

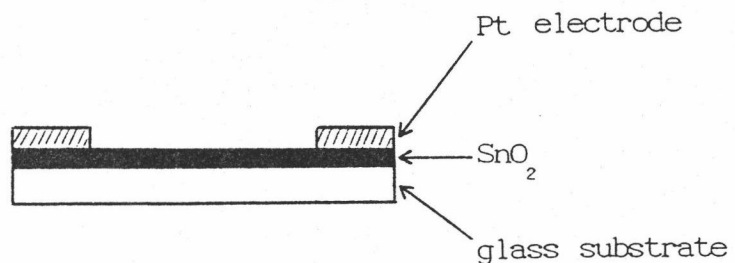
บทที่ 5

การประดิษฐ์และลักษณะสมบัติของหัวตรวจวัดแก๊ส

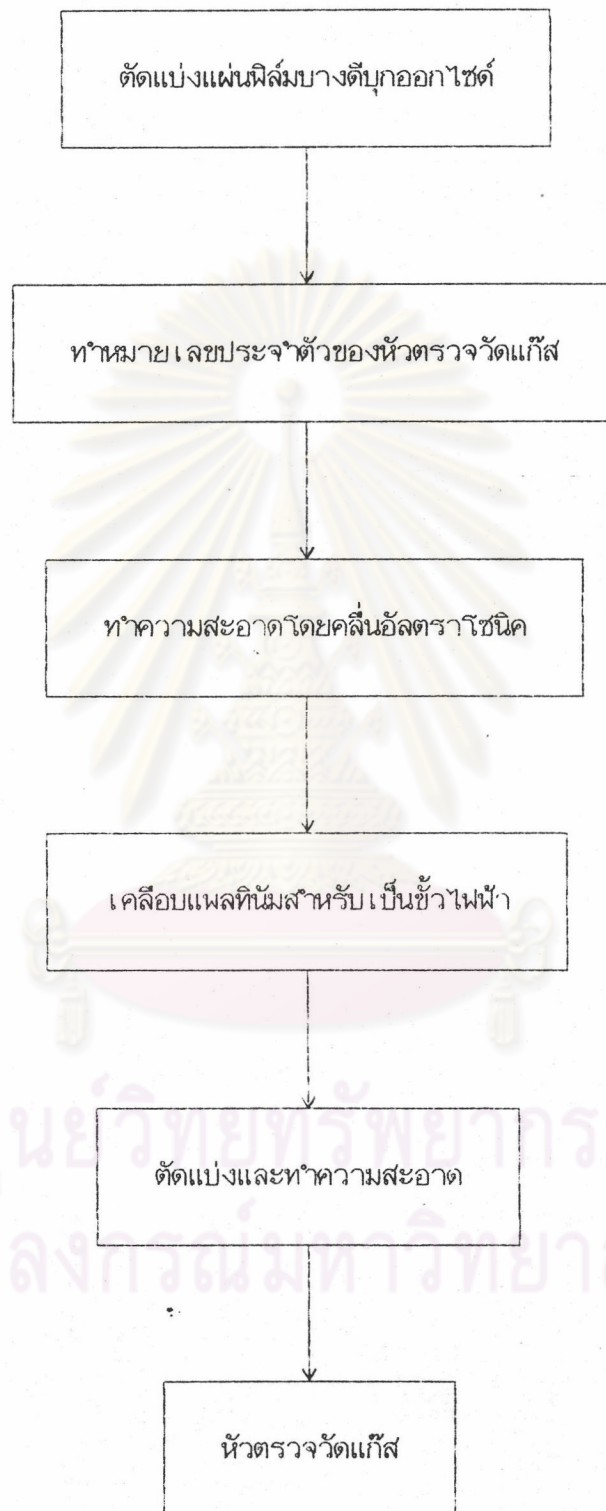
จากการศึกษาผลของออกซิเจนในแก๊สพาห้ที่มีต่อการตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊ส TGS-822 และ NGSX-03 จากบทที่ 4 ได้แสดงให้เห็นว่าสามารถนำเอาอากาศมาใช้เป็นแก๊สพาห้ของระบบได้ ในบทนี้จะกล่าวถึงการประดิษฐ์หัวตรวจวัดแก๊สจากแผ่นฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ รวมทั้งการนำหัวตรวจวัดแก๊สที่ได้มาทดลอง เพื่อหาค่าแรงดันไฟฟ้า (V_{IN}) ที่เหมาะสมต่อการทดลองหัวตรวจวัดแก๊ส จากนั้นจะเป็นการทดลองเพื่อหาลักษณะสมบัติพื้นฐานของหัวตรวจวัดแก๊ส ได้แก่ ความไว (sensitivity), ความจำเพาะ (selectivity), เวลาตอบสนอง (response time), เวลาฟื้นตัว (recovery time) และ ช่วงการตรวจวัด (dynamic range)

โครงสร้างของหัวตรวจวัดแก๊ส

หัวตรวจวัดแก๊สที่จะประดิษฐ์ขึ้นมีโครงสร้างดังรูปที่ 5.1 โดยหัวตรวจวัดแก๊สจะประกอบด้วย ชั้นของฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ซึ่งเคลือบอยู่บน แผ่นฐานแก้ว (glass substrate) ด้านข้างของฟิล์มบางดีบุกออกไซด์จะมีชั้นฟิล์มบางของแพลทินัม (Pt) เคลือบทับไว้สำหรับเป็นขั้วไฟฟ้า (electrode)



รูปที่ 5.1 โครงสร้างของหัวตรวจวัดแก๊ส



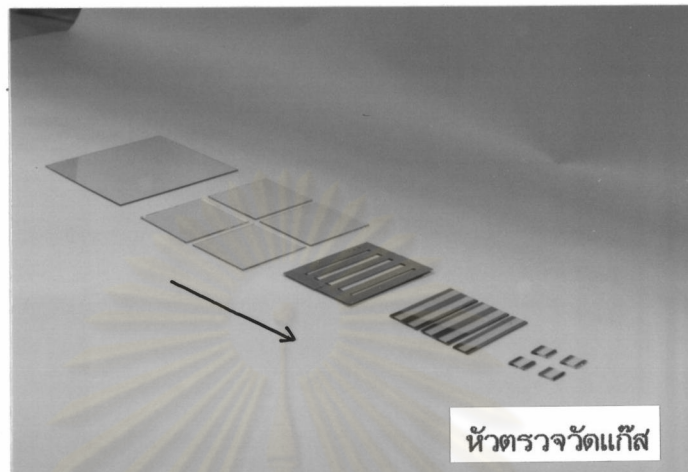
รูปที่ 5.2 ขั้นตอนการประดิษฐ์หัวตรวจวัดแก๊ส

การประดิษฐ์หัวตรวจวัดแก๊ส

แผ่นฟิล์มบางดีบุกออกไซด์สำหรับนำมาประดิษฐ์หัวตรวจวัดแก๊สมีความหนา 500 Å ผลิตโดย VACOM รุ่น SN-100 มีขนาด 100mm x 100mm แผ่นฟิล์มบางดีบุกออกไซด์จะถูกนำมาประดิษฐ์เป็นหัวตรวจวัดแก๊สตามขั้นตอนดังรูปที่ 5.2

จากรูปที่ 5.2 แผ่นฟิล์มบางดีบุกออกไซด์จะถูกตัดให้มีขนาด 10mm x 50mm หรือ 20mm x 50mm จากนั้นนำมาเขียนกำกับหมายเลขที่ด้านหลังในตำแหน่งที่ไม่ตรงกับรอยตัด เมื่อตัดแบ่งแผ่นฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ให้มีขนาดเท่ากับหัวตรวจวัดแก๊ส แล้วจึงนำแผ่นฟิล์มบางดีบุกออกไซด์มาทำความสะอาด ในสารละลาย ไตรคลอโรเอทิลีน ; อะซิโตน — และ เอทิลแอลกอฮอล์ ด้วยคลื่นอัลตราโซนิค สารละลายละ 15 นาที ตามลำดับ ในการทำความสะอาดจะต้องระวังไม่ให้เกิดรอยขีดข่วนบนผิวของแผ่นฟิล์มบางดีบุกออกไซด์

