

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	16
1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากการศึกษา เชิงทฤษฎี และ/หรือเชิงประยุกต์	16
บทที่ 2 ทฤษฎี	
2.1 สมบัติของสารในระดับนาโนเมตร	17
2.1.1 เสถียรภาพทางอุณหภูมิ	19
2.1.2 สมบัติเชิงกล	20
2.1.3 สมบัติเชิงแม่เหล็ก	21
2.1.3 สมบัติการส่งผ่านอิเล็กทรอนิกส์	21
2.1.4 สมบัติการส่งผ่านโฟนอน	21
2.1.5 สมบัติทางแสง	22
2.1.6 สมบัติการเปล่งแสงของเส้นลวดนาโนสารกึ่งตัวนำ	22
2.1.7 สมบัติด้าน Nonlinear Optics	22
2.1.8 สมบัติด้านการเป็นตัวนำแสงและเป็นสวิตช์ทางแสง	23
2.1.9 สมบัติด้านการเป็นเซนเซอร์ก๊าซ	23
2.1.10 สมบัติด้าน Field-emissions	23
2.2 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	23
2.3 เทคนิคการวิเคราะห์ด้วยเครื่องสเปกโทรสโกปีพลังงานกระจาย	25
2.4 สมบัติของสารซิงก์ออกไซด์	27
2.5 สมบัติบางประการของทองคำ	28
2.6 สมบัติการตอบสนองไอเอทานอลของสารซิงก์ออกไซด์	31
2.6.1 สภาพไว (Sensitivity)	33

	หน้า
2.6.2 เวลาการตอบสนอง (Response time, τ_{90}^-)	34
2.6.3 เวลาการคืนตัว (Recovery time, τ_{90}^+)	34
2.6.4 ปริมาณการตอบสนองของเซนเซอร์ก๊าซ (Quantify the sensor performance)	35
2.7 รามานสเปกโทรสโกปี (Raman Spectroscopy)	35
2.7.1 สภาพัฒของโมเลกุล (Molecular Polarizability)	37
2.7.2 Second-order Raman effect	39
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง	
3.1 กระบวนการสังเคราะห์โครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยทองคำ	42
3.2 กระบวนการออกซิเดชันฟิล์มหนาซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยทองคำ	45
3.3 กระบวนการวิเคราะห์โครงสร้างทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมีของโครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้	48
3.3.1 กระบวนการเตรียมตัวอย่างเพื่อทำการวิเคราะห์โครงสร้างทางกายภาพด้วย Scanning Electron Microscope (SEM)	48
3.3.2 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างเพื่อวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วย Energy Dispersive Spectroscopy (EDS)	49
3.4 กระบวนการเตรียมเซนเซอร์ก๊าซจากโครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยทองคำที่ผ่านกระบวนการออกซิเดชัน	50
3.5 ขั้นตอนการศึกษาสมบัติในการตรวจจับไอเอทานอลของเซนเซอร์ก๊าซที่เตรียมได้	52
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง	
4.1 ผลการวิเคราะห์โครงสร้างทางกายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)	57
4.1.1 การศึกษาผลของอุณหภูมิที่ใช้เผาต่อขนาด ความยาวและความหนาแน่น ของโครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์และโครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์ที่เจือทองคำ	66
4.1.2 การศึกษาผลของการเจือทองคำต่อขนาด ความยาวและความหนาแน่นของโครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์	68

4.1.3 ลักษณะโครงสร้างของเซนเซอร์ก๊าซเนื่องจากการอบในเวลาที่แตกต่างกัน	70
4.1.4 ลักษณะโครงสร้างของเซนเซอร์ก๊าซจากการเผาโครงสร้างเป็นเวลา 12 และ 24 ชั่วโมง	72
4.2 ผลการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีด้วยเครื่องสเปกโทรสโกปีพลังงานกระจาย (Energy Dispersive Spectroscopy, EDS)	74
4.3 ผลจากการทดสอบกับไอเอทานอล	77
4.3.1 ผลการทดสอบกับไอเอทานอลของเซนเซอร์ก๊าซเมื่อเผาโครงสร้างเป็นเวลา 6 ชั่วโมง	77
4.3.2 ผลการทดสอบกับไอเอทานอลของเซนเซอร์ก๊าซเนื่องจากการอบในเวลาที่แตกต่างกัน	82
4.3.3 ผลการตรวจจับไอเอทานอลของเซนเซอร์ก๊าซจากการเผาโครงสร้างเป็นเวลา 12 และ 24 ชั่วโมง	84
4.3.4 ผลจากการทดสอบกับไอเอทานอลที่ความเข้มข้นต่างๆกัน	87
4.4 ผลการวิเคราะห์รามาน สเปกโตรสโคปี	94
บทที่ 5 สรุป และวิจารณ์ผลการทดลอง	
5.1 สรุป และวิจารณ์ผลการทดลอง	96
5.1.1 ลักษณะทางกายภาพของโครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์	96
5.1.2 องค์ประกอบทางเคมีของโครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์	98
5.1.3 สมบัติการตรวจจับไอเอทานอลของเซนเซอร์ก๊าซ	98
5.1.4 การวิเคราะห์ผลจากรามาน สเปกโตรสโคปี	103
5.2 ข้อเสนอแนะ และงานที่สามารถทำต่อไป	104
5.2.1 ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการทดลอง	104
5.2.2 ข้อเสนอแนะเกี่ยวกับการทดลองที่สามารถทำต่อไปได้	105
บรรณานุกรม	106
ภาคผนวก	111
ภาคผนวก ก เทคนิคการเตรียมสารละลายเอทานอลที่ความเข้มข้นต่างๆ	111
ภาคผนวก ข ผลการทดสอบสมบัติการตรวจจับไอเอทานอล	113
ภาคผนวก ค การวิเคราะห์ค่าความไม่แน่นอน	128



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 สมบัติกายภาพบางประการของสารซิงก์ออกไซด์	27
2.2 สมบัติกายภาพบางประการของทองคำ	28
4.1 แสดงเงื่อนไขการเผาฟิล์มหนาของซิงก์ที่เจือด้วยทองคำ	58
4.2 เปรียบเทียบขนาดและความยาวโครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์ ที่เจือด้วยทองคำในเงื่อนไขและอุณหภูมิการเผาต่างๆ	63
4.3 แสดงขนาดและความยาวโครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์เจือทองคำ 5% โดยน้ำหนักที่เวลาการอบต่างๆกัน	71
4.4 แสดงสัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีของโครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์ และโครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยทองคำ	76
4.5 แสดงสัดส่วนองค์ประกอบทางเคมีของโครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์ และโครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยทองคำที่เผาเป็นเวลา 12 และ 24 ชั่วโมง	77
4.6 แสดงสภาพไวต่อไอเอทานอลของเซนเซอร์ก๊าซในแต่ละเงื่อนไข	79
4.7 แสดงค่าสภาพไวของเซนเซอร์ก๊าซที่อบโดยใช้อุณหภูมิประมาณ 60 – 80 °C	81
4.8 แสดงสภาพไวของเซนเซอร์ก๊าซของการอบในเวลาที่แตกต่างกันโดย ใช้อุณหภูมิทดสอบ 220 - 400°C	82
4.9 แสดงเวลาการคืนตัวของเซนเซอร์ก๊าซที่เวลาอบต่างๆกัน	83
4.10 แสดงค่าสภาพไวของเซนเซอร์ก๊าซที่อุณหภูมิทดสอบแตกต่างกัน	86
4.11 แสดงเวลาการตอบสนองและเวลาคืนตัวของเซนเซอร์ก๊าซที่เงื่อนไขต่างๆกัน	90
4.12 แสดงปริมาณการตอบสนองของเซนเซอร์ก๊าซต่ออุณหภูมิทดสอบต่างๆ	92
4.13 แสดงปริมาณการตอบสนองของเซนเซอร์ก๊าซต่อความเข้มข้นของไอเอทานอลต่างๆ	93
4.14 แสดงตำแหน่งเส้นสเปกตรัมของสารซิงก์ออกไซด์และซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยทองคำ	95
5.1 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดลองการสังเคราะห์โครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์ โดยวิธีออกซิเดชัน กับผลการทดลองของคณะนักวิจัยอื่นๆ	97
5.2 เปรียบเทียบอุณหภูมิทดสอบและค่าสภาพไวของงานวิจัยนี้กับงานวิจัยอื่นๆ	100
ข 1 เปรียบเทียบค่าสภาพไวของเซนเซอร์ก๊าซของเงื่อนไขที่ดีที่สุด จำนวน 10 ตัวอย่าง	121
ข2 เปรียบเทียบเวลาการตอบสนองและเวลาการคืนตัวของเซนเซอร์ก๊าซของเงื่อนไขที่ ดีที่สุด จำนวน 10 ตัวอย่าง	124

สารบัญภาพ

รูป	หน้า
1.1 แสดงการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการขจัดกลิ่น ของฟิลเตอร์ทั่วไปและฟิลเตอร์ซูเปอร์นาโนไทเทเนียม	2
1.2 แสดงเลื่อยกาวกันเชื้อโรคที่อัดสารละลายอนุภาคนาโนของซิงก์ออกไซด์	3
1.3 แสดงตัวอย่างพื้นผิวโพลีเมอร์และลักษณะของโครงสร้าง คาร์บอนนาโนทิวป์	4
1.4 การเพิ่มขึ้นของพื้นที่ผิวโดยปริมาตรรวมยังมีค่าเท่าเดิม	4
1.5 แสดงโครงสร้างระดับนาโนเมตรแบบต่างๆของสารซิงก์ออกไซด์	5
1.6 แสดงเส้นลวดนาโนและแท่งนาโนซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ ได้ในการทดลองของ Liu และคณะ	7
1.7 แสดงโครงสร้างของฟิล์มหนาของซิงก์ออกไซด์ที่ได้จากการเตรียมของ Zhu และคณะ	7
1.8 แสดงผลการทดสอบสมบัติการเป็นเอทานอลเซนเซอร์ของเส้นลวด นาโนซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ในการทดลองของ Wan และคณะ	8
1.9 แสดงเส้นลวดนาโนซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้จากการทดลอง ของ Sekar และคณะ	9
1.10 แสดงโครงสร้างนาโนแบบต่างๆของสารซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ ได้ในการทดลองของ Zhang และคณะ	10
1.11 แสดงโครงสร้างนาโนของซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้จากการทดลองของ Umar และคณะ	10
1.12 แสดงเส้นลวดนาโนและแท่งนาโนซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้ในการทดลอง ของ Liu และคณะ	11
1.13 แสดงโครงสร้างของซิงก์ออกไซด์นาโนเมตรพอดและความถี่ในการเลื่อน ตำแหน่งของกราฟที่ได้จากการตรวจจับของเซนเซอร์ก๊าซตามความเข้มข้นของ ก๊าซแอมโมเนียที่เพิ่มขึ้น	12
