

บทที่ 5

สรุป วิจัยผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป และวิจัยผลการทดลอง

จากการเตรียมโครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยทองคำ 0, 5 และ 10% โดยนำหน้าด้วยวิธีการออกซิเดชันฟิล์มหนาของซิงก์ที่เจือด้วยทองคำ 0, 5 และ 10% โดยนำหน้าบนแผ่นรองรับอะลูมินา จากนั้นนำไปประยุกต์ใช้เป็นเซนเซอร์เอทานอล โดยเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์โครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยทองคำด้วยวิธีการออกซิเดชัน เพื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็นเซนเซอร์เอทานอล คือ ทำการเผาฟิล์มหนาที่อุณหภูมิ 700°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง โดยมีอัตราการไหลของออกซิเจน 500 มิลลิเมตรต่อนาที สำหรับการวิเคราะห์โครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์และ โครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยทองคำที่ได้ สามารถสรุปได้มีดังรายละเอียดต่อไปนี้

5.1.1 ลักษณะทางกายภาพของโครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์

จากการสังเกตด้วยตาเปล่าของฟิล์มหนาของโครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์และโครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยทองคำด้วยวิธีการออกซิเดชันที่อุณหภูมิต่างๆพบว่า ฟิล์มหนาที่เจือด้วยทองคำ 0% โดยนำหน้า มีลักษณะที่เปลี่ยนแปลงไปอย่างชัดเจน คือ สีของฟิล์มหนาเปลี่ยนจากสีดำเป็นสีขาว ส่วนฟิล์มหนาที่เจือด้วยทองคำ 5 และ 10% โดยนำหน้า พบว่า ฟิล์มหนาจะมีสีซีดลงตามอุณหภูมิการเผาที่เพิ่มขึ้น ดังรูปที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ จากผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของโครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์และนาโนซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยทองคำที่สังเคราะห์ได้ โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) พบว่า สามารถสังเคราะห์โครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์ที่ผ่านกระบวนการเผาที่อุณหภูมิ 500, 600, 700, 800 และ 900°C ใช้เวลาเผา 6 ชั่วโมง โดยโครงสร้างที่ได้มีลักษณะเป็นทั้ง nanowires และ nanobelts ปะปนกันไป เมื่อพิจารณาขนาดและความยาวพบว่าขนาดของโครงสร้างจะมีค่าเพิ่มขึ้นและความยาวของโครงสร้างจะสั้นลง เมื่อเผาในอุณหภูมิที่สูงขึ้น แต่ความยาวของโครงสร้างดูเหมือนจะไม่แตกต่างกันมากนัก แสดงในตารางที่ 4.2 เมื่อพิจารณาความหนาแน่น ขนาด และความยาวของโครงสร้างในแง่ของปริมาณการเจือทองคำ พบว่าปริมาณการเจือทองคำน่าจะมีผลต่อการ

เปลี่ยนแปลงของโครงสร้าง โดยความหนาแน่น ขนาด และความยาวของโครงสร้างจะลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเจือทองคำ 10% โดยน้ำหนัก สำหรับโครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยทองคำ 5% โดยน้ำหนักที่เผาด้วยอุณหภูมิ 700°C เป็น 12 และ 24 ชั่วโมง พบว่าโครงสร้างก็ไม่มี ความแตกต่างกันเท่าใดนักไม่ว่าจะเป็นขนาดและความยาว แต่โครงสร้างที่เผาเป็นเวลา 24 ชั่วโมงจะมีขนาดเล็กกว่าเล็กน้อย ตัวแปรอย่างหนึ่งที่ต้องพิจารณาด้วยคือ เวลาของการอบเซอรั่ก๊าซที่แตกต่างกันซึ่งน่าจะมีผลต่อโครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์ จะเห็นว่าการอบเซอรั่ก๊าซเป็นระยะเวลาที่นาน น่าจะเป็นผลทำให้โครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์มีขนาดและความยาวที่น้อยลงเมื่อเทียบกับโครงสร้างก่อนการอบและการอบ 30 วัน

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับผลการทดลองของคณะนักวิจัยอื่นๆ พบว่ามีขนาดและความยาวที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองการสังเคราะห์โครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์โดยวิธีออกซิเดชัน กับผลการทดลองของคณะนักวิจัยอื่นๆ

ผู้วิจัย (ปีที่ตีพิมพ์)	สารตั้งต้น	อุณหภูมิที่ใช้ เผา (°C)	ลักษณะโครงสร้าง	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ ZnO ที่สังเคราะห์ได้ (nm)
Liu และคณะ ⁽²⁶⁾ (2005)	ผงสังกะสี	550	ZnO nanowires, ZnO nanorods	40 – 100
Sekar และคณะ ⁽²³⁾ (2005)	ผงสังกะสี	600	ZnO nanowires	30 - 60
Zhang และคณะ ⁽²⁴⁾ (2005)	แผ่นฟอยล์ สังกะสี	700	porous membranes nanowires or nanorods nanobelts nanoneedles tetrapods	ระดับนาโนเมตร
Umar และคณะ ⁽²⁵⁾ (2005)	ผงสังกะสี	650	ZnO nanowires	20 – 50
Li และคณะ ⁽²⁰⁾ (2006)	ผงสังกะสี	600	ZnO porous film	150 - 200
Ren และคณะ ⁽²⁹⁾ (2006)	ผงสังกะสี	350 และ 400	ZnO nanowires	20 – 150
งานวิจัยนี้(กรณีเผา นาน 24 ชั่วโมง)	ผงสังกะสี ผงสังกะสี เจือ Au 5% wt	700	ZnO nanowires, ZnO nanobelts	200 – 1000 170 - 500

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับผลการทดลองของคณะนักวิจัยอื่นๆ ดังตารางที่ 5.1 พบว่า โครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ในงานวิจัยนี้ มีรูปแบบลักษณะเป็นโครงสร้างนาโนมีทั้ง nanowires และ nanobelts โดยที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของโครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ในงานวิจัยนี้ จะมีขนาดใหญ่กว่าโครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ในงานวิจัยของคณะวิจัยอื่นๆ ก่อนข้างมาก ซึ่งสาเหตุคาดว่ามาจากระยะเวลาที่ใช้เผาที่นาน และเงื่อนไขการเผาอื่นๆ

5.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของโครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์

จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของโครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ โดยเครื่องสเปกโทรสโกปีพลังงานกระจาย (Energy Dispersive Spectroscopy, EDS) พบว่า โครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ประกอบด้วยธาตุองค์ประกอบเพียง 2 ธาตุ คือ สังกะสี และ ออกซิเจน โดยมีอัตราส่วนเฉลี่ยของธาตุสังกะสี (Zinc, Zn) ต่อออกซิเจน (Oxygen, O) เป็น 38.09 : 61.91 หรือประมาณได้เป็น 1 : 2 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลการทดลองสามารถสังเคราะห์โครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์ได้มีความบริสุทธิ์ค่อนข้างสูง ส่วนโครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยทองคำ 5 และ 10% โดยน้ำหนักพบว่ามีองค์ประกอบของทองคำเจือปนอยู่ในโครงสร้าง โดยมีอัตราส่วนเฉลี่ยของธาตุสังกะสีต่อออกซิเจนต่อทองคำเป็น 56.45 : 43.05 : 0.50 และ 64.24 : 35.49 : 0.29 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่ามีองค์ประกอบของทองคำอยู่ในโครงสร้างจริง

5.1.3 สมบัติการตรวจจับไอเอทานอลของเซนเซอร์ก๊าซ

เมื่อนำโครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์ มาประยุกต์ใช้เป็นหัววัดไอเอทานอล พบว่าค่าความต้านทานของโครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์จะมีค่าลดลงเมื่ออยู่ในบรรยากาศของไอเอทานอล ซึ่งสภาพไว เวลาการตอบสนอง และเวลาการคืนตัว ของโครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์ ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิทดสอบที่ให้แก่วัดและความเข้มข้นของไอเอทานอล จากผลการทดสอบสมบัติการตรวจจับไอเอทานอล ของเซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมได้ด้วยเงื่อนไขต่างๆ สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

เมื่อเลือกโครงสร้างที่เจือด้วยทองคำ 0, 5 และ 10% โดยน้ำหนัก ที่เผาที่อุณหภูมิ 700 °C พบว่าโครงสร้างที่เจือด้วยทองคำ 5% โดยน้ำหนักเหมาะสมที่สุดที่จะนำมาหาเงื่อนไขการเผาที่เหมาะสมที่สุด พบว่าการเผาที่อุณหภูมิ 700 °C เหมาะสมที่สุดเนื่องจากค่าความต้านทานเริ่มต้นไม่

สูงเกินไป เวลาการตอบสนองมีค่าน้อยที่สุด ถึงแม้ว่าเวลาการคืนตัวค่อนข้างสูง นอกจากนี้ค่าสภาพไวก็สูงกว่าโครงสร้างที่เผาที่อุณหภูมิ 800 และ 900 °C สำหรับความเข้มข้น 1000 ppm

เมื่อนำฟิล์มหนาของซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยทองคำ 5% โดยน้ำหนักมาเผาที่อุณหภูมิ 500 - 900 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง แล้วอบเป็นเวลา 3 ชั่วโมงในเตาอบซึ่งมีอุณหภูมิ 60 – 80 °C เมื่อนำไปตรวจจับไอเอทานอลความเข้มข้น 1000 ppm โดยใช้อุณหภูมิทดสอบ 280 - 380 °C พบว่าอุณหภูมิที่เหมาะสมที่ให้ค่าสภาพไวสูงสุดคือ 300 °C มีค่าสภาพไวเป็น 59 ถึงแม้ว่าเวลาการตอบสนองจะสูงกว่าอุณหภูมิอื่นๆแต่ถือว่ามีความใกล้เคียงกัน ส่วนเวลาการคืนตัวมีแนวโน้มลดลงเมื่ออุณหภูมิทดสอบเพิ่มขึ้น

เนื่องจากว่าการอบด้วยอุณหภูมิดังกล่าวไม่สามารถไล่ความชื้นบนพื้นผิวเซนเซอร์ก๊าซ นอกจากนี้ทำให้เซนเซอร์ก๊าซไม่มีความเสถียรด้วยจึงใช้วิธีการอบโดยผ่านกระแสไฟฟ้าจาก power supply ไปยัง heater เมื่อเวลาการอบแตกต่างกัน ทำให้ความต้านทานเริ่มต้นและค่าสภาพไวเปลี่ยนแปลงไป โดยในช่วงเวลาการอบตั้งแต่ 0.125 - 50 วัน ค่าสภาพไวของเซนเซอร์ก๊าซเพิ่มขึ้นตามช่วงเวลาและค่าสภาพไวสูงสุดที่เวลาการอบ 50 วัน แต่เมื่ออบเซนเซอร์ก๊าซเป็นเวลา 80 วัน พบว่าค่าสภาพไวลดลง ซึ่งอาจจะเกิดจากการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเซนเซอร์ก๊าซและอาจสรุปได้ว่าน่าจะมีช่วงเวลาใดเวลาหนึ่งของการอบที่ให้ค่าสภาพไวสูงสุด เมื่อพิจารณาเวลาการตอบสนองและเวลาคืนตัว พบว่าเวลาการตอบสนองมีความใกล้เคียงกันหน่วยวินาที ส่วนเวลาการคืนตัวมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน เมื่อนำมาเขียนกราฟพบว่าเวลาของการอบ 30 วัน ให้เวลาการคืนตัวน้อยที่สุด ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเวลาของการอบที่เหมาะสมที่สุดน่าจะเป็น 30 วัน เนื่องจากเวลาการคืนตัวน้อยที่สุดและค่าสภาพไวของเวลาการอบ 30 วัน และ 50 วันก็ไม่แตกต่างกันมากนัก

เมื่อการเผาฟิล์มหนาของโครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยทองคำเป็นเวลา 6 ชั่วโมง อาจจะทำให้โครงสร้างเกิดออกซิเดชันไม่หมดหรือโครงสร้างบางส่วนยังไม่เป็นซิงก์ออกไซด์ ดังนั้น จึงทำการเผาฟิล์มหนาด้วยอุณหภูมิ 700 °C เป็นเวลา 12 และ 24 ชั่วโมง แล้วนำมาตรวจจับไอเอทานอล 1000 ppm พบว่าโครงสร้างที่เผาเป็นเวลา 24 ชั่วโมงได้ค่าสภาพไวที่สูงกว่าโครงสร้างที่เผาเป็นเวลา 12 ชั่วโมง เนื่องจากความแตกต่างทั้งขนาดและความยาวของโครงสร้าง ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าการเผาโครงสร้างเป็นเวลา 24 ชั่วโมงเป็นเงื่อนไขที่ดีที่สุด

เมื่อนำโครงสร้างที่เจือด้วยทองคำ 0, 5 และ 10% โดยน้ำหนักมาเผาที่อุณหภูมิ 700 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาตรวจจับไอเอทานอลความเข้มข้น 1000 ppm ที่อุณหภูมิทดสอบ 340 °C พบว่าเงื่อนไขที่ดีที่สุดของการเจือทองคำคือ 5% โดยน้ำหนักซึ่งคล้ายคลึงกับกรณีที่เผาเป็นเวลา 6 ชั่วโมง

เมื่อพิจารณาความเข้มข้นของไอเอทานอลที่ใช้ทดสอบมีผลต่อประสิทธิภาพของเซนเซอร์ ไอเอทานอล คือ ในแง่ของค่าสภาพไวมีแนวโน้มว่าจะแปรผันตรงกับความเข้มข้นของไอเอทานอล คือ ค่าสภาพไวจะสูงขึ้นเมื่อทดสอบกับไอเอทานอลความเข้มข้นมากขึ้น และเมื่อพิจารณาจาก เวลาการตอบสนองและเวลาการคืนตัว ดูเหมือนว่าความเข้มข้นของไอเอทานอลที่ใช้ทดสอบจะมีผลต่อเวลาการตอบสนองและเวลาการคืนตัวไม่มากเท่าใดนัก

เมื่อนำค่าสภาพไวและอุณหภูมิทดสอบที่ดีที่สุดมาเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นๆ พบว่าค่าสภาพไวของงานวิจัยนี้ได้ค่าค่อนข้างสูง ถึงแม้ว่าจะต่ำกว่างานวิจัยของ Yuzhen แต่อุณหภูมิทดสอบที่ดีที่สุดของ Yuzhen ถือว่าสูงมาก ไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้

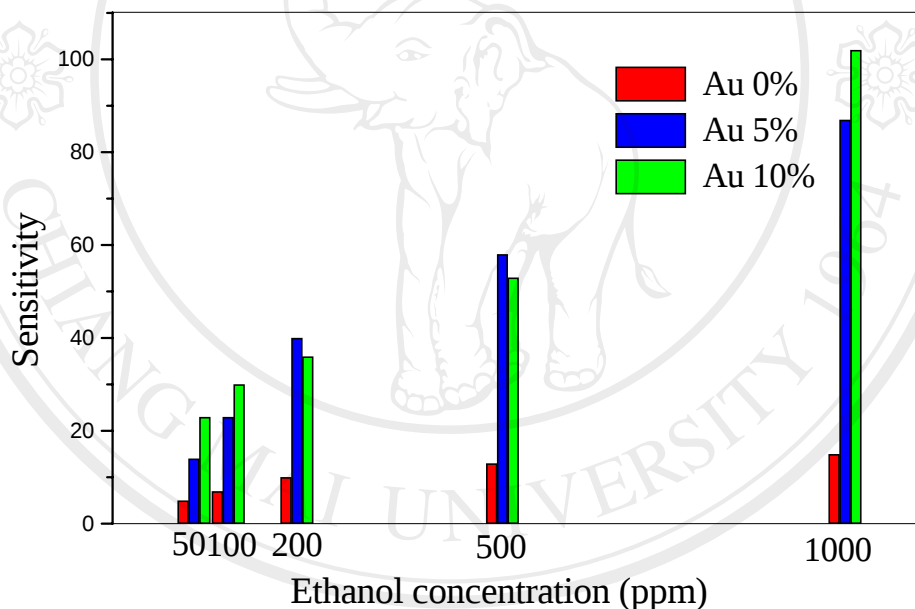
ตารางที่ 5.2 เปรียบเทียบอุณหภูมิทดสอบและค่าสภาพไวของงานวิจัยนี้กับงานวิจัยอื่นๆ

ผู้วิจัย (ปีที่ตีพิมพ์)	สารตั้งต้น	อุณหภูมิทดสอบที่ดีที่สุด(°C)	ความเข้มข้น (ppm)	สภาพไว
Wan และคณะ ⁽²²⁾ (2004)	ZnO nanowires	300	Alcohol 200 ppm	47
Hongsith และคณะ ⁽⁶⁴⁾ (2005)	ZnO nanobelts	220	Ethanol 1000 ppm	23
Xu และคณะ ⁽²⁸⁾ (2005)	ZnO nanosolid	370	Ethanol 3000 ppm	20
Feng และคณะ ⁽³²⁾ (2005)	ZnO nanoflowers	300	Ethanol 1000 ppm	30
Yuzhen และคณะ ⁽³³⁾ (2006)	ZnO nanorods	450	Ethanol 1000 ppm	293
งานวิจัยนี้ (เผา 24 ชั่วโมง)	ZnO nanowires & ZnO nanobelts	340	Ethanol 1000 ppm Ethanol 200 ppm	87 40

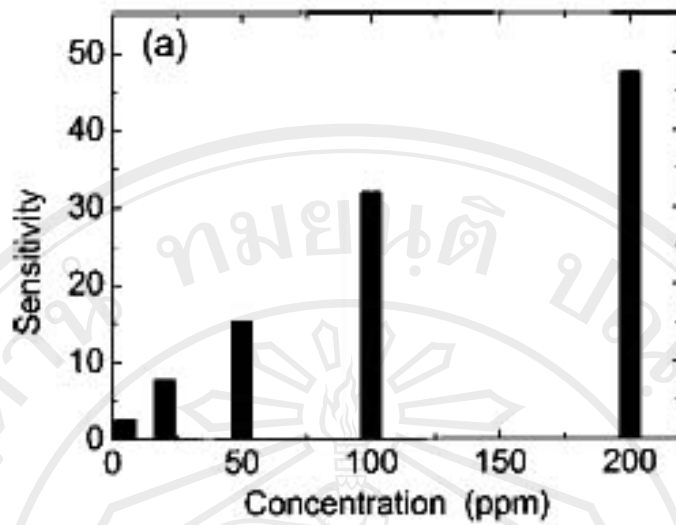
เมื่อเปรียบเทียบปริมาณการตอบสนองของเซนเซอร์ก๊าซต่ออุณหภูมิทดสอบพบว่าปริมาณการตอบสนองของเซนเซอร์ก๊าซที่เจือทองคำ 5% โดยน้ำหนักมีค่าเพิ่มมากขึ้น ส่วนปริมาณการตอบสนองของเซนเซอร์ก๊าซที่เจือทองคำ 0 และ 10% โดยน้ำหนักยังไม่เป็นไปตามทฤษฎี แต่ก็มี

ค่าที่ใกล้เคียงกัน ในทำนองเดียวกันปริมาณการตอบสนองของเซนเซอร์ก๊าซในทุกๆเงื่อนไขมีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของไอเอทานอลที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎี เมื่อเปรียบเทียบกับรายงานการวิจัยของ T. J. Hsueh และคณะ⁽⁵⁹⁾ พบว่าการตอบสนองของเซนเซอร์ก๊าซที่ความเข้มข้นของไอเอทานอล 1000 ppm มีเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นคือ 20, 35, 58 และ 61% เมื่อเพิ่มอุณหภูมิทดสอบที่ 180, 230, 260 และ 300 °C ตามลำดับ นอกจากนี้ เมื่อนำมาทดสอบกับความเข้มข้นไอเอทานอล 50, 100, 500, 1000 และ 1500 ppm พบว่าเปอร์เซ็นต์การตอบสนองเพิ่มขึ้นด้วยเป็น 18, 26, 43, 55 และ 61% ตามลำดับ

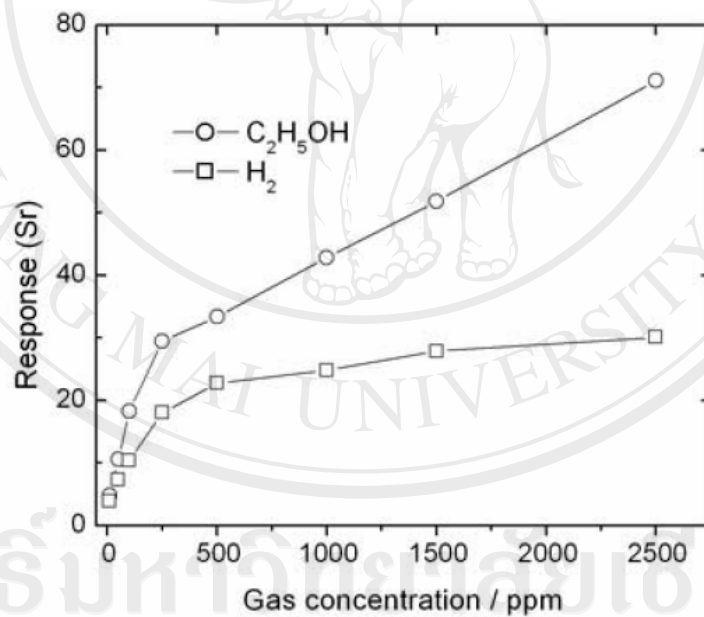
เมื่อนำผลการทดลองที่ได้เปรียบเทียบกับผลการทดลองของ Wan และคณะ⁽²²⁾ ซึ่งทดสอบสมบัติการตรวจจับไอเอทานอลของเส้นลวดนาโนซิงก์ออกไซด์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 25 nm พบว่าได้ผลดังรูปที่ 5.1 และ 5.2



รูปที่ 5.1 แสดงผลการทดสอบสมบัติการตรวจจับไอเอทานอลที่ความเข้มข้นต่างๆของเซนเซอร์ก๊าซที่เจือด้วยทองคำ



รูปที่ 5.2 แสดงผลการทดสอบสมบัติการตรวจจับไอเอทานอลของ Q. Wan และคณะ⁽²²⁾



รูปที่ 5.3 แสดงผลการทดสอบสมบัติการตรวจจับไอเอทานอลและไฮโดรเจน

ของ L. J. Bie และคณะ⁽⁶⁵⁾

จากรูปที่ 5.1 ซึ่งแสดงผลการทดสอบสมบัติการตรวจจับไอเอทานอลของเซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมจากการเผาฟิล์มหนาของซิงก์ออกไซด์ และซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยทองคำที่อุณหภูมิ 700°C นาน 24 ชั่วโมง เมื่อทดสอบกับไอเอทานอลความเข้มข้นต่างๆพบว่าผลที่ได้มีแนวโน้มคล้ายกับผล

การทดลองของ Q. Wan และคณะ กับ L. J. Bie และคณะ คือ ค่าสภาพโวลุ่มเพิ่มขึ้น เมื่อพิจารณาที่ความเข้มข้น 50, 100 และ 200 ppm จะเห็นว่าค่าสภาพโวลุ่มในงานวิจัยนี้กับการทดลองของ Q. Wan และคณะ มีค่าที่ใกล้เคียงกัน ถึงแม้ว่าค่าสภาพโวลุ่มในบางความเข้มข้นในงานวิจัยของ Q. Wan ที่สูงกว่า ส่วนงานวิจัยของ L. J. Bie และคณะ เมื่อพิจารณาที่ความเข้มข้น 50, 100, 250, 500 และ 1000 ppm จะเห็นว่าค่าสภาพโวลุ่มในงานวิจัยนี้มีแนวโน้มที่สูงกว่า ซึ่งอาจจะเกิดจากขนาดของโครงสร้างที่ใหญ่กว่าและมีความยาวมากกว่าทำให้มีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรมากกว่าและสามารถจับกับไอเอทานอลได้มากกว่า ในงานวิจัยนี้เมื่อพิจารณาคุณสมบัติของเซนเซอร์ก๊าซไม่ว่าจะเป็นค่าความต้านทานของเซนเซอร์ก๊าซ ค่าสภาพโวลุ่ม เวลาการตอบสนอง เวลาการคืนตัว และปริมาณการเจือทองคำพบว่า ปริมาณการเจือทองคำที่เหมาะสมที่สุดคือ 5% โดยน้ำหนัก เเผที่อุณหภูมิ 700 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และถือว่าสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง

เมื่อนำค่าสภาพโวลุ่มมาหาค่า b โดยใช้ค่าสภาพโวลุ่มสูงสุดในแต่ละความเข้มข้น พบว่าอุณหภูมิที่ดีที่สุดของโครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยทองคำ 0 และ 5% โดยน้ำหนัก คือ 340 °C โดยมีค่า b เท่ากับ 0.42 และ 0.62 ตามลำดับ สำหรับโครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยทองคำ 10% โดยน้ำหนัก คือ 300 °C จะมีค่า b เท่ากับ 0.53 จะเห็นว่าที่อุณหภูมิทดสอบที่ดีที่สุดนั้นของการเจือทองคำทั้งสามเงื่อนไขนั้นจะได้ค่า b ที่ใกล้เคียงกับ 0.5 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าออกซิเจนไอออนที่เกาะบนพื้นผิวของโครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยทองคำส่วนใหญ่เป็น O^{2-} แต่เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นออกซิเจนไอออนมีแนวโน้มเปลี่ยนแปลงไปเป็น O^- ซึ่งมีค่า b เข้าใกล้ 1 การเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นน่าจะเป็นผลมาจากการความเข้มข้นของไอเอทานอลหรือการอึดตัวของไอเอทานอลต่อพื้นที่ผิวของโครงสร้างที่ไอเอทานอลมาเกาะ เมื่อเปรียบเทียบกับรายงานการวิจัยของ S. Choopun และคณะ⁽⁶⁶⁾ ซึ่งได้สังเคราะห์เจมซัดนาโนซิงก์ออกไซด์โดยใช้วิธี RF Sputtering พบว่าค่า b มีค่าเท่ากับ 0.50 และ 0.45

5.1.4 การวิเคราะห์ผลจากรามาน สเปกโตรสโคปี

เมื่อนำผงซิงก์ออกไซด์ไปวิเคราะห์ด้วยรามาน สเปกโตรสโคปี พบว่าไม่ปรากฏโหมด $A_1(LO)$ เมื่อนำผงซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยทองคำ 0% 5 และ 10% โดยน้ำหนัก เมื่อเผด้วยอุณหภูมิ 700 °C พบว่า โหมด $A_1(TO)$ และ $A_1(LO)$ ของสารซิงก์ออกไซด์จะปรากฏตำแหน่ง 382 cm^{-1} และ 539 cm^{-1} และยังปรากฏเส้นสเปกตรัมที่ตำแหน่ง 386 cm^{-1} และ 557 cm^{-1} , 379 cm^{-1} และ 543 cm^{-1} ซึ่งเป็นคุณสมบัติของสารซิงก์ออกไซด์ นอกจากนี้ที่โหมด $E_1(LO)$ จะแสดงถึง Oxygen vacancy หรือ Oxygen deficiency แต่จากผลที่ได้ยังไม่ปรากฏตำแหน่งหรือการเลื่อนตำแหน่ง

อันเนื่องมาจากการเจือของทองคำอย่างชัดเจน เนื่องจากเลเซอร์ที่ใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสงเป็นอาร์กอน (Ar) ซึ่งอยู่ในช่วง visible light ซึ่งมีความยาวคลื่นประมาณ 514.2 nm

5.2 ข้อเสนอแนะ และงานที่สามารถทำต่อไป

5.2.1 ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการทดลอง

1. ควรบดแผ่นทองคำเปลวให้มีขนาดเล็กที่สุดซึ่งสามารถตรวจดูได้ด้วยกล้อง Zoom stereo microscope
2. ควรหาวิธีการสกรีนสารลงบนแผ่นรองรับให้มีความหนาอย่างคงที่ให้มากที่สุด
3. การติด Contact หรือการทำ Interdigital electrode ควรจะทำให้ขนาดเท่ากันตลอด เพื่อให้ผิวสัมผัสของโครงสร้างและอิเล็กโทรดมีความคงที่
4. ก่อนที่จะทำการทดสอบกับไอเอทานอลควรอบเซนเซอร์ก๊าซก่อนประมาณ 4 – 7 วัน และ การอบควรใช้วิธีอบโดยผ่านกระแสไฟฟ้าไปยัง heater ควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ประมาณ 200 - 240 °C เพื่อให้เซนเซอร์ก๊าซมีความเสถียรเพื่อพร้อมต่อการทดสอบ นอกจากนี้ยังทำให้ค่าความต้านทานเริ่มต้นของเซนเซอร์มีความคงที่เร็วขึ้น
5. การวัดอุณหภูมิของเซนเซอร์ก๊าซขณะทำการทดสอบที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ ใช้การเลื่อน Thermocouple ไปสัมผัสบริเวณกึ่งกลางกับตัวเซนเซอร์ก๊าซ ลักษณะการสัมผัสกับตัวเซนเซอร์ก๊าซ และตำแหน่งของ Thermocouple เทียบกับตัวเซนเซอร์ก๊าซ มีผลต่ออุณหภูมิของเซนเซอร์ที่วัดได้ค่อนข้างมาก ซึ่งจะส่งผลต่อผลการทดลองมาก ดังนั้นควรหาวิธีการลด Error ที่เกิดจากการจัดตำแหน่งของ Thermocouple ลงไป ซึ่งคาดว่าจะส่งผลให้ผลการทดลองมีความถูกต้องมากขึ้น
6. อุปกรณ์ที่ใช้จ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่เซนเซอร์ก๊าซ และ Heater ของเซนเซอร์ก๊าซ ควรเป็นอุปกรณ์ที่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ได้คงที่มากๆ โดยอุปกรณ์ที่จ่ายให้แก่ Heater จะต้องมีความละเอียดสูงเพราะจะส่งผลต่อความต้านทานของเซนเซอร์ก๊าซ ทำให้กราฟความต้านทานไม่นิ่ง
7. ควรพัน Heater กับแผ่นอะลูมินาให้ได้จำนวนรอบให้มากที่สุดเพื่อเป็นการเพิ่มความต้านทานให้กับ Heater ป้องกันการขาดของ Heater ในขณะที่เพิ่มอุณหภูมิสูงๆ
8. พยายามลด Noise ทางอิเล็กทรอนิกส์ลงให้มากที่สุด เพราะค่ากระแสที่วัดในการทดลองบางครั้งอยู่ในระดับไมโครแอมป์ ซึ่ง Noise จะมีผลค่อนข้างมาก

9. อากาศที่ใช้ Flow ผ่านไปยังเซนเซอร์ก๊าซขณะทดสอบควรทำให้เป็นอากาศแห้ง (Dry air) เสียก่อน เพื่อลดผลของความชื้นต่อผลการทดลอง

10. ความดันของก๊าซ รวมทั้งอากาศที่ Flow ผ่านไปยังเซนเซอร์ก๊าซขณะทดสอบ ควรใช้อุปกรณ์ที่ให้ความดันก๊าซใกล้เคียงกับความดันที่เกิดจากการเป่าลมของมนุษย์ เพราะเซนเซอร์ก๊าซที่ศึกษานี้จะถูกพัฒนานำไปทดสอบปริมาณแอลกอฮอล์ในลมหายใจ

11. ควรมีระบบควบคุมอุณหภูมิของเซนเซอร์ก๊าซให้คงที่ขณะทำการทดสอบ เพราะอุณหภูมิของเซนเซอร์ก๊าซที่เปลี่ยนไปมีผลต่อความต้านทานของเซนเซอร์ก๊าซด้วย

12. ขณะทำการเพิ่มอุณหภูมิให้เซนเซอร์ก๊าซก็คือการเพิ่มอุณหภูมิของ Heater ในกระบวนการทดสอบ ควรเพิ่มอุณหภูมิทีละน้อย เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับ Heater และเซนเซอร์ก๊าซ

13. การวิเคราะห์ด้วยรามาน สเปกโตรสโคปีสำหรับสารที่เจือด้วยทองคำนั้น ควรเปลี่ยนแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ให้อยู่ในช่วงต่ำกว่าหรือสูงกว่าช่วง visible light เพื่อลดปัญหาการเกิด fluorescence

5.2.2 ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการทดลองที่สามารถทำต่อไปได้

1. เงื่อนไขของเผาที่อุณหภูมิต่างๆ ตั้งแต่ 500 – 900°C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง น่าจะทำให้โครงสร้างสร้างที่ได้มีขนาดเล็กขึ้นและอัตราส่วนพื้นที่ผิวหรือเพิ่มอัตราการไหลของออกซิเจน

2. สามารถนำฟิล์มหนาของผงสังกะสีบนแผ่นรองรับอะลูมินาที่เผาแล้วจุ่มในสารละลายทองคำที่เจือจางแล้วมาทดสอบประสิทธิภาพของเซนเซอร์ก๊าซ เช่น ค่าสภาพไว เวลาการตอบสนอง และเวลาการคืนตัว เป็นต้น

3. สามารถทดลองนำฟิล์มหนาที่เจือด้วยทองคำแล้วนำไปจุ่มสารละลายแพลทินัมเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของเซนเซอร์ก๊าซ ดังข้อที่ 2

4. สารซิงก์ออกไซด์สามารถเจือสารอื่นลงไปเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเป็นเอทานอลเซนเซอร์ได้ เช่น La_2O_3 และ Pd ลงในสารซิงก์ออกไซด์ ในปริมาณต่างๆกัน ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเป็นเอทานอลเซนเซอร์ได้