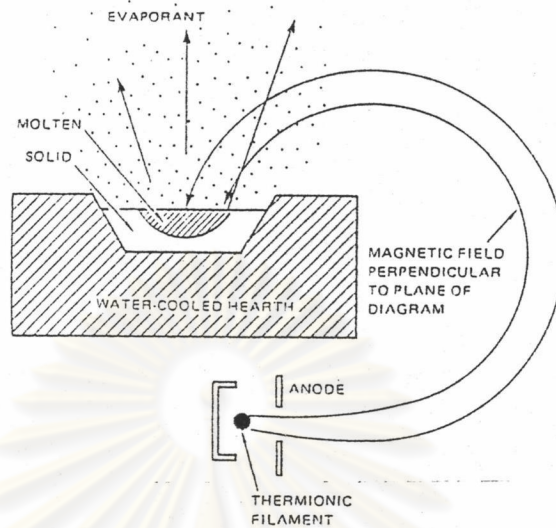
แผ่นฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ที่สะอาด จะถูกนำมาประกบด้วยหน้ากาก ดังรูปที่ 5.3 หน้ากากจะทำให้แพลทินัมเคลือบลงบนแผ่นฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ เฉพาะส่วนที่ต้องการให้เป็น ขั้วไฟฟ้า วิธีการทำหน้าฉากแสดงในภาคผนวก ค เมื่อติดหน้าฉากแล้วก็จะนำแผ่นฟิล์มบางดีบุกออกไซด์ไปเคลือบแพลทินัมสำหรับเป็นขั้วไฟฟ้าของหัวตรวจวัดแก๊ส การเคลือบแพลทินัมทำได้โดยการใช้เครื่อง electron beam evaporator (EB) ยี่ห้อ ULVAC ดังในรูปที่ 5.4 electron beam evaporation มีหลักการทำงานดังรูปที่ 5.5 โดยสารที่จะระเหย (evaporant) ถูกวางอยู่ในเบ้า (crucible) ที่ทำจากทองแดง แผ่นฐาน (substrate) ที่ต้องการเคลือบจะยึดติดกับตัวยึด (holder) ซึ่งอยู่ด้านบนของเบ้า ส่วนประกอบที่กล่าวไปทั้งหมดจะอยู่ภายในฝาครอบ (bell jar) การทำงานของเครื่อง เริ่มจากการปิดฝาครอบ จากนั้นจะดูดอากาศออกด้วยปั๊มสุญญากาศ จนได้ความดันอยู่ในช่วง 2×10^{-6} torr ถึง 5×10^{-6} torr จึงจะเริ่มปล่อยขั้วให้ลำอิเล็กตรอนถูกโฟกัสไปยังสารที่ต้องการระเหย จนกระทั่งกลายเป็นไอไปติดยังแผ่นฐานซึ่งในที่นี้เป็นแผ่นฟิล์มบางดีบุกออกไซด์



รูปที่ 5.3 ลักษณะของแผ่นฟิล์มบางที่บุออกไซด์ในขั้นตอนต่างๆจนกระทั่ง เป็นหัวตรวจวัดแก๊ส



รูปที่ 5.4 ระบบ electron beam evaporator ที่ใช้สร้างขั้วไฟฟ้า



รูปที่ 5.5 หลักการทำงานของ electron beam evaporation

ขณะทำการระเหยสาร เป้าจะมีอุณหภูมิสูงมากดังนั้นภายในเป้าจะมีการหล่อเย็นด้วยน้ำตลอดเวลา เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการระเหยของเป้าอันก่อให้เกิดความเสียหายต่อระบบและแผ่นฐานได้ ระหว่างเป้ากับแผ่นฐานจะพบว่ามีชัตเตอร์(shutter)คั่นอยู่ ซึ่งชัตเตอร์มีไว้สำหรับป้องกันไม่ให้สิ่งปนเปื้อนที่อาจระเหยออกมาพร้อมกับสารที่ต้องการระเหยไปเกาะบนผิวของแผ่นฐาน ในช่วงเวลาแรกหลังจากเริ่มปล่อยลำอิเล็กตรอน เมื่อผ่านช่วงดังกล่าวจึงจะเริ่มเปิดชัตเตอร์ เพื่อเริ่มเคลือบฟิล์มลงบนแผ่นฐานต่อไป ในการเคลือบฟิล์มแพลทินัมหรือ ทองคำ(Au) เพื่อใช้เป็นขั้วไฟฟ้าลงบนแผ่นฐานซึ่งมีความเร็วมาก จะต้องมีการเคลือบฟิล์มของ ไทเทเนียม(Ti) หรือ โครเมียม(Cr) ลงไปก่อนเพื่อทำหน้าที่เป็นชั้นสำหรับเชื่อมประสาน(adhesion layers) ให้แพลทินัมเกาะลงบนแผ่นฐานได้เป็นอย่างดี สำหรับในที่นี้จะใช้ไทเทเนียม เป็นชั้นเชื่อมประสานเคลือบลงบนแผ่นฟิล์มบางติบูกอกอกไซด์ก่อนการเคลือบแพลทินัม โดยมีเงื่อนไขในการเคลือบดังตารางที่ 5.1

เมื่อผ่านการเคลือบแพลทินัมแล้ว แผ่นฟิล์มบางติบูกอกอกไซด์จะถูกนำมาตัดแบ่งให้มีขนาดเท่าหัวตรวจวัดแก๊ส คือ 10mm x 10mm ดังรูปที่ 5.3 ในการตัดจะนำแผ่นฟิล์มบางติบูกอกอกไซด์มาวางบนกระดาษกราฟเพื่อใช้เป็นตัวกำหนดแนวการตัด เมื่อตัดเสร็จก็จะนำไปทำความสะอาด หัวตรวจวัดแก๊สที่ได้จะนำไปทดลองต่อไป

ตารางที่ 5.1 เงื่อนไขที่ใช้กับระบบ EB ในการเคลือบขั้วไฟฟ้า

เงื่อนไข	ไทเทเนียม	แพลทินัม
thickness (Å)	500	1000
back pressure (torr)	2×10^{-6}	5×10^{-6}
substrate temperature(°C)	20-25	20-25
deposition rate(Å/s)	0.0-1.3	0.5-1.2
rotation speed(r/min)	2	2
emission control	60	72
current emission(mA)	15-20	90-110
calibration parameter for thickness monitor:		
density(g/cm ³)	4.5	21.4
Z-ratio	0.628	0.245
tooling(%)	65	65

การหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสม

จากการทดลองในบทที่ 3 และ 4 หัวตรวจวัดแก๊ส TGS-822 และ NGSX-03 จะใช้ค่า V_{IN} เท่ากับ 15 v แต่ค่าดังกล่าวอาจไม่เหมาะสมสำหรับหัวตรวจวัดแก๊สที่ประดิษฐ์ขึ้นเอง ถึงแม้ว่าหัวตรวจวัดแก๊สจะสร้างขึ้นจากสารกึ่งตัวนำเช่นเดียวกัน แต่ลักษณะของหัวตรวจวัดแก๊สจะแตกต่างกัน คือหัวตรวจวัดแก๊สที่มีจำหน่ายจะมีลักษณะเป็นเซรามิก ส่วนหัวตรวจวัดแก๊สที่ประดิษฐ์ขึ้นเองจะเป็นแบบฟิล์มบาง Bott, Jones และ Mann(1984) ได้กล่าวถึงค่า V_{IN} ที่บ่อน้ำให้แก่หัวตรวจวัดแก๊สจากสารกึ่งตัวนำ ในลักษณะผลึกเดี่ยว (single crystal) ว่าควรมีค่าต่ำกว่า 0.25v โดยถ้ามีค่าสูงกว่า 1v จะทำให้หัวตรวจวัดแก๊สสูญเสียความเสถียร(stability) ซึ่ง Bott และคณะ ได้กล่าวว่าค่าแรงดันไฟฟ้าที่สูงกว่า 0.25v ไม่มีผลต่อสารกึ่งตัวนำแต่จะทำให้ทองคำที่ใช้เป็นขั้วไฟฟ้าอพยพ(migration) มาสู่สารกึ่งตัวนำ ส่วนหัวตรวจวัดแก๊สในลักษณะฟิล์มบางนั้น Oyabu(1982) ได้ใช้ค่า V_{IN} 5 v สำหรับศึกษาการตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊สจากสารกึ่งตัวนำในลักษณะฟิล์มบางที่ได้ประดิษฐ์ขึ้น

ในการทดลองจะใช้ค่า V_{IN} 1, 5, 10 และ 15v โดยใช้หัวตรวจวัดแก๊ส 3 ตัว(ซ้ำ)ต่อ V_{IN} หนึ่งค่า ดังตารางที่ 5.2 ซึ่งแสดงค่า R_S ของหัวตรวจวัดแก๊สที่ใช้ทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

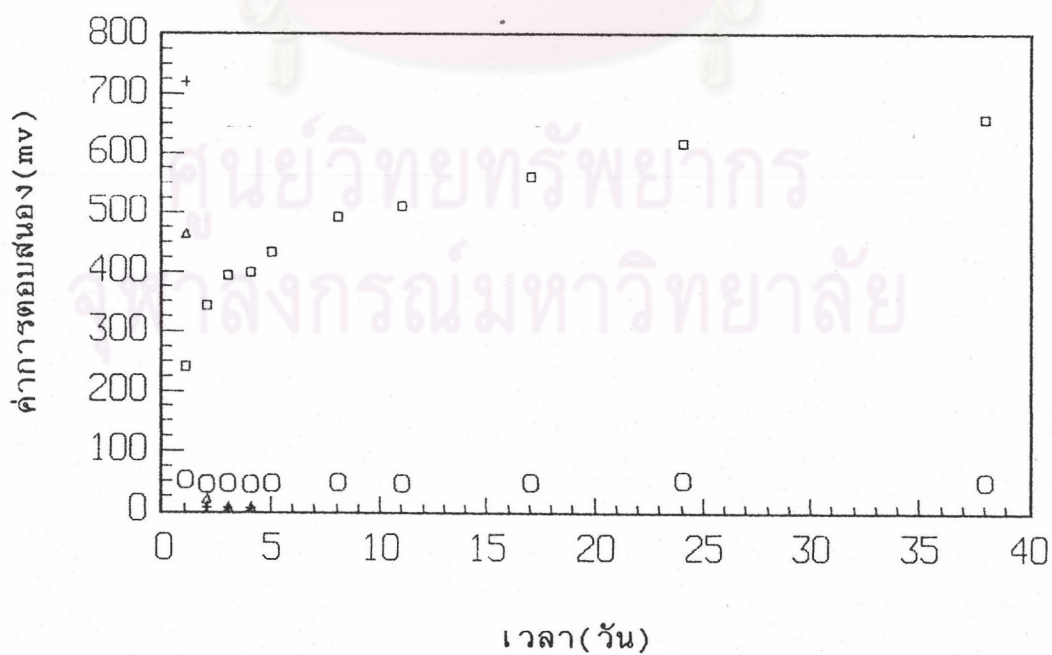
ตารางที่ 5.2 ค่าความต้านทานไฟฟ้าของหัวตรวจวัดแก๊ส(R_S)ที่ใช้ทดลองหาค่า V_{IN} ที่เหมาะสม

เลขที่หัวตรวจวัดแก๊ส	$V_{IN}(v)$	$R_S(\Omega)$
1	15	265
2	15	329
3	15	272
4	10	295
5	10	303
6	10	326
7	5	262
8	5	256
9	5	278
10	1	278
11	1	334
12	1	313

ค่า R_S ในตารางที่ 5.2 เป็นค่าที่วัดก่อนเริ่มการทดลอง เงื่อนไขของระบบที่ใช้ในการทดลอง แสดงในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 เงื่อนไขของระบบที่ใช้ในการทดลอง

$V_{IN}(v)$	1, 5, 10 และ 15
$V_H(v)$	70
$R(\Omega)$	200
ปริมาตรฟลว์เซลล์(ml)	7.6
แก๊สพาห้	อากาศอัด
อัตราการไหลของแก๊สพาห้(ml/min)	50
สารตัวอย่าง	ไอระเหยของเอทิลแอลกอฮอล์ไร้น้ำ
อุณหภูมิหัวฉีด($^{\circ}C$)	80 ± 5



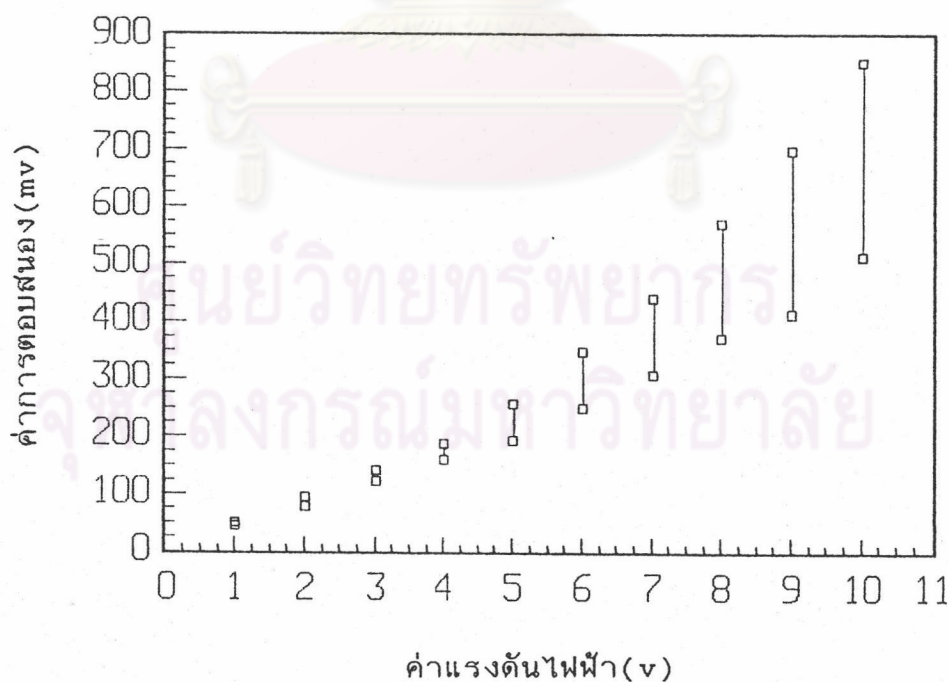
รูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างการตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊สที่ใช้ค่า V_{IN} เท่ากับ (o)1v, (□)5v, (Δ)10v และ (+)15v กับเวลา

ค่าการตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊สที่ใช้ V_{IN} แต่ละค่า ในรูปที่ 5.6 จะเป็นค่าเฉลี่ยจากหัวตรวจวัดแก๊สจำนวน 3 ตัว ค่าแกนนอนจะเป็นเวลา(วัน)โดยวันที่ 1 จะเป็นวันที่ตัดแผ่นฟิล์มบางดีบุกออกใช้ทำให้มีขนาดเท่ากับหัวตรวจวัดแก๊ส แล้วนำมาทดลองครั้งแรก และจะทดลองซ้ำในวันถัดไปตามที่ปรากฏบนแกนนอน จากผลการทดลองได้แสดงให้เห็นว่าการใช้ V_{IN} ที่มีค่าต่างกันจะทำให้หัวตรวจวัดแก๊สมีค่าการตอบสนองแตกต่างกัน โดยในวันแรก V_{IN} ที่มีค่าสูงกว่าจะทำให้หัวตรวจวัดแก๊สมีค่าการตอบสนองที่มากกว่า

จากการพิจารณาความสัมพันธ์ของค่าการตอบสนองเมื่อใช้ค่า V_{IN} 10v และ 15v ทดลองหัวตรวจวัดแก๊สในวันแรก พบว่าหัวตรวจวัดแก๊ส จะให้ค่าเฉลี่ยการตอบสนองที่สูงถึง 467mv และ 698mv ตามลำดับ แต่เมื่อทดลองซ้ำในวันที่สอง ปรากฏว่าเมื่อใช้ค่า V_{IN} 10v จะให้ค่าเฉลี่ยการตอบสนองเพียง 42mv และเมื่อใช้ค่า V_{IN} 15v จะมีค่าเฉลี่ยการตอบสนองเพียง 8mv และได้ทำการทดลองในลักษณะเดียวกันในวันที่สามและวันที่สี่ ก็จะทำให้การตอบสนองที่ใกล้เคียงกับในวันที่สอง จนกระทั่งถึงวันที่ห้าได้วัดค่าความต้านทานไฟฟ้าของหัวตรวจวัดแก๊สทุกตัวที่ใช้ค่า V_{IN} 10v และ 15v ปรากฏว่าหัวตรวจวัดแก๊สทุกตัวมีค่าความต้านทานไฟฟ้าสูงกว่า 20M Ω ในขณะที่วันแรกมีค่าความต้านทานไฟฟ้าโดยเฉลี่ยเพียง 298 Ω เมื่อนำหัวตรวจวัดแก๊สเหล่านี้มาทดลองปรากฏว่าไม่สามารถบันทึกค่าการตอบสนองได้ ดังนั้นนับตั้งแต่วันที่ห้าจึงไม่ทำการทดลองหัวตรวจวัดแก๊สที่ใช้ค่า V_{IN} 10v และ 15v จนกระทั่งถึงวันที่สามสิบแปดได้นำหัวตรวจวัดแก๊สเหล่านี้มาวัดค่าความต้านทานไฟฟ้าอีก ปรากฏว่าหัวตรวจวัดแก๊สทุกตัวยังคงมีค่าความต้านทานไฟฟ้าที่สูงกว่า 20M Ω จึงไม่ได้ทำการทดลองซ้ำอีก

