

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	III
กิตติกรรมประกาศ	V
สารบัญ	VI
สารบัญตาราง	XI
สารบัญภาพ	XIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความสำคัญและที่มาของงานวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 สารกึ่งตัวนำ	6
2.2 โครงสร้างผลึกของสารกึ่งตัวนำ	7
2.2.1 โครงสร้างผลึกแบบเพชร	8
2.2.2 โครงสร้างผลึกแบบสฟาลเตอร์ไรท์หรือซิงค์เบลนด์	9
2.2.3 โครงสร้างผลึกแบบซาลโคไฟไรท์	10
2.3 การศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาคด้วยวิธีการเลี้ยวของเบนรังสีเอกซ์	12
2.4 สมบัติทางแสงของสารกึ่งตัวนำ	17
2.4.1 ลักษณะโครงสร้างแถบพลังงาน	17
2.4.2 การส่งผ่านแสง	20
2.4.3 การดูดกลืนแสงของสารกึ่งตัวนำ	22
2.5 การหาค่าช่องว่างแถบพลังงานจากสเปกตรัมการส่งผ่านแสง	22
2.5.1 การหาความหนาของฟิล์มบางจากสเปกตรัมการส่งผ่านแสง	25
2.5.2 ย่านที่โปร่งแสง	29
2.5.3 ย่านที่มีการดูดกลืนแสงเบาบางและปานกลาง	30
2.5.4 ย่านที่มีการดูดกลืนแสงอย่างแรง	33

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.6 แบบจำลองตัวเลข	33
2.7 แบบจำลองออสซิลเลเตอร์เดี่ยว	34
2.8 การศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงมหภาคด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด	42
2.9 การเตรียมฟิล์มบาง	46
2.9.1 การเตรียมฟิล์มบางโดยวิธีการระเหยด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ	47
2.9.1.1 อัตราการระเหยสาร	47
2.9.1.2 ความดันไอของธาตุ	48
2.9.1.3 การระเหยสารประกอบ	49
2.9.1.4 อิทธิพลของโครงสร้างเชิงเรขาคณิตต่อระบบการเตรียมฟิล์ม ด้วยวิธีการระเหยสาร	50
2.10 เฟสไดอะแกรมของสารประกอบ Cu-In-Se	52
2.10.1 การเกิดฟิล์มบาง CuInSe_2	53
2.10.1.1 เทอร์โมไดนามิกส์ของวัสดุ	53
2.10.1.2 ฟิล์มบางคอปเปอร์อินเดียมไดซัลไฟด์	56
2.11 กระบวนการซีลีไนเซชัน	57
บทที่ 3 วิธีดำเนินงานวิจัย	60
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์การวิจัย	60
3.1.1 การเตรียมแผ่นฐานรองรับเพื่อใช้เตรียมฟิล์มบางคอปเปอร์อินเดียมไดซัลไฟด์	60
3.1.2 การเตรียมก้อนผลึกเดี่ยวคอปเปอร์อินเดียมไดซัลไฟด์	60
3.1.3 การเตรียมสารตั้งต้นคอปเปอร์อินเดียมไดซัลไฟด์ที่เจือด้วยโซเดียม	60
3.1.4 การเตรียมฟิล์มบางด้วยการระเหยสารด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ	61
3.1.5 การซีลีไนเซชันฟิล์มบางคอปเปอร์อินเดียมไดซัลไฟด์	64
3.1.6 การศึกษาสมบัติของฟิล์มบางคอปเปอร์อินเดียมไดซัลไฟด์	62
3.1.6.1 การศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาค	62
3.1.6.2 การศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงมหภาค	62
3.1.6.3 การศึกษาสมบัติทางแสง	62

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
3.2 ขั้นตอนการเตรียมก่อนผลิตเดี่ยวของสารประกอบกึ่งตัวนำ คอปเปอร์อินเดียมไคซีลีไนต์	62
3.2.1 ขั้นตอนการเตรียม	64
3.3 ขั้นตอนการเตรียมฟิล์มบางคอปเปอร์อินเดียมไคซีลีไนต์	65
3.3.1 การเตรียมและการทำความสะอาดแผ่นกระจกสไลด์เพื่อเป็นฐานรองรับ	65
3.3.2 การเตรียมสารตั้งต้นคอปเปอร์อินเดียมไคซีลีไนต์ที่เจือด้วยโซเดียม	66
3.3.3 การเตรียมฟิล์มบางคอปเปอร์อินเดียมไคซีลีไนต์	67
3.3.4 การซีลีโนเซชัน	68
3.4 การศึกษาสมบัติพื้นฐานของฟิล์มบางคอปเปอร์อินเดียมไคซีลีไนต์	70
3.4.1 การศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงจุลภาค	70
3.4.2 การศึกษาโครงสร้างผลึกเชิงมหภาค	70
3.4.3 การศึกษาสมบัติทางแสง	70
3.4.4 การศึกษาพารามิเตอร์ทางแสงต่างๆโดยการจำลองแบบ	70
3.4.4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการจำลองแบบ	70
3.5 ขั้นตอนการ Simulation ของข้อมูลของฟิล์มบาง CuInSe_2 และ $\text{CuInSe}_2:\text{Na}$	71
3.5.1 วิธีการใช้ PUMA	71
3.6 วิธีการวัดสมบัติเชิงแสงของฟิล์มบางจากการวัดสัมประสิทธิ์การส่งผ่านแสง	73
3.6.1 วิธีการหาช่องว่างแถบพลังงาน	73
3.6.2 วิธีการหาค่าดัชนีหักเหและค่าคงที่ไดอิเล็กตริกทางแสง	75
บทที่ 4 ผลการวิจัยและการวิเคราะห์ผล	78
4.1 ลักษณะของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CuInSe_2 ที่เตรียมได้โดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นแผ่นกระจกสไลด์เมื่อยังไม่ได้มีการซีลีโนเซชัน	78
4.2 การศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์พื้นฐานของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CuInSe_2	79
4.2.1 ผลการศึกษาการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CuInSe_2 ที่เตรียมได้โดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็น	

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
แผ่นกระจกสไลด์เมื่อยังไม่ได้ทำการซีลีในเซชันและเมื่อทำการซีลี ในเซชันที่อุณหภูมิ 400-550 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที	79
4.2.2 ผลการทดลองที่ได้จากภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด ฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CuInSe_2 ที่เตรียมได้โดยวิธีการระเหยสารเคมี ด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นแผ่นกระจก สไลด์เมื่อยังไม่ได้ทำการซีลีในเซชันและเมื่อทำการซีลีในเซชันที่อุณหภูมิ 400-550 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที	82
4.2.3 ผลการศึกษาการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ CuInSe_2 ที่เตรียมได้ โดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศลงบนแผ่นฐานรอง รับที่เป็นแผ่นกระจกสไลด์เมื่อยังไม่ได้ทำการซีลีในเซชันและเมื่อทำการซีลีใน เซชันที่อุณหภูมิ 400-550 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที	85
4.2.4 การหาค่าพารามิเตอร์ทางแสงจากสเปกตรัมการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางของ สารกึ่งตัวนำ CuInSe_2 ที่เตรียมได้โดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนใน ระบบสุญญากาศลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นแผ่นกระจกสไลด์เมื่อยังไม่ได้ ทำการซีลีในเซชันและเมื่อทำการซีลีในเซชันที่อุณหภูมิ 400-550 องศาเซล เซียสเป็นเวลา 30 นาที	89
4.3 การศึกษาสมบัติทางฟิสิกส์พื้นฐานของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $\text{CuInSe}_2:\text{Na}_2\text{S}$	98
4.3.1 ผลการศึกษาการเลี้ยวเบนของรังสีเอกซ์ของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $\text{CuInSe}_2:\text{Na}_2\text{S}$ CuInSe_2 ที่เตรียมได้โดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อน ในระบบสุญญากาศลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นแผ่นกระจกสไลด์เมื่อยัง ไม่ได้ทำการซีลีในเซชันและเมื่อทำการซีลีในเซชันที่อุณหภูมิ 400-550 องศา เซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที	98
4.3.2 ผลการทดลองที่ได้จากภาพถ่ายกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของ ฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $\text{CuInSe}_2:\text{Na}_2\text{S}$ ที่เตรียมได้โดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วย ความร้อนในระบบสุญญากาศลงบนแผ่นฐานรองรับที่เป็นแผ่นกระจกสไลด์เมื่อ ยังไม่ได้ทำการซีลีในเซชันและเมื่อทำการซีลีในเซชันที่อุณหภูมิ 400-550 องศา เซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที	99

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3.3 ผลการศึกษาการส่งผ่านแสงของฟิล์มบางของสารกึ่งตัวนำ $\text{CuInSe}_2:\text{Na}_2\text{S}$ ที่เตรียมได้โดยวิธีการระเหยสารเคมีด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศลงบนแผ่นฐานรองรับที่ การศึกษาการส่งผ่านแสงของฟิล์มบาง $\text{CuInSe}_2:\text{Na}_2\text{S}$ เป็นแผ่นกระจกสไลด์เมื่อยังไม่ได้ทำการซีลีในเซชันและเมื่อทำการซีลีในเซชันที่อุณหภูมิ 400-550 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 30 นาที	101
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	114
เอกสารอ้างอิง	120
ภาคผนวก	125
ข้อมูลประวัติหัวหน้าคณะผู้วิจัย	129