

บทที่ 6

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

งานวิจัยฉบับนี้เป็นการวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับลักษณะโครงสร้างของชั้นนาโนพอร์สซิลิกอน การสร้างชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนด้วยวิธีการแอนโนไดซ์เซชันเพื่อการประยุกต์ใช้งานทางด้านการตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์ โดยมีโครงสร้างอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์แบบประกอบด้วย ฐานรองซิลิกอนชนิดพีที่สร้างชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนอยู่บนผิวหน้า และมีขั้วโลหะที่เป็นอลูมิเนียมอยู่บนชั้นนาโนพอร์สซิลิกอน ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ง่าย เหมาะที่จะนำไปใช้สร้างเป็นวงจรรวมต่อไปในอนาคต

ชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนที่สร้างด้วยวิธีการแอนโนไดซ์เซชันในงานวิจัยนี้มีค่าพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงอยู่ 3 แบบ โดยส่วนแรก คือ ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกที่ผสมกับน้ำบริสุทธิ์เปรียบเทียบกับเอทานอลที่อัตราส่วน 5:1, 4:1, 3:1, 2:1 และ 1:1 โดยปริมาตร ส่วนที่สอง คือ ระยะเวลาในการสร้าง 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 20 นาที และ 25 นาที ส่วนที่สาม คือ 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 จากนั้นนำชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนที่ได้มาทดสอบความสม่ำเสมอ หาค่าเปอร์เซ็นต์ความพรุน และความลึกของชั้นนาโนพอร์สซิลิกอน

จากการทดสอบความสม่ำเสมอ พบว่าชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนที่สร้างจากความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกผสมกับน้ำบริสุทธิ์มีความไม่สม่ำเสมอ ดังนั้นจึงทำการสร้างชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนที่ความเข้มข้นของสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกผสมกับเอทานอล พบว่าชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนที่ได้มีความสม่ำเสมอมากขึ้นเนื่องจากเอทานอลไปช่วยลดแรงตึงผิวของสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกทำให้ลดจำนวนฟองก๊าซไฮโดรเจนที่รวมตัวกันเป็นกลุ่มฟองก๊าซที่มีขนาดใหญ่บริเวณผิวหน้าของแผ่นซิลิกอนซึ่งเป็นสาเหตุทำให้สารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกสามารถเข้าถึงผิวหน้าของแผ่นซิลิกอนได้ดี จึงได้ชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนที่มีความสม่ำเสมอ โดยอัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลที่เหมาะสมเป็น 4:1 โดยปริมาตร ทำให้ได้ชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนที่มีความสม่ำเสมอและไม่ประปรายแตกหักง่าย

เมื่อทำการทดลองถึงผลของเวลาในการสร้างชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนด้วยวิธีการแอนโนไดซ์เซชัน พบว่าเมื่อทำการเพิ่มเวลาในการแอนโนไดซ์เซชันจะส่งผลทำให้ชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนมีเปอร์เซ็นต์ความพรุนเพิ่มมากขึ้น และมีความลึกเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมีเวลาในการทำปฏิกิริยามากขึ้น และทำการทดลองถึงผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการสร้างชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนด้วยวิธีการแอนโนไดซ์เซชัน พบว่าเมื่อทำการเพิ่มความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการแอนโนไดซ์เซชันจะส่งผลทำให้เปอร์เซ็นต์ความพรุนเพิ่มมากขึ้น แต่ความลึกของชั้นนาโนพอร์สซิลิกอนยังคงมีค่า

ใกล้เคียงกัน เนื่องจากเมื่อใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการแอโนไดซ์เซชันมากขึ้น ทำให้พาหะโฮลบริเวณผิวซิลิคอนขณะทำการกัดมีจำนวนเพิ่มมากขึ้น แต่เวลาที่ใช้ในการแอโนไดซ์เซชันนั้นใช้เวลาเท่าเดิม แต่จากการทดลองข้างต้นยังไม่สามารถสรุปได้ว่า เวลาและความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการสร้างชั้นนาโนพอร์ซิลิคอนเท่าใด ถึงจะเหมาะสมที่จะนำมาตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์ จึงได้ทำการทดลองหาค่าเวลาและความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมต่อการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ อุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์โดยใช้ชั้นนาโนพอร์ซิลิคอนที่สร้างด้วยวิธีการแอโนไดซ์เซชันในงานวิจัยนี้มีค่าพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนแปลงอยู่ 2 ส่วน โดยส่วนแรกคือ ระยะเวลาในการแอโนไดซ์เซชันเป็น 5 นาที, 10 นาที, 15 นาที, 20 นาที และ 25 นาที ส่วนที่สอง คือ ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการแอโนไดซ์เซชันเป็น 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 จากนั้นนำอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์มาทดสอบลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อการตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์ของชั้นนาโนพอร์ซิลิคอน

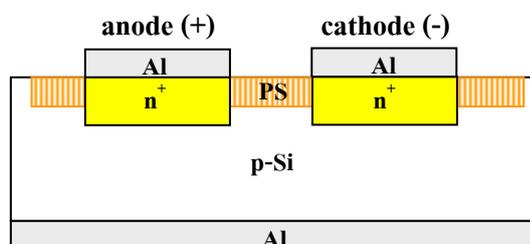
จากการทดสอบลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อการตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์ของอุปกรณ์ที่มีชั้นนาโนพอร์ซิลิคอนเปรียบเทียบกับอุปกรณ์ที่ไม่มีชั้นนาโนพอร์ซิลิคอน พบว่าอุปกรณ์ที่มีชั้นนาโนพอร์ซิลิคอนมีการตอบสนองต่อการตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์ แต่อุปกรณ์ที่ไม่มีชั้นนาโนพอร์ซิลิคอนไม่มีการตอบสนองต่อการตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์ แล้วทำการทดลองถึงผลของเวลาในการสร้างชั้นนาโนพอร์ซิลิคอนด้วยวิธีการแอโนไดซ์เซชันต่อการตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์ พบว่าอุปกรณ์ที่ใช้เวลาในการแอโนไดซ์เซชัน 10 นาที มีปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นประมาณ $3 \mu\text{A}$ ใช้เวลาในการอิมมิดีในการตรวจจับไอแอลกอฮอล์ประมาณ 30 วินาที และใช้เวลาในการตกกลับมาจุดเริ่มต้นเดิมประมาณ 40 วินาที ซึ่งเป็นเวลาในการแอโนไดซ์เซชันที่เหมาะสมที่สุด และทำการทดลองถึงผลของความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการสร้างชั้นนาโนพอร์ซิลิคอนด้วยวิธีการแอโนไดซ์เซชันต่อการตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์ พบว่าอุปกรณ์ที่ใช้ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการแอโนไดซ์เซชัน 10 mA/cm^2 มีปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นประมาณ $3.1 \mu\text{A}$ ใช้เวลาในการอิมมิดีประมาณ 30 วินาที และใช้เวลาในการกลับมาจุดเริ่มต้นเดิมประมาณ 40 วินาที ซึ่งเป็นความหนาแน่นกระแสไฟฟ้าในการแอโนไดซ์เซชันที่เหมาะสมที่สุด

อุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์โดยใช้ชั้นนาโนพอร์ซิลิคอนที่สร้างด้วยวิธีการแอโนไดซ์เซชัน อัตราส่วนสารละลายกรดไฮโดรฟลูออริกต่อเอทานอลเป็น 4:1 โดยปริมาตร เวลา 10 นาที ความหนาแน่นกระแสไฟฟ้า 10 mA/cm^2 มีเปอร์เซ็นต์ความพรุนประมาณ 69% ความลึกประมาณ $4.19 \mu\text{m}$ ทำการศึกษาถึงลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าต่อการตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์แบบต่อเนื่อง และทำการตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์ที่ความเข้มข้นไอระเหยของสารอินทรีย์ 250 ppm, 500 ppm, 750 ppm และ 1000 ppm ตามลำดับ พร้อมทั้งทำการตรวจจับไอ

ระเหยของสารอินทรีย์ที่เปอร์เซ็นต์ระเหยของสารอินทรีย์ผสมกับน้ำเป็น 100%, 75%, 50%, 25% และน้ำ 100 % ตามลำดับ และทำการตรวจจับไอสารอินทรีย์ต่างชนิดกันโดยใช้ ไอน้ำ, ไอเอทานอล, ไอเมทานอล และ ไอไอโซโพรพิลระเหยของสารอินทรีย์ ในการทดสอบ

จากการทดสอบลักษณะสมบัติกระแสไฟฟ้าในตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์ของอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์โดยใช้ชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน พบว่าเมื่อทำการตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์แบบต่อเนื่องปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เปลี่ยนแปลงในแต่ละช่วงการตรวจจับจะมีค่าที่สอดคล้องกัน และอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์โดยใช้ชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนนี้ สามารถทำการตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์ที่ความเข้มข้นไอระเหยของสารอินทรีย์และเปอร์เซ็นต์ระเหยของสารอินทรีย์ต่างๆ กันได้ รวมทั้งสามารถตรวจจับไอของสารอินทรีย์ต่างชนิดกันได้อีกด้วย

อุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์โดยใช้ชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนในงานวิจัยนี้เป็นโครงสร้างแบบง่ายๆ โดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงค่าความนำไฟฟ้าของชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนเมื่อมีการตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์ แต่อุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์โดยใช้ชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนนี้มีข้อเสียอยู่ที่มีขั้วไฟฟ้าอยู่บนชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนส่งผลทำให้รอยสัมผัสระหว่างขั้วไฟฟ้ากับชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนมีค่าความต้านทานที่สูง ซึ่งมีผลกระทบต่อปริมาณกระแสไฟฟ้าที่วัดได้เป็นอย่างมาก จึงควรสร้างให้ขั้วไฟฟ้าอยู่บนเนื้อซิลิคอนเพื่อช่วยลดค่าความต้านทานที่รอยสัมผัสลง โดยใช้โครงสร้างที่มีชั้น n^+ เพิ่มเข้ามาจากโครงสร้างเดิม แสดงดังรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 โครงสร้างของอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์โดยใช้ชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนที่ปรับปรุงแล้ว

จากรูปที่ 6.1 เป็นอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์โดยใช้ชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน ที่ทำการปรับปรุงโครงสร้างเพื่อลดค่าความต้านทานที่รอยสัมผัสลง โดยใช้หลักการเปลี่ยนแปลงค่าความจุไฟฟ้าที่รอยสัมผัสระหว่าง n^+ กับชั้นนาโนพอร์สซิลิคอน เมื่อชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนมีการตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์ ซึ่งอุปกรณ์ตรวจจับไอระเหยของสารอินทรีย์โดยใช้ชั้นนาโนพอร์สซิลิคอนนี้สามารถนำมาประยุกต์ใช้ตรวจจับไอสารอินทรีย์ได้หลายชนิด และนำไปใช้ร่วมกับวงจรรวมต่างๆ ในการตรวจจับความชื้นได้อีกด้วย