ส่วนหัวตรวจวัดแก๊สที่ใช้ค่า V_{IN} 5v เมื่อพิจารณาตั้งแต่วันที่แรกของการทดลองจนกระทั่งถึงวันที่สามสิบแปด พบว่าค่าเฉลี่ยการตอบสนองมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นโดยตลอด โดยค่าเฉลี่ยการตอบสนองในวันที่หนึ่งจะมีความแตกต่างกับค่าเฉลี่ยการตอบสนองในวันที่สามสิบแปดถึง 417mv และคาดว่าถ้าทำการทดลองต่อไป อาจจะได้ค่าการตอบสนองที่เพิ่มขึ้นกว่าเดิม สำหรับหัวตรวจวัดแก๊สที่ใช้ค่า V_{IN} 1v จะพบว่ามีแนวโน้มการตอบสนองค่อนข้างคงที่ตลอดช่วงเวลาสามสิบแปดวัน แต่มีค่าเฉลี่ยการตอบสนองเพียง 48mv

ผลการทดลองจากรูปที่ 5.6 พอจะสรุปได้ดังนี้ เมื่อใช้ค่า V_{IN} 10v และ 15v จะทำให้หัวตรวจวัดแก๊สมีการตอบสนองที่สูงมาก แต่จะทำให้หัวตรวจวัดแก๊สมีความเสถียรลดลงอย่างชัดเจน แต่เมื่อใช้ค่า V_{IN} 1v จะทำให้หัวตรวจวัดแก๊สมีการตอบสนองที่ต่ำมากแต่จะมีความเสถียรมากที่สุด ส่วนค่า V_{IN} 5v จะค่อยๆ มีการตอบสนองที่สูงขึ้นเมื่อเวลาผ่านไปซึ่งแสดงให้เห็นว่ามีแนวโน้มเข้าสู่จุดคงที่ ดังนั้นค่า V_{IN} ที่เหมาะสมอาจมีค่ามากกว่า 1v แต่ไม่ควรถึง 5v ดังจะได้ทดลองเพิ่มเติมโดยนำหัวตรวจวัดแก๊สมาอีก 6 ตัวมาทำการทดลองที่ใช้เงื่อนไขของระบบเช่นเดียวกับตารางที่ 5.3 แต่ในการทดลองจะเพิ่มค่า V_{IN} ครั้งละ 1v ตั้งแต่ 1 ถึง 10v ให้แก่หัวตรวจวัดแก๊สทุกตัว เพื่อนำค่าการตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊สทั้ง 6 ตัวที่ V_{IN} ต่างๆ มาคำนวณหาค่า C.V. ผลการทดลองที่ได้แสดงในรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 ช่วงของค่าการตอบสนองจากหัวตรวจวัดแก๊สทั้ง 6 ตัวที่ใช้ค่า V_{IN} ตั้งแต่ 1 ถึง 10v

ค่าการตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊สทั้งหมด ที่ V_{IN} ต่างๆ จากรูปที่ 5.7 จะนำมาใช้คำนวณหาค่า C.V. ดังในตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 ค่าเฉลี่ย(\bar{X}), ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน(S.D.) และค่า C.V. ในการตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊สที่ V_{IN} ต่างๆ

V_{IN}	\bar{X} (mv)	S.D. (mv)	C.V. (%)
1	42.5	2.2	5.1
2	81.9	5.5	6.7
3	126.8	8.1	6.4
4	173.7	12.4	7.1
5	225.1	24.7	11.0
6	290.8	41.1	14.1
7	364.7	57.3	15.7
8	457.6	85.2	18.6
9	556.8	120.8	21.7
10	725.4	148.3	20.4

จากตารางที่ 5.4 เมื่อ V_{IN} เพิ่มขึ้น ค่า C.V. จะมีแนวโน้มสูงขึ้น ค่า C.V. ที่สูงจะแสดงให้เห็นว่า หัวตรวจวัดแก๊สที่ทำการทดลองทั้งหมดมีค่าการตอบสนองแตกต่างกันมาก ซึ่งความแตกต่างในการตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊สทั้งหมดที่นำมาทดลองกับ V_{IN} ต่างๆ จะมีความสัมพันธ์กับความเสถียร กล่าวคือ ถ้า V_{IN} ค่าใดทำให้หัวตรวจวัดแก๊สทั้งหมดมีการตอบสนองใกล้เคียงกันกว่า V_{IN} ค่าอื่น แสดงว่า V_{IN} ค่านั้นมีแนวโน้มทำให้หัวตรวจวัดแก๊สมีความเสถียรมากกว่า

ในการพิจารณาสำหรับการเลือก V_{IN} ที่เหมาะสมนั้นจะพิจารณาเฉพาะค่า C.V. เมื่อใช้ V_{IN} 2, 3 และ 4v เท่านั้น เนื่องจากผลการทดลองในรูปที่ 5.7 พบว่าการใช้ V_{IN} ที่ 1v หัวตรวจวัดแก๊สจะมีการตอบสนองต่ำเพียง 42mv แต่จะให้ความเสถียรได้ดี ในขณะที่ใช้ค่า V_{IN} ที่ 5v หัวตรวจวัดแก๊สจะมีการตอบสนองสูงกว่าถึง 3เท่า แต่จะขาดความเสถียร ดังนั้นจึงคาดว่าค่า V_{IN} ที่เหมาะสมจึงมีโอกาสน้อยอยู่ระหว่าง 1v ถึง 5v

เมื่อพิจารณาค่า C.V. จาก V_{IN} ที่ 2, 3 และ 4v ในตารางที่ 5.4 จะพบว่าที่ V_{IN} 4v จะให้ค่าเฉลี่ยในการตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊สทั้งหมดสูงที่สุด คือ 173.7mv โดยมีค่า C.V. สูงสุดเช่นกันคือ 7.1 ในขณะที่ V_{IN} 3v จะมีค่าเฉลี่ยของการตอบสนองที่ต่ำกว่าคือ 126.8mv แต่มีค่า C.V. เพียง 6.4 ส่วนที่ค่า V_{IN} 2v จะมีค่าเฉลี่ยของการตอบสนองต่ำที่สุดคือ 81.9mv และมีค่า C.V. 6.7 ซึ่งสูงกว่าค่า C.V. ที่ V_{IN} 3v ดังนั้นถ้าพิจารณาค่าการตอบสนองร่วมกับค่า C.V. จะพบว่าค่า V_{IN} ที่ 3v จะให้ความเหมาะสมต่อการตอบสนองและความเสถียร ได้ดีกว่าค่า V_{IN} ที่ 2 และ 4v ซึ่งในการพิจารณาครั้งนี้ จะให้ความสำคัญกับค่า C.V. มากกว่าค่าการตอบสนอง เนื่องจากมีวิธีการบางอย่างที่สามารถปรับปรุงค่าการตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊สได้ ดังจะนำมาใช้ในบทต่อไป

การทดลองหัวตรวจวัดแก๊สเพื่อหาลักษณะสมบัติพื้นฐานบางประการ

ค่า V_{IN} 3v ที่ได้จากการทดลองข้างต้น จะใช้สำหรับทดลองหัวตรวจวัดแก๊สเพื่อหาลักษณะสมบัติพื้นฐานบางประการของหัวตรวจวัดแก๊ส ได้แก่ ความไว, ความจำเพาะ, เวลาตอบสนอง และเวลาฟื้นตัว เมื่อหัวตรวจวัดแก๊สมีอุณหภูมิตั้งแต่ 200°C โดยเพิ่มอุณหภูมิขึ้นครั้งละ 50°C จนกระทั่งถึง 530°C

หัวตรวจวัดแก๊สที่นำมาทดลองทุกตัวจะถูกวัดค่าความต้านทานไฟฟ้า ขณะติดตั้งในโพลีเซลล์ ที่อุณหภูมิห้อง (26°C ถึง 30°C) ก่อนเริ่มไบอัสแรงดัน ซึ่งค่าที่วัดได้แสดงในตารางที่ 5.5 สำหรับเงื่อนไขของระบบในการทดลองแสดงในตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.5 ค่าความต้านทานไฟฟ้าของหัวตรวจวัดแก๊ส(R_G)ที่ติดตั้งในโพลีเซลล์ก่อนเริ่มการทดลอง

หัวตรวจวัดแก๊สตัวที่	ค่าความต้านทานไฟฟ้า(Ω)
1	292
2	315
3	286

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.6 เงื่อนไขของระบบสำหรับการทดลองหัตถตรวจวัดแก๊ส

V_{IN} (v)	3
V_H (v)	ตั้งแต่ 30.5 ถึง 100 ซึ่งทำให้หัตถตรวจวัดแก๊สมีอุณหภูมิในช่วง 200°C ถึง 530°C
R (Ω)	200
ปริมาตรรีฟิวเซลล์ (ml)	7.6
แก๊สพาน์	อากาศ
อัตราการไหลของแก๊สพาน์ (ml/min)	50
สารตัวอย่าง	1. น้ำบริสุทธิ์ 2. สารละลายเอทิลแอลกอฮอล์ 0.1, 1, 10 และ 100%v/v 3. สารละลายแอมโมเนีย 10 %v/v 4. สารละลายอะซีตัลดีไฮด์ 10 %v/v
ปริมาตรสารตัวอย่างที่ฉีดเข้าระบบ (μl)	1
อุณหภูมิหัวฉีด ($^{\circ}\text{C}$)	100

ผลการทดลองของหัตถตรวจวัดแก๊สทุกตัว ที่อุณหภูมิตั้งแต่ 200°C ถึง 530°C จะถูกบันทึกลงบนกระดาษกราฟด้วยเครื่องบันทึกข้อมูลยี่ห้อ GRAPHTEC รุ่น WX2400 ผลการทดลองที่ได้ จะนำมาเป็นข้อมูลสำหรับการพิจารณาลักษณะสมบัติดังนี้

1. ความไว

ผลการตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊ส ที่มีต่อสารตัวอย่างในตารางที่ 5.5 จะถูกนำมาใช้ในการพิจารณาความไว ค่าการตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊สซึ่งใช้สำหรับพิจารณาความไวหาได้จาก

$$\Delta V_R = V_{RP} - V_{RB}$$

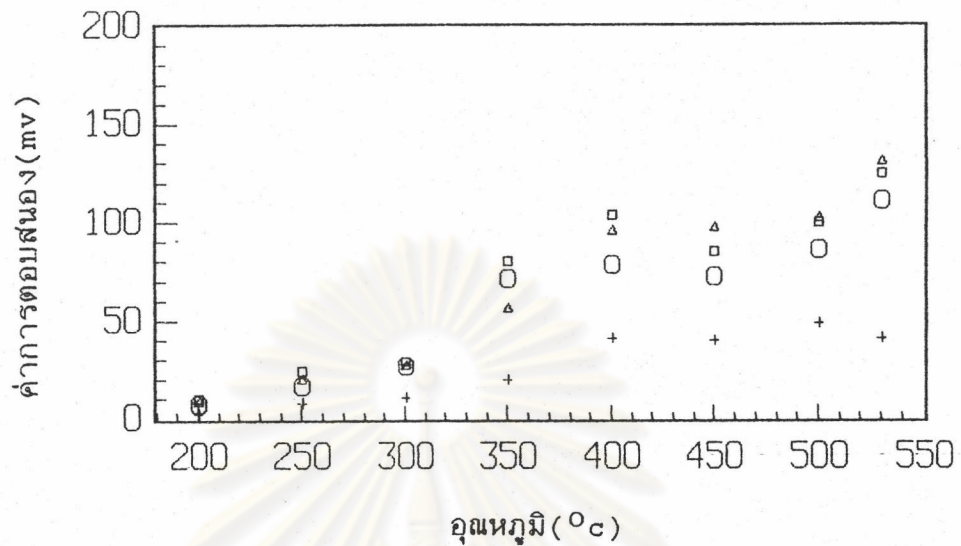
เมื่อ ΔV_R คือ ความไว

V_{RP} คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าสูงสุดที่ได้จากการตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊สหลังจากฉีดสารตัวอย่างเข้าสู่ระบบ

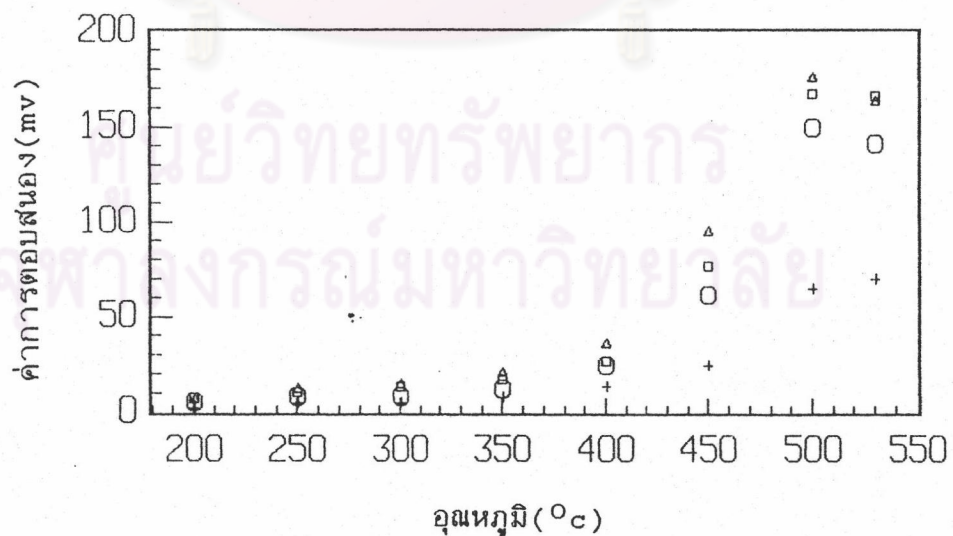
V_{RB} คือ ค่าแรงดันไฟฟ้าพื้นหลัง

จากผลการทดลองในรูปที่ 5.8ก ถึง รูปที่ 5.8ค พบว่าหัวตรวจวัดแก๊สทั้งสามมีแนวโน้มการตอบสนองต่อสารตัวอย่างทุกชนิดเพิ่มขึ้น เมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 200°C จนถึง 530°C ลักษณะเช่นนี้จะสอดคล้องกับแบบจำลองที่ได้กล่าวในบทที่ 2 คือ เมื่อพิจารณาสมการที่ [2.6] อันเป็นปฏิกิริยาที่ทำให้หัวตรวจวัดแก๊สเกิดการตอบสนองต่อแก๊สรีดิวส์ ซึ่งปฏิกิริยานี้จะเป็นปฏิกิริยาดูดความร้อน ดังนั้นการเพิ่มอุณหภูมิของหัวตรวจวัดแก๊สจึงทำให้ปฏิกิริยานี้ดำเนินไปได้ดียิ่งขึ้น หัวตรวจวัดแก๊สจึงมีการตอบสนองเพิ่มขึ้น

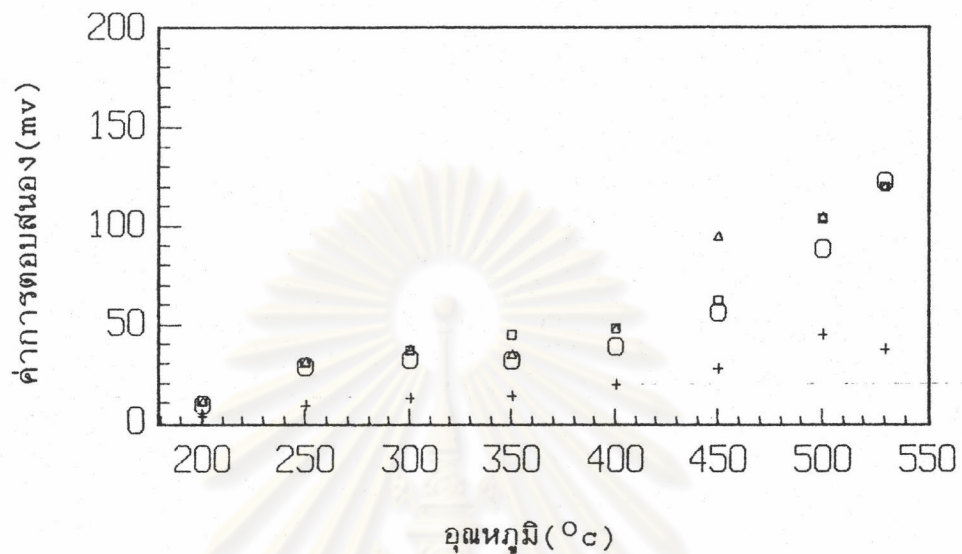
จากผลการทดลองได้แสดงให้เห็นว่า หัวตรวจวัดแก๊สมีการตอบสนองต่อ เอทิลแอลกอฮอล์ 10%v/v, แอมโมเนีย 10%v/v และ อะซิโตน 10%v/v สูงกว่า น้ำ ซึ่งลักษณะเช่นนี้แสดงให้เห็นว่า สารตัวอย่างทั้งสามจะให้อิเล็กตรอนแก่หัวตรวจวัดแก๊สได้ดีกว่าน้ำ หรือกล่าวได้ว่า สารตัวอย่างทั้งสามเป็นตัวรีดิวส์ที่ดีกว่าน้ำ



รูปที่ 5.8ก การตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊สดำที่ 1 ซึ่งมีต่อ (+)น้ำ , (o)เอทิลแอลกอฮอล์10%v/v, (□)แอมโมเนีย10%v/v และ (Δ)อะซิโตนดีไฮด์10%v/v



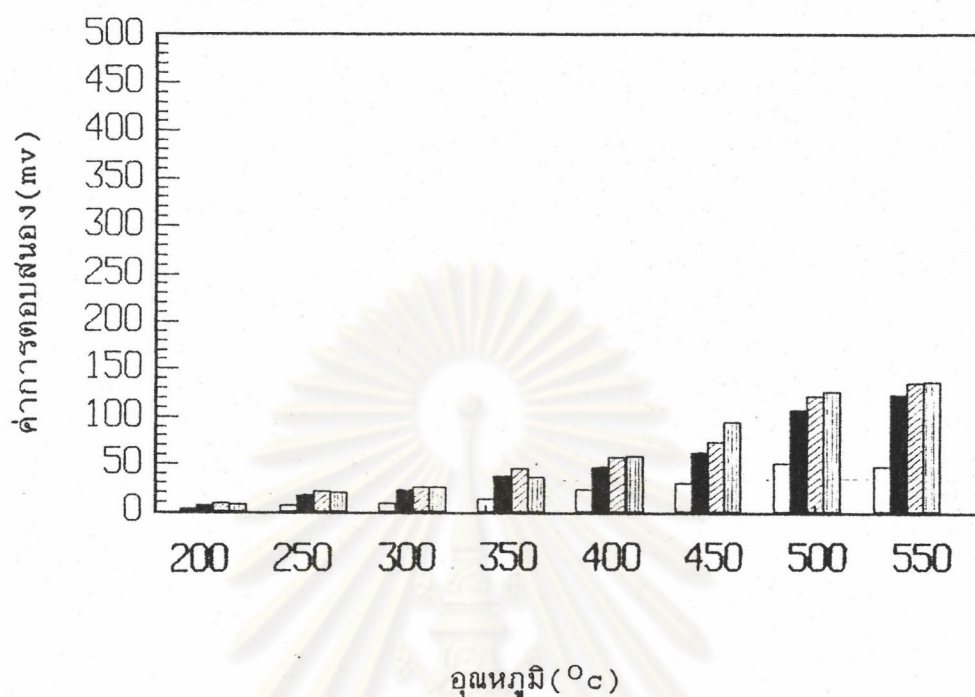
รูปที่ 5.8ข การตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊สดำที่ 2 ซึ่งมีต่อ (+)น้ำ , (o)เอทิลแอลกอฮอล์10%v/v, (□)แอมโมเนีย10%v/v และ (Δ)อะซิโตนดีไฮด์10%v/v



รูปที่ 5.8ค การตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊สดัวที่ 3 ซึ่งมีต่อ (+)น้ำ , (o)เอทิลแอลกอฮอล์10%v/v, (□)แอมโมเนีย10%v/v และ (Δ)อะซิโตน10%v/v

2. ความจำเพาะ

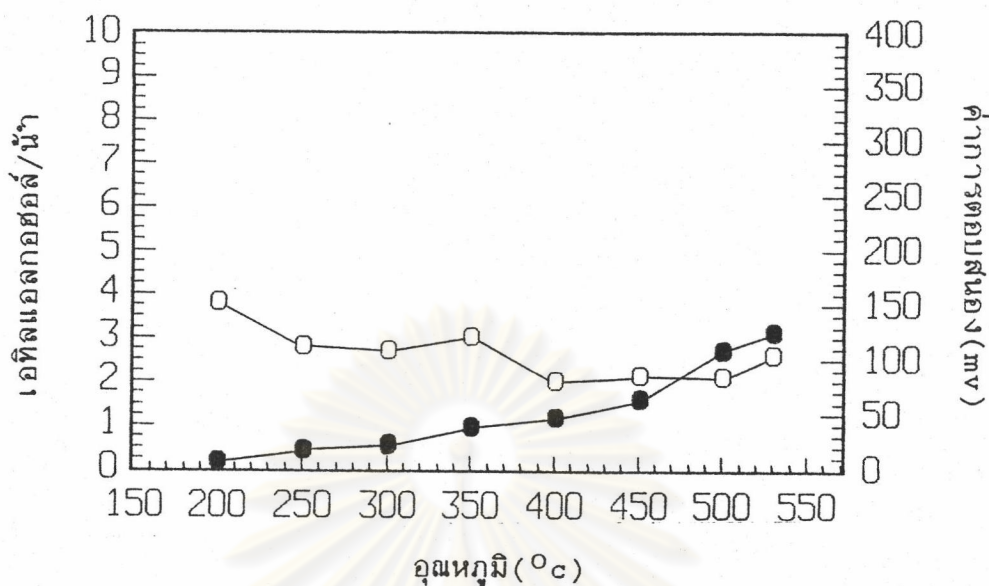
ผลการตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊สที่มีต่อสารตัวอย่าง 4 ชนิด ได้แก่ น้ำ, เอทิลแอลกอฮอล์, แอมโมเนีย และอะซิโตน 10% จะถูกนำมาเปรียบเทียบเพื่อการพิจารณาความจำเพาะดังรูปที่ 5.9 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยการตอบสนองจากหัวตรวจวัดแก๊ส 3 ตัว ที่มีต่อสารตัวอย่างทั้งสิ้น



รูปที่ 5.9 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยการตอบสนองจากหัวตรวจวัดแก๊ส 3 ตัวที่มีต่อ (□) น้ำ, (■) เอทิลแอลกอฮอล์ 10%v/v , (▨) แอมโมเนีย 10%v/v และ (▩) อะซิติกแอซิด 10%v/v

จากรูปที่ 5.9 ซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยการตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊ส 3 ตัว ได้แสดงให้เห็นว่าเมื่อหัวตรวจวัดแก๊สมีอุณหภูมิสูงขึ้น การตอบสนองต่อสารตัวอย่างทุกชนิดจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น โดยสารตัวอย่าง 3 ชนิด ได้แก่ เอทิลแอลกอฮอล์, แอมโมเนีย และอะซิติกแอซิด จะมีการตอบสนองที่เพิ่มขึ้นมากกว่าน้ำ โดยเฉพาะที่อุณหภูมิตั้งแต่ 450°C ขึ้นไป จะได้ค่าการตอบสนองต่อสารตัวอย่างทั้งสาม ที่สูงกว่าน้ำอย่างเด่นชัด

ในการหมักแอลกอฮอล์จะมีอะซิติกแอซิดเป็นผลผลิตไม่เกิน 0.03% (วารวุฒิ ครุสง, 2529) และมีปริมาณแอมโมเนียตามแต่ชนิดของสูตรอาหาร ซึ่งโดยทั่วไปจะมีไม่เกิน 0.1% จึงทำให้การตรวจวัดเอทิลแอลกอฮอล์มีน้ำเป็นตัวรบกวนที่สำคัญ ดังนั้นจึงได้ใช้ค่าอัตราส่วนระหว่างการตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊สที่มีต่อเอทิลแอลกอฮอล์ 10%v/v กับน้ำ (เอทิลแอลกอฮอล์/น้ำ) สำหรับเป็นตัวเปรียบเทียบความจำเพาะของหัวตรวจวัดแก๊ส ที่มีต่อการตรวจวัดเอทิลแอลกอฮอล์ที่มีน้ำเจือปน ดังรูปที่ 5.10

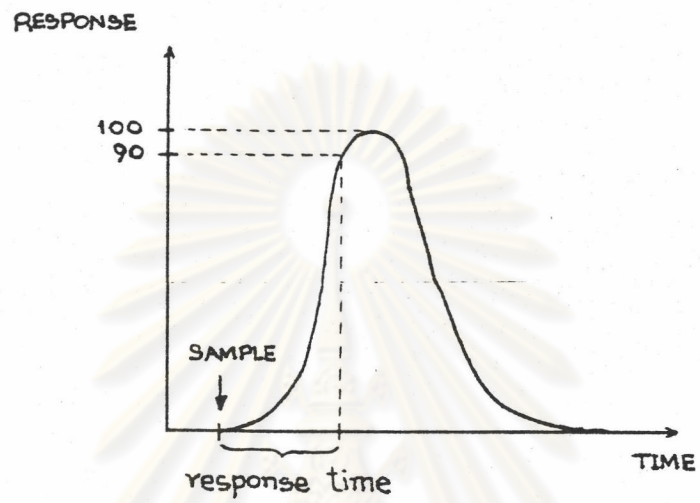


รูปที่ 5.10 (○)ค่าเฉลี่ยอัตราส่วน เอทิลแอลกอฮอล์/น้ำ และ (●)ค่าเฉลี่ยการตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊สที่มีต่อ เอทิลแอลกอฮอล์ 10%v/v

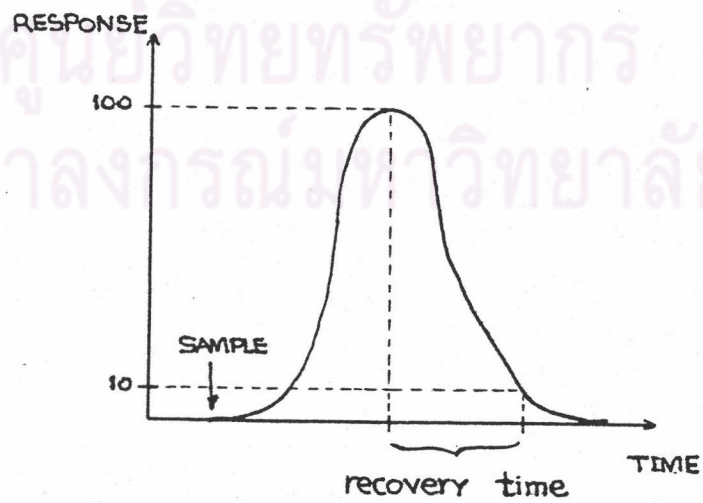
จากรูปที่ 5.10 ถ้าอัตราส่วนดังกล่าวมีค่ามาก จะแสดงให้เห็นว่าหัวตรวจวัดแก๊สมีการตอบสนองต่อเอทิลแอลกอฮอล์ได้ดีกว่าน้ำ ทั้งนี้ต้องพิจารณาค่าความไวในการตอบสนองควบคู่ไปด้วย ดังเช่นค่าอัตราส่วน เอทิลแอลกอฮอล์/น้ำ ที่อุณหภูมิ 200°C จากหัวตรวจวัดแก๊สเลขที่ 3 มีค่า 3.9 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหัวตรวจวัดแก๊สมีการตอบสนองต่อเอทิลแอลกอฮอล์ 10%v/v สูงกว่าน้ำ 3.9 เท่า แต่เมื่อย้อนกลับไปพิจารณาค่าความไวในการตอบสนอง จะพบว่าหัวตรวจวัดแก๊สดังกล่าวมีการตอบสนองต่อเอทิลแอลกอฮอล์ 10%v/v และน้ำ เพียง 5.9mV และ 1.56mV ตามลำดับ ซึ่งถือเป็นค่าที่ต่ำมาก

3. เวลาตอบสนองและเวลาฟื้นตัว

เวลาตอบสนองเป็นช่วงเวลาตั้งแต่ แก๊สที่จะตรวจวัดเริ่มทำให้หัวตรวจวัดแก๊สมีการตอบสนอง จนกระทั่งมีค่าการตอบสนองที่ 90% ของการตอบสนองสูงสุด รูปแบบการวัดค่าเวลาตอบสนองแสดงในรูปที่ 5.11 ส่วนเวลาฟื้นตัวจะเป็นช่วงเวลาตั้งแต่หัวตรวจวัดแก๊สมีการตอบสนองสูงที่สุด จนกระทั่งถึงจุดที่มีค่าการตอบสนองต่ำกว่าจุดสูงสุด 90% รูปแบบการวัดค่าเวลาฟื้นตัวแสดงในรูปที่ 5.12



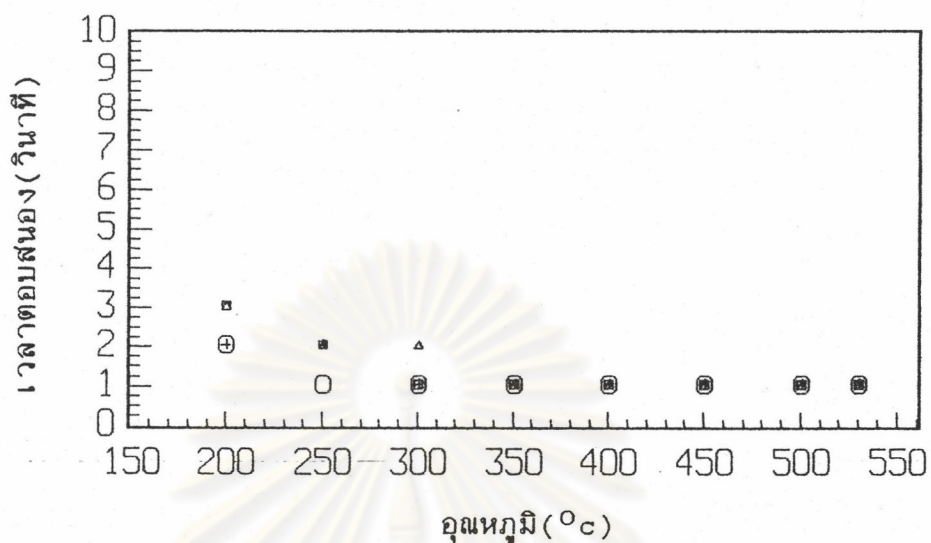
รูปที่ 5.11 การวัดค่าเวลาตอบสนอง



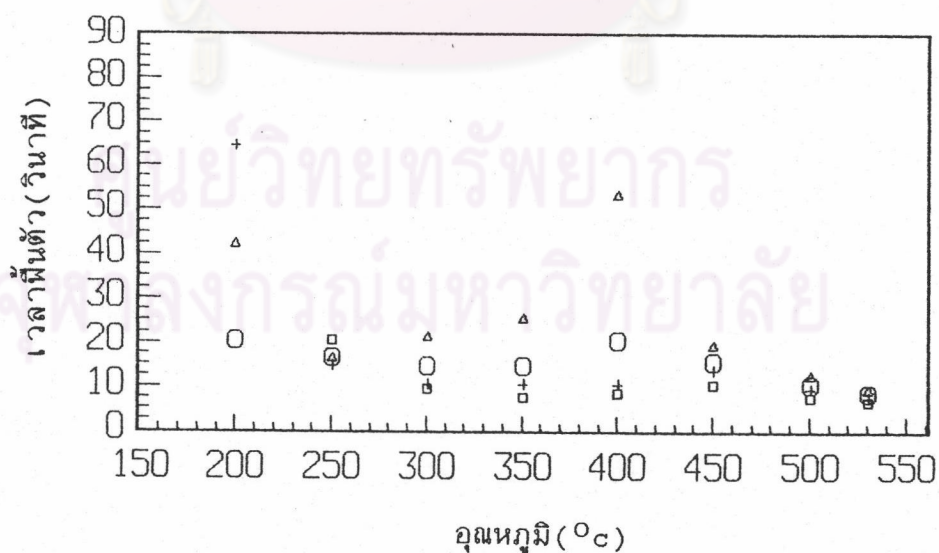
รูปที่ 5.12 การวัดค่าเวลาฟื้นตัว

จากค่าเฉลี่ยเวลาตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊สที่ได้จากการตรวจวัด สารตัว
 อย่างทั้งสี่ชนิดดังรูปที่ 5.13 พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เวลาตอบสนองจะมีแนวโน้มลดต่ำลง
 โดยเวลาตอบสนองในการตรวจวัดสารตัวอย่างทั้งสี่ชนิดของหัวตรวจวัดแก๊สจะมีค่าใกล้เคียง
 กัน เมื่อพิจารณาตลอดช่วงอุณหภูมิที่ทำการทดลอง พบว่าค่าเวลาตอบสนองจะสูงที่สุดใน
 อุณหภูมิ 200°C คือมีค่าเท่ากับ 3 วินาที ซึ่งถือเป็นค่าที่ต่ำมาก ดังนั้นจึงแสดงให้เห็นว่าหัว
 ตรวจวัดแก๊สที่ประดิษฐ์ขึ้นมีการตอบสนองที่รวดเร็ว

จากค่าเฉลี่ยเวลาพื้นตัวของหัวตรวจวัดแก๊ส ที่ได้จากการตรวจวัดสารตัวอย่างทั้ง
 สี่ชนิดดังรูปที่ 5.14 พบว่าเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น เวลาพื้นตัวจะมีแนวโน้มลดต่ำลง ซึ่งลักษณะเช่นนี้
 สามารถอธิบายได้ด้วยสมการ[2.7] จากในบทที่ 2 ถ้าปฏิกิริยาในสมการ[2.7]สามารถ
 ดำเนินไปได้ดี จะเป็นผลให้ผิวของหัวตรวจวัดแก๊สมี adsorption site สำหรับออกซิเจน
 เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ออกซิเจนในแก๊สพม่าจะมาเกาะบน adsorption site ทำให้หัว
 ตรวจวัดแก๊สมีความต้านทานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงจุดคงที่ ซึ่งถือว่าเป็นจุดที่หัวตรวจวัด
 แก๊สมีค่าความต้านทานไฟฟ้าพื้นหลัง ดังนั้นอาจมองค่าเวลาพื้นตัวได้ในอีกลักษณะคือ เป็นค่า
 เวลาที่หัวตรวจวัดแก๊สใช้ในการเปลี่ยนแปลงความต้านทานไฟฟ้า ให้มีค่าเข้าสู่ค่าความต้าน
 ทานไฟฟ้าพื้นหลัง เมื่อพิจารณาปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นในสมการ[2.7] จะพบว่าเป็นปฏิกิริยาดูด
 ความร้อน ดังนั้นถ้าหัวตรวจวัดแก๊สมีอุณหภูมิสูงขึ้น จะเป็นผลให้ปฏิกิริยาดำเนินไปได้ดี
 adsorption site ของออกซิเจนจะเกิดขึ้นได้มาก ทำให้หัวตรวจวัดแก๊สมีค่าความต้าน
 ทานไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเพื่อเข้าสู่ค่าความต้านทานไฟฟ้าพื้นหลังได้เร็วขึ้น หัวตรวจวัด
 แก๊สจึงมีค่าเวลาพื้นตัวที่ลดลง



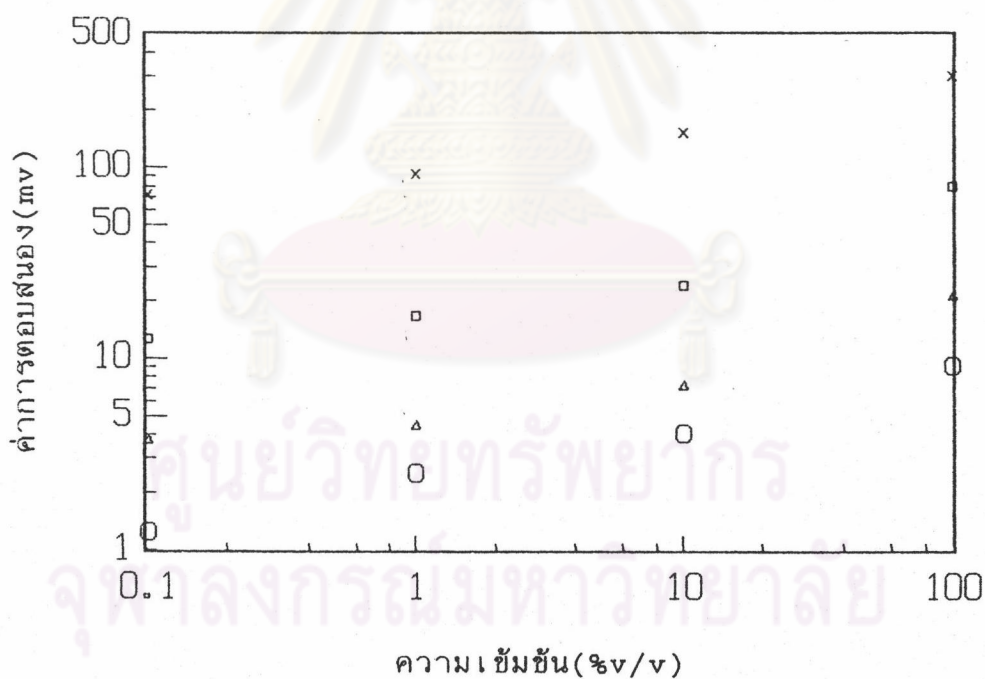
รูปที่ 5.13 ค่าเฉลี่ยเวลาตอบสนองของหัวตรวจวัดแก๊สจากการตรวจวัด (+)น้ำ , (o) เอทิลแอลกอฮอล์10%v/v, (□)แอมโมเนีย10%v/v และ (Δ)อะซิติกแอซิด 10%v/v



รูปที่ 5.14 ค่าเฉลี่ยเวลาพื้นตัวของหัวตรวจวัดแก๊สจากการตรวจวัด (+)น้ำ, (o)เอทิลแอลกอฮอล์10%v/v, (□)แอมโมเนีย10%v/vและ (Δ)อะซิติกแอซิด10%v/v

4. ช่วงการตรวจวัด

จากการทดลองตรวจวัดเอทิลแอลกอฮอล์ ที่มีความเข้มข้น 0.1%v/v, 1%v/v, 10%v/v และ 100%v/v ในช่วงอุณหภูมิ 200^oc ถึง 530^oc พบว่าหัวตรวจวัดแก๊ส มีการตอบสนองเพิ่มขึ้นเมื่อเอทิลแอลกอฮอล์มีความเข้มข้นสูงขึ้นดังรูปที่ 5.15 เนื่องจากความเข้มข้นของเอทิลแอลกอฮอล์ที่ใช้ทดลองมีเพียง 4 ค่า ดังนั้นรูปที่ 5.15 จึงเป็นเพียงการแสดงให้เห็นพอสังเขปว่า หัวตรวจวัดแก๊สมีการตอบสนองเพิ่มขึ้นเมื่อเอทิลแอลกอฮอล์มีความเข้มข้นสูงขึ้น และเมื่อพิจารณาลักษณะความชันของเส้นตรงที่อุณหภูมิทั้ง 4 ค่าจะพบว่าอุณหภูมิต่ำไม่มีผลต่อความชันมากนัก ดังจะเห็นได้จากเส้นตรงทั้ง 4 มีลักษณะความชันที่ใกล้เคียงกัน อย่างไรก็ตาม เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นจะทำให้ได้ขนาดการตอบสนองของสัญญาณที่สูงขึ้น



รูปที่ 5.15 กราฟมาตรฐานของเอทิลแอลกอฮอล์ในช่วงความเข้มข้น 0.1 ถึง 100%v/v ที่อุณหภูมิ (o)200^oc, (Δ)300^oc, (□)400^oc และ (x)500^oc

สรุป

1. ได้ทำการประดิษฐ์หัวตรวจวัดแก๊สที่มีขนาด $10\text{mm} \times 10\text{mm}$ จากแผ่นฟิล์มบาง ดีบุกออกไซด์หนา 500\AA ที่มีขั้วไฟฟ้าแพลทินัมความหนา 1000\AA
2. จากการนำหัวตรวจวัดแก๊สที่ประดิษฐ์ขึ้น มาทดลองเพื่อหาค่าแรงดันไฟฟ้าที่เหมาะสม จึงได้เลือกค่าแรงดันไฟฟ้า 3v เป็นค่า V_{IN} สำหรับการทดลองหัวตรวจวัดแก๊ส
3. จากการทดลองหาลักษณะสมบัติพื้นฐานของหัวตรวจวัดแก๊สที่ประดิษฐ์ขึ้น ด้วยการทดลองตรวจวัด เอทิลแอลกอฮอล์ $10\%v/v$, แอมโมเนีย $10\%v/v$, อะซิโตนดีไฮด์ $10\%v/v$ และน้ำ พบว่าเมื่อหัวตรวจวัดแก๊สมีอุณหภูมิสูงขึ้น จะทำให้มีการตอบสนองต่อสารตัวอย่างทั้งหมดเพิ่มขึ้น
4. ในการพิจารณาความจำเพาะของหัวตรวจวัดแก๊ส ได้ให้ความสำคัญในการเปรียบเทียบการตอบสนองระหว่างเอทิลแอลกอฮอล์ และ น้ำ ทั้งนี้จะพิจารณาค่าการตอบสนองควบคู่ไปด้วย จากการทดลองพบว่าที่อุณหภูมิ 200°C จะให้ค่าอัตราส่วนการตอบสนองระหว่างสารตัวอย่างทั้งสองที่สูงที่สุด คือ 3.8 แต่เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยการตอบสนองจะเห็นว่า มีค่าเพียง 5.9mv สำหรับเอทิลแอลกอฮอล์ $10\%v/v$ และ 1.6mv สำหรับน้ำ
5. สำหรับเวลาการตอบสนองและเวลาฟื้นตัวพบว่าเมื่อหัวตรวจวัดแก๊สมีอุณหภูมิสูงขึ้นค่าเวลาตอบสนองและค่าเวลานั้นตัวมีแนวโน้มลดต่ำลง
6. จากการนำเอทิลแอลกอฮอล์ที่มีความเข้มข้น 4 ค่าคือ $0.1\%v/v$, $1\%v/v$, $10\%v/v$ และ $100\%v/v$ มาทดลองกับหัวตรวจวัดแก๊สพบว่าหัวตรวจวัดแก๊สมีการตอบสนองเพิ่มขึ้นเมื่อเอทิลแอลกอฮอล์มีความเข้มข้นสูงขึ้น แต่ลักษณะความชันของกราฟมาตรฐานที่ได้ยังมีไม่มากนัก ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหัวตรวจวัดแก๊สมีความไวไม่สูงมากนัก

จากการทดลองหัวตรวจวัดแก๊สที่ประดิษฐ์ขึ้นในแบบนี้ ได้พบว่ามีลักษณะสมบัติพื้นฐานที่จำเป็นต้องมีการปรับปรุงได้แก่ ความไว และความจำเพาะ โดยจะปรับปรุงให้หัวตรวจวัดแก๊สมีค่าการตอบสนอง และ ค่าอัตราส่วน เอทิลแอลกอฮอล์/น้ำ ที่สูงกว่าเดิมยิ่งขึ้น ดังจะได้กระทำในบทต่อไป