1.14 กราฟแสดงการตอบสนองต่อหัววัดที่มีความเข้มข้น 3000 ppm	12
1.15 แสดงเส้นลวดนาโนของซิงก์ออกไซด์ที่สังเคราะห์ได้จากการทดลองของ Ren	

รูป	หน้า
และคณะ	13
1.16 แสดงผลการตอบสนองต่อก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ของการเจือทองคำในเซมิคอนดักเตอร์ของคาร์บอนนาโนทิว	14
1.17 แสดงความเข้มข้นของทองคำที่มีผลต่อขนาดของ Grain size และสภาพผิวของการตรวจจับก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์ที่มีผลจากการเจือทองคำในปริมาณต่าง ๆ กัน	15
1.18 แสดงโครงสร้างของแท่งซิงก์ออกไซด์ที่มีลักษณะคล้ายดอกไม้และค่าสภาพผิวที่ความเข้มข้นต่างๆของเอทานอล	15
1.19 แสดงลักษณะโครงสร้างของ ZnO nanorods และค่าสภาพผิวของการตรวจจับก๊าซแต่ละชนิดที่อุณหภูมิต่าง ๆ กัน	16
2.1 แสดงลักษณะของสารและกราฟการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นสถานะของสาร	18
2.2 การเปลี่ยนแปลงสีของอนุภาคทองคำเมื่อมีขนาดเล็กในระดับนาโนเมตร	19
2.3 การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของอนุภาคทองคำเมื่อมีขนาดเล็กในระดับนาโนเมตร	19
2.4 แสดงภาคตัดขวางโครงสร้างของ CoSi_2/Si ที่ถูกแบ่งหลังจากการ oxidation ที่อุณหภูมิ 600°C	20
2.5 แสดงแถวของแท่งนาโนซิงก์ออกไซด์ที่ทำให้กำเนิด UV-lasing	22
2.6 แสดงองค์ประกอบภายในกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	24
2.7 แสดงโพรบอิเล็กตรอนเคลื่อนในแนวแกนนอนและแกนตั้งบนระนาบของตัวอย่าง	25
2.8 แสดงการวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของสาร โดยวิธี EDS	26
2.9 การเปลี่ยนระดับชั้นพลังงานของอิเล็กตรอนภายในอะตอมส่งผลให้เกิดรังสีเอ็กซ์	26
2.10 โครงสร้างสารซิงก์ออกไซด์	28
2.11 โครงสร้างของทองคำ	29
2.12 แสดงอนุภาคนาโนของทองคำที่เกาะตามผิวของไทเทเนียมออกไซด์	29
2.13 แสดงสมการของปฏิกิริยาของการออกซิเดชันก๊าซคาร์บอนมอนอกไซด์โดยใช้ทองคำเป็นตัวเร่งปฏิกิริยา	30
2.14 แสดงอนุภาคนาโนของทองคำที่เกาะตามผิวของซิงก์ออกไซด์	30

รูป	หน้า
2.15 แสดงลักษณะของกำแพงสัณฐาน Grain boundary และพื้นผิว เมื่อเกิดการยึดติดของออกซิเจน และหลังจากที่ก๊าซเข้ามาทำปฏิกิริยา กับออกซิเจนไอออนแล้ว	32
2.16 แสดงกราฟความไวในการตอบสนอง และการคืนตัว ของหัวตรวจจับก๊าซ	33
2.17 ไดอะแกรมของระดับพลังงาน	36
2.18 แสดงการเปลี่ยนแปลงสภาพขั้ว (Polarizability) เมื่อโมเลกุลเกิดการสั่น	38
2.19 แสดง First order ของการกระจายแสงแบบรามาน	39
2.20 แสดง Second-order ของการกระจายแสงแบบรามาน	40
2.21 แสดงโหมดการสั่นของสารเชิงกึ่งออกไซด์	40
3.1 แผนภาพแสดงวิธีการทดลอง	42
3.2 แสดงลักษณะของผงสังกะสีที่ใช้ในการทดลอง	43
3.3 แสดงเครื่องซังสาร CESCO 0101-31 ผลิตโดยบริษัท A&D ประเทศญี่ปุ่น	43
3.4 แสดงครกที่ใช้บดสารและแผ่นทองคำเปลวที่ผสมกับผงสังกะสี	44
3.5 ผงสังกะสีที่บดผสมกับทองคำ 5% และ 10% โดยน้ำหนัก ตามลำดับ	44
3.6 แสดงบล็อกสกรีนสารลงบนแผ่นรองรับอะลูมินาผลิต โดยบริษัท Silk Cut จำกัด	45
3.7 แสดงฟิล์มหนาของผงสังกะสีที่ได้จากการเคลือบลงบนแผ่นรองรับ อะลูมินาแล้ว จากซ้ายไปขวาเป็นฟิล์มหนาที่ไม่ได้เจือด้วยทองคำ และ เจือทองคำ 0%, 5% และ 10% โดยน้ำหนักตามลำดับ	45
3.8 แสดงเตาเผาและ Controller ควบคุมอุณหภูมิของห้องวิจัยฟิสิกส์ประยุกต์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	46
3.9 แสดงวาล์วเพื่อใช้ในการ flow ก๊าซออกซิเจนรุ่น MR-150F	46
3.10 แสดงฟิล์มหนาของผงสังกะสีที่ไม่ได้เจือทองคำก่อนกระบวนการ เผาและหลังกระบวนการเผา ตามลำดับ	47
3.11 แสดงลักษณะฟิล์มหนาที่เคลือบลงบนแผ่นรองรับอะลูมินา	47
3.12 แสดงการติดตัวอย่างลงบน Stub เพื่อเตรียมนำไปวิเคราะห์โครงสร้าง ทางกายภาพด้วย Scanning Electron Microscope (SEM)	48
3.13 แสดงกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope	

รูป	หน้า
, SEM) ที่ศูนย์วิจัยและบริการจุลทรรศน์ศาสตร์อิเล็กตรอน(EMRSc) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	49
3.14 แสดงกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (Scanning Electron Microscope, SEM)และ อุปกรณ์วิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมี (Energy Dispersive Spectroscopy, EDS) ที่ศูนย์วิจัย และบริการ จุลทรรศน์ศาสตร์อิเล็กตรอน (EMRSc) คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	50
3.15 แสดงการติด Contact แบบ Interdigital contact โดยใช้ Gold paste	51
3.16 แสดงกล้อง Zoom stereo microscope รุ่น C-01 ของบริษัท OLYMPUS	51
3.17 แสดงเซนเซอร์ก๊าซติดบน Socket ที่พร้อมสำหรับการทดสอบ	52
3.18 แสดงเตอบหัววัดก่อนทำการทดสอบตรวจจับไอเอทานอล	53
3.19 แสดงชุดทดสอบสมบัติการตรวจจับก๊าซของเซนเซอร์ก๊าซที่ห้องวิจัย ฟิสิกส์ประยุกต์ ภาควิชาฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่	53
3.20 แสดงแผนผังการทำงานของชุดทดสอบสมบัติการตรวจจับก๊าซ	54
3.21 แสดงลักษณะของ Chamber ที่ใช้ในการตรวจจับก๊าซของเซนเซอร์ก๊าซ	54
3.22 แสดงเครื่องแอลกอฮอล์ซิมมูลเตอร	55
3.23 แสดงเครื่องปั๊มอากาศที่ใช้สำหรับตู้เลี้ยงปลาทั่วไป ที่ใช้สำหรับผ่านก๊าซต่างๆ ไปยัง Chamber ที่ใช้ในการทดลอง	56
3.24 แสดงการวัดอุณหภูมิของเซนเซอร์ก๊าซโดยใช้ Thermocouple	56
4.1 แสดงฟิล์มหนาของผงสังกะสีที่ไม่ได้เจือทองคำก่อนกระบวนการ เผาและหลังกระบวนการเผาด้วยเงื่อนไขต่างๆ ตามลำดับ	58
4.2 แสดงลักษณะฟิล์มหนาที่เคลือบลงบนแผ่นรองรับอะลูมินา	59
4.3 แสดงความหนาของฟิล์มบนแผ่นรองรับอะลูมินา	60
4.4 แสดงภาพจาก SEM ของโครงสร้างทางกายภาพของฟิล์มหนาของซิงก์ออกไซด์ ก่อนกระบวนการเผา	60
4.5 แสดงภาพจาก SEM ของโครงสร้างทางกายภาพของฟิล์มหนาของซิงก์ออกไซด์ หลังกระบวนการเผา	61
4.6 แสดงภาพจาก SEM ของโครงสร้างทางกายภาพของฟิล์มหนาของซิงก์ออกไซด์ ที่เจือทองคำ5% โดยน้ำหนัก หลังกระบวนการเผา	61

รูป	หน้า
4.7 แสดงภาพจาก SEM ของโครงสร้างทางกายภาพของฟิล์มหนาของซิงก์ออกไซด์ ที่เจือทองคำ 10% โดยน้ำหนัก หลังกระบวนการเผา	62
4.8 กราฟแสดงขนาดของโครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยทองคำ ในปริมาณต่างๆกัน	64
4.9 กราฟแสดงความยาวของโครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยทองคำ ในปริมาณต่างๆกัน	66
4.10 แสดงลักษณะโครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยทองคำ 5% โดยน้ำหนักที่อุณหภูมิต่างๆกัน	67
4.11 แสดงลักษณะโครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์ที่เผาด้วยอุณหภูมิ 700°C เจือทองคำในปริมาณต่างๆกัน	69
4.12 แสดงการอบเซนเซอร์ก๊าซโดยใช้ Power supply ยี่ห้อ Thurlby รุ่น PL 310 ของบริษัท RS Components จำกัด	70
4.13 แสดงลักษณะโครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์เจือทองคำ 5% โดยน้ำหนัก ในแต่ละเงื่อนไขของการอบ	71
4.14 แสดงภาพจาก SEM ของโครงสร้างทางกายภาพของฟิล์มหนาของซิงก์ออกไซด์ ที่เจือทองคำ 5% โดยน้ำหนัก หลังกระบวนการเผา 12 ชั่วโมง	72
4.15 แสดงภาพจาก SEM ของโครงสร้างทางกายภาพของฟิล์มหนาของ ซิงก์ออกไซด์ที่เจือทองคำ 5% โดยน้ำหนัก หลังกระบวนการเผา 24 ชั่วโมง	73
4.16 แสดงตำแหน่งและกราฟสเปกตรัมการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของ โครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์ด้วย EDS	74
4.17 แสดงตำแหน่งและกราฟสเปกตรัมการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของ โครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยทองคำ 5% ด้วย EDS	75
4.18 แสดงตำแหน่งและกราฟสเปกตรัมการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของ โครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยทองคำ 10% ด้วย EDS	75
4.19 แสดงตำแหน่งและสเปกตรัมของโครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์ที่เจือ ด้วยทองคำ 5% โดยน้ำหนักเมื่อเผา 12 ชั่วโมง	76
4.20 แสดงตำแหน่งและสเปกตรัมของโครงสร้างนาโนซิงก์ออกไซด์ที่เจือ ด้วยทองคำ 5% โดยน้ำหนักเมื่อเผา 24 ชั่วโมง	77
4.21 แสดงกราฟการตอบสนองต่อไอเอทานอลความเข้มข้น 1000 ppm	

รูป	หน้า
ของเซนเซอร์ก๊าซที่เจือด้วยทองคำ 0, 5 และ 10% โดยน้ำหนัก ใช้อุณหภูมิทดสอบ 240°C	78
4.22 แสดงกราฟจากการตรวจจับไอเอทานอลความเข้มข้น 1000 ppm ของ เซนเซอร์ก๊าซในแต่ละเงื่อนไข	79
4.23 แสดงกราฟของการตรวจจับไอเอทานอลความเข้มข้น 1000 ppm ของ เซนเซอร์ก๊าซเผาที่อุณหภูมิ 700 °C เป็นเวลา 6 ชั่วโมง	80
4.24 แสดงกราฟของค่าสภาพไวในแต่ละอุณหภูมิการทดสอบ	81
4.25 แสดงกราฟเปรียบเทียบสภาพไวของการอบเซนเซอร์ก๊าซในเวลารอบต่าง ๆ กัน	83
4.26 แสดงกราฟเปรียบเทียบเวลาการตอบสนองและค่าสภาพไวของ เซนเซอร์ก๊าซที่เวลารอบต่าง ๆ กัน	84
4.27 แสดงกราฟของการตรวจจับไอเอทานอลความเข้มข้น 1000 ppm ของเซนเซอร์ก๊าซเผาที่อุณหภูมิ 700 °C เป็นเวลา 12 ชั่วโมง	85
4.28 แสดงกราฟของการตรวจจับไอเอทานอลความเข้มข้น 1000 ppm ของเซนเซอร์ก๊าซเผาที่อุณหภูมิ 700 °C เป็นเวลา 24 ชั่วโมง	85
4.29 แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าสภาพไวที่แตกต่างกันของอุณหภูมิทดสอบ	86
4.30 แสดงกราฟการตรวจจับไอเอทานอล 1000 ppm ที่อุณหภูมิทดสอบ 340°C และเปรียบเทียบค่าสภาพไวของเซนเซอร์ก๊าซที่เจือด้วยทองคำ 0, 5 และ 10% โดยน้ำหนัก ความเข้มข้นไอเอทานอล 1000 ppm ที่อุณหภูมิทดสอบ 300 - 380°C	88
4.31 แสดงกราฟการตอบสนองต่อไอเอทานอลที่ความเข้มข้นต่างๆของ เซนเซอร์ก๊าซที่เจือด้วยทองคำในปริมาณต่างๆกัน	89
4.32 แสดงกราฟเปรียบเทียบค่าสภาพไวของเซนเซอร์ก๊าซที่เจือด้วยทองคำ และอุณหภูมิต่างๆกัน	90
4.33 แสดงกราฟของเวลาการตอบสนองและเวลาการคืนตัวของเซนเซอร์ ก๊าซที่เจือด้วยทองคำ	92
4.34 แสดงค่า b ของโครงสร้างที่เจือด้วยทองคำในปริมาณต่างๆกัน	93
4.35 แสดงรามานสเปกตรัมของสารซิงก์ออกไซด์และซิงก์ออกไซด์ที่เจือด้วยทองคำ	94
5.1 แสดงผลการทดสอบสมบัติการตรวจจับไอเอทานอลที่ความเข้มข้นต่างๆของ เซนเซอร์ก๊าซที่เจือด้วยทองคำ	101
5.2 แสดงผลการทดสอบสมบัติการตรวจจับไอเอทานอลของ Q. Wan และคณะ	102

รูป	หน้า
5.3 แสดงผลการทดสอบสมบัติการตรวจจับไอเอทานอลและไฮโดรเจน ของ L. J. Bie และคณะ	102
ข 1 แสดงการเปลี่ยนแปลงความต้านทานของเซนเซอร์ก๊าซเมื่อทำปฏิกิริยา กับไอเอทานอลหลังการอบเซนเซอร์ก๊าซ 3 ชั่วโมง	113
ข 2 แสดงการเปลี่ยนแปลงความต้านทานของเซนเซอร์ก๊าซเมื่อทำปฏิกิริยา กับไอเอทานอลหลังการอบเซนเซอร์ก๊าซ 15 วัน	114
ข 3 แสดงการเปลี่ยนแปลงความต้านทานของเซนเซอร์ก๊าซเมื่อทำปฏิกิริยา กับไอเอทานอลหลังการอบเซนเซอร์ก๊าซ 30 วัน	114
ข 4 แสดงการเปลี่ยนแปลงความต้านทานของเซนเซอร์ก๊าซเมื่อทำปฏิกิริยา กับไอเอทานอลหลังการอบเซนเซอร์ก๊าซ 50 วัน	115
ข 5 แสดงการเปลี่ยนแปลงความต้านทานของเซนเซอร์ก๊าซเมื่อทำปฏิกิริยา กับไอเอทานอลหลังการอบเซนเซอร์ก๊าซ 80 วัน	115
ข 6 แสดงการเปลี่ยนแปลงความต้านทานของเซนเซอร์ก๊าซเมื่อทำปฏิกิริยา กับไอเอทานอลของเซนเซอร์ก๊าซตัวอย่างจำนวน 10 ตัวอย่าง	120
ข7 เปรียบเทียบสภาพผิวของหัววัดกลุ่มที่ 3	123
ข8 เปรียบเทียบเวลาการตอบสนองและเวลากินตัวของหัววัดในแต่ละกลุ่ม	126
ข9 เปรียบเทียบเวลาการตอบสนองและเวลาการคืนตัวของหัววัดที่ให้ เวลาการตอบสนองและเวลาการคืนตัวน้อยที่สุดในแต่ละกลุ่ม	127
ค.1 แสดงการกระจายแบบปกติ	130
ค.2 แสดงฮิสโตแกรมแบบแจกแจงปกติ	131
ค.3 แสดงการวัดที่มีค่าเฉลี่ยอยู่ห่างจากค่าที่แท้จริง	133
ค.4 แสดงการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบสี่เหลี่ยมมุมฉาก	134