บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง ปัญหาและข้อเสนอแนะ

ในงานวิจัยครั้งนี้ได้เตรียมฟิล์มสังกะสีซัลไฟด์โดยวิธีระเหยด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ แล้วนำฟิล์มไปศึกษา **I-V characteristic** ค่า **dielectric constant** ความสัมพันธ์ระหว่างความถี่กับค่า **dielectric constant** และการยอมให้แสงทะลุผ่าน ซึ่งวิธีการเตรียมฟิล์มและผลการศึกษาสมบัติของฟิล์มพอสรุปได้ดังนี้

5.1 สรุปผลการเตรียมฟิล์มสังกะสีซัลไฟด์

ฟิล์มสังกะสีซัลไฟด์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เตรียมขึ้นจากผงสังกะสีซัลไฟด์ 97 % โดยวิธีระเหยด้วยความร้อนในระบบสุญญากาศ ใช้ **boat** โมลิบดินัมเป็น **heater** และใช้กระจกสไลด์เป็นแผ่นรองรับ **(substrate)** ฟิล์มที่เตรียมขึ้นเป็นแบบ **sand wich** มีทั้งหมด 5 แผ่น ดังนี้

ฟิล์ม	ความหนา (A)	เตรียมที่ความดัน (mb)	ขั้วไฟฟ้า
A	20-180	1.5×10^{-5}	อลูมิเนียม
B	100-800	2.0×10^{-5}	อลูมิเนียม
C	250-2200	2.0×10^{-5}	อลูมิเนียม
D	10-80	1.4×10^{-5}	ทองคำ
E	300-1500	2.0×10^{-5}	ทองคำ

ตารางที่ 5.1 แสดงสมบัติทั่วไปของฟิล์ม

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ฟิล์มที่เตรียมได้แบ่งเป็น 3 กลุ่มใหญ่ ๆ คือ

1. ฟิล์มบางมาก ได้แก่ฟิล์ม A และ D ลักษณะของฟิล์มจะโปร่งใสคล้ายกับไม่มีอะไรมาเกาะสำหรับความหนาน้อย ๆ แต่พอความหนามากขึ้นจะเห็นลักษณะเป็นฝ้าขาว สังเกตระดับความหนาด้วยตาเปล่าไม่ได้ ฟิล์มกลุ่มนี้ใช้อัตราการระเหยประมาณ 100 Å - 200 Å ต่อนาที

2. ฟิล์มหนาปานกลาง ได้แก่ฟิล์ม B ถ้านำฟิล์มไปรับแสงจะเห็นสีแยกกันตามความหนาอย่างชัดเจนเมื่อฟิล์มหนาตั้งแต่ 600 Å ขึ้นไป ฟิล์มกลุ่มนี้ใช้อัตราการระเหยประมาณ 200 Å ต่อนาที

3. ฟิล์มหนามากได้แก่ฟิล์ม C และฟิล์ม E ลักษณะฟิล์มจะเป็นสีแยกกันตามความหนาอย่างชัดเจนระเหยด้วยอัตรา 200 Å ต่อนาที

ในการวัดความหนาของฟิล์มอาศัยการเปลี่ยนความถี่ของผลึกควอทซ์โดยใช้ผลึกควอทซ์ที่มีความถี่ **resonance 10 MHz** ซึ่งความถี่จะเปลี่ยนไป 8.81 Hz ต่อความหนาของฟิล์ม 1 Å ดังแสดงไว้ในภาคผนวก ก.

5.2 สรุปผลการวัดกระแสและความต่างศักย์คร่อมฟิล์ม **(I-V characteristic)**

เมื่อใส่ความต่างศักย์ภายนอกเข้าไปพบว่าจะมีกระแสไหลผ่านฟิล์มมากพอที่จะวัดได้สะดวก (ไม่น้อยกว่า 10^{-10} A) เฉพาะฟิล์มที่มีความหนาไม่เกิน 300 A ในช่วงความต่างศักย์ไม่เกิน 1.5 โวลท์ กระแสที่ไหลผ่านฟิล์มจะไม่ขึ้นอยู่กับความหนาของฟิล์มอย่างมีกฎเกณฑ์ ขนาดของกระแสผ่านฟิล์มจะอยู่ในช่วง 10^{-10} - 10^{-6} Å ยิ่งกว่านั้นฟิล์มบางตัวยังทะลุ (**break down**) ก่อนที่ความต่างศักย์คร่อมฟิล์มจะถึง 1.5 **volt** จากตารางที่ 4.1 และ 4.6 พบว่า **break down voltage** ของฟิล์มบางตัวเป็นดังนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ฟิล์ม	ความหนา (Å)	break down voltage (volt)
A_1	20	0.8
A_3	70	1.1
A_4	85	1.3
A_6	125	1.5

ตารางที่ 5.2 แสดง break down voltage ของฟิล์ม

เมื่อสังเกตค่า break down voltage ของฟิล์มจะพบว่าฟิล์มหนาขึ้นจะมี break down voltage สูงขึ้น และฟิล์มที่มีความหนาตั้งแต่ 180 Å ขึ้นไปจะมี break down voltage สูงกว่า 1.5 โวลท์

ถ้าสังเกตดูความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความต่างศักย์ครอมฟิล์ม ดังในกราฟ รูป 4.1-4.5 พบว่า

1. ช่วงโวลท์ต่ำ ๆ ($V \leq 100$ mV) ความสัมพันธ์ระหว่าง I กับ V เป็นแบบเส้นตรงคือ $I \propto V$

2. ในช่วงโวลท์ปานกลางและโวลท์สูง (100 mV $< V \leq 1.5$ volt) กระแส I จะแปรตาม V^2

5.3 สรุปผลการวัดความจุของฟิล์มและการวัดค่า dielectric constant ของสังกะสีซัลไฟด์

จากการวัดค่า RC time constant ของระบบฟิล์มและตัวต้านทานที่ทราบค่า แล้วนำมาคำนวณหาความจุของฟิล์มและค่า dielectric constant ของสังกะสีซัลไฟด์ ได้ดังต่อไปนี้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ฟิล์ม	ความหนา (Å)	ความจุ ($x10^{-8}$ Farad)	ϵ_r
A	20–180	0.48–5.3	1.27 ± 0.51
B	100–800	1.85–3.4	6.23 ± 1.31
C	250–2200	0.50–1.8	6.68 ± 0.63

ตารางที่ 5.3 แสดงความจุและค่า ϵ_r ที่หาได้จากฟิล์ม A, B และ C

จากตารางที่ 5.3 พบว่าค่า **dielectric constant** (ϵ_r) ที่หาได้จากฟิล์มที่มีความหนามากขึ้นจะได้ค่ามากขึ้น

5.4 สรุปผล การทะลุผ่านฟิล์มของแสง

เมื่อวัดการทะลุผ่านฟิล์มของแสงพบว่าฟิล์ม A มีการทะลุผ่านค่อนข้างสูงและมีค่าเกือบคงที่คือ 87.5–89.2 % ส่วนฟิล์ม B และ C การทะลุผ่านจะเป็นแบบ **oscillatory** ซึ่งการทะลุผ่านต่ำสุด **(minimum transmissivity)** เป็น 72.1 % และ 65 % ตรงกับความหนา 700 Å และ 1450 Å ส่วนการทะลุผ่านมากที่สุด **(maximum transmissivity)** เป็น 98.2, 78.8 และ 78.2 % ตรงกับความหนา 300 Å , 1050 Å และ 1750 Å ตามลำดับ

5.5 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

ในการเตรียมและศึกษาสมบัติต่าง ๆ ของฟิล์มสังกะสีซัลไฟด์ในงานวิจัยครั้งนี้ได้พบปัญหาหลายอย่างที่ก่อให้เกิดความยุ่งยากในการเตรียมฟิล์มและอาจกระทบต่อผลการทดลองด้วย ปัญหาเหล่านี้ควรจะได้รับการแก้ไขสำหรับการทดลองในคราวต่อ ๆ ไป

5.5.1 ปัญหาในการเตรียมฟิล์ม

1. เนื่องจากสังกะสีซัลไฟด์ที่นำมาเตรียมฟิล์มมีสภาพเป็นผงมีความหนาแน่นต่ำ เนื้อไม่แน่นพอจึงมีการแหรกอยู่มาก เมื่อนำมาระเหยด้วยความร้อน ผงสังกะสีซัลไฟด์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

