

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ชนิดของหัววัดก๊าซ	1
1.2 วัสดุที่นำมาทำเป็นตัวตรวจวัดก๊าซ	2
1.3 ประวัติความเป็นมา	2
1.4 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	5
บทที่ 2 ทฤษฎี	6
2.1 ผลึกเชิงเดี่ยวและการปลูกผลึกเชิงเดี่ยว	6
2.1.1 การปลูกผลึกจากสารละลาย	6
2.1.2 การปลูกผลึกจากไอ	6
2.1.3 การปลูกผลึกจากสารหลอมเหลว	6
2.2 การเกิดผลึกเชิงเดี่ยว	7
2.2.1 การเกิดนิวคลีเอชันในการเปลี่ยนสถานะ	8
2.2.2 ขนาดวิกฤติของนิวคลีไอ	8
2.3 การวิเคราะห์โครงสร้างโดยวิธี X-ray diffraction (XRD)	10
2.4 การวิเคราะห์องค์ประกอบโดยวิธี Energy dispersive spectrometry (EDS)	11
2.5 การหาค่าของ energy gap โดยวิธี UV- visible transmission spectrometry	13
2.5.1 UV-visible transmission spectrum	14
2.5.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง absorption coefficient กับ Energy gap ของสารกึ่งตัวนำ	15
2.6 สมบัติการตรวจวัดก๊าซของสารประกอบโลหะออกไซด์	18

	หน้า
บทที่ 3 วัสดุ อุปกรณ์ และ วิธีการทดลอง	23
3.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	23
3.1.1 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในปลูกวิสเกอร์ โมลิบดีนัม ไตรออกไซด์	23
3.1.2 กล้องจุลทรรศน์ที่ใช้ในการสังเกตลักษณะพื้นผิวและวัดขนาดของวิสเกอร์	26
3.1.3 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์โครงสร้างของวิสเกอร์	29
3.1.4 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของวิสเกอร์	29
3.1.5 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการหาค่า Energy gap (E_g) ของวิสเกอร์	30
3.1.6 วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์การตรวจวัดก๊าซ	30
3.2 การปลูกวิสเกอร์ MoO_3	37
3.3 การวิเคราะห์โครงสร้าง	39
3.4 การวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของวิสเกอร์โดยวิธี Energy dispersive spectrometry (EDS)	39
3.5 การหาค่า Energy gap (E_g) โดยวิธี UV-visible transmission spectrometry	39
3.6 การวิเคราะห์การตรวจวัดก๊าซ	40
3.6.1 การเตรียมหัววัดก๊าซ	40
3.6.2 การติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบการตรวจวัดก๊าซ	40
3.6.3 วิธีการทดสอบการตรวจวัดก๊าซ	45
3.6.4 การทดลองเพื่อหาค่าอุณหภูมิที่เหมาะสมสำหรับการตรวจวัดไอของเอธิลแอลกอฮอล์ และอะซีโตน	46
3.6.5 การทดลองเพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างสภาพไวกับความเข้มข้นของก๊าซ	46
บทที่ 4 ผลการทดลอง	48
4.1 กระบวนการเกิดของวิสเกอร์ MoO_3	48
4.2 ขนาดและสภาพพื้นผิวของวิสเกอร์ MoO_3	49
4.3 โครงสร้างของวิสเกอร์ MoO_3	51
4.3.1 ผลการวิเคราะห์ XRD pattern ของวิสเกอร์ MoO_3	51
4.3.2 ผลการวิเคราะห์ XRD pattern ของผง MoO_3	52

