สารบัญ

เรื่อง	หน้า
คำขอบคุณ	ค
บทคัดย่อ	ง
Abstract	จ
รายการตารางประกอบ	ช
รายการภาพประกอบ	ฌ
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎี	3
2.1 ทฤษฎีพื้นฐานของผลึกควอร์ตซ์	3
2.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับการระเหยสารในระบบสุญญากาศ	5
2.3 ทฤษฎีแถบพลังงานของของแข็ง	10
2.4 โครงสร้างของแถบพลังงาน	12
2.5 สมบัติทางไฟฟ้าของสารกึ่งตัวนำ	12
บทที่ 3 อุปกรณ์และองค์ประกอบของระบบระเหยสาร	17
3.1 ระบบสุญญากาศ	17
3.2 อุปกรณ์และการวางตำแหน่งของอุปกรณ์ภายในครอบแก้ว	18
3.3 หม้อแปลงที่ใช้ระเหยสาร	24
3.4 ระบบควบคุมการระเหยสาร	26
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง	33
4.1 การทดสอบระบบระเหยสาร	33
4.2 การเตรียมอุปกรณ์ทำแผ่นฟิล์ม	40
4.3 การเตรียมแผ่นฟิล์ม	42
4.4 การทำขั้วไฟฟ้าของแผ่นฟิล์ม การต่อขั้วไฟฟ้า และการแอนนีลแผ่นฟิล์ม	47
4.5 การศึกษาสมบัติของแผ่นฟิล์ม	50
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง ปัญหา และข้อเสนอแนะ	76
5.1 สรุปผลการศึกษาและทดสอบระบบการระเหยสาร	76
5.2 สรุปผลการเตรียมแผ่นฟิล์มบางอินเดียมซิลิเนียม	77

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เรื่อง หน้า

5.3 สรุปผลการตรวจสอบโครงสร้างผลึกของแผ่นฟิล์มบางอินเดียมซิลิเนียม 77
5.4 สรุปผลการทำขั้วไฟฟ้าของแผ่นฟิล์มบางอินเดียมซิลิเนียม 78
5.5 สรุปผลสมบัติทางไฟฟ้าของแผ่นฟิล์มบางอินเดียมซิลิเนียม 78
5.6 ปัญหาและข้อเสนอแนะ 79
เอกสารอ้างอิง 82
ภาคผนวก 83
ผนวก ก. 83
ผนวก ข. 90
ผนวก ค. 101
ผนวก ง. 102
ผนวก จ. 103
ผนวก ฉ. 106
ประวัติการศึกษา 109

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รายการตารางประกอบ

ตารางที่		หน้า
3.1	แสดงคุณสมบัติของหม้อแปลงแต่ละตัว	24
4.1	แสดงค่าระยะ l ต่างๆของแผ่นฟิล์มแต่ละชิ้น จากแนวของจุดระเหยสารแต่ละจุดถึงจุดกึ่งกลางของฟิล์มชิ้นต่างๆ	46
4.2	แสดงค่ามวลของสารอินเดียม, สารซิลิเนียม, และความหนาของสารทั้งสองของแผ่นฟิล์มแต่ละชิ้น	46
4.3	แสดงค่า d spacing ของผิคที่มีมุมเลี้ยวเบนต่างๆ	51
4.4	แสดงค่า d spacing จากการทดลองเปรียบเทียบกับจาก A.S.T.M.card	52
4.5	แสดงค่าช่องว่างแถบพลังงานของแผ่นฟิล์มที่ 6, แผ่นฟิล์มที่ 7 และแผ่นฟิล์มที่ 8	64
4.6	แสดงความเข้มแสงตกกระทบที่ระยะ l ต่างๆ เมื่อกำลังหลอดไฟมีค่า 97.18 วัตต์	67
ผ.จ.1	ข้อมูลการวัดความต้านทานและความเข้มแสงตกกระทบของแผ่นฟิล์มที่ 6	103
ผ.จ.2	ข้อมูลการวัดความต้านทานและความเข้มแสงตกกระทบของแผ่นฟิล์มที่ 7	104
ผ.จ.3	ข้อมูลการวัดความต้านทานและความเข้มแสงตกกระทบของแผ่นฟิล์มที่ 8	105
ผ.ฉ.1	ข้อมูลการวัดกระแสไฟฟ้ากับความต่างศักย์ที่อุณหภูมิห้อง ของแผ่นฟิล์มที่ 6	106
ผ.ฉ.2	ข้อมูลการวัดกระแสไฟฟ้ากับความต่างศักย์ที่อุณหภูมิห้อง ของแผ่นฟิล์มที่ 7	107
ผ.ฉ.3	ข้อมูลการวัดกระแสไฟฟ้ากับความต่างศักย์ที่อุณหภูมิห้อง ของแผ่นฟิล์มที่ 8	108

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รายการภาพประกอบ

ภาพที่		หน้า
2.1	แสดงผลึกควอร์ตซ์แท่ง 6 เหลี่ยมปลายแหลมและแสดงแผ่นตัดแบบต่างๆ	3
2.2	แสดงการระเหยสารจากแหล่งกำเนิดที่เป็นพื้นที่เล็กๆ	8
2.3	แสดงการกระจายความหนาของฟิล์มในระยะ 1 ต่างๆ	9
2.4	แสดงแผนภาพการจัดเรียงอิเล็กตรอนที่ระดับพลังงานต่างๆ	10
2.5	แสดงแถบพลังงานของแถบนำ, แถบต้องห้าม และแถบเวเลนซ์	11
3.1	แสดงโบ๊ตที่ใช้ระเหยสารซิลิเนียม, สารอินเดียม และสารเงินที่ใช้ทำขั้วไฟฟ้า	18
3.2	แสดงแขนยึดโบ๊ตของจุดที่ 1, จุดที่ 2 และจุดที่ 3	18
3.3	แสดงการวางตำแหน่งของจุดระเหยทั้ง 3 ที่วางสมมาตรกัน	19
3.4	แสดงการติดตั้งแผ่นทำความร้อน โดยใช้แผ่นอลูมิเนียมประกบยึดกับแผ่นรองรับ	19
3.5	แสดงแผ่นรองรับซึ่งภายในติดตั้งแผ่นทำความร้อน	20
3.6	แสดงการเปิดพื้นที่ของผลึกควอร์ตซ์เพื่อให้รับไอของสารที่ระเหยขึ้นมาเกาะ	20
3.7	แสดงการวางตำแหน่งของผลึกควอร์ตซ์ทั้ง 3 เมื่อมองจากด้านบนของแผ่นยึดด้านบน	21
3.8	แสดงการยกระดับของผลึกควอร์ตซ์ทั้ง 3 บนแผ่นยึดด้านบน	21
3.9	แสดงการวางตำแหน่งของจุดระเหยทั้ง 3 บนฐานรองด้านล่าง	22
3.10	แสดงการวางตำแหน่งของผลึกควอร์ตซ์สัมพันธ์กับตำแหน่งของจุดระเหยทั้ง 3 จุด	22
3.11	แสดงรายละเอียดการวางตำแหน่งของอุปกรณ์ต่างๆภายในครอบแก้ว	23
3.12	แสดงหม้อแปลงที่ใช้ระเหยสารทั้ง 5 ตัว	25
3.13	แสดงวงจรต่อหม้อแปลงทั้ง 5 ตัวเพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้าให้กับโบ๊ตแต่ละจุด	25
3.14	แสดงบล็อกไดอะแกรมการแยกวงจรแหล่งจ่ายไฟกับวงจรออสซิลเลเตอร์แต่ละชุด	26
3.15	แสดงชุดวงจรออสซิลเลเตอร์ทั้ง 3 ชุดที่ติดตั้งไว้ภายในท่อทองแดง	27
3.16	แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรนับและวงจรรีจิสเตอร์เลื่อนข้อมูล	27
3.17	แสดงแผนภาพเวลาของวงจรสร้างฐานสัญญาณเวลา	28
3.18	แสดงบล็อกไดอะแกรมของวงจรควบคุมกำลังไฟเชิงสัดส่วน	28
3.19	แสดงสัญญาณที่ตำแหน่งต่างๆของวงจรควบคุมกำลังไฟเชิงสัดส่วน	29
3.20	แสดงแผนผังของโปรแกรมควบคุมการระเหยสาร	30
3.21	แสดงผังงานของโปรแกรมเขียนภาพและเก็บไฟล์	31

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ หน้า

3.22	แสดงแผนผังของระบบควบคุมการระเหยสาร 3 จุด โดยคอมพิวเตอร์	32
3.23	แสดงระบบสุญญากาศและระบบที่ใช้ระเหยสาร	32
4.1	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของผลึกควอร์ตซ์ทั้ง 3 ตัวกับเวลา เมื่อไม่ทำการระเหยทั้ง 3 จุด	37
4.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของผลึกควอร์ตซ์ทั้ง 3 ตัวกับเวลา เมื่อทำการระเหยสารทั้ง 3 จุด ภายใต้การควบคุมโดยระบบคอมพิวเตอร์	38
4.3	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความถี่ของผลึกควอร์ตซ์ทั้ง 2 ตัวกับเวลา เมื่อทำการระเหยสารทั้ง 2 จุด ภายใต้การควบคุมโดยระบบคอมพิวเตอร์	39
4.4	แสดงหน้ากากที่ใช้เตรียมแผ่นฟิล์มและหน้ากากที่ใช้ทำขั้ว	40
4.5	แสดงการติดตั้งหน้ากากฟิล์ม, กระจกสไลด์ กับแผ่นรองรับ	41
4.6	แสดงการวางแนวของหน้ากากฟิล์มกับจุดระเหยทั้ง 3	41
4.7	แสดงแผ่นกระจกสไลด์ก่อนการเตรียมฟิล์มและแผ่นฟิล์มบางที่เตรียมได้	43
4.8	แสดงระยะ 1 ต่างๆจากจุดระเหยที่ 2 และจุดระเหยที่ 3 ของฟิล์มแต่ละชิ้น	45
4.9	แสดงแผ่นฟิล์มที่ทำขั้วไฟฟ้าด้วยสารทองแดง, อินเดียม, ทอง และเงิน	47
4.10	แสดงกาวเงิน, ลวดตัวนำ และแผ่นฟิล์มที่ต่อขั้วไฟฟ้าแล้ว	48
4.11	แสดงเตาเผาที่ใช้แอนนีลแผ่นฟิล์มและเทอร์โมคัพเปิลที่ใช้วัดอุณหภูมิ	49
4.12	แสดงผลจากการตรวจสอบโครงสร้างผลึกของแผ่นฟิล์มที่ไม่ได้ผ่านการแอนนีลกับแผ่นฟิล์มที่ผ่านการแอนนีลแล้ว โดยใช้เอ็กซ์เรย์ดิฟแฟรคโตมิเตอร์	50
4.13	แสดง A.S.T.M. card ของสารประกอบอินเดียมซิลิไนด์	52
4.14	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกับส่วนกลับของอุณหภูมิ ขณะทำการแอนนีลแผ่นฟิล์มที่ 6	54
4.15	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกับส่วนกลับของอุณหภูมิ ขณะทำการแอนนีลแผ่นฟิล์มที่ 7	55
4.16	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกับส่วนกลับของอุณหภูมิ ขณะทำการแอนนีลแผ่นฟิล์มที่ 8	56
4.17	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกับส่วนกลับของอุณหภูมิ ที่บริเวณขั้วไฟฟ้าในลักษณะต่างๆ ขณะทำการแอนนีลแผ่นฟิล์มที่ 9	57

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่		หน้า
4.18	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกับส่วนกลับของอุณหภูมิ ที่บริเวณขั้วไฟฟ้าในลักษณะต่างๆ ของแผ่นฟิล์มที่ 9 เมื่อผ่านการแอนนีลแล้ว	58
4.19	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกับส่วนกลับของอุณหภูมิ ของแผ่นฟิล์มที่ 6 เมื่อผ่านการแอนนีลที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง	60
4.20	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกับส่วนกลับของอุณหภูมิ ของแผ่นฟิล์มที่ 7 เมื่อผ่านการแอนนีลที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง	61
4.21	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานกับส่วนกลับของอุณหภูมิ ของแผ่นฟิล์มที่ 8 เมื่อผ่านการแอนนีลที่อุณหภูมิ 350 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 2 ชั่วโมง	62
4.22	แสดงชุดวัดความต้านทานและความเข้มของแสง	66
4.23	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงตกกระทบกับความต้านทานที่อุณหภูมิห้อง ของแผ่นฟิล์มที่ 6	68
4.24	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงตกกระทบกับความต้านทานที่อุณหภูมิห้อง ของแผ่นฟิล์มที่ 7	69
4.25	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มแสงตกกระทบกับความต้านทานที่อุณหภูมิห้อง ของแผ่นฟิล์มที่ 8	70
4.26	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความต่างศักย์ที่อุณหภูมิห้อง ของแผ่นฟิล์มที่ 6	73
4.27	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความต่างศักย์ที่อุณหภูมิห้อง ของแผ่นฟิล์มที่ 7	74
4.28	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกระแสไฟฟ้ากับความต่างศักย์ที่อุณหภูมิห้อง ของแผ่นฟิล์มที่ 8	75
ผ.ก.1	วงจรควบคุมอุณหภูมิเตาต้มน้ำมันของปั๊มไอฟุ้งกระจาย	83
ผ.ก.2	วงจรออสซิลเลเตอร์ที่ใช้กับผลิกควอร์ตซ์ความถี่ 4 เมกกะเฮิรตซ์	84
ผ.ก.3	วงจรนับเลขฐานสอง 24 บิต และรีจิสเตอร์เลื่อนข้อมูล	85
ผ.ก.4	วงจรสร้างฐานสัญญาณเวลา	86
ผ.ก.5	วงจรแปลงผันดิจิตอลเป็นแอนะลอก	87
ผ.ก.6	วงจรควบคุมกำลังไฟเชิงสัดส่วน	88
ผ.ก.7	วงจรควบคุมอุณหภูมิบนแผ่นรองรับ	89

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved