

บทที่ 5

การทดลอง และผลการทดลอง

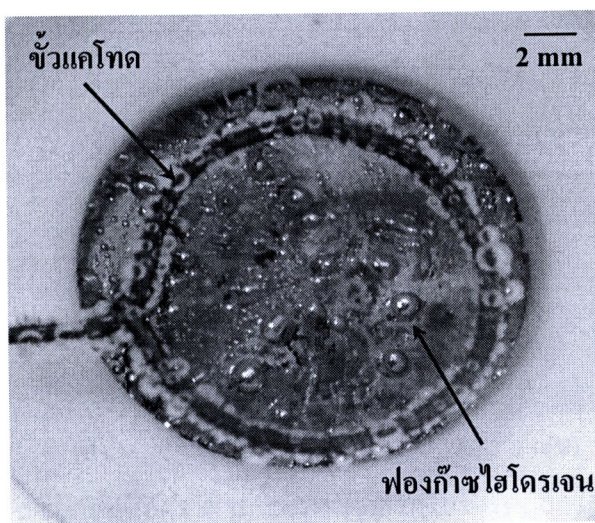
ในบทนี้ จะกล่าวถึงผลการทดลองในการสร้างชั้นนาโนพอร์สซิลิกอน และผลการตรวจจذبไอระเหยของสารเคมีของชั้นนาโนพอร์สซิลิกอน ซึ่งมีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

5.1 การทดลองเพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกในการสร้างชั้นนาโนพอร์สซิลิกอน

การทดลองนี้ทำการศึกษาถึง ผลของความเข้มข้นสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อน้ำบริสุทธิ์ เป็น 5:1, 4:1, 3:1, 2:1 และ 1:1 โดยปริมาตรตามลำดับ เปรียบเทียบกับ ผลของความเข้มข้นสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอล เป็น 5:1, 4:1, 3:1, 2:1 และ 1:1 โดยปริมาตรตามลำดับ ในการสร้างชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนด้วยวิธีการแอโนไดเซชัน

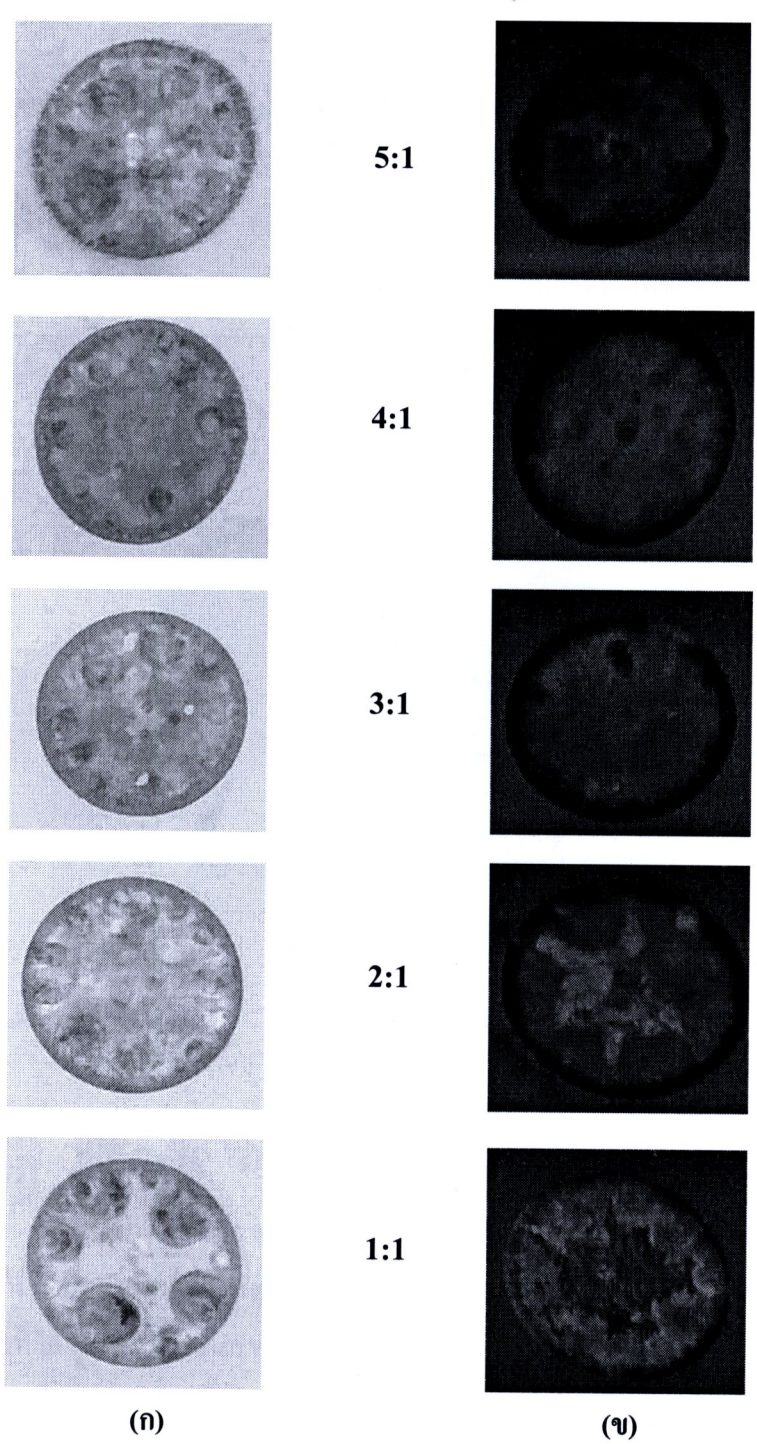
5.1.1 ผลของความเข้มข้นสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อน้ำบริสุทธิ์

ทำการสร้างชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนด้วยวิธีการแอโนไดเซชัน โดยใช้ เวลา 10 นาที ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก (47.8%) ต่อน้ำบริสุทธิ์ เป็น 5:1, 4:1, 3:1, 2:1 และ 1:1 โดยปริมาตรตามลำดับ จะเกิดฟองก๊าซไฮโดรเจนรวมตัวกันเป็นกลุ่มฟองก๊าซขนาดใหญ่ แสดงดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 การสร้างชั้นนาโนพอร์สซิลิกอน อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อน้ำบริสุทธิ์ เป็น 4:1 โดยปริมาตร

จากรูปที่ 5.1 สังเกตได้ว่า ขณะทำการสร้างชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนจะเกิดฟองก๊าซไฮโดรเจนเป็นจำนวนมากที่บริเวณผิวหน้าของแผ่นซิลิกอนที่สัมผัสกับสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก ส่งผลทำให้เกิดความไม่สม่ำเสมอของชั้นนาโนพอร์สซิลิกอน แสดงดังรูปที่ 5.2

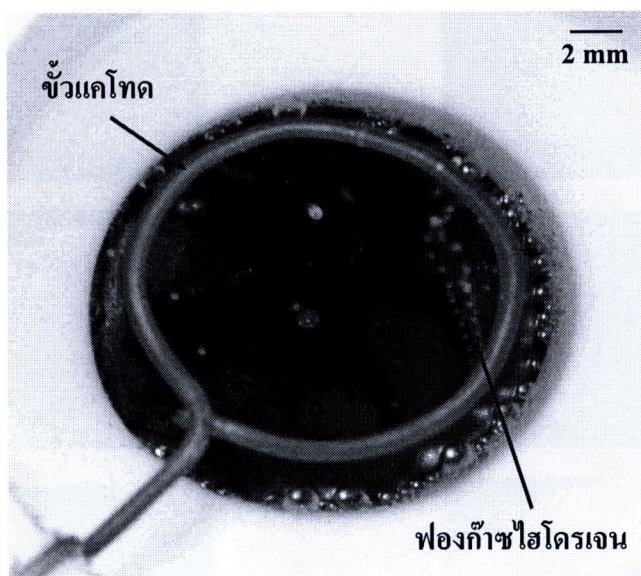


รูปที่ 5.2 ชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนที่อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อน้ำบริสุทธิ์ต่างๆ กัน
(ก) พื้นผิวของชั้นนาโนพอร์สซิลิกอน (ข) การเรืองแสงของชั้นนาโนพอร์สซิลิกอน

จากรูปที่ 5.2 (ก) สังเกตได้ว่าที่อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อน้ำบริสุทธิ์เป็น 4:1 เกิดชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนที่มีความสม่ำเสมอมากกว่าอัตราส่วนอื่นๆ และสังเกตสมบัติการเรืองแสงของชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนด้วยการฉายแสงจากหลอดแบลคไลต์ (black light) ที่มีความยาวคลื่น 365 nm ดังรูปที่ 5.2 (ข) สังเกตได้ว่าที่ อัตราส่วน 4:1 มีการเรืองแสงสม่ำเสมอมากกว่าอัตราส่วนอื่นๆ

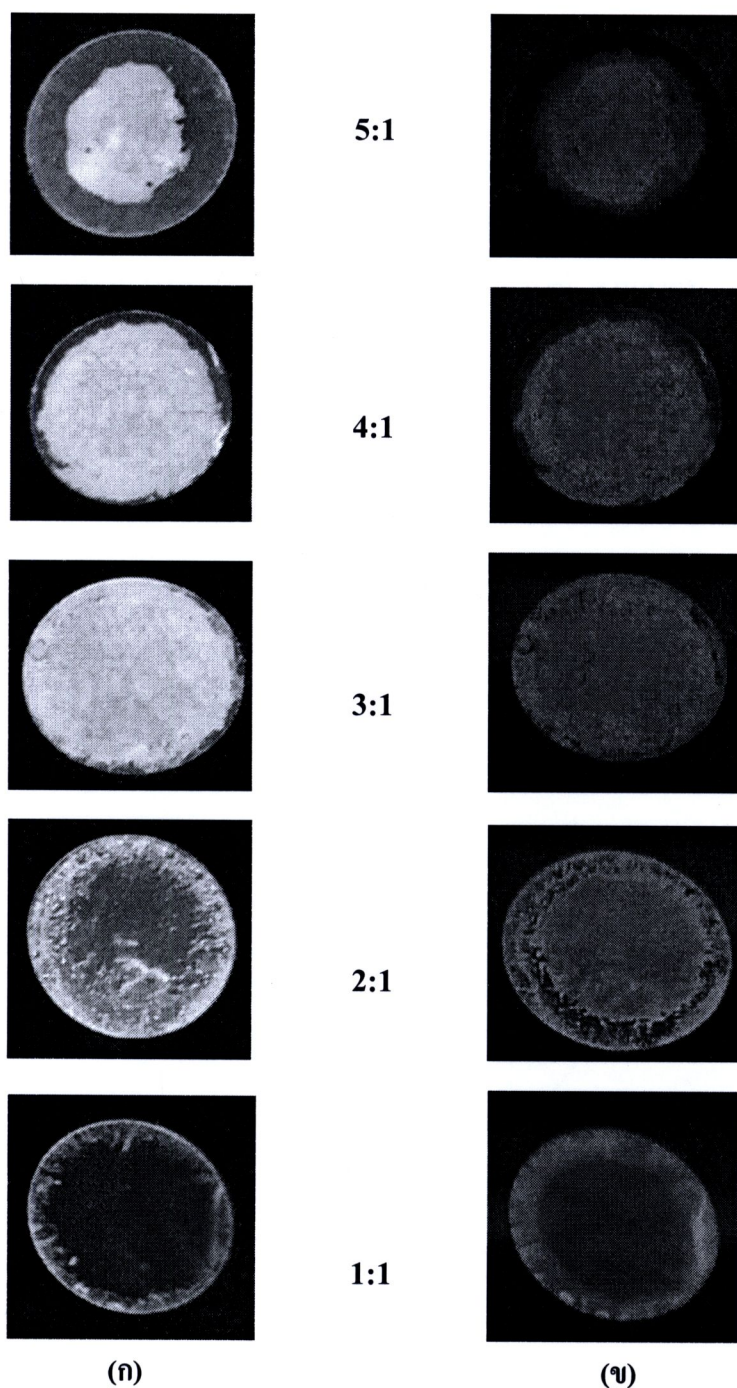
5.1.2 ผลของความเข้มข้นสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอล

ทำการสร้างชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนด้วยวิธีการแอโนไดเซชัน โดยใช้ เวลา 10 นาที ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริก (47.8%) ต่อเอทานอล (100%) เป็น 5:1, 4:1, 3:1, 2:1 และ 1:1 โดยปริมาตรตามลำดับ ได้ช่วยลดการเกิดฟองก๊าซไฮโดรเจนที่รวมตัวกันเป็นกลุ่มฟองก๊าซขนาดใหญ่ แสดงดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 การสร้างชั้นนาโนพอร์สซิลิกอน อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 โดยปริมาตร

จากรูปที่ 5.3 สังเกตได้ว่าขณะทำการสร้างชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนจะเกิดฟองก๊าซไฮโดรเจนเป็นจำนวนน้อย ส่งผลทำให้ชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนที่ได้มีความสม่ำเสมอมากกว่าชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนที่ได้จากอัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อน้ำบริสุทธิ์ เนื่องจากเอทานอลไปช่วยลดแรงตึงผิวของสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกทำให้ลดจำนวนฟองก๊าซไฮโดรเจนที่รวมตัวกันเป็นกลุ่มฟองก๊าซที่มีขนาดใหญ่บริเวณผิวหน้าของแผ่นซิลิกอนซึ่งเป็นสาเหตุทำให้สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกสามารถเข้าถึงผิวหน้าของแผ่นซิลิกอนได้ดี จึงได้ชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนที่มีความสม่ำเสมอ แสดงดังรูปที่ 5.4

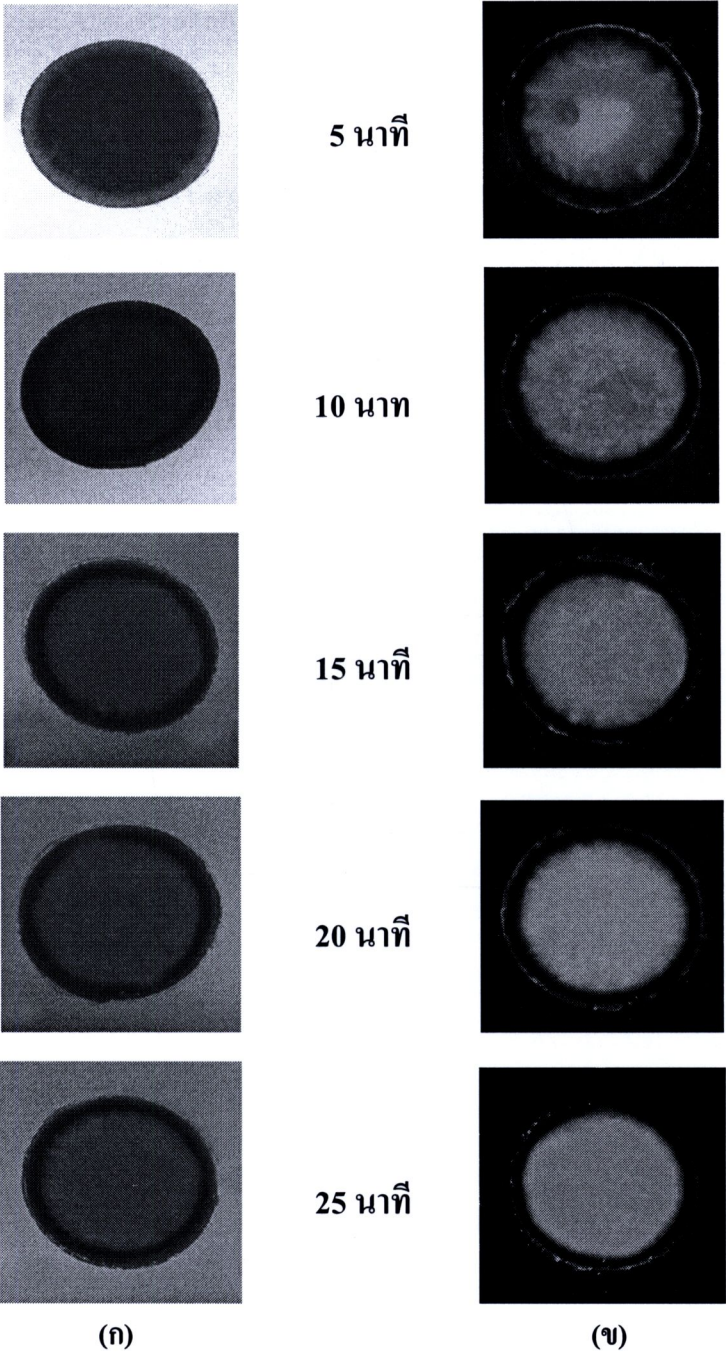


รูปที่ 5.4 ชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนที่อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลต่างๆ กัน
(ก) พื้นผิวของชั้นนาโนพอร์สซิลิกอน (ข) การเรืองแสงของชั้นนาโนพอร์สซิลิกอน

จากรูปที่ 5.4 (ก) สังเกตได้ว่าที่อัตราส่วน 4:1 มีความสม่ำเสมอมากกว่าอัตราส่วนอื่นๆ พร้อมทั้งมีโครงสร้างที่ไม่เปราะบางแตกหักง่าย ซึ่งที่อัตราส่วน 3:1, 2:1, 1:1 มีโครงสร้างที่เปราะบางแตกหักง่าย และสังเกตสมบัติการเรืองแสงของชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนด้วยการฉายแสงจากหลอดแบบเลด ดังรูปที่ 5.4 (ข) สังเกตได้ว่าที่อัตราส่วน 4:1 มีการเรืองแสงสม่ำเสมอมากกว่าอัตราส่วนอื่นๆ

5.2 การทดลองเพื่อศึกษาผลของเวลาในการสร้างชั้นนาโนพอร์สซิลิกอน

การทดลองนี้ทำการศึกษาถึง ผลของเวลาในการสร้างชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนด้วยวิธีการแอโนไดซ์เซชัน โดยทำการสร้างชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนด้วยวิธีการแอโนไดซ์เซชัน ใช้อัตราส่วน สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 โดยปริมาตร ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm² ที่เวลา 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 20 นาที และ 25 นาที ตามลำดับ ได้ชั้นนาโนพอร์สซิลิกอน แสดงดังรูปที่ 5.5

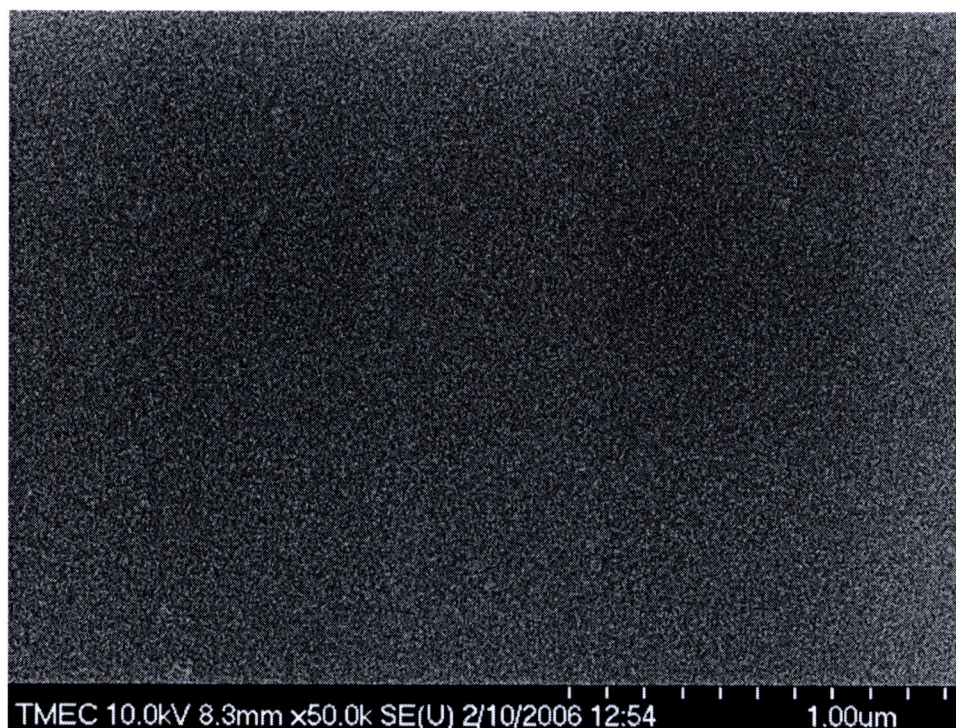


รูปที่ 5.5 ชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนที่เวลาในการสร้างต่างๆ กัน
(ก) พื้นผิวของชั้นนาโนพอร์สซิลิกอน (ข) การเรืองแสงของชั้นนาโนพอร์สซิลิกอน

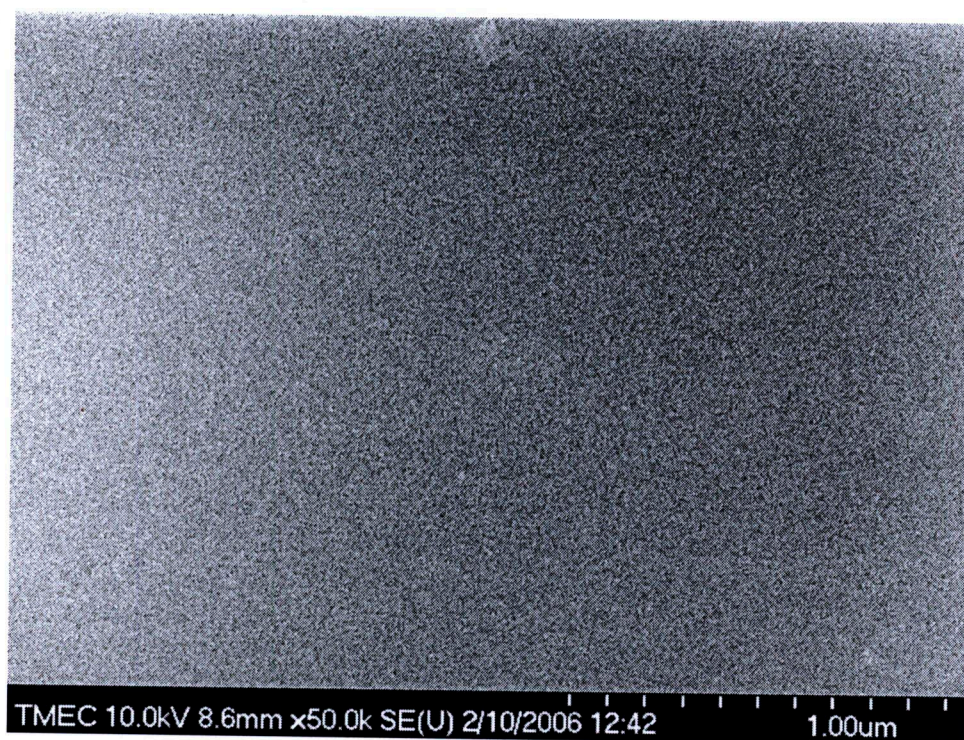
จากรูปที่ 5.5 (ก) สังเกตได้ว่าเมื่อใช้เวลามากขึ้นสีของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนจะมีการเปลี่ยนแปลงจากสีน้ำตาลเข้มไปเป็นสีน้ำตาลอ่อน และเมื่อสังเกตสมบัติการเรืองแสงของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน ด้วยการฉายแสงจากหลอดแบลคไลต์ แสดงดังรูปที่ 5.5 (ข) สังเกตได้ว่าสีในการเรืองแสงของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนจะมีการเปลี่ยนแปลงจากสีส้มเข้มไปเป็นสีส้มอ่อน เนื่องจากการใช้เวลาในการกัดเพิ่มมากขึ้น โครงสร้างของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนจึงถูกกัดนานขึ้นส่งผลทำให้ความพรุนของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนมีเพิ่มมากขึ้นจึงทำให้สีพื้นผิวเปลี่ยนแปลงจากสีน้ำตาลเข้มไปเป็นสีน้ำตาลอ่อน และการเรืองแสงของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนจึงมีการเปลี่ยนแปลงจากสีส้มเข้มไปเป็นสีส้มอ่อน

5.2.1 ผลการทดลองศึกษาโครงสร้างของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนด้วยเครื่อง SEM

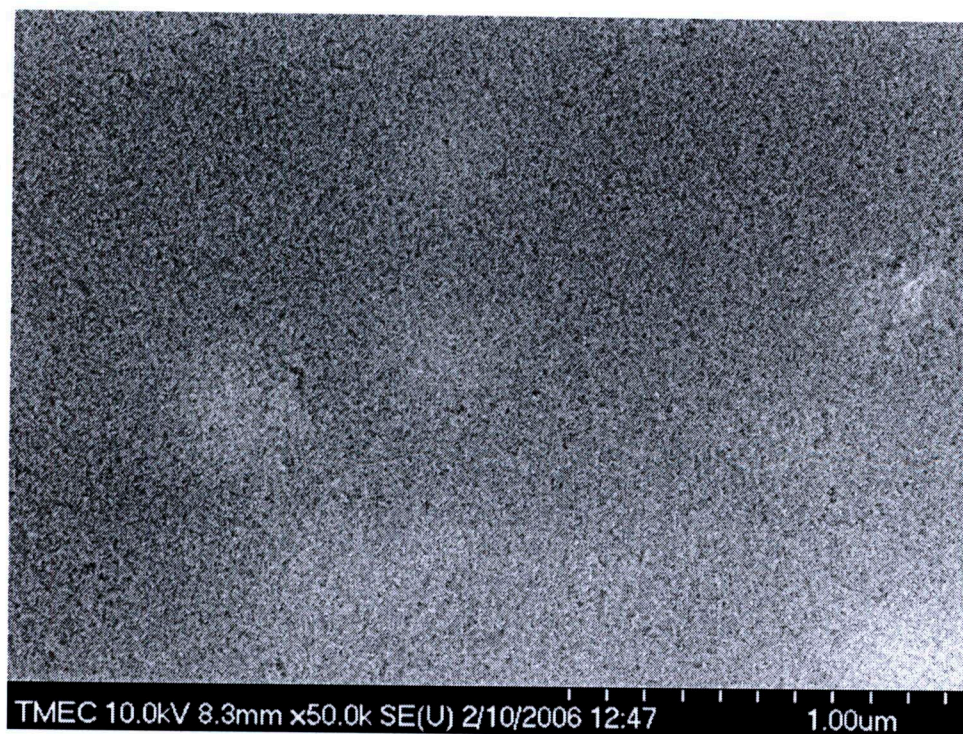
ทำการศึกษาลักษณะโครงสร้างของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนที่สร้างโดยอัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 โดยปริมาตร ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 ที่เวลา 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที และ 20 นาที ตามลำดับ ซึ่งได้นำไปวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างด้วยเครื่อง SEM แสดงดังรูปที่ 5.6-5.13



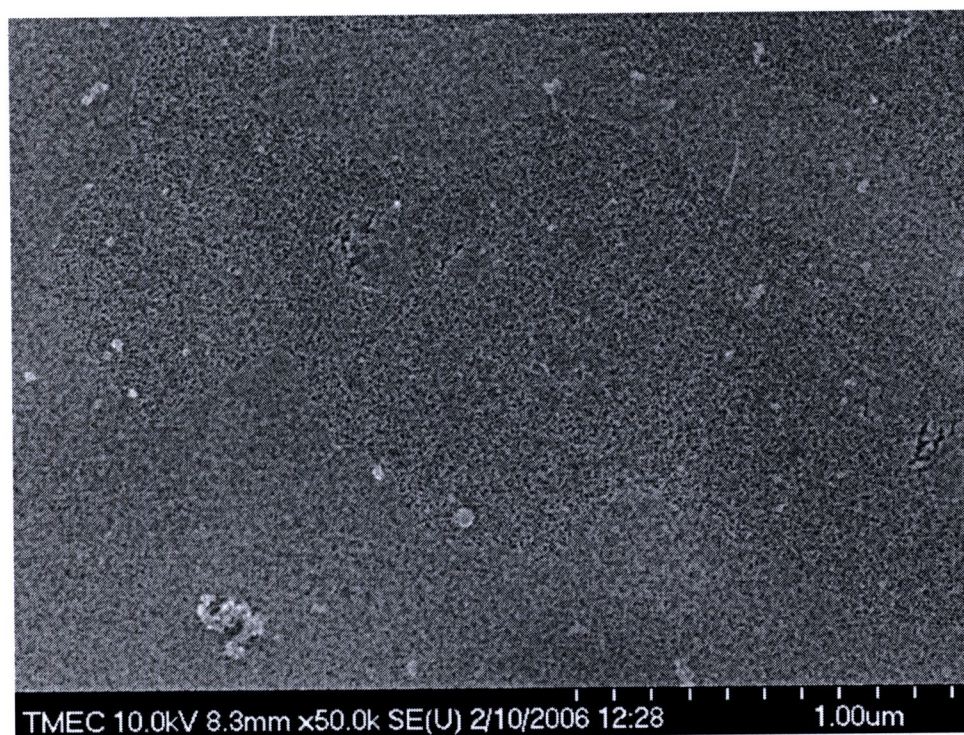
รูปที่ 5.6 ภาพพื้นผิวของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน โดยใช้เวลาในการสร้าง 5 นาที



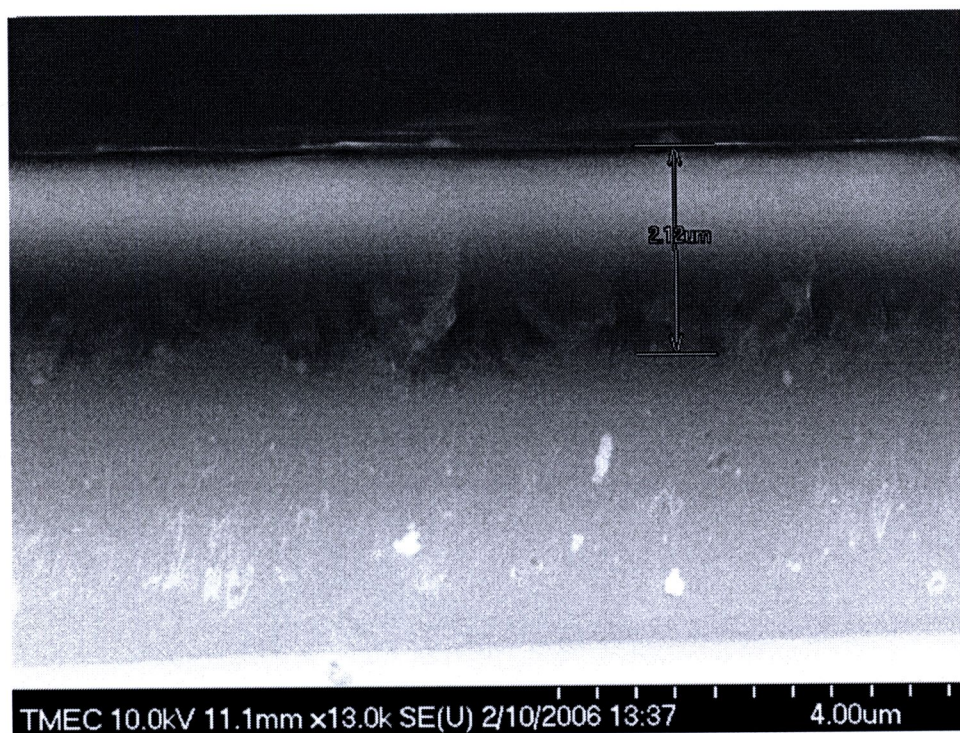
รูปที่ 5.7 ภาพพื้นผิวของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน โดยใช้เวลาในการสร้าง 10 นาที



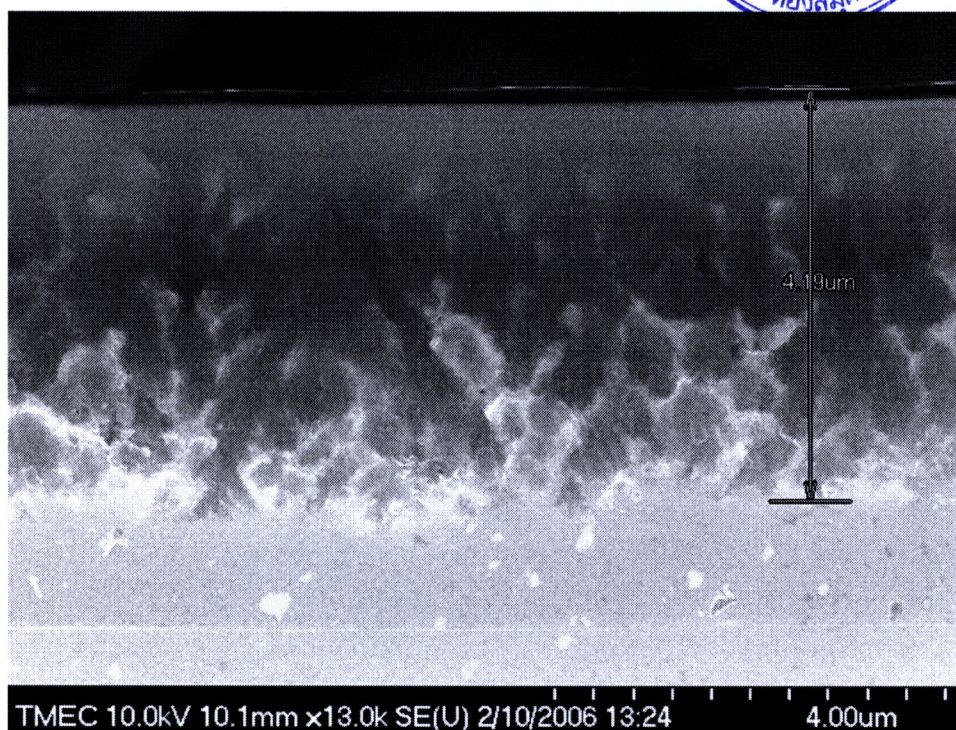
รูปที่ 5.8 ภาพพื้นผิวของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน โดยใช้เวลาในการสร้าง 15 นาที



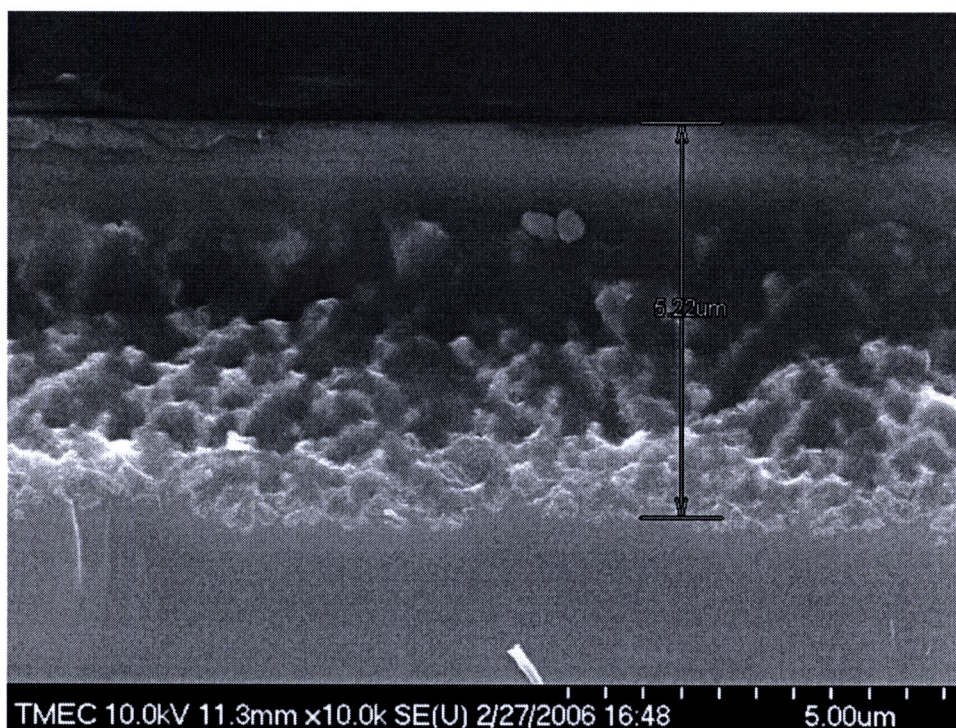
รูปที่ 5.9 ภาพพื้นผิวของชั้นนาโนพอร์สซิลิกอน โดยใช้เวลาในการสร้าง 20 นาที



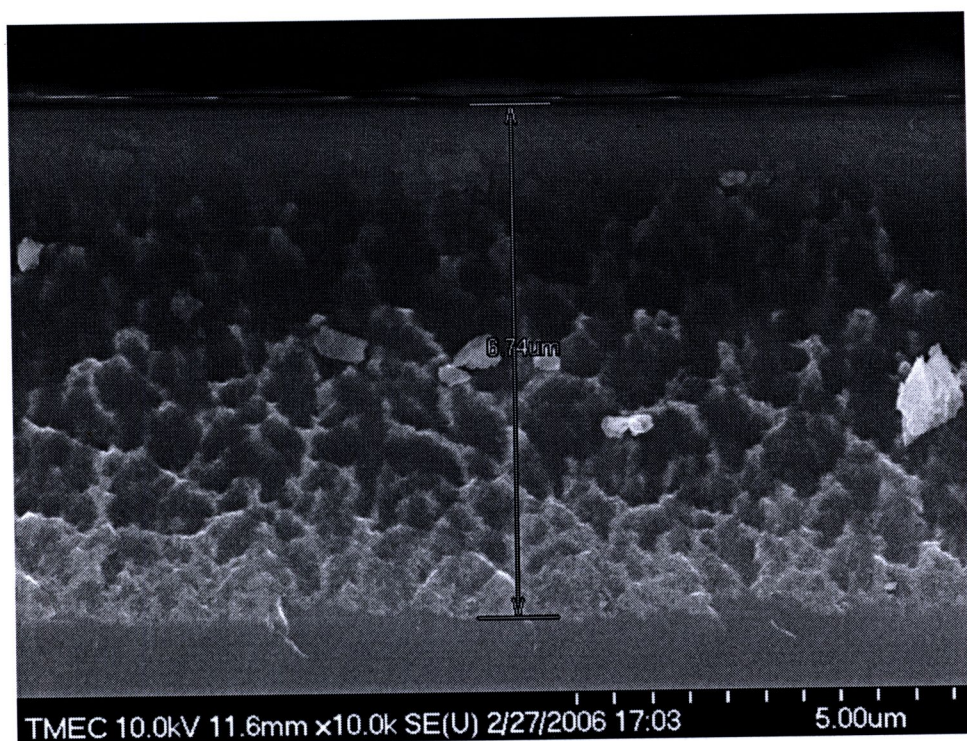
รูปที่ 5.10 ภาพตัดขวางของชั้นนาโนพอร์สซิลิกอน โดยใช้เวลาในการสร้าง 5 นาที



รูปที่ 5.11 ภาพตัดขวางของชั้นนาโนพอร์ซิลิคอน โดยใช้เวลาในการสร้าง 10 นาที



รูปที่ 5.12 ภาพตัดขวางของชั้นนาโนพอร์ซิลิคอน โดยใช้เวลาในการสร้าง 15 นาที

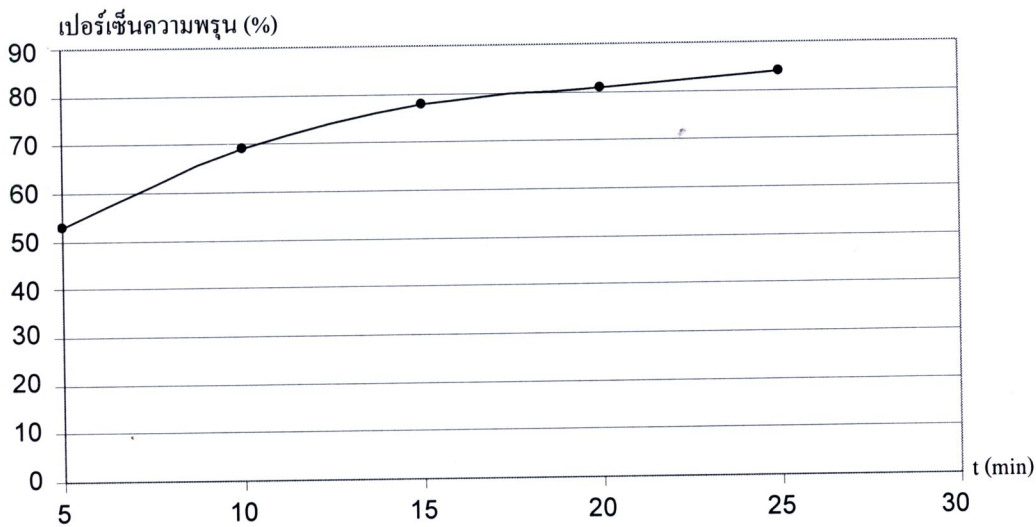


รูปที่ 5.13 ภาพตัดขวางของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน โดยใช้เวลาในการสร้าง 20 นาที

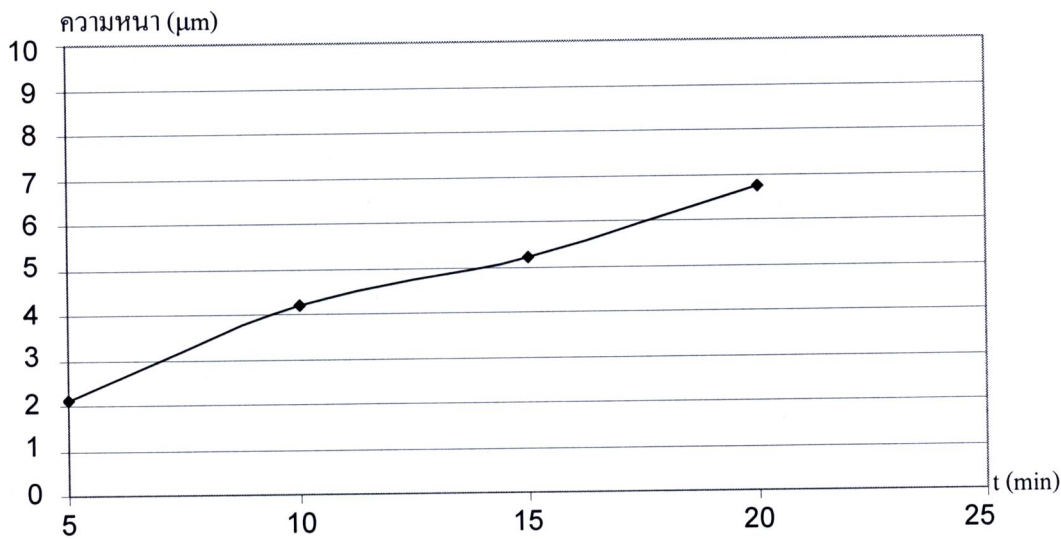
จากรูปที่ 5.6-5.9 เมื่อทำการเพิ่มเวลาในการสร้างชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการแอโนไดซ์เซชันจะมีผลทำให้พื้นผิวของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนถูกกัดและทำให้รูพรุนของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนมีขนาดใหญ่ขึ้น และจากรูปที่ 5.10-5.13 เมื่อทำการเพิ่มเวลาในการสร้างชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการแอโนไดซ์เซชันจะมีผลทำให้ชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนมีความหนาเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเมื่อใช้เวลาในการแอโนไดซ์เซชันมากขึ้นจะส่งผลทำให้เกิดการกัดชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนนานขึ้น ส่งผลทำให้รูพรุนของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนมีขนาดใหญ่ขึ้น และความหนาของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนเพิ่มมากขึ้น

5.2.1 การศึกษาความพรุน และความลึกของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน

ทำการศึกษาความพรุน และความลึกของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนที่สร้างโดยอัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 โดยปริมาตร ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm² ที่เวลา 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 20 นาที และ 25 นาที ตามลำดับ โดยอ้างอิงความพรุน [49] และความหนา จากรูปที่ 5.6 ถึง 5.13 และคำนวณหาค่าความพรุนจากสมการเปอร์เซ็นต์ความพรุน โดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของวัสดุก่อนและหลังการเกิดรูพรุน (ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 4.2.1) แสดงดังรูปที่ 5.14-5.15



รูปที่ 5.14 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความพรุนของชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนกับเวลาในการแอโนไดซ์เซชัน

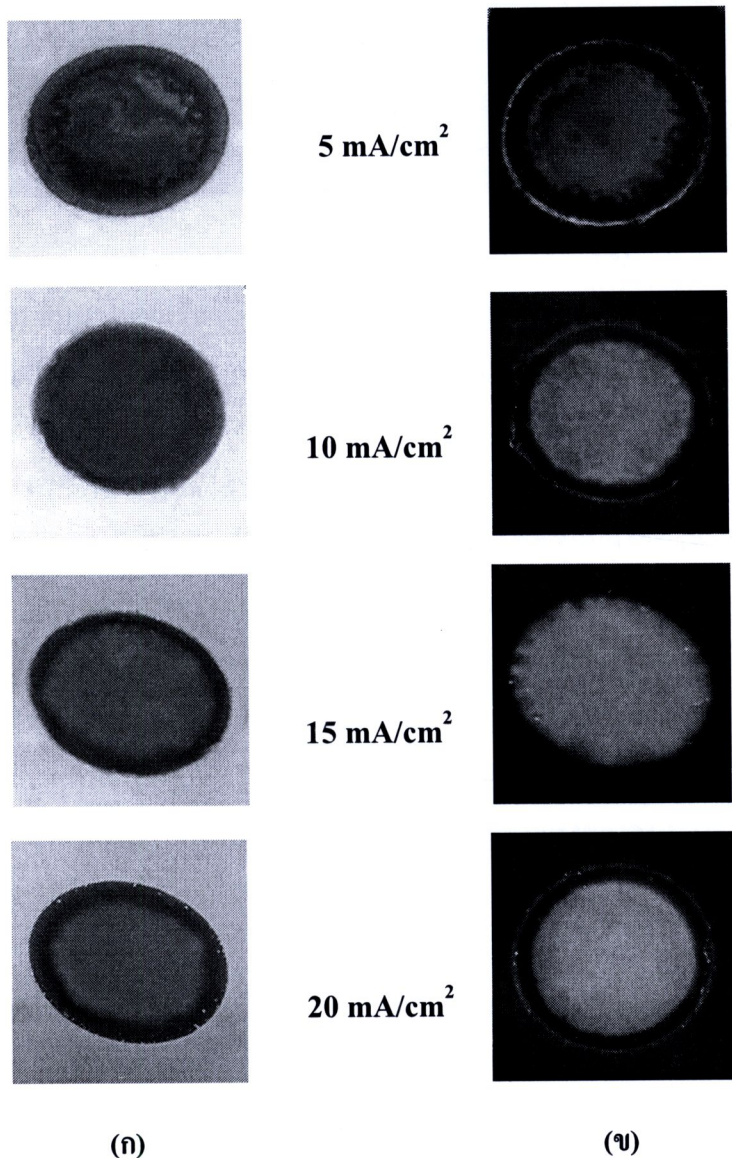


รูปที่ 5.15 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนกับเวลาในการแอโนไดซ์เซชัน

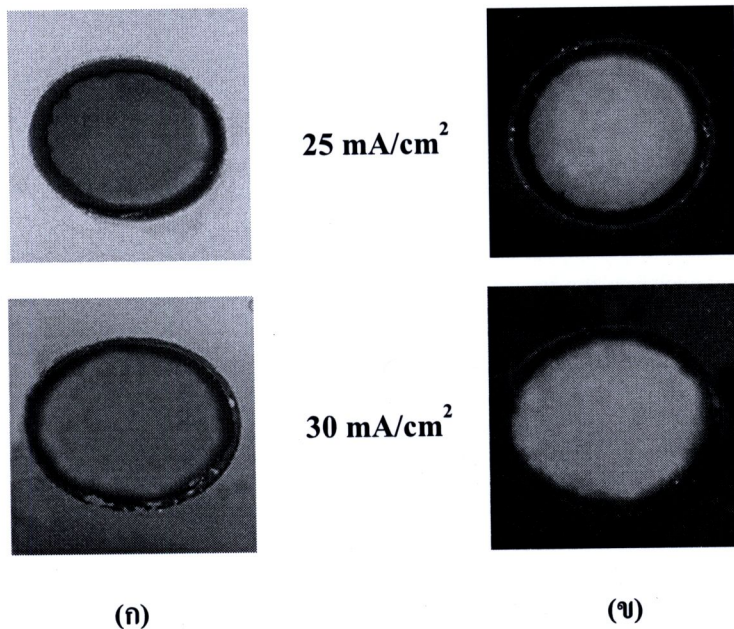
จากรูปที่ 5.14-5.15 เมื่อทำการเพิ่มเวลาในการสร้างชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนด้วยวิธีการแอโนไดซ์เซชันจะมีผลทำให้ชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนมีเปอร์เซ็นต์ความพรุนเพิ่มขึ้น และมีผลทำให้ชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนมีความหนาเพิ่มมากขึ้น ซึ่งแสดงว่าเวลาในการแอโนไดซ์เซชันมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทั้งเปอร์เซ็นต์ความพรุนและความลึกของชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนด้วย

5.3 การทดลองเพื่อศึกษาผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการสร้างชั้นนาโนพอร์สซิลิกอน

การทดลองนี้ทำการศึกษาถึง ผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการสร้างชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนด้วยวิธีการแอโนไดซ์เซชัน โดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 โดยปริมาตร เวลา 10 นาที ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 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 ได้ชั้นนาโนพอร์สซิลิกอน แสดงดังรูปที่ 5.16



รูปที่ 5.16 ชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการสร้างต่างๆ กัน
(ก) พื้นผิวของชั้นนาโนพอร์สซิลิกอน (ข) การเรืองแสงของชั้นนาโนพอร์สซิลิกอน



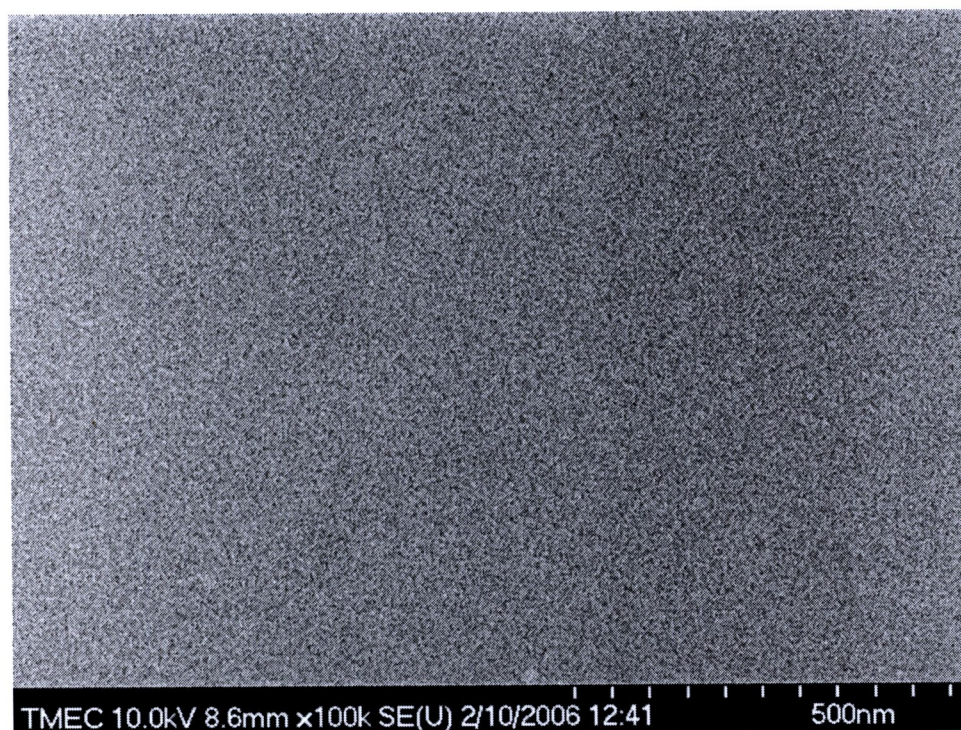
รูปที่ 5.16 (ต่อ) ชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการสร้างต่างๆ กัน

(ก) พื้นผิวของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน (ข) การเรืองแสงของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน

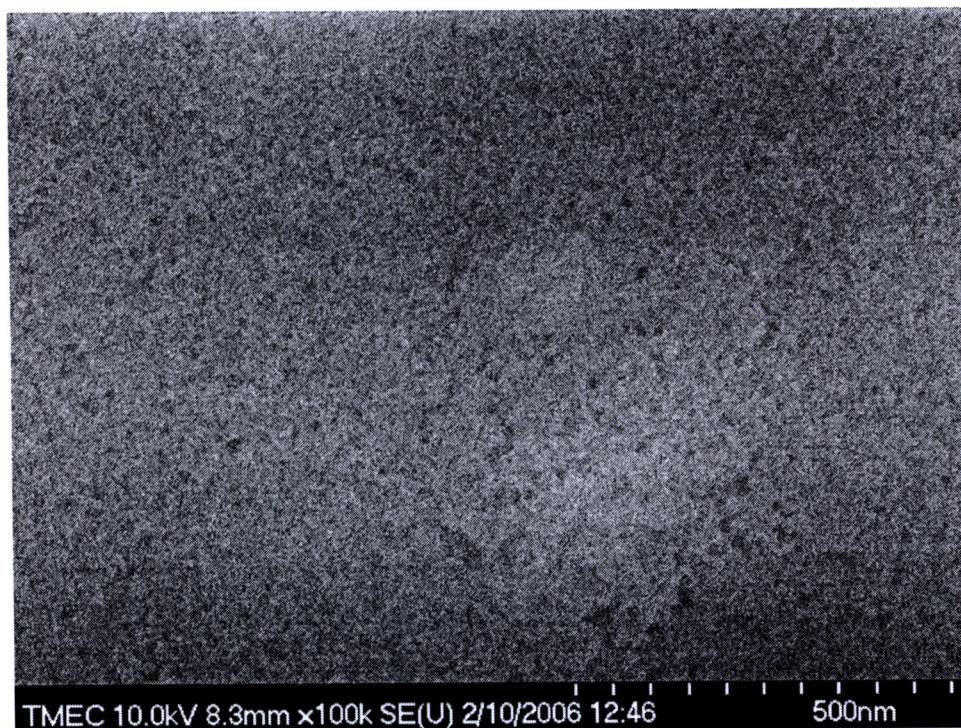
จากรูปที่ 5.16 (ก) สังเกตได้ว่าเมื่อใช้เวลามากขึ้นสีของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนจะมีการเปลี่ยนแปลงจากสีน้ำตาลเข้มไปเป็นสีน้ำตาลอ่อน และเมื่อสังเกตสมบัติการเรืองแสงของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน ด้วยการฉายแสงจากหลอดแบล็คไลท์ แสดงดังรูปที่ 5.16 (ข) สังเกตได้ว่าสีในการเรืองแสงของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนจะมีการเปลี่ยนแปลงจากสีส้มเข้มไปเป็นสีส้มอ่อน เนื่องจากการใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการกัดเพิ่มมากขึ้น โครงสร้างของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนจึงถูกกัดเพิ่มมากขึ้นส่งผลทำให้ความพรุนของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนมีเพิ่มมากขึ้น จึงทำให้สีพื้นผิวเปลี่ยนแปลงจากสีน้ำตาลเข้มไปเป็นสีน้ำตาลอ่อน และการเรืองแสงของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนจึงมีการเปลี่ยนแปลงจากสีส้มเข้มไปเป็นสีส้มอ่อน

5.3.1 ผลการทดลองศึกษาโครงสร้างของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนด้วยเครื่อง SEM

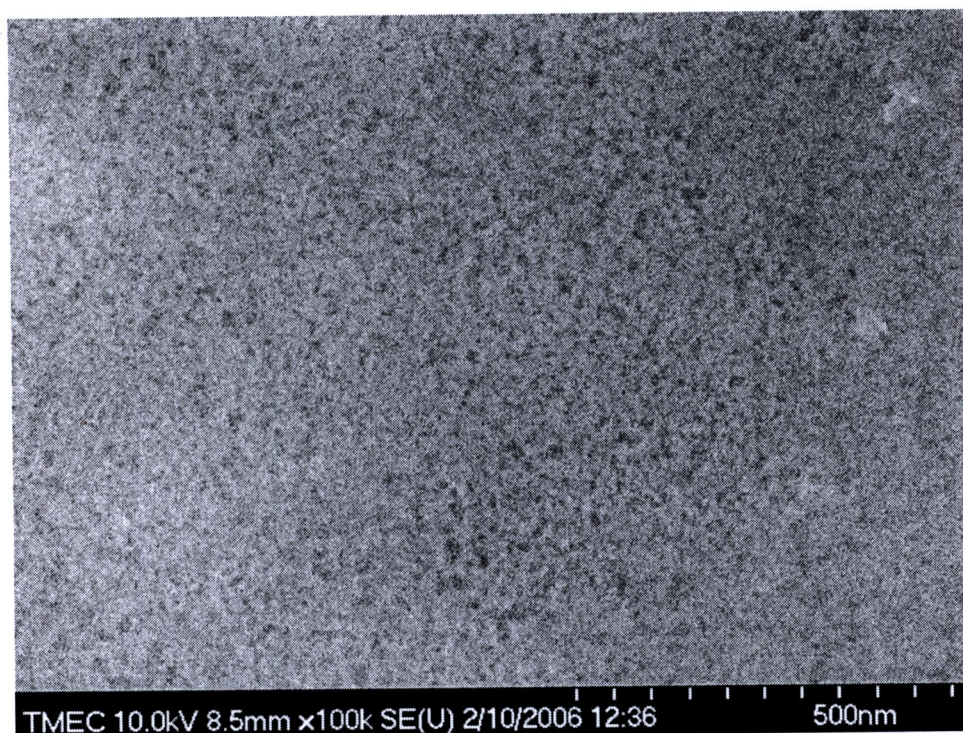
ทำการศึกษาลักษณะโครงสร้างของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนที่สร้างโดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 โดยปริมาตร เวลา 10 นาที ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 5 mA/cm^2 , 10 mA/cm^2 , 15 mA/cm^2 และ 20 mA/cm^2 ตามลำดับ ซึ่งได้นำไปวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างด้วยเครื่อง SEM แสดงดังรูปที่ 5.17-5.23



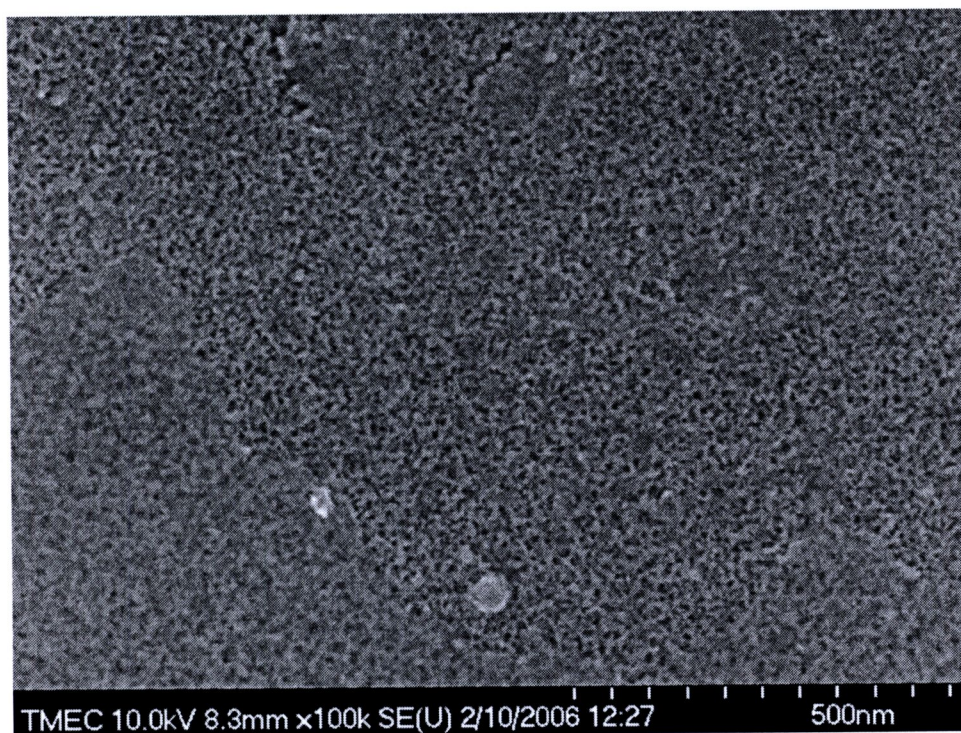
รูปที่ 5.17 ภาพพื้นผิวของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 5 mA/cm^2



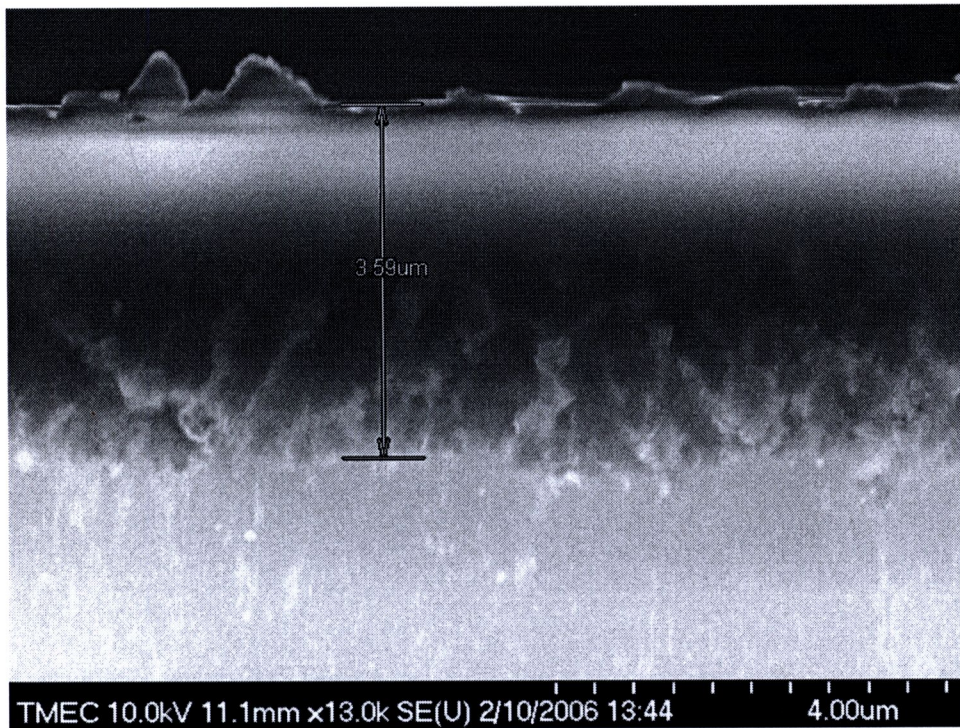
รูปที่ 5.18 ภาพพื้นผิวของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2



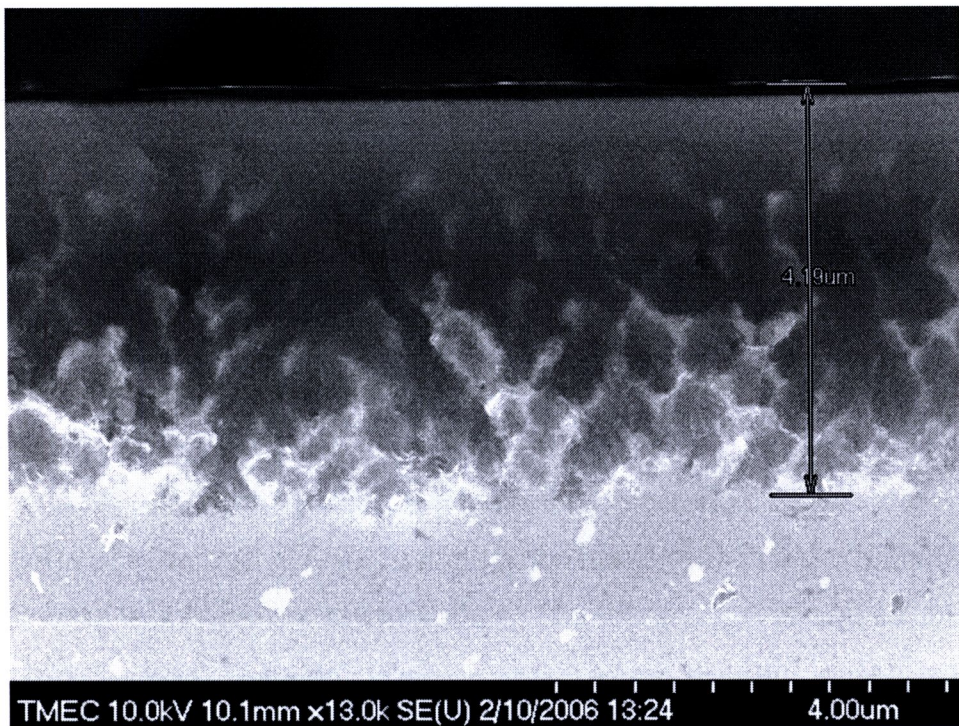
รูปที่ 5.19 ภาพพื้นผิวของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 15 mA/cm²



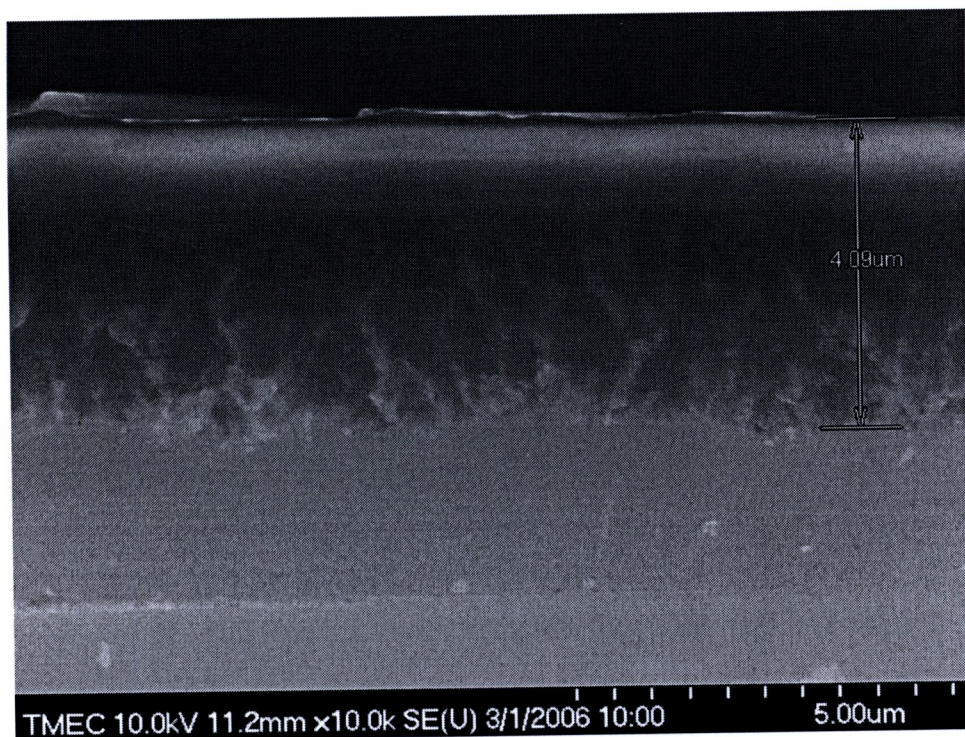
รูปที่ 5.20 ภาพพื้นผิวของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 20 mA/cm²



รูปที่ 5.21 ภาพตัดขวางของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 5 mA/cm²



รูปที่ 5.22 ภาพตัดขวางของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm²



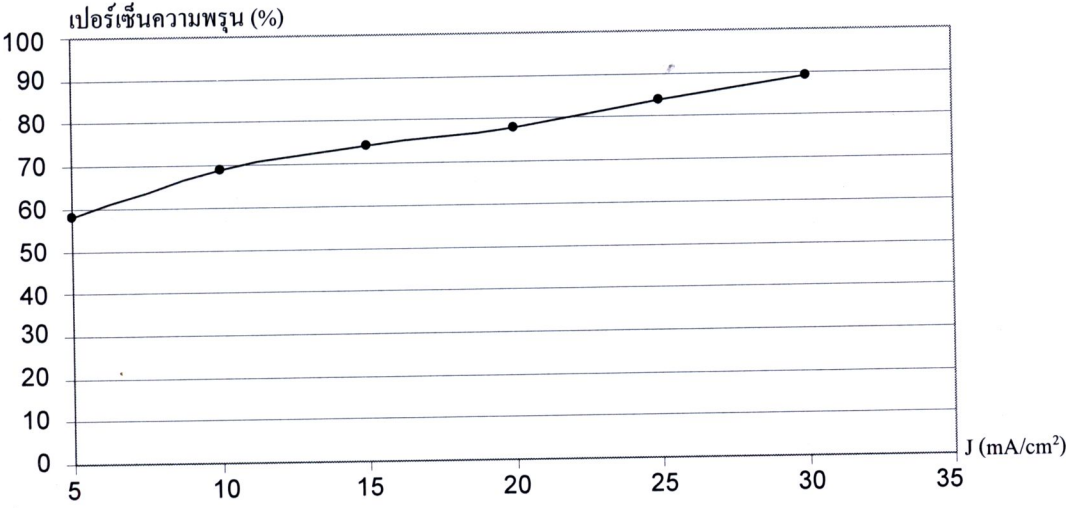
รูปที่ 5.23 ภาพตัดขวางของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน โดยใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 20 mA/cm^2

จากรูปที่ 5.17-5.20 เมื่อทำการเพิ่มความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการสร้างชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการแอโนไดเซชันจะมีผลทำให้พื้นผิวของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนถูกกัดและทำให้รูพรุนของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนมีขนาดใหญ่ขึ้น และจากรูปที่ 5.21-5.23 เมื่อทำการเพิ่มความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการสร้างชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการแอโนไดเซชันจะมีผลทำให้ความหนาของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนยังคงมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจากเมื่อใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการแอโนไดซ์เซชันมากขึ้น ทำให้พาหะโฮลในซิลิคอนขณะทำการกัดมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น ส่งผลทำให้รูพรุนของนาโนพอร์สซิลิคอนมีขนาดใหญ่ขึ้น แต่ความหนาของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนยังคงมีค่าใกล้เคียงกันเนื่องจากเวลาที่ใช้ในการแอโนไดซ์เซชันใช้เวลาเท่ากัน

5.3.2 การศึกษาความพรุน และความลึกของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน

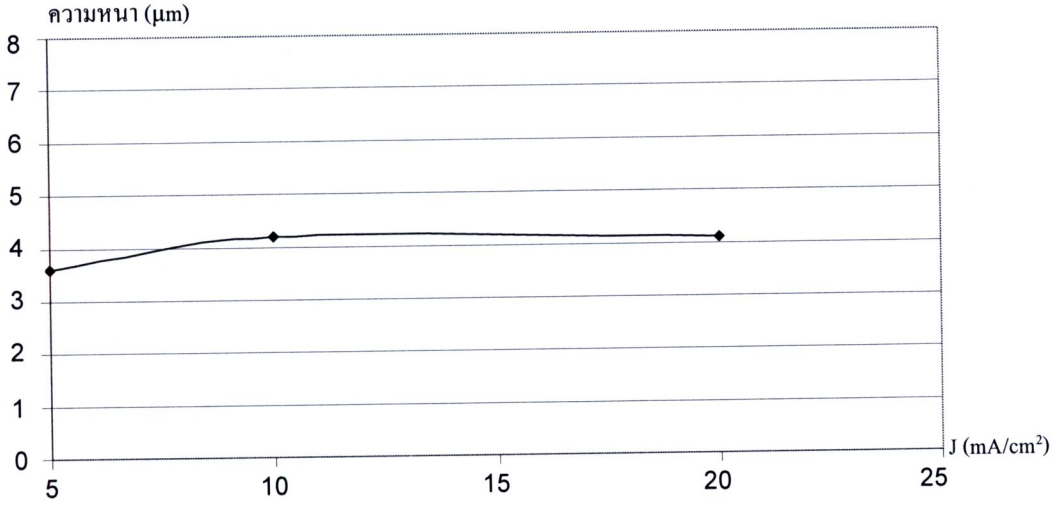
ทำการศึกษาความพรุน และความลึกของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนที่สร้างโดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 โดยปริมาตร เวลา 10 นาที ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 5 mA/cm^2 , 10 mA/cm^2 , 15 mA/cm^2 และ 20 mA/cm^2 ตามลำดับ โดยอ้างอิงความพรุน [49] และความหนา จากรูปที่ 5.17 ถึง 5.23 และคำนวณหาความพรุนจากสมการเปอร์เซ็นต์ความ

พรมโดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของวัสดุก่อนและหลังการเกิดพรม (ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว
ในหัวข้อ 4.2.1) แสดงดังรูปที่ 5.24-5.25



รูปที่ 5.24 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความพรมของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนกับความหนาแน่น

กระแสไฟฟ้าในการแอโนไดซ์เซชัน



รูปที่ 5.25 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนกับความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า

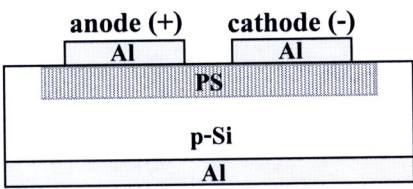
ในการแอโนไดซ์เซชัน

จากรูปที่ 5.24-5.25 เมื่อทำการเพิ่มความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการสร้างชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการแอโนไดซ์เซชันจะมีผลทำให้ชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนมีเปอร์เซ็นต์ความพรม

เพิ่มขึ้น แต่ความหนาของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งแสดงว่าความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการแอโนไดซ์เซชันมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ความพรุนชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนแต่ไม่มีผลกับความหนาของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน

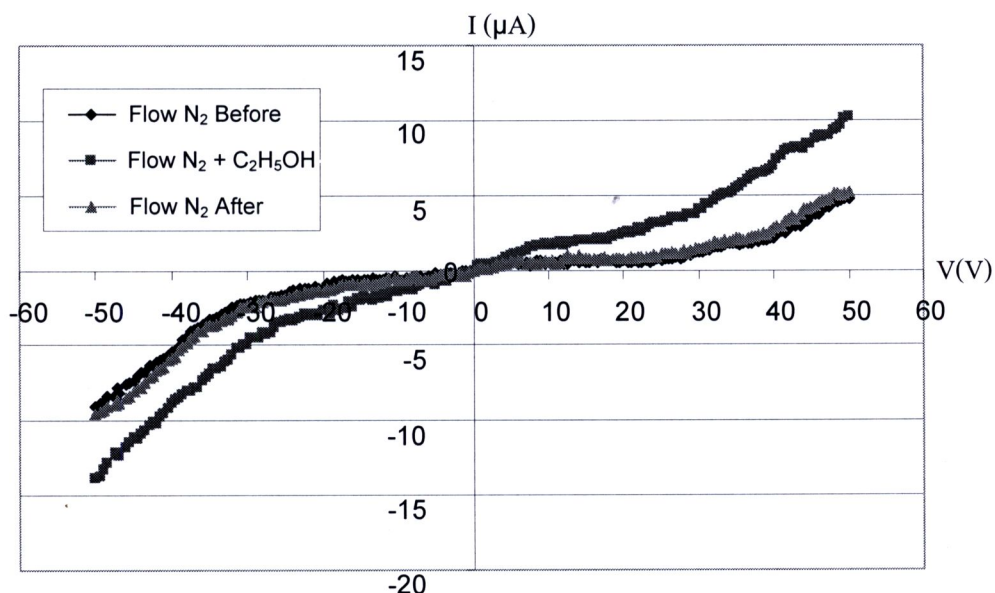
5.4 การทดลองเพื่อศึกษาผลของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนในอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารเคมี

การทดลองนี้ศึกษาถึง การตอบสนองต่อการเปิด-ปิดไอระเหยของสารเคมี (ด้วยชุดเครื่องมือที่ใช้ในการศึกษาลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าที่ได้จากการตรวจจับไอระเหยของสารเคมีที่ได้นำเสนอในหัวข้อ 4.2.3) ของอุปกรณ์ที่มีชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ที่ไม่มีชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน โดยสร้างอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารเคมีโดยใช้ชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนที่อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 โดยปริมาตร เวลา 10 นาที ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm² แล้วทำการต่อขั้วเพื่อใช้ในการวัดลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้า แสดงดังรูปที่ 5.26

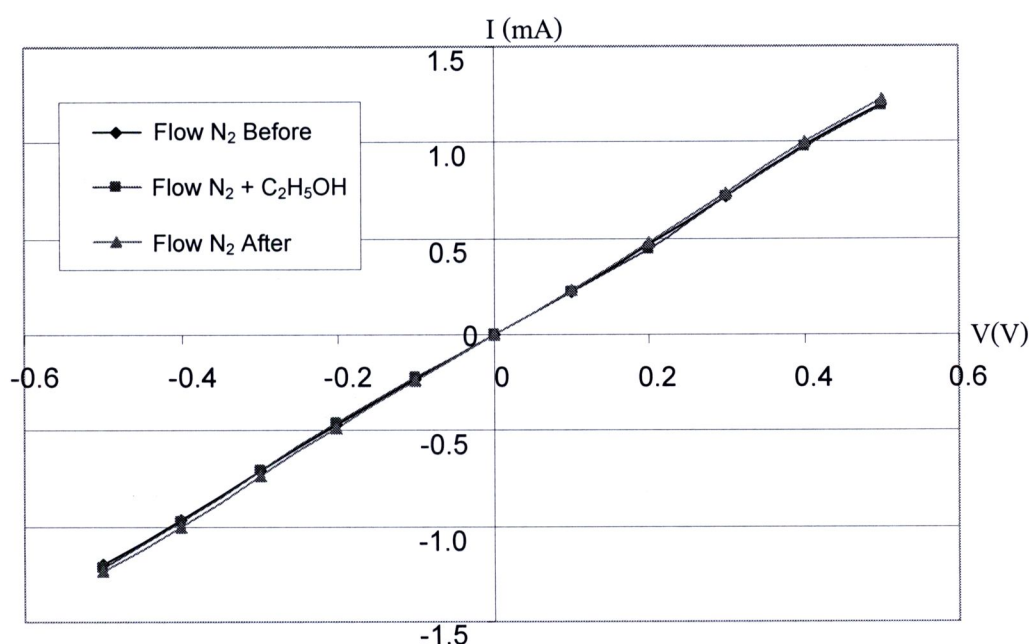


รูปที่ 5.26 ภาพการต่อขั้วที่ใช้ในการวัดของอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารเคมี

ทำการวัดลักษณะสมบัติกระแส-แรงดัน ในการเปิดก๊าซไนโตรเจนเวลา 30 วินาที แล้วเปิดก๊าซไนโตรเจนผสมกับไอเอทานอล 30 วินาที และเปิดก๊าซไนโตรเจน 30 วินาที ของอุปกรณ์ที่มีชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน ที่อุณหภูมิห้อง อัตราการไหล 1 l/min โดยใช้เอทานอลบริสุทธิ์ แสดงดังรูปที่ 5.27 เปรียบเทียบกับอุปกรณ์ที่ไม่มีชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน แสดงดังรูปที่ 5.28



รูปที่ 5.27 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของอุปกรณ์ที่มีชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน

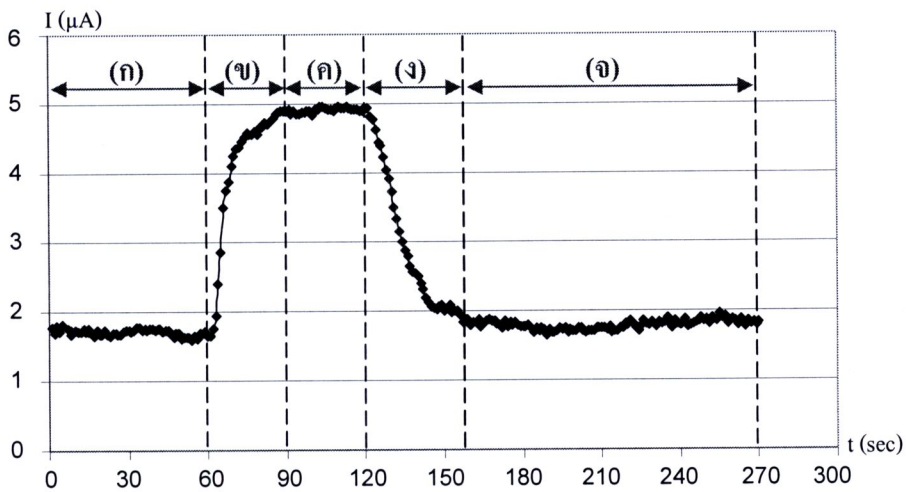


รูปที่ 5.28 ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของอุปกรณ์ที่ไม่มีชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน

จากรูปที่ 5.27 พบว่าลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของอุปกรณ์ที่มีชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน จะมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเปิดให้มีการไหลของไอระเหยของสารเคมี แต่จากรูปที่ 5.28 พบว่า ลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันของอุปกรณ์ที่ไม่มีชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนจะไม่มีเปลี่ยนแปลง เมื่อเปิดให้มีการไหลของไอระเหยของสารเคมี จากผลการทดลองนี้จึงได้ทำการศึกษาถึงลักษณะ

สมบัติกระแสไฟฟ้าของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนต่อการตรวจจับไอระเหยของสารเคมี โดยพิจารณาช่วงในการตรวจจับต่างๆ แสดงดังรูปที่ 5.29 ซึ่งสามารถอธิบายช่วงในการตรวจจับต่างๆ ได้ดังนี้

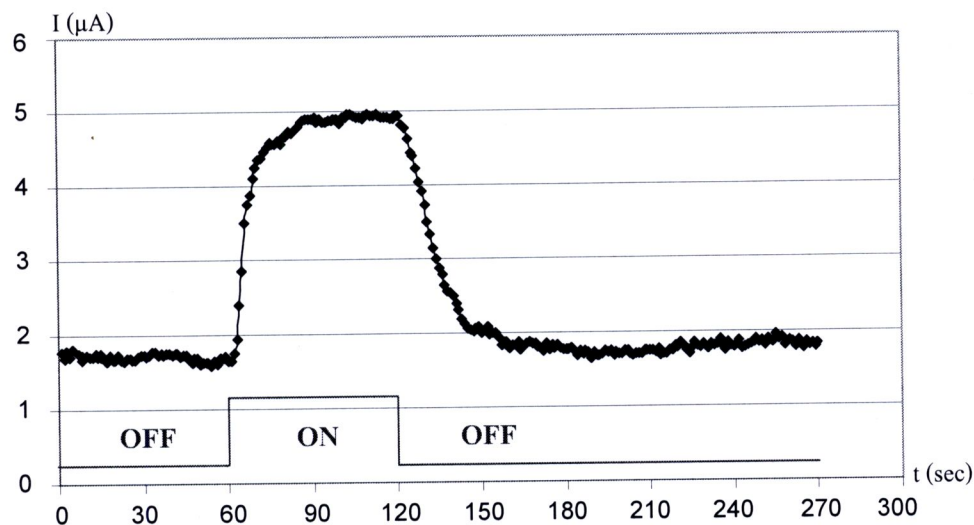
- กระแสไฟฟ้าช่วงก่อนเปิดไอระเหยของสารเคมี เป็นช่วงที่แสดงลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าระหว่างที่เปิดก๊าซในโตรเจนเข้ามาในระบบ
- กระแสไฟฟ้าช่วงเปิดไอระเหยของสารเคมี เป็นช่วงที่แสดงลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าระหว่างที่เปิดก๊าซในโตรเจนผสมกับไอระเหยของสารเคมี แล้วเกิดการเพิ่มขึ้นของปริมาณกระแสไฟฟ้าที่วัดได้
- กระแสไฟฟ้าช่วงเกิดการอิ่มตัว เป็นช่วงที่แสดงลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าระหว่างที่เปิดก๊าซในโตรเจนผสมกับไอระเหยของสารเคมี แล้วเกิดการคงที่ของปริมาณกระแสไฟฟ้าที่วัดได้
- กระแสไฟฟ้าช่วงการปิดไอระเหยของสารเคมี เป็นช่วงที่แสดงลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าระหว่างที่ทำการปิดก๊าซในโตรเจนผสมกับไอระเหยของสารเคมีพร้อมกับเปิดก๊าซในโตรเจนเพื่อไล่ไอระเหยของสารเคมีออกจากระบบ แล้วเกิดการตกลงของกระแสไฟฟ้าที่วัดได้
- กระแสไฟฟ้าช่วงกลับมาจุดเริ่มต้นเดิม เป็นช่วงที่แสดงลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าระหว่างที่เปิดก๊าซในโตรเจน แล้วเกิดการตกลงกลับมาจุดเริ่มต้นเดิมเหมือนในตอนแรก



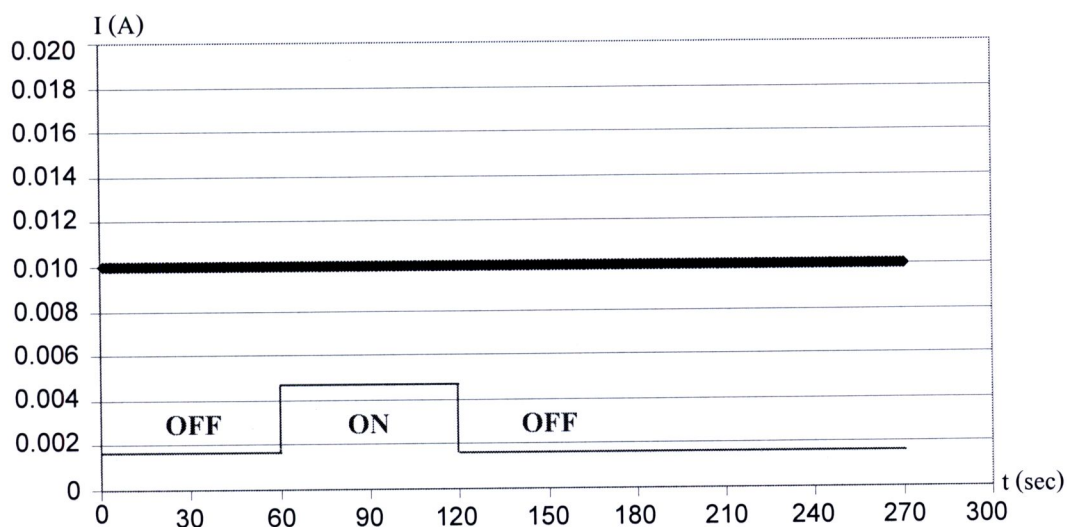
รูปที่ 5.29 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าในการตรวจจับไอระเหยของสารเคมีของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน

- (ก) กระแสไฟฟ้าช่วงก่อนเปิดไอระเหยของสารเคมี
- (ข) กระแสไฟฟ้าช่วงเปิดไอระเหยของสารเคมี
- (ค) กระแสไฟฟ้าช่วงเกิดการอิ่มตัว
- (ง) กระแสไฟฟ้าช่วงการปิดไอระเหยของสารเคมี
- (จ) กระแสไฟฟ้าช่วงกลับมาจุดเริ่มต้นเดิม

ทำการทดลองวัดลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการเปิดก๊าชในโตรเจน 60 วินาที แล้วเปิดก๊าชในโตรเจนผสมกับไอเอทานอล 60 วินาที และเปิดก๊าชในโตรเจน 150 วินาที ของ อุปกรณ์ที่มีชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน ที่อุณหภูมิห้อง อัตราการไหล 1 l/min โดยใช้เอทานอลบริสุทธิ์ แรงดันไฟฟ้า 20 โวลต์ เปรียบเทียบกับอุปกรณ์ที่ไม่มีชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน แสดงดังรูปที่ 5.30-5.31



รูปที่ 5.30 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าในการตอบสนองต่อการเปิด-ปิดไอระเหยของสารเคมีของ อุปกรณ์ที่มีชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน



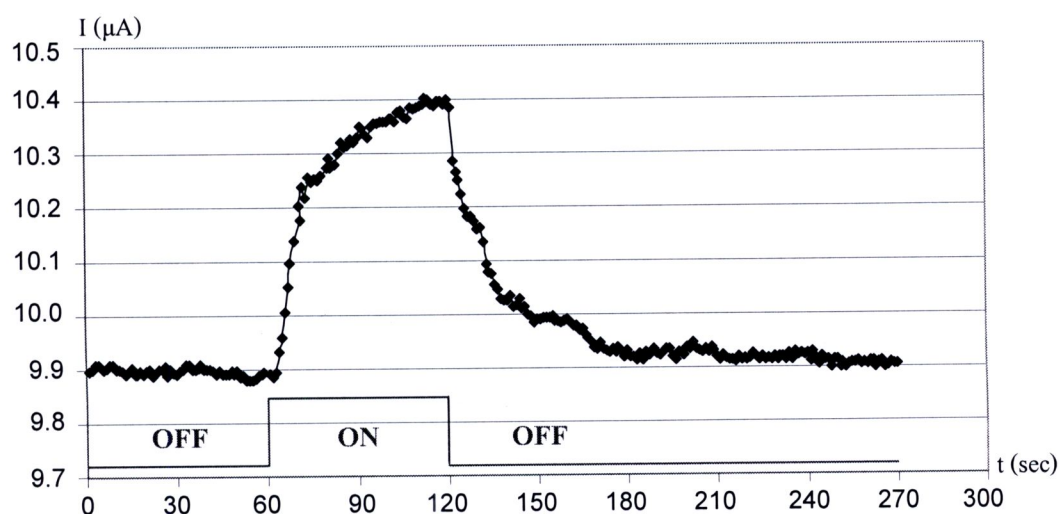
รูปที่ 5.31 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าในการตอบสนองต่อการเปิด-ปิดไอระเหยของสารเคมีของ อุปกรณ์ที่ไม่มีชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน

จากรูปที่ 5.30 พบว่าอุปกรณ์ที่มีชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนมีการตอบสนองต่อการตรวจจับไอระเหยของสารเคมี แต่จากรูปที่ 5.31 พบว่าอุปกรณ์ที่ไม่มีชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนไม่มีการสนองต่อการตรวจจับไอระเหยของสารเคมี ซึ่งแสดงว่าอุปกรณ์ที่มีชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนสามารถนำไปใช้ในการตรวจจับไอระเหยของสารเคมีได้ จึงได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบในการสร้างชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนที่มีต่ออุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารเคมี ดังหัวข้อต่อไปนี้

5.4.1 การทดลองเพื่อศึกษาผลของเวลาในการแอโนไดซ์เซชันต่ออุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารเคมี

การทดลองนี้ศึกษาถึง ผลของเวลาในการสร้างชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการแอโนไดซ์เซชัน โดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 โดยปริมาตร ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 ใช้เวลา 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 20 นาที และ 25 นาที ตามลำดับ แล้วทำการต่อขั้วเพื่อทำการวัดลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการเปิดก๊าซไนโตรเจน 60 วินาที แล้วเปิดก๊าซไนโตรเจนผสมกับไอเอทานอล 60 วินาที และเปิดก๊าซไนโตรเจน 150 วินาที ที่อุณหภูมิห้อง อัตราการไหล 1 l/min โดยใช้เอทานอลบริสุทธิ์ แรงดันไฟฟ้า 20 โวลต์ ดังต่อไปนี้

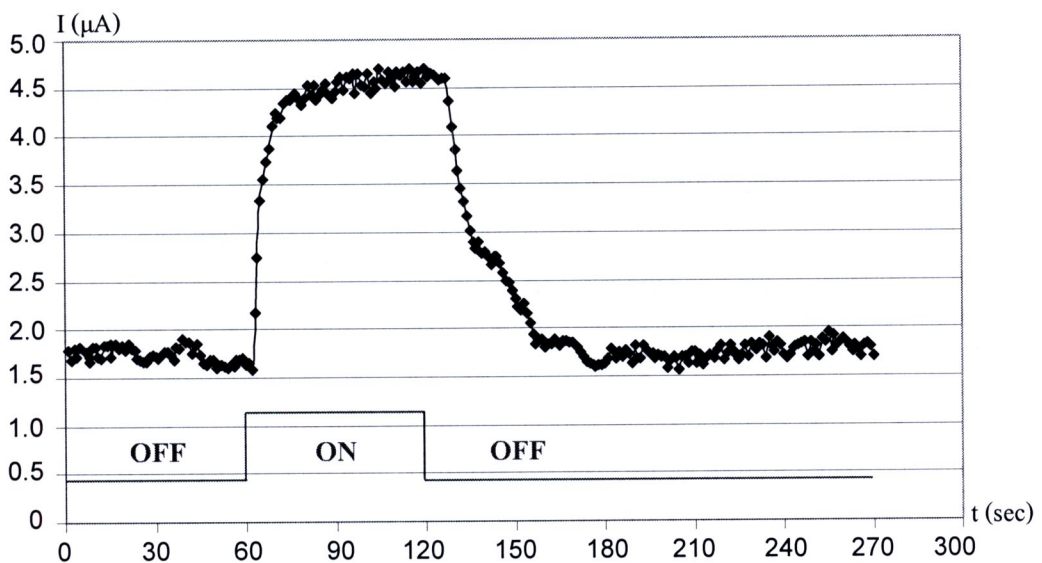
- อุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารเคมี ที่สร้างชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนโดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 โดยปริมาตร ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 เวลา 5 นาที (เปอร์เซ็นต์ความพรุนประมาณ 53% ความหนาแน่นประมาณ $2.12 \text{ }\mu\text{m}$) นำมาวัดลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาการเปิด-ปิดไอระเหยของสารเคมี แสดงดังรูปที่ 5.32



รูปที่ 5.32 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาการเปิด-ปิดไอระเหยของสารเคมีของอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารเคมี ที่ใช้เวลาในการแอโนไดซ์เซชัน 5 นาที

จากรูปที่ 5.32 พบว่าที่เวลาในการแอโนไดซ์เซชัน 5 นาที กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นขณะทำการเปิดก๊าซไนโตรเจนอยู่ที่ประมาณ $9.9 \mu\text{A}$ เมื่อทำการวัดไอระเหยของสารเคมีขณะเปิดก๊าซไนโตรเจนผสมกับไอระเหยของสารเคมีที่เวลาประมาณ 60 วินาที กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนขึ้นไปอยู่ที่ประมาณ $10.4 \mu\text{A}$ ที่เวลาประมาณ 120 วินาที และทำการปิดไอระเหยของสารเคมีพร้อมกับเปิดก๊าซไนโตรเจนที่เวลาประมาณ 120 วินาที กระแสไฟฟ้าจะตกลงเรื่อยๆ จนตกลงมาที่จุดเดิมตอนเริ่มต้นประมาณ $9.9 \mu\text{A}$ ที่เวลาประมาณ 210 วินาที ซึ่งปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงมีค่าประมาณ $0.5 \mu\text{A}$ เมื่อมีการตรวจจับไอระเหยของสารเคมีกระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จะใช้เวลาในการอิมตัวนานกว่า 60 วินาที และเมื่อมีการปิดไอระเหยของสารเคมี กระแสไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ ใช้เวลาในการกลับมาจุดเริ่มต้นเดิมประมาณ 90 วินาที

- อุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารเคมี ที่สร้างขึ้นนาโนพอร์สซิลิคอนโดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 โดยปริมาตร ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 เวลา 10 นาที (เปอร์เซ็นต์ความพรุนประมาณ 69% ความหนาประมาณ $4.19 \mu\text{m}$) นำมาวัดลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาการเปิด-ปิดไอระเหยของสารเคมี แสดงดังรูปที่ 5.33

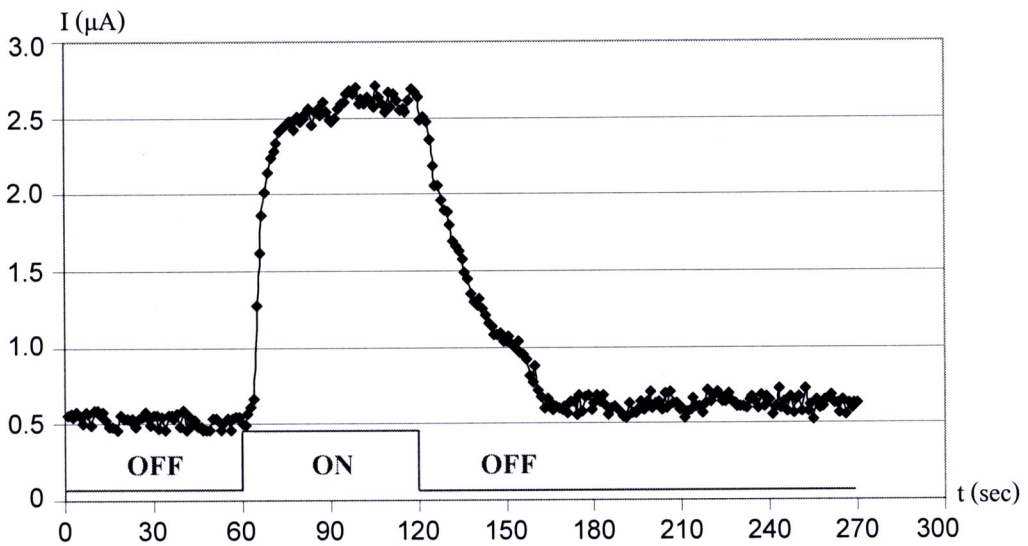


รูปที่ 5.33 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาการเปิด-ปิดไอระเหยของสารเคมีของอุปกรณ์ตรวจจับ ไอระเหยของสารเคมี ที่ใช้เวลาในการแอโนไดซ์เซชัน 10 นาที

จากรูปที่ 5.33 พบว่าที่เวลาในการแอโนไดซ์เซชัน 10 นาที กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นขณะทำการเปิดก๊าซไนโตรเจนอยู่ที่ประมาณ $1.7 \mu\text{A}$ เมื่อทำการวัดไอระเหยของสารเคมีขณะเปิดก๊าซไนโตรเจนผสมกับไอระเหยของสารเคมีที่เวลาประมาณ 60 วินาที กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

จนอิ่มตัวอยู่ที่ประมาณ $4.7 \mu\text{A}$ ที่เวลาประมาณ 90 วินาที และทำการปิดไอระเหยของสารเคมีพร้อมกับเปิดก๊าซไนโตรเจนที่เวลาประมาณ 120 วินาที กระแสไฟฟ้าจะตกลงเรื่อยๆ จนตกลงมาที่จุดเดิม ตอนเริ่มต้นประมาณ $1.7 \mu\text{A}$ ที่เวลาประมาณ 160 วินาที ซึ่งสังเกตได้ว่าปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงมีค่าประมาณ $3 \mu\text{A}$ เมื่อมีการตรวจจับไอระเหยของสารเคมี กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จะใช้เวลาในการอิ่มตัวประมาณ 30 วินาที และเมื่อมีการปิดไอระเหยของสารเคมี กระแสไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ ใช้เวลาในการกลับมาจุดเริ่มต้นเดิมประมาณ 40 วินาที

- อุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารเคมี ที่สร้างขึ้นนาโนพอร์สซิลิคอนโดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 โดยปริมาตร ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 เวลา 15 นาที (เปอร์เซ็นต์ความพรุนประมาณ 78% ความหนาประมาณ $5.22 \mu\text{m}$) นำมาวัดลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาการเปิด-ปิดไอระเหยของสารเคมี แสดงดังรูปที่ 5.34

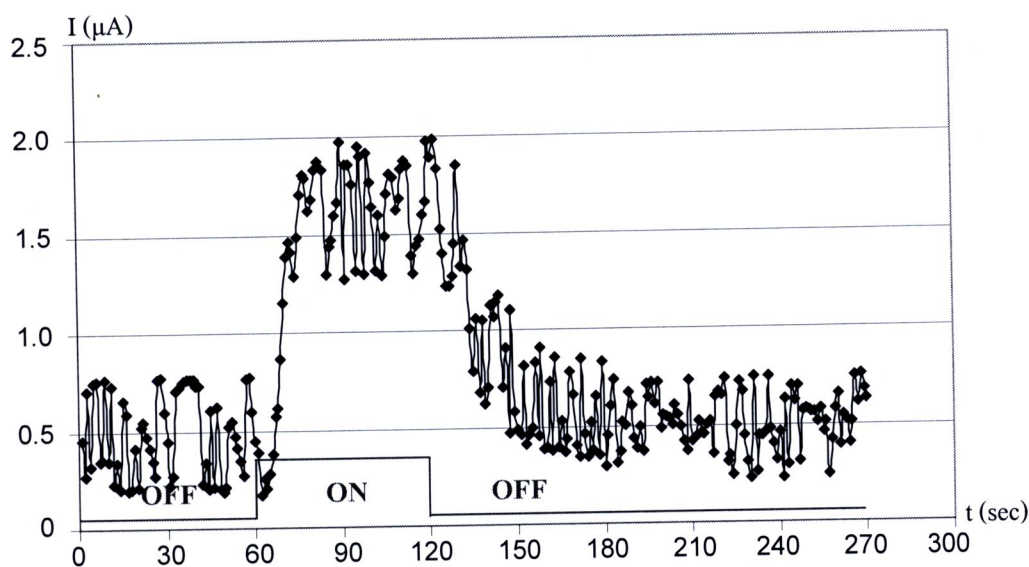


รูปที่ 5.34 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาการเปิด-ปิดไอระเหยของสารเคมีของอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารเคมี ที่ใช้เวลาในการแอโนไดซ์เซชัน 15 นาที

จากรูปที่ 5.34 พบว่าที่เวลาในการแอโนไดซ์เซชัน 15 นาที กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นขณะทำการเปิดก๊าซไนโตรเจนอยู่ที่ประมาณ $0.5 \mu\text{A}$ เมื่อทำการวัดไอระเหยของสารเคมีขณะเปิดก๊าซไนโตรเจนผสมกับไอระเหยของสารเคมีที่เวลาประมาณ 60 วินาที กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนอิ่มตัวอยู่ที่ประมาณ $2.6 \mu\text{A}$ ที่เวลาประมาณ 90 วินาที และทำการปิดไอระเหยของสารเคมีพร้อมกับเปิดก๊าซไนโตรเจนที่เวลาประมาณ 120 วินาที กระแสไฟฟ้าจะตกลงเรื่อยๆ จนตกลงมาที่จุดเดิม ตอนเริ่มต้นประมาณ $0.5 \mu\text{A}$ ที่เวลาประมาณ 160 วินาที ซึ่งสังเกตได้ว่าปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงมีค่าประมาณ $2.1 \mu\text{A}$ เมื่อมีการตรวจจับไอระเหยของสารเคมีกระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้น

เรื่อยๆ จะใช้เวลาในการอิมตัวประมาณ 30 วินาที และเมื่อมีการปิดไอร่เหยของสารเคมี กระแสไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ ใช้เวลาในการกลับมาจุดเริ่มต้นเดิมประมาณ 40 วินาที

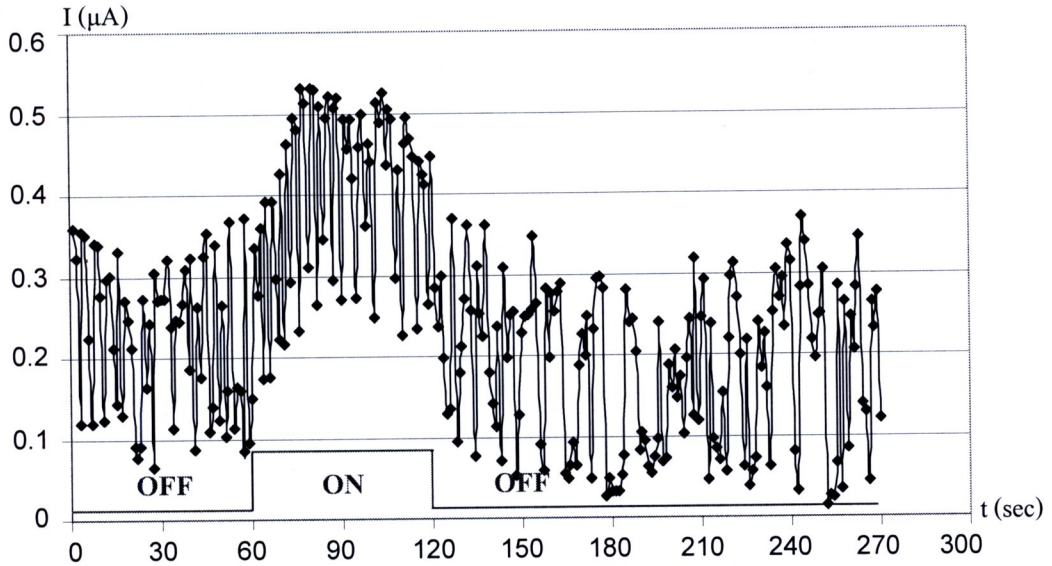
- อุปกรณ์ตรวจจับไอร่เหยของสารเคมี ที่สร้างชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนโดยใช้อัตราส่วน สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 โดยปริมาตร ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm² เวลา 20 นาที (เปอร์เซ็นต์ความพรุนประมาณ 81% ความหนาประมาณ 6.74 μm) นำมาวัด ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาการเปิด-ปิดไอร่เหยของสารเคมี แสดงดังรูปที่ 5.35



รูปที่ 5.35 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาการเปิด-ปิดไอร่เหยของสารเคมีของอุปกรณ์ ตรวจจับไอร่เหยของสารเคมี ที่ใช้เวลาในการแอโนไดซ์เซชัน 20 นาที

จากรูปที่ 5.35 พบว่าที่เวลาในการแอโนไดซ์เซชัน 20 นาที กระแสไฟฟ้าจะมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการตรวจจับไอร่เหยของสารเคมี แต่ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่วัดได้มีค่าต่ำมาก และมีค่าไม่คงที่ ซึ่งเป็นผลมาจากเปอร์เซ็นต์ความพรุนชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนมีค่าประมาณ 81 % ความหนาประมาณ 6.74 μm ส่งผลทำให้ค่าความต้านทานของชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนที่ใช้เวลาในการแอโนไดซ์เซชัน 20 นาที มีค่าสูงมาก จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในการตรวจจับไอร่เหยของ สารเคมี

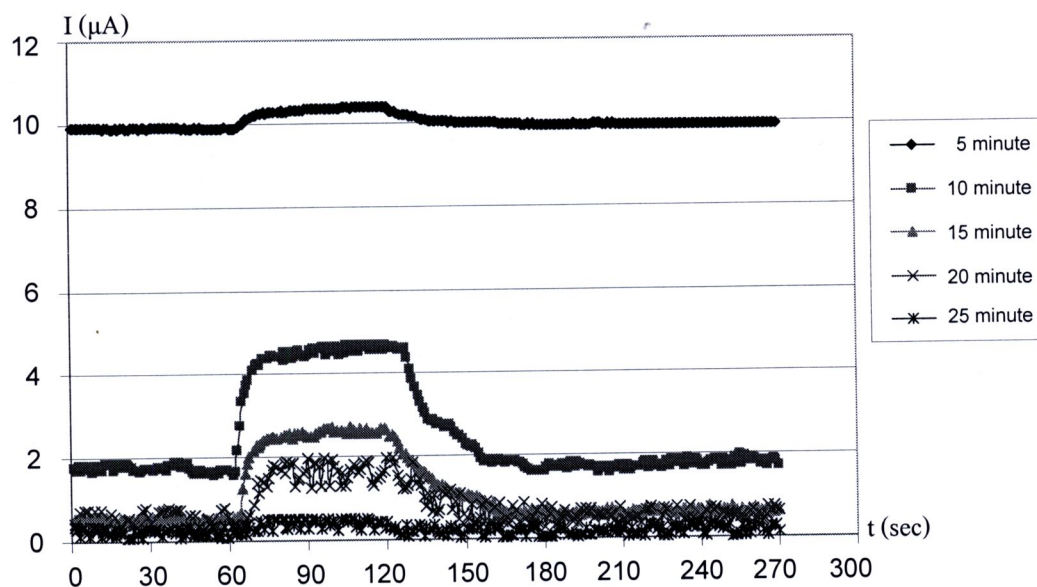
- อุปกรณ์ตรวจจับไอร่เหยของสารเคมี ที่สร้างชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนโดยใช้อัตราส่วน สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 โดยปริมาตร ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm² เวลา 25 นาที (เปอร์เซ็นต์ความพรุนประมาณ 84%) นำมาวัดลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลา การเปิด-ปิดไอร่เหยของสารเคมี แสดงดังรูปที่ 5.36



รูปที่ 5.36 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาการเปิด-ปิดไอระเหยของสารเคมีของอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารเคมี ที่ใช้เวลาในการแอโนไดซ์เซชัน 25 นาที

จากรูปที่ 5.36 พบว่าที่เวลาในการแอโนไดซ์เซชัน 25 นาที กระแสไฟฟ้าจะมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการตรวจจับไอระเหยของสารเคมี แต่ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่วัดได้มีค่าต่ำมาก และมีค่าไม่คงที่ ซึ่งเป็นผลมาจากเปอร์เซ็นต์ความพรุนชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนมีค่าประมาณ 84 % ส่งผลทำให้ความต้านทานของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนที่ใช้เวลาในการแอโนไดซ์เซชัน 25 นาที มีค่าสูงมาก จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในการตรวจจับไอระเหยของสารเคมี

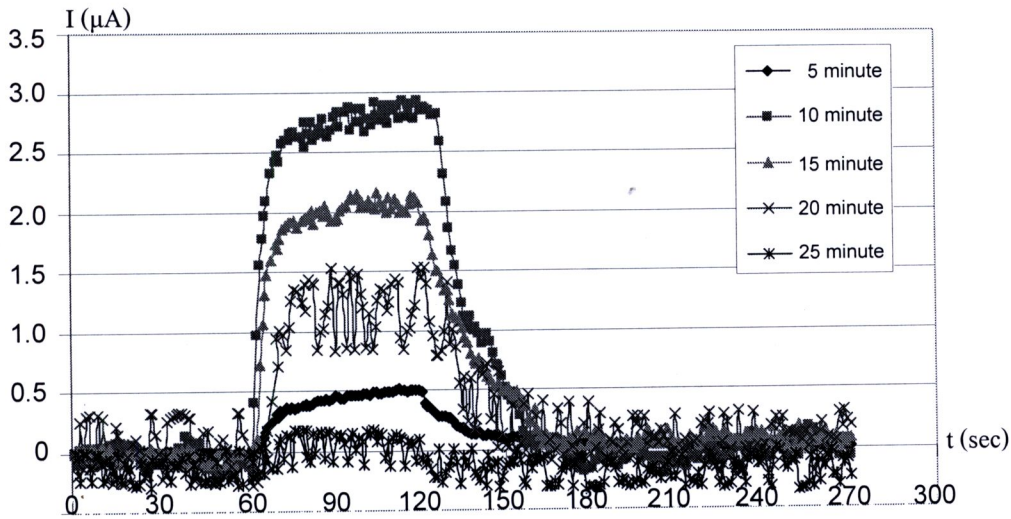
จากรูปที่ 5.32 – 5.36 จึงได้ทำการเปรียบเทียบลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาการเปิด-ปิดไอระเหยของสารเคมีของอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารเคมีโดยใช้นาโนพอร์สซิลิคอนที่ใช้เวลาในการแอโนไดซ์เซชัน 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 20 นาที และ 25 นาที ตามลำดับ ในกราฟเดียวกัน แสดงดังรูปที่ 5.37



รูปที่ 5.37 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าในต่อเวลาการเปิด-ปิดไอระเหยของสารเคมีของอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารเคมี ที่ใช้เวลาในการแอนโนไดซ์เซชันต่างๆ กัน

จากรูปที่ 5.37 พบว่า อุปกรณ์ที่ใช้เวลาในการแอนโนไดซ์เซชัน 5 นาที จะมีกระแสไฟฟ้าเริ่มต้นมีค่าสูงที่สุด ตามด้วยที่เวลา 10 นาที, 15 นาที, 20 นาที และ 25 นาที ตามลำดับ เนื่องจากเมื่อใช้เวลาในการแอนโนไดซ์เซชันมากขึ้นจะส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ความพรุนชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนมีค่าเพิ่มขึ้น ความหนาของชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนก็มีค่าเพิ่มขึ้นด้วย ทำให้ค่าความต้านทานของชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนมีค่าเพิ่มขึ้น ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่วัดได้จึงมีค่าลดลงตามลำดับ

ทำการเปรียบเทียบลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาการเปิด-ปิดไอระเหยของสารเคมีของอุปกรณ์ของอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารเคมีโดยใช้นาโนพอร์สซิลิกอนที่ใช้เวลาในการแอนโนไดซ์เซชัน 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 20 นาที และ 25 นาที ตามลำดับ ที่ระดับกระแสไฟฟ้าตอนเริ่มต้นเป็น 0 μA เพื่อทำการเปรียบเทียบปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของแต่ละอุปกรณ์ที่ใช้เวลาในการแอนโนไดซ์เซชันต่างๆ กัน แสดงดังรูปที่ 5.38



รูปที่ 5.38 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาการเปิด-ปิดไอระเหยของสารเคมีของอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารเคมี ที่ใช้เวลาในการแอโนไดซ์เซชันต่างๆ กัน ที่ระดับอ้างอิงเดียวกัน

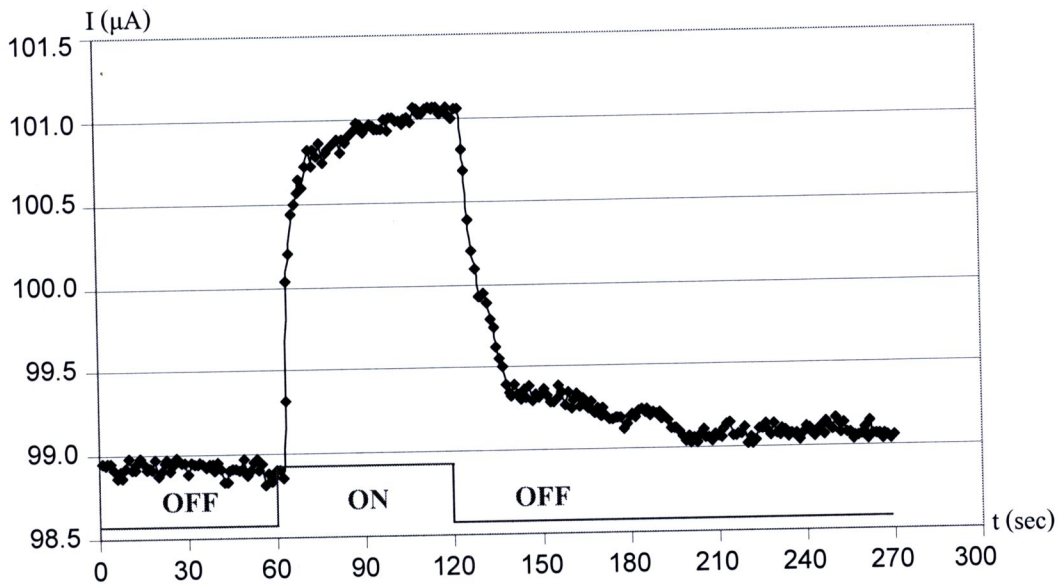
จากรูปที่ 5.38 พบว่า อุปกรณ์ที่ใช้เวลาในการแอโนไดซ์เซชัน 10 นาที มีค่าปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นในการตรวจจับไอระเหยของสารเคมีประมาณ 3 μA ซึ่งมีความมากที่สุดรองลงมาคือ เวลาในการแอโนไดซ์เซชัน 15 นาที, 20 นาที, 5 นาที และ 25 นาทีตามลำดับ โดยจากข้อมูลข้างต้นอุปกรณ์ที่ใช้เวลาในการแอโนไดซ์เซชัน 10 นาที เมื่อมีการตรวจจับไอระเหยของสารเคมีกระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นประมาณ 3 μA ใช้เวลาในการอิมมูบ์ประมาณ 30 วินาที และใช้เวลาในการกลับมาจุดเริ่มต้นเดิมประมาณ 40 วินาที ซึ่งใช้นานน้อยกว่าอุปกรณ์ที่ใช้เวลาในการแอโนไดซ์เซชันอื่นๆ เมื่อพิจารณาจากข้อมูลข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า เวลาในการแอโนไดซ์เซชัน 10 นาที (เปอร์เซ็นต์ความพรุนประมาณ 69% ความหนาประมาณ 4.19 μm) เป็นเวลาที่เหมาะสมในการแอโนไดซ์เซชัน

5.4.2 การทดลองเพื่อศึกษาผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการแอโนไดซ์เซชันต่ออุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารเคมี

การทดลองนี้ศึกษาถึง ผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการสร้างชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการแอโนไดซ์เซชัน โดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 โดยปริมาตร เวลา 10 นาที ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 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 ตามลำดับ แล้วทำการต่อขั้วเพื่อทำการวัดลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการเปิดก๊าซไนโตรเจน 60 วินาที แล้วเปิดก๊าซไนโตรเจน

ผสมกับไอเอทานอล 60 วินาที และเปิดก๊าซไนโตรเจน 150 วินาที ที่อุณหภูมิห้อง อัตราการไหล 1 l/min โดยใช้เอทานอลบริสุทธิ์ แรงดันไฟฟ้า 20 โวลต์ ดังต่อไปนี้

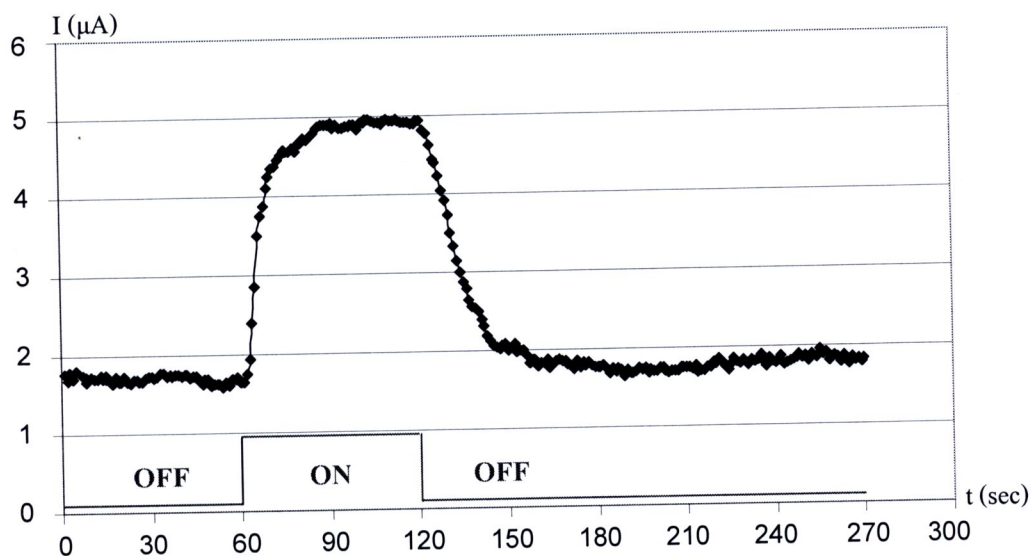
- อุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารเคมี ที่สร้างขึ้นนาโนพอร์สซิลิกอนโดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 โดยปริมาตร เวลา 10 นาที ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 5 mA/cm^2 (ความพรุนประมาณ 58% ความหนาประมาณ $3.59 \mu\text{m}$) นำมาวัดลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาการเปิด-ปิดไอระเหยของสารเคมี แสดงดังรูปที่ 5.39



รูปที่ 5.39 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาการเปิด-ปิดไอระเหยของสารเคมีของอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารเคมีที่ใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการแอโนไดซ์เซชัน 5 mA/cm^2

จากรูปที่ 5.39 พบว่าที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการแอโนไดซ์เซชัน 5 mA/cm^2 กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นขณะทำการเปิดก๊าซไนโตรเจนอยู่ที่ประมาณ $98.8 \mu\text{A}$ เมื่อทำการวัดไอระเหยของสารเคมีขณะเปิดก๊าซไนโตรเจนผสมกับไอระเหยของสารเคมีที่เวลาประมาณ 60 วินาที กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนขึ้นไปถึงอยู่ที่ประมาณ $101.1 \mu\text{A}$ ที่เวลาประมาณ 120 วินาที และทำการปิดไอระเหยของสารเคมีพร้อมกับเปิดก๊าซไนโตรเจนที่เวลาประมาณ 120 วินาที กระแสไฟฟ้าจะตกลงเรื่อยๆ จนตกลงมาที่จุดเดิมตอนเริ่มต้นประมาณ $98.8 \mu\text{A}$ ที่เวลาประมาณ 200 วินาที ซึ่งสังเกตได้ว่าปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงมีค่าประมาณ $2.3 \mu\text{A}$ เมื่อมีการตรวจจับไอระเหยของสารเคมีกระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จะใช้เวลาในการอิมมูนาตัวนานกว่า 60 วินาที และเมื่อมีการปิดไอระเหยของสารเคมีกระแสไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ ใช้เวลาในการกลับมาจุดเริ่มต้นเดิมประมาณ 80 วินาที

- อุปกรณ์ตรวจจับไอร่หะเหยของสารเคมี ที่สร้างชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนโดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 โดยปริมาตร เวลา 10 นาที ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 (ความพรุนประมาณ 69% ความหนาประมาณ $4.19 \text{ }\mu\text{m}$) นำมาวัดลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาการเปิด-ปิดไอร่หะเหยของสารเคมี แสดงดังรูปที่ 5.40

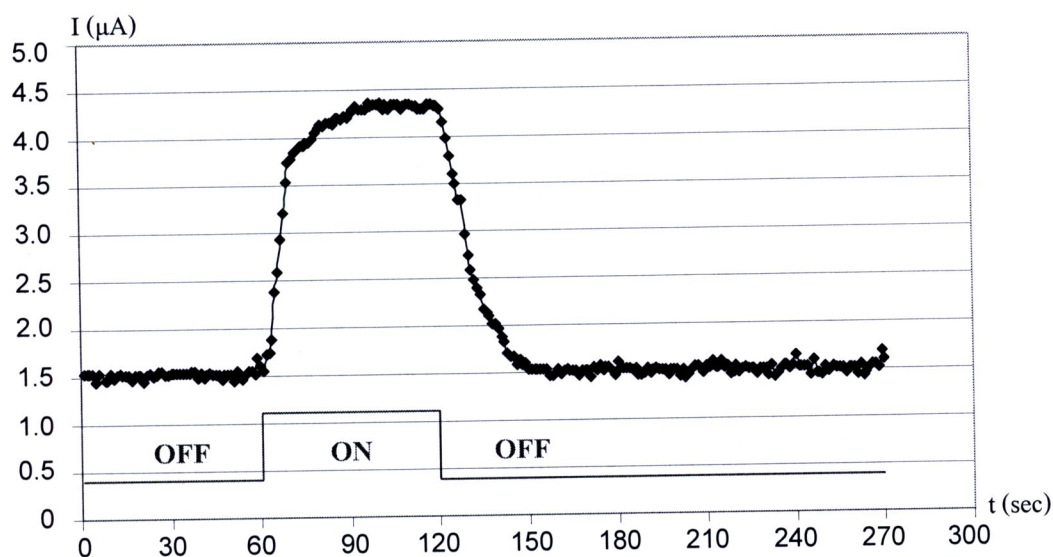


รูปที่ 5.40 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาการเปิด-ปิดไอร่หะเหยของสารเคมีของอุปกรณ์

ตรวจจับไอร่หะเหยของสารเคมีที่ใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการแอโนไดซ์เซชัน 10 mA/cm^2

จากรูปที่ 5.40 พบว่าที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการแอโนไดซ์เซชัน 10 mA/cm^2 กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นขณะทำการเปิดก๊าซในโตรเจนอยู่ที่ประมาณ $1.8 \text{ }\mu\text{A}$ เมื่อทำการวัดไอร่หะเหยของสารเคมีขณะเปิดก๊าซในโตรเจนผสมกับไอร่หะเหยของสารเคมีที่เวลาประมาณ 60 วินาที กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนอิ่มตัวอยู่ที่ประมาณ $4.9 \text{ }\mu\text{A}$ ที่เวลาประมาณ 90 วินาที และทำการปิดไอร่หะเหยของสารเคมีพร้อมกับเปิดก๊าซในโตรเจนที่เวลาประมาณ 120 วินาที กระแสไฟฟ้าจะตกลงเรื่อยๆ จนตกลงมาที่จุดเดิมตอนเริ่มต้นประมาณ $1.8 \text{ }\mu\text{A}$ ที่เวลาประมาณ 160 วินาที ซึ่งสังเกตได้ว่าปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงมีค่าค่าประมาณ $3.1 \text{ }\mu\text{A}$ เมื่อมีการตรวจจับไอร่หะเหยของสารเคมีกระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จะใช้เวลาในการอิ่มตัวประมาณ 30 วินาที และเมื่อมีการปิดไอร่หะเหยของสารเคมีกระแสไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ ใช้เวลาในการกลับมาจุดเริ่มต้นเดิมประมาณ 40 วินาที

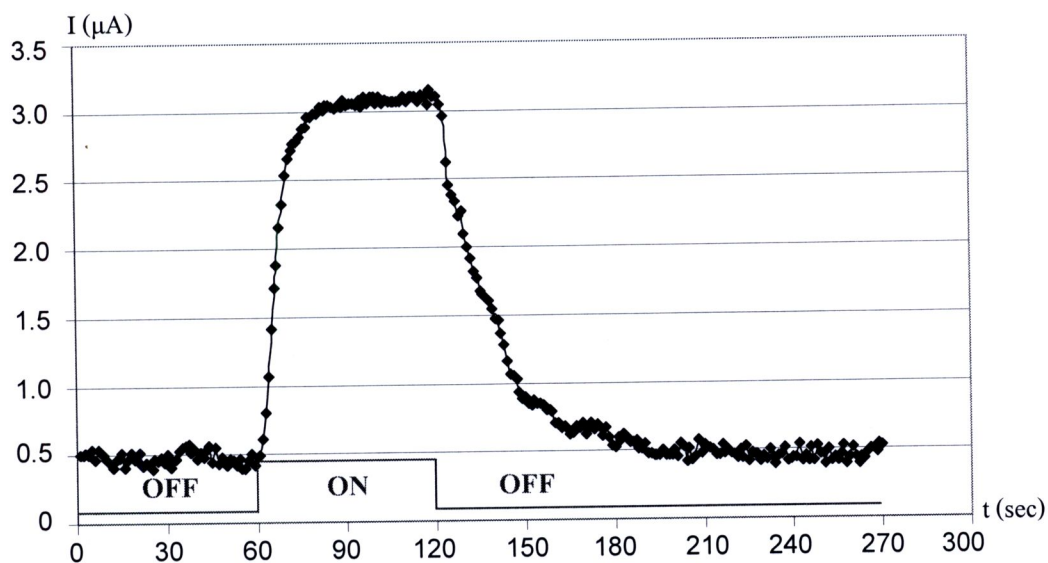
- อุปกรณ์ตรวจจับไอร่หะเหยของสารเคมี ที่สร้างชันนาโนพอร์สซึลิกอนโดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 โดยปริมาตร เวลา 10 นาที ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 15 mA/cm^2 (ความพรุนประมาณ 74%) นำมาวัดลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาการเปิด-ปิดไอร่หะเหยของสารเคมี แสดงดังรูปที่ 5.41



รูปที่ 5.41 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาการเปิด-ปิดไอร่หะเหยของสารเคมีของอุปกรณ์ตรวจจับไอร่หะเหยของสารเคมีที่ใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการแอโนไดซ์เซชัน 15 mA/cm^2

จากรูปที่ 5.41 พบว่าที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการแอโนไดซ์เซชัน 15 mA/cm^2 กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นขณะทำการเปิดก๊าซในโตรเจนอยู่ที่ประมาณ $1.5 \mu\text{A}$ เมื่อทำการวัดไอร่หะเหยของสารเคมีขณะเปิดก๊าซในโตรเจนผสมกับไอร่หะเหยของสารเคมีที่เวลาประมาณ 60 วินาที กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนอิ่มตัวอยู่ที่ประมาณ $4.3 \mu\text{A}$ ที่เวลาประมาณ 90 วินาที และทำการปิดไอร่หะเหยของสารเคมีพร้อมกับเปิดก๊าซในโตรเจนที่เวลาประมาณ 120 วินาที กระแสไฟฟ้าจะตกลงเรื่อยๆ จนตกลงมาที่จุดเดิมตอนเริ่มต้นประมาณ $1.5 \mu\text{A}$ ที่เวลาประมาณ 160 วินาที ซึ่งสังเกตได้ว่าปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงมีค่าประมาณ $2.8 \mu\text{A}$ เมื่อมีการตรวจจับไอร่หะเหยของสารเคมีกระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จะใช้เวลาในการอิ่มตัวประมาณ 30 วินาที และเมื่อมีการปิดไอร่หะเหยของสารเคมีกระแสไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ ใช้เวลาในการกลับมาจุดเริ่มต้นเดิมประมาณ 40 วินาที

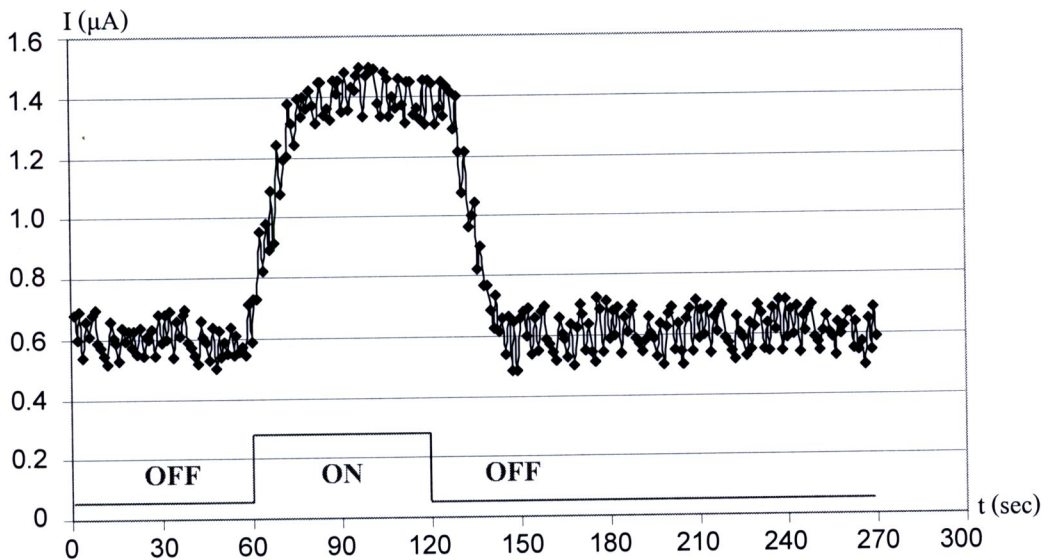
- อุปกรณ์ตรวจจับไอร่หะเหยของสารเคมี ที่สร้างชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนโดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 โดยปริมาตร เวลา 10 นาที ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 20 mA/cm^2 (ความพรุนประมาณ 78% ความหนาประมาณ $4.09 \text{ }\mu\text{m}$) นำมาวัดลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาการเปิด-ปิดไอร่หะเหยของสารเคมี แสดงดังรูปที่ 5.42



รูปที่ 5.42 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาการเปิด-ปิดไอร่หะเหยของสารเคมีของอุปกรณ์ตรวจจับไอร่หะเหยของสารเคมีที่ใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการแอโนไดซ์เซชัน 20 mA/cm^2

จากรูปที่ 5.42 พบว่าที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการแอโนไดซ์เซชัน 20 mA/cm^2 กระแสไฟฟ้าเริ่มต้นขณะทำการเปิดก๊าซในโตรเจนอยู่ที่ประมาณ $0.5 \text{ }\mu\text{A}$ เมื่อทำการวัดไอร่หะเหยของสารเคมีขณะเปิดก๊าซในโตรเจนผสมกับไอร่หะเหยของสารเคมีที่เวลาประมาณ 60 วินาที กระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนอิ่มตัวอยู่ที่ประมาณ $3.1 \text{ }\mu\text{A}$ ที่เวลาประมาณ 90 วินาที และทำการปิดไอร่หะเหยของสารเคมีพร้อมกับเปิดก๊าซในโตรเจนที่เวลาประมาณ 120 วินาที กระแสไฟฟ้าจะตกลงเรื่อยๆ จนตกลงมาที่จุดเดิมตอนเริ่มต้นประมาณ $0.5 \text{ }\mu\text{A}$ ที่เวลาประมาณ 180 วินาที ซึ่งสังเกตได้ว่าปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงมีค่าประมาณ $2.6 \text{ }\mu\text{A}$ เมื่อมีการตรวจจับไอร่หะเหยของสารเคมีกระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จะใช้เวลาในการอิ่มตัวประมาณ 30 วินาที และเมื่อมีการปิดไอร่หะเหยของสารเคมีกระแสไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ ใช้เวลาในการกลับมาจุดเริ่มต้นเดิมประมาณ 60 วินาที

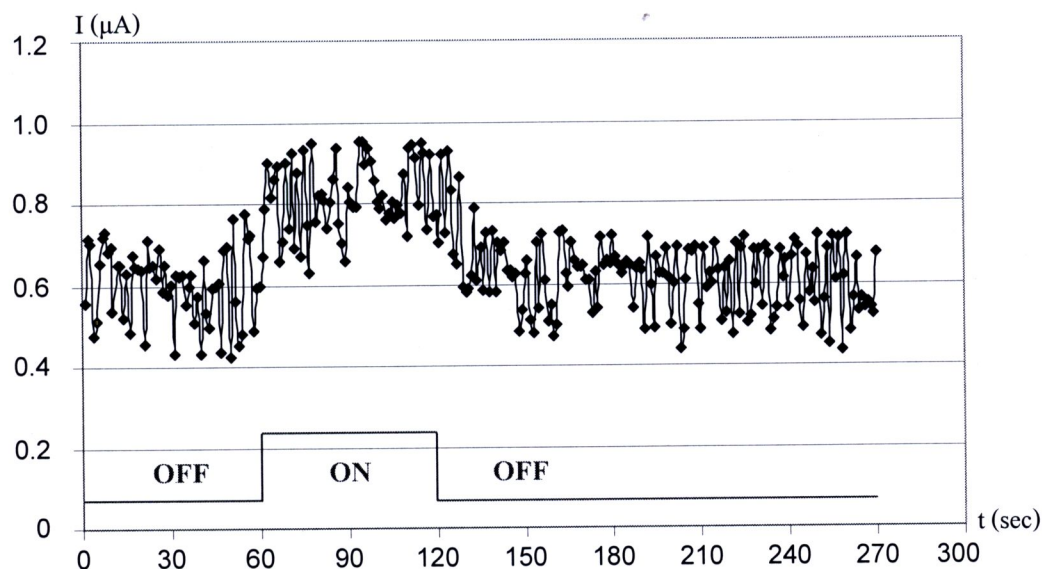
- อุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารเคมี ที่สร้างชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนโดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 โดยปริมาตร เวลา 10 นาที ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 25 mA/cm^2 (ความพรุนประมาณ 84%) นำมาวัดลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาการเปิด-ปิดไอระเหยของสารเคมี แสดงดังรูปที่ 5.43



รูปที่ 5.43 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาการเปิด-ปิดไอระเหยของสารเคมีของอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารเคมีที่ใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการแอโนไดซ์เซชัน 25 mA/cm^2

จากรูปที่ 5.43 พบว่าที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการแอโนไดซ์เซชัน 25 mA/cm^2 กระแสไฟฟ้าจะมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการตรวจจับไอระเหยของสารเคมี แต่ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่วัดได้มีค่าต่ำมากและมีค่าไม่คงที่ ซึ่งเป็นผลมาจากเปอร์เซ็นต์ความพรุนชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนมีค่าประมาณ 84 % ส่งผลทำให้ค่าความต้านทานของชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนที่ใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการแอโนไดซ์เซชัน 25 mA/cm^2 มีค่าสูงมาก จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในการตรวจจับไอระเหยของสารเคมี

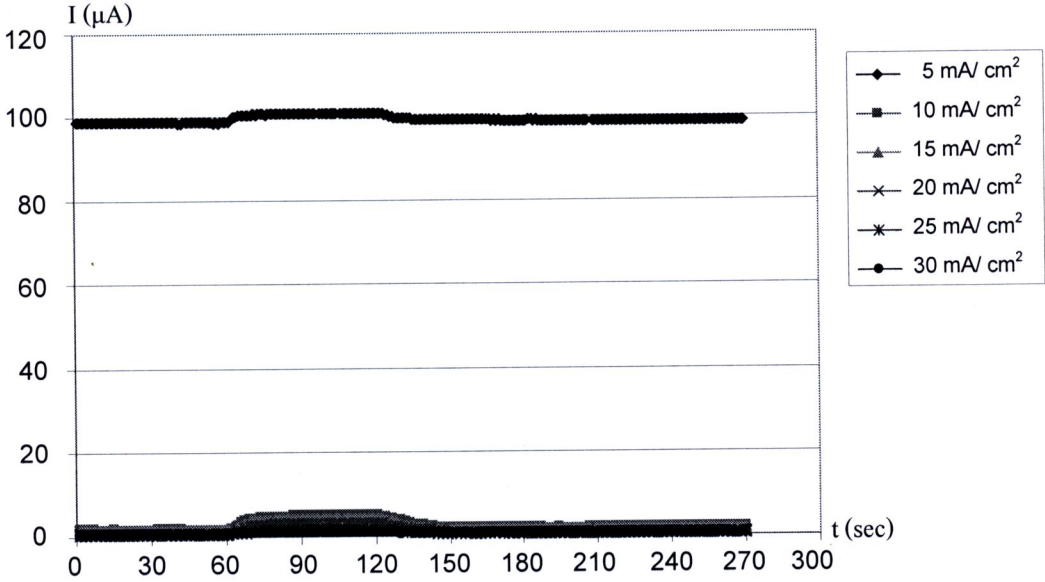
- อุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารเคมี ที่สร้างชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนโดยใช้อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 โดยปริมาตร เวลา 10 นาที ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 30 mA/cm^2 (ความพรุนประมาณ 89%) นำมาวัดลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาการเปิด-ปิดไอระเหยของสารเคมี แสดงดังรูปที่ 5.44



รูปที่ 5.44 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาการเปิด-ปิดไอระเหยของสารเคมีของอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารเคมีที่ใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการแอโนไดซ์เซชัน 30 mA/cm^2

จากรูปที่ 5.44 พบว่าที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการแอโนไดซ์เซชัน 30 mA/cm^2 กระแสไฟฟ้าจะมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการตรวจจับไอระเหยของสารเคมี แต่ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่วัดได้มีค่าต่ำมากและมีค่าไม่คงที่ ซึ่งเป็นผลมาจากเปอร์เซ็นต์ความพรุนชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนมีค่าประมาณ 89 % ส่งผลทำให้ค่าความต้านทานของชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนที่ใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการแอโนไดซ์เซชัน 25 mA/cm^2 มีค่าสูงมาก จึงไม่เหมาะที่จะนำมาใช้ในการตรวจจับไอระเหยของสารเคมี

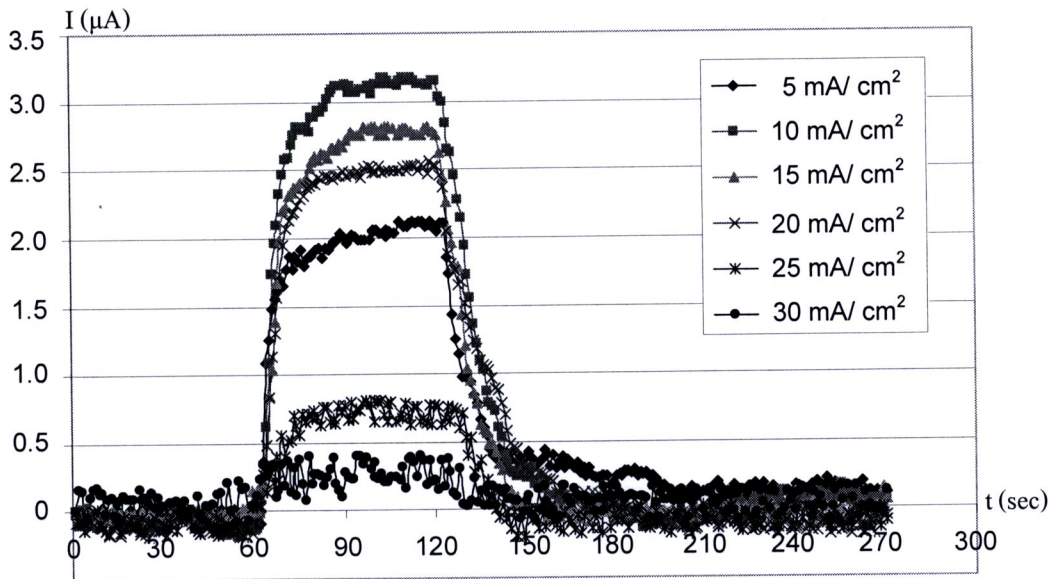
จากรูปที่ 5.39 – 5.44 จึงได้ทำการเปรียบเทียบลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาการเปิด-ปิดไอระเหยของสารเคมีของอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารเคมีโดยใช้นาโนพอร์สซิลิกอนที่ใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการแอโนไดซ์เซชัน 5 mA/cm^2 , 10 mA/cm^2 , 15 mA/cm^2 , 20 mA/cm^2 , 25 mA/cm^2 และ 30 mA/cm^2 ตามลำดับ ในกราฟเดียวกัน แสดงดังรูปที่ 5.45



รูปที่ 5.45 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าในต่อเวลาการเปิด-ปิดไอระเหยของสารเคมีของอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารเคมี ที่ใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการแอโนไดซ์เซชันต่างๆ กัน

จากรูปที่ 5.45 พบว่า อุปกรณ์ที่ใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการแอโนไดซ์เซชัน $5 \text{ mA}/\text{cm}^2$ มีกระแสไฟฟ้าเริ่มต้นมีค่าสูงที่สุด ตามด้วยที่ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า $10 \text{ mA}/\text{cm}^2$, $15 \text{ mA}/\text{cm}^2$, $20 \text{ mA}/\text{cm}^2$, $25 \text{ mA}/\text{cm}^2$ และ $30 \text{ mA}/\text{cm}^2$ ตามลำดับ เนื่องจากเมื่อใช้เวลาในการแอโนไดซ์เซชันเพิ่มมากขึ้น จะส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ความพูนชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนมีค่าเพิ่มขึ้น ให้ค่าความต้านทานของชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนมีค่าเพิ่มขึ้น ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่วัดได้จึงมีค่าลดลงตามลำดับ

ทำการเปรียบเทียบลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาการเปิด-ปิดไอระเหยของสารเคมีของอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารเคมีโดยใช้นาโนพอร์สซิลิกอนที่ใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า $5 \text{ mA}/\text{cm}^2$, $10 \text{ mA}/\text{cm}^2$, $15 \text{ mA}/\text{cm}^2$, $20 \text{ mA}/\text{cm}^2$, $25 \text{ mA}/\text{cm}^2$ และ $30 \text{ mA}/\text{cm}^2$ ตามลำดับ ที่ระดับกระแสไฟฟ้าตอนเริ่มต้นเป็น $0 \mu\text{A}$ เพื่อทำการเปรียบเทียบดูปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นของแต่ละอุปกรณ์ที่ใช้เวลาในการแอโนไดซ์เซชันต่างๆ แสดงดังรูปที่ 5.46



รูปที่ 5.46 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาการเปิด-ปิดไอระเหยของสารเคมีของอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารเคมี ที่ใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการแอโนไดซ์เซชันต่างๆ กัน ที่ระดับอ้างอิงเดียวกัน

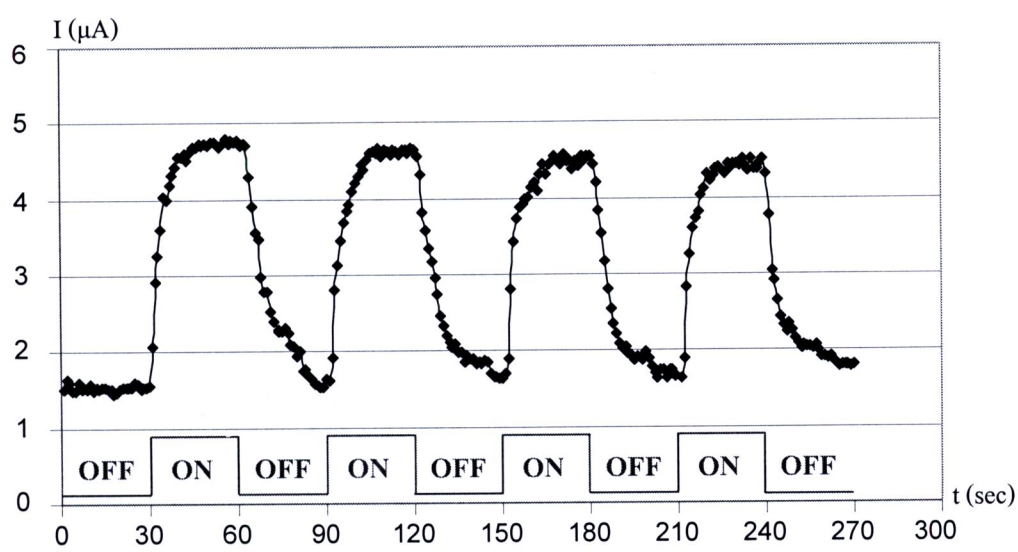
จากรูปที่ 5.46 พบว่า อุปกรณ์ที่ใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการแอโนไดซ์เซชัน 10 mA/cm^2 มีปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นในการตรวจจับไอระเหยของสารเคมีประมาณ $3.1 \mu\text{A}$ ซึ่งมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการแอโนไดซ์เซชัน 15 mA/cm^2 , 20 mA/cm^2 , 5 mA/cm^2 , 25 mA/cm^2 และ 30 mA/cm^2 ตามลำดับ โดยจากข้อมูลข้างต้นอุปกรณ์ที่ใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการแอโนไดซ์เซชัน 10 mA/cm^2 เมื่อมีการตรวจจับไอระเหยของสารเคมีกระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นประมาณ $3.1 \mu\text{A}$ ใช้เวลาในการอิมตัวประมาณ 30 วินาที และใช้เวลาในการกลับมาจุดเริ่มต้นเดิมประมาณ 40 วินาที ซึ่งใช้น้อยกว่าอุปกรณ์ที่ใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการแอโนไดซ์เซชันอื่นๆ เมื่อพิจารณาจากข้อมูลข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการแอโนไดซ์เซชัน 10 mA/cm^2 (เปอร์เซ็นต์ความพรุนประมาณ 69% ความหนาประมาณ $4.19 \mu\text{m}$) เป็นความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมในการแอโนไดซ์เซชัน

5.5 การทดลองเพื่อศึกษาอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารเคมีโดยใช้ชั้นนาโนพอร์สซิลิกอน

การทดลองนี้ศึกษาถึง ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อการตรวจจับไอระเหยของสารเคมีในลักษณะต่างๆ กันของชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนที่สร้างด้วยวิธีการแอโนไดซ์เซชัน อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 โดยปริมาตร เวลา 10 นาที ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm² ดังหัวข้อต่อไปนี้

5.5.1 การทดลองเพื่อศึกษาอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารเคมีต่อการตรวจจับไอระเหยของสารเคมีแบบต่อเนื่อง

การทดลองนี้ศึกษาถึง การตรวจจับไอระเหยของสารเคมีแบบต่อเนื่องของอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารเคมีโดยใช้ชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนด้วยวิธีการแอโนไดซ์เซชันที่ อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 โดยปริมาตร เวลา 10 นาที ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm² แล้วทำการวัดลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการเปิดก๊าซไนโตรเจน 30 วินาที ต่อมาเปิดก๊าซไนโตรเจนผสมกับไอเอทานอล 30 วินาที แล้วเปิดก๊าซไนโตรเจน 30 วินาที และเปิดก๊าซไนโตรเจนผสมกับไอเอทานอล 30 วินาที ต่อไปเรื่อยๆ 4 รอบ ที่อุณหภูมิห้อง อัตราการไหล 1 l/min โดยใช้เอทานอลบริสุทธิ์ แรงดันไฟฟ้า 20 โวลต์ แสดงดังรูปที่ 5.47

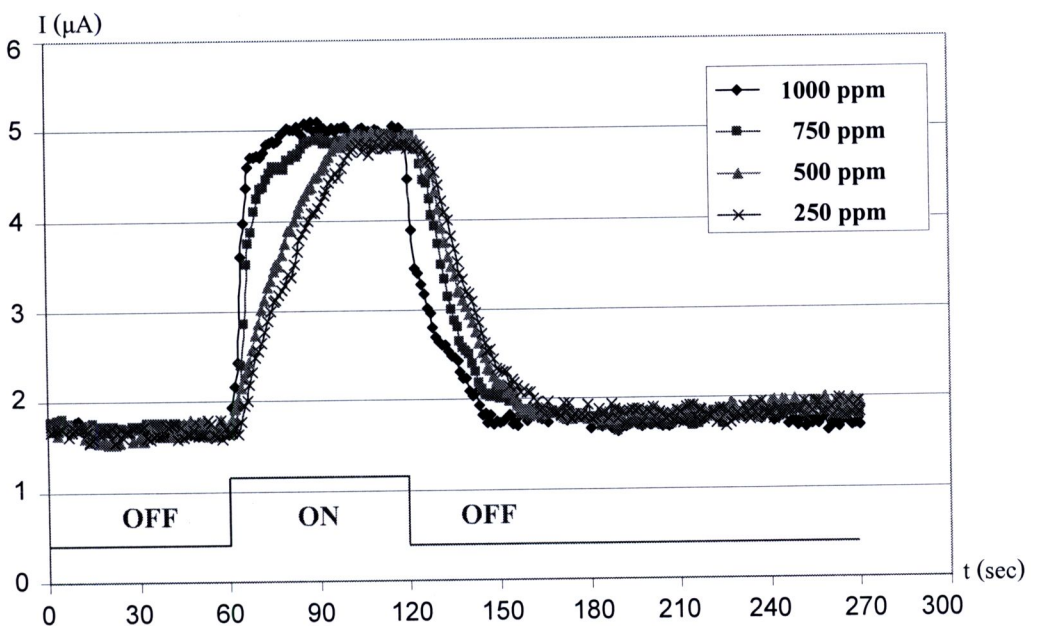


รูปที่ 5.47 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาการเปิด-ปิดไอระเหยของสารเคมีของอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารเคมีที่ทำการวัดแบบต่อเนื่อง

จากรูปที่ 5.47 พบว่า เมื่อทำการตรวจจับไอระเหยของสารเคมีแบบต่อเนื่อง ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงการตรวจจับจะมีค่าที่สอดคล้องกัน ดังนั้นอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารเคมีโดยใช้ชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนสามารถทำการตรวจจับไอระเหยของสารเคมีแบบต่อเนื่องได้

5.5.2 การทดลองเพื่อศึกษาผลของความเข้มข้นไอระเหยของสารเคมีต่ออุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารเคมี

การทดลองนี้ศึกษาถึง ผลของความเข้มข้นไอระเหยของสารเคมี (part per million : ppm) ต่ออุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารเคมีโดยใช้ชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนด้วยวิธีการแอโนไดซ์เซชันที่ อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 โดยปริมาตร เวลา 10 นาที ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 วัดลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาในการเปิดก๊าซไนโตรเจน 60 วินาที แล้วเปิดก๊าซไนโตรเจนผสมกับไอเอทานอล 60 วินาที และเปิดก๊าซไนโตรเจน 150 วินาที ที่อุณหภูมิห้อง โดยใช้เอทานอลบริสุทธิ์ แรงดันไฟฟ้า 20 โวลต์ ความเข้มข้นไอระเหยของสารเคมีเปลี่ยนแปลงเป็น 250 ppm, 500 ppm, 750 ppm และ 1000 ppm ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 5.48



รูปที่ 5.48 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาการเปิด-ปิดไอระเหยของสารเคมีของอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารเคมีที่ความความเข้มข้นไอระเหยของสารเคมีต่างๆ กัน

จากรูปที่ 5.48 พบว่า เมื่อทำการตรวจจับไอระเหยของสารเคมีที่ความเข้มข้นไอระเหยของสารเคมีต่างๆ กัน จะได้ผลการทดลองดังนี้

- ความเข้มข้นไอระเหยของสารเคมี 250 ppm ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นมีค่าประมาณ 3.1 μA เมื่อมีการตรวจจับไอระเหยของสารเคมีกระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ใช้เวลาในการอิมตัวประมาณ 45 วินาที และเมื่อทำการปิดไอระเหยของสารเคมีกระแสไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ ใช้เวลาในการกลับมาจุดเริ่มต้นเดิมประมาณ 50 วินาที

- ความเข้มข้นไอระเหยของสารเคมี 500 ppm ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นมีค่าประมาณ 3.1 μA เมื่อมีการตรวจจับไอระเหยของสารเคมีกระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จะใช้เวลาในการอิมตัวประมาณ 40 วินาที และเมื่อมีการปิดไอระเหยของสารเคมีกระแสไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ ใช้เวลาในการกลับมาจุดเริ่มต้นเดิมประมาณ 45 วินาที

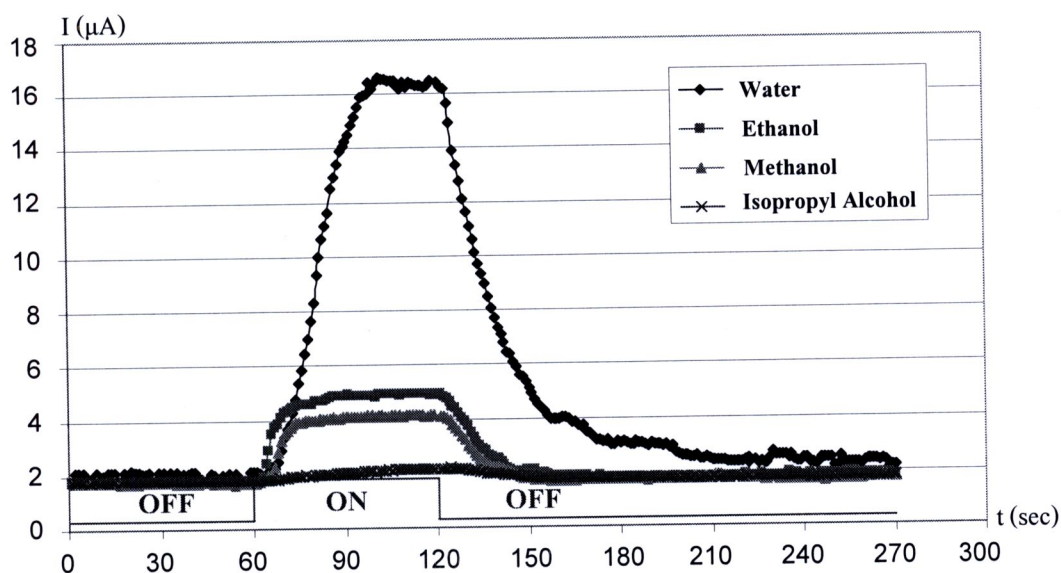
- ความเข้มข้นไอระเหยของสารเคมี 750 ppm ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงมีค่าประมาณ 3.1 μA เมื่อมีการตรวจจับไอระเหยของสารเคมีกระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จะใช้เวลาในการอิมตัวประมาณ 30 วินาที และเมื่อมีการปิดไอระเหยของสารเคมีกระแสไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ ใช้เวลาในการกลับมาจุดเริ่มต้นเดิมประมาณ 40 วินาที

- ความเข้มข้นไอระเหยของสารเคมี 1000 ppm ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงมีค่าประมาณ 3.1 μA เมื่อมีการตรวจจับไอระเหยของสารเคมีกระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จะใช้เวลาในการอิมตัวประมาณ 20 วินาที และเมื่อมีการปิดไอระเหยของสารเคมีกระแสไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ ใช้เวลาในการกลับมาจุดเริ่มต้นเดิมประมาณ 20 วินาที

พิจารณาจากข้อมูลทั้งหมดข้างต้นสามารถสรุปได้ว่า เมื่อปริมาณความเข้มข้นไอระเหยของสารเคมีเพิ่มขึ้นจาก 250 ppm, 500 ppm, 750 ppm, 1000 ppm จะส่งผลทำให้เวลาในการเพิ่มขึ้นของกระแสไฟฟ้าจนเกิดการอิมตัวในการตรวจจับไอระเหยของสารเคมีจะใช้เวลาประมาณ 45 วินาที, 40 วินาที, 30 วินาที และ 20 วินาที ตามลำดับ ซึ่งจะใช้เวลาสั้นลง และทำให้เวลาในการลดลงของกระแสไฟฟ้าจนกลับมาจุดเริ่มต้นเดิมจะใช้เวลาประมาณ 50 วินาที, 45 วินาที, 40 วินาที และ 20 วินาที ตามลำดับ ซึ่งจะใช้เวลาสั้นลงเช่นกัน ส่วนปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นจนเกิดการอิมตัวจะมีค่าใกล้เคียงกันประมาณ 3.1 μA ดังนั้นอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารเคมีโดยใช้เซ็นนาโนพอร์สซิลิคอนสามารถทำการตรวจจับไอระเหยของสารเคมีที่ความเข้มข้นไอระเหยของสารเคมีต่างๆ กันได้

5.5.3 การทดลองเพื่อศึกษาผลของไอสารเคมีต่างชนิดกันต่ออุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารเคมี

การทดลองนี้จะศึกษาถึง ผลของไอสารเคมีต่างชนิดกันต่ออุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารเคมีโดยใช้ชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนด้วยวิธีการแอโนไดซ์เซชันที่ อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 โดยปริมาตร เวลา 10 นาที ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm² ที่อุณหภูมิห้อง อัตราการไหล 1 l/min แรงดันไฟฟ้า 20 โวลต์ โดยเปิดก๊าซในโตรเจนผสมกับไอน้ำ, ไอเอทานอล, ไอเมทานอล และไอไอโซโพรพิลอะลกอฮอล์ของสารเคมี ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 5.51



รูปที่ 5.51 ลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อเวลาการเปิด-ปิดไอสารเคมีต่างชนิดกันของอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารเคมี

- จากรูปที่ 5.51 พบว่า เมื่อทำการตรวจจับไอสารเคมีต่างชนิดกัน จะได้ผลการทดลอง ดังนี้
- ไอน้ำ (H_2O) ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงมีค่าประมาณ 14.3 μA เมื่อมีการตรวจจับไอน้ำกระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จะใช้เวลาในการอิ่มตัวประมาณ 45 วินาที และเมื่อมีการปิดไอน้ำกระแสไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ ใช้เวลาในการกลับมาจุดเริ่มต้นเดิมประมาณ 110 วินาที
 - ไอเอทานอล (C_2H_5OH) ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงมีค่าประมาณ 3.1 μA เมื่อมีการตรวจจับไอเอทานอลกระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จะใช้เวลาในการอิ่มตัวประมาณ 30 วินาที และเมื่อมีการปิดไอเอทานอลกระแสไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ ใช้เวลาในการกลับมาจุดเริ่มต้นเดิมประมาณ 40 วินาที
 - ไอเมทานอล (CH_3OH) ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงมีค่าประมาณ 2.4 μA เมื่อมีการตรวจจับไอเมทานอลกระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จะใช้เวลาในการอิ่มตัวประมาณ 30 วินาที

และเมื่อมีการปิดไอเมทานอลกระแสไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ จะใช้เวลาในการกลับมาจุดเริ่มต้นเดิมประมาณ 30 วินาที

- ไอไอโซโพรพิลอะลกอฮอล์ของสารเคมี $((CH_2)_2CHOH)$ ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงมีค่าประมาณ $0.4 \mu A$ เมื่อมีการตรวจจับไอไอโซโพรพิลอะลกอฮอล์ของสารเคมีกระแสไฟฟ้าจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จะใช้เวลาในการอิมิต์นานกว่า 60 วินาที และเมื่อมีการปิดไอไอโซโพรพิลอะลกอฮอล์ของสารเคมีกระแสไฟฟ้าจะลดลงเรื่อยๆ ใช้เวลาในการกลับมาจุดเริ่มต้นเดิมประมาณ 40 วินาที

เมื่ออุปกรณ์ตรวจจับไออะลกอฮอล์ของสารเคมีโดยใช้ชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน ทำการตรวจจับไอสารเคมีต่างชนิดกัน ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงต่อการตรวจจับไอน้ำ มีค่ามากที่สุดรองลงมาคือไอเอทานอล ไอเมทานอล และไอไอโซโพรพิลอะลกอฮอล์ของสารเคมี ตามลำดับ โดยปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงต่อการตรวจจับไอสารเคมีในแต่ละชนิดมีค่าไม่เท่ากัน ดังนั้นอุปกรณ์ตรวจจับไออะลกอฮอล์ของสารเคมีโดยใช้ชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนสามารถทำการตรวจจับไอสารเคมีต่างชนิดกันได้อีกด้วย