

บทที่ 5

สรุป และวิจารณ์ผลการทดลอง

5.1 สรุป และวิจารณ์ผลการทดลอง

จากผลการทดลองในงานวิจัยนี้ สามารถสังเคราะห์เส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีการออกซิเดชัน และสามารถนำเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ไปประยุกต์ใช้เป็นเซนเซอร์เอทานอล โดยเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับการสังเคราะห์เส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีการออกซิเดชัน เพื่อนำไปประยุกต์ใช้เป็นเซนเซอร์เอทานอล คือ เผาต่อสังกะสีที่อัดขึ้นรูปจากผงสังกะสี ที่อุณหภูมิ 600°C นาน 24 ชั่วโมง ซึ่งผลการสังเคราะห์เส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่ได้สามารถสรุปได้มีดังรายละเอียดต่อไปนี้

5.1.1 ลักษณะทางกายภาพของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์

จากผลการศึกษาลักษณะทางกายภาพของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM) พบว่าสามารถสังเคราะห์เส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ได้บนผิวของท่อสังกะสี และท่อสังกะสีเจือทองคำ 1% โดยมวล ที่ผ่านกระบวนการเผาที่อุณหภูมิ 600, 700 และ 800°C ใช้เวลาเผานาน 6, 12 และ 24 ชั่วโมง ใช้อัตราการเพิ่มอุณหภูมิ 6°C ต่อนาที โครงสร้างนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ส่วนมากมีลักษณะเป็นเส้นงอกจากกระจุกสังกะสีเล็กๆ บนผิวของท่อสังกะสี และท่อสังกะสีเจือทองคำ สำหรับผิวของท่อสังกะสี และท่อสังกะสีเจือทองคำที่เผาด้วยเงื่อนไขอุณหภูมิ 600°C สามารถพบโครงสร้างนาโนลักษณะคล้ายใบไม้ปนอยู่กับเส้นลวดนาโนด้วย ซึ่งเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้บนผิวของท่อสังกะสี และท่อสังกะสีเจือทองคำมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางดังตารางที่ 4.2 และ 4.3 ในบทที่ 4 ตามลำดับ

จากผลการทดลองในตารางที่ 4.2 และ 4.3 จะเห็นได้ว่า อุณหภูมิที่ใช้เผามีผลต่อขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์มากกว่าระยะเวลาที่ใช้เผา โดยที่อุณหภูมิที่ใช้เผาสูงๆ จะได้เส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางที่ใหญ่กว่า ส่วนระยะเวลาที่ใช้เผาดูเหมือนจะมีผลต่อจำนวนเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อย คือ ที่ระยะเวลาเผา

นาน จะมีเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์เกิดขึ้นมากกว่าเล็กน้อย สำหรับตัวแปรที่ใช้กำหนดเงื่อนไขการเผาในการทดลองนี้ (อุณหภูมิ และเวลา) ดูเหมือนจะไม่มีผลต่อความยาวของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้อย่างชัดเจน และผลของการเจือทองคำ 1% โดยมวลก็ไม่มีผลต่อรูปร่าง ขนาด จำนวน และความยาวของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้อย่างชัดเจน ซึ่งคาดว่าสาเหตุน่าจะมาจากปริมาณทองคำที่เจือในผงสังกะสี มีปริมาณน้อยเกินไป

ตารางที่ 5.1 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองการสังเคราะห์โครงสร้างนาโนซิงค์ออกไซด์โดยวิธีออกซิเดชัน กับผลการทดลองของคณะนักวิจัยอื่นๆ

ผู้วิจัย (ปีที่ตีพิมพ์)	สารตั้งต้น	อุณหภูมิที่ใช้เผา (°C)	ลักษณะโครงสร้าง	ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของ ZnO ที่สังเคราะห์ได้ (nm)
Chen และคณะ ⁽⁵⁾ (2004)	เส้นลวดนาโนซิงค์	800	nanowires	8 - 20
Sekar และคณะ ⁽¹⁹⁾ (2005)	ผงสังกะสี	600	nanowires	30 - 60
Zhang และคณะ ⁽²³⁾ (2005)	แผ่นฟอยล์สังกะสี	700	porous membranes nanowires or nanorods nanobelts nanoneedles tetrapods	ระดับนาโนเมตร
Liu และคณะ ⁽¹²⁾ (2005)	ผงสังกะสี	550	nanowires nanorods	40 - 100
ในงานวิจัยนี้ (กรณีเผานาน 24 ชั่วโมง)	ผงสังกะสี	600 700 800	nanowires	120 – 250 230 – 400 300 – 570
	ผงสังกะสี	600		110 – 200
	เจือ Au 1% wt	700 800		270 – 500 420 - 670

เมื่อเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับผลการทดลองของคณะนักวิจัยอื่นๆ ดังตารางที่ 5.1 พบว่า โครงสร้างนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ในงานวิจัยนี้ มีรูปแบบลักษณะเป็นเส้นลวดนาโน (Nanowires) ทั้งหมด โดยที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ในงานวิจัยนี้ จะมีขนาดใหญ่กว่าโครงสร้างนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ในงานวิจัยของคณะวิจัยอื่นๆค่อนข้างมาก ซึ่งสาเหตุคาดว่ามาจากระยะเวลาที่ใช้เผาที่นาน และเงื่อนไขการเผาอื่นๆ

5.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์

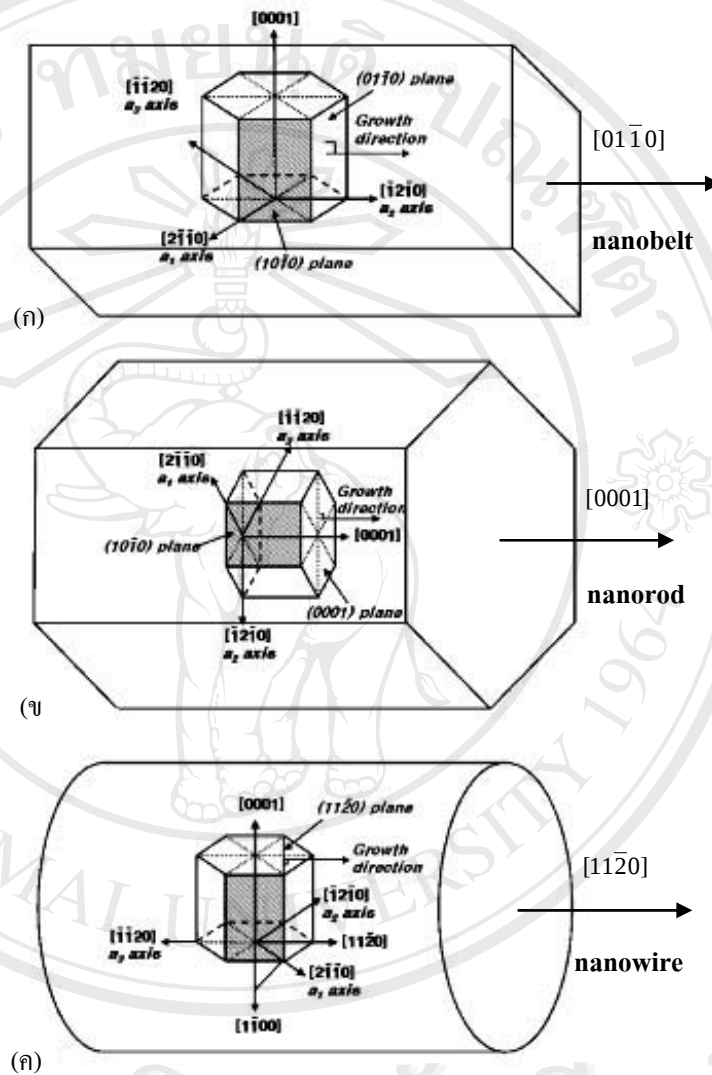
จากผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ โดยเครื่องสเปกโทรสโกปีพลังงานกระจาย (Energy Dispersive Spectroscopy, EDS) พบว่าเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ประกอบด้วยธาตุองค์ประกอบเพียง 2 ธาตุ คือ สังกะสี และออกซิเจน โดยมีอัตราส่วนเฉลี่ยของธาตุสังกะสี (Zinc, Zn) ต่อออกซิเจน (Oxygen, O) เป็น 48.59 : 51.41 หรือประมาณได้เป็น 1 : 1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าผลการทดลองสามารถสังเคราะห์เส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ได้มีความบริสุทธิ์ค่อนข้างสูง

5.1.3 ลักษณะโครงสร้างผลึกของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์

จากผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ โดยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องผ่าน (Transmission Electron Microscope, TEM) พบว่าเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์มีโครงสร้างผลึกเป็นแบบเฮกซะโกนอล (Hexagonal structure) และมีทิศทางการโตของผลึก (Growth direction) ในแนว $[\bar{1}2\bar{1}0]$ และ $[\bar{2}110]$ ซึ่งถือว่าอยู่ในเขตของ $[11\bar{2}0]$ และจากการวิเคราะห์ลักษณะการเกิด Streak ของจุดที่เกิดจากอิเล็กตรอนดิฟแฟรกชันบน SADP ของภาพ TEM รวมทั้งผลการวิเคราะห์ภาพ TEM และภาพ SEM กำลังขยายสูง ของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ สามารถสรุปได้ว่า โครงสร้างนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ มีลักษณะเป็นเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO nanowires)

เมื่อเปรียบเทียบผลการศึกษาโครงสร้างผลึกของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้กับรายงานการวิจัยของ Lee และคณะ⁽¹¹⁾ ที่ทำการศึกษาลักษณะโครงสร้างนาโนซิงค์ออกไซด์แบบต่างๆ พบว่า ผลการวิเคราะห์ลักษณะโครงสร้างผลึกของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้สอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ Lee และคณะ คือ ทิศทางการโตของเส้นลวด

นาโนซิงค์ออกไซด์อยู่ในแนว $[11\bar{2}0]$ ซึ่งรายงานการวิจัยเกี่ยวกับลักษณะโครงสร้างนาโนซิงค์ออกไซด์แบบต่างๆของ Lee และคณะสรุปได้ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 แสดงทิศทางการโต (Growth direction) ของโครงสร้างนาโนซิงค์ออกไซด์แบบต่างๆ โดย Lee และคณะ⁽¹¹⁾

Lee และคณะได้รายงานทิศทางการโตของโครงสร้างนาโนซิงค์ออกไซด์แบบต่างๆไว้ 3 ลักษณะ คือ ในรูป 5.1 ก) โครงสร้างนาโนซิงค์ออกไซด์ลักษณะที่เรียกว่า เส้นเข็มขนาดนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO nanobelts) จะมีทิศทางการโตในแนว $[01\bar{1}0]$ ในรูป 5.1 ข) โครงสร้างนาโนซิงค์ออกไซด์ลักษณะที่เรียกว่า แท่งนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO nanorods) จะมีทิศทางการโตในแนว

[0001] และในรูปที่ 5.1 ค) โครงสร้างนาโนซิงค์ออกไซด์ลักษณะที่เรียกว่า เส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ (ZnO nanowires) จะมีทิศทางการโตในแนว [1120] ซึ่งเป็นทิศเดียวกับผลการวิเคราะห์เส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ในงานวิจัยนี้ จึงถือเป็นการยืนยันผลการทดลอง และผลการวิเคราะห์โครงสร้างผลึกของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้

5.1.4 สมบัติการตรวจจับไอเอทานอลของเซนเซอร์ก๊าซ

จากผลการทดสอบสมบัติการตรวจจับไอเอทานอล ของเซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมได้ด้วยเงื่อนไขต่างๆ สามารถสรุปผลการทดลองได้ดังนี้

อุณหภูมิทดสอบมีผลต่อประสิทธิภาพของเซนเซอร์เอทานอล คือ ที่อุณหภูมิทดสอบสูงๆ มีแนวโน้มว่าค่า Recovery time จะต่ำลง แต่ในขณะเดียวกันมีแนวโน้มว่า Sensitivity จะลดต่ำลงเมื่ออุณหภูมิทดสอบสูงเกินไป โดยที่อุณหภูมิ 240°C พบว่า เซนเซอร์ก๊าซจะมีประสิทธิภาพสูงสุด คือมี Sensitivity ที่สูง และ Recovery time ที่ต่ำ

อุณหภูมิที่ใช้เผามีผลต่อประสิทธิภาพของเซนเซอร์เอทานอล คือ ในกรณีของเซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมจากการเผาที่อุณหภูมิ 600°C พบว่า เมื่อพิจารณาจาก Sensitivity, Response time และ Recovery time พบว่าเซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมโดยการเผาด้วยอุณหภูมิ 600°C มีประสิทธิภาพดีกว่าเซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมโดยการเผาด้วยอุณหภูมิ 700°C

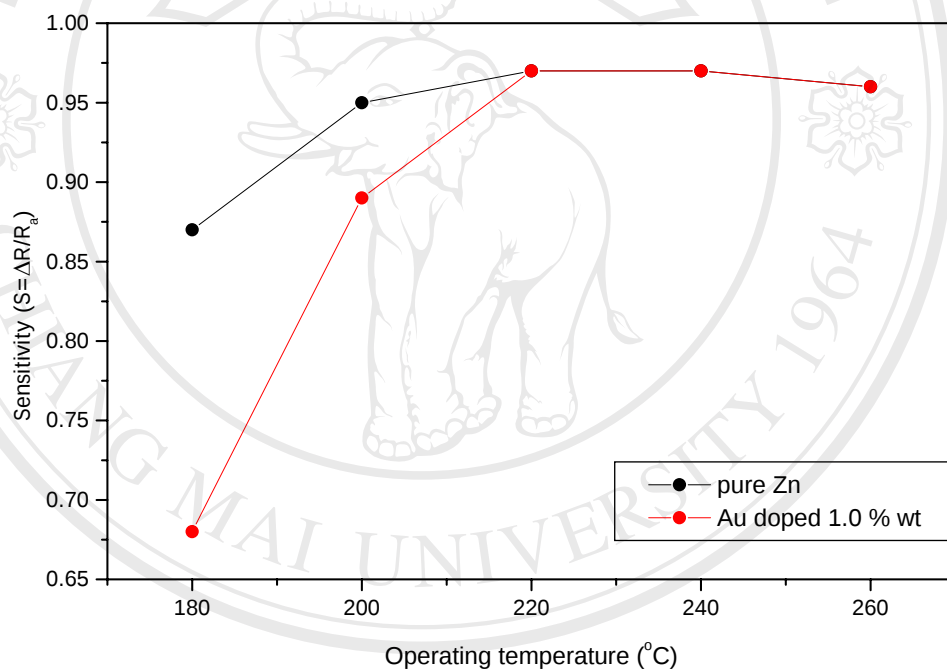
ระยะเวลาที่ใช้เผามีผลต่อประสิทธิภาพของเซนเซอร์เอทานอล คือ เมื่อพิจารณาจาก Sensitivity, Response time และ Recovery time พบว่าเซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมโดยใช้ระยะเวลาเผานานกว่า (ในการทดลองนี้ คือ 24 ชั่วโมง) จะมีประสิทธิภาพในการเป็นเซนเซอร์เอทานอลที่ดีกว่า

ความเข้มข้นของไอเอทานอลที่ใช้ทดสอบมีผลต่อประสิทธิภาพของเซนเซอร์เอทานอล คือ ในแง่ของ Sensitivity มีแนวโน้มว่าจะแปรผันตรงกับความเข้มข้นของไอเอทานอล คือ Sensitivity จะสูงขึ้นเมื่อทดสอบกับไอเอทานอลความเข้มข้นมากขึ้น ยกเว้นที่ความเข้มข้นของไอเอทานอล 50 ppm ที่ผลการทดลองมีแนวโน้มว่าจะแตกต่างจากความเข้มข้นอื่นๆ สาเหตุคาดว่า เป็นเพราะความเข้มข้นของไอเอทานอล 50 ppm น้อยเกินไป และเมื่อพิจารณาจาก Response time ดูเหมือนว่าความเข้มข้นของไอเอทานอลที่ใช้ทดสอบจะไม่มีผลต่อ Response time อย่างชัดเจน แต่เมื่อพิจารณาจาก Recovery time พบว่า ที่ความเข้มข้นของไอเอทานอลสูงๆ จะมีแนวโน้มทำให้ Recovery time สูงขึ้นด้วย

ผลของการเจือทองคำ 1 % โดยมีผลต่อประสิทธิภาพของเซนเซอร์เอทานอล คือ มีแนวโน้มว่าการเจือทองคำจะทำให้เซนเซอร์เอทานอลมีประสิทธิภาพดีขึ้น แต่ยังไม่แตกต่างมากนัก

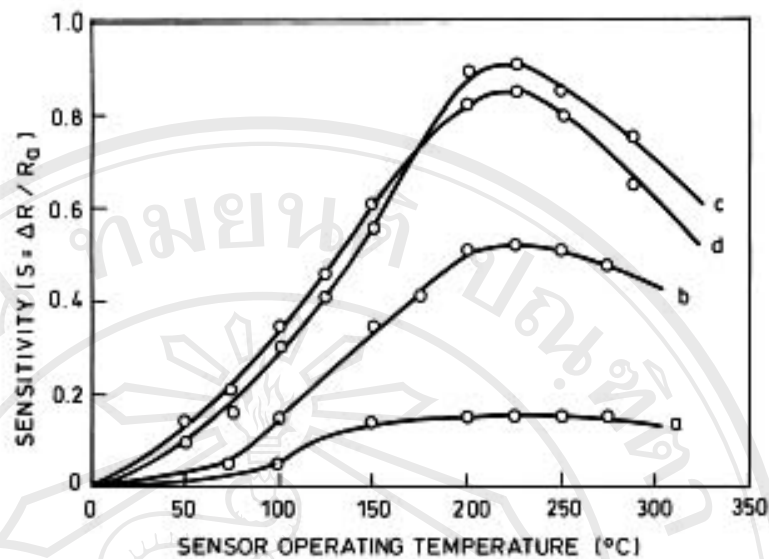
สาเหตุคาดว่ามาจากปริมาณทองคำที่เจือยังน้อยเกินไปจึงส่งผลไม่ชัดเจน แต่สิ่งที่แตกต่างระหว่าง เซนเซอร์เอทานอลที่เจือทองคำ และไม่เจือทองคำที่สามารถสังเกตได้ คือ Sensitivity ของเซนเซอร์เอทานอลที่เจือทองคำมีแนวโน้มแปรผันตรงกับความเข้มข้นของไอเอทานอลที่ใช้ทดสอบมากกว่า ซึ่งถือว่าเป็นแนวโน้มที่ดีที่จะสามารถพัฒนาไปเป็นเซนเซอร์เอทานอลสำหรับการใช้งานจริงต่อไป

ผลของการอบเซนเซอร์ก๊าซนานๆก่อนทดสอบส่งผลต่อประสิทธิภาพของเซนเซอร์อย่างชัดเจน คือ เซนเซอร์ก๊าซที่ผ่านการ Burn มากกว่าจะมีประสิทธิภาพสูงกว่า เพราะฉะนั้นคาดว่าถ้าสามารถทำให้เซนเซอร์ก๊าซมีความเสถียรสูง น่าจะส่งผลให้ประสิทธิภาพของเซนเซอร์ก๊าซนั้นสูงตามไปด้วย



รูปที่ 5.2 แสดงผลการทดสอบสมบัติการตรวจจับไอเอทานอลของเซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมได้

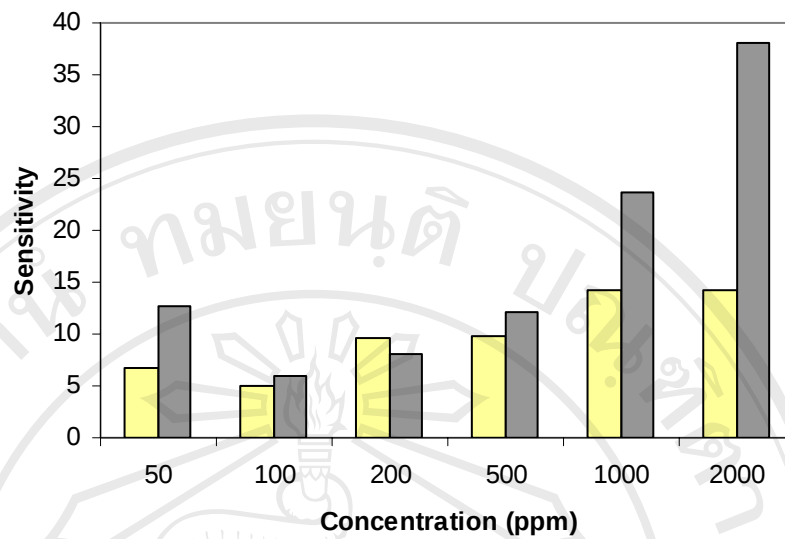
เมื่อนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบกับรายงานการวิจัยของ Rao⁽¹⁶⁾ ซึ่งทำการทดสอบสมบัติการตรวจจับไอเอทานอลของสารเชิงซ้อนออกไซด์เซรามิกส์เซนเซอร์ และสารเชิงซ้อนออกไซด์ที่เจือด้วยสารอินทรีย์รูปที่ 5.3



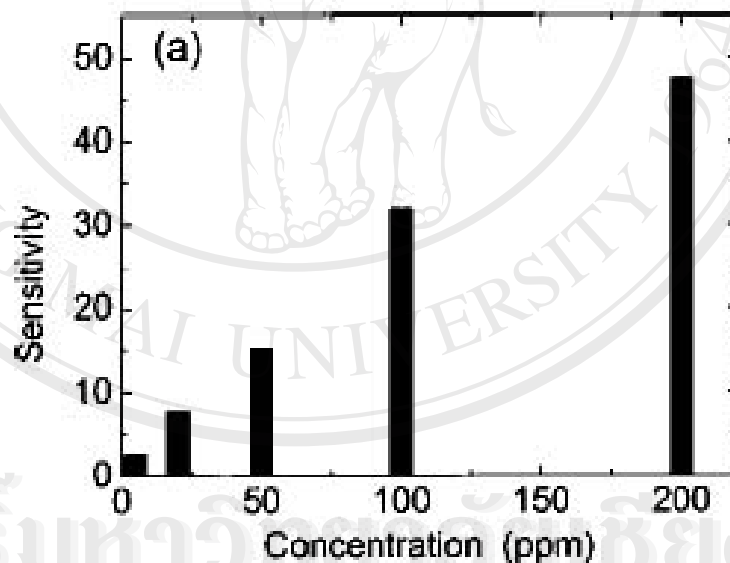
รูปที่ 5.3 แสดงผลการทดสอบสารซิงค์ออกไซด์เซรามิกส์เซนเซอร์ต่างๆ ZnO (กราฟ a) ZnO + 2La₂O₃ (กราฟ b) ZnO + 4La₂O₃ (กราฟ c) ZnO + 6La₂O₃ (กราฟ d) ของ Rao⁽¹⁶⁾

จากรูปที่ 5.2 และ 5.3 พบว่า ในกรณีของสารซิงค์ออกไซด์บริสุทธิ์ (กราฟ a ในรูปที่ 5.3) เซนเซอร์ก๊าซที่มีโครงสร้างนาโนซิงค์ออกไซด์เป็นองค์ประกอบ (เซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมในงานวิจัยนี้) จะมีสภาพไว (Sensitivity, $S = \Delta R / R_0$) สูงกว่าซิงค์ออกไซด์เซรามิกส์เซนเซอร์ (เซรามิกส์เซนเซอร์ของ Rao) ค่อนข้างมาก คือเซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมได้ในงานวิจัยนี้มี Sensitivity ($S = \Delta R / R_0$) สูงสุดที่ 0.97 ส่วนซิงค์ออกไซด์เซรามิกส์เซนเซอร์ของ Rao ที่ไม่เจือสารใดๆ มี Sensitivity ($S = \Delta R / R_0$) สูงสุดที่ประมาณ 0.2 ซึ่งสอดคล้องกับสมมุติฐานที่ว่า ถ้าเซนเซอร์ก๊าซมีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูงขึ้น จะทำให้มีประสิทธิภาพในการตรวจจับก๊าซสูงขึ้นด้วย

เมื่อนำผลการทดลองที่ได้เปรียบเทียบกับผลการทดลองของ Wan และคณะ⁽²⁰⁾ ซึ่งทดสอบสมบัติการตรวจจับไอเอทานอลของเส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเฉลี่ย 25 nm พบว่าได้ผลดังรูปที่ 5.4 และ 5.5



รูปที่ 5.4 แสดงผลการทดสอบสมบัติการตรวจจับไอเอทานอลของเซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมได้



รูปที่ 5.5 แสดงผลการทดสอบสมบัติการตรวจจับไอเอทานอลของ Wan และคณะ⁽²⁰⁾

จากรูปที่ 5.4 ซึ่งแสดงผลการทดสอบสมบัติการตรวจจับไอเอทานอลของเซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมจากการเผาต่อสังกะสี (กราฟสีอ่อน) และต่อสังกะสีเจือทองคำ (กราฟสีเข้ม) ที่อุณหภูมิ 600°C นาน 24 ชั่วโมง เมื่อทดสอบกับไอเอทานอลความเข้มข้นต่างๆพบว่าผลที่ได้มีแนวโน้มคล้ายกับผลการทดลองของ Wan และคณะ คือ Sensitivity มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อทดสอบกับไอเอทา

นอลความเข้มข้นมากขึ้น แต่มีแนวโน้มว่าผลการทดลองของ Wan และคณะจะได้เซนเซอร์ก๊าซที่มีประสิทธิภาพดีกว่า เช่น มี Sensitivity สูงกว่า สาเหตุคาดว่าเป็นเพราะเซนเซอร์ก๊าซของ Wan และคณะเตรียมจากเส้นลวดนาโนซึ่งค่ออกไซด์ที่มีขนาดเล็กกว่า จึงทำให้มีอัตราส่วนของพื้นที่ผิวต่อปริมาตรที่สูงกว่า ส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการเป็นเซนเซอร์เอทานอลที่ดีกว่า

5.2 ข้อเสนอแนะ

จากการทดลอง และผลการทดลองต่างๆในงานวิจัยนี้ พบว่ามีปัญหาเกิดขึ้นมากมาย ซึ่งสามารถสรุปแยกเป็นสองเรื่องได้ คือ

5.2.1 ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับเทคนิคการทดลอง

1 ควรหาวิธีการขึ้นรูปท่อสังกะสี หรือท่อสังกะสีที่เจือสารอื่นๆ ให้มีขนาดและรูปร่างคงที่มากกว่านี้ เพราะระบบที่ใช้ขึ้นรูปท่อสังกะสี และท่อสังกะสีเจือทองคำในงานวิจัยนี้เป็นแบบกระดาษ ซึ่งขนาดไม่คงที่

2 ก่อนเผาท่อสังกะสี และท่อสังกะสีเจือสาร ที่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปแล้ว ควรอบท่อให้แห้งก่อน ซึ่งอาจมีผลทำให้ขนาดของท่อหลังการเผาเปลี่ยนแปลงน้อยลง และอาจส่งผลให้รูพรุนในท่อลดน้อยลงด้วย

3 ก่อนการทดสอบสมบัติการตรวจจับไอเอทานอลของเซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมได้ ควรทำการ Burn เซนเซอร์ก๊าซที่อุณหภูมิใกล้เคียงกับอุณหภูมิทดสอบ ทั้งไว้นานๆก่อน อาจจะ 12 หรือ 24 ชั่วโมง เพื่อให้เซนเซอร์ก๊าซมีความเสถียรและพร้อมต่อการทดสอบมากขึ้น

4 ระบบการวัดอุณหภูมิของเซนเซอร์ก๊าซขณะทำการทดสอบที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ ใช้การเลื่อน Thermocouple ไปสัมผัสกับตัวเซนเซอร์ก๊าซ ลักษณะการสัมผัสกับตัวเซนเซอร์ก๊าซ และตำแหน่งของ Thermocouple เทียบกับตัวเซนเซอร์ก๊าซ มีผลต่ออุณหภูมิของเซนเซอร์ที่วัดได้ค่อนข้างมาก ซึ่งจะส่งผลต่อผลการทดลองมาก ดังนั้นควรหาวิธีการลด Error ที่เกิดจากการจัดตำแหน่งของ Thermocouple ลงไป ซึ่งคาดว่าจะส่งผลให้ผลการทดลองมีความถูกต้องมากขึ้น

5 อุปกรณ์ที่ใช้จ่ายกระแสไฟฟ้าให้แก่เซนเซอร์ก๊าซ และ Heater ของเซนเซอร์ก๊าซ ควรเป็นอุปกรณ์ที่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้าและความต่างศักย์ได้คงที่มากๆ เพราะจะส่งผลต่อความต้านทานของเซนเซอร์ก๊าซ ทำให้กราฟความต้านทานไม่นิ่ง โดยเฉพาะอุปกรณ์ที่ใช้จ่าย

กระแสไฟฟ้าให้กับ Heater ควรเป็นอุปกรณ์ที่สามารถปรับค่ากระแส และความต่างศักย์ได้ละเอียด
มากๆ

6 พยายามลด Noise ทางอิเล็กทรอนิกส์ลงให้มากที่สุด เพราะค่ากระแสที่วัดในการ
ทดลองบางครั้งอยู่ในระดับไมโครแอมป์ ซึ่ง Noise จะมีผลค่อนข้างมาก

7 อากาศที่ใช้ Flow ผ่านไปยังเซนเซอร์ก๊าซขณะทดสอบควรทำให้เป็นอากาศแห้ง (Dry
air) เสียก่อน เพื่อลดผลของความชื้นต่อผลการทดลอง

8 ความดันของก๊าซ รวมทั้งอากาศที่ Flow ผ่านไปยังเซนเซอร์ก๊าซขณะทดสอบ ควร
ใช้อุปกรณ์ที่ให้ความดันก๊าซใกล้เคียงกับความดันที่เกิดจากการเป่าลมของมนุษย์ เพราะเซนเซอร์
ก๊าซที่ศึกษานี้จะถูกพัฒนานำไปทดสอบปริมาณแอลกอฮอล์ในลมหายใจ

9 ควรมีระบบควบคุมอุณหภูมิของเซนเซอร์ก๊าซให้คงที่ขณะทำการทดสอบ เพราะ
อุณหภูมิของเซนเซอร์ก๊าซที่เปลี่ยนไปมีผลต่อความต้านทานของเซนเซอร์ก๊าซด้วย

10 ขณะทำการเพิ่มอุณหภูมิให้เซนเซอร์ก๊าซ (การเพิ่มอุณหภูมิของ Heater) ใน
กระบวนการทดสอบ ควรเพิ่มอุณหภูมิทีละน้อย เพื่อป้องกันความเสียหายที่จะเกิดกับ Heater และ
เซนเซอร์ก๊าซ

5.2.2 ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการทดลองที่สามารถทำต่อไปได้

1 ตัวแปรเงื่อนไขต่างๆที่ใช้ในกระบวนการเผา เช่น อุณหภูมิ เวลา อัตราการเพิ่มหรือลด
อุณหภูมิ หรือการ Flow gas ต่างๆเข้าในระบบเตาเผา สามารถทำการทดลองเพิ่มเติมได้ ซึ่งอาจมี
เงื่อนไขที่เหมาะสมมากกว่าที่สามารถสังเคราะห์เส้นลวดนาโนซิงค์ออกไซด์ได้ขนาดเล็กกว่า ยาว
กว่า จำนวนมากกว่า และสม่ำเสมอมากกว่า ซึ่งทั้งหมดนี้อาจมีผลต่อประสิทธิภาพในการเป็น
เซนเซอร์ก๊าซที่ดีขึ้น

2 ปริมาณทองคำที่เจือลงในผงสังกะสีในงานวิจัยนี้ค่อนข้างน้อยเกินไป จนไม่เห็นผล
ของการเจือทองคำอย่างชัดเจน เพราะฉะนั้นสำหรับการทดลองต่อไปควรเจือทองคำในปริมาณที่
มากขึ้นกว่าเดิม เช่น เจือทองคำ 5% โดยมวล เป็นต้น

3 สารซิงค์ออกไซด์สามารถเจือสารอื่นลงไปเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการเป็นเอทานอล
เซนเซอร์ได้ เช่น รายงานการวิจัยของ Rao⁽¹⁶⁾ พบว่าเมื่อเจือสาร La_2O_3 และ Pd ลงในสารซิงค์ออก
ไซด์ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการเป็นเอทานอลเซนเซอร์ได้

4 ควรพัฒนาระบบ Heater ของเซนเซอร์ก๊าซให้กินไฟน้อยลง แต่ให้อุณหภูมิสูงขึ้น