

สารบัญ

	หน้า
คำขอบคุณ	ค
บทคัดย่อ	ง
Abstract	จ
รายการตารางประกอบ	ช.
รายการรูปประกอบ	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎี	4
2.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับการระเหยสารในสุญญากาศ	4
2.2 โครงสร้างผลึกแบบซาลโคไฟไรต์	12
2.3 ทฤษฎีแถบพลังงานของช่องแฉิ่ง	14
2.4 สมบัติทางไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำ	18
บทที่ 3 การสร้างอุปกรณ์	21
3.1 การวางตำแหน่งอุปกรณ์ภายในกรอบแก้ว	21
3.2 ระบบควบคุมการระเหยสาร 3 จุดโดยคอมพิวเตอร์	26
3.3 โปรแกรมควบคุมระบบการระเหยสาร	33
3.4 การควบคุมอุณหภูมิบนแผ่นรองรับ	35
3.5 หม้อแปลงที่ใช้ในการระเหยสาร	38
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	40
4.1 การเตรียมอุปกรณ์ทำแผ่นฟิล์ม	40
4.2 การเตรียมแผ่นฟิล์ม	43
4.3 การทดสอบระบบควบคุมการระเหยสาร 3 จุดโดยคอมพิวเตอร์	46
4.4 การทดสอบโครงสร้างผลึกของแผ่นฟิล์ม CuInSe_2	65
4.5 การแอนเนิลแผ่นฟิล์ม	70
4.6 การวัดค่าความต้านทานในช่วงต่ำกว่าอุณหภูมิแอนเนิล	75
4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานและอุณหภูมิ	78
4.8 การวัดกระแสและความต่างศักย์ของแผ่นฟิล์ม	81
4.9 การตรวจสอบชนิดของสารกึ่งตัวนำโดยวิธี Hot probe	81

	หน้า
4.10 การวัดความต้านทานของแผ่นฟิล์มและความเข้มแสงตกกระทบ	84
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง ปัญหาและข้อเสนอแนะ	89
5.1 สรุปผลระบบควบคุมการระเหยสาร 3 จุดโดยคอมพิวเตอร์	89
5.2 สรุปผลการตรวจสอบโครงสร้างผลึกของแผ่นฟิล์ม CuInSe_2	90
5.3 สรุปผลสมบัติทางไฟฟ้าของแผ่นฟิล์ม CuInSe_2	91
5.4 ปัญหาและข้อเสนอแนะ	91
เอกสารอ้างอิง	93
ภาคผนวก	95
ประวัติการศึกษา	133

รายการตารางประกอบ

ตารางที่		หน้า
3.1	แสดงคุณสมบัติของหม้อแปลงแต่ละตัวที่สร้างขึ้นใช้งาน	38
4.1	แสดงค่า $\Delta f/\Delta m_{x=1.1}$ เมื่อระเหยสาร Cu ขึ้นไปเกาะ คริสตอลตัวที่ 1	48
4.2	แสดงค่า $\Delta f/\Delta m_{x=1.1}$ เมื่อระเหยสาร In ขึ้นไปเกาะ คริสตอลตัวที่ 2	49
4.3	แสดงค่า $\Delta f/\Delta m_{x=1.1}$ เมื่อระเหยสาร Se ขึ้นไปเกาะ คริสตอลตัวที่ 3	49
4.4	แสดงค่ามวลที่ระเหยเกาะแผ่นรองรับ (m) ทางทฤษฎี และการทดลอง เมื่อระเหยสาร Cu	57
4.5	แสดงค่ามวลที่ระเหยเกาะแผ่นรองรับ (m) ทางทฤษฎี และการทดลอง เมื่อระเหยสาร Se	58
4.6	แสดงค่ามวลที่ระเหยเกาะแผ่นรองรับ (m) ทางทฤษฎี และการทดลอง เมื่อระเหยสาร In	59
4.7	แสดงค่าความหนาในระยะ 1 ต่าง ๆ เมื่อความถี่เปลี่ยนไป 796 Hz.	63
4.8	แสดงค่าความหนาในระยะ 1 ต่าง ๆ เมื่อความถี่เปลี่ยนไป 1418 Hz.	63
4.9	แสดงค่าความหนาในระยะ 1 ต่าง ๆ เมื่อความถี่เปลี่ยนไป 2635 Hz.	64
4.10	แสดงการเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความหนาที่ลดลงของแผ่นฟิล์ม ในระยะ 1 ต่าง ๆ เมื่อใช้คริสตอลเป็นมอนิเตอร์ และใช้ ทฤษฎีแหล่งกำเนิดที่เป็นพื้นที่เล็ก ๆ	65
4.11	แสดงแผ่นฟิล์มที่เตรียมเพื่อตรวจสอบโครงสร้างผลึกด้วยวิธี XRD.	66
4.12	แสดงแผ่นฟิล์มที่เตรียมเพื่อศึกษาสมบัติทางไฟฟ้า	72
4.13	แสดงค่าความเข้มแสงในระยะต่าง ๆ เมื่อกำลังไฟฟ้าของ ดวงไฟ มีค่าเท่ากับ 58.9 วัตต์	86

รายการภาพประกอบ

ภาพที่		หน้า
2.1	แสดงการระเหยจากแหล่งกำเนิดที่เป็นจุด	6
2.2	แสดงการระเหยจากแหล่งกำเนิดที่เป็นพื้นที่เล็ก ๆ	8
2.3	แสดงการกระจายความหนาของฟิล์มในระยะ 1 ต่าง ๆ	9
2.4	แสดงการอินทิเกรตพื้นที่ dA บนแผ่นรองรับ	11
2.5	แสดงโครงสร้างผลึกแบบซาลโคไฟไรท์	13
2.6	แสดงแผนภาพระดับแถบพลังงานในผลึกที่เป็นฟังก์ชันของระยะห่างระหว่างอะตอม	14
2.7	แสดงแผนภาพให้เห็นพื้นฐานที่แตกต่างกันของแถบพลังงาน	15
2.8	แสดงสารกึ่งตัวนำอินทรีนสิก, ผู้ให้และผู้รับ	19
3.1(ก.)	แสดงรายละเอียดการวางตำแหน่งอุปกรณ์ต่าง ๆ ภายในครอบแก้ว	22
3.1(ข.)	แสดงการวางตำแหน่งจุดระเหย, แผ่นรองรับและคริสตอล	23
3.2(ก.)	แสดงการวางตำแหน่งจุดระเหยทั้ง 3 จุด ที่วางสมมาตรกันบนฐานรอง	24
3.2(ข.)	แสดงแขนยึดไว้ตของจุดที่ 2 ที่ใช้ร่วมกับแขนของจุดที่ 1 และจุดที่ 3	25
3.3(ก.)	แสดงการวางตำแหน่งคริสตอลทั้ง 3 จุด บนแผ่นยึดด้านบน	27
3.3(ข.)	แสดงการยกกระดืบคริสตอลทั้ง 3 จุด บนแผ่นยึดด้านบน	28
3.4	แสดงแผนผังของระบบควบคุมการระเหยสาร 3 จุด โดยคอมพิวเตอร์	29
3.5	แสดงวงจรออสซิลเลเตอร์	31
3.6	แสดงการควบคุมม่านกระแสของไทรสเตอร์	32
3.7	แสดงผังงานของโปรแกรมการควบคุมระบบ	34
3.8	แสดงผังงานของโปรแกรมเขียนกราฟและเก็บไฟล์	36
3.9	แสดงการติดตั้งแผ่นทำความร้อน โดยใช้แผ่นอลูมิเนียมกลมประกบยึดติดกับแผ่นรองรับ	37

ภาพที่		หน้า
3.10	แสดงการต่อหม้อแปลง แต่ละตัวกับโบริดที่ใช้ระเหยสาร ทั้ง 3 จุด	39
4.1	แสดงหน้ากากฟิล์ม 3 ชั้น และ 7 ชั้น	41
4.2	แสดงหน้ากากฟิล์มชีวไฟฟ้า	42
4.3	แสดงการยึดหน้ากากฟิล์มกับแผ่นยึดแผ่นรองรับ	44
4.4	แสดงการวางแนวหน้ากากฟิล์มบนแผ่นยึดด้านบน	45
4.5	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของคริสตอล กับเวลา เมื่อทำการระเหยสารอย่างอิสระ โดย ไม่มีการควบคุม	51
4.6	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการเปลี่ยนความถี่ ของคริสตอลกับเวลา เมื่อทำการระเหยสารอย่างอิสระ โดยไม่มีการควบคุม	52
4.7	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของคริสตอล กับเวลา เมื่อทำการระเหยสารภายใต้การควบคุม โดยคอมพิวเตอร์	53
4.8	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างอัตราเปลี่ยนความถี่ ของคริสตอลกับเวลา เมื่อทำการควบคุมอัตราเปลี่ยน ความถี่เท่ากับ 40 Hz./10 sec. หรือ 4 Hz./sec.	54
4.9	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง มวลที่ระเหยเกาะ แผ่นรองรับกับมวลทั้งหมดที่ใช้ระเหยสาร ทางทฤษฎี และการทดลอง เมื่อระเหยสาร Cu	60
4.10	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง มวลที่ระเหยเกาะ แผ่นรองรับกับมวลทั้งหมดที่ใช้ระเหยสาร ทางทฤษฎี และการทดลอง เมื่อระเหยสาร Se	61
4.11	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง มวลที่ระเหยเกาะ แผ่นรองรับกับมวลทั้งหมดที่ใช้ระเหยสาร ทางทฤษฎี และการทดลอง เมื่อระเหยสาร In	62

ภาพที่		หน้า
4.12	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง เปอร์เซนต์ความหนา กับระยะ 1 ต่าง ๆ เมื่อทำการวัดโดยใช้คริสตอล เป็นโมโนเตอร์ และใช้กฎของแหล่งกำเนิดการระเหย สารที่เป็นพื้นที่เล็ก ๆ	67
4.13	แสดงการเปรียบเทียบ เส้นการเลี้ยวเบนของผลึก CuInSe_2 แบบแท่งกับแบบฟิล์มบางของแผ่นฟิล์มที่ 3	68
4.14	แสดงการเปรียบเทียบ เส้นการเลี้ยวเบนของผลึก CuInSe_2 แบบแท่งกับแบบฟิล์มบางของแผ่นฟิล์มที่ 4	69
4.15	แสดงเตาเผาขนาดเล็ก เพื่อใช้แอนนัลแผ่นฟิล์ม ในระบบสุญญากาศ	71
4.16	แสดงการต่อขั้วไฟฟ้า โดยการใช้อาวเงิน	71
4.17	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง R กับ $10^3/T(K^{-1})$ ขณะแอนนัลแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิ 350°C . เป็นเวลา $1(1/2)$ ชั่วโมง	73
4.18	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง R กับ $10^3/T(K^{-1})$ ขณะแอนนัลแผ่นฟิล์มที่อุณหภูมิ 400°C . เป็นเวลา $1(1/2)$ ชั่วโมง	74
4.19	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง R กับ $10^3/T(K^{-1})$ เมื่อแผ่นฟิล์มผ่านการแอนนัลที่อุณหภูมิ 350°C . เป็นเวลา $1(1/2)$ ชั่วโมง	76
4.20	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง R กับ $10^3/T(K^{-1})$ เมื่อแผ่นฟิล์มผ่านการแอนนัลที่อุณหภูมิ 400°C . เป็นเวลา $1(1/2)$ ชั่วโมง	77
4.21	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า กับความ ต่างศักย์ ที่อุณหภูมิห้องของแผ่นฟิล์มที่ 5	82
4.22	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้า กับความ ต่างศักย์ ที่อุณหภูมิห้องของแผ่นฟิล์มที่ 6	83
4.23	แสดงชุดวัดความต้านทานและความเข้มแสง	85

ภาพที่		หน้า
4.24	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงตกกระทบบ กับความต้านทานที่เปลี่ยนไปของแผ่นฟิล์ม	87
ผ.จ.5 (ก)	รูปแสดงตำแหน่งจุดระเหยสารทั้ง 3 จุด บนฐานรอง	133
ผ.จ.5 (ข)	รูปแสดงระบบควบคุมการระเหยสาร โดยคอมพิวเตอร์	133
ผ.จ.6	รูปแสดงหล่อแปลงที่ใช้ระเหยสาร	134
ผ.จ.7	รูปแสดงหน้ากากฟิล์ม	134
ผ.จ.8	รูปแสดงแผ่นฟิล์มที่เตรียมได้และผ่านการทำซ้ำแล้ว	135