	หน้า
4.3.3 การเปรียบเทียบ XRD pattern ของวิสเกอร์ MoO_3 กับ ผง MoO_3	55
4.4 ผลการทดลองการวิเคราะห์องค์ประกอบ โดยวิธี Energy dispersive spectrometry (EDS)	55
4.5 ผลการหาค่า Energy gap โดยวิธี UV- visible transmission spectrometry	56
4.6 การตรวจวัดไอของเอริลแอลกอฮอล์ และ ไอของอะซีโตน	61
4.6.1 การตรวจวัดไอของเอริลแอลกอฮอล์	61
4.6.2 การตรวจวัดไอของอะซีโตนของหัววัด	69
บทที่ 5 สรุป และ วิเคราะห์ผลการทดลอง	78
5.1 ลักษณะและขนาดของวิสเกอร์	78
5.2 โครงสร้างของวิสเกอร์	79
5.3 องค์ประกอบของวิสเกอร์	80
5.4 แถบพลังงานของวิสเกอร์	80
5.5 การตรวจวัดไอของเอริลแอลกอฮอล์ และ ไอของอะซีโตน	81
5.6 ข้อเสนอแนะ	86
เอกสารอ้างอิง	87
ภาคผนวก	90
ภาคผนวก ก. รายละเอียดการเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ของ MoO_3 จาก Powder diffraction file	91
ภาคผนวก ข. หัววัดก๊าซ Figaro TGS 822	93
ภาคผนวก ค. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ควบคุมการวัดค่าสภาพต้านทานไฟฟ้า และความเข้มข้นของก๊าซ	97
ภาคผนวก ง. ผลงานวิชาการที่ตีพิมพ์ในประเทศ	100
ประวัติผู้เขียน	104

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 แสดงการจำแนกชนิดของหัววัดก๊าซตามชนิดของตัวแปรทางกายภาพที่มีการเปลี่ยนแปลงเมื่อมีการตอบสนองกับก๊าซ	2
2.1 แสดงค่าพลังงานของรังสีเอกซ์ที่ได้จากออกซิเจนและ โมลิบดีนัม	13
4.1 แสดงผลการวิเคราะห์ X-ray diffraction pattern ของวิสเกอร์ MoO_3	52
4.2 แสดงผลการวิเคราะห์ X-ray diffraction pattern ของวิสเกอร์ MoO_3	54
4.3 แสดงขนาดของวิสเกอร์ที่ใช้เป็นหัววัดก๊าซในการทดลอง	61
4.4 แสดงค่าของความต้านทานไฟฟ้าเริ่มต้น (ρ_s) ความต้านทานไฟฟ้าเมื่อได้รับไอของเอทิลแอลกอฮอล์(ρ_g) response time (τ_{90}) และ สภาพไว (S) ของหัววัด A B และ C	64
4.5 แสดงฟังก์ชันแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพไวกับความเข้มข้นของไอของเอทิลแอลกอฮอล์ของ หัววัด A , B และ C	69
4.6 แสดงค่าของความต้านทานไฟฟ้าเริ่มต้น (ρ_s) ความต้านทานไฟฟ้าเมื่อได้รับไอของอะซีโตน (ρ_g) response time (τ_{90}) และ สภาพไว (S) ของหัววัด A B และ C	72
4.7 แสดงฟังก์ชันแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพไวกับความเข้มข้นของอะซีโตนของ หัววัด A , B และ C	77
5.1 แสดงการเปรียบเทียบขนาดของวิสเกอร์หรือผลึกเดี่ยวของ MoO_3 ที่ได้จากการทดลองกับผลงานวิจัยของผู้อื่น	78
5.2 แสดงการเปรียบเทียบค่าของ lattice parameter ของ MoO_3 ที่มีโครงสร้างแบบ orthorhombic ระหว่างวิสเกอร์ที่เตรียมได้กับผลงานวิจัยของผู้อื่น	79
5.3 แสดงผลการเปรียบเทียบค่า Energy gap ที่ได้จากการทดลองกับผลการทดลองของผู้อื่น	81
5.4 แสดงการเปรียบเทียบระหว่าง หัววัดก๊าซวิสเกอร์ MoO_3 กับ Organic vapor gas sensor ของบริษัท Figaro Inc. model TGS 822 (หัววัด Figaro TGS 822)	83

5.5 แสดงการเปรียบเทียบระหว่าง หัววัดก๊าซวิสเกอร์ MoO ₃ กับ Solvents detector ของบริษัท FIS Inc. model SP-31 (หัววัด FIS SP-31)	84
--	----

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

สารบัญภาพ

รูป	หน้า
2.1 ความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานอิสระกับรัศมีของนิวคลีไอ	9
2.2 แสดงการวิเคราะห์ธาตุที่เป็นองค์ประกอบของสาร โดยวิธี EDS	11
2.3 แสดงการเกิดรังสีเอกซ์จากอะตอมของธาตุที่เป็นองค์ประกอบของสาร	12
2.4 แผนผังแสดงระบบที่ใช้ในการวัดสเปกตรัมของการส่งผ่าน	13
2.5 กราฟระหว่าง transmission (%) กับ ความยาวคลื่นของวัสดุ MoO ₃	14
2.6 แสดงลักษณะของแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำ	15
2.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของโฟตอนกับสัมประสิทธิ์การดูดกลืนของสารกึ่งตัวนำชนิด direct band gap	16
2.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างพลังงานของโฟตอนกับสัมประสิทธิ์การดูดกลืนของสารกึ่งตัวนำชนิด direct band gap	17
2.9 แสดงลักษณะของกำแพงศักย์บริเวณ grain boundary และพื้นผิว เมื่อเกิดการยึดติดของออกซิเจน และหลังจากที่ก๊าซเข้ามาทำปฏิกิริยากับออกซิเจนอิ่มตัวแล้ว	19
2.10 แสดงการหาค่าเวลาการตอบสนอง	21
2.11 แผนผังแสดงหลักการทำงานของหัววัดก๊าซที่ทำจากสารประกอบโลหะออกไซด์	22
3.1 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการเตรียมวัสดุ MoO ₃	24
3.2 เครื่องอัดแรงดันไฮดรอลิก	25
3.3 เตาเผาสาร	25
3.4 อุปกรณ์สำหรับวัดอุณหภูมิของเตาเผา	26
3.5 กล้อง metallurgical microscope	27
3.6 กล้อง zoom stereo microscope Olympus	27
3.7 กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) ของศูนย์เครื่องมือวิทยาศาสตร์ คณะแพทยศาสตร์	28
3.8 เครื่อง X-ray powder diffraction	29
3.9 เครื่อง UV-Visible spectrophotometer	30

รูป	หน้า
3.10 อุปกรณ์ที่ใช้เตรียมหัววัดก๊าซวิสเกอร์ MoO_3	31
3.11 อุปกรณ์สำหรับเตรียมหัววัดก๊าซวิสเกอร์ MoO_3 (ต่อ)	32
3.12 ชุดอุปกรณ์ที่ใช้ตรวจสอบการตรวจจับก๊าซของหัววัดก๊าซวิสเกอร์ MoO_3	34
3.13 ชุดอุปกรณ์ให้ความร้อน วัดความเข้มข้นของก๊าซ และ ที่ยึดหัววัดก๊าซ	35
3.14 ที่จับหัววัดก๊าซ	35
3.15 แสดงการติดตั้งลำลึขุบสารระเหยที่เสียบอยู่บนเหล็กเสียบกระดาษซึ่งเป็น แหล่งกำเนิดไอของเอธิลแอลกอฮอล์ หรือ ไอของอะซีโตน	36
3.16 นาฬิกาจับเวลา	36
3.17 แผนผังแสดงวิธีการปลูกวิสเกอร์ MoO_3	37
3.18 แผนผังแสดงอุณหภูมิของเตาเผาที่ใช้เตรียมวิสเกอร์	38
3.19 แผนผังแสดงการวิเคราะห์สมบัติของวิสเกอร์ MoO_3	38
3.20 ลักษณะของ หัววัดก๊าซที่เตรียมได้	40
3.21 แผนผังแสดงการใช้งานอุปกรณ์ให้และควบคุมความร้อน	41
3.22 แผนผังแสดงเครื่องมือวัดอุณหภูมิ	41
3.23 แผนผังวงจรไฟฟ้าของ Figaro gas sensor TGS 822 และ อุปกรณ์ประกอบ	42
3.24 การจัดวางตำแหน่งของแหล่งกำเนิดก๊าซ	43
3.25 แสดงภาพรวมของระบบตรวจสอบการตรวจวัดก๊าซ	44
3.26 แสดงลักษณะของความเข้มข้นของก๊าซที่ใช้ในการทดลองเพื่อหาความ สัมพันธ์ระหว่างสภาพไวกับความเข้มข้นของก๊าซ	47
4.1 กราฟแสดงอุณหภูมิ ณ ตำแหน่งต่างๆ ตามความยาวของท่อเตา	48
4.2 แสดงวิสเกอร์ที่เกิดขึ้นบริเวณผนังด้านในของท่อเตา	49
4.3 ภาพถ่ายของวิสเกอร์จากกล้อง metallurgical microscope กำลังขยาย 100 เท่า	50
4.4 ภาพถ่ายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดแสดงลักษณะพื้นผิว ของวิสเกอร์ MoO_3 กำลังขยาย 1000 เท่า	50
4.5 X-ray diffraction pattern ของวิสเกอร์ที่เตรียมได้	51
4.6 X-ray diffraction pattern ของผง MoO_3	53
4.7 แสดงการเปรียบเทียบ XRD pattern ของวิสเกอร์ MoO_3 กับผง MoO_3	55
4.8 Energy dispersive spectrum ของรังสีเอกซ์ที่ได้จากวิสเกอร์	56

รูป	หน้า
4.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การส่งผ่านของโฟตอนกับความยาวคลื่นของโฟตอน	57
4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง $\alpha h\nu$ กับพลังงานของโฟตอนของวัสดุ	58
4.11 แสดงการหาค่า Energy gap จากความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{Y}{Y'}$ กับพลังงานของโฟตอน	59
4.12 แสดงการหาค่า Energy gap จากกราฟระหว่าง $\sqrt{\alpha h\nu}$ กับพลังงานของโฟตอน	60
4.13 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของสภาพต้านทานไฟฟ้าของ หัววัด A เมื่อได้รับไอของเอทิลแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้น 4492 ± 5 ppm ที่อุณหภูมิต่างๆ	62
4.14 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของสภาพต้านทานไฟฟ้าของ หัววัด B เมื่อได้รับไอของเอทิลแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้น 4494 ± 4 ppm ที่อุณหภูมิต่างๆ	62
4.15 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของสภาพต้านทานไฟฟ้าของ หัววัด C เมื่อได้รับไอของเอทิลแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้น 4491 ± 5 ppm ที่อุณหภูมิต่างๆ	63
4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพไว กับ อุณหภูมิของ หัววัด A, B และ C เมื่อได้รับ ไอของเอทิลแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้นประมาณ 4500 ppm	65
4.16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตอบสนองกับ อุณหภูมิของ หัววัด A, B และ C เมื่อ ได้รับ ไอของเอทิลแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้นประมาณ 4500 ppm	65
4.18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพไวกับความเข้มข้นของไอของเอทิลแอลกอฮอล์เมื่อแปรค่าความเข้มข้นของก๊าซตั้งแต่ 0-5300 ppm ที่อุณหภูมิ 320°C	66
4.19 การหาฟังก์ชันแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพไวกับความเข้มข้นของไอของเอทิลแอลกอฮอล์ของ หัววัด A	67
4.20 การหาฟังก์ชันแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพไวกับความเข้มข้นของไอของเอทิลแอลกอฮอล์ของ หัววัด B	68
4.21 การหาฟังก์ชันแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพไวกับความเข้มข้นของไอของเอทิลแอลกอฮอล์ของ หัววัด C	68

รูป	หน้า
4.22 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของสภาพต้านทานไฟฟ้าของ หัววัด A เมื่อได้รับ ไอของอะซีไคโนที่มีความเข้มข้น 5010 ± 5 ppm ที่อุณหภูมิต่างๆ	70
4.23 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของสภาพต้านทานไฟฟ้าของ หัววัด B เมื่อ ได้รับไอของ อะซีไคโนที่มีความเข้มข้น 5010 ± 6 ppm ที่อุณหภูมิต่างๆ	70
4.24 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของสภาพต้านทานไฟฟ้าของ หัววัด C เมื่อ ได้รับ ไอของอะซีไคโนที่มีความเข้มข้น 4999 ± 5 ppm ที่อุณหภูมิต่างๆ	71
4.25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพไว กับ อุณหภูมิของ หัววัด A, B และ C เมื่อได้รับ ไอของอะซีไคโนที่มีความเข้มข้นประมาณ 5000 ppm	73
4.26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาการตอบสนองกับ อุณหภูมิของ หัววัด A, B และ C เมื่อได้รับไอของอะซีไคโนที่มีความเข้มข้นประมาณ 5000 ppm	73
4.27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพไวกับความเข้มข้นของไอของ อะซีไคโนเมื่อแปรค่าความเข้มข้นของก๊าซตั้งแต่ 0-5000 ppm ที่อุณหภูมิ 320°C	74
4.28 การหาฟังก์ชันแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพไวกับความเข้มข้นของ ไอของอะซีไคโนของ หัววัด A	75
4.29 การหาฟังก์ชันแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพไวกับความเข้มข้นของ ไอของอะซีไคโนของ หัววัด B	76
4.30 การหาฟังก์ชันแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาพไวกับความเข้มข้นของ ไอของอะซีไคโนของ หัววัด C	76