะจับอยู่อิเล็กตรอนดังกล่าวนี้จะอยู่ในอิทธิพลของนิวเคลียสด้วยแรงยึดเหนี่ยวเพียงเล็กน้อยเกือบจะเป็นอิสระ ดังนั้นที่อุณหภูมิห้องปกติพลังงานจากความร้อนก็สามารถทำให้อิเล็กตรอนดังกล่าวได้รับพลังงานและหลุดออกมาเป็นอิสระได้เคลื่อนที่ไปมาได้อย่างเสรีกลายเป็นอิเล็กตรอนอิสระอยู่ในแถบความนำ และสามารถนำ

ไฟฟ้าได้ ในสภาพเช่นนี้อะตอมของฟอสฟอรัสซึ่งสูญเสียอิเล็กตรอนไปก็จะกลายเป็นไอออนบวก นอกจากนี้ปรากฏการณ์พันธะแตกเนื่องจากพลังงานความร้อนก็จะทำให้อิเล็กตรอนที่อยู่ในพันธะโควาเลนต์หลุดออกมาเป็นอิสระได้เช่นกัน และทั้งให้เกิดโฮล ซึ่งเป็นประจุไฟฟ้าชนิดบวกเกิดขึ้นในแถบวาเลนซ์ แต่ปริมาณโฮล และอิเล็กตรอนที่เกิดขึ้นเนื่องจากพันธะแตกนี้จะมีจำนวนน้อย ดังนั้นในผลึกซิลิคอนชนิดนี้ จึงมีปริมาณของประจุพาหะอิเล็กตรอนที่มากกว่าโฮล ทำให้ผลึกซิลิคอนชนิดนี้จึงเสมือนนำไฟฟ้าได้ด้วยประจุพาหะชนิดลบ (Negative charge) ดังนั้นเราจึงเรียกผลึกซิลิคอนชนิดนี้ว่า ผลึกซิลิคอนชนิดเอ็น (n : ย่อมาจาก negative) การเกิดอิเล็กตรอนอิสระเนื่องจากอะตอมสารเจือผู้ให้ และลักษณะแถบพลังงานของผลึกซิลิคอนชนิดเอ็น แสดงได้ดังในรูปที่ 2.8 (ก) และ (ข) ตามลำดับ



รูปที่ 2.8 แบบจำลองโครงสร้างผลึกซิลิคอนชนิดเอ็น

(ก) ลักษณะผลึกซิลิคอนชนิดเอ็น

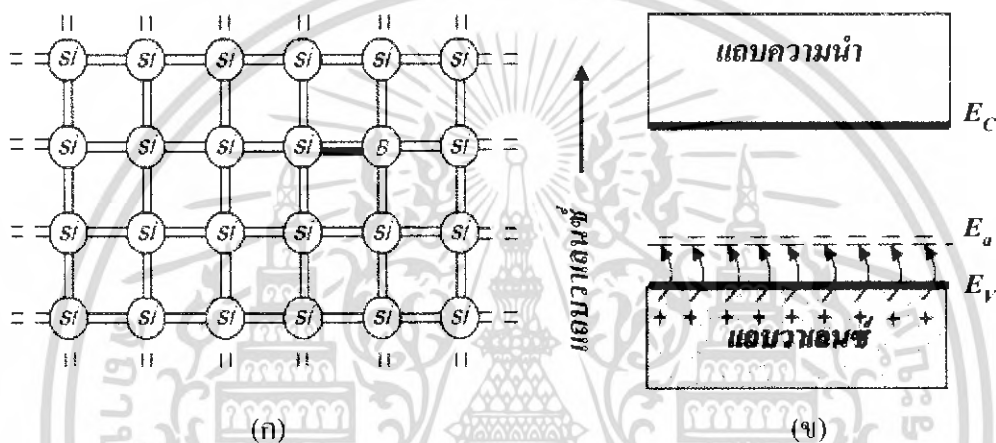
(ข) โครงสร้างแถบพลังงานของผลึกซิลิคอนชนิดเอ็น

2. ผลึกซิลิคอนชนิดพี (p-type silicon)

ได้แก่ผลึกซิลิคอนที่ถูกเติมด้วยอะตอมสารเจือชนิดพี หรือที่เรียกว่า อะตอมผู้รับ เช่น อะตอมของโบรอน ซึ่งเป็นธาตุในกลุ่มที่ 3 ดังนั้นจึงมีวาเลนซ์อิเล็กตรอนเพียง 3 ตัว เมื่ออะตอมสารเจือผู้รับถูกเติมเข้าไปในผลึกซิลิคอนก็จะไปเกาะเกี่ยวกับอะตอมของผลึกซิลิคอนที่อยู่ข้างเคียงอีก 4 อะตอม แต่อะตอมสารเจือชนิดนี้มีวาเลนซ์อิเล็กตรอน 3 ตัว ดังนั้นจึงสามารถเกาะเกี่ยวและเกิดเป็นพันธะโควาเลนต์ได้เพียง 3 พันธะเท่านั้น ส่วนอีกหนึ่งพันธะไม่มีความสมบูรณ์เนื่องจากขาดอิเล็กตรอน ดังนั้นจึงทำให้อิเล็กตรอนที่อยู่ในพันธะโควาเลนซ์มีโอกาสที่จะเข้าไปอยู่ในที่ดังกล่าวเพื่อทำให้เป็นพันธะที่สมบูรณ์ เมื่ออิเล็กตรอนหลุดออกไปจากพันธะโควาเลนซ์ก็จะทำให้เกิดโฮลขึ้น ดังนั้นแต่ละอะตอมของสารเจือผู้รับจะทำให้เกิดโฮลขึ้นมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โฮลซึ่งเป็นประจุพาหะชนิดบวกสามารถนำไฟฟ้าได้ และอะตอมของสารเจือชนิดนี้ เมื่อได้รับอิเล็กตรอนเพิ่มเข้ามาก็จะเปลี่ยนสภาพไปเป็นไอออนลบ และขณะเดียวกันอิเล็กตรอนและโฮลจำนวนเล็กน้อยก็สามารถเกิดขึ้นได้เช่นกัน เนื่องจากพลังงานจากความร้อนซึ่งทำให้พันธะแตกออก ดังนั้น ในผลึกซิลิคอนชนิดพีจึงมีปริมาณของประจุพาหะโฮลมากกว่าจำนวนของอิเล็กตรอน และสามารถนำไฟฟ้าได้ด้วยประจุพาหะชนิดบวก (positive charge) เราจึงเรียกผลึกซิลิคอนชนิดนี้ว่า ผลึกซิลิคอนชนิดพี (p : ย่อมาจาก positive) การเกิดโฮลเนื่องจากอะตอมสารเจือผู้รับและลักษณะแถบพลังงานของผลึกซิลิคอนชนิดพีแสดงได้ดังรูปที่ 2.9 (ก) และ (ข) ตามลำดับ



รูปที่ 2.9 แบบจำลองโครงสร้างผลึกซิลิคอนชนิดพี

(ก) ลักษณะผลึกซิลิคอนชนิดพี

(ข) โครงสร้างแถบพลังงานของผลึกซิลิคอนชนิดพี

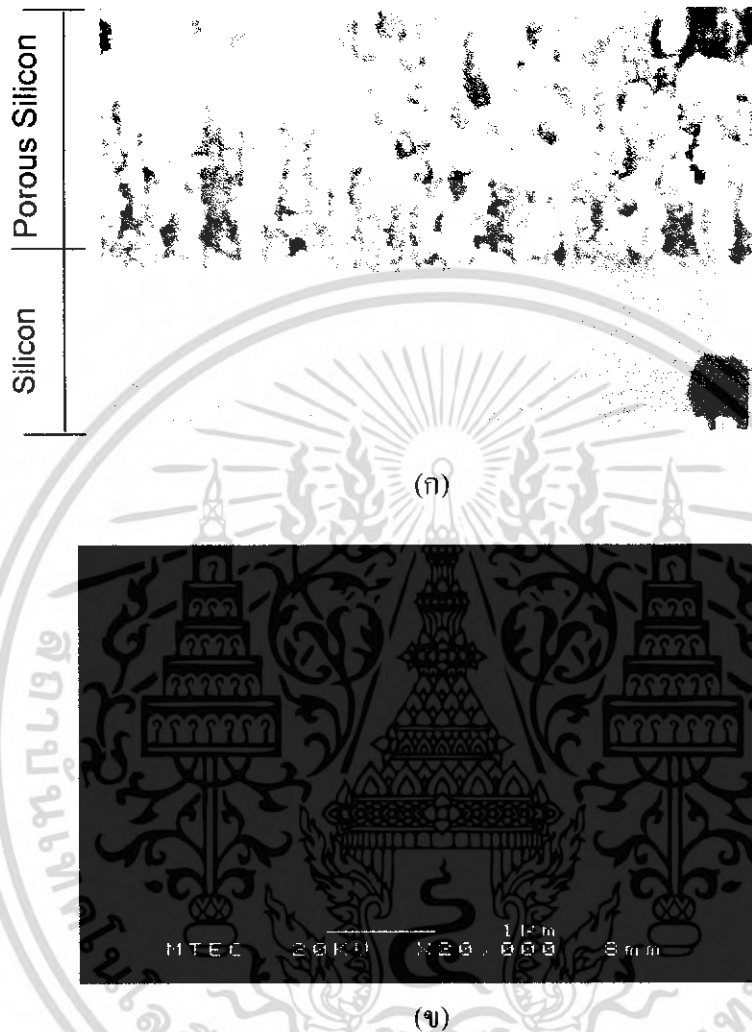
2.2 พอร์สซิลิคอน

2.2.1 โครงสร้างของพอร์สซิลิคอน

พอร์สซิลิคอน คือ ผลึกซิลิคอนที่มีลักษณะเป็นรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก โดยในชั้นความพรุนนี้อาจจะประกอบไปด้วยโครงสร้างของผลึกซิลิคอนเล็กๆ ที่มีขนาดอยู่ในระดับนาโนเมตร จนถึงระดับไมโครเมตร โดยในแต่ละชั้นจะมีขนาดของโครงสร้างที่แตกต่างกันออกไป ดังรูปที่ 2.10

โครงสร้างของชั้นพอร์สซิลิคอนทั้งสามนี้ เกิดขึ้นจากกระบวนการกัดเนื้อของผลึกซิลิคอนด้วยวิธีทางไฟฟ้าเคมี (Electrochemical etching) นอกจากนี้จากการศึกษาค้นคว้า โครงสร้างของพอร์สซิลิคอน โดยเฉพาะในส่วนของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนยังพบต่อไปอีกว่าที่บริเวณผิวของไม

โครพอร์สซิลิคอนนั้นยังประกอบไปด้วยพันธะของซิลิคอนไฮไดรด์ (Si:H) หรือ ซิลิคอนออกซิไฮไดรด์ (Si:O:H) ปกคลุมอยู่ที่ผิวโดยทั่วไป [3,4,5] อีกด้วย



รูปที่ 2.10 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

(ก) ภาพตัดขวางชั้นพอร์สซิลิคอน

(ข) ภาพผิวหน้าของชั้นพอร์สซิลิคอน

2.2.2 การแบ่งประเภทของพอร์สซิลิคอน

2.2.2.1 แบ่งตามขนาดของแท่งพอร์ส

พอร์สซิลิคอนสามารถถูกแบ่งได้ตามขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางแท่งของพอร์ส ดังนี้

1.1 โครงสร้างของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน (Nanoporous) เป็นชั้นของพอร์สซิลิคอนที่มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างที่เล็กกว่า 5 นาโนเมตร ลงไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 โครงสร้างของชั้นมีโซพอร์สซิติคอน (Mesoporous) เป็นชั้นของพอร์สซิติคอนที่มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างที่อยู่ระหว่าง 5 นาโนเมตร ถึง 50 นาโนเมตร

1.3 โครงสร้างของชั้นไมโครพอร์สซิติคอน (Microporous) เป็นชั้นของพอร์สซิติคอนที่มีขนาดของเส้นผ่านศูนย์กลางโครงสร้างที่ใหญ่กว่า 50 นาโนเมตร ขึ้นไป โดยโครงสร้างในชั้นนี้จะติดกับเนื้อของผลึกซิติคอน

2.2.2.2 แบ่งตามลักษณะของรูพรุน

ลักษณะของรูพรุนของพอร์สมีหลายลักษณะ แบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทหลักๆ ได้แก่

1. ลักษณะเป็นรูตันและไม่มีการแยกของรูพรุน (Saccate)
2. ลักษณะเป็นรูตันและมีการแยกออกหรือเชื่อมต่อของรู (Interconnected)
3. ลักษณะเป็นโพรงอากาศผิวปิดทุกด้าน (Closed)
4. มีลักษณะเป็นรูกลวงทะลุออกทั้งสองด้าน (Through)

ซึ่งลักษณะของแท่งพอร์สที่แตกต่างกันสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานที่แตกต่างกันได้

2.2.2.3 แบ่งตามรูปร่างของรูพรุน

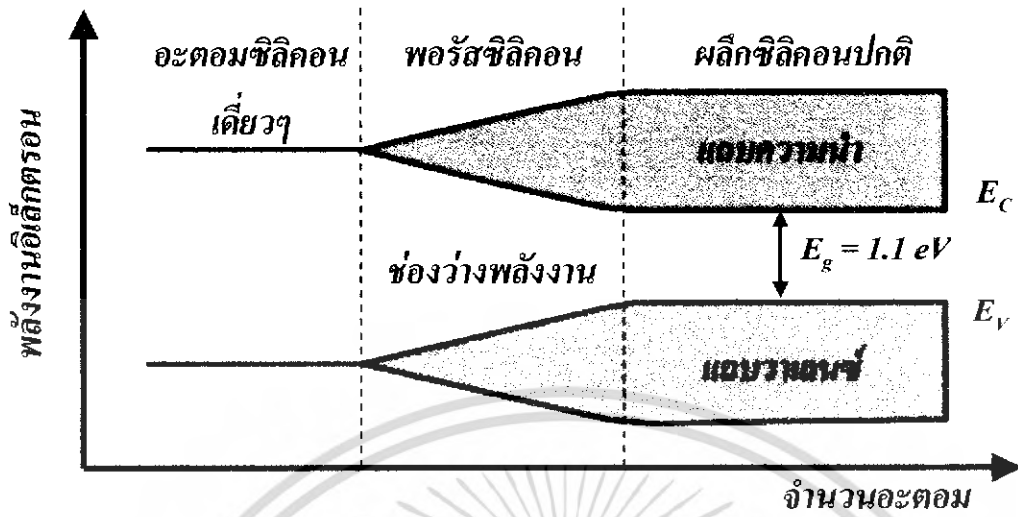
รูพรุนของพอร์สซิติคอนนอกจากขนาดและลักษณะที่แตกต่างกันแล้วยังมีรูปร่างได้หลายแบบ โดยรูปร่างของรูพรุนที่พบส่วนใหญ่มีอยู่ 5 แบบ ได้แก่

1. รูพรุนที่มีรูปร่างเป็นทรงกระบอก (Cylindrical)
2. รูพรุนที่มีรูปร่างคล้ายขวดน้ำ (Ing-bottle)
3. รูพรุนที่มีรูปร่างเป็นทรงกรวย (Funnel)
4. รูพรุนที่มีรูปร่างเป็นลูกบาศก์ (Cuboid)
5. รูพรุนที่มีรูปร่างเป็นทรงสามเหลี่ยมพีระมิด (Triangular)

2.2.3 ลักษณะของแถบพลังงานของพอร์สซิติคอน

จากที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 2.1.2 ถึงการเกิดแถบพลังงานของผลึกซิติคอน เมื่ออะตอมของผลึกซิติคอนมาอยู่ใกล้ชิดกัน จนเกิดการเหลื่อมล้ำกันของระดับพลังงานภายในอะตอมทำให้เกิดการแตกแยกของระดับพลังงานเหล่านั้นขึ้น ซึ่งจำนวนของระดับพลังงานที่แตกแยกออกมานั้นจะมีค่าเท่ากับจำนวนของอะตอมที่อยู่ใกล้ชิดกัน ดังที่ได้แสดงมาแล้วในรูปที่ 2.6 จากหลักการนี้เองถ้าเราสามารถทำการลดจำนวนอะตอมภายในผลึกได้ ก็จะทำให้ปฏิกริยาระหว่างอะตอมที่มีค่อนกันนั้นมีจำนวนลดลงด้วย ซึ่งจะไปมีผลต่อลักษณะของแถบพลังงานในส่วนของช่องว่างพลังงาน (band gap energy) ที่จะมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับเนื้อของผลึกซิติคอนเดิม (ซึ่งมีจำนวนอะตอมซิติคอนอยู่ภายในประมาณ 10^{22} อะตอม/ลูกบาศก์เซนติเมตร) ดังแสดงในรูปที่ 2.11

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 ลักษณะแถบพลังงานของผลึกซิลิคอนที่จำนวนอะตอมต่างๆ

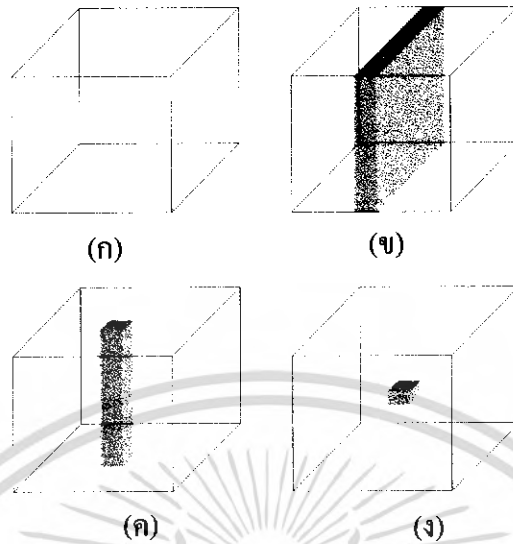
จากรูปข้างต้นจะเห็นได้ว่า เมื่อจำนวนอะตอมของผลึกซิลิคอนมีค่าลดลง จะมีผลทำให้ช่องว่างพลังงานมีค่าเพิ่มขึ้น ซึ่งในทางปฏิบัติการลดจำนวนอะตอมของผลึกซิลิคอนลงนั้นสามารถทำได้โดยการลดหรือบีบขนาดโครงสร้างของผลึกซิลิคอนให้มีขนาดเล็กลงอยู่ในระดับของนาโนเมตร จนสามารถเกิดปรากฏการณ์ทางควอนตัม อันจะมีผลทำให้ลักษณะโครงสร้างทางช่องว่างพลังงานมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากเนื้อผลึกซิลิคอนเดิม เรียกปรากฏการณ์ลักษณะเช่นนี้ว่า ปริมาณควอนตัมส่งผล (Quantum size effect) หรือการจำกัดควอนตัมส่งผล (Quantum confinement effect) ซึ่งค่าพลังงานมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นเนื่องจากปรากฏการณ์นี้จะมีค่าเท่ากับ

$$E_q = \Delta E_c + \Delta E_v \quad \text{สมการที่ 2.2}$$

- โดยที่ E_q เป็นพลังที่เกิดขึ้นจากปรากฏการณ์การจำกัดควอนตัมส่งผล
- ΔE_c เป็นพลังงานที่มีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นจากระดับพลังงานต่ำสุดของแถบความนำของผลึกซิลิคอน
- ΔE_v เป็นพลังงานที่มีความเปลี่ยนแปลงลดลงจากระดับพลังงานสูงสุดของแถบวาเลนซ์ของผลึกซิลิคอน

พาหะนำกระแสที่อยู่ภายใน โครงสร้างเหล่านี้ จะเสมือนว่า ได้ถูกกักขังไว้ให้ภายในบริเวณที่มีพื้นที่จำกัด ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปมาอย่างอิสระในแบบ 3 มิติ ได้เหมือนกับอยู่ในเนื้อผลึกซิลิคอนปกติ ดังแสดงในรูปที่ 2.12 (ก) มีผลทำให้คุณสมบัติทางไฟฟ้าและคุณสมบัติทางแสงจะแตกต่างออกไปจากเนื้อผลึกซิลิคอนเดิม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 แบบจำลองลักษณะ โครงสร้างทางควมด้มแบบต่างๆ และทิศทางการเคลื่อนที่ของพาหะภายใน

(ก) เนื้อผลึกซิลิคอน

(ข) ควอนตัมในเชิง 2 มิติ

(ค) ควอนตัมในเชิง 1 มิติ

(ง) ควอนตัมในแบบไม่มีมิติ

ซึ่งทิศทางการเคลื่อนที่โดยรวมของพาหะนำกระแสจะถูกรับหรือบังคับด้วยลักษณะและขนาดของ โครงสร้างผลึก ด้วยเหตุผลนี้จึงทำให้ปรากฏการณ์ปริมาณควอนตัมส่งผล หรือการจำกัดควอนตัมส่งผล สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ด้วยกันคือ

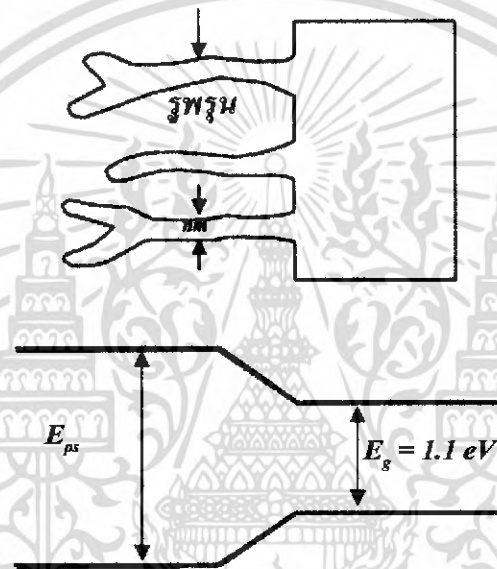
1. ควอนตัมในเชิง 2 มิติ (quantum well) เกิดจากการลดขนาดหรือปลูกผลึกให้มีลักษณะเป็นชั้นที่มีความบางมากๆ ในระดับชั้นของโมเลกุล เช่น 30-50 ชั้น โมเลกุล (น้อยกว่า 100 นาโนเมตร) พาหะนำกระแสที่ถูกกักขังให้อยู่ภายในโครงสร้างลักษณะเช่นนี้ จะถูกรับหรือจำกัดทิศทางการเคลื่อนที่โดยรวมให้สามารถเคลื่อนที่ไปมาใน โครงสร้างแบบ 2 มิติเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.12 (ข)

2. ควอนตัมในเชิง 1 มิติ (quantum wire) เกิดจากการลดขนาดหรือปลูกผลึกให้มีลักษณะเป็นเส้นหรือเสาแคบๆที่มีความหนาอยู่ในระดับนาโนเมตร พาหะนำกระแสที่ถูกกักขังอยู่ภายในโครงสร้างลักษณะเช่นนี้ จะถูกจำกัดทิศทางการเคลื่อนที่โดยรวมให้สามารถเคลื่อนที่ไปในโครงสร้างแบบ 1 มิติ หรือเพียงทิศทางเดียวตามความยาวของ โครงสร้างที่เป็นเส้นหรือเสานั้นเท่านั้น ดังแสดงในรูป 2.12 (ค) ซึ่งลักษณะช่องว่างพลังงานของโครงสร้าง 1 มิติแบบนี้ จะมีขนาดที่กว้างกว่าช่องว่างพลังงานของโครงสร้างแบบ 2 มิติ ทั้งนี้เนื่องจากโครงสร้างในลักษณะแบบนี้จะมีขนาดที่เล็กกว่า และมีจำนวนอะตอมที่อยู่ภายในน้อยกว่าโครงสร้าง 2 มิตินั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ควอมตัมในแบบไม่มีมิติ (quantum dot) เกิดจากการลดขนาดหรือปลูกผลึกให้มีลักษณะเป็นจุดที่มีขนาดเล็กมาก โดยพาหะนำกระแสที่ถูกกักขังให้อยู่ภายในโครงสร้างลักษณะแบบนี้ในทางอุดมคติแล้วจะถูกกำจัดทิศในการเคลื่อนที่อย่างสมบูรณ์ให้อยู่ภายใน โครงสร้างในแบบที่ไม่มีมิติ ดังแสดงในรูปที่ 2.12 (ง) อะตอมที่อยู่ภายในโครงสร้างจุดเล็กๆ เหล่านี้จะมีจำนวนที่น้อยกว่าในโครงสร้างสองแบบแรก มีผลทำให้ขนาดช่องว่างพลังงานของโครงสร้างที่เป็นจุดนี้จะมีความกว้างที่มากกว่าในโครงสร้างสองแบบแรกด้วย

พอร์สซิลิคอน



รูปที่ 2.13 ลักษณะแถบพลังงานของพอร์สซิลิคอนเปรียบเทียบกับผลึกซิลิคอน

เมื่อย้อนกลับพิจารณาถึงโครงสร้างของชั้นพอร์สซิลิคอน เนื่องจากโครงสร้างส่วนใหญ่จะมีลักษณะเป็นเส้นหรือเสาแคบๆ ที่มีขนาดอยู่ในระดับนาโน ตามที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 2.2.1 ทำให้ปรากฏการณ์ทางควอมตัมที่เกิดขึ้นในโครงสร้างของพอร์สซิลิคอน จึงกักอยู่ในรูปที่ 2.13 ซึ่งความกว้างของช่องว่างพลังงาน (E_g) มีค่าขึ้นอยู่กับขนาด โครงสร้างนาโนเมตรของพอร์สซิลิคอน

2.3 กระบวนการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอน

ในกระบวนการสร้างเพื่อให้ได้มาซึ่งผลึกซิลิคอนที่มีขนาดโครงสร้างอยู่ในระดับนาโนเมตร (nanocrystallites) และสามารถแสดงคุณสมบัติในการเปล่งแสงในช่วงที่ตามองเห็นได้นั้นมีอยู่หลายวิธีด้วยกันคือ โดยในหัวข้อนี้จะได้พิจารณาถึงเทคนิคและวิธีการสร้างผลึกซิลิคอนมีขนาดอยู่ในระดับนาโนเมตรแบบต่างๆ

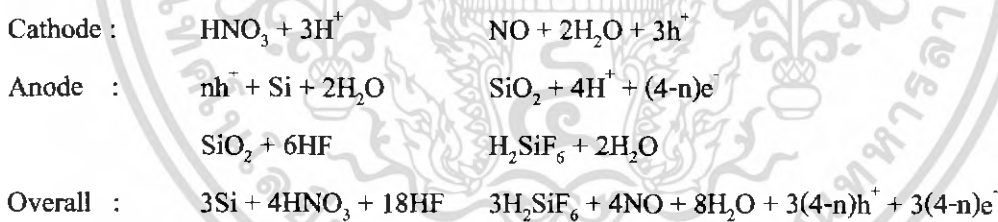
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.1 การสร้างพอร์ซซิลิคอนด้วยวิธีการกัดแบบข้อมติ

การสร้างพอร์ซซิลิคอนด้วยวิธีการกัดแบบข้อมติ (Stain etching) เริ่มมีการนำมาใช้ตั้งแต่ปี ค.ศ.1960 เทคนิคที่นิยมใช้กันมากที่สุดคือการจุ่มแผ่นผลึกซิลิคอนลงในสารประกอบของไฮโดรฟลูออริก ซึ่งมักจะประกอบด้วย สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก (HF) กรดไนตริก (Nitric) และน้ำเป็นส่วนประกอบหลัก นอกจากนี้ยังอาจมีการใช้การกระตุ้นด้วยแสงสว่างในขณะที่ทำการกัดด้วยปฏิกิริยาเคมีเป็นตัวช่วยการทำปฏิกิริยาด้วย

กลไกการทำปฏิกิริยาเคมีที่สำคัญของการกัดแบบข้อมติ (Stain etching) ก็คือ การทำให้เกิดประจุโฮลเพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาการกัดเนื้อซิลิคอน ซึ่งส่วนมากจะนิยมใช้สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก (HF) ทำปฏิกิริยากับกรดไนตริก (Nitric : HNO_3) เพื่อทำให้เกิดประจุโฮล หลังจากนั้นประจุโฮลที่เกิดขึ้นจะเข้าทำปฏิกิริยากับซิลิคอนและน้ำ เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation reaction) ได้ซิลิคอนไดออกไซด์ ขณะที่เกิดปฏิกิริยาออกซิเดชันนี้เองสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกก็จะกัดเนื้อซิลิคอนไดออกไซด์บางส่วนออก ซึ่งการเกิดซิลิคอนไดออกไซด์และการถูกกัดของซิลิคอนไดออกไซด์จะเป็นแบบสุ่ม เนื่องจากไม่มีกลไกในการควบคุมทิศทางการทำปฏิกิริยาเหมือนอย่างกรณีการกัดด้วยไฟฟ้าเคมี (Anodization) ดังนั้นลักษณะโครงสร้างที่ได้จึงมักจะไม่เป็นรูปแบบ (Non-uniform)

ปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในกระบวนการกัดแบบข้อมติ



ในระหว่างกระบวนการกัดจะสังเกตเห็นว่าบริเวณที่กำลังทำปฏิกิริยามีสีสันเปลี่ยนไปในรูปแบบที่คล้ายกับวงเวินสีของชั้นซิลิคอนไดออกไซด์ ทั้งนี้เนื่องจากความหนาของชั้นพอร์ซซิลิคอนที่เพิ่มขึ้นนั่นเอง เช่น มีการเปลี่ยนแปลงของสีสันจากสีน้ำเงินเป็นสีเขียวและสีทองตามลำดับ ก็จะได้ความหนาของชั้นพอร์ซซิลิคอนที่เพิ่มขึ้นจากประมาณ 0.1 ไมครอน ถึงประมาณ 1.5 ไมครอน เป็นต้น

นอกจากนี้ยังมีการค้นพบว่าในกระบวนการกัดแบบข้อมติ มีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการบ่มสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกพร้อมกับกรดไนตริกสักครู่ก่อนที่จะนำไปทำปฏิกิริยาการกัดในขั้นตอนต่อไป ทั้งนี้ก็เพื่อเป็นการเพาะฟักตัวเร่งปฏิกิริยาที่จะใช้ในกระบวนการกัดนั่นเอง เรียกว่า “การบ่มสารละลาย (Incubation)”

2.3.2 การสร้างพอร์ซซิลิคอนด้วยวิธีการกัดทางไฟฟ้าเคมี

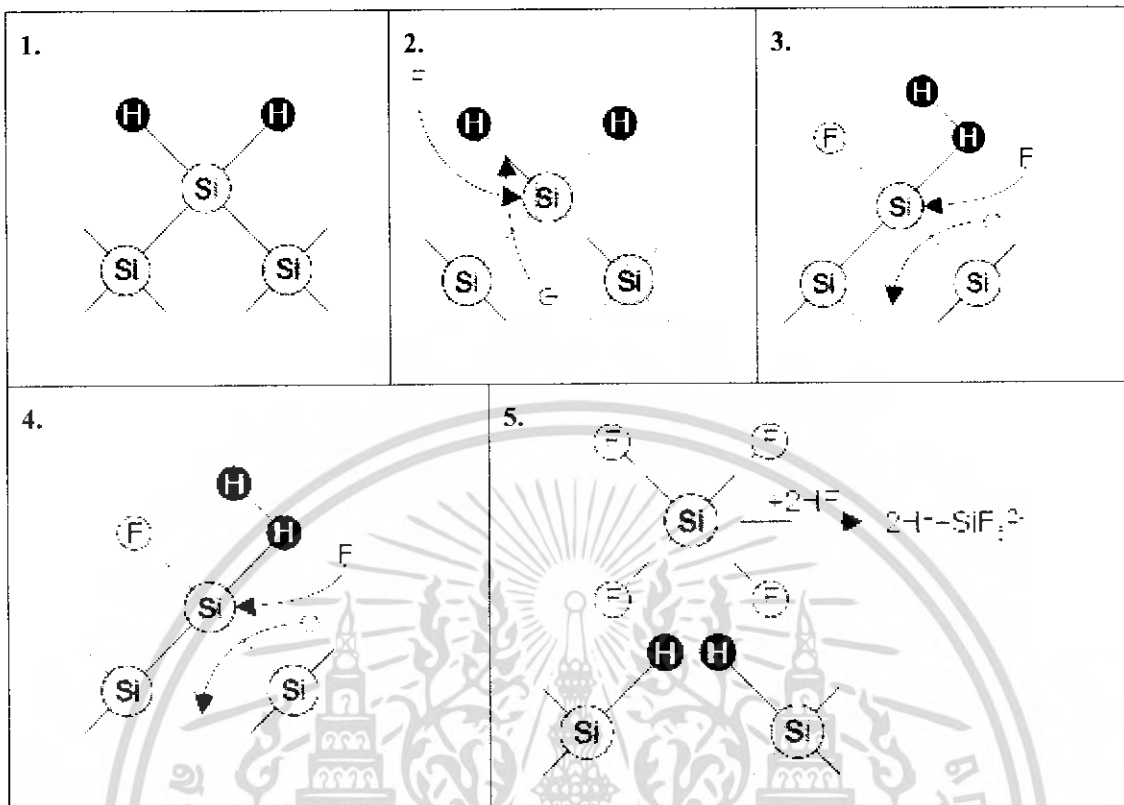
การสร้างชั้นพอร์ซซิลิคอนด้วยวิธีการกัดแบบข้อมสี่ มีข้อด้อยที่ไม่สามารถควบคุมกระบวนการกัดได้ทั้งหมด เนื่องจากอาศัยปฏิกิริยาทางเคมีในการกัดเท่านั้น จึงได้ปรับปรุงกระบวนการสร้างชั้นพอร์ซซิลิคอนให้สามารถควบคุมปฏิกิริยาการกัดด้วยไฟฟ้าในการสร้างชั้นพอร์ซซิลิคอนได้ในระดับหนึ่ง ซึ่งกระบวนการสร้างแบบนี้คือการสร้างด้วยวิธีการกัดทางไฟฟ้าเคมี (anodization) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างชั้นของพอร์ซซิลิคอนที่มีโครงสร้างอยู่ในระดับนาโนเมตรเช่นกัน ด้วยวิธีการกัดทางไฟฟ้าเคมี (Electrochemical etching) เนื่องจากมีกระบวนการสร้างในการสร้างที่ค่อนข้างจะง่ายไม่ยุ่งยากซับซ้อนเกินไป อีกทั้งอุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้สร้างชั้นของพอร์ซซิลิคอนก็มีราคาที่ไม่แพงอีกด้วย

2.4 กลไกในการเกิดพอร์ซซิลิคอน

2.4.1 ปฏิกิริยาเคมีในการกัดที่ผิวของผลึกซิลิคอน

เพื่อที่จะเข้าใจถึงกลไกในการเกิดพอร์ซซิลิคอน ก่อนอื่นจำเป็นที่จะต้องทราบถึงปฏิกิริยาเคมีในการกัดเนื้อของผลึกซิลิคอน ที่อยู่ภายใต้การไบอัสแบบไบอัสขั้วบวก (anodic bias) ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก โดยเป็นที่ทราบกันดีอยู่แล้วว่าในสภาวะปกติเมื่อทำการจุ่มผลึกซิลิคอนลงในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก ผิวหน้าของผลึกซิลิคอนจะไม่ถูกสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกกัดแต่อย่างใด แต่เมื่อไรก็ตามที่ผลึกซิลิคอนถูกนำมาอยู่ในเซลล์ไฟฟ้าเคมีที่มีการไบอัสแบบไบอัสขั้วบวกแล้ว ผิวหน้าของผลึกซิลิคอนที่สัมผัสกับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก จะถูกกัดเป็นรูพรุนขนาดเล็กๆ เกิดเป็นชั้นของพอร์ซซิลิคอนขึ้นมา โดยปฏิกิริยาเคมีและขั้นตอนในการกัดเนื้อของผลึกซิลิคอนจะถูกแสดงเอาไว้ในรูปที่ 2.14

จากปฏิกิริยาเคมีที่แสดงข้างต้น เริ่มต้นจากปฏิกิริยาทางเคมี ที่มีผลึกซิลิคอน (Si) เป็นสารเริ่มต้นอยู่ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก (HF) โดยในปฏิกิริยาเคมีนี้จำเป็นที่จะต้องอาศัยไฮโดรเจนในการเกิดปฏิกิริยาเคมี ซึ่งจะทำให้เกิด SiF_2 ขึ้นที่บริเวณผิวของผลึกซิลิคอนต่อจากนั้นก็เกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่าง SiF_2 กับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก ได้ผลลัพธ์เป็น SiF_4 หลุดออกมาจากผิวของผลึกซิลิคอน ในระหว่างกระบวนการกัดขั้นตอนนี้เอง สังเกตได้ว่าจะเกิดก๊าซไฮโดรเจน (H_2) ขึ้นที่ผิวหน้าของผลึกซิลิคอนที่ถูกกัด ท้ายสุดก็จะเกิดปฏิกิริยาเคมีระหว่าง SiF_4 กับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก ซึ่งจะได้ผลลัพธ์สุดท้ายก็คือสาร H_2SiF_6 อยู่ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกนั่นเอง



รูปที่ 2.14 ขั้นตอนและกลไกทางเคมีในการกัดเนื้อของผลึกซิลิคอน

2.4.2 การเกิดรูพรุนของพอร์ซิลิคอน

จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่า ผลึกซิลิคอนเมื่ออยู่ในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกจะไม่ถูกสารละลายกัดแต่อย่างใด แต่เมื่อไหร่ก็ตามที่ทำการป้อนกระแสไฟฟ้าในลักษณะแบบไบอัส ขั้วบวกแก่เซลล์ไฟฟ้าเคมี ให้กระแสไหลผ่านรอยต่อสัมผัสระหว่างผลึกซิลิคอนกับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกจะมีผลทำให้เกิดปฏิกิริยาการกัดทางไฟฟ้าเคมีเกิดขึ้น โดยลักษณะการกัดทางไฟฟ้าเคมีจะมีอยู่ด้วยกัน 2 ลักษณะด้วยกันคือ

- การกัดแบบขัดผิวหน้าด้วยไฟฟ้า (electropolishing)
- การกัดแบบพอร์ส (porous etching)

ทั้งสองแบบมีลักษณะการกัดที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ใช้ในระหว่างการกัดทางไฟฟ้าเคมี โดยประจุพาหะชนิดบวก (โฮล) จะเป็นตัวที่มีความสำคัญเป็นอย่างมากต่อกระบวนการการกัดทั้งสองลักษณะกล่าวคือ

การกัดแบบขัดผิวหน้าด้วยไฟฟ้า

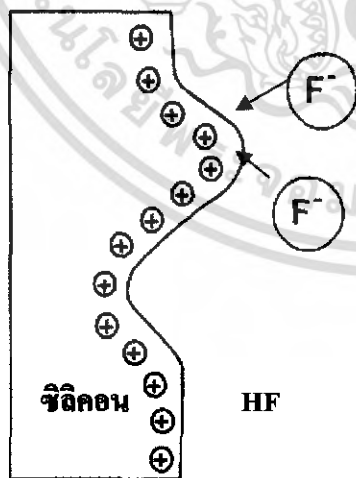
การกัดในลักษณะนี้จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อทำการป้อนความหนาแน่นกระแสให้แก่เซลล์ไฟฟ้าเคมีในปริมาณสูงๆ ($J > J_{ps}$) ซึ่งจะทำให้ที่บริเวณผิวสัมผัสของผลึกซิลิคอนมีปริมาณของพาหะโฮล เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สะสมอยู่เป็นจำนวนมาก ทำให้การกัดที่เกิดขึ้นจะถูกจำกัดโดยอออนของฟลูออรีนที่อยู่ในสารละลายกรด โดยอออนฟลูออรีนเหล่านี้จะเคลื่อนที่ภายในสนามไฟฟ้า ดังนั้นถ้าผิวของของผลึกซิลิคอนมีส่วนที่ยื่นออกมา ดังแสดงในรูปที่ 2.15 (ก) จะมีผลทำให้ที่บริเวณปลายสุดของส่วนที่ยื่นออกมามีปริมาณความเข้มข้นของสนามไฟฟ้าสูงสุด ซึ่งจะดึงเอาอออนของฟลูออรีนเข้ามาทำปฏิกิริยาเคมีในการกัดเนื้อของผลึกซิลิคอนที่บริเวณปลายสุดที่ยื่นออกมาเป็นจำนวนมาก มีผลทำให้ส่วนที่ยื่นออกมาถูกกัดจนเรียบ ดังนั้นเราจึงเรียกการกัดในลักษณะเช่นนี้ว่า การกัดผิวหน้าด้วยไฟฟ้านั่นเอง

การกัดแบบพอร์รัส

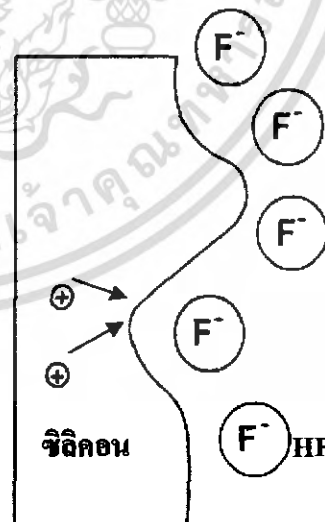
ส่วนลักษณะการกัดแบบพอร์รัสซิลิคอนจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อทำการป้อนความหนาแน่นกระแสในปริมาณต่ำ ($J < J_{ps}$) ซึ่งจะทำให้ปริมาณอออนของฟลูออรีนในสารละลายกรดมีจำนวนมากกว่าจำนวนของโฮลที่อยู่บริเวณผิวสัมผัสของผลึกซิลิคอน ทำให้การกัดในลักษณะนี้จะถูกจำกัดโดยจำนวนโฮล ดังนั้นถ้าผิวของผลึกซิลิคอนมีลักษณะเป็นหลุมหรือรอยซึ่งเกิดจากความไม่เรียบของพื้นผิวหรือจุดบกพร่องต่างๆ ในผลึกซิลิคอน ดังแสดงในรูปที่ 2.15 (ข) เมื่อทำการไบอัสแบบไบอัสขั้วบวกให้แก่เซลล์ไฟฟ้าเคมีจะมีผลทำให้ที่บริเวณก้นหลุมหรือจุดบกพร่องเหล่านี้ มีปริมาณความเข้มข้นของสนามไฟฟ้าสูงกว่าที่บริเวณอื่นๆ ซึ่งจะเอาพาหะโฮลเข้ามายังจุดนี้กันมาก ดังแสดงในรูปที่ 2.16 ทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมีในการกัดเนื้อของผลึกซิลิคอนที่บริเวณก้นหลุมจนเกิดเป็นรูพูนลึกลงไปเนื้อของผลึกซิลิคอน

ความหนาแน่นกระแสสูงๆ



(ก)

ความหนาแน่นกระแสต่ำๆ



(ข)

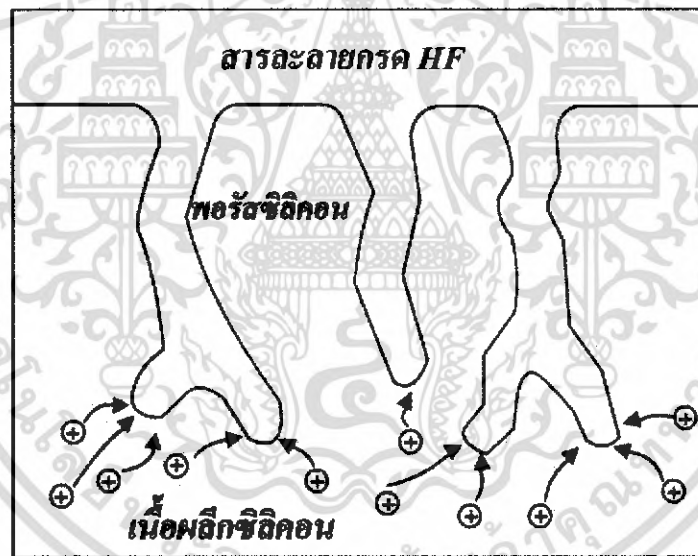
รูปที่ 2.15 แบบจำลองการกัดเนื้อของผลึกซิลิคอนทั้งสองลักษณะ โดยที่

(ก) การกัดแบบกัดผิวหน้าด้วยไฟฟ้า (ข) ลักษณะการกัดแบบพอร์รัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้น เป็นกลไกการเกิดรูพรุนภายในผลึกซิลิคอนทั้งชนิดพี และชนิดเอ็นอย่างง่าย ๆ ซึ่งถ้าจะพิจารณาโดยละเอียดแล้วพบว่าผลึกซิลิคอนทั้งสองชนิดมีกลไกการเกิดโครงสร้างของพอร์ซิลิคอนที่แตกต่างกัน ทั้งนี้เนื่องจากการไบอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมีในลักษณะไบอัสขั้วบวก

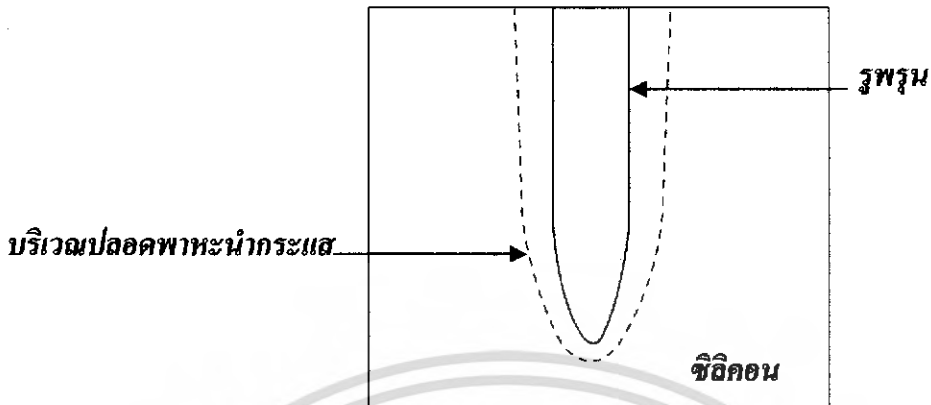
สำหรับผลึกซิลิคอนชนิดพี จะเป็นการไบอัสแบบไปหน้า (forward bias) ซึ่งการไบอัสในลักษณะเช่นนี้จะไปลดสนามไฟฟ้าภายในบริเวณที่เรียกว่าบริเวณปลดพาหะนำกระแส (Space Charge Region : SCR) ลง โดยบริเวณปลดพาหะนำกระแสนี้เป็นบริเวณที่ปลดพาหะนำกระแส (โฮล) เกิดขึ้นตามผิวสัมผัสของผลึกซิลิคอนอันเป็นผลมาจากการสัมผัสกันระหว่างผิวหน้าของผลึกซิลิคอนกับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก มีผลทำให้กระแสไฟฟ้าสามารถไหลผ่านรอยต่อสัมผัสระหว่างผลึกซิลิคอนกับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกได้ ทำให้เกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าทางเคมีในการกัดเนื้อของผลึกซิลิคอน เกิดเป็นรูพรุนได้อย่างต่อเนื่องตามที่ได้อธิบายมาแล้วข้างต้น



รูปที่ 2.16 การเคลื่อนที่พาหะ โฮลที่ถูกดึงมารวมกับที่บริเวณก้นหลุม เนื่องจากอิทธิพลของสนามไฟฟ้า

สำหรับผลึกซิลิคอนชนิดเอ็น การไบอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมีในลักษณะไบอัสขั้วบวกจะเป็นการไบอัสแบบย้อนกลับ (reverse bias) ซึ่งจะมีผลทำให้บริเวณปลดพาหะนำกระแสมีความกว้างเพิ่มขึ้นมากกว่าเดิมในขณะที่ยังไม่ทำการไบอัส ดังนั้นถ้าบริเวณของผลึกซิลิคอนชนิดเอ็นมีลักษณะเป็นหลุมซึ่งเกิดจากความไม่เรียบของพื้นผิว จะมีผลทำให้บริเวณผนังรอบๆหลุมเหล่านั้นเกิดบริเวณช่องว่างการประจุไฟฟ้าขึ้นรอบๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.17

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 บริเวณปลอดพาหะนำกระแสที่เกิดขึ้นรอบๆ ผันงของรูหรือหลุม
ที่บริเวณผิวของผลึกซิลิคอน

โดยความกว้างของบริเวณปลอดพาหะนำกระแสที่เกิดขึ้นจะมีค่าเท่ากับ

$$W = (2\epsilon_s \epsilon_0 V_{SCR} / qN_D)^{1/2} \quad \text{สมการที่ 2.3}$$

- โดยที่
- W ความกว้างของบริเวณปลอดพาหะนำกระแส
 - ϵ_s ค่าเพอิมิตีวตี้ (Permittivity) ของผลึกซิลิคอน
 - ϵ_0 ค่าเพอิมิตีวตี้ของสุญญากาศ
 - V_{SCR} ความต่างศักย์ที่ตกคร่อมบริเวณ
 - q ประจุของอิเล็กตรอน
 - N_D จำนวนอะตอมสารเจือผู้ให้

จากสมการที่ 2.3 จะเห็นได้ว่าความกว้างของบริเวณปลอดพาหะนำกระแส จะมีค่าขึ้นอยู่กับค่าความต่างศักย์ที่ตกคร่อมบริเวณปลอดพาหะนำกระแส (V_{SCR}) และจำนวนอะตอมสารเจือผู้ให้ (N_D) ในผลึกซิลิคอนชนิดเอ็น

ซึ่งบริเวณปลอดพาหะนำกระแสที่เกิดขึ้นรอบรูพรุน จะมีการกระจายตัวของศักดาไฟฟ้า เป็นไปตามรูปที่ 2.18 โดยมีปริมาณของสนามไฟฟ้ารอบๆ ผันงของรูพรุน (E_s) มีค่าเท่ากับ

$$E_s = 2V_{SCR} / W \quad \text{สมการที่ 2.4}$$

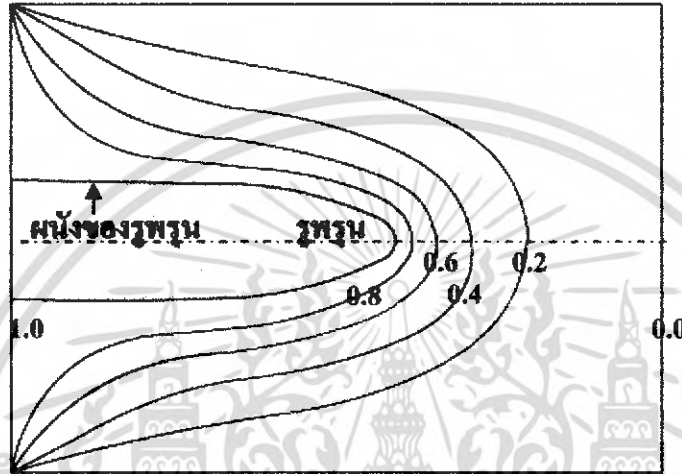
ส่วนสนามไฟฟ้าที่เกิดรอบๆ ก้นหลุมของรูพรุน (E'_s) จะมีค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$E'_s = V_{SCR} / r$$

สมการที่ 2.5

โดย r คือ รัศมีของก้นหลุมของรูพรุน



รูปที่ 2.18 การกระจายตัวของศักดาไฟฟ้ารอบๆ ผนังของรูพรุน

สนามไฟฟ้า (อ.บ.)



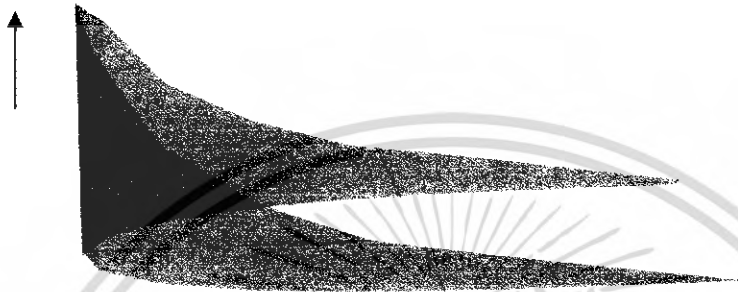
รูปที่ 2.19 การกระจายตัวของสนามไฟฟ้ารอบๆ ผนังของรูพรุน

จากรูปที่ 2.19 จะเห็นได้ว่าขนาดของสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้นรอบๆ ผนังของรูพรุนจะมีขนาดที่แตกต่างกัน กล่าวคือผนังบริเวณก้นหลุมของรูพรุนมีปริมาณของสนามไฟฟ้าที่สูงกว่าบริเวณผนังรอบๆ ของรูพรุนอยู่ถึงประมาณ 2-3 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนผนังบริเวณปากท่จะมีค่าต่ำสุดจนเกือบมีค่าเท่ากับศูนย์ซึ่งจากการที่กั้นหลุมของรูพรุนมีขนาดของสนามไฟฟ้าในปริมาณสูงนั้น มีผลทำให้สามารถดึงพาหะนำกระแส (โฮล) มาที่บริเวณนี้กันได้มาก ส่งผลทำให้ที่บริเวณกั้นหลุมจะมีปริมาณกระแสที่สูงกว่าบริเวณอื่นๆ ดังแสดงในรูปที่ 2.20

สนามไฟฟ้า (อ.บ.)



รูปที่ 2.20 การกระจายตัวของกระแสรอบๆ ผนังของรูพรุน

2.5 กลไกในการหยุดกักโครงสร้างของพอร์สซิลิคอน

จากที่ได้กล่าวมาข้างต้น ทำให้เราทราบถึงกลไกในการเกิดโครงสร้างของพอร์สซิลิคอนขึ้นมา โดยพาหะนำกระแสชนิดบวกหรือโฮลในผลึกซิลิคอนจะเป็นตัวการที่มีบทบาทและความสำคัญต่อกระบวนการกักเนื้อของผลึกซิลิคอนในการกักแบบพอร์ส หรือการกักแบบไบอัสซ์บวกด้วยวิธีการทางไฟฟ้าเคมี ซึ่งเป็นกระบวนการกักที่สามารถลดขนาดโครงสร้างของพอร์สซิลิคอนให้มีขนาดเล็กลงไปเรื่อยๆ จนสามารถเข้าสู่ในระดับนาโนเมตรได้ ด้วยกระบวนการที่เรียกว่า self aligned layer ซึ่งเป็นกระบวนการที่สามารถทำให้โครงสร้างของพอร์สซิลิคอนมีขนาดตั้งแต่ในระดับนาโนเมตรจนถึงโครงสร้างในระดับ 2-3 นาโนเมตรได้ โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยชั้นหน้ากัก (masking layer) หรือวิธีการทางนาโนโฟโตลิโธกราฟี (nanophotolithography) แต่อย่างไร แต่กระบวนการนี้จะอาศัยกลไกในการหยุดกักโครงสร้างของพอร์สซิลิคอน โดยในหัวข้อนี้พิจารณาถึงกลไกในการหยุดกักที่เกิดขึ้น ซึ่งจากการศึกษาพบว่าพอร์สซิลิคอนที่ถูกสร้างขึ้นจากผลึกซิลิคอนชนิดพีและชนิดเอ็นจะมีกลไกในการหยุดกักที่แตกต่างกัน ดังนี้

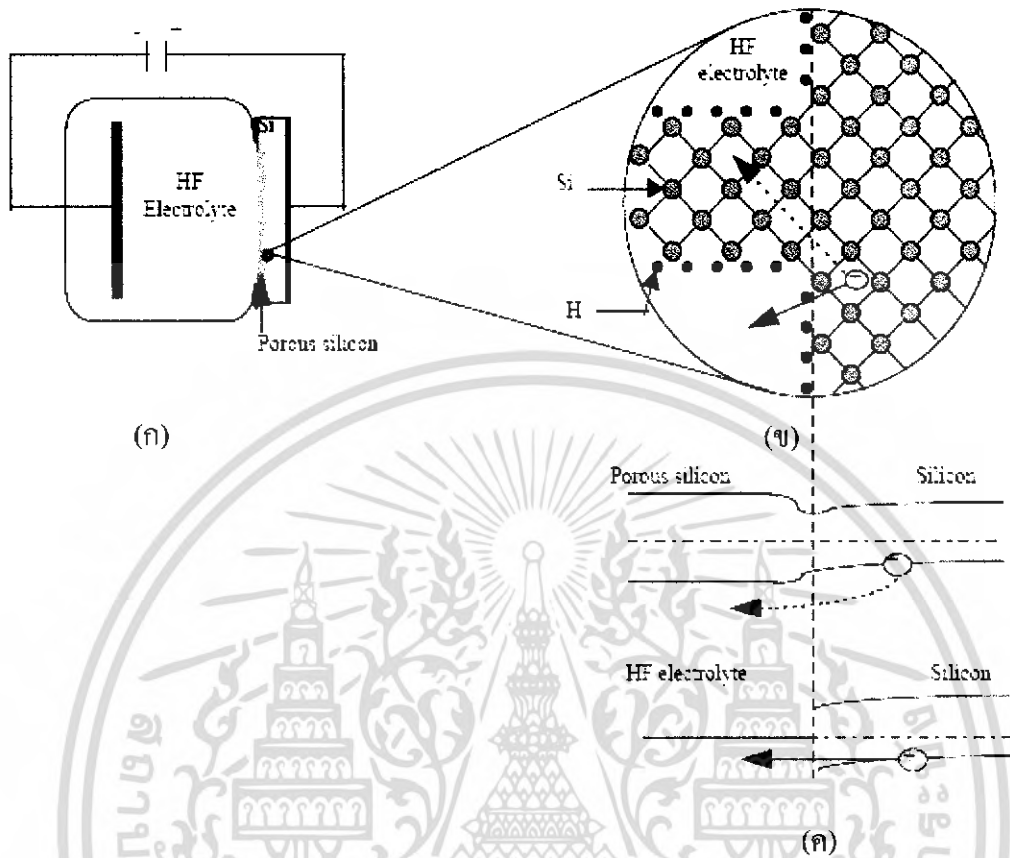
2.5.1 การหยุดกักพอร์สซิลิคอนที่ถูกสร้างขึ้นจากผลึกซิลิคอนชนิดพี

สำหรับผลึกซิลิคอนชนิดพี การไบอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมีในลักษณะไบอัสซ์บวกทำให้บริเวณผิวสัมผัสของผลึกซิลิคอนชนิดพีไม่เกิดบริเวณปลดพาหะนำกระแสขึ้น ทำให้สามารถการกักเนื้อของผลึกซิลิคอนได้อย่างต่อเนื่อง โดยกลไกการหยุดกักสำหรับผลึกซิลิคอนชนิดพีจะเกิดขึ้น

เนื่องจากผลของการเกิดปรากฏการณ์ปริมาณควอนตัมส่งผลขึ้นในส่วนในของนาโนพอร์สซิลิคอน ดังแสดงในรูปที่ 2.19

จากรูปจะเห็นได้ว่า เนื้อของผลึกซิลิคอนชนิดพีจะถูกกักจนเป็นโครงสร้างของพอร์สซิลิคอนขึ้นมา และเมื่อทำการกัดอย่างต่อเนื่องจนทำให้โครงสร้างของพอร์สซิลิคอนมีขนาดเล็กลงไปเรื่อยๆจนมีขนาดเข้าสู่ในระดับนาโนเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2.21 (ก) มีผลทำให้ช่องว่างพลังงานในพอร์สซิลิคอน (E_{ps}) มีความกว้างมากขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับผลึกซิลิคอนเดิม ทั้งนี้เป็นผลมาจากการเกิดปรากฏการณ์ปริมาณควอนตัมส่งผลนั่นเอง ทำให้เกิดความแตกต่างของระดับพลังงานสูงสุดของแถบวาเลนซ์ระหว่างพอร์สซิลิคอนกับผลึกซิลิคอนขึ้น โดยค่าความแตกต่างที่เกิดขึ้นนี้จะ เป็นค่าแพนซ์ซึ่งมีค่าเท่ากับ ΔE_v สำหรับโฮล และเท่ากับ ΔE_c สำหรับอิเล็กตรอน ดังนั้นการที่ พะโฮลในผลึกซิลิคอนชนิดพีจะสามารถผ่านเข้าไปในโครงสร้างของนาโนพอร์สซิลิคอน เพื่อทำให้เกิดปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีในการกัดโครงสร้างในส่วนต่อไปได้นั้น พะโฮลจำเป็นที่จะต้อง ได้รับพลังงานที่มีค่ามากกว่า ΔE_v ดังแสดงในรูปที่ 2.21 (ข) แต่เมื่อไหร่ก็ตามที่ค่าแพนซ์ ΔE_v มีค่าพลังงานมากกว่าพลังงานภายนอกที่ให้กับโฮล จะมีผลทำให้พะโฮลในผลึกซิลิคอนไม่สามารถผ่านเข้าไปในส่วนของนาโนพอร์สซิลิคอนได้ ผลที่ตามมาคือเกิดการหยุดกัดโครงสร้างของพอร์สซิลิคอนในส่วนนี้ขึ้นทันที จากที่กล่าวมาจะเห็นได้ว่า ΔE_v นั้นมีค่าขึ้นอยู่กับขนาดของนาโนพอร์สซิลิคอน โดย ΔE_v จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของนาโนพอร์สซิลิคอนมีค่าลดลง

อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าจะเกิดการหยุดกัดในส่วนของนาโนพอร์สซิลิคอน เนื่องจากพะโฮลไม่สามารถผ่านเข้าไปในบริเวณนาโนพอร์สซิลิคอนนี้ได้ แต่ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีในการกัดเนื้อของผลึกซิลิคอนยังคงดำเนินต่อไป โดยบริเวณที่ถูกกัดอย่างต่อเนื่องจะเป็นบริเวณก้นหลุมของรูพูน ทั้งนี้เนื่องจากพะโฮลในผลึกซิลิคอนชนิดพีสามารถผ่านผิวสัมผัสเข้าไปในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกที่บริเวณก้นหลุมของรูพูนได้สะดวกกว่าที่จะผ่านเข้าไปในโครงสร้างของนาโนพอร์สซิลิคอน ดังแสดงในรูปที่ 2.21 (ค) ดังนั้นจึงทำให้บริเวณก้นหลุมของพอร์สซิลิคอนจะถูกกัดลึกเข้าไปในเนื้อของผลึกซิลิคอนอย่างต่อเนื่องด้วยซิลิคอน โดย ΔE_v จะมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อขนาดของนาโนพอร์สซิลิคอนมีค่าลดลง อย่างไรก็ตามถึงแม้ว่าจะเกิดการหยุดกัดในส่วนของนาโนพอร์สซิลิคอน เนื่องจากพะโฮลไม่สามารถผ่านเข้าไปในบริเวณนาโนพอร์สซิลิคอนนี้ได้ แต่ปฏิกิริยาไฟฟ้าเคมีในการกัดเนื้อของผลึกซิลิคอนยังคงดำเนินต่อไป โดยบริเวณที่ถูกกัดอย่างต่อเนื่องจะเป็นบริเวณก้นหลุมของรูพูน ทั้งนี้เนื่องจากพะโฮลในผลึกซิลิคอนชนิดพีสามารถผ่านผิวสัมผัสเข้าไปในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกที่บริเวณก้นหลุมของรูพูนได้สะดวกกว่าที่จะผ่านเข้าไปในโครงสร้างของนาโนพอร์สซิลิคอน ดังแสดงในรูปที่ 2.21 (ค) ดังนั้นจึงทำให้บริเวณก้นหลุมของพอร์สซิลิคอนจะถูกกัดลึกเข้าไปในเนื้อของผลึกซิลิคอนอย่างต่อเนื่องด้วย

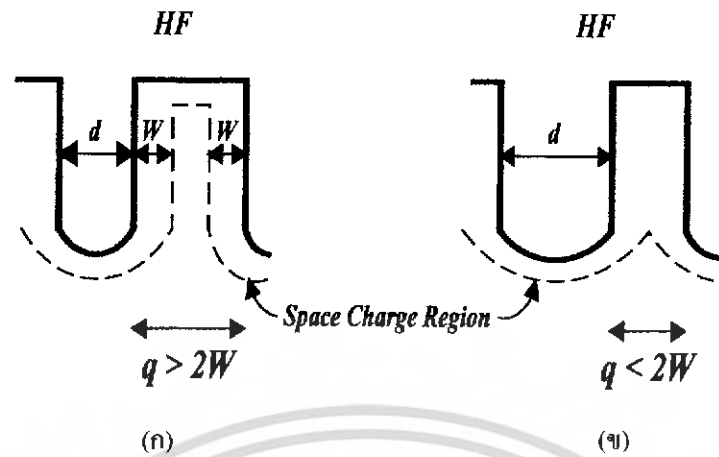


รูปที่ 2.21 กลไกในการหยุดกัดโครงสร้างของชั้นพอร์สซิลิคอนชนิดพี โดยที่
 (ก) โครงสร้างของพอร์สซิลิคอนและทิศทางการเคลื่อนที่ของพาหะโฮล
 (ข) ลักษณะแถบพลังงานและการเคลื่อนที่ของพาหะโฮลจากผลึกซิลิคอน
 ผ่านเข้าไปในโครงสร้างของพอร์สซิลิคอน
 (ค) ลักษณะแถบพลังงานและการเคลื่อนที่ของพาหะโฮลจากผลึกซิลิคอนผ่านไปยัง
 สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก ที่บริเวณผิวสัมผัสที่ก้นหลุมของรูพรุน

2.5.2 การหยุดกัดพอร์สซิลิคอนที่ถูกสร้างขึ้นจากผลึกซิลิคอนชนิดเอ็น

เนื่องจากการไบอัสเซลล์ไฟฟ้าเคมีในลักษณะไบอัสขั้วบวกสำหรับผลึกซิลิคอนชนิดเอ็นจะเป็นการไบอัสแบบย้อนกลับ มีผลทำให้เกิดบริเวณปลอดพาหะนำกระแสขึ้นตามบริเวณผิวสัมผัสของผลึกซิลิคอน โดยความกว้างของบริเวณปลอดพาหะนำกระแสจะมีค่าเท่ากับ W ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อข้างต้น ดังนั้นกลไกในการหยุดกัดของพอร์สซิลิคอนสำหรับผลึกซิลิคอนชนิดเอ็นแล้วจะเป็นผลมาจากการเกิดบริเวณปลอดพาหะนำกระแสขึ้นภายใน โครงสร้างของพอร์สซิลิคอน ดังแสดงในรูปที่ 2.22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

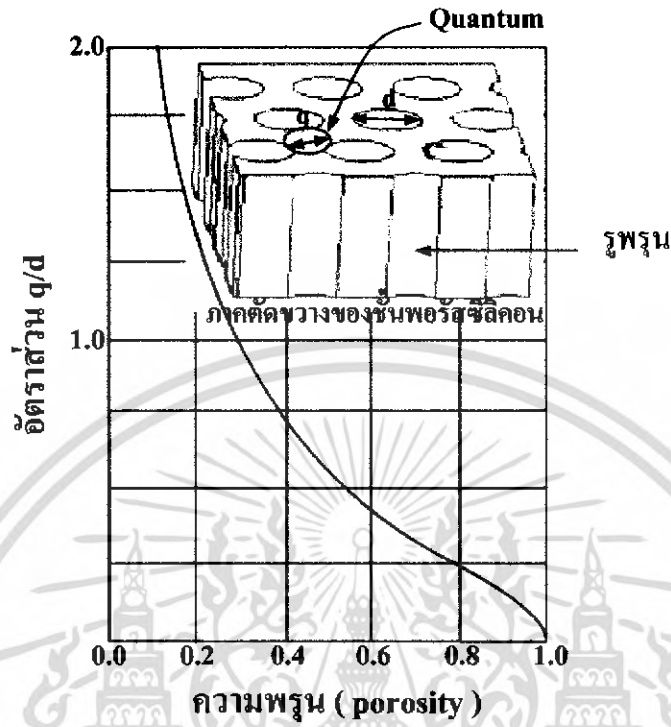


รูปที่ 2.22 แผนภาพบริเวณปลดพาหะนำกระแสที่เกิดขึ้นในโครงสร้างของพอร์สซีลิกอนที่สร้างจากผลึกซีลิกอนชนิดอื่น โดยที่
 (ก) โครงสร้างของพอร์สซีลิกอนที่มีขนาดมากกว่า $2W$
 (ข) โครงสร้างของพอร์สซีลิกอนที่มีขนาดน้อยกว่า $2W$

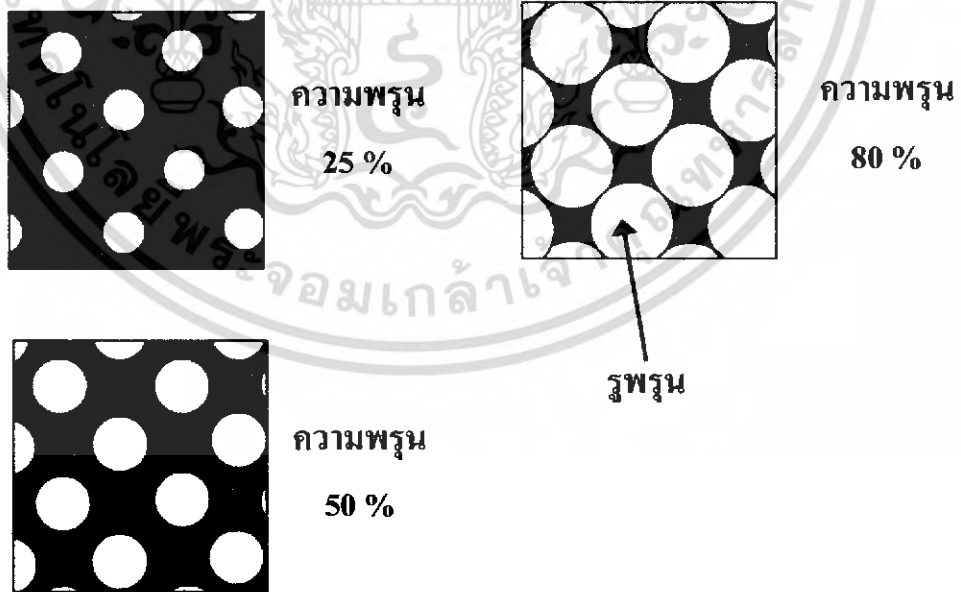
จากรูปที่ 2.22 (ก) จะเห็นได้ว่าพอร์สซีลิกอนที่สร้างขึ้นจากผลึกซีลิกอนชนิดอื่นเมื่อถูกทำการกัดจะทำให้ขนาดโครงสร้างของพอร์สซีลิกอน (q) มีขนาดลดลงอย่างต่อเนื่อง เกิดเป็นรูพรุนภายในผลึกซีลิกอนชนิดอื่นขึ้น โดยมีบริเวณปลดพาหะนำกระแสปกคลุมอยู่รอบๆ รูพรุนแต่ละรู ในกรณีนี้ขนาดของโครงสร้างพอร์สซีลิกอนยังมีขนาดที่มากกว่าสองเท่าของความกว้างบริเวณปลดพาหะนำกระแส ($q > 2W$) ดังนั้นจึงยังสามารถทำการกัดเพื่อลดขนาดของโครงสร้างพอร์สซีลิกอนในส่วนนี้ต่อไปได้อีก จนเมื่อไรก็ตามที่ขนาดของโครงสร้างพอร์สซีลิกอนมีขนาดที่น้อยกว่าสองเท่าของความกว้างบริเวณปลดพาหะนำกระแส ($q < 2W$) ดังแสดงในรูปที่ 2.22 (ข) จะมีผลทำให้เกิดการซ้อนทับกันของบริเวณปลดพาหะนำกระแส จนโครงสร้างของพอร์สซีลิกอนถูกครอบคลุมโดยบริเวณปลดพาหะนำกระแส จนโครงสร้างของพอร์สซีลิกอนถูกครอบคลุมโดยบริเวณปลดพาหะนำกระแสทั้งหมด ส่งผลทำให้เกิดการหยุดกัดของพอร์สซีลิกอนในส่วนนี้ ขึ้น

2.6 ความพรุนของพอร์สซีลิกอน

โดยทั่วไปแล้ววัสดุใดๆ ก็ตามที่มีลักษณะโครงสร้างเป็นรูพรุนจำนวนมากกระจายอยู่ภายในเนื้อของวัสดุ ก็จะถือได้ว่าวัสดุนั้นเป็นวัสดุที่มีความพรุน โดยค่าความพรุนนี้เป็นปริมาณที่สามารถบ่งบอกได้ถึงลักษณะขนาดโครงสร้างของวัสดุได้อย่างคร่าวๆ ซึ่งสามารถหาได้จากการเปรียบเทียบอัตราส่วนระหว่างมวลหรือปริมาตรของเนื้อวัสดุกับช่องว่างที่เกิดขึ้นภายในวัสดุนั้นๆ



รูปที่ 2.23 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนของเนื้อผลึกซิลิคอน (q) กับขนาดของรูปพรุน (d) ที่มีต่อความพรุนของพอร์สซิลิคอน



รูปที่ 2.24 แผนภาพจำลองค้ำบนของโครงสร้างพอร์สซิลิคอน ที่เปอร์เซ็นต์ความพรุนต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

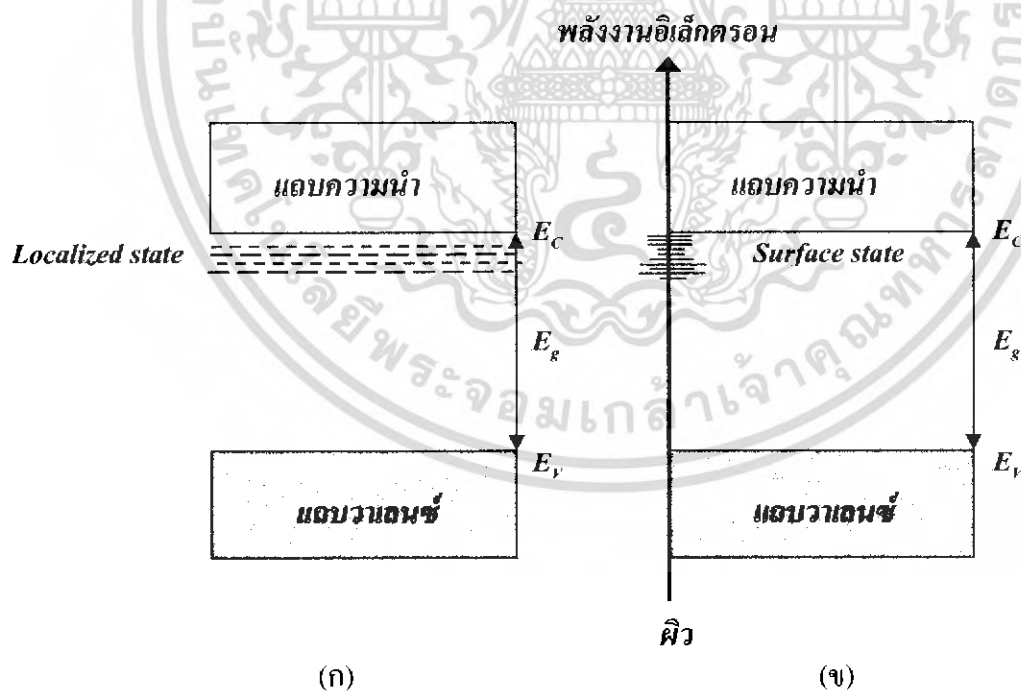
เป็นที่ทราบกันแล้วว่า พอร์สซิลิคอนนั้นคือผลึกซิลิคอนที่มีลักษณะเป็นรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมาก โดยขนาดของเนื้อผลึกซิลิคอนที่เหลือและขนาดของรูพรุน จะขนาดอยู่ในระดับนาโนเมตร เนื้อของผลึกซิลิคอนในระดับนาโนเมตรนี้จะแสดงคุณสมบัติทางปริมาณควอนตัมส่งผลในลักษณะของควอนตัมในเชิง 1 มิติ ซึ่งความสัมพันธ์ระหว่างเนื้อของผลึกซิลิคอนในระดับนาโนเมตร กับขนาดของรูพรุน จะมีผลต่อความพรุนของชั้นพอร์สซิลิคอน ดังแสดงในรูปที่ 2.23

จากรูปข้างต้นจะเห็นได้ว่า ทั้งขนาดของเนื้อซิลิคอนและขนาดของรูพรุนมีผลต่อความพรุนของพอร์สซิลิคอน โดยถ้าเนื้อของผลึกซิลิคอนถูกกัดจนมีขนาดเล็กลง หรือขนาดของรูพรุนมีขนาดกว้างขึ้น จะมีผลทำให้ชั้นพอร์สซิลิคอนนั้นมีความพรุนมากกว่าเดิม ดังแสดงในรูปที่ 2.24

2.7 พฤติกรรมทางแสง

2.7.1 พฤติกรรมทางแสงของสารกึ่งตัวนำ

ในสารกึ่งตัวนำใดๆ จะมีขนาดช่องว่างพลังงานอยู่ค่าๆ หนึ่ง โดยภายในช่องว่างพลังงานเหล่านั้น อาจมีระดับพลังงานของสารเจือ (impurity level) หรือจุดบกพร่อง (defect level) ต่างๆ ซึ่งทั้งหมดจะทำให้เกิดระดับพลังงานที่เรียกว่าระดับพลังงานตำแหน่ง (location state) เกิดขึ้นภายในช่องว่างพลังงานได้ ดังแสดงในรูปที่ 2.25 (ก)



รูปที่ 2.25 การกระจายตัวของระดับพลังงาน

(ก) ระดับพลังงานตำแหน่ง

(ข) ระดับพลังงานที่ผิว (surface state) ภายในช่องว่างพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ยังมีระดับพลังงานซึ่งเกิดจากการที่โครงสร้างโครงผลึกที่ผิวของวัสดุมีความไม่สมบูรณ์ เช่น อาจมีพวกพันธะแขวนขาด (dangling bond) หรือพวกสารเจือปนอื่นๆ เกาะติดอยู่ที่ผิว ซึ่งจะทำให้เกิดระดับพลังงานที่เรียกว่าเกิดระดับพลังงานที่ผิวขึ้นที่ผิว ดังแสดงในรูปที่ 2.25 (ข) โดยระดับพลังงานทั้งสองชนิดนี้ สามารถที่จะเป็นศูนย์กลางในการรวมตัว (recombination center) ของพาหะได้

วิธีการที่จะศึกษาถึงขนาดหรือลักษณะของช่องว่างพลังงาน ระดับพลังงานของระดับพลังงานตำแหน่ง หรือเกิดระดับพลังงานที่ผิวให้ได้ผลดีที่สุด ได้แก่ การศึกษาคุณสมบัติทางแสงของสารกึ่งตัวนำ กล่าวคือ ถ้าวิเคราะห์สเปกตรัมการดูดกลืน การสะท้อน หรือการเปล่งแสงจากสารกึ่งตัวนำ เราจะสามารถทราบค่าระดับพลังงานของระดับพลังงานตำแหน่งหรือเกิดระดับพลังงานที่ผิวและได้ข้อมูลเกี่ยวกับช่องว่างพลังงาน ทั้งนี้เพราะว่าการดูดกลืนแสงก็ดี หรือการเปล่งแสงก็ดี เกิดจากการที่อิเล็กตรอนที่อยู่ในแถบชั้นพลังงานใดๆ มีการดูดกลืนแสง แล้วคายแสงออก เกิดการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานซึ่งค่าความแตกต่างของพลังงานที่เปลี่ยนแปลงนั้นจะเท่ากับพลังงานโฟตอนที่อิเล็กตรอนดูดกลืนหรือคายออกมานั่นเอง

2.7.1.1 การดูดกลืนแสง

การดูดกลืนแสงในสารกึ่งตัวนำ เป็นการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอิเล็กตรอนจากแถบพลังงานหนึ่งไปสู่แถบพลังงานหนึ่งในลักษณะที่มีค่าพลังงานเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากอิเล็กตรอนได้รับพลังงานโฟตอนจากแสงที่ดูดกลืนเข้าไปนั่นเอง เมื่อสารกึ่งนำถูกฉายแสงอิเล็กตรอนในสารกึ่งตัวนำจะมีการตอบสนองกับโฟตอนของแสงนั้น โดยอิเล็กตรอนที่มีการตอบสนองจะมีอยู่ 4 ประเภท คำนวณกันคือ

1. อิเล็กตรอนชั้นในของอะตอม
2. วาเลนซ์อิเล็กตรอน
3. อิเล็กตรอนอิสระ
4. อิเล็กตรอนที่ถูกจับด้วยสารเจือ (impurity center) หรือที่ถูกจับด้วยตำหนิของจุดบกพร่องแลททิซต่างๆ

ความยาวคลื่นของแสงที่จะเกิดขึ้น การดูดกลืนแสงด้วยอิเล็กตรอนที่อยู่ชั้นในของอะตอม ได้แก่ ช่วงของรังสีเอกซ์ แต่จะไม่จกกล่าวในที่นี้เพราะไม่ใช่คุณสมบัติที่เด่นชัดของสารกึ่งตัวนำ ส่วนการดูดกลืนแสงในช่วงอินฟราเรดจะเกิดจากการกระทัาระหว่างอะตอมและคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ทำให้อะตอมภายในโครงผลึกเกิดการสั่นได้ โดยพลังงานที่ใช้ไปสำหรับการสั่นนี้จะอยู่ในรูปของพลังงานความร้อนหรือที่เรียกว่า โฟนอน นั่นเอง

2.7.1.2 การเปล่งแสง

การรวมตัวแบบเปล่งแสง และการรวมตัวแบบไม่เปล่งแสงในหัวข้อที่ผ่านมาเราได้กล่าวถึงการดูดกลืนแสงระหว่างแถบพลังงาน ซึ่งทำให้พาหะได้รับพลังงานสูงขึ้นและสามารถขึ้นไปอยู่ในแถบความนำ (conduction band) พาหะที่ถูกกระตุ้นให้ขึ้นไปอยู่ที่ระดับพลังงานสูง เมื่อเวลาผ่านไปช่วงหนึ่งก็จะกระโดดกลับตกลงมาสู่ระดับพลังงานเดิมที่สถานะพื้น (ground states) และเกิดการรวมตัวกับโฮลขึ้น การรวมตัวอิเล็กตรอนกับโฮลนั้นจะก่อให้เกิดได้ 2 ชนิด คือ

1. เกิดการเปล่งแสงที่มีพลังงานโฟตอนเท่ากับผลต่างของระดับพลังงานอิเล็กตรอนและโฮล เรียกการรวมตัวในลักษณะแบบนี้ว่า การรวมตัวแบบเปล่งแสง (radiative recombination)
2. เกิดการปล่อยพลังงานความร้อน (โฟนอน) ให้กับโครงผลึกเรียกการรวมตัวในลักษณะแบบนี้ว่า การรวมตัวแบบไม่เปล่งแสง (non-radiative recombination)

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

$$\eta = \frac{(1/\tau_R)}{(1/\tau_R) + (1/\tau_N)} = \frac{1}{1 + (\tau_R/\tau_N)} \quad \text{สมการที่ 2.6}$$

จากสมการข้างต้นจะเห็นได้ว่า ถ้า τ_N/τ_R มีค่ามาก η จะมีค่ามากด้วย กระบวนการการรวมตัวแบบเปล่งแสงจะมีลักษณะตรงข้ามกับการดูดกลืนแสงทุกประการ โดยในรูปที่ 2.26 จะแสดงตัวอย่างการเปลี่ยนระดับพลังงานที่สำคัญๆในสารกึ่งตัวนำ ซึ่งจะเป็นตัวแบ่งชนิดของการรวมตัวแบบเปล่งแสง

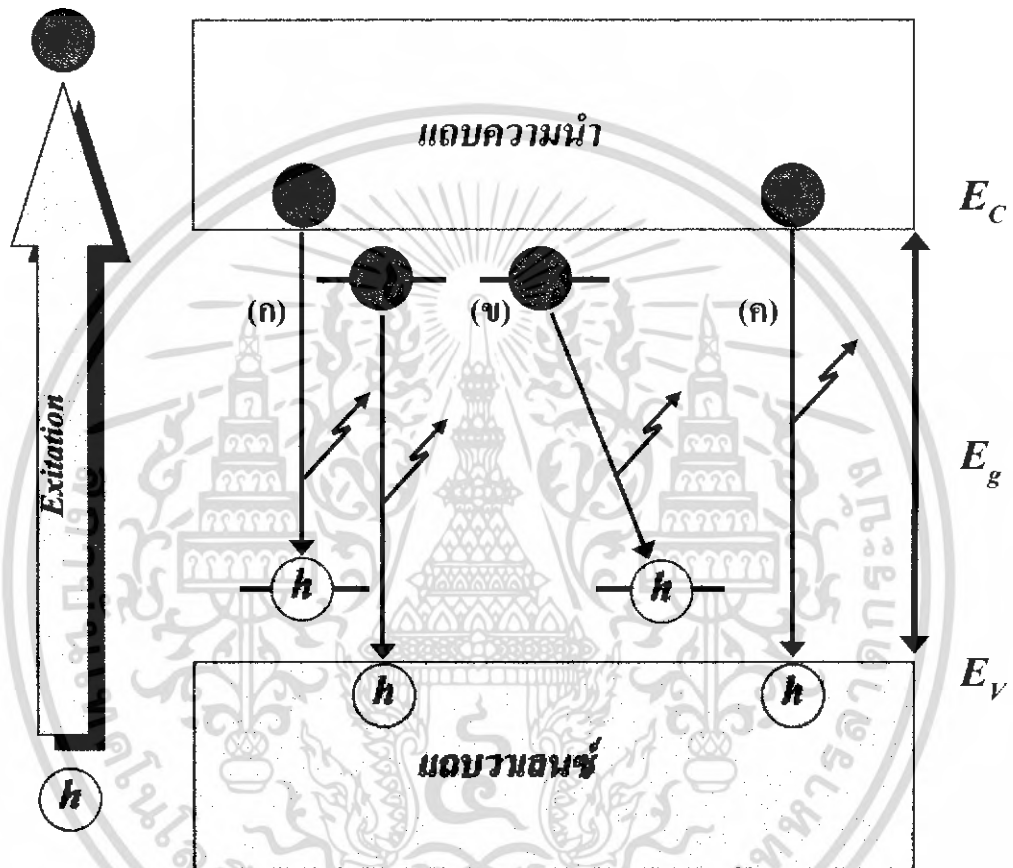
จากรูปแสดงการรวมตัวแบบเปล่งแสงในสารกึ่งตัวนำในลักษณะต่างๆ โดยในรูปที่ 2.26 (ก) เป็นการรวมตัวแบบจากแถบพลังงานสู่ระดับพลังงาน (Band-to-Level emission) ส่วนรูปที่ 2.26 (ข) เป็นการรวมตัวแบบจากระดับพลังงานผู้ให้สู่ระดับพลังงานผู้รับ (Donor-Acceptor emission) การเปล่งแสงในลักษณะเหล่านี้จะปรากฏเฉพาะที่อุณหภูมิค่าเท่านั้น ทั้งนี้เพราะที่อุณหภูมิสูงพาหะจะถูกกระตุ้นด้วยความร้อนขึ้นไปอยู่ในแถบความนำ (conduction band) ทำให้การเปล่งแสงในสารกึ่งตัวนำที่อุณหภูมิสูงส่วนมากจะเกิดจากการรวมตัวแบบจากแถบพลังงานสู่แถบพลังงาน (Band-to-Band emission) เป็นส่วนใหญ่ ดังแสดงในรูปที่ 2.26 (ค)

การเปล่งแสงอันเนื่องมาจากการรวมตัวแบบเปล่งแสง (radiative recombination) นี้อาจมีชื่อเรียกสั้นๆ ว่าลูมิเนสเซนซ์ (luminescence) โดยการเปล่งแสงนั้นเป็นปรากฏการณ์ทางแสงของสารกึ่งตัวนำ จะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่ออิเล็กตรอนได้รับการกระตุ้นจากพลังงานภายนอก จนมีพลังงานเพียงพอที่จะกระโดดข้ามช่องว่างพลังงานไปอยู่ในระดับพลังงานที่สูงกว่า แต่เนื่องจากอิเล็กตรอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เหล่านี้อยู่ในสถานะที่ไม่เสถียร จึงต้องเกิดการรวมตัวกับโฮล โดยในระหว่างการรวมตัวอิเล็กตรอน จะมีการคายพลังงานออกมาในรูปของโฟตอนหรือแสง

2.7.1.3 ลักษณะการเปล่งแสงชนิดต่างๆ



รูปที่ 2.26 กระบวนการรวมตัวของพาหะแบบเปล่งแสงในสารกึ่งตัวนำ

(ก) แถบพลังงานสู่ระดับพลังงาน

(ข) ระดับพลังงานผู้ให้สู่ระดับพลังงานผู้รับ

(ค) แถบพลังงานสู่แถบพลังงาน

โดยในจำนวนการเปล่งแสงทั้งหมดที่แสดงในตารางข้างต้น ชนิดของการเปล่งแสงที่สามารถสังเกตพบในสารกึ่งตัวนำมากที่สุด ได้แก่ การเปล่งแสงชนิด โฟโตลูมิเนสเซนซ์ (Photoluminescence), อิเล็กโทรลูมิเนสเซนซ์ (Electroluminescence) และแคโทดลูมิเนสเซนซ์ (Cathodoluminescence) ซึ่งการสังเกตปรากฏการณ์ทางแสงเหล่านี้จะทำให้เราสามารถวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระดับพลังงาน และการเปลี่ยนแปลงสถานะพลังงานในสารกึ่งตัวนำได้เป็นอย่างดี การเปล่งแสงชนิด เทอร์โมลูมิเนสเซนซ์ (Thermoluminescence) และ ไตรบอลูมิเนสเซนซ์ (Triboluminescence) จะพบในวัสดุไดอิเล็กตริกที่มีช่องว่างพลังงานที่กว้างมาก ๆ วนการเปล่งแสงชนิด เคมีคอลลูมิเนสเซนซ์ (Chemical luminescence) จะพบมากในวัสดุพวกอินทรีย์ โดยในที่นี้จะขอกกล่าวถึงเฉพาะการเปล่งแสงชนิด โฟโตลูมิเนสเซนซ์ เท่านั้น

การเปล่งแสงในสารกึ่งตัวนำสามารถแบ่งออกเป็นชนิดต่างๆตามวิธีการกระตุ้นได้ดังนี้คือ ตาราง การเปล่งแสงชนิดต่างๆแบ่งตามวิธีการกระตุ้น

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

ตารางที่ 1 การเปล่งแสงชนิดต่างๆแบ่งตามวิธีการกระตุ้น

โฟโตลูมิเนสเซนซ์

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

$$E = hc / \lambda$$

สมการที่ 2.7

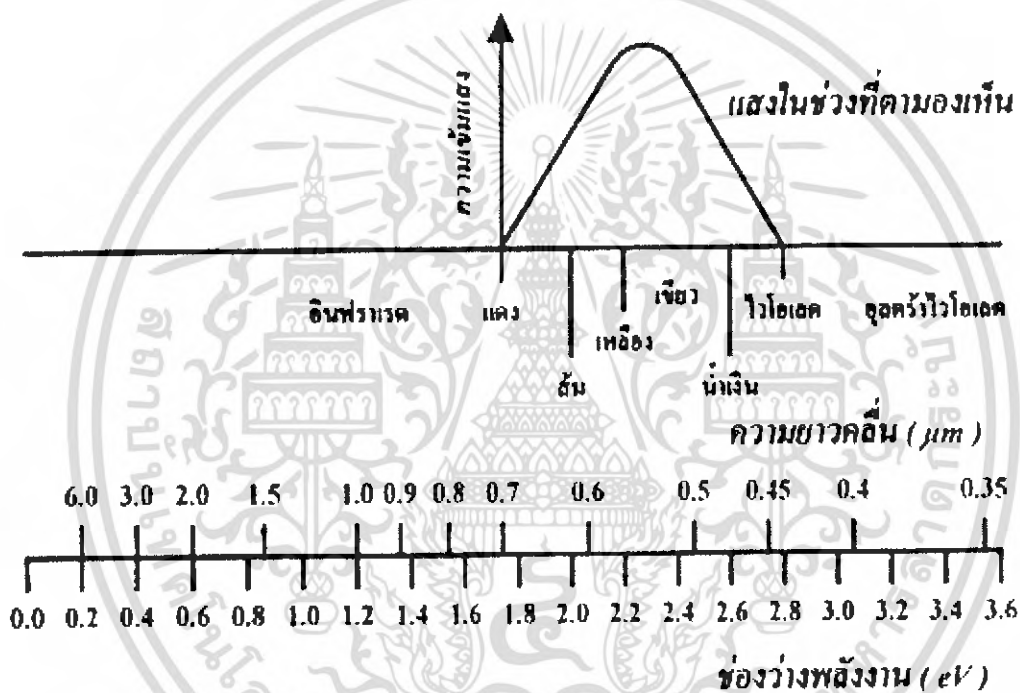
โดยที่ h เป็นค่าคงตัวของพลังค์ $= 4.14 \times 10^{-15}$ eV.s ส่วน c เป็นความเร็วของแสง $= 3 \times 10^8$ m/s เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\lambda(nm) = 1240 / E(eV)$$

สมการที่ 2.8

จากสมการข้างต้นจะเห็นได้ว่า การที่แสงเปล่งออกมาจะมีค่าความยาวคลื่นหรือสีต่างๆ ได้นั้น ขึ้นอยู่กับค่าพลังงานของอิเล็กตรอนที่คายออกมานั่นเอง โดยสีของแสงที่ค่าความยาวคลื่นต่างๆ จะถูกแสดงเอาไว้ในรูปแบบที่ 2.27

ด้วยเหตุผลข้างต้นนี้เอง จึงทำให้ปรากฏการณ์โฟโตลูมิเนสเซนซ์ที่เกิดขึ้น มีประโยชน์เป็นอย่างมากในการวิเคราะห์วัสดุ โดยสเปกตรัมของแสงที่ได้สามารถบอกถึงข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับโครงสร้างของแถบพลังงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่งขนาดของช่องว่างพลังงานของวัสดุได้



รูปที่ 2.27 แผนภาพสีของแสงที่ความยาวคลื่นและค่าพลังงานต่างๆ

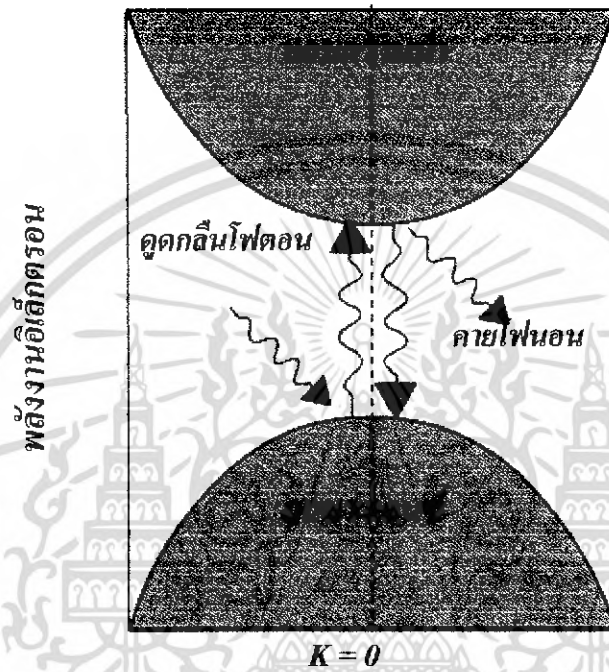
2.7.2 พฤติกรรมทางแสงของผลึกซิกนิกอน

ตามที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่า การเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานของอิเล็กตรอนจากแถบพลังงานหนึ่งไปสู่แถบพลังงานหนึ่ง ในลักษณะที่มีค่าพลังงานเพิ่มขึ้นจะก่อให้เกิดการดูดกลืนแสงและค่าความแตกต่างของระดับชั้นพลังงานก่อนและหลังการเปลี่ยนแปลงนั้น จะต้องเท่ากับพลังงานโฟตอนของแสงที่เป็นตัวกระตุ้น ซึ่งกฎข้อนี้จะถูกเรียกว่า กฎการอนุรักษ์พลังงาน นอกจากนี้กฎนี้แล้วยังมีกฎที่อนุรักษ์โมเมนตัมอีกด้วย

โดยในวัสดุที่มีโครงสร้างของแถบพลังงานเป็นแบบช่องแถบตรง (direct band gab) ดังแสดงในรูปแบบที่ 2.28 ในการเปลี่ยนสถานะระดับพลังงานของอิเล็กตรอนจากแถบวาเลนซ์ไปสู่แถบความนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าเลขคลื่น (wave number : k) ก่อนและหลังการเปลี่ยนสถานะจะ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงแต่อย่างไร ทั้งนี้เนื่องจากระดับพลังงานสูงสุดของแถบวาเลนซ์กับระดับพลังงานต่ำสุดของแถบความนำ อยู่ที่ ตำแหน่งค่าเลขคลื่นเดียวกัน



รูปที่ 2.28 แผนภาพ โครงสร้างของแถบพลังงานแบบช่องแถบตรง

ดังนั้นจึงทำให้ในกระบวนการเปลี่ยนสถานะของอิเล็กตรอนอันเนื่องมาจากการดูดกลืนแสง ค่าโมเมนตัม ($\hbar k$) ของอิเล็กตรอนทั้งก่อนและหลังการเปลี่ยนสถานะมีค่าคงที่เสมอ เป็นไปตามกฎอนุรักษ์โมเมนตัม และกฎการอนุรักษ์พลังงาน ดังนี้ คือ

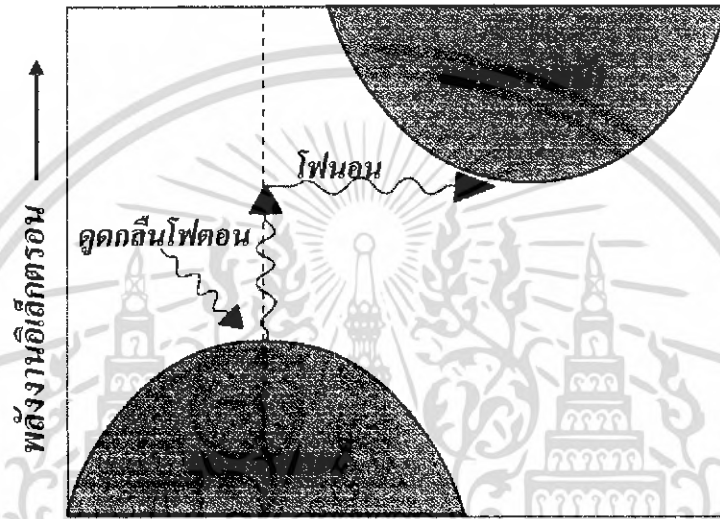
$$k_1 - k_2 = 0 \quad : \text{กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม} \quad \text{สมการที่ 2.9}$$

$$E_f - E_i = h\nu \quad : \text{กฎการอนุรักษ์พลังงาน} \quad \text{สมการที่ 2.10}$$

โดยที่	k_1	เป็นค่าเลขคลื่นของอิเล็กตรอนก่อนเปลี่ยนสถานะ
	k_2	เป็นค่าเลขคลื่นของอิเล็กตรอนหลังเปลี่ยนสถานะ
	E_i	เป็นพลังงานเริ่มต้นของอิเล็กตรอนก่อนเปลี่ยนสถานะ
	E_f	เป็นพลังงานของอิเล็กตรอนหลังเปลี่ยนสถานะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่ออิเล็กตรอนที่ขึ้นไปอยู่ในสถานะกระตุ้น (E_f) กลับลงมาสู่ในสถานะเดิม (E_i) ก็จะมีการคายพลังงานออกมามีค่าเท่ากับผลต่างของระดับพลังงานทั้งสองสถานะ โดยไม่มีการสูญเสียพลังงานแต่อย่างใด ทำให้วัสดุที่มีโครงสร้างของแถบพลังงานในลักษณะเช่นนี้ จึงมีคุณสมบัติทางแสงที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้งานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์แสงกันมาก ดังตัวอย่าง GaAs เป็นต้น แต่สำหรับผลึกซิลิคอนแล้วกลับมีโครงสร้างของแถบพลังงานเป็นแบบช่องแถบไม่ตรง (indirect band gap) ดังแสดงในรูปที่ 2.29



รูปที่ 2.29 แผนภาพโครงสร้างของแถบพลังงานแบบช่องแถบไม่ตรง

จากรูปจะเห็นได้ว่าระดับพลังงานสูงสุดของแถบวาเลนซ์ กับระดับพลังงานต่ำสุดของแถบความนำไม่ได้อยู่ที่ตำแหน่งค่าเลขคลื่นเดียวกัน ทำให้ในการเปลี่ยนแปลงระดับพลังงานอิเล็กตรอนจากแถบวาเลนซ์ไปสู่แถบความนำได้นั้น จะต้องอาศัยการรับหรือคายพลังงานโฟนอน (E_p) ให้กับอะตอมในโครงผลึก ซึ่งการรับหรือคายพลังงานของโฟนอนนี้จะช่วยให้เห็นเป็นไปตามกฎการอนุรักษ์พลังงาน และกฎการอนุรักษ์โมเมนตัม คือ

$$k_2 = k_1 \pm k_p \quad : \text{กฎการอนุรักษ์โมเมนตัม} \quad \text{สมการที่ 2.11}$$

$$E_f - E_i = h\nu \pm E_p \quad : \text{กฎการอนุรักษ์พลังงาน} \quad \text{สมการที่ 2.12}$$

โดยที่ E_p เป็น พลังงานของโฟนอน

k_p เป็น ค่าเลขคลื่น ของโฟนอน

เครื่องหมายบวก (+) เป็นการแสดงว่าอิเล็กตรอนต้องได้รับพลังงาน (E_p) หรือโมเมนตัม ($h\mathbf{k}$) จากโฟนอน ส่วนเครื่องหมายลบ (-) เป็นการแสดงว่าอิเล็กตรอนคายพลังงานหรือโมเมนตัมให้แก่โฟนอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากที่ได้กล่าวมาจะเห็นได้ว่าผลึกซิลิคอนหรือวัสดุอื่นๆ ที่มีโครงสร้างของแถบพลังงานในลักษณะนี้ เมื่ออิเล็กตรอนมีการดูดหรือคายพลังงาน จะมีการสูญเสียพลังงานส่วนหนึ่งไปเพื่อทำให้เกิดการสั่นของอะตอมในโครงผลึก (โฟนอน) ด้วยเหตุผลนี้เองจึงทำให้ผลึกซิลิคอนจึงมีคุณสมบัติทางแสงที่ไม่เหมาะสมสำหรับที่จะนำไปใช้งานทางด้านอิเล็กทรอนิกส์แสง

2.7.3 พฤติกรรมทางแสงของพอร์สซิลิคอน

กลไกในการเปล่งแสงแบบโฟโตลูมิเนสเซนซ์ของพอร์สซิลิคอน จากลักษณะโครงสร้างและส่วนประกอบของพอร์สซิลิคอน ที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 2.2.1 ได้ทำให้หลายๆกลุ่มวิจัยทั่วโลกเชื่อกันว่าคุณสมบัติโฟโตลูมิเนสเซนซ์ของพอร์สซิลิคอนนี้ น่าจะเกิดขึ้นมาจากสาเหตุที่สำคัญ 2 ประการร่วมกันคือ

1. การเกิดปรากฏการณ์ปริมาณควอนตัมส่งผล หรือการจำกัดควอนตัมส่งผลขึ้นภายในชั้นของนาโนพอร์สซิลิคอน มีผลทำให้ขนาดของช่องว่างของแถบพลังงานของนาโนพอร์สซิลิคอนมีความกว้างมากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับขนาดของช่องว่างแถบพลังงานเดิมของผลึกซิลิคอนดังที่ได้กล่าวมาแล้ว

2. การเกิดระดับพลังงานที่ผิวของนาโนพอร์สซิลิคอน ซึ่งเกิดขึ้นเนื่องจากการที่มีพันธะของไฮโดรเจน และอะตอมของธาตุอื่นๆ ที่ผิวของนาโนพอร์สซิลิคอนนั่นเอง

สถานะของระดับพลังงานกระตุ้น (excited state) มีอยู่ถึงสองระดับด้วยกัน โดยสถานะแรกนั้นจะเป็นสถานะของระดับพลังงานภายในนาโนพอร์สซิลิคอนที่เกิดขึ้นเนื่องจากผลของการจำกัดควอนตัมส่งผล หรือปริมาณควอนตัมส่งผล ส่วนสถานะที่สองจะเป็นสถานะของระดับพลังงานที่ผิวของนาโนพอร์สซิลิคอน จากแบบจำลองนี้เมื่ออิเล็กตรอนภายในนาโนพอร์สซิลิคอนได้รับพลังงานกระตุ้นแสง จนที่พลังงานเพียงพอที่จะกระโดดข้ามช่องว่างพลังงานขึ้นไปอยู่ในสถานะ การจำกัดควอนตัมส่งผลได้ แต่เนื่องจากผลการที่ข้ามช่องว่างพลังงานของระดับพลังงานที่ผิวมีขนาดเล็กกว่าช่องว่างพลังงานภายในนาโนพอร์สซิลิคอนนี้เอง จึงทำให้อิเล็กตรอนซึ่งอยู่ในสถานะที่ไม่เสถียรเหล่านี้มีการเปลี่ยนแปลงสถานะย้ายลงมาสู่สถานะของระดับพลังงานที่ผิวก่อนที่จะเกิดการรวมตัวใหม่ (recombination) กับ โฮลที่อยู่ในสถานะพื้น (ground state) โดยในการรวมตัวใหม่นี้เอง อิเล็กตรอนจะมีการคายพลังงานออกมา ซึ่งจะอยู่ในรูปของโฟตอนหรือแสงนั่นเอง

บทที่ 3

หลักการเซนเซอร์ทางเคมี

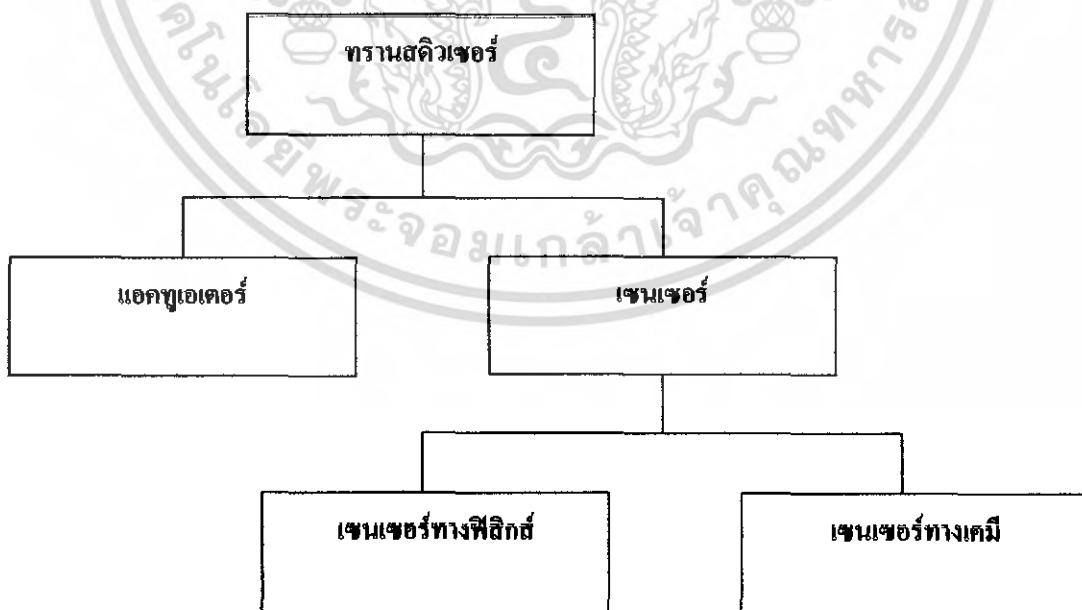
3.1 นิยามของเซนเซอร์

เนื่องจากความต้องการอุปกรณ์ที่มีความสามารถใช้แทนการตอบสนองทางประสาทสัมผัสของมนุษย์ เช่น การมองเห็น, การสัมผัส, การได้ยิน, การดมกลิ่น, และการลิ้มรส จึงได้มีการสร้างและพัฒนาอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เซนเซอร์เพื่อใช้ในการตรวจวัด และแสดงผลออกมาในรูปของสัญญาณหรือพลังงานในรูปหนึ่ง ซึ่งเราสามารถแยกชนิดของเซนเซอร์และอุปกรณ์ตรวจวัดได้ออกเป็น อุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์ (Transducers), แอคทูเอเตอร์(Actuators), และเซนเซอร์(Sensor)

ทรานสดิวเซอร์ คือ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่แสดงการเปลี่ยนแปลงสัญญาณพลังงานจากรูปแบบหนึ่งไปเป็นอีกรูปแบบหนึ่ง รูปแบบพลังงาน เช่น พลังงานทางกลศาสตร์, ทางความร้อน, ทางแสง , และทางไฟฟ้า

แอกทูเอเตอร์ คือ อุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์ชนิดหนึ่งที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณทางไฟฟ้าไปเป็นสัญญาณหรือพลังงานในรูปแบบอื่นๆ เช่น เปียโซอิเล็กทริก

เซนเซอร์ คือ อุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์ชนิดหนึ่งที่ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณพลังงานในรูปแบบต่างๆ เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า เช่น อุปกรณ์หัวตรวจวัดความดัน, โฟโตทรานซิสเตอร์, และอุปกรณ์หัวตรวจวัดก๊าซ เป็นต้น

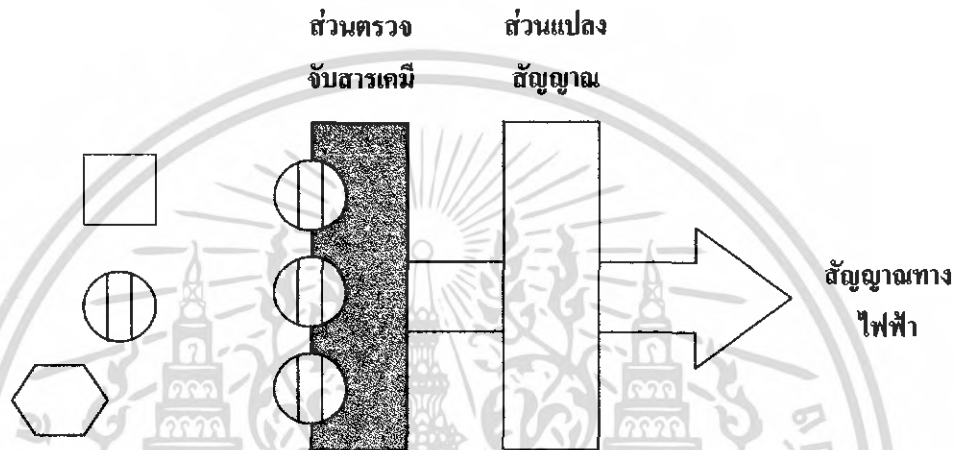


รูปที่ 3.1 การจัดกลุ่มอุปกรณ์ทรานสดิวเซอร์

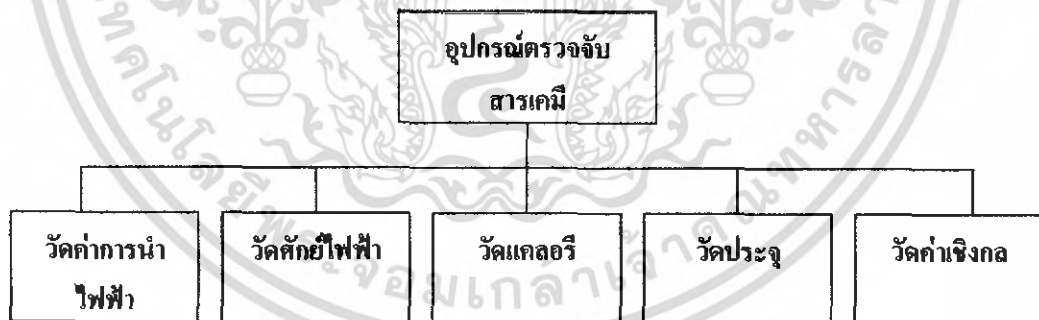
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 อุปกรณ์ตรวจจับสารเคมี (Chemical Sensor)

อุปกรณ์ตรวจจับสารเคมี จัดเป็นอุปกรณ์ตรวจจับประเภทหนึ่ง โดยส่วนประกอบพื้นฐานของอุปกรณ์ตรวจจับสารเคมี แสดงดังรูป 3.2 ประกอบด้วย ชั้นของการตรวจจับสารเคมี เชื่อมต่อกับส่วนแปลงสัญญาณ (Transducer) ชั้นการตรวจจับสารเคมี จะทำหน้าที่วิเคราะห์โมเลกุลของสารที่เข้ามา จากนั้น ส่วนแปลงสัญญาณ จะทำหน้าที่แปลงสัญญาณที่ได้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า เช่น ความต้านทาน เป็นต้น



รูป 3.2 อุปกรณ์พื้นฐานของ อุปกรณ์ตรวจจับทางเคมี



รูป 3.3 การแบ่งประเภทต่างๆ ของอุปกรณ์ตรวจจับทางเคมี

เราสามารถแบ่งอุปกรณ์เซนเซอร์ทางเคมีออกเป็นหมวดหมู่ ได้ดังรูปที่ 3.3 ซึ่งแบ่งอุปกรณ์เซนเซอร์ทางเคมี ออกมาหลายชนิด ดังรูป โดยจะเปลี่ยนค่าที่วัดได้เป็นสัญญาณต่างๆ เช่น ค่าความต้านทานไฟฟ้า (ประเภทวัดความนำไฟฟ้า(Conductimetric)) , เปลี่ยนเป็นศักย์ไฟฟ้า(ประเภทวัดศักย์ไฟฟ้า (Potentiometric)) เปลี่ยนเป็นปฏิกิริยาความร้อน(แคลลอริเมตริก(Calorimetric)) โดยประเภทที่สำคัญมี 2 ประเภท คือวัดความนำไฟฟ้า และ วัดค่าศักย์ไฟฟ้า

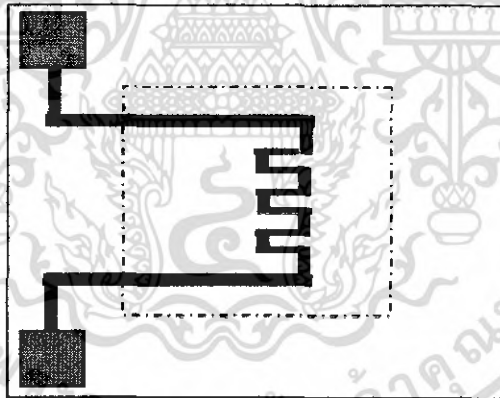
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.1 อุปกรณ์ประเภท วัดความนำไฟฟ้า (Conductimetric)

อุปกรณ์ประเภทวัดความนำไฟฟ้า จะอาศัยหลักการของการวัดการเปลี่ยนแปลงความต้านทานทางไฟฟ้า ที่เกิดขึ้นบนวัสดุที่สารเคมีมาสัมผัส โดยส่วนใหญ่ อุปกรณ์ตรวจจับแก๊สส่วนใหญ่จะอาศัยหลักการนี้ และจะ สร้างจากวัสดุที่เป็นของแข็ง ปัจจุบันเป็นสารกึ่งตัวนำเคลือบออกไซด์ของโลหะ หรือ ออกไซด์ของดีบุก

อุปกรณ์ประกอบด้วย ลวดทำความร้อน ทองคำขาว อยู่ภายใน อยู่บนฐานเซรามิกส์เคลือบดีบุก ออกไซด์ที่มีสภาพเป็นรูพรุน

การทำงานของอุปกรณ์ตรวจจับแก๊สแบบทาคุชิ ที่อุณหภูมิสูง จะใช้พลังงานประมาณ 0.8 W จะทำให้เกิดปัญหาเกี่ยวกับการที่จะสร้างเป็นอุปกรณ์แบบพกพา จากนั้น ได้มีการพัฒนาขึ้นเมื่อปี 1980 ได้นำเทคโนโลยีของซิลิกอน มาใช้งาน ซึ่งมีราคาต่ำกว่า ใช้พลังงานน้อยกว่า ในปี 1988 ดีมาร์รี (Demame) และ กริเซล (Grisel) และต่อมา ในปี 1993 โคโคแลน (Corcoran) ได้นำเสนอผลงาน การสร้าง อุปกรณ์ตรวจจับแก๊สที่สร้างบนฐานของซิลิกอน เคลือบดีบุกออกไซด์ เป็นชิ้นแรก โดยมีโครงสร้างดังรูป 3.4 ประกอบไปด้วย ขดลวดความร้อน (เช่นทองคำขาว) ฝังลงไประหว่าง ชั้นที่ทำจากของแข็ง หรือชั้นของโครงสร้างของไมโครบริดจ์



รูป 3.4 โครงสร้างอุปกรณ์ตรวจจับแก๊สแบบไดอะแฟรม

3.2.2 อุปกรณ์ประเภทวัดค่าศักย์ไฟฟ้า

เป็นอุปกรณ์ตรวจจับแก๊สที่สร้างโดยอาศัยการทำงานแบบสนามไฟฟ้า โดยขมกท จะทำหน้าที่ในการตรวจจับแก๊ส ซึ่ง โครงสร้างจะคล้ายกับ ทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้าหรืออุปกรณ์เซนเซอร์แบบคาปาซิเตอร์

อุปกรณ์ส่วนใหญ่จะเป็นทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้า ชนิด เอ็น อุปกรณ์ประเภทวัดค่าศักย์ไฟฟ้า (MOSFET – n Type) ทำงานในโหมด ร่วม (common source)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์สซิลิกอน

วิธีการอย่างง่ายที่ใช้ในการตรวจจับไอของแอลกอฮอล์นั้น จะใช้ชั้นพอร์สซิลิกอนที่มีลักษณะเป็นรูพรุนขนาดเล็กจำนวนมากทำการตรวจจับไอของแอลกอฮอล์ โดยใช้หลักการที่ผนังของรูพรุนสามารถดูดซับโมเลกุลก๊าซได้ดีกว่าผนังของพื้นราบ เมื่อโมเลกุลของไอแอลกอฮอล์มารวมตัวกันภายในรูพรุนเป็นจำนวนมากจนเกิดการควบแน่น ส่งผลทำให้เกิดการเหนียวน้ำพาหะที่ผิวของชั้นพอร์สซิลิกอน ส่งผลทำให้ผิวของชั้นพอร์สซิลิกอนสามารถนำไฟฟ้าได้ดีขึ้น ซึ่งหลักการต่างๆ สามารถอธิบายได้ดังนี้

3.1 หลักการดูดซับและควบแน่นในรูพรุนของชั้นพอร์สซิลิกอน

ชั้นพอร์สซิลิกอนจะทำหน้าที่เป็นชั้นดูดซับ (Adsorption) โมเลกุลของไอแอลกอฮอล์เนื่องจากผนังรูพรุนของชั้นพอร์สซิลิกอนสามารถดูดซับโมเลกุลก๊าซได้ดีกว่า ผนังของพื้นราบที่ไม่มีรูพรุน เมื่อโมเลกุลมาจับตัวกันด้วยแรง Vander Waals attractive force หลายๆ โมเลกุลจะเรียงตัวกันเป็นชั้นโมโนเลเยอร์ (mono layer) ต่อมาเมื่อโมเลกุลก๊าซมารวมตัวกันเพิ่มขึ้นอีกหลายๆ ชั้น เป็นมัลติเลเยอร์ (multi layer) ส่งผลให้ความดันไอในรูพรุนมีค่ามากขึ้นจนเกิดการควบแน่นภายในรูพรุน (capillary condensation) โดยการควบแน่นในรูพรุนของชั้นพอร์สซิลิกอน จะทำให้เกิดการเหนียวน้ำพาหะที่ผิวของชั้นพอร์สซิลิกอน ส่งผลทำให้ผิวของชั้นพอร์สซิลิกอนสามารถนำไฟฟ้าได้ดีขึ้น ซึ่งในแต่ละขั้นตอนสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.5 ถึง รูปที่ 3.9



รูปที่ 3.5 แบบจำลองการตรวจจับไอแอลกอฮอล์โดยใช้ชั้นพอร์สที่ยังไม่มีโมเลกุลของก๊าซมาเกาะ ซึ่งชั้นพอร์สซิลิกอนจะมีความต้านทานสูงมาก

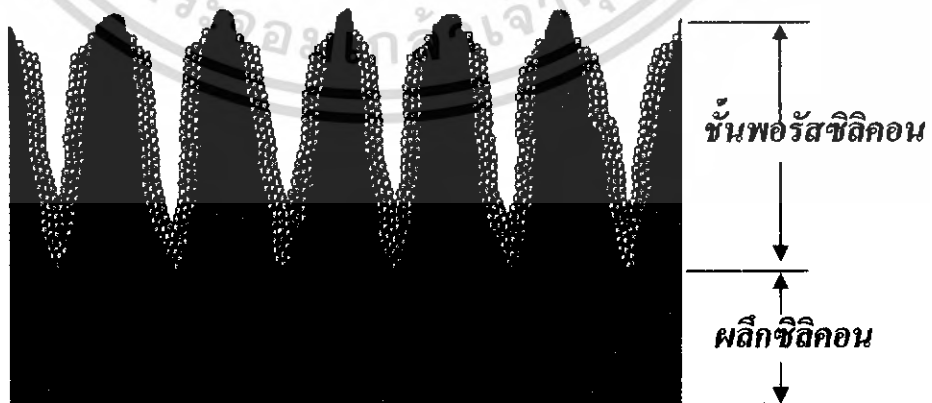
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 มีการไหลของไอแอลกอฮอล์ ทำให้เริ่มมีโมเลกุลของไอแอลกอฮอล์มาจับตัวกันที่พื้นผิวของรูพรุน

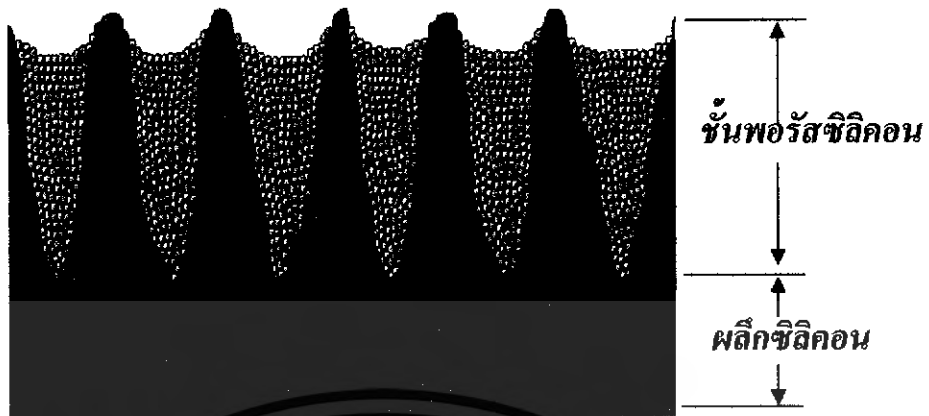


รูปที่ 3.7 ชั้นพอร์ซเซิลิกอนที่มีโมเลกุลก๊าซเพิ่มขึ้นเรียงตัวกันเป็นชั้น โมโนเลเยอร์



รูปที่ 3.8 ชั้นพอร์ซเซิลิกอนที่มีโมเลกุลก๊าซมารวมตัวกันเพิ่มขึ้นอีกหลายๆ ชั้นเป็นมัลติเลเยอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.9 ชั้นพอร์สซิลิคอนที่มี โมเลกุลก๊าซมารวมตัวกันเพิ่มขึ้น
จนเกิดการควบแน่นภายในรูพรุน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

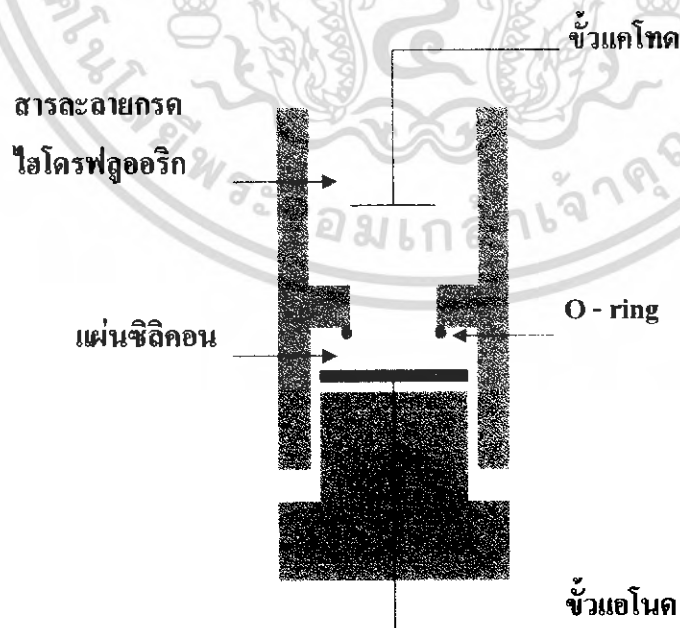
บทที่ 4

กระบวนการสร้าง

ในกระบวนการสร้างเพื่อให้ได้มาซึ่งผลึกซิติคอนที่มีขนาดโครงสร้างอยู่ในระดับนาโนเมตร (nanocrystallites) และสามารถแสดงคุณสมบัติในการเปล่งแสงในช่วงที่ตามองเห็นได้นั้นมีอยู่หลายวิธีด้วยกัน โดยในหัวข้อนี้จะได้พิจารณาถึงเทคนิคและวิธีการสร้างผลึกซิติคอนมีขนาดอยู่ในระดับนาโนเมตรด้วยวิธีการกัดทางไฟฟ้าเคมี

4.1 การสร้างพอร์ซิติคอนด้วยวิธีการกัดทางไฟฟ้าเคมี

การสร้างชั้นพอร์ซิติคอนด้วยวิธีการกัดแบบข้อมสี่ มีข้อดีที่ยังไม่สามารถควบคุมกระบวนการกัดได้ทั้งหมด เนื่องจากอาศัยปฏิกิริยาทางเคมีในการกัดเท่านั้น จึงได้ปรับปรุงกระบวนการสร้างชั้นพอร์ซิติคอนให้สามารถควบคุมปฏิกิริยาการกัดด้วยไฟฟ้าในการสร้างชั้นพอร์ซิติคอนได้ในระดับหนึ่ง ซึ่งกระบวนการสร้างแบบนี้คือการสร้างด้วยวิธีการกัดทางไฟฟ้าเคมี (anodization) ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการสร้างชั้นของพอร์ซิติคอนที่มีโครงสร้างอยู่ในระดับนาโนเมตรเช่นกัน ด้วยวิธีการกัดทางไฟฟ้าเคมี (Electrochemical etching) มีกระบวนการสร้างในการสร้างที่ค่อนข้างจะง่ายไม่ยุ่งยากซับซ้อน สามารถควบคุมตัวแปรต่างๆ ได้ เช่น อัตราของความเข้มข้น ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า และเวลา อีกทั้งอุปกรณ์เครื่องมือที่ใช้สร้างชั้นของพอร์ซิติคอนก็มีราคาที่ไม่แพงอีกด้วย ดังนั้นจึงเลือกวิธีการกัดทางไฟฟ้าเคมีในการสร้างพอร์ซิติคอน



รูปที่ 4.1 ภาพตัดขวางของอุปกรณ์เซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ใช้ในกระบวนการกัดทางไฟฟ้าเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอร์สซิลิคอนนั้นเป็นวัสดุที่สามารถสร้างขึ้นบนแผ่นผลึกซิลิคอนได้โดยตรง โดยอาศัยกระบวนการกัดทางไฟฟ้าเคมีที่เรียกว่า การกัดทางไฟฟ้าเคมีซึ่งจะต้องใช้อุปกรณ์เซลล์ไฟฟ้าเคมี ดังแสดงในรูปที่ 4.1

อุปกรณ์เซลล์ไฟฟ้าเคมีที่ใช้ในกระบวนการกัดเนื้อของผลึกซิลิคอนนี้จะประกอบด้วย แผ่นผลึกซิลิคอนอยู่ที่ขั้วแอโนด ส่วนขั้วแคโทดจะใช้เงินเป็นขั้วอิเล็กโตรด โดยวัสดุทั้งสองจะถูกจุ่มอยู่ในสารละลายอิเล็กโตรไลต์ ซึ่งในที่นี้ได้แก่สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกนั่นเอง จากรูปที่ 4.1 จะเห็นได้ว่าแผ่นผลึกซิลิคอนจะถูกนำไปวางอยู่ตรงบริเวณเซลล์ด้านล่างของเซลล์ไฟฟ้าเคมี โดยจะมีการใช้แผ่นรองรูปร่างแหวน (O-ring) เข้ามาเป็นส่วนที่ช่วยป้องกันการรั่วไหลของสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกออกจากเซลล์ซึ่งขั้นตอนต่างๆ ในกระบวนการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอน มีดังต่อไปนี้

4.2 ขั้นตอนในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอน

1. การเตรียมแผ่นผลึกซิลิคอนเริ่มต้น (Wafer Preparation)

ใช้แผ่นผลึกของซิลิคอนที่มีผิวด้านหน้าขัดมันเป็นกระจกเงาชนิดพี ที่มีระนาบ (100) มีพิภักความต้านทาน 1-2 โอห์ม-เซนติเมตร มีค่าความหนาของแผ่นผลึกซิลิคอนเท่ากับ 450 ไมโครเมตร โดยมีภาคตัดขวางดังแสดงในรูปที่ 4.2

2. การทำความสะอาดผิวแผ่นผลึกซิลิคอนเริ่มต้น (Initial Cleaning) มีขั้นตอนดังนี้คือ

- ทำความสะอาดผิวด้วยน้ำบริสุทธิ์ (DI) ในเครื่องสั่นความถี่สูง (Supersonic Cleaning)
- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์
- กัดผิวหน้าด้วยกรดกัดแก้ว (HF) 5 % เป็นเวลา 2 นาที
- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์
- ต้มในกรดไนตริก (HNO_3) เป็นเวลา 10 นาที เพื่อกำจัดเศษโลหะหนักที่ผิวหน้า
- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์
- ต้มในน้ำบริสุทธิ์เป็นเวลา 5 นาที
- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์
- เป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน
- ต้มในไตรโคลโรเอทิลีน (Trichloroethylene) เป็นเวลา 5 นาที เพื่อกำจัดสิ่งสกปรก
- ล้างด้วยอะซีโตน (Acetone) ในเครื่องสั่นความถี่สูงเป็นเวลา 3 นาที
- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จุ่มลงในกรดกัดแก้ว (HF) 5 % เป็นเวลา 20 นาที
- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์
- เป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน

3. หลังจากผ่านกระบวนการทำความสะอาดผิวแผ่นผลึกซิลิคอนเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ต่อจากนั้นจะทำการเคลือบโลหะอลูมิเนียมที่บริเวณด้านหลังของแผ่นผลึกซิลิคอน ด้วยวิธีการระเหยสารด้วยความร้อนในสุญญากาศ โดยใช้เครื่อง Vacuum Evaporator ซึ่งสามารถทำการเคลือบโลหะอลูมิเนียมที่ด้านหลังของแผ่นผลึกซิลิคอนได้ความหนาประมาณ 1 ไมโครเมตร ดังแสดงในรูปที่ 4.3

4. สร้างชั้นพอร์สซิลิคอน

โดยการนำเอาแผ่นผลึกซิลิคอนที่ผ่านกระบวนการต่างๆ ข้างต้น ไปวางตรงตำแหน่งบริเวณด้านล่างของเซลล์ไฟฟ้าเคมี ต่อจากนั้นก็ทำการเทสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกลงสู่เซลล์ แล้วทำการป้อนกระแสไฟฟ้าคงที่ให้แก่ขั้วไฟฟ้าที่อยู่ด้านหลังของแผ่นผลึกซิลิคอน และขั้วอิเล็กโทรดที่เป็นทองที่จุ่มอยู่ในสารละลายกรด ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาทางไฟฟ้าเคมีขึ้น มีผลทำให้ที่บริเวณของแผ่นผลึกซิลิคอนที่สัมผัสกับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกถูกกัดเป็นรูพรุนขนาดเล็กๆ จำนวนมากมาย โดยพารามิเตอร์ที่มีผลต่อความพรุน (porosity) ของพอร์สซิลิคอนก็คือเงื่อนไขต่างๆ ที่ใช้ในระหว่างกระบวนการกัดทางไฟฟ้าเคมี อันได้แก่

- ความหนาแน่นกระแส
- ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก
- เวลาในการกัดทางไฟฟ้าเคมี

ซึ่งภายหลังจากการที่กระบวนการกัดทางไฟฟ้าเคมี ได้ทำเสร็จสมบูรณ์เรียบร้อยแล้ว จะได้ชั้นของพอร์สซิลิคอนเกิดขึ้นมาตรงบริเวณผิวหน้าด้านบนของแผ่นผลึกซิลิคอน ดังแสดงในรูปที่ 4.4 นำแผ่นผลึกซิลิคอนออกจากเซลล์ไฟฟ้าเคมี ไปผ่านการทำความสะอาดแผ่นผลึกครั้งสุดท้าย โดยมีขั้นตอนดังนี้

- ล้างด้วยน้ำบริสุทธิ์
- แช่แผ่นในแอลกอฮอล์เป็นเวลา 10 นาที เพื่อกำจัดชะล้างสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกที่ยังตกค้างอยู่ในชั้นพอร์สซิลิคอน
- เป่าแห้งด้วยก๊าซไนโตรเจน

5. ทำข้าวของอุปกรณ์

หลังจากผ่านกระบวนการข้างต้นแล้ว จะทำข้าวของอุปกรณ์ ด้วยวิธีการระเหยสารด้วยความร้อนในสุญญากาศ โดยใช้เครื่อง Vacuum Evaporator ดังแสดงในรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.2 ภาคตัดขวางของแผ่นผลิตภัณฑ์คอนเริ่มต้น



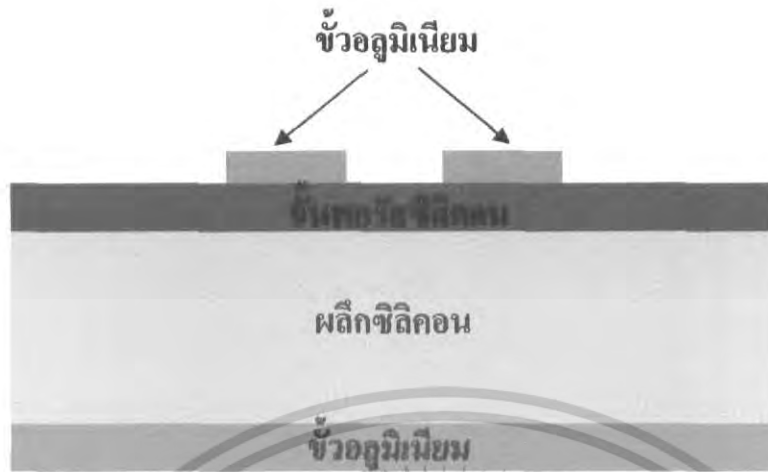
รูปที่ 4.3 ภาคตัดขวางของแผ่นผลิตภัณฑ์คอนที่มีการเคลือบโลหะออลูมิเนียมที่บริเวณด้านหลัง



รูปที่ 4.4 ภาคตัดขวางของแผ่นผลิตภัณฑ์คอนที่มีการสร้างพอร์สซีลิกอน

5. นำพอร์สซีลิกอนที่สร้างได้ที่เคลือบด้วยออลูมิเนียมแล้ว นำมาเชื่อมต่อเขาเพื่อใช้ทำการวัดค่ากระแสที่ได้จากการ ตรวจจับ ไอแอลกอสสอส์ ดังรูปที่ 4.5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.5 ภาคตัดขวางของแผ่นผลึกซัลไฟคอนที่มีการสร้างพอร์ซซัลไฟคอน แล้วทำขั้วของอุปกรณ์

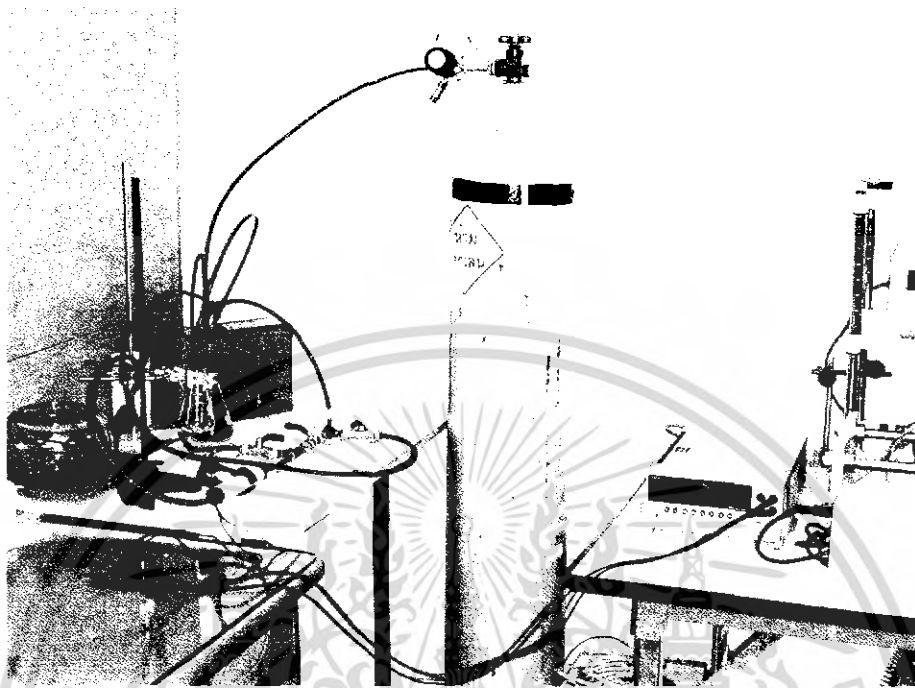


รูปที่ 4.6 ภาพของอุปกรณ์ตรวจจับ ไอแอลกอฮอล์แบบพอร์ซซัลไฟคอน

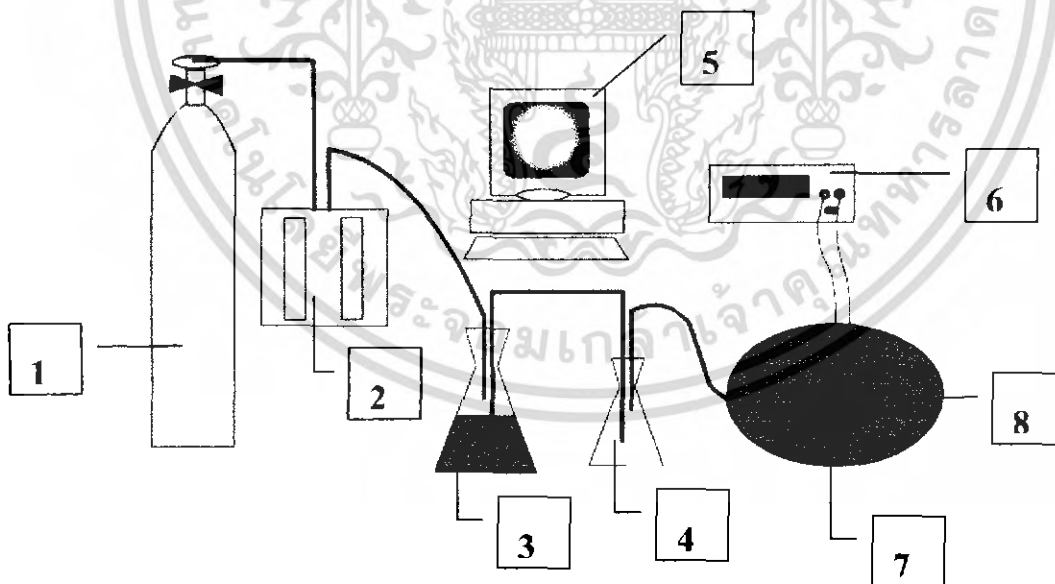
4.3 เครื่องมือที่ใช้ในการวัดอุปกรณ์ตรวจจับไอของแอลกอฮอล์

หลังจากได้อุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์แบบพอร์ซซัลไฟคอนแล้ว นำมาวัดค่าคุณสมบัติการตอบสนองกระแสไฟฟ้าต่อเวลา โดยป้อนแอลกอฮอล์ให้กับอุปกรณ์ที่สร้างได้ ซึ่งใช้ก๊าซ N_2 เป็นก๊าซพาแอลกอฮอล์เพื่อให้แอลกอฮอล์กลายเป็นไอ ไปตกยังอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่สร้างได้ แล้วทำการวัดการนำกระแสไฟฟ้าต่อเวลา โดยชุดของอุปกรณ์ที่ใช้ประกอบการวัดค่าของกระแสต่อเวลาเมื่อนำมาใช้หรือตรวจจับไอของแอลกอฮอล์แสดงได้ดังภาพที่ 4.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 เครื่องมือการวัดอุปกรณ์ตรวจจับไอของแอลกอฮอล์แบบพอร์สซิลิคอน



รูปที่ 4.8 ส่วนต่างๆ ของ เครื่องมือการวัดอุปกรณ์ตรวจจับไอของแอลกอฮอล์แบบพอร์สซิลิคอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลังจากทำการสร้างอุปกรณ์ตรวจจับไอของแอลกอฮอล์แบบพอร์สซิลิคอนแล้ว นำมาวัดทดสอบไอแอลกอฮอล์ โดยใช้เครื่องมือในการวัดไอของแอลกอฮอล์ ดังในรูปที่ 4.6 ซึ่งอุปกรณ์ในการวัดไอของแอลกอฮอล์ ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังในรูปที่ 4.7 คือ

1. ถังก๊าซไนโตรเจน
2. เครื่องมือวัดอัตราการไหล ใช้ในการกำหนดค่าของก๊าซไนโตรเจน
3. ซิลิกา ใช้ลดความชื้นในระบบ
4. แอลกอฮอล์ (C_2H_5OH)
5. คอมพิวเตอร์ ใช้วัดค่าผลตอบสนองทางกระแสและแรงดันของอุปกรณ์ตรวจจับไอของแอลกอฮอล์แบบพอร์สซิลิคอน โดยใช้โปรแกรม Labview [ภาคผนวก] ในการวัดค่าผลตอบสนองทางกระแสไฟฟ้าต่อเวลาแล้วทำการบันทึกค่าลงแต่ละช่วงการวัดแล้วแสดงข้อมูลออกมาเป็นกราฟ
6. แหล่งจ่ายกระแสไฟฟ้าแบบดิจิทัล ใช้เพื่อจ่ายกระแสให้กับอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์แล้ววัดค่ากระแสที่ได้
7. อุปกรณ์ตรวจจับไอของแอลกอฮอล์แบบพอร์สซิลิคอนที่สร้างขึ้น
8. หลอดแก้ว มีหน้าที่ผ่านแอลกอฮอล์ให้กับอุปกรณ์ตรวจจับไอของแอลกอฮอล์แบบพอร์สซิลิคอน

บทที่ 5

ผลการทดลอง

5.1 ผลการทดลองที่ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่างๆ กัน

5.1.1 สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อน้ำบริสุทธิ์

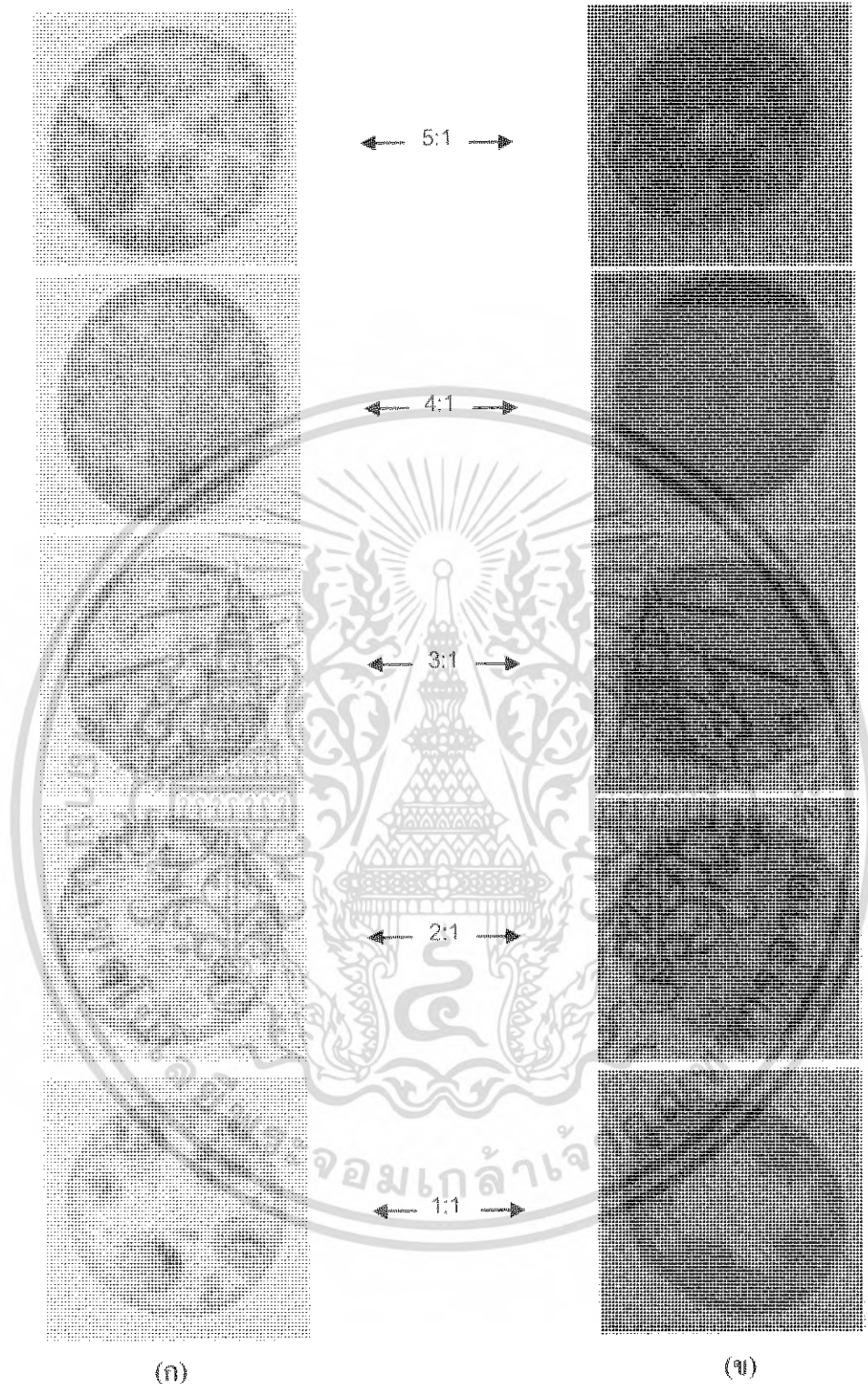
การสร้างชั้นพอร์ซซิลิคอนด้วยวิธีแอโนไดซ์เซชัน โดยใช้ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 ใช้เวลา 10 นาที อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อน้ำบริสุทธิ์ เป็น 5:1, 4:1, 3:1, 2:1 และ 1:1 โดยปริมาตรตามลำดับ เกิดฟองก๊าซไฮโดรเจนรวมตัวกันเป็นกลุ่มฟองก๊าซขนาดใหญ่ ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 การสร้างชั้นพอร์ซซิลิคอน โดยอัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อน้ำบริสุทธิ์ เป็น 4:1

ชั้นพอร์ซซิลิคอนที่ได้ไม่สม่ำเสมอทั่วกันทั้งแผ่นดังรูปที่ 5.2 (ก) สังเกตได้ว่าที่อัตราส่วน 4:1 เกิดชั้นพอร์ซซิลิคอนที่มีความสม่ำเสมอมากกว่าที่อัตราส่วนอื่นๆ และสังเกตสมบัติการเรืองแสงของชั้นพอร์ซซิลิคอนที่ได้ด้วยการฉายแสงจากหลอดแบล็คไลท์ (black light) ดังรูปที่ 5.2 (ข) สังเกตได้ว่าที่ อัตราส่วน 4:1 มีการเรืองแสงสม่ำเสมอมากกว่าที่อัตราส่วนอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.2 ชั้นพอร์สซิติคอนที่ความเข้มข้นสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกค่อนำปริมาตรโดย

ปริมาตรต่างๆ กัน

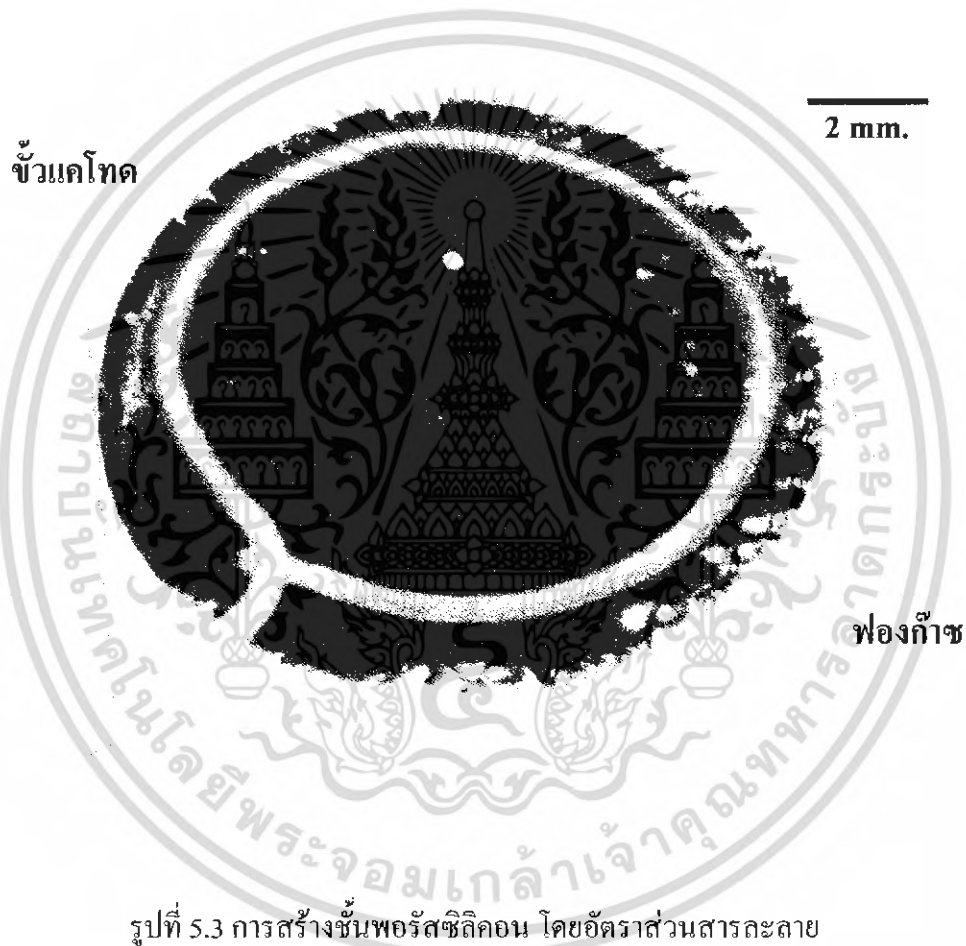
(ก) พื้นผิวของชั้นพอร์สซิติคอน

(ข) การเรืองแสงของชั้นพอร์สซิติคอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.2 สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอล

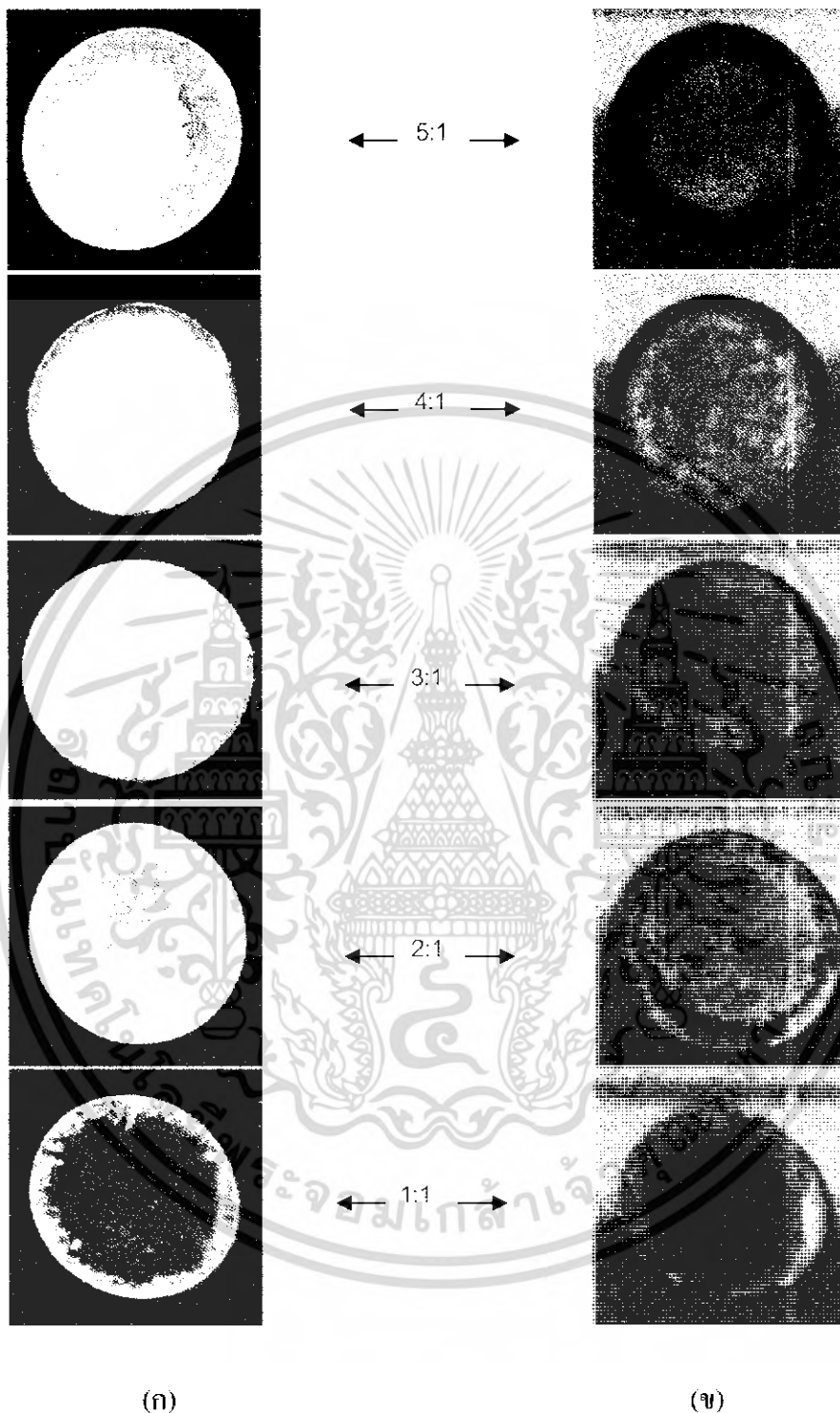
การสร้างชั้นพอร์ซซึลิกอน ด้วยวิธีแอโนไดซ์เซชัน โดยใช้ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 ใช้เวลา 10 นาที อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 5:1, 4:1, 3:1, 2:1 และ 1:1 โดยปริมาตรตามลำดับ ได้ช่วยลดการเกิดฟองก๊าซไฮโดรเจนที่รวมตัวกันเป็นกลุ่มฟองก๊าซขนาดใหญ่ ดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 การสร้างชั้นพอร์ซซึลิกอน โดยอัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1

ชั้นพอร์ซซึลิกอนที่ได้ มีความสม่ำเสมอมากกว่าชั้นพอร์ซซึลิกอนที่ได้จากอัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อน้ำบริสุทธิ์ ดังรูปที่ 5.4 (ก) สังเกตได้ว่าที่อัตราส่วน 4:1 มีความสม่ำเสมอมากที่สุด แต่โครงสร้างของชั้นพอร์ซซึลิกอนที่ได้นั้น ค่อนข้างเปราะ ไม่แข็งแรง และสังเกตสมบัติการเรืองแสงของชั้นพอร์ซซึลิกอนที่ได้ ด้วยการฉายแสงจากหลอดแบล็คไลท์ ดังรูปที่ 5.4 (ข) สังเกตได้ว่าที่อัตราส่วน 4:1 มีการเรืองแสงสม่ำเสมอมากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 5.4 ชั้นพอร์สซิติคอนที่ความเข้มข้นสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลโดย ปริมาตรต่างๆ กัน

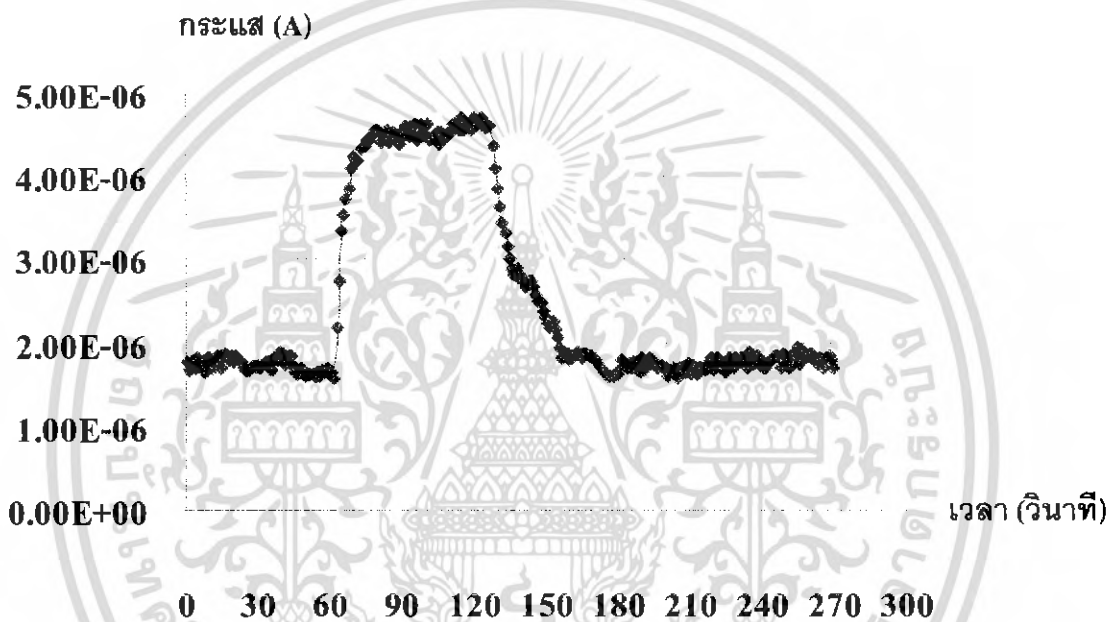
(ก) พื้นผิวของชั้นพอร์สซิติคอน

(ข) การเรืองแสงของชั้นพอร์สซิติคอน

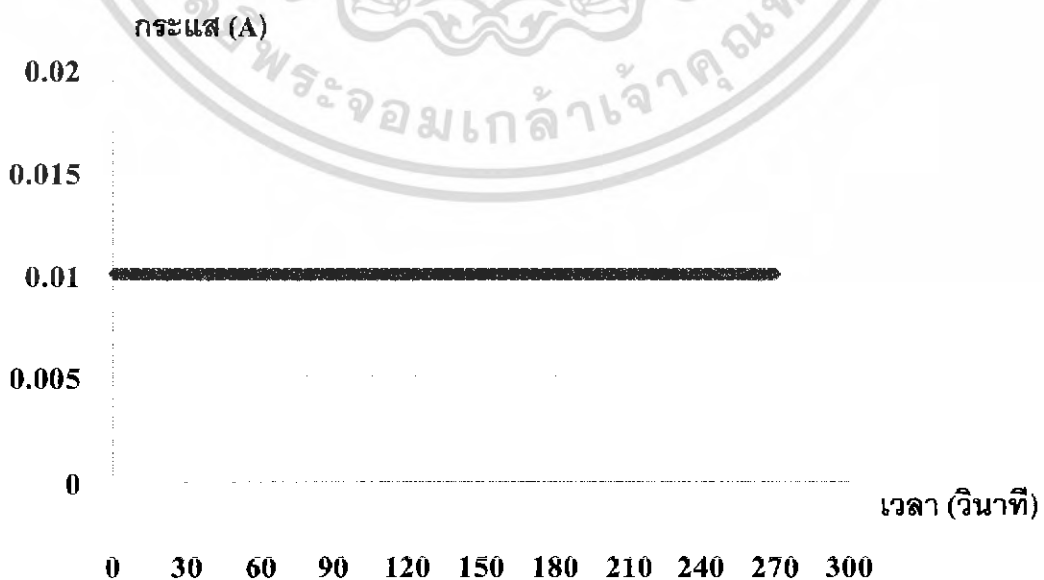
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.1.3 การเปรียบเทียบผลการตรวจจับไอแอลกอฮอล์

จากการทดลองนำชั้นพอร์สซิลิโคนมาสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจจับ ไอแอลกอฮอล์แล้ว ทดลองวัดคุณสมบัติของกระแสไฟฟ้าต่อเวลา เมื่อเปรียบเทียบกับการสร้างอุปกรณ์โดยไม่มีชั้นพอร์สซิลิโคน จะสังเกตได้จากรูปที่ 5.5 ว่าอุปกรณ์ตรวจจับไอของแอลกอฮอล์ที่มีชั้นพอร์สซิลิโคนสามารถตรวจจับไอของแอลกอฮอล์ได้ และอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นโดยไม่มีชั้นพอร์สซิลิโคนที่แสดงไว้ที่รูปที่ 5.6 ไม่สามารถใช้ตรวจจับไอของแอลกอฮอล์ได้



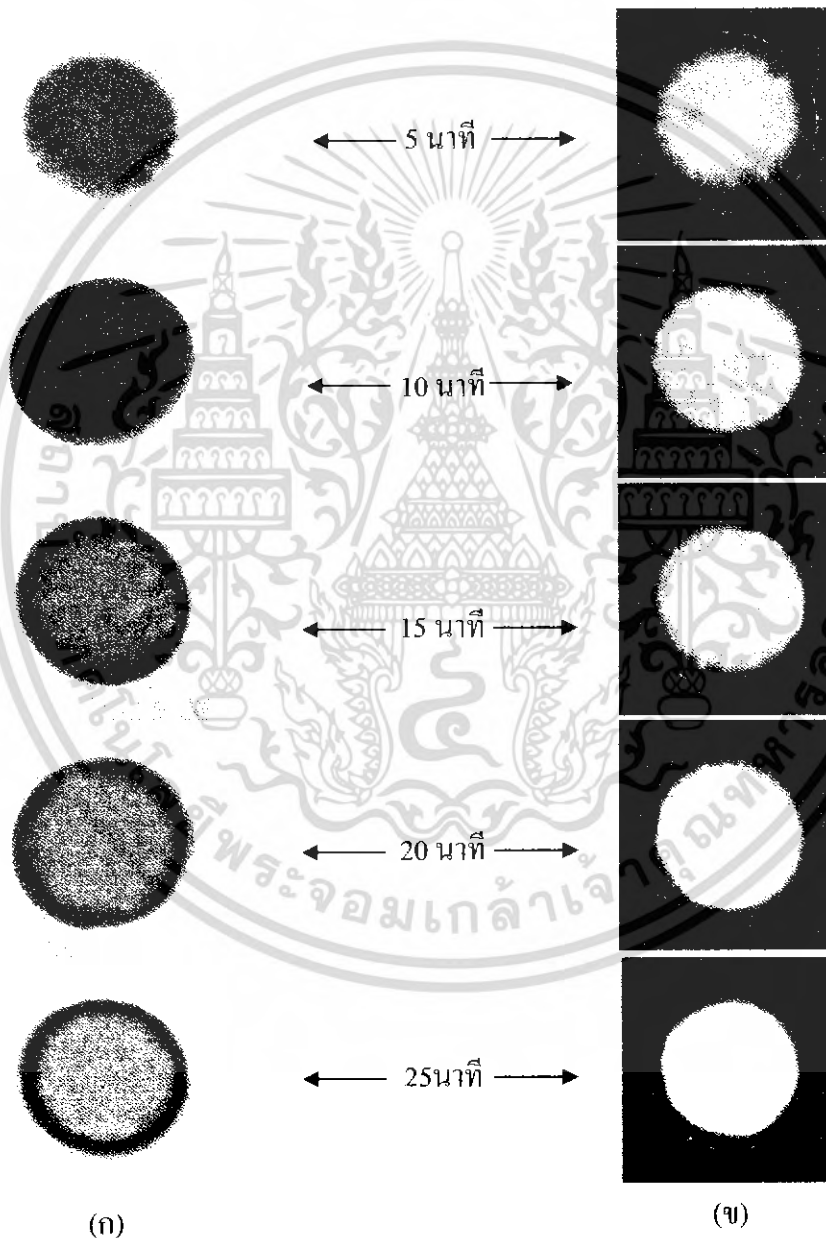
รูปที่ 5.5 ผลการตอบสนองกระแสไฟฟ้าต่อเวลาของอุปกรณ์แบบมีพอร์สซิลิโคน



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่เผยแพร่โดยกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ กระทรวงพาณิชย์ ไม่สามารถนำไปใช้หรือตีพิมพ์ซ้ำโดยไม่ได้รับอนุญาตจากกรมส่งเสริมการค้าระหว่างประเทศ
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ผลการทดลองการสร้างที่เวลาต่างๆ กัน

เนื่องจากการทดลองข้างต้น ชั้นพอร์ซซัลติคอนที่ได้ค่อนข้างเปราะทำให้แตกหักง่าย จึงได้ทำการหาเวลาที่เหมาะสมในการสร้าง โดยกำหนดให้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 โดยปริมาตร ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 และทำการทดลอง ใช้เวลาต่างๆ กัน คือ 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 20 นาที และ 25 นาที ดังรูปที่ 5.7 (ก) และสังเกตสมบัติการเรืองแสงของชั้นพอร์ซซัลติคอนที่ได้ ด้วยการฉายแสงจากหลอดแบล็คไลท์ ดังรูปที่ 5.7 (ข)

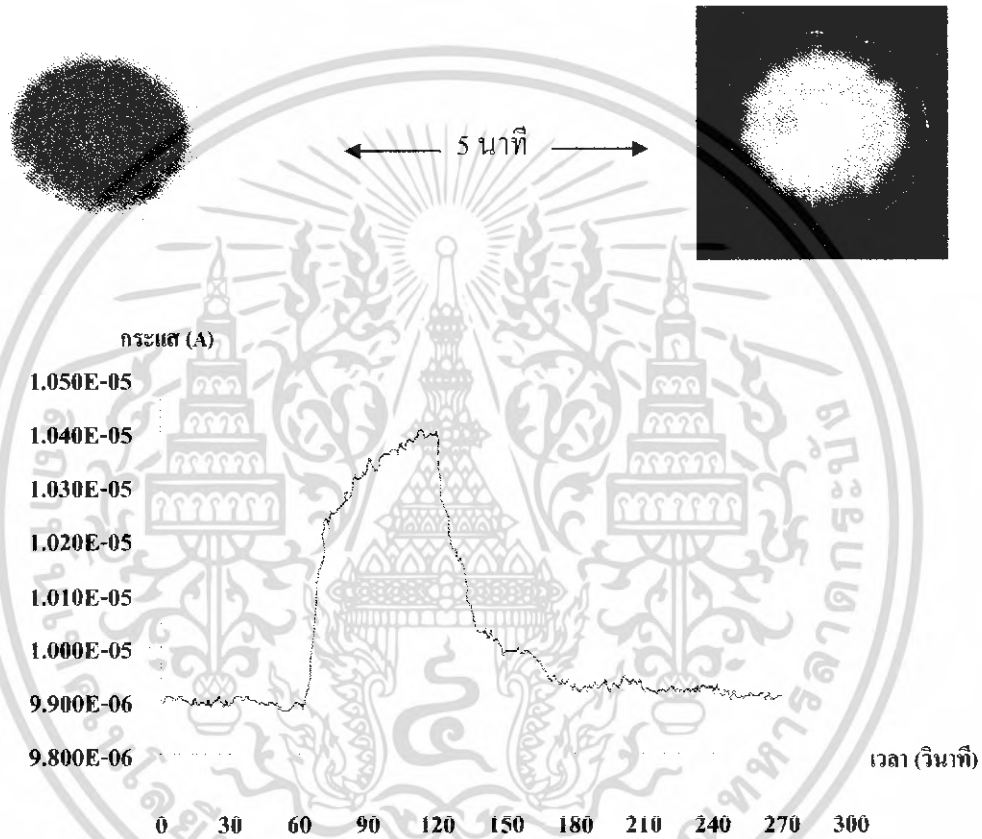


รูปที่ 5.7 ชั้นพอร์ซซัลติคอนที่ความเข้มข้นสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลโดยใช้เวลาในการกัดด้วยไฟฟ้าเคมีต่างๆ กัน

(ก) พื้นผิวของชั้นพอร์ซซัลติคอน (ข) การเรืองแสงของชั้นพอร์ซซัลติคอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของการสร้างชั้นพอร์ซซิลิคอนที่เวลา 5 นาที ใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 และใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 เมื่อนำมาสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ แล้วทำการวัดคุณสมบัติการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าของไอแอลกอฮอล์ เพื่อศึกษาผลการตอบสนองทางกระแสไฟฟ้า ซึ่งผลที่ได้จากการวัดคุณสมบัติการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าไอแอลกอฮอล์เป็นดังนี้

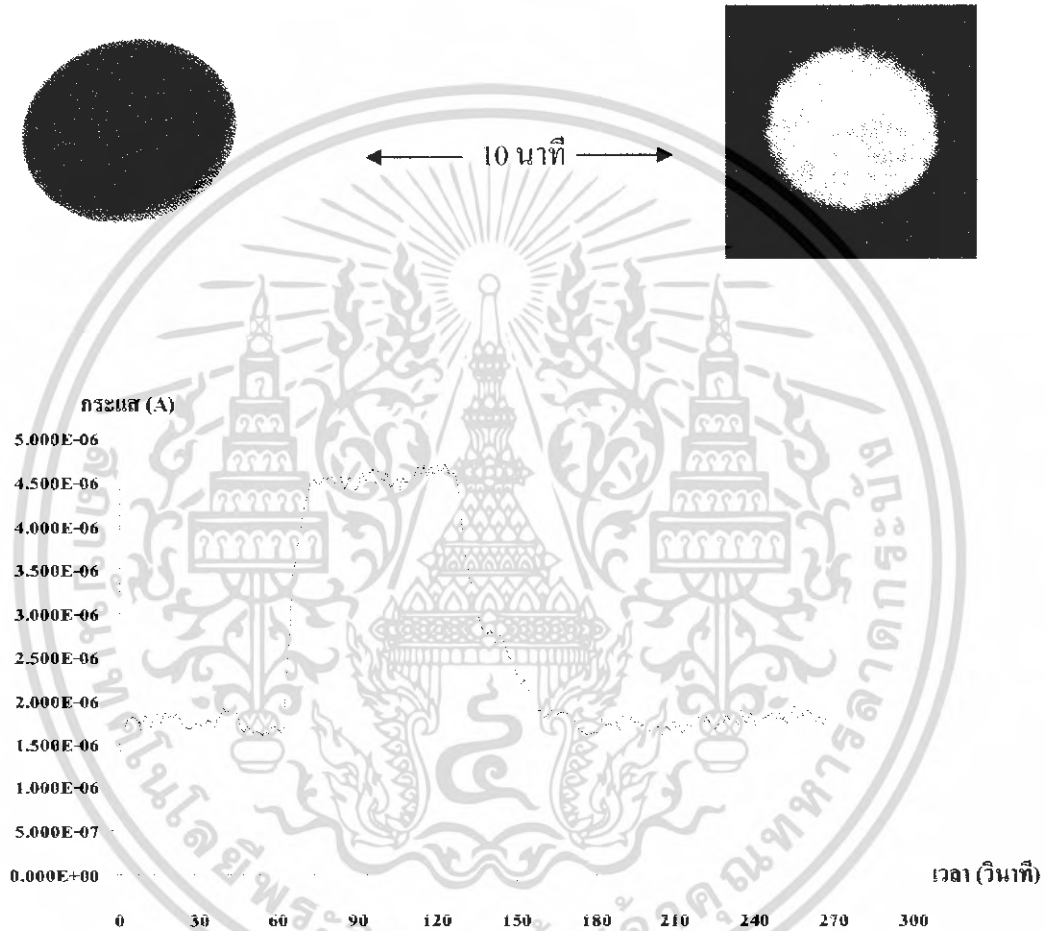


รูปที่ 5.8 ตอบสนองของกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการสร้างชั้นพอร์ซซิลิคอนที่เวลา 5 นาที

จากการทดลองโดยการป้อนกระแสไฟฟ้าขณะสร้างชั้นพอร์ซซิลิคอนที่เวลา 5 นาที ใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 และใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 ซึ่งจะทำให้มีความพรุนของพอร์ซซิลิคอนอยู่ที่ประมาณ 65% [ภาคผนวก] เมื่อนำมาสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ จะได้ผลตอบสนองทางกระแสไฟฟ้าเมื่อใช้วัดไอของแอลกอฮอล์อยู่ที่ $9.9 \mu\text{A}$ เมื่อไม่มีแอลกอฮอล์และเมื่อตรวจวัดแอลกอฮอล์แล้วจะทำให้มีกระแสไฟฟ้าสูงอยู่ที่ $10.4 \mu\text{A}$ ซึ่งความแตกต่างระหว่างช่วงการตรวจจับคือประมาณ $0.5 \mu\text{A}$ ซึ่งจะเห็นว่ามีการนำกระแสไฟฟ้าต่ำมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของการสร้างชั้นพอร์ซิติคอนที่เวลา 10 นาที ใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 และใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 เมื่อนำมาสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ แล้วทำการวัดคุณสมบัติการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าของไอแอลกอฮอล์ เพื่อศึกษาผลการตอบสนองทางกระแสไฟฟ้า ซึ่งผลที่ได้จากการวัดคุณสมบัติการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าไอแอลกอฮอล์เป็นดังนี้

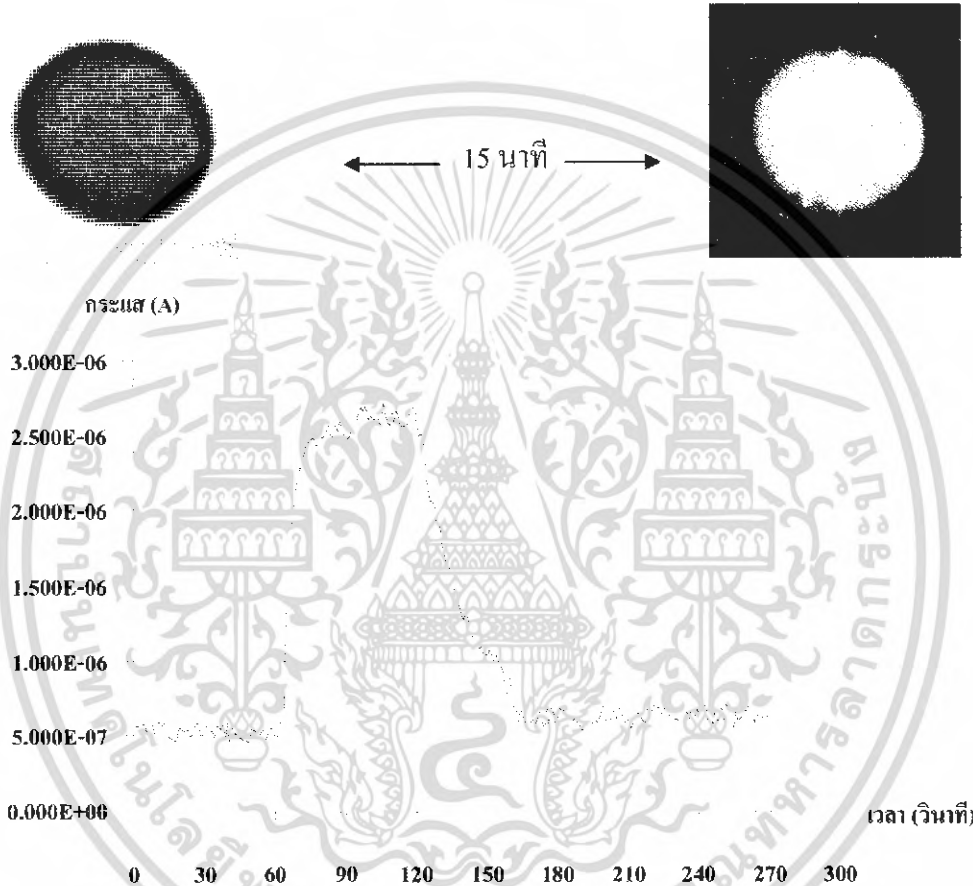


รูปที่ 5.9 การตอบสนองของกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการสร้างชั้นพอร์ซิติคอนที่เวลา 10 นาที

จากการทดลองโดยการป้อนกระแสไฟฟ้าขณะสร้างชั้นพอร์ซิติคอนที่เวลา 10 นาที ใช้กระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 และใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 ซึ่งจะทำให้มีความพรุนของพอร์ซิติคอนอยู่ที่ประมาณ 65% [ภาคผนวก] เมื่อนำมาสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ จะได้ผลตอบสนองทางกระแสไฟฟ้าเมื่อใช้วัดไอของแอลกอฮอล์อยู่ที่ $4.7 \mu\text{A}$ เมื่อไม่มีแอลกอฮอล์และเมื่อตรวจวัดแอลกอฮอล์แล้วจะทำให้มีกระแสไฟฟ้าสูงอยู่ที่ $1.8 \mu\text{A}$ ซึ่งความแตกต่างระหว่างช่องการตรวจจับคือประมาณ $2.9 \mu\text{A}$ ซึ่งจะเห็นว่ามี การนำกระแสไฟฟ้าค่อนข้างสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของการสร้างชั้นพอร์ซซิติคอนที่เวลา 15 นาที ใช้กระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 และใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 เมื่อนำมาสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ แล้วทำการวัดคุณสมบัติการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าของไอแอลกอฮอล์ เพื่อศึกษาผลการตอบสนองทางกระแสไฟฟ้า ซึ่งผลที่ได้จากการวัดคุณสมบัติการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าไอแอลกอฮอล์เป็นดังนี้

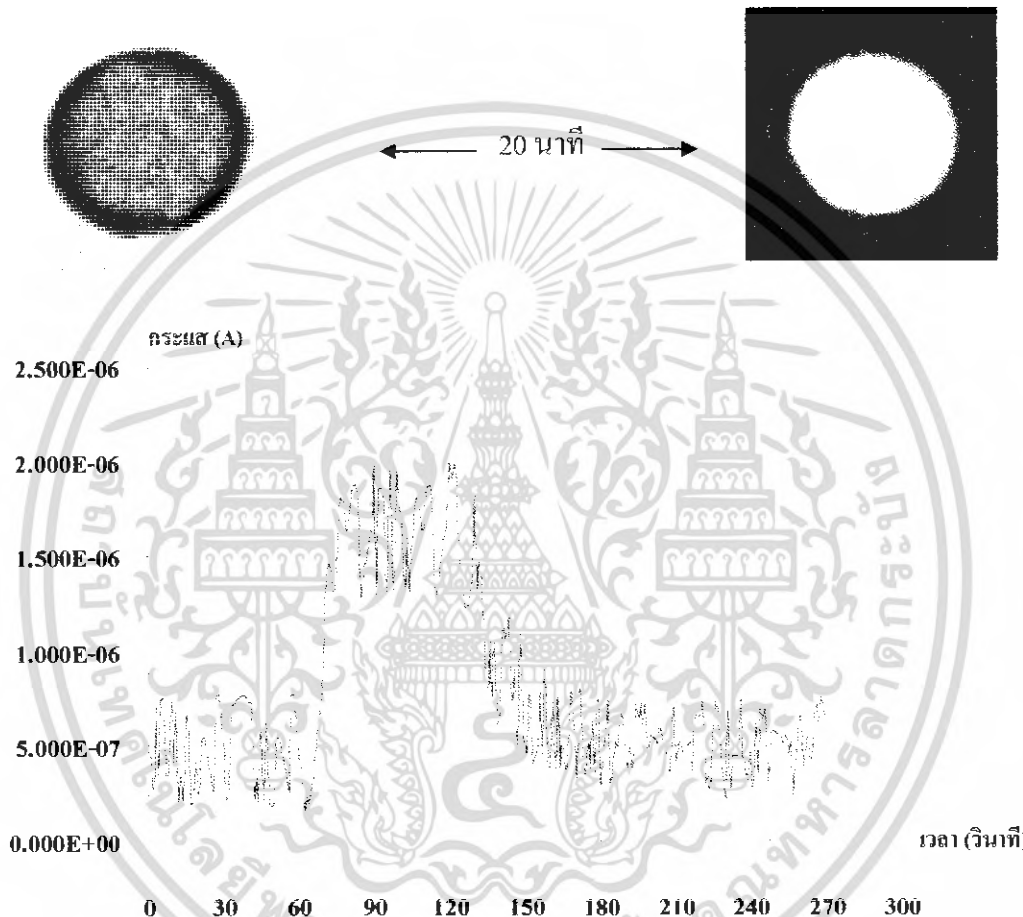


รูปที่ 5.10 การตอบสนองของกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการสร้างชั้นพอร์ซซิติคอนที่เวลา 15 นาที

จากการทดลองโดยการป้อนกระแสไฟฟ้าขณะสร้างชั้นพอร์ซซิติคอนที่เวลา 15 นาที ใช้กระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 และใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 ซึ่งจะทำให้มีความพรุนของพอร์ซซิติคอนอยู่ที่ประมาณ 75% [ภาคผนวก] เมื่อนำมาสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ จะได้ผลตอบสนองทางกระแสไฟฟ้าเมื่อใช้วัดไอของแอลกอฮอล์อยู่ที่ $0.5 \mu\text{A}$ เมื่อไม่มีแอลกอฮอล์และเมื่อตรวจวัดแอลกอฮอล์แล้วจะทำให้มีกระแสไฟฟ้าสูงอยู่ที่ $2.6 \mu\text{A}$ ซึ่งความแตกต่างระหว่างช่องการตรวจจับคือประมาณ $2.1 \mu\text{A}$ ซึ่งจะเห็นว่ามีการนำกระแสไฟฟ้าน้อยกว่าการสร้างชั้นพอร์ซซิติคอนที่เวลา 10 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของการสร้างชั้นพอร์ซซัลฟิดคอนที่เวลา 20 นาที ใช้กระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 และใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 เมื่อนำมาสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ แล้วทำการวัดคุณสมบัติการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าของไอแอลกอฮอล์ เพื่อศึกษาผลการตอบสนองทางกระแสไฟฟ้า ซึ่งผลที่ได้จากการวัดคุณสมบัติการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าไอแอลกอฮอล์เป็นดังนี้

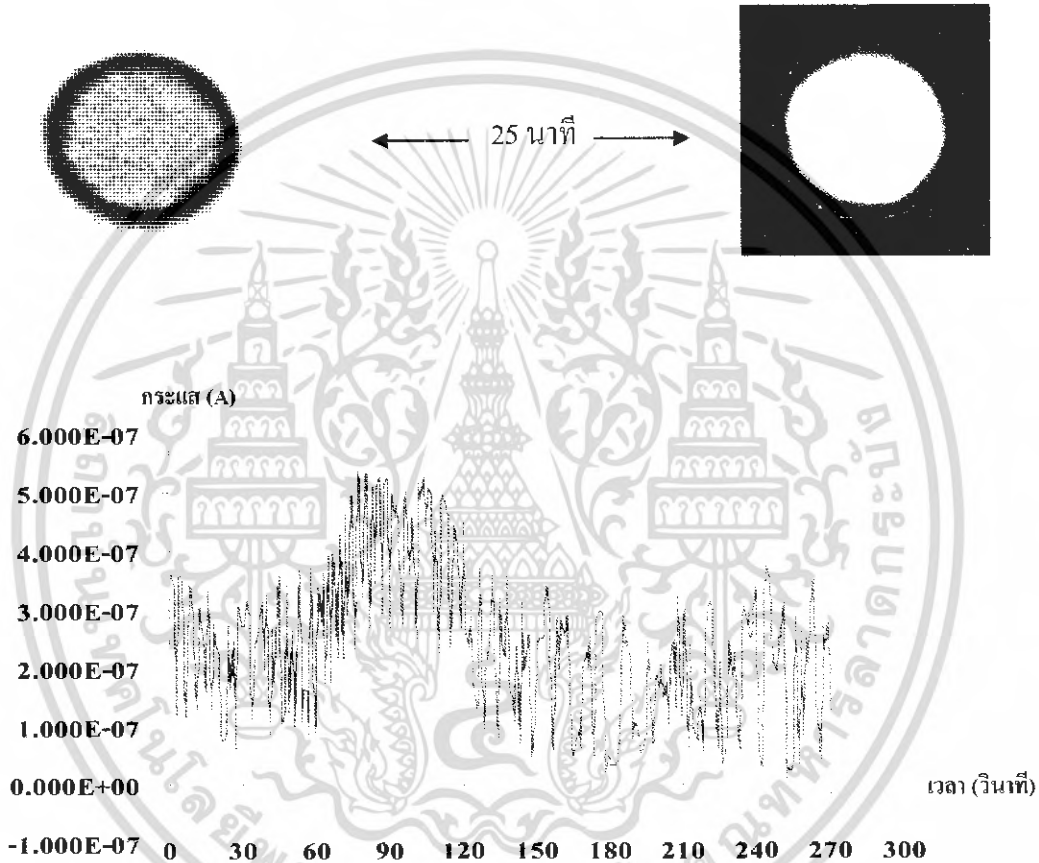


รูปที่ 5.11 การตอบสนองของกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการสร้างชั้นพอร์ซซัลฟิดคอนที่เวลา 20 นาที

จากการทดลองโดยการป้อนกระแสไฟฟ้าขณะสร้างชั้นพอร์ซซัลฟิดคอนที่เวลา 20 นาที ใช้กระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 และใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 ซึ่งจะทำให้มีความพรุนของพอร์ซซัลฟิดคอนอยู่ที่ประมาณ 83% [ภาคผนวก] เมื่อนำมาสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ จะได้ผลตอบสนองทางกระแสไฟฟ้าเมื่อใช้วัดไอของแอลกอฮอล์อยู่ที่ $0.4 \mu\text{A}$ เมื่อไม่มีแอลกอฮอล์และเมื่อตรวจวัดแอลกอฮอล์แล้วจะทำให้มีกระแสไฟฟ้าสูงอยู่ที่ $1.6 \mu\text{A}$ ซึ่งความแตกต่างระหว่างช่องการตรวจจับคือประมาณ $1.3 \mu\text{A}$ ซึ่งจะเห็นว่ามี การนำกระแสไฟฟ้าน้อยกว่าการสร้างชั้นพอร์ซซัลฟิดคอนที่เวลา 10 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนที่เวลา 25 นาที ใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 และใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 เมื่อนำมาสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ แล้วทำการวัดคุณสมบัติการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าของไอแอลกอฮอล์ เพื่อศึกษาผลการตอบสนองทางกระแสไฟฟ้า ซึ่งผลที่ได้จากการวัดคุณสมบัติการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าไอแอลกอฮอล์เป็นดังนี้

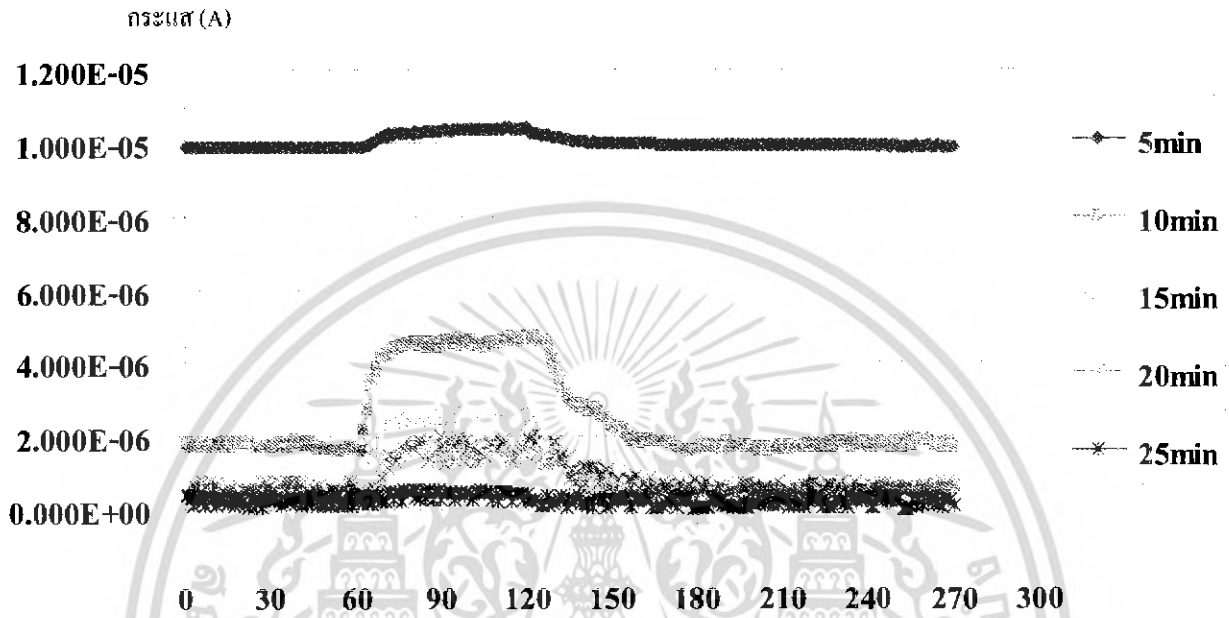


รูปที่ 5.12 การตอบสนองของกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนที่เวลา 25 นาที

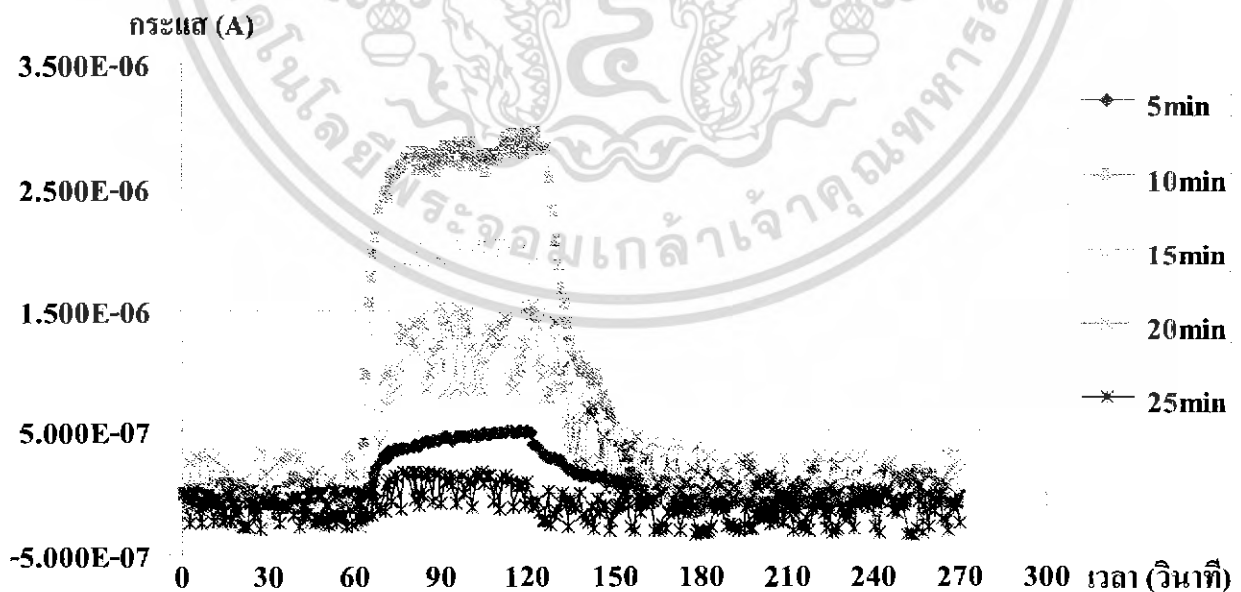
จากการทดลองโดยการป้อนกระแสไฟฟ้าขณะสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนที่เวลา 25 นาที ใช้กระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 และใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 ซึ่งจะทำให้มีความพรุนของพอร์สซิลิคอนอยู่ที่ประมาณ 86% [ภาคผนวก] เมื่อนำมาสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ จะได้ผลตอบสนองทางกระแสไฟฟ้าเมื่อใช้วัดไอของแอลกอฮอล์ อยู่ที่ $0.41 \mu\text{A}$ เมื่อไม่มีแอลกอฮอล์และเมื่อตรวจวัดแอลกอฮอล์แล้วจะทำให้มีกระแสไฟฟ้าสูงอยู่ที่ $0.22 \mu\text{A}$ ซึ่งความแตกต่างระหว่างช่องการตรวจจับคือประมาณ $1.9 \mu\text{A}$ ซึ่งจะเห็นว่ามีกรนำกระแสไฟฟ้าน้อยกว่าการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนที่เวลา 10 นาที

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปผลการตอบสนองทางกระแสไฟฟ้าต่อเวลาของชั้นพอร์ซซิติกอนที่สร้างที่เวลาต่างๆ กัน เมื่อนำมาเปรียบเทียบกันโดยแสดงในรูปเพียงรูปเดียว จะเห็นได้จากรูปที่ 5.13 และ 5.14



รูปที่ 5.13 ผลการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ ที่อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอล 4:1 ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 และทำการทดลอง ใช้เวลาต่างๆ กัน

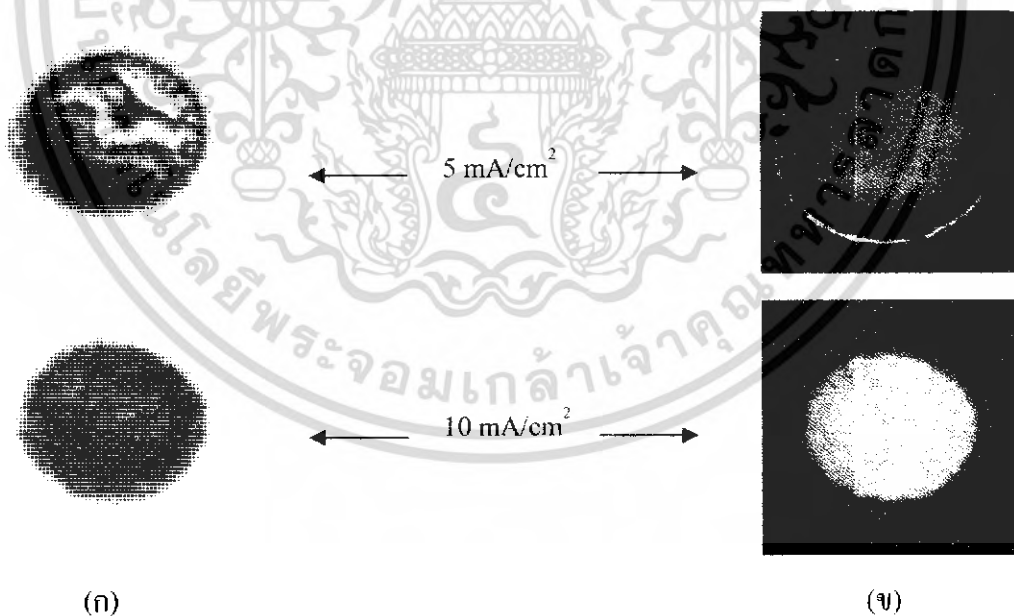


รูปที่ 5.14 ผลการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ ที่อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอล 4:1 ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 และทำการทดลอง ใช้เวลาต่างๆ กัน อ้างอิงที่ 0 A เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปของการวัด ไอแอลกอฮอล์ข้างต้น เมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน จะเห็นได้ว่า ที่เวลา 5 นาที แม้จะให้ผลตอบสนองทางกระแสไฟฟ้ามก แต่ความแตกต่างของค่ากระแสไฟฟ้า เมื่อมีการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ มีค่าน้อยกว่า ที่ 10 นาที ค่ากระแสไฟฟ้าไต่ขึ้นและไต่ลงของการสร้างที่ 10 นาที ก็มีความไวมากกว่าเมื่อเทียบกับเวลาการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนที่เวลาอื่นๆ ดังนั้นจึงเลือกเวลาที่ 10 นาทีมาเป็นเวลาในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอน แล้วทำการปรับค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า เพื่อให้ผลการตอบสนองทางกระแสไฟฟ้า และเวลาการตอบสนองที่ไต่ขึ้นอีก

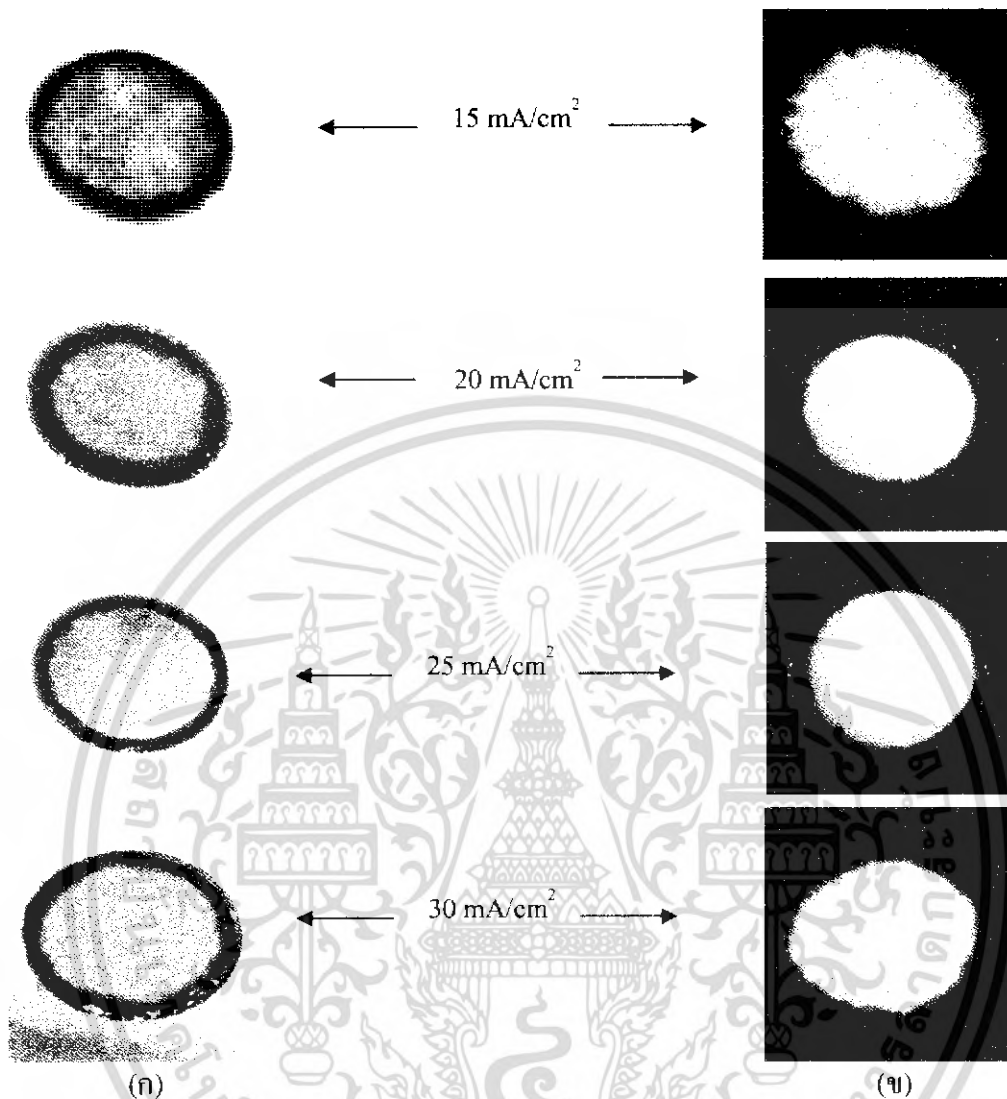
5.3 ผลการทดลองที่ปริมาณความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่างๆ กัน

เนื่องจากผลการทดลองข้างต้นได้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอล เป็น 4:1 โดยปริมาตร เวลา 10 นาที เป็นค่าที่เหมาะสม จึงได้ทำการหาค่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อไป โดยทำการทดลองที่ปริมาณความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่างๆ กัน คือ 5 mA/cm^2 , 10 mA/cm^2 , 15 mA/cm^2 , 20 mA/cm^2 , 25 mA/cm^2 และ 30 mA/cm^2 ดังรูปที่ 5.15 (ก) และทำการสังเกตสมบัติการเรืองแสงของชั้นพอร์สซิลิคอนที่ได้ ด้วยการฉายแสงจากหลอดแบล็คไลท์ ดังรูปที่ 5.15 (ข)



รูปที่ 5.15 ชั้นพอร์สซิลิคอนที่ความเข้มข้นสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอล โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการกัดด้วยไฟฟ้าเคมีต่างๆ กัน
(ก) พื้นผิวของชั้นพอร์สซิลิคอน (ข) การเรืองแสงของชั้นพอร์สซิลิคอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

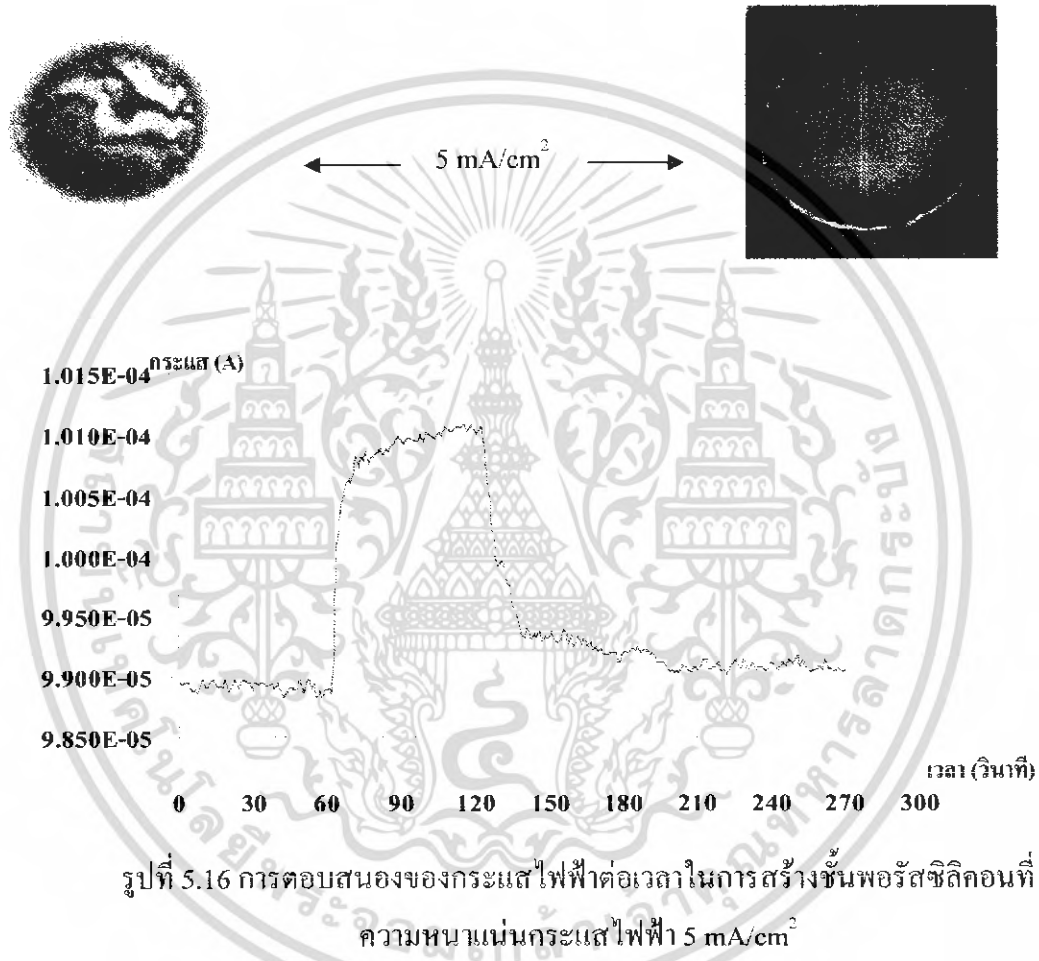


รูปที่ 5.15 ชั้นพอร์สซิติคอนที่ความเข้มข้นสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอล โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการกัดด้วยไฟฟ้าเคมีต่างๆ กัน
(ก) พื้นผิวของชั้นพอร์สซิติคอน (ข) การเรืองแสงของชั้นพอร์สซิติคอน

จากภาพของชั้นพอร์สซิติคอนที่สร้างได้ดังรูปที่ 5.15 จะเห็นได้ว่า มีการเรืองแสงของชั้นพอร์สซิติคอนที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ ทั้งที่การสร้างที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 5 mA/cm^2 , 10 mA/cm^2 , 15 mA/cm^2 , 20 mA/cm^2 , 25 mA/cm^2 และ 30 mA/cm^2 จะมีที่ 5 mA/cm^2 ที่ความพรุนของชั้นพอร์สซิติคอนมีความไม่สม่ำเสมอมากนัก ส่วนที่การสร้างที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าอื่น จะมีการเรืองแสงที่ค่อนข้างสม่ำเสมอใกล้เคียงกัน ดังนั้นจึงทำการวัดค่าคุณสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาของพอร์สซิติคอนเพื่อสังเกตผลที่ได้ว่า การสร้างด้วยความหนาแน่นกระแสไฟฟ้ามากน้อยเพียงใดที่ทำให้ได้ชั้นพอร์สซิติคอนที่มีความเหมาะสมที่จะวัดไอแอลกอฮอล์ได้ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

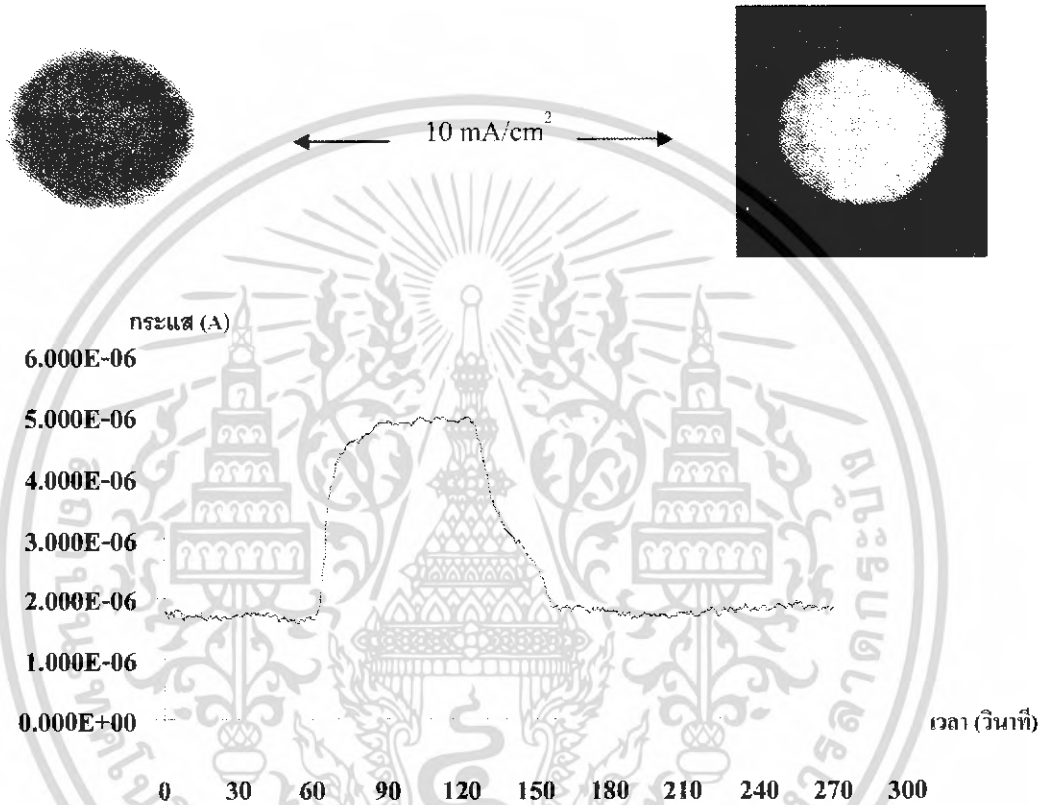
ผลของการสร้างชั้นพอร์ซซีลิกอนใช้กระแสไฟฟ้า 5 mA/cm^2 ที่เวลา 10 นาที และใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 เมื่อนำมาสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ แล้วทำการวัดคุณสมบัติการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าของไอแอลกอฮอล์ เพื่อศึกษาผลการตอบสนองทางกระแสไฟฟ้า ซึ่งผลที่ได้จากการวัดคุณสมบัติการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าไอแอลกอฮอล์เป็นดังนี้



จากการทดลองโดยการป้อนกระแสไฟฟ้าขณะสร้างชั้นพอร์ซซีลิกอนที่ 5 mA/cm^2 ใช้เวลา 10 นาที และใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 ซึ่งจะทำให้มีความพรุนของพอร์ซซีลิกอนอยู่ที่ประมาณ 60% [ภาคผนวก] เมื่อนำมาสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ จะได้ผลตอบสนองทางกระแสไฟฟ้าเมื่อใช้วัดไอของแอลกอฮอล์อยู่ที่ $98.8 \mu\text{A}$ เมื่อไม่มีแอลกอฮอล์และเมื่อตรวจวัดแอลกอฮอล์แล้วจะทำให้มีกระแสไฟฟ้าสูงอยู่ที่ $101.1 \mu\text{A}$ ซึ่งความแตกต่างระหว่างช่องการตรวจจับคือประมาณ $2.3 \mu\text{A}$ ซึ่งจะเห็นว่ามีกรนำกระแสไฟฟ้าค่อนข้างสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

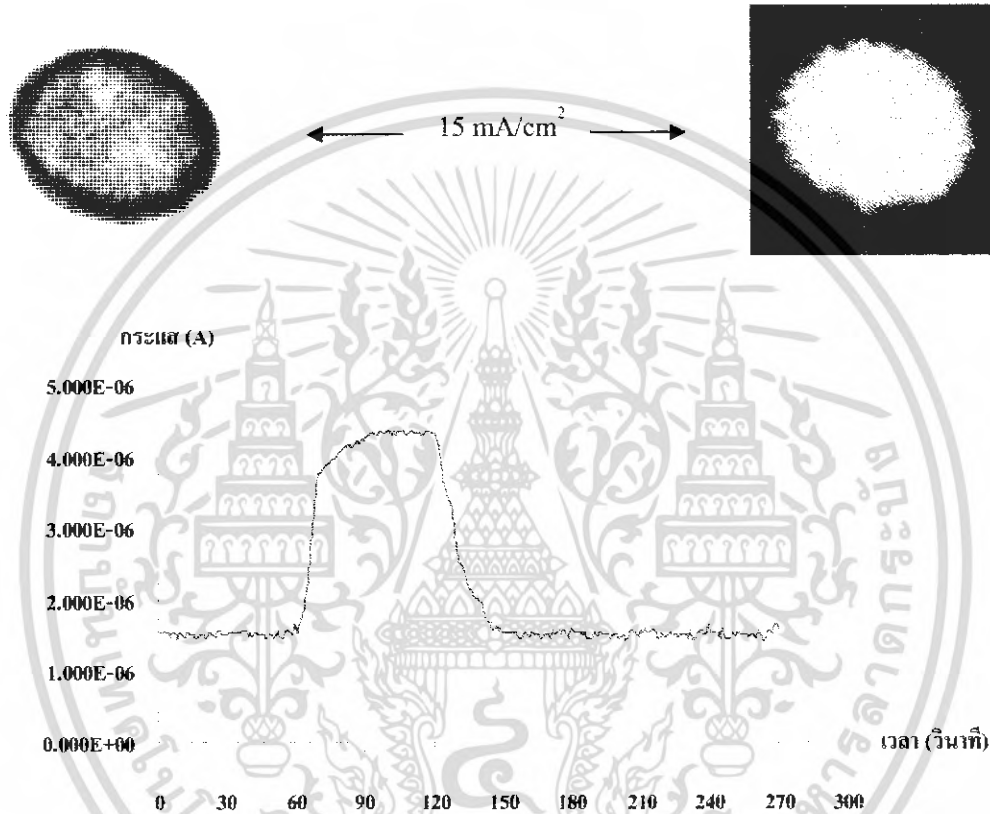
ผลของการสร้างชั้นพอร์ซซิลิคอนใช้กระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 ที่เวลา 10 นาที และใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 เมื่อนำมาสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ แล้วทำการวัดคุณสมบัติการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าของไอแอลกอฮอล์ เพื่อศึกษาผลการตอบสนองทางกระแสไฟฟ้า ซึ่งผลที่ได้จากการวัดคุณสมบัติการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าไอแอลกอฮอล์เป็นดังนี้



รูปที่ 5.17 การตอบสนองของกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการสร้างชั้นพอร์ซซิลิคอนที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2

จากการทดลองโดยการป้อนกระแสไฟฟ้าขณะสร้างชั้นพอร์ซซิลิคอนที่ 10 mA/cm^2 ใช้เวลา 10 นาที และใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 ซึ่งจะทำให้มีความพรุนของพอร์ซซิลิคอนอยู่ที่ประมาณ 65% [ภาคผนวก] เมื่อนำมาสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ จะได้ผลตอบสนองทางกระแสไฟฟ้าเมื่อใช้วัดไอของแอลกอฮอล์อยู่ที่ $1.8 \mu\text{A}$ เมื่อไม่มีแอลกอฮอล์และเมื่อตรวจวัดแอลกอฮอล์แล้วจะทำให้มีกระแสไฟฟ้าสูงอยู่ที่ $4.9 \mu\text{A}$ ซึ่งความแตกต่างระหว่างช่วงการตรวจจับคือประมาณ $3.1 \mu\text{A}$ ซึ่งจะเห็นว่ามี การนำกระแสไฟฟ้าไม่สูงมากนักแต่มีความแตกต่างของช่วงการตอบสนองสูงกว่าที่ 5 mA/cm^2

ผลของการสร้างชั้นพอร์ซซีติกอนใช้กระแสไฟฟ้า 15 mA/cm^2 ที่เวลา 10 นาที และใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 เมื่อนำมาสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ แล้วทำการวัดคุณสมบัติการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าของไอแอลกอฮอล์ เพื่อศึกษาผลการตอบสนองทางกระแสไฟฟ้า ซึ่งผลที่ได้จากการวัดคุณสมบัติการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าไอแอลกอฮอล์เป็นดังนี้

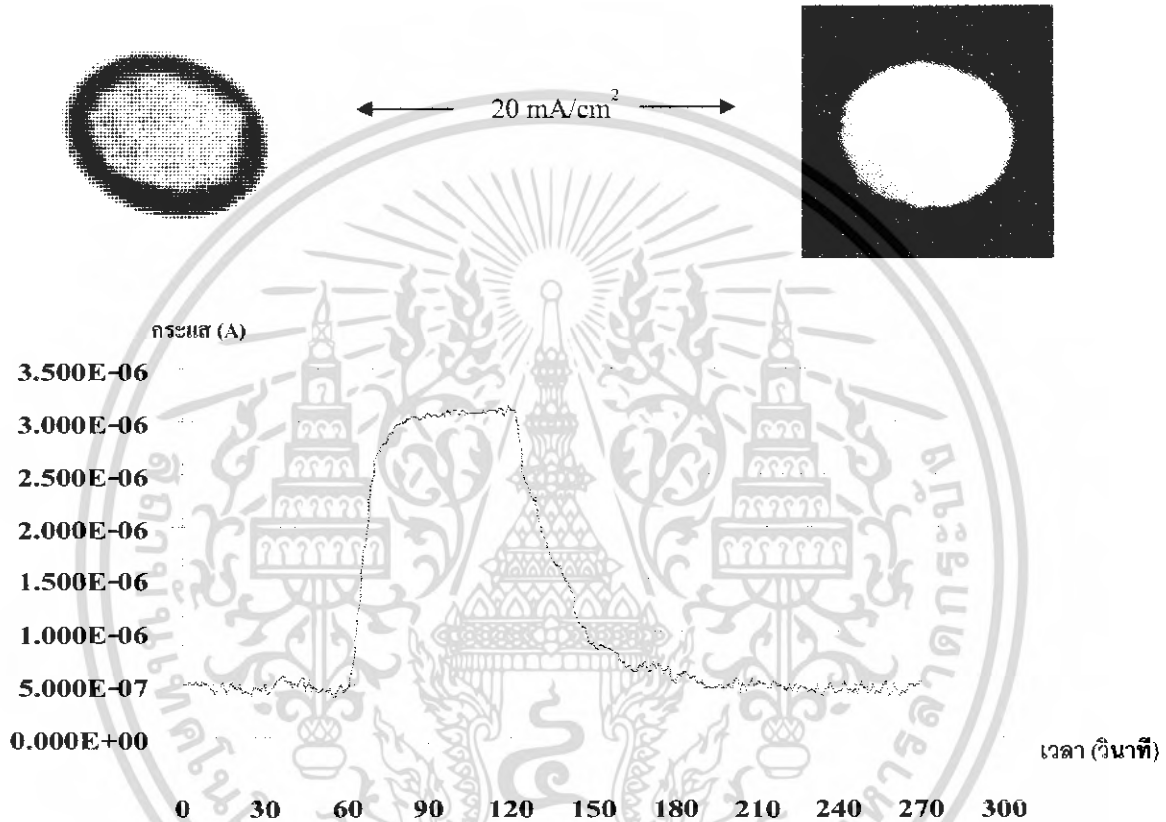


รูปที่ 5.18 การตอบสนองของกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการสร้างชั้นพอร์ซซีติกอน ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 15 mA/cm^2

จากการทดลองโดยการป้อนกระแสไฟฟ้าขณะสร้างชั้นพอร์ซซีติกอนที่ 15 mA/cm^2 ใช้เวลา 10 นาที และใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 ซึ่งจะทำให้มีความพรุนของพอร์ซซีติกอนอยู่ที่ประมาณ 82% [ภาคผนวก] เมื่อนำมาสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ จะได้ผลตอบสนองทางกระแสไฟฟ้าเมื่อใช้วัดไอของแอลกอฮอล์อยู่ที่ $1.5 \mu\text{A}$ เมื่อไม่มีแอลกอฮอล์และเมื่อตรวจวัดแอลกอฮอล์แล้วจะทำให้มีกระแสไฟฟ้าสูงอยู่ที่ $4.2 \mu\text{A}$ ซึ่งความแตกต่างระหว่างช่องการตรวจจับคือประมาณ $2.7 \mu\text{A}$ ซึ่งจะเป็นกรณีคล้ายกับที่ 10 mA/cm^2 แต่ช่วงของการตอบสนองน้อยกว่าเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของการสร้างชั้นพอร์ซซิลิคอนใช้กระแสไฟฟ้า 20 mA/cm^2 ที่เวลา 10 นาที และใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 เมื่อนำมาสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ แล้วทำการวัดคุณสมบัติการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าของไอแอลกอฮอล์ เพื่อศึกษาผลการตอบสนองทางกระแสไฟฟ้า ซึ่งผลที่ได้จากการวัดคุณสมบัติการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าไอแอลกอฮอล์เป็นดังนี้

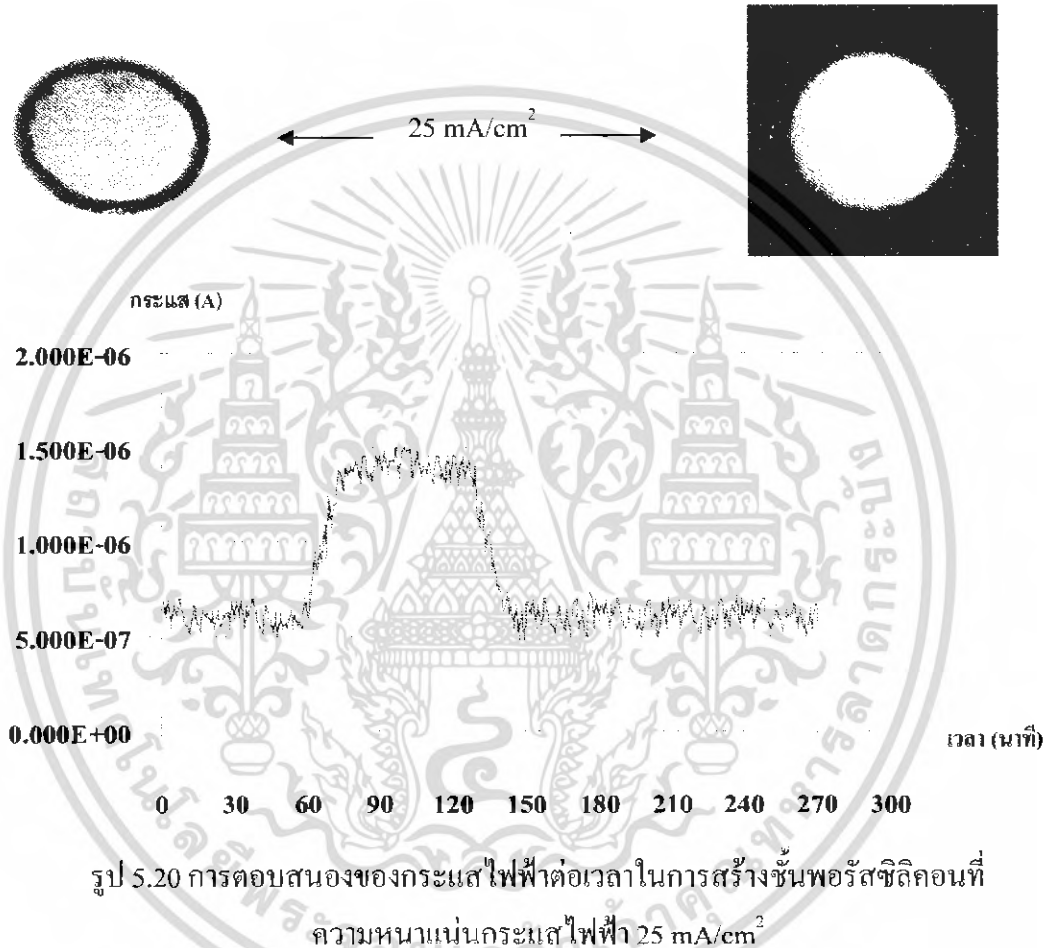


รูปที่ 5.19 การตอบสนองของกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการสร้างชั้นพอร์ซซิลิคอนที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 20 mA/cm^2

จากการทดลองโดยการป้อนกระแสไฟฟ้าขณะสร้างชั้นพอร์ซซิลิคอนที่ 20 mA/cm^2 ใช้เวลา 10 นาที และใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 ซึ่งจะทำให้มีความพรุนของพอร์ซซิลิคอนอยู่ที่ประมาณ 70% [ภาคผนวก] เมื่อนำมาสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ จะได้ผลตอบสนองทางกระแสไฟฟ้าเมื่อใช้วัดไอของแอลกอฮอล์อยู่ที่ $0.5 \mu\text{A}$ เมื่อไม่มีแอลกอฮอล์และเมื่อตรวจวัดแอลกอฮอล์แล้วจะทำให้มีกระแสไฟฟ้าสูงอยู่ที่ $3.2 \mu\text{A}$ ซึ่งความแตกต่างระหว่างห้องการตรวจจับคือ $2.7 \mu\text{A}$ ซึ่งจะเป็นกรณีคล้ายกับที่ 10 mA/cm^2 แต่ช่วงของการตอบสนองน้อยกว่าเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

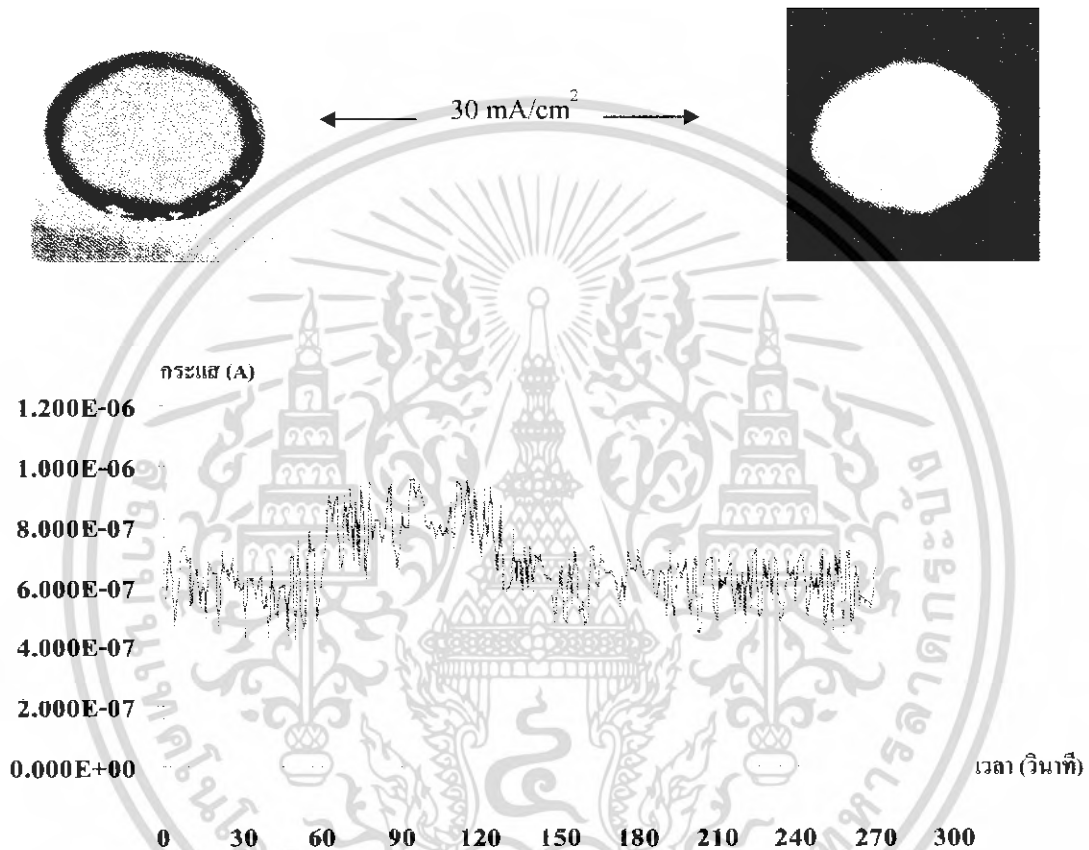
ผลของการสร้างชั้นพอร์ซิติคอนใช้กระแสไฟฟ้า 25 mA/cm^2 ที่เวลา 10 นาที และใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 เมื่อนำมาสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ แล้วทำการวัดคุณสมบัติการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าของไอแอลกอฮอล์ เพื่อศึกษาผลการตอบสนองทางกระแสไฟฟ้า ซึ่งผลที่ได้จากการวัดคุณสมบัติการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าไอแอลกอฮอล์เป็นดังนี้



จากการทดลองโดยการป้อนกระแสไฟฟ้าขณะสร้างชั้นพอร์ซิติคอนที่ 25 mA/cm^2 ใช้เวลา 10 นาที และใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 ซึ่งจะทำให้มีความพรุนของพอร์ซิติคอนอยู่ที่ประมาณ 87% [ภาคผนวก] เมื่อนำมาสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ จะได้ผลตอบสนองทางกระแสไฟฟ้าเมื่อใช้วัดไอของแอลกอฮอล์อยู่ที่ $0.6 \mu\text{A}$ เมื่อไม่มีแอลกอฮอล์และเมื่อตรวจวัดแอลกอฮอล์แล้วจะทำให้มีกระแสไฟฟ้าสูงอยู่ที่ $1.4 \mu\text{A}$ ซึ่งความแตกต่างระหว่างช่องการตรวจจับคือประมาณ $0.8 \mu\text{A}$ ซึ่งจะเป็นกรณีคล้ายกับที่ 10 mA/cm^2 แต่ช่วงของการตอบสนองน้อยกว่าเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของการสร้างชั้นพอร์ซซิลิคอนใช้กระแสไฟฟ้า 30 mA/cm^2 ที่เวลา 10 นาที และใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 เมื่อนำมาสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ แล้วทำการวัดคุณสมบัติการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าของไอแอลกอฮอล์ เพื่อศึกษาผลการตอบสนองทางกระแสไฟฟ้า ซึ่งผลที่ได้จากการวัดคุณสมบัติการตอบสนองของกระแสไฟฟ้าไอแอลกอฮอล์เป็นดังนี้

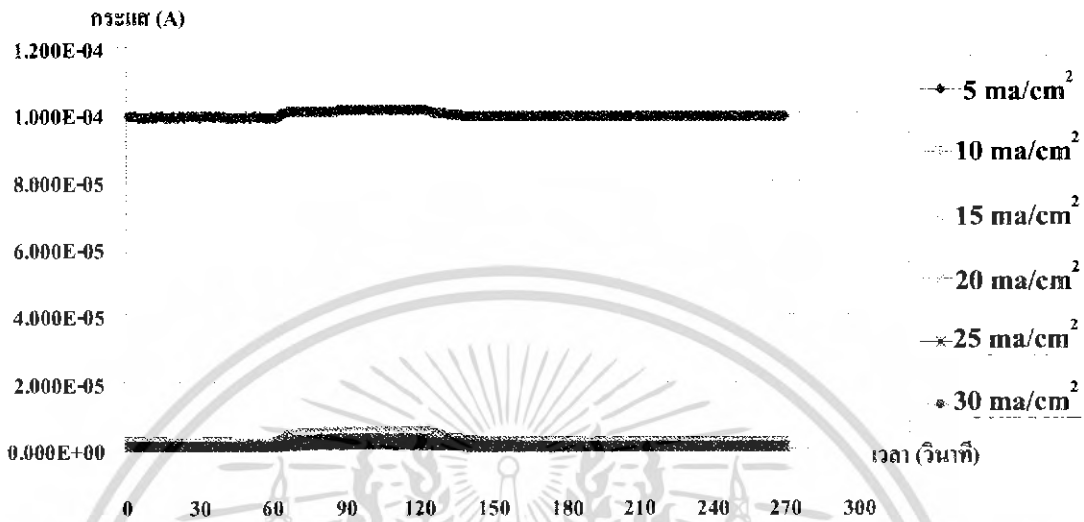


รูปที่ 5.21 การตอบสนองของกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการสร้างชั้นพอร์ซซิลิคอนที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 30 mA/cm^2

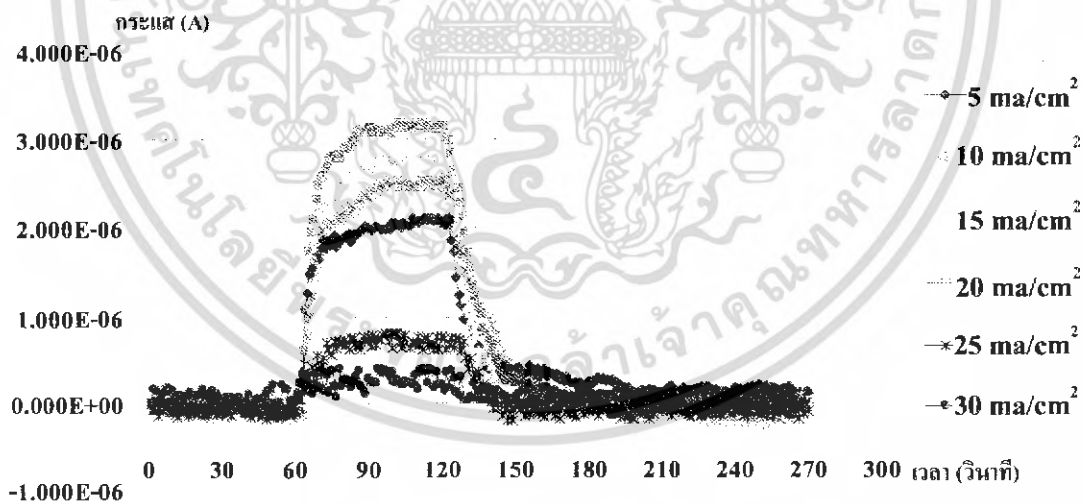
จากการทดลองโดยการป้อนกระแสไฟฟ้าขณะสร้างชั้นพอร์ซซิลิคอนที่ 30 mA/cm^2 ใช้เวลา 10 นาที และใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 ซึ่งจะทำให้มีความพรุนของพอร์ซซิลิคอนอยู่ที่ประมาณ 90% [ภาคผนวก] เมื่อนำมาสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ จะได้ผลตอบสนองทางกระแสไฟฟ้าเมื่อใช้วัดไอของแอลกอฮอล์อยู่ที่ $0.5 \mu\text{A}$ เมื่อไม่มีแอลกอฮอล์และเมื่อตรวจวัดแอลกอฮอล์แล้วจะทำให้มีกระแสไฟฟ้าสูงอยู่ที่ $0.9 \mu\text{A}$ ซึ่งความแตกต่างระหว่างช่องการตรวจจับคือประมาณ $0.4 \mu\text{A}$ ซึ่งจะเป็นกรณีคล้ายกับที่ 10 mA/cm^2 แต่ช่วงของการตอบสนองน้อยกว่าเล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อนำมาเปรียบเทียบการรูปของพอร์ซซิเลียนที่สร้างที่เวลาต่างๆ กันจะได้ผลดังนี้



รูปที่ 5.22 ผลการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอล 4:1 ที่เวลา 10 นาที ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าต่างๆ กัน



รูปที่ 5.23 ผลการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ที่อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก ต่อเอทานอล 4:1 อ้างอิงที่ 0 A

จากรูปของการวัดไอแอลกอฮอล์ข้างต้น เมื่อนำมาเปรียบเทียบกัน จะเห็นได้ว่า ที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 5 mA/cm² แม้จะให้ผลตอบสนองทางกระแสไฟฟ้ามาก แต่ความแตกต่าง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของค่ากระแสไฟฟ้า เมื่อมีการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ มีค่าน้อยกว่าที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 ค่ากระแสไฟฟ้าได้ขึ้นและไต่ลงของการสร้างที่ 10 นาที ก็มีความไวมากกว่าเมื่อเทียบกับเวลาการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอนที่เวลาอื่นๆ ดังนั้นจึงเลือกเวลาที่ 10 นาทีมาเป็นเวลาในการสร้างชั้นพอร์สซิลิคอน แล้วทำการปรับค่า ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า เพื่อให้ผลการตอบสนองทางกระแสไฟฟ้า และเวลาการตอบสนองที่ดีขึ้นอีก



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง

ปฏิญานินพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาถึงกระบวนการสร้างชั้นพอร์สซิติคอน เพื่อให้มีคุณภาพที่เหมาะสมที่จะเป็นอุปกรณ์ตรวจจับไอของแอลกอฮอล์ โดยพอร์สซิติคอนที่สร้างขึ้นสามารถสร้างได้จากกระบวนการกัดทางไฟฟ้าเคมีที่เรียกว่าแอนโนไดซ์เซชัน (anodization) บนผลึกซิติคอนในสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก (HF) โดยแบ่งเนื้อหาออกเป็น 4 ส่วนใหญ่ๆ ดังนี้

1. ส่วนการสร้างพอร์สซิติคอนโดยผสมในสารละลายต่างกัน คือ สร้างด้วยการผสมสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกกับน้ำบริสุทธิ์ และการผสมสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกกับเอทานอล ซึ่งจากการศึกษาการสร้างชั้นพอร์สซิติคอน พบว่าการใช้สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกผสมกับเอทานอลจะทำให้ได้ชั้นพอร์สซิติคอนที่มีความสม่ำเสมอมากกว่าการสร้างด้วยการผสมสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกกับน้ำบริสุทธิ์ เนื่องจากเอทานอลช่วยลดความตึงผิวของสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกทำให้เกิดฟองอากาศน้อยลง

2. หลังจากได้ชนิดของสารละลายไฮโดรฟลูออริกแล้ว ทำการศึกษาถึงอัตราส่วนของสารละลายไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอล เพื่อให้ได้ชั้นพอร์สซิติคอนที่ได้มีความสม่ำเสมอมากขึ้น ซึ่งจากการศึกษาถึงอัตราส่วนของสารละลายพบว่า ที่อัตราส่วนของสารละลายที่เหมาะสมคือใช้ไฮโดรฟลูออริก 4 ส่วน ต่อ เอทานอล 1 ส่วน จะมีความสม่ำเสมอและไม่แตกหักง่าย

3. เมื่อได้อัตราส่วนของสารละลายไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลที่เหมาะสมแล้ว ทำการศึกษาต่อถึงระยะเวลาที่ใช้ในการกัดทางไฟฟ้าเคมี โดย การทดลองสร้างที่เวลาต่างๆ กัน ซึ่งผลที่ได้จากการสร้างชั้นพอร์สซิติคอน เมื่อทำการทดสอบถึงคุณสมบัติการเรืองแสง พบว่าการสร้างที่เวลาต่างๆ กัน คือ 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 20 นาที และ 25 นาที แต่ละตัวมีคุณสมบัติในการเรืองแสงที่ใกล้เคียงกัน จึงนำมาทดลองสร้างเป็นอุปกรณ์ตรวจจับไอแอลกอฮอล์ ซึ่งผลที่ได้คือที่เวลา 5 นาที ซึ่งมีค่าความพรุนประมาณ 60 เปอร์เซ็นต์ จะให้ผลการตอบสนองทางกระแสสูงสุด แต่ความแตกต่างของกระแส เมื่อมีการวัดค่าไอแอลกอฮอล์ และ ไม่มีการวัดค่าไอแอลกอฮอล์ มีค่าต่างกัน เพียง $1.4 \mu\text{A}$ ซึ่งมีค่าน้อยกว่าการกัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่ใช้เวลา 10 นาที (ความพรุนประมาณ 65 เปอร์เซ็นต์) และเมื่อพิจารณาเวลาการกัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่ใช้เวลา 15 นาที (มีความพรุนประมาณ 76 เปอร์เซ็นต์) พบว่ามีความแตกต่างระหว่างกระแสขณะมีไอแอลกอฮอล์และไม่มีไอแอลกอฮอล์พอๆ กัน แต่ช่วงเวลาที่ 15 นาทีจะมีการตอบสนองทางกระแสน้อยกว่าการกัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่ใช้เวลา 10 นาที ส่วนช่วงเวลาที่ใช้ในการกัดด้วยไฟฟ้าเคมีในช่วงอื่นๆ มีค่าการตอบสนองทางกระแสต่ำกว่าการกัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่ใช้เวลา 10 นาทีมาก จึงไม่นำมาพิจารณา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. เมื่อได้อัตราส่วนของสารละลายไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอล และเวลาที่ใช้ในการกัดด้วยไฟฟ้าเคมีที่เหมาะสมแล้ว จากนั้นทำการพิจารณาถึงผลของความหนาแน่นกระแสต่อพื้นที่การกัดด้วยไฟฟ้าเคมี โดยทำการสร้างด้วยความหนาแน่นไฟฟ้าต่างๆกัน คือที่ 5 mA/cm^2 , 10 mA/cm^2 , 15 mA/cm^2 , 20 mA/cm^2 , 25 mA/cm^2 และ 30 mA/cm^2 ผลที่ได้พบว่า การกัดด้วยไฟฟ้าเคมีโดยป้อนกระแส 5 mA/cm^2 จะให้ผลการตอบสนองทางกระแสสูงถึง $101 \mu\text{A}$ ทั้งนี้เนื่องจากมีความพรุนต่ำ(ความต้านทานจึงต้านกระแสไฟฟ้าได้ดี) แต่เมื่อพิจารณาถึงความแตกต่างของการวัดไอแอลกอสอลต์เมื่อมีไอแอลกอสอลต์และไม่มีไอแอลกอสอลต์ จะเห็นได้ว่า การกัดด้วยไฟฟ้าเคมีโดยให้ความหนาแน่นกระแส 10 mA/cm^2 มีช่วงความแตกต่างของกระแสที่ได้จากการวัดสูงสุด

จึงกล่าวได้ว่าการสร้างชั้นพอร์ซซิลิคอนเพื่อให้มีคุณสมบัติเหมาะสมในการตรวจจับไอแอลกอสอลต์ที่ดีจะใช้ สารละลายไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลที่ 4:1 ใช้เวลาในการกัดด้วยไฟฟ้าเคมี 10 นาที และใช้ความหนาแน่นกระแสต่อพื้นที่เป็น 10 mA/cm^2 จะทำให้ได้พอร์ซซิลิคอนที่ไม่พรุนมากหรือน้อยจนเกินไป และมีคุณสมบัติเหมาะสมที่จะนำไปเป็นอุปกรณ์ตรวจจับ ไอแอลกอสอลต์

บรรณานุกรม

1. รศ.ดร. สมเกียรติ ศุภเศษ, อิเล็กทรอนิกส์สารกึ่งตัวนำ, พิมพ์ครั้งที่ 1, 2521
2. นรินทร์ อติวงศ์แสงทอง, “การศึกษาคุณสมบัติลูมิเนสเซนซ์ของชั้นพอร์สซิลิคอน”
วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ
ทหารลาดกระบัง, 2542
3. D. A. Neamen, SEMICONDUCTOR PHYSICS AND DEVICES, IRWIN, INC, 1992.
4. F. Kozłowski and W. Lang, “Spatially resolved measurement at electroluminescent
porous silicon”, J. Appl. Phys., Vol. 72, No. 11, 1992.
5. W. Lang, P. Steiner, H. sandmaier, “Porous silico : anovel material for microsystem”,
Sensor and Actuators A51, 1995.

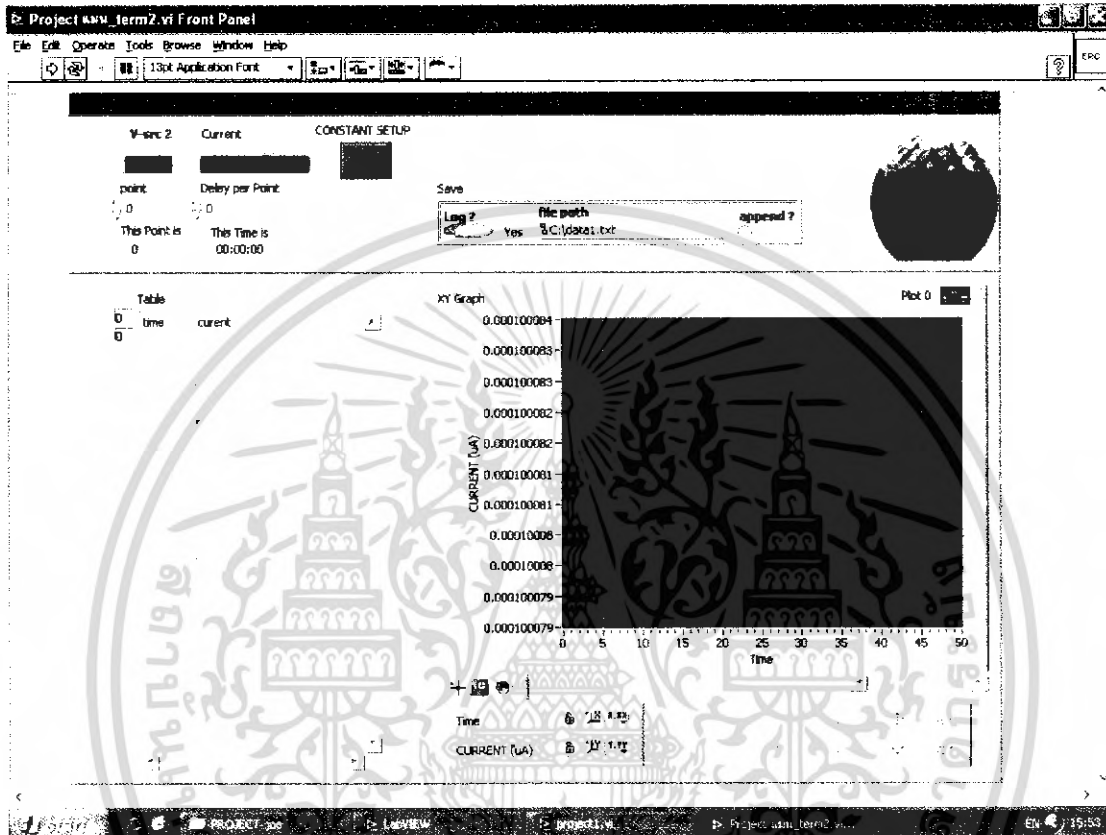
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

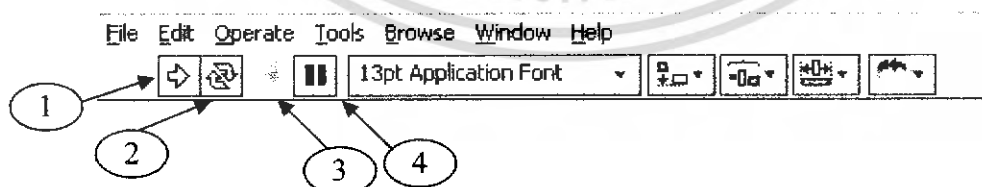
ภาคผนวก ก

ส่วนโปรแกรมที่ช่วยในการวัดค่าปริมาณกระแสไฟฟ้าต่อเวลา
 ภาพหน้าจอของ โปรแกรมที่ใช้ในการวัดปริมาณกระแสต่อเวลา



แบ่งโปรแกรมออกเป็นส่วนต่างๆ ได้ 5 ส่วนสำคัญดังนี้

1. ส่วนของ โปรแกรม Labview ซึ่งเป็นส่วนที่ใช้ในการควบคุมการทำงานหลักของโปรแกรมที่ใช้วัดปริมาณกระแสต่อเวลา ซึ่งที่ใช้งาน ซึ่งแสดงได้ดังภาพ



มีวิธีการใช้งานหลักๆ ดังนี้

ปุ่ม (1) จะเป็นการสั่งให้โปรแกรมที่เขียนขึ้นทำงานจนครบรอบ หรือจนกว่าจะครบเงื่อนไขจึงออกจากโปรแกรม ตัวอย่างเช่น โปรแกรม กำหนดให้ทำงาน 3 รอบ เมื่อกดปุ่มนี้ โปรแกรมจะทำงานจนครบ 3 รอบ แล้วออกจากโปรแกรมทันที

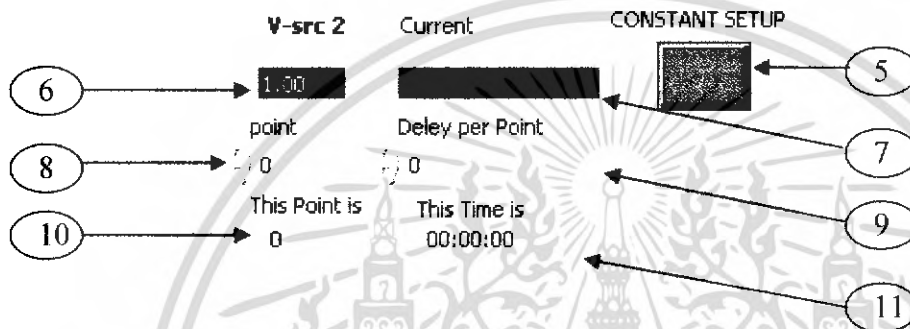
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปุ่ม (2) จะเป็นการสั่งให้โปรแกรมที่เขียนขึ้นทำงานไปเรื่อยๆ จนกว่าจะมีการกดปุ่ม (3) หรือปุ่ม (4) หากโปรแกรมทำงานครบรอบ หรือครบตามเงื่อนไขแล้ว โปรแกรมที่เขียนขึ้นจะยังไม่ออกจากโปรแกรม แต่จะทำงานวนซ้ำไปเรื่อยๆ

ปุ่ม (3) ใช้หยุดการทำงานของโปรแกรม

ปุ่ม (4) ใช้หยุดการทำงานของโปรแกรมชั่วคราว

2. ส่วนการตั้งค่าการทำงานของโปรแกรมวัดค่ากระแสต่อเวลาโดยมีวิธีการใช้งานดังนี้



ปุ่ม (5) ขึ้นชั้นการการป้อนค่าต่างๆ สำหรับการวัดปริมาณกระแส ต่อแรงดัน

(6) ใช้กำหนดแรงดันคงที่ ให้กับวงจร เพื่อทำการวัดค่ากระแสที่เวลาต่างๆ

(7) ส่วนแสดงค่าของกระแสที่วัดได้

(8) ส่วนที่กำหนดจำนวนจุดของการวัด หรือ จำนวนครั้งของการวัดค่า

(9) ส่วนการกำหนดเวลาห่างของแต่ละจุดที่ต้องการวัดมีหน่วยเป็น ms

(10) ส่วนแสดงว่าเวลาขณะนั้น กำลังวัดจุดที่เท่าใด

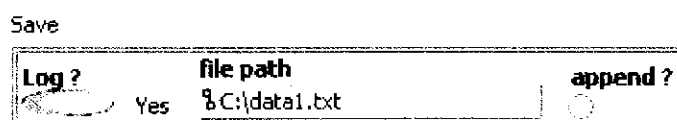
(11) แสดงเวลาที่เวลาขณะทำการวัด

ตัวอย่างการใช้งานส่วนนี้ เช่น กรณีต้องการวัดค่ากระแสเป็นเวลา 4 นาที หรือ 240 วินาที

โดยกำหนดแรงดันเป็น 15 V

ต้องการวัดทั้งหมด 240 จุด(จุดละวินาที) ให้กำหนด (8) เป็น 240 และ (9) เป็น 1000 จากนั้นกดปุ่ม (5) จากนั้นกดปุ่ม (1) โปรแกรมจะทำการวัดค่าไปเรื่อยๆ ทุกๆ ระยะเวลา 1 วินาที จนครบ 240 วินาที โปรแกรมจะหยุดทำงานเองอัตโนมัติ ส่วน (11) จะช่วยจับเวลาการทำงานตั้งแต่เริ่ม ต้นทำงานของโปรแกรม

3. ส่วนบันทึกผล



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนนี้จะช่วยในการบันทึกค่าข้อมูลที่วัดได้ โดยการบันทึก จะต้อง กดปุ่ม Log ? ไปที่ Yes แล้วกำหนดตำแหน่งและไฟล์ที่เราต้องการบันทึก

4. ส่วนตาราง

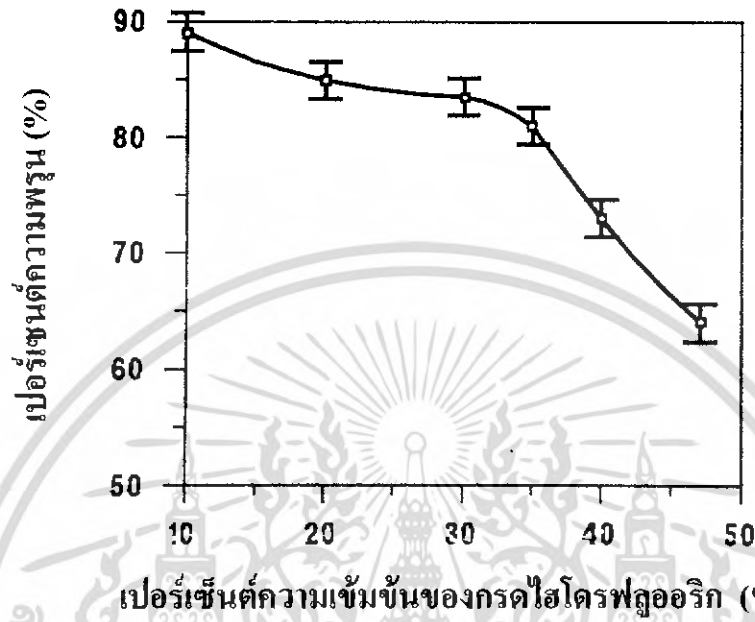
ส่วนนี้จะแสดงข้อมูลที่วัด ได้ออกมาเป็นตารางให้รู้ข้อมูล ซึ่งข้อมูลที่แสดงออกมานี้จะแสดงเมื่อการทำงานของโปรแกรมสิ้นสุดลงแล้ว โดยค่าในตารางจะมี 2 ส่วนคือ ส่วนที่เป็นเวลา และส่วนที่เป็นค่าที่วัดได้

5. ส่วนแสดงกราฟ

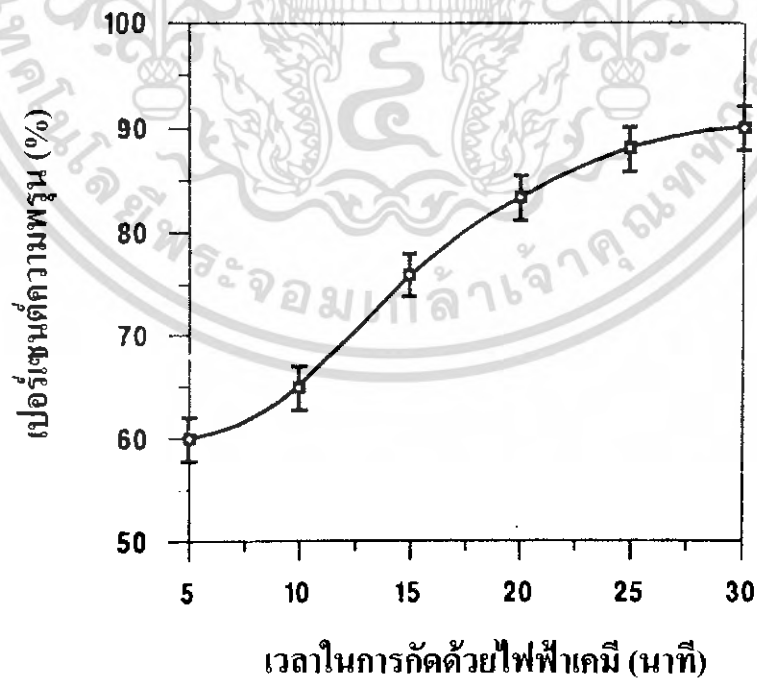
ส่วนนี้จะแสดงผลของข้อมูลออกมาเป็นกราฟเพื่อให้สะดวกแก่การสังเกตค่า และสามารถดูรายละเอียดของข้อมูลที่วัดออกมาได้



ภาคผนวก ข
ข้อมูลอ้างอิงเกี่ยวกับความพรุน

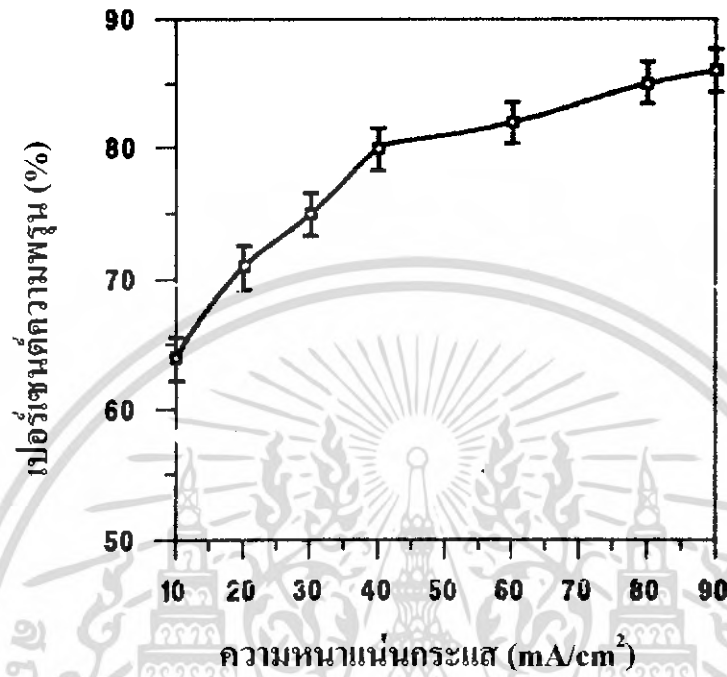


ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์สซิติคอนกับปริมาณความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก ที่ใช้ในระหว่างการกัดด้วยไฟฟ้าเคมี



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์ซซิติคอนกับเวลาที่ใช้ใน
การระเหว้งการกักด้วยไฟฟ้าเคมี



ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นพอร์ซซิติคอนกับความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่
ใช้ในระเหว้งการกักด้วยไฟฟ้าเคมี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้