จะกระเด็นออกจาก boat หมดก่อนที่จะกลายเป็นไอ

2. ในการเตรียมฟิล์มสังกะสีซัลไฟด์ และเตรียมขั้วไฟฟ้าสลับกันไป หากมีการถอด heater เข้าออกบ่อย ๆ จะทำให้หักได้ง่าย

3. ในการเตรียมฟิล์มที่มีความหนามาก ๆ จะต้องใช้เวลานาน heater จะนำความร้อนไปยังเสายึด ทำให้เสายึด heater ร้อนอาจทำให้ระบบ seal กันกาซรั่วเสียได้

<u>ข้อเสนอแนะ</u>

1. ควรนำผงสังกะสีซัลไฟด์ไปอัดให้เป็นเม็ดด้วยเครื่องอัด hydrolic ที่ความดันประมาณ 3000-5000 N/m^2 เพื่อให้สังกะสีซัลไฟด์มีความหนาแน่นมากขึ้นกระเด็นออกจาก boat ได้ยาก และยังเป็นการไล่กาซที่แทรกอยู่ออกไปบางส่วนด้วย หรืออาจจะเปลี่ยนไปใช้สังกะสีซัลไฟด์ที่เป็นผลึกก็ได้ นอกจากนั้นอาจใช้ผงสังกะสีซัลไฟด์ผสมกับน้ำปั้นเป็นแท่ง สอดไว้ใน heater ทั้งสะเดน ซึ่งขดเป็นเกลียว เมื่อค่อย ๆ ให้ความร้อนจนสังกะสีซัลไฟด์หลอมเป็น sinter[5] เกาะอยู่กับ heater โดยไม่มีการกระเด็นออก

2. ควรสร้างที่ยึด heater 2 ชุด ใช้ระเหยสารที่ละอย่างสลับกันโดยใช้สวิตช์เลือก ไม่ต้องถอด heater เข้าออกบ่อย ขณะที่เตรียมสารชนิดหนึ่ง ก็ใช้อลูมิเนียมฟอยด์ปิด heater อีกอันไว้เพื่อหลีกเลี่ยงสารไปปนกัน

3. ควรใช้ heater หรือ boat ที่เป็นแผ่นบาง ๆ ซึ่งจะให้อุณหภูมิสูงแต่จะเก็บสะสมความร้อนไว้ได้น้อย ดังนั้นการถ่ายเทความร้อนไปยังเสายึด heater จึงมีน้อย

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

5.5.2 ปัญหาเกี่ยวกับการวัดความหนาของฟิล์ม

1. ในการวัดความหนาของฟิล์ม ปรากฏการอ่านความถี่ของผลึกควอทซ์จากเครื่องนับความถี่ไม่คอยสะดวก คือเมื่อความถี่ที่แสดงบนหน้าปัทม์ได้ค่าที่ต้องการตามที่คำนวณให้สอดคล้องกับความหนาไว้แล้ว จะต้องเสียเวลาในการเลื่อนชัตเตอร์ไปตำแหน่งใหม่ ซึ่งขณะที่กำลังเลื่อนชัตเตอร์ ความถี่ของผลึกควอทซ์ก็จะเปลี่ยนไปเป็นค่าใหม่ ทำให้ค่าที่อ่านได้คลาดเคลื่อน

2. ในขณะที่สารสังกะสีซัลไฟด์เริ่มกลายเป็นไอ ความดันในกรอบแก้วสุญญากาศจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ซึ่งจะทำให้ความถี่ของผลึกควอทซ์เปลี่ยนไปโดยที่ไม่มีสารมาเกาะ ทั้งนี้เนื่องจากความถี่ของผลึกควอทซ์ขึ้นกับความดันด้วยดังแสดงในภาคผนวก ค ซึ่งจะทำให้ความถี่ที่อ่านได้ขณะเตรียมฟิล์มคลาดเคลื่อนได้

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการปรับปรุงระบบเปิดเปิดชัตเตอร์โดยใช้ **stepping motor** ซึ่งควบคุมด้วยระบบอิเลคโทรนิคส์ จะทำให้สามารถกำหนดระยะเลื่อนชัตเตอร์ได้สะดวกและแม่นยำยิ่งขึ้น

2. หลังจากสังกะสีซัลไฟด์เริ่มกลายเป็นไอ ควรรอสักระยะหนึ่งก่อนเปิดชัตเตอร์ เพื่อให้ความดันในกรอบแก้วลดลงไปอยู่ที่เดิมหรือใกล้เคียง แล้วความดันจะมีค่าเกือบคงที่ถ้าอัตราการระเหยของสารไม่เปลี่ยนแปลงมากนัก

5.5.3 ปัญหาในการหาความจุของฟิล์ม

ในการหาค่าความจุของฟิล์มจะต้องนำฟิล์มไปต่ออนุกรมกับตัวต้านทานที่ทราบค่าแล้วป้อนสัญญาณรูปสี่เหลี่ยมเข้าไปวัดเวลาที่ความต่างศักย์คร่อมฟิล์มลดลงจนเหลือ 37 % ของค่าสูงสุดซึ่งเรียกว่า **RC time constant** ในการวัด **RC time constant** นี้จะมีปัญหาหลายประการได้แก่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1. ถ้าเลือกตัวต้านทานค่าที่ไม่พอเหมาะจะทำให้ได้กราฟแสดงความต่างศักย์คร่อมฟิล์มบนจอออสซิลโลสโคปกว้างหรือแคบเกินไปจะอ่านค่าไม่สะดวก ยิ่งกว่านั้นยังอาจพบเส้นกราฟที่ไม่เป็นแบบ **exponential** อย่างสมบูรณ์ ทำให้การอ่านค่าผิดพลาดได้

2. เกี่ยวกับความถี่ของแหล่งกำเนิดสัญญาณ ถ้าใช้ความถี่สูงเกินไป จะทำให้ตัวเก็บประจุ (ฟิล์ม) ได้รับการอัดประจุยังไม่เต็มหรือคายประจุออกไม่หมดก็จะมีสัญญาณลูกใหม่เข้ามา ดังนั้นความต่างศักย์คร่อมฟิล์มที่วัดได้จึงไม่ใช่ 37 % ของค่าสูงสุดอย่างแท้จริง

3. เนื่องจากการอ่านค่าความต่างศักย์คร่อมฟิล์มและค่า **RC time constant** ของระบบ จะต้องอ่านจากสเกลของออสซิลโลสโคปซึ่งแบ่งไว้อย่างหยาบ ๆ การกะประมาณด้วยสายตาจึงอาจคลาดเคลื่อนได้มาก

<u>ข้อเสนอแนะ</u>

1. ทดลองเลือกตัวต้านทานหลาย ๆ ค่าใส่ดูก่อน แล้วสังเกตเส้นกราฟบนจอของออสซิลโลสโคปจะเปลี่ยนไปจนเข้าใกล้กราฟ **exponential** ที่สมบูรณ์และมีช่องที่อ่านค่า **time constant** ไม่เล็กจนเกินไป โดยอาจปรับ **time base** ของออสซิลโลสโคปช่วยด้วยก็ได้

2. การที่จะทำให้ตัวเก็บประจุถูกอัดประจุจนเต็มหรือคายประจุออกจนหมดจะต้องใช้เวลานานมากเป็นอนันต์ ซึ่งเราไม่สามารถรอบันทึกผลได้ ดังนั้นเราจึงควรกำหนดเวลาที่ปล่อยให้ตัวเก็บประจุถูกอัดประจุหรือคายประจุนานพอสมควรคือมากกว่า 100 เท่าของค่า **RC time constant** อย่างไรก็ดีโดยอุดมคติแล้วความถี่ต่ำสุดหรือความถี่ **DC** น่าจะดีที่สุดสำหรับการวัด **RC time constant** แต่ในทางปฏิบัติแล้ว ในช่วงความถี่ต่ำมาก ๆ ออสซิลโลสโคปจะทำงานไม่ได้ดี ดังนั้นจึงควรเลือกความถี่ของสัญญาณให้พอเหมาะ

3. ควรใช้ออสซิลโลสโคปที่มีตัวเลขบอกโวลท์และค่าเวลาของสัญญาณที่กำลังวัดจึงจะอ่านได้ถูกต้อง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved