

การประดิษฐ์หัววัดแก๊สแอลกอฮอล์ชนิดปิปกอออกไซด์แบบฟิล์มบาง



นาย เลอศักดิ์ พร้อมสงฆ์

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

หลักสูตรเทคโนโลยีทางชีวภาพ

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2536

ISBN 974-583-538-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

FABRICATION OF THIN FILM TIN OXIDE ALCOHOL GAS SENSOR



MR. LERSAK PROMSONG

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science

Program of Biotechnology

Graduate School

Chulalongkorn University


1993

ISBN 974-583-538-2


หัวข้อวิทยานิพนธ์      การประดิษฐ์หัววัดแก๊สแอลกอฮอล์ชนิดดีบุกออกไซด์แบบฟิล์มบาง  
โดย                              นาย เลอศักดิ์ พร้อมสงฆ์  
ภาควิชา                            หลักสูตรเทคโนโลยีทางชีวภาพ  
อาจารย์ที่ปรึกษา            ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มานะ ศรียุทธศักดิ์

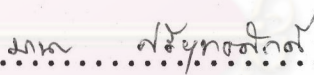
---

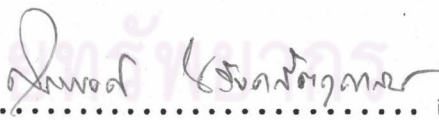
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัยนี้ เป็นส่วน  
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต


 ..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
( ศาสตราจารย์ ดร. ถาวร วัชรากิจ )

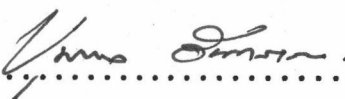
คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

 ..... ประธานกรรมการ  
( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศิริรัตน์ เรืองพิพัฒน์ )

 ..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มานะ ศรียุทธศักดิ์ )

 ..... กรรมการ  
( ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพงษ์ นวังคสัตถุศาสน์ )

 ..... กรรมการ  
( รองศาสตราจารย์ ดร.มนตรี สวัสดิ์ศฤงฆาร )

 ..... กรรมการ  
( รองศาสตราจารย์ ดร.ชุมพล อันตรเสน )

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสี่เหลี่ยมนี้เพียงแผ่นเดียว

เลขคัณฑ์ พร้อมสงฆ์ : การประดิษฐ์หัววัดแก๊สแอลกอฮอล์ชนิดดีบุกออกไซด์แบบฟิล์มบาง  
(FABRICATION OF THIN FILM TIN OXIDE ALCOHOL GAS SENSOR)

อ. ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. มานะ ศรียุทธศักดิ์, 145 หน้า, ISBN 974-583-538-2

หัวตรวจวัดแก๊สแอลกอฮอล์ได้ถูกประดิษฐ์ขึ้นจากฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ โดยมีแพลทินัม เป็นขั้วไฟฟ้า และระบบวัดแบบโพลาร์อิน เจกชัน ได้ถูกพัฒนาขึ้น เพื่อใช้ในการวัดร่วมกับหัวตรวจวัดแก๊ส จากการศึกษาผลของ อัตราส่วนของออกซิเจนในแก๊สพาทพบว่า แก๊สพาทที่มีออกซิเจนประมาณร้อยละ 20 เป็นแก๊สพาทที่เหมาะสม ต่อการใช้งานหัวตรวจวัดแก๊ส เพื่อให้ได้ลักษณะการตอบสนองที่ดีอันได้แก่ ช่วงการวัดที่กว้าง, ให้สัญญาณพื้น หลังที่ดี, เวลาฟื้นตัวเร็วขึ้น เป็นต้น และจากการหาค่าแรงดันที่เหมาะสมในการไบอัสหัวตรวจวัดแก๊สที่ ประดิษฐ์ขึ้น พบว่าที่แรงดันไฟฟ้า 3.0 โวลต์ จะให้ค่าการตอบสนองปานกลางแต่มีการกระจายของการตอบ สอนงต่ำ ซึ่งเหมาะสำหรับการนำไปใช้งาน จากการพยายามเพิ่มความไวของหัวตรวจวัดแก๊สให้สูงขึ้น โดย การใส่แคลเซียมออกไซด์หรืออลูมิเนียม เป็นสารเจือปนลงในหัวตรวจวัดแก๊ส พบว่าการใส่แคลเซียมออกไซด์ เป็นสารเจือปนในปริมาณร้อยละ 2 จะช่วยเพิ่มความไวในการวัด, เพิ่มความจำเพาะในการวัดแอลกอฮอล์ เมื่อเทียบกับน้ำ และยังสามารถลดอุณหภูมิการใช้งานจาก 500 องศาเซลเซียส ให้เหลือเพียง 200 ถึง 300 องศาเซลเซียส

หัวตรวจวัดแก๊สที่ประดิษฐ์ขึ้น สามารถตอบสนองต่อแอลกอฮอล์ได้ในช่วงความเข้มข้นร้อยละ 1 ถึง 10 โดยปริมาตร และจากการนำหัวตรวจวัดแก๊สที่ประดิษฐ์ขึ้น ไปใช้วัดความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ใน ไวน์ที่มีจำหน่าย พบว่ามีค่าความผิดพลาดในช่วงที่ยอมรับได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....เทคโนโลยีทางชีวภาพ.....  
สาขาวิชา.....เทคโนโลยีทางชีวภาพ.....  
ปีการศึกษา..... 2536.....

ลายมือชื่อนิสิต..... *ลลิตา นพวง*.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... *ม.ท. รุ่งทศกิต*.....  
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม..... -.....

## C326409 : MAJOR BIOTECHNOLOGY

KEY WORD: ALCOHOL/GAS SENSOR/TIN OXIDE/THIN FILM/CARRIER GAS

LERSAK PROMSONG : FABRICATION OF THIN FILM TIN OXIDE ALCOHOL GAS  
SENSOR. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. MANA SRIYUDTHSAK, Dr. Eng.  
145 pp. ISBN 974-583-538-2

Alcohol gas sensors, with platinum electrode, were fabricated from thin film tin oxide. The flow injection analysis (FIA) system for the gas measurement was also developed. The effect of oxygen content in carrier gas was investigated by this system. It was found that oxygen content about 20% has many merits, such as enhancing the dynamic range, reducing the background conductance and recovery time. These characteristics are very important in practical use. From the optimization of the bias voltage, a bias voltage of 3.0 volt showed a low deviation of sensor out put. The effort to improve gas sensor performance was done by doping with calcium oxide or aluminium to the tin oxide film, doping of 2% calcium can be increased the sensitivity and selectivity of the sensors, decreased the operating temperature from 500<sup>o</sup>c to 200<sup>o</sup>c - 300<sup>o</sup>c.

The gas sensor can measured alcohol concentration in the range of 1 - 10% by volume. The basic application of gas sensor was also done by the measurement of alcohol concentration in commercial wine, the results obtained from gas sensor was comparable to the value that labeled on the wine bottles.

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา.....เทคโนโลยีทางชีวภาพ

สาขาวิชา.....เทคโนโลยีทางชีวภาพ

ปีการศึกษา 2536

ลายมือชื่อนิสิต..... Lersak P

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..... Mana Sriyudthsak

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาท่าน



## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างยิ่งของ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.มานะ ศรียุทธศักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงสุดไว้ ณ. ที่นี้

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ทำที่ สถาบันเทคโนโลยีชีวภาพ และวิศวกรรมพันธุศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และที่ ห้องปฏิบัติการวิจัยสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ ภาควิชา วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จึงขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.นลิน นิลอุบล ผู้อำนวยการสถาบันเทคโนโลยีชีวภาพฯ และคณาจารย์ประจำห้องปฏิบัติการวิจัยสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำทุกท่าน

ขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ศิริรัตน์ เร่งนิวัฒน์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุรพงศ์ นวังคส์ตฤศาศน์ รองศาสตราจารย์ ดร.มนตรี สวัสดิ์ศฤงฆาร รองศาสตราจารย์ ดร. ชุมพล อันตรเสน กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้ให้คำแนะนำ ความคิดเห็น และคำวิจารณ์ อันมีคุณค่ายิ่ง

ขอกราบขอบพระคุณ คุณสนิท ปรีนคร แห่งภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ช่วยเหลือในการประกอบเตาเผาอันเป็นส่วนสำคัญยิ่ง

ขอขอบคุณ คุณรงค์ หอมจันทร์ คุณปริดา ไชยฤทธิ์ และคุณพินิจ เกิดน้อย ช่างเทคนิครวมทั้งเจ้าหน้าที่ทุกท่านประจำสถาบันฯ และคุณสมจิต ชุ่มเมืองเย็น คุณอดุลย์ สลักคำ แห่งศูนย์เครื่องมือวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและคำแนะนำทางด้านเทคนิค

ขอขอบคุณ พี่ๆ เพื่อนๆ และน้องๆ ในสถาบันฯ ทุกคนที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และกำลังใจ มาเป็นอย่างดี

เนื่องจาก ทุนการวิจัยครั้งนี้บางส่วนได้รับมาจาก ทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบพระคุณบัณฑิตวิทยาลัยมา ณ. ที่นี้

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณพ่อและแม่ ที่ได้สนับสนุนทุนทรัพย์และกำลังใจ ที่ดียิ่งแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา รวมทั้งนิดา ที่ได้เป็นกำลังใจด้วยดีมาโดยตลอด

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย .....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ .....	จ
กิตติกรรมประกาศ .....	ฉ
สารบัญตาราง .....	ช
สารบัญรูป .....	ญ
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ .....	ท
บทที่	
1. บทนำ .....	1
2. หลักการและทฤษฎีพื้นฐานของหัวตรวจวัดแก๊ส .....	14
3. การสร้างระบบสำหรับตรวจวัดแก๊ส .....	20
4. การศึกษาผลของแก๊สनाห้ห้มีต่อการตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊ส ...	35
5. การประดิษฐ์และลักษณะสมบัติของหัวตรวจวัดแก๊ส .....	49
6. การปรับปรุงหัวตรวจวัดแก๊สเพื่อการตรวจวัดแอลกอฮอล์ .....	74
7. ตัวอย่างการนำหัวตรวจวัดแก๊สไปใช้งาน .....	122
8. สรุปและวิจารณ์ผลการทดลอง .....	126
เอกสารอ้างอิง .....	128
ภาคผนวก ก .....	134
ภาคผนวก ข .....	139
ภาคผนวก ค .....	142
ประวัติผู้เขียน .....	145

## สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	ตัวอย่างการประดิษฐ์หัวตรวจวัดแก๊สสำหรับแก๊สชนิดต่างๆ .....	2
1.2	เปรียบเทียบหัวตรวจวัดแก๊สที่ประดิษฐ์ขึ้นมาในแบบต่างๆ .....	7
1.3	ค่าความเข้มข้น(ppm) ของ town gas บางชนิดที่กำหนดให้หัว ตรวจวัดแก๊สสามารถตรวจวัดได้ .....	8
1.4	ตัวอย่างการนำหัวตรวจวัดแก๊สไปใช้งาน .....	10
3.1	ข้อมูลของออกซิเจนและไนโตรเจนที่ใช้เป็นแก๊สพาค์ .....	22
3.2	องค์ประกอบของอากาศแห้ง .....	23
3.3	ค่าแรงดันไฟฟ้าสำหรับทำให้แหล่งกำเนิดความร้อน มีอุณหภูมิในช่วง 200 <sup>o</sup> c ถึง 530 <sup>o</sup> c สำหรับการทดลองหัวตรวจวัดแก๊ส .....	28
3.4	เงื่อนไขในการทดสอบความแม่นยำของระบบ .....	32
4.1	เงื่อนไขของระบบสำหรับการศึกษา ผลของออกซิเจนในแก๊สพาค์ที่มี ต่อการตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊ส TGS-822 และ NGSX-03 .....	36
4.2	ค่าความชันและค่าสัมประสิทธิ์ความเป็นเส้นตรงของกราฟมาตรฐาน ในรูปที่ 4.9 และ 4.10 .....	46
5.1	เงื่อนไขที่ใช้กับระบบ EB ในการเคลื่อนย้ายไฟฟ้า .....	54
5.2	ค่าความต้านทานไฟฟ้าของหัวตรวจวัดแก๊ส( $R_S$ ) ที่ใช้ทดลองหาค่า $V_{IN}$ ที่เหมาะสม .....	56
5.3	เงื่อนไขของระบบที่ใช้ในการทดลอง .....	57
5.4	ค่าเฉลี่ย( $\bar{X}$ ), ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(S.D.)และค่า C.V.ในการ ตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊สที่ $V_{IN}$ ต่างๆ .....	60



สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่

5.5	ค่าความต้านทานไฟฟ้าของหัวตรวจวัดแก๊ส( $R_S$ )ที่ติดตั้งในโพลีเซลล์ ก่อนเริ่มการทดลอง .....	62
5.6	เงื่อนไขของระบบสำหรับการทดลองหัวตรวจวัดแก๊ส .....	63
6.1	เงื่อนไขในการระเหย แคลเซียมออกไซด์ ลงบนแผ่นฟิล์มบางดีบุก ออกไซด์ .....	79
6.2	ค่าความต้านทานไฟฟ้า ของหัวตรวจวัดแก๊ส( $R_S$ ) ที่เคลือบผิวด้วย แคลเซียมออกไซด์ .....	82
6.3	เงื่อนไขของระบบสำหรับการทดลองหัวตรวจวัดแก๊ส .....	84
6.4	เงื่อนไขที่ใช้ในการระเหยอะลูมิเนียมลงบนฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ .....	106
6.5	ค่าความต้านทานไฟฟ้าของ หัวตรวจวัดแก๊ส( $R_S$ ) ที่เคลือบผิวด้วย อะลูมิเนียม 12Å และ 58Å .....	107
7.1	ค่าการตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊ส( $\Delta V_R$ ) ที่มีต่อแอลกอฮอล์ความ เข้มข้นมาตรฐานและไวน์คูลเลอร์ .....	124
7.2	ปริมาณเอทิลแอลกอฮอล์ในไวน์คูลเลอร์ที่กำหนดจากผู้ผลิต และจาก การทดลอง .....	125

## สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1.1	หัวตรวจวัดแก๊สที่ประดิษฐ์ขึ้นมาในแบบต่างๆ .....	6
1.2	ลักษณะของ GAS-SENSOR-DIP-ELECTRODE(GSDE) .....	11
1.3	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย .....	13
3.1	แผนผังระบบโพลีอินเอจคชันสำหรับทดลองหัวตรวจวัดแก๊ส .....	21
3.2	อุปกรณ์ควบคุมชนิดและปริมาณของแก๊สพาร์ .....	22
3.3	ลักษณะของหัววัด .....	24
3.4	ส่วนประกอบของโพลีเซลล์ .....	25
3.5	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้าที่ป้อนแก่แหล่งกำเนิดความร้อน กับ อุณหภูมิของแหล่งกำเนิดความร้อน .....	27
3.6	วงจรวัดสัญญาณของหัวตรวจวัดแก๊ส .....	29
3.7	ระบบโพลีอินเอจคชันที่ได้จัดสร้างขึ้น .....	31
3.8	หัวตรวจวัดแก๊ส TGS-822 .....	31
3.9	สัญญาณที่ได้( $V_R$ )จากการตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊ส TGS-822 ที่ มีต่อเอทิลแอลกอฮอล์ 10%v/v .....	33
4.1	ลักษณะของหัวตรวจวัดแก๊ส TGS-822 และ NGSX-03 ก่อนและหลัง ติดตั้งในโพลีเซลล์ .....	37
4.2	ผลของออกซิเจน ในแก๊สพาร์ ที่มีต่อค่าความนำไฟฟ้าพื้นหลังของหัว ตรวจวัดแก๊ส NGSX-03 .....	39
4.3	ผลของออกซิเจน ในแก๊สพาร์ ที่มีต่อค่าความนำไฟฟ้าพื้นหลังของหัว ตรวจวัดแก๊ส TGS-822 .....	39

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.4 การตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊ส TGS-822 ที่มีต่อเอทิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 1)0%(น้ำ), 2)0.001%, 3)0.01%, 4) 0.05%, 5)0.1%, 6)0.5%, 7)1%, 8)5% และ 11)100% v/v เมื่อใช้แก๊สพลาสมาที่มีปริมาณออกซิเจน 10ppm .....	40
4.5 การตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊ส TGS-822 ที่มีต่อเอทิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 1)0%(น้ำ), 2)0.001%, 3)0.01%, 4) 0.05%, 5)0.1%, 6)0.5%, 7)1%, 8)5%, 9)10%, 10)50% และ 11)100% v/v เมื่อใช้แก๊สพลาสมาที่มีปริมาณออกซิเจน 10% .....	41
4.6 การตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊ส TGS-822 ที่มีต่อเอทิลแอลกอฮอล์ ความเข้มข้นต่างๆ ได้แก่ 1)0%(น้ำ), 2)0.001%, 3)0.01%, 4) 0.05%, 5)0.1%, 6)0.5%, 7)1%, 8)5%, 9)10%, 10)50% และ 11)100% v/v เมื่อใช้แก๊สพลาสมาที่มีปริมาณออกซิเจน 99.5% .....	41
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาฟื้นตัวกับความเข้มข้นของแอลกอฮอล์ .....	43
4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาฟื้นตัวกับปริมาณออกซิเจนในแก๊สพลาสมา .....	43
4.9 กราฟมาตรฐานของแอลกอฮอล์จากหัวตรวจวัดแก๊ส TGS-822 .....	45
4.10 กราฟมาตรฐานของแอลกอฮอล์จากหัวตรวจวัดแก๊ส NGSX-03 .....	45
5.1 โครงสร้างของหัวตรวจวัดแก๊ส .....	49
5.2 ขั้นตอนการประดิษฐ์หัวตรวจวัดแก๊ส .....	50
5.3 ลักษณะของแผ่นฟิล์มบางที่บุกอกไอซ์ด้านขั้นตอนต่างๆจนกระทั่งเป็นหัวตรวจวัดแก๊ส .....	52
5.4 ระบบ electron beam evaporator ที่ใช้สร้างขี้ไฉนไฟฟ้า .....	52
5.5 หลักการทำงานของ electron beam evaporation .....	53

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างการตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊ส ที่ใช้ค่า $V_{IN}$ เท่ากับ (○)1v, (□)5v, (△)10v และ (+)15v กับเวลา .....	57
5.7 ช่วงของค่าการตอบสนองจากหัวตรวจวัดแก๊สทั้ง 6 ตัว ที่ใช้ค่า $V_{IN}$ ตั้งแต่ 1 ถึง 10v .....	59
5.8ก การตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊สตัวที่ 1 ซึ่งมีต่อ(+)น้ำ, (○)เอทิล แอลกอฮอล์10%v/v, (□)แอมโมเนีย10%v/v และ (△)อะซิติกดีไฮด์ 10%v/v .....	65
5.8ข การตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊สตัวที่ 2 ซึ่งมีต่อ(+)น้ำ, (○)เอทิล แอลกอฮอล์10%v/v, (□)แอมโมเนีย10%v/v และ (△)อะซิติกดีไฮด์ 10%v/v .....	65
5.8ค การตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊สตัวที่ 3 ซึ่งมีต่อ(+)น้ำ, (○)เอทิล แอลกอฮอล์10%v/v, (□)แอมโมเนีย10%v/v และ (△)อะซิติกดีไฮด์ 10%v/v .....	66
5.9 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการตอบสนองจากหัวตรวจวัดแก๊ส 3 ตัว ที่มีต่อ (□)น้ำ, (■)เอทิลแอลกอฮอล์ 10%v/v, (▣)แอมโมเนีย10%v/v และ(▢)อะซิติกดีไฮด์10%v/v .....	67
5.10 (○)ค่าเฉลี่ยอัตราส่วน เอทิลแอลกอฮอล์/น้ำ และ(●)ค่าเฉลี่ยการตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊สที่มีต่อเอทิลแอลกอฮอล์10%v/v .....	68
5.11 การวัดค่าเวลาตอบสนอง .....	69
5.12 การวัดค่าเวลาฟื้นตัว .....	69

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.13 ค่าเฉลี่ยเวลาตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊สจากการตรวจวัด (+)น้ำ , (o)เอทิลแอลกอฮอล์10%v/v , (□)แอมโมเนีย10%v/v และ (Δ)อะซิโตนไฮโดรไลต์10%v/v .....	71
5.14 ค่าเฉลี่ยเวลาฟื้นตัวของหัวตรวจวัดแก๊สจากการตรวจวัด (+)น้ำ , (o)เอทิลแอลกอฮอล์10%v/v , (□)แอมโมเนีย10%v/v และ (Δ)อะซิโตนไฮโดรไลต์10%v/v .....	71
5.15 กราฟมาตรฐานของเอทิลแอลกอฮอล์ในช่วงความเข้มข้น 0.1 ถึง 100%v/v ที่อุณหภูมิ (o)200 <sup>o</sup> c, (Δ)300 <sup>o</sup> c, (□)400 <sup>o</sup> c และ (x)500 <sup>o</sup> c .....	72
6.1 ขั้นตอนการเคลือบแคลเซียมออกไซด์ลงบนแผ่นฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ .....	75
6.2 โครงสร้างของหัวตรวจวัดแก๊สที่เคลือบผิวด้วยแคลเซียมออกไซด์ .....	76
6.3 เบ้าอัดเม็ดกับแคลเซียมออกไซด์ก่อนและหลังอัดเม็ด .....	77
6.4 เครื่องอัดไฮดรอลิกที่ใช้ในการอัดเม็ดแคลเซียมออกไซด์ .....	78
6.5 ลักษณะของแผ่นฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ในขั้นตอนต่างๆก่อนเป็นหัวตรวจวัดแก๊สที่ถูกเคลือบผิวด้วยแคลเซียมออกไซด์ .....	80
6.6 เตาเผา .....	81
6.7ก การตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊สเลขที่ 1 ซึ่งไม่มีการเคลือบผิวด้วยสารเจือปน ที่มีต่อ (+)น้ำ, (o)เอทิลแอลกอฮอล์10%v/v, (□)แอมโมเนีย10%v/v และ (Δ)อะซิโตนไฮโดรไลต์10%v/v .....	85
6.7ข การตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊สเลขที่ 2 ซึ่งไม่มีการเคลือบผิวด้วยสารเจือปน ที่มีต่อ (+)น้ำ, (o)เอทิลแอลกอฮอล์10%v/v, (□)แอมโมเนีย10%v/v และ (Δ)อะซิโตนไฮโดรไลต์10%v/v .....	85

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.7ค การตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊สเลขที่ 3 ซึ่งไม่มีการเคลือบผิวด้วย สารเจือปน ที่มีต่อ (+)น้ำ, (o)เอทิลแอลกอฮอล์10%v/v, (□) แอมโมเนีย10%v/v และ (Δ)อะซิโตนไฮดรอกไซด์10%v/v .....	86
6.7ง การตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊สเลขที่ 4 ซึ่งไม่มีการเคลือบผิวด้วย สารเจือปน ที่มีต่อ (+)น้ำ, (o)เอทิลแอลกอฮอล์10%v/v, (□) แอมโมเนีย10%v/v และ (Δ)อะซิโตนไฮดรอกไซด์10%v/v .....	86
6.8ก การตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊สเลขที่ 1 ที่เคลือบผิวด้วยแคลเซียม ออกไซด์12Å ซึ่งมีต่อ (+)น้ำ, (o)เอทิลแอลกอฮอล์10%v/v, (□)แอมโมเนีย10%v/v และ (Δ)อะซิโตนไฮดรอกไซด์10%v/v .....	87
6.8ข การตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊สเลขที่10 ที่เคลือบผิวด้วยแคลเซียม ออกไซด์12Å ซึ่งมีต่อ (+)น้ำ, (o)เอทิลแอลกอฮอล์10%v/v, (□)แอมโมเนีย10%v/v และ (Δ)อะซิโตนไฮดรอกไซด์10%v/v .....	87
6.8ค การตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊สเลขที่ 8 ที่เคลือบผิวด้วยแคลเซียม ออกไซด์12Å ซึ่งมีต่อ (+)น้ำ, (o)เอทิลแอลกอฮอล์10%v/v, (□)แอมโมเนีย10%v/v และ (Δ)อะซิโตนไฮดรอกไซด์10%v/v .....	88
6.8ง การตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊สเลขที่ 7 ที่เคลือบผิวด้วยแคลเซียม ออกไซด์12Å ซึ่งมีต่อ (+)น้ำ, (o)เอทิลแอลกอฮอล์10%v/v, (□)แอมโมเนีย10%v/v และ (Δ)อะซิโตนไฮดรอกไซด์10%v/v .....	88
6.9ก การตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊สเลขที่11 ที่เคลือบผิวด้วยแคลเซียม ออกไซด์52Å ซึ่งมีต่อ (+)น้ำ, (o)เอทิลแอลกอฮอล์10%v/v, (□)แอมโมเนีย10%v/v และ (Δ)อะซิโตนไฮดรอกไซด์10%v/v .....	89

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.9ข การตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊สเลขที่20 ที่เคลือบผิวด้วยแคลเซียม ออกไซด์ $52\text{\AA}$ ซึ่งมีต่อ (+)น้ำ , (o)เอทิลแอลกอฮอล์ $10\%v/v$ , (□)แอมโมเนีย $10\%v/v$ และ (Δ)อะซิโตน $10\%v/v$ .....	89
6.9ค การตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊สเลขที่17 ที่เคลือบผิวด้วยแคลเซียม ออกไซด์ $52\text{\AA}$ ซึ่งมีต่อ (+)น้ำ , (o)เอทิลแอลกอฮอล์ $10\%v/v$ , (□)แอมโมเนีย $10\%v/v$ และ (Δ)อะซิโตน $10\%v/v$ .....	90
6.9ง การตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊สเลขที่16 ที่เคลือบผิวด้วยแคลเซียม ออกไซด์ $52\text{\AA}$ ซึ่งมีต่อ (+)น้ำ , (o)เอทิลแอลกอฮอล์ $10\%v/v$ , (□)แอมโมเนีย $10\%v/v$ และ (Δ)อะซิโตน $10\%v/v$ .....	90
6.10 (o)ค่าเฉลี่ยอัตราส่วน เอทิลแอลกอฮอล์/น้ำ และ (●)ค่าการตอบสนองต่อเอทิลแอลกอฮอล์ $10\%v/v$ จากหัวตรวจวัดแก๊สที่ไม่มีแคลเซียม ออกไซด์ .....	93
6.11 (o)ค่าเฉลี่ยอัตราส่วน เอทิลแอลกอฮอล์/น้ำ และ (●)ค่าการตอบสนองต่อเอทิลแอลกอฮอล์ $10\%v/v$ จากหัวตรวจวัดแก๊สที่มีแคลเซียม ออกไซด์ $12\text{\AA}$ .....	93
6.12 (o)ค่าเฉลี่ยอัตราส่วน เอทิลแอลกอฮอล์/น้ำ และ (●)ค่าการตอบสนองต่อเอทิลแอลกอฮอล์ $10\%v/v$ จากหัวตรวจวัดแก๊สที่มีแคลเซียม ออกไซด์ $52\text{\AA}$ .....	94
6.13 ค่าเฉลี่ยเวลาตอบสนอง จากหัวตรวจวัดแก๊สที่ไม่มีแคลเซียมออกไซด์ ในการตรวจวัด(+ )น้ำ, (o)เอทิลแอลกอฮอล์ $10\%v/v$ , (□)แอมโมเนีย $10\%v/v$ และ (Δ)อะซิโตน $10\%v/v$ .....	96

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.14 ค่าเฉลี่ยเวลาตอบสนองจากหัวตรวจวัดแก๊สที่มีแคลเซียมออกไซด์12Å ในการตรวจวัด(+)น้ำ, (o)เอทิลแอลกอฮอล์10%v/v, (□)แอมโมเนีย10%v/v และ (Δ)อะซิโตนไธด์10%v/v .....	96
6.15 ค่าเฉลี่ยเวลาตอบสนองจากหัวตรวจวัดแก๊สที่มีแคลเซียมออกไซด์52Å ในการตรวจวัด(+)น้ำ, (o)เอทิลแอลกอฮอล์10%v/v, (□)แอมโมเนีย10%v/v และ (Δ)อะซิโตนไธด์10%v/v .....	97
6.16 ค่าเฉลี่ยเวลาฟื้นตัว จากหัวตรวจวัดแก๊สที่ไม่มีแคลเซียมออกไซด์ในการตรวจวัด(+)น้ำ, (o)เอทิลแอลกอฮอล์10%v/v, (□)แอมโมเนีย10%v/v และ (Δ)อะซิโตนไธด์10%v/v .....	98
6.17 ค่าเฉลี่ยเวลาฟื้นตัวจากหัวตรวจวัดแก๊สที่มีแคลเซียมออกไซด์12Å ในการตรวจวัด(+)น้ำ, (o)เอทิลแอลกอฮอล์10%v/v, (□)แอมโมเนีย10%v/v และ (Δ)อะซิโตนไธด์10%v/v .....	99
6.18 ค่าเฉลี่ยเวลาฟื้นตัวจากหัวตรวจวัดแก๊สที่มีแคลเซียมออกไซด์52Å ในการตรวจวัด(+)น้ำ, (o)เอทิลแอลกอฮอล์10%v/v, (□)แอมโมเนีย10%v/v และ (Δ)อะซิโตนไธด์10%v/v .....	99
6.19 กราฟมาตรฐานของเอทิลแอลกอฮอล์ในช่วงความเข้มข้น 0.1 ถึง 100%v/v ที่ได้จากหัวตรวจวัดแก๊สที่มีแคลเซียมออกไซด์ 12Å ในอุณหภูมิ (□)200 <sup>o</sup> c , (Δ)250 <sup>o</sup> c และ (o)300 <sup>o</sup> c .....	101
6.20 ขั้นตอนการเคลือบอะลูมิเนียมลงบนแผ่นฟิล์มบางตีบุกออกไซด์ .....	102
6.21 โครงสร้างของหัวตรวจวัดแก๊สที่เคลือบผิวด้วยอะลูมิเนียม .....	103
6.22 เครื่อง filament evaporator ที่ใช้เคลือบอะลูมิเนียม .....	103
6.23 หลักการทำงานของ filament evaporation .....	104



## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.24 ลักษณะของแผ่นฟิล์มบางที่บุกอกอไซค์ในขั้นตอนต่างๆก่อนเป็นหัวตรวจ วัดแก๊สที่ถูกเคลือบผิวด้วยอะลูมิเนียม .....	105
6.25ก การตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊สเลขที่1 ที่เคลือบผิวด้วยอะลูมิเนียม 12Å ซึ่งมีต่อ(+)น้ำ, (o)เอทิลแอลกอฮอล์10%v/v, (□)แอมโมเนีย 10%v/v และ (Δ)อะซิโตนไฮดรอกไซด์10%v/v .....	109
6.25ข การตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊สเลขที่2 ที่เคลือบผิวด้วยอะลูมิเนียม 12Å ซึ่งมีต่อ(+)น้ำ, (o)เอทิลแอลกอฮอล์10%v/v, (□)แอมโมเนีย 10%v/v และ (Δ)อะซิโตนไฮดรอกไซด์10%v/v .....	109
6.25ค การตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊สเลขที่3 ที่เคลือบผิวด้วยอะลูมิเนียม 12Å ซึ่งมีต่อ(+)น้ำ, (o)เอทิลแอลกอฮอล์10%v/v, (□)แอมโมเนีย 10%v/v และ (Δ)อะซิโตนไฮดรอกไซด์10%v/v .....	110
6.25ง การตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊สเลขที่4 ที่เคลือบผิวด้วยอะลูมิเนียม 12Å ซึ่งมีต่อ(+)น้ำ, (o)เอทิลแอลกอฮอล์10%v/v, (□)แอมโมเนีย 10%v/v และ (Δ)อะซิโตนไฮดรอกไซด์10%v/v .....	110
6.26ก การตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊สเลขที่5 ที่เคลือบผิวด้วยอะลูมิเนียม 58Å ซึ่งมีต่อ(+)น้ำ, (o)เอทิลแอลกอฮอล์10%v/v, (□)แอมโมเนีย 10%v/v และ (Δ)อะซิโตนไฮดรอกไซด์10%v/v .....	111
6.26ข การตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊สเลขที่6 ที่เคลือบผิวด้วยอะลูมิเนียม 58Å ซึ่งมีต่อ(+)น้ำ, (o)เอทิลแอลกอฮอล์10%v/v, (□)แอมโมเนีย 10%v/v และ (Δ)อะซิโตนไฮดรอกไซด์10%v/v .....	111

## สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.26ค การตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊สเลขที่7 ที่เคลือบผิวด้วยอะลูมิเนียม 58Å ซึ่งมีต่อ(+)น้ำ, (○)เอทิลแอลกอฮอล์10%v/v, (□)แอมโมเนีย 10%v/v และ (Δ)อะซิติกดีไฮด์10%v/v .....	112
6.26ง การตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊สเลขที่8 ที่เคลือบผิวด้วยอะลูมิเนียม 58Å ซึ่งมีต่อ(+)น้ำ, (○)เอทิลแอลกอฮอล์10%v/v, (□)แอมโมเนีย 10%v/v และ (Δ)อะซิติกดีไฮด์10%v/v .....	112
6.27 (○)ค่าเฉลี่ยอัตราส่วน เอทิลแอลกอฮอล์/น้ำ และ (●)ค่าการตอบสนองต่อเอทิลแอลกอฮอล์10%v/v จากหัวตรวจวัดแก๊สที่มีอะลูมิเนียม 12Å .....	114
6.28 (○)ค่าเฉลี่ยอัตราส่วน เอทิลแอลกอฮอล์/น้ำ และ (●)ค่าการตอบสนองต่อเอทิลแอลกอฮอล์10%v/v จากหัวตรวจวัดแก๊สที่มีอะลูมิเนียม 58Å .....	114
6.29 ค่าเฉลี่ยเวลาตอบสนองจากหัวตรวจวัดแก๊สที่มีอะลูมิเนียม 12Å ในการตรวจวัด(+)น้ำ, (○)เอทิลแอลกอฮอล์10%v/v, (□)แอมโมเนีย 10%v/v และ (Δ)อะซิติกดีไฮด์10%v/v .....	116
6.30 ค่าเฉลี่ยเวลาตอบสนองจากหัวตรวจวัดแก๊สที่มีอะลูมิเนียม 58Å ในการตรวจวัด(+)น้ำ, (○)เอทิลแอลกอฮอล์10%v/v, (□)แอมโมเนีย 10%v/v และ (Δ)อะซิติกดีไฮด์10%v/v .....	116
6.31 ค่าเฉลี่ยเวลาฟื้นตัวจากหัวตรวจวัดแก๊สที่มีอะลูมิเนียม 12Å ในการตรวจวัด (+)น้ำ, (○)เอทิลแอลกอฮอล์10%v/v , (□)แอมโมเนีย 10%v/v และ (Δ)อะซิติกดีไฮด์10%v/v .....	117

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
6.32 ค่าเฉลี่ยเวลานั้นตัวจากห้าตรวจวัดแก๊สที่มีอะลูมิเนียม 58Å ในการตรวจวัด (+)น้ำ, (o)เอทิลแอลกอฮอล์10%v/v , (□)แอมโมเนีย 10%v/v และ (Δ)อะซีตัลดีไฮด์10%v/v .....	118
6.33 กราฟมาตรฐานของเอทิลแอลกอฮอล์ในช่วงความเข้มข้น 0.1%v/v ถึง 100%v/v ที่ได้จากการตรวจวัดแก๊สที่มีอะลูมิเนียม12Å ในอุณหภูมิ (□)200 <sup>o</sup> c, (Δ)250 <sup>o</sup> c และ (o)300 <sup>o</sup> c .....	120
7.1 ตัวอย่างไวน์คูลเลอร์ที่นำมาวัดปริมาณแอลกอฮอล์ .....	123
7.2 ตัวอย่างสัญญาณที่ได้จากการวัดแอลกอฮอล์ความเข้มข้นมาตรฐาน 1 ถึง 10%v/v และ ไวน์คูลเลอร์ .....	123
ข.1 พังวงจรไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงคงค่าแรงดันชนิดปรับค่าได้ระหว่าง 1.25 ถึง 30v .....	139
ข.2 ลายแผ่นวงจรพิมพ์สำหรับวงจรไฟฟ้าในรูป ข.1 .....	139
ข.3 พังวงจรไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสตรงคงค่าแรงดันชนิดปรับค่าได้ระหว่าง 0 ถึง 30v .....	140
ข.4 ลายแผ่นวงจรพิมพ์สำหรับวงจรไฟฟ้าในรูป ข.3 .....	141
ค.1 แบบสำหรับลอกลายลงบนแผ่นสแตนเลสเพื่อใช้ทำหน้ากากสำหรับการทำขั้วไฟฟ้า .....	144
ค.2 แบบสำหรับลอกลายลงบนแผ่นสแตนเลสเพื่อใช้ทำหน้ากากสำหรับการเคลือบแคลเซียมออกไซด์ หรืออะลูมิเนียม .....	144

### คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

$a$	=	ค่าจุดตัดแกนตั้ง (Y)
$b$	=	ค่าความชันของเส้นตรง
C.V.	=	ค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวน
ml/min	=	มิลลิลิตรต่อนาที
$R$	=	ค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ต่อกับหัวตรวจวัดแก๊สในวงจรวัดสัญญาณ
$R_S$	=	ค่าความต้านทานไฟฟ้าของหัวตรวจวัดแก๊ส
$r^2$	=	ค่าสัมประสิทธิ์ความเป็นเส้นตรง
$V_H$	=	ค่าแรงดันไฟฟ้าสำหรับแหล่งกำเนิดความร้อนของหัวตรวจวัดแก๊ส
$V_{IN}$	=	ค่าแรงดันไบอัสหัวตรวจวัดแก๊ส
$V_R$	=	ค่าแรงดันไฟฟ้าคร่อมตัวต้านทานไฟฟ้า $R$
$V_{RB}$	=	ค่าแรงดันไฟฟ้าพื้นหลัง คร่อมตัวต้านทานไฟฟ้า $R$
$V_{RP}$	=	ค่าแรงดันไฟฟ้าคร่อมตัวต้านทานไฟฟ้า $R$ ขณะที่หัวตรวจวัดแก๊สมี การตอบสนองสูงสุดต่อสารตัวอย่าง
$\Delta V_R$	=	ผลต่างระหว่าง $V_{RP}$ กับ $V_{RB}$
$\%v/v$	=	ค่าความเข้มข้นร้อยละโดยปริมาตร

ศูนย์วิจัยและพัฒนาการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย