## บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

้ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย สามารถแบ่งเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

- 1. ทำการศึกษาค้นคว้างานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 2. ออกแบบการทคลองเตรียมอุปกรณ์และสารเคมีที่ใช้ในการทคลอง
- เตรียมอุปกรณ์และเครื่องมือสำหรับวัคสมบัติทางไฟฟ้าและสมบัติทางแสงของไดโอด
  เปล่ง แสงไฮบริดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่สร้างขึ้น
- เตรียมหน้ากากสำหรับระเหยสารให้ได้ลวดลายที่ต้องการด้วยวิธีการเคลือบด้วยไฟฟ้า (Electroplating)
- 5. ทำการสร้างไดโอดเปล่งแสงไฮบริดโดยการเปลี่ยนแปลงกวามหนาของชั้น สารอินทรีย์ NPB กับชั้นสารอนินทรีย์ ZnSe โดยใช้อัตราการระเหยกงที่และไม่คงที่
- 6. ตรวจสอบสมบัติทางไฟฟ้าและสมบัติทางแสงของใคโอคเปล่งแสงไฮบริคที่สร้างขึ้น
- วิเคราะห์และสรุปผล เพื่อเปรียบเทียบเงื่อนไขความหนาของชั้น NPB และ ZnSe ที่ เหมาะสมเพื่อนำไปพัฒนาสร้างเป็นไดโอดเปล่งแสงไฮบริดที่มีประสิทธิภาพสูง ต่อไป

#### 3.1 ระบบระเหยสารอินทรีย์ (Organic Source Evaporation System)

ระบบระเหยสารอินทรีย์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ทำการออกแบบระบบโดยห้องปฏิบัติการวิจัย ควอนตัมและสารกึ่งตัวนำทางแสง (QOSLab) ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ระบบถูกออกแบบมาเพื่อให้ สามารถระเหยสารอินทรีย์ได้เป็นอย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากสารอินทรีย์มีอุณหภูมิในการ ระเหยต่ำเมื่อเทียบกับสารอนินทรีย์โดยทั่วไป ดังนั้นระบบจึงออกแบบให้สามารถควบคุมการให้ อุณหภูมิกับสารอินทรีย์ได้อย่างละเอียดและแม่นยำ เพื่อให้สามารถควบคุมอัตราการระเหยของ สารอินทรีย์ได้อย่างถูกต้องแม่นยำและมีความสม่ำเสมอ โดยระบบทั้งหมดจะอยู่ทำงานภายใน Clean Room Class 10K และเพื่อความบริสุทธิ์ของการระเหยสารอินทรีย์ ระบบจะทำการระเหย สารในสุญญากาศสูงโดยใช้เทอร์โบโมเลกุลาร์บั้ม และ โรตารีบั้มในการสร้างสุญญากาศ รวมทั้ง การสร้างอุปกรณ์ทั้งหมดจะทำภายในห้องสะอาดกลาส 10000 (clean room class 10K) ดังแสดง ในรูป 3.2



รูปที่ 3.1 ระบบระเหยสารอินทรีย์



รูปที่ 3.2 ห้องสะอาคกลาส 10000



## **Organic Evaporation System**

3. roughing load lock valve (LL SYATEM)

- 4. load lock valve (LLV)
- 5. evaporation chamber
- 6. evaporation chamber vent valve
- 7. roughing evaporation chamber valve (RV)
- 8. rotary pump (RP)

- 10. turbo molecular pump (TMP)
- 11. backing valve (BV)
- 12. pirani gauge
- 13. pirani gauge
- 14. full range gauge
- 15. arm load lock

ร**ูปที่ 3.3** แผนภาพระบบสุญญากาศของระบบระเหยสารอินทรีย์

ภายในห้องสุญญากาศ (vacuum chamber) ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้ 1. ระบบระเหยสารอินทรีย์ (Low Temperature Evaporator System ; LTE) เป็นระบบที่ ใช้สำหรับระเหยสารอินทรีย์โดยประกอบด้วย 2 ส่วน คือ หัวระเหยสารอินทรีย์ และ ชุดควบคุม การระเหยสารอินทรีย์ของบริษัท Kurt J. Lesker ดังแสดงในรูปที่ 3.4 และ 3.5 ซึ่งสามารถให้ความ ร้อนแก่สารอินทรีย์ได้อย่างทั่วถึงสม่ำเสมอ มีเทอร์ โมคับเปิล type K ในการตรวจวัดค่าอุณหภูมิที่ สารอินทรีย์ได้รับเพื่อนำมาใช้ควบคุมอุณหภูมิที่ให้แก่สารอินทรีย์ ซึ่งระบบที่ใช้สามารถควบคุม อุณหภูมิที่ให้ได้อย่างแม่นยำ ± 0.1 องศาเซลเซียส



รูปที่ 3.4 หัวระเหยสารอินทรีย์



รูปที่ 3.5 ชุดควบคุมการระเหยสารของระบบระเหยสารอินทรีย์

์ โดยภายในห้องสุญญากาศทำการติดตั้งระบบระเหยสารอินทรีย์อยู่ทั้งหมด 3 ชุดดังรูปที่ 3.6



**รูปที่ 3.6** อุปกรณ์ภายในห้องสุญญากาศสูง 1

 ระบบระเหยสารค้วยความร้อนเป็นระบบที่ออกแบบมาเพื่อทำการระเหยขั้วไฟฟ้าที่ใช้ ในการสร้างไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ดังรูปที่ 3.4

 ระบบตรวจวัดความหนาของฟิล์มบาง ความหนาของฟิล์มบางถูกตรวจสอบความหนา โดยใช้ผลึกควอทซ์ของ INFICON ดังแสดงในรูปที่ 3.7



**รูปที่ 3.7** ผลึกควอทซ์

ทำหน้าที่ตรวจวัดวัดความหนาของสารที่กำลังระเหยโดยจะทำการวัดจากค่าความถี่การ สั่นของคริสตอลที่มีค่าลดลงเมื่อมีสารมาเคลือบเกาะที่ผิวของคริสตอลมากขึ้น โดยความถี่ที่ได้จะ กำนวณอัตราการระเหยสารและความหนาโดย XTM/2 Thin Film Deposition Monitor ของ INFICON แสดงดังรูปที่ 3.8 โดยที่อุปกรณ์ 3, 4, 5 และ 6 ภายในห้องสุญญากาศแสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.8 เครื่องแสดงผลความหนาฟิล์มบาง

ชัตเตอร์มีหน้าที่ในการเปิด-ปิดไอระเหยของสารที่จะขึ้นไปเกาะฐานรองรับ
 6. ตัวยึดจับฐานรองรับมีหน้าที่ใช้ยึดจับฐานรองรับที่ใช้และสามารถทำการหมุนได้
 ขณะที่ทำการระเหยสาร



**รูปที่ 3.9** อุปกรณ์ภายในห้องสุญญากาศสูง 2

 6. ชุดให้กวามร้อนแก่ฐานรองรับเป็นระบบที่ให้กวามร้อนแก่ฐานรองรับโดยหลอดไฟ กวอทซ์ และมีเทอร์โมคัปเปิลที่สามารถวัดอุณหภูมิของฐานรองรับได้

# สมบัติสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่ใช้ในการสร้างใดโอดเปล่งแสงไฮบริด สมบัติทางกายภาพของสารกึ่งตัวนำอนินทรีย์ชิงค์ซีลีในด์

ในงานวิจัยนี้ใช้สารกึ่งตัวนำอนินทรีย์ ZnSe ความบริสุทธิ์ 99.995 จากบริษัท Alfa Aesar มีสมบัติแสดงในตาราง 3.1 และรูปที่ 3.10

ชื่อสารอนินทรีย์	ZnSe
ชื่อทางเกมี	Zinc Selenide
สูตรเกมี	ZnSe
Molecular Weight	144.34 g/mole
จุดหลอมเหลว	>1100 °C
ความหนาแน่น	$5.65 \text{ g/cm}^{3}$
ลักษณะทางกายภาพ	ผลิ์กสีเหลือง
conduction band	4.0. eV
valence band	6.8 eV
Hole Mobility	-
Electron Mobility	$< 600 \text{ cm}^2/\text{Vs}$
Dielectric constant	8.5

ตารางที่ 3.1 แสดงสมบัติของสารกึ่งตัวนำอนินทรีย์ซิงค์ซีลีในด์



รูปที่ 3.10 ผลึกสารกึ่งตัวนำอนินทรีย์ซิงค์ซีลีไนด์ (ZnSe)

## 3.2.2 สมบัติทางกายภาพของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ NPB

ในงานวิจัยนี้ใช้สารอินทรีย์ NPB จากบริษัท Luminescence Technology มีสมบัติแสดง ในตาราง 3.2 และในรูป 3.11

ชื่อสารอินทรีย์	NPB
ชื่อทางเคมี	N,N'-di(naphthalen-1-yl)-N,N'-diphenyl-benzidine
สูตรเคมี	$C_{44}H_{32}N_2$
Molecular Weight	588.72 g/mole
จุดหลอมเหลว	280~282 °C
Thermal Gravimetric Analysis	Weight loss<0.5% at 340 °C
ลักษณะทางกายภาพ	ผงสีขาว-เหลืองอ่อน
Glass Transition Temperature (T <sub>g</sub> )	95 °C
НОМО	5.2 eV
LUMO	2.1 eV
Hole Mobility	$3 \times 10^{-4} \text{ cm}^2/\text{Vs}$
Electron Mobility	-

ตารางที่ 3.2 แสดงสมบัติของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ NPB





ร**ูปที่ 3.11** โครงสร้างสารอินทรีย์ NPB

## 3.3 การเตรียมฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ (ITO) บนฐานรองรับกระจกไสลด์

ฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ที่ใช้เป็นขั้วไฟฟ้าบวกในงานวิจัยนี้จะถูกเตรียมบนฐานรอง กระจกสไลด์ Super Frost ด้วยระบบอาร์เอฟแมกนิตรอนสปัตเตอร์ริงแบบเทคนิคควบคุมเวลา ก๊าช แสดงดังรูปที่ 3.12 โดยมีเงื่อนไขในการปลูกดังนี้

- RF Power 30 Watt
- อัตราการ Flow gas Ar 9 Standard Cubic Centimeters per Minute (SCCM)
- Timing ปล่อยแก๊ส Ar 50 วินาที หยุดปล่อย 2 วินาที
- ระยะระหว่างเป้าเคลือบกับแผ่นฐานรองรับ 5 ซ.ม.
- Based Pressure 1x10<sup>-6</sup> มิลลิบาร์
- Sputtering Pressure 3.0x10<sup>-3</sup> มิถลิบาร์
- ไม่มีการให้อุณหภูมิแผ่นฐานรองรับ



รูปที่ 3.12 ระบบ อาร์ เอฟ แมกนิตรอนสปัตเตอริง

โคยสมบัติของ ITO ที่ได้จะมี

- ความหนา 200 นาโนเมตร
- ความต้านทานเชิงแผ่นประมาณ 10 โอห์ม/🗌
- Timing ปล่อยแก๊ส Ar 50 วินาที หยุดปล่อย 2 วินาที

#### 3.4 การทำความสะอาดฐานรองรับอินเดียมทินออกไซด์

ก่อนที่จะทำการระเหยสารอินทรีย์ลงบนฐานรองรับอินเดียมทินออกไซค์จะมีขั้นตอนการ ทำความสะอาคเพื่อล้างสิ่งสกปรก ฝุ่นละออง และคราบไขมันที่ปนเปื้อนบนพื้นผิวซึ่งเป็นสาเหตุ หลักที่ทำให้เกิดการหลุดลอกของฟิล์ม โดยขั้นตอนการทำความสะอาคแสดงคังรูป 3.13 เริ่มจาก

- 1. ล้างฐานรองด้วยน้ำไร้ประจุ (DI water) ในเครื่องอัลตร้าโซนิค เป็นเวลา 15 นาที .
- 2. ถ้างฐานรองด้วยอะซิโตน (Acetone; CH<sub>3</sub>COCH<sub>3</sub>) ในเครื่องอัลตร้าโซนิค เป็นเวลา 15 นาที
- 3. ล้างฐานรองด้วยเมทานอล (Methanol; CH<sub>3</sub>OH) ในเครื่องอัลตร้าโซนิก เป็นเวลา 15 นาที

4. ล้างฐานรองด้วยไอโซโพรพานอล (Isopropanol; (CH <sub>3</sub> ) <sub>2</sub>CHOH) ในเครื่องอัลตร้าโซนิคเป็น เวลา 15 นาที

5. หลังจากนั้นทำการเป่าให้แห้งโดยใช้ก๊าซในโตรเจน (N<sub>2</sub>)





#### 3.5 การสร้างไดโอดเปล่งแสงไฮบริดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์โครงสร้าง

#### ITO/NPB/ZnSe/Al

โครงสร้างของไคโอคเปล่งแสงไฮบริคสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่ใช้ในการวิจัยเป็น โครงสร้างแบบสองชั้น ซึ่งประกอบด้วยชั้นส่งผ่านโฮลซึ่งเป็นสารอินทรีย์ NPB และชั้นส่งผ่าน อิเล็กตรอนเป็นสารอนินทรีย์ ZnSe โคยมีขั้วไฟฟ้าโปรงแสง ITO และโลหะอลูมิเนียมเป็น ขั้วไฟฟ้าแอโนคและแกโทคตามลำคับ ดังแสดงในรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 โครงสร้างใคโอคเปล่งแสงไฮบริค ITO/NPB/ZnSe/Al

ขั้นตอนการสร้างไดโอดเปล่งแสงไฮบริดเริ่มจากนำฐานรองรับ ITO บนกระจกสไลด์ที่ ผ่านการทำความสะอาดแล้วดังรูปที่ 3.15 มาติดหน้ากากสำหรับระเหยสารอินทรีย์และอนินทรีย์ ดังรูปที่ 3.16 หลังจากนั้นนำ ITO ซึ่งติดหน้ากากระเหยสารแล้วเข้าห้องสุญญากาศเพื่อทำการ ระเหยชั้นสารอินทรีย์และอนินทรีย์ตามลำดับ



รูปที่ 3.15 ลวดลาย ITO บนฐานรองรับกระจก



**รูปที่ 3.16** หน้ากากสำหรับระเหยสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์

ในการศึกษาจะ ได้ทำการระเหยสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์โดยแบ่งเป็น 2 เงื่อนไข ได้แก่

#### 3.5.1 เงื่อนใขการเตรียมสารอินทรีย์และอนินทรีย์ด้วยอัตราการระเหยสารไม่คงที่

เป็นการระเหยสารให้ได้ความหนาที่ต้องการโดยไม่คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงของอัตรา การระเหยขณะทำการระเหยสารโดยทำการระเหยสารอินทรีย์ NPB ด้วยระบบระเหยสารอินทรีย์ โดยเปลี่ยนแปลงความหนาของ NPB เป็น 30 และ 50 นาโนเมตรโดยเงื่อนไขการระเหยสารเป็น ดังนี้

- Base Pressure ประมาณ 3 x 10<sup>-6</sup>mbar
- Evaporation Rate ประมาณ 1-3 A°/s
- ไม่มีการให้อุณหภูมิแผ่นฐานรองรับ

หลังจากนั้นทำการระเหยสารอนินทรีย์ ZnSe ด้วยระบบระเหยสารด้วยความร้อน โดย เปลี่ยนแปลงความหนาของ ZnSe เป็น 15, 30 และ 50 นาโนเมตร

- Base Pressure ประมาณ 3 x 10<sup>-6</sup>mbar
- Evaporation Rate ประมาณ 1-3 A°/s
- ไม่มีการให้อุณหภูมิแผ่นฐานรองรับ

## 3.5.2 เงื่อนไขการเตรียมสารอินทรีย์และอนินทรีย์ด้วยอัตราการระเหยสารที่คงที่

เป็นการระเหยสารให้ได้ความหนาที่ต้องการโดยพยายามควบคุมอัตราการระเหยของสาร ให้คงที่ตลอดการระเหยสาร โดยทำการระเหยสารอินทรีย์ NPB ด้วยระบบระเหยสารอินทรีย์โดย เปลี่ยนแปลงความหนาของ NPB เป็น 30 และ 50 นาโนเมตรโดยเงื่อนไขการระเหยสารเป็นดังนี้

- Base Pressure ประมาณ 3 x 10<sup>-6</sup>mbar
- Evaporation Rate ประมาณ 0.5 A<sup>°</sup>/s
- ไม่มีการให้อุณหภูมิแผ่นฐานรองรับ

หลังจากนั้นทำการระเหยสารอนินทรีย์ ZnSe ด้วยระบบระเหยสารด้วยความร้อน โดย เปลี่ยนแปลงความหนาของ ZnSe เป็น 15, 30 และ 50 นาโนเมตร

- Base Pressure ประมาณ 3 x 10<sup>-6</sup>mbar
- Evaporation Rate ประมาณ 0.5 A°/s
- ไม่มีการให้อุณหภูมิแผ่นฐานรองรับ

หลังจากทำการระเหยชั้นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ทั้งสองเงื่อนใงเรียบร้อยแล้ว จะ ใด้นำมาทำการระเหยขั้วไฟฟ้าแคโทคโลหะอลูมิเนียม โดยนำหน้ากากสำหรับระเหยสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ออก จากนั้นนำหน้ากากสำหรับระเหยขั้วโลหะอลูมิเนียม ดังรูปที่ 3.17 มาติด แทน



**รูปที่ 3.17** หน้ากากสำหรับระเหยขั้วโลหะอลูมิเนียม

ทำการระเหยขั้วไฟฟ้าอลูมิเนียม ด้วยระบบระเหยสารด้วยความร้อน โดยมีเงื่อนไขในการ ระเหยสารดังนี้

- Base Pressure ประมาณ 4 x 10<sup>-6</sup>mbar
- Evaporation Rate ประมาณ >20 A°/s
- ความหนา 150 นาโนเมตร
- ไม่มีการให้อุณหภูมิแผ่นฐานรองรับ

ใดโอดเปล่งแสงไฮบริดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่สร้างเสร็จจะมีพื้นที่เปล่งแสง 1 ตารางเซนติเมตรดังรูปที่ 3.18 จากนั้นนำไดโอดเปล่งแสงไฮบริดที่สร้างขึ้นไปทำการตรวจวัด สมบัติทางไฟฟ้าและสมบัติทางแสงต่อไป



รูปที่ 3.18 ใคโอคเปล่งแสงไฮบริคที่สร้างเสร็จแล้วมีพื้นที่เปล่งแสง 1 ตารางเซนติเมตร

#### 3.6 การตรวจสอบสมบัติทางไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดโครงสร้าง

#### ITO/NPB/ZnSe/Al

การตรวจสอบสมบัติทางไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดจะทำโดยระบบวัดค่ากระแส และความต่างศักย์ (current-voltage measurement system) ที่จัดขึ้นในห้องปฏิบัติการโดยใช้ KEITHLEY 228 voltage/current source เป็นเครื่องจ่ายความต่างศักย์ให้แก่ไดโอดเปล่งแสง และ KEITHLEY 195A digital multimeter เป็นเครื่องวัดค่ากระแสที่ผ่านไดโอดเปล่งแสงโดย ระบบวัดจะถูกควบคุมโดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เขียนโดยใช้โปรแกรม Labview ผ่านทาง port G-PIB ดังแสดงในรูป 3.19









รูปที่ 3.19 ระบบตรวจวัดสมบัติทางไฟฟ้าที่ใช้ในการหาค่าความสัมพันธ์ระหว่างกระแสที่ไหล ผ่านไดโอดเปล่งแสงและความต่างศักย์ที่ง่ายให้กับตัวไดโอดเปล่งแสง (ก) KEITHLEY 228 voltage/current source (ข) KEITHLEY 195A digital multimeter (ก) โปรแกรมควบคุมการวัดสมบัติทางไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสง

#### 3.7 การตรวจสอบสมบัติทางแสงของใดโอดเปล่งแสงไฮบริดโครงสร้าง

#### ITO/NPB/ZnSe/Al

การตรวจสอบสมบัติทางแสงของใดโอดเปล่งแสงใฮบริดจะทำโดยระบบวัดค่าความส่อง สว่างและความต่างศักย์ของใดโอดเปล่งแสง (luminance-voltage measurement system) ที่จัดขึ้น ในห้องปฏิบัติการโดยใช้ KEITHLEY 228 voltage/current source เป็นเครื่องจ่ายความต่างศักย์ ให้แก่ใดโอดเปล่งแสง และ กล้องวัดความส่องสว่าง (luminance meter) รุ่น LS-110 ของบริษัท KONICA - MINOLTA เป็นเครื่องวัดค่าความสว่างของใดโอดเปล่งแสง โดยการวัดจะถูกควบคุม โดยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เขียนโดยใช้โปรแกรม Labview ผ่านทาง port GPIB และ RS-232 ดัง แสดงในรูป 3.20 และ 3.21



ร**ูปที่ 3.20** ระบบตรวจวัดสมบัติทางแสงที่ใช้ในการหาก่ากวามสัมพันธ์ระหว่างกวามสว่าง ของไดโอคเปล่งแสงและกวามต่างศักย์ที่จ่ายให้กับตัวไดโอคเปล่งแสง

EL for OLED measurement by QOSLab      State      Image (v)	Edit Operate Tools Browse Window Help 수 준 @ (10) 36pt Application Font 국가 문화	• <u> 1</u> 00• 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1			3
EL for OLED measurement by QOSLab      Start Vokage(V)    Start Vokage(V)      Start Vokage(V)    Start Name      Start Vokage(V)    Start Name<					
Stat Voltage(Y)    Stap Voltage(Y)    File met      0    15    C.(Documents and Settings(owner)      1    0    0      1    0    0      1    0    0      1    0    0      1    0    0      1    0    0      1    0    0      1    0    0      1    0    0      1    0    0      1    0    0      1    0    0      1    0    0      1    0    0      1    0    0      1    0    0      1    0    0      1    0    0      1    0    0      1    0    1/0      1    0    1/0      1    0    1/0      1    0    1/0      1    0    1/0      1    0    1/0      1    0    1/0	E	L for OLED	measureme	ent by QOSLab	
Sterr Valoge (V)      Valoge (v)      Lum (G/m² 2)      Pot 0        Sterr Valoge (V)      Valoge (v)      Lum (G/m² 2)      0        Sterr Valoge (V)      0      0      0		Chart Uniterrativ	Chan Hallana (H.)	Elle pape	
Step Vallage (V)      Vallage (V)      Lum (Cd/m~2)        1      0      0		Start Voltage(V.)	15	% C:\Documents and Settings\owner\ 22	
El measurement      Plazo      Plazo        3.00024-12      2.00024-12      2.00024-12      2.00024-12        2.00024-12      2.00024-12      2.00024-12      2.00024-12        2.00024-12      2.00024-12      2.00024-12      2.00024-12        2.00024-12      2.00024-12      2.00024-12      2.00024-12        2.00024-12      1.00012/00000000000000000000000000000000	Stan Voltra (V)	Yoltage (u.)	Lum (Ed/m^2)		
EL measurement 3.0064-1 2.0064-1 2.0064-1 2.0064-1 51.70064-1 51.70064-1 51.70064-1 51.50064-1 51.50064-1 2.0064-0 2.0064-0 2.0064-0 1.000 1.500 1.500 2.500 2.500 2.500 3.500 3.500 4.500 4.500 4.500 4.500 5.500 Magar (k.)	() I	0	0		
10.000441    700.0      2.700441    2.700441      2.500441    2.500441      2.500441    2.500441      2.500441    2.500441      2.500441    2.500441      2.500441    2.500441      2.500441    2.500441      2.500441    2.500441      2.500441    2.500441      2.500441    2.500441      2.500441    2.500441      2.500440    2.500440      2.500400    2.500400      2.500400    1.500 1.750 2.000 2.550 2.550 3.550 3.500 3.750 4.000 4.550					
3.2556+1 3.002+1- 2.756+1- 2.256+1- 2.256+1- 0: 2.002+1- 0: 1.7502+1- 0: 1.002+1- 7.5002+0- 2.002+0- 2.002+0- 2.002+0- 2.002+0- 1.000 1.250 1.500 1.750 2.000 2.250 2.500 2.759 3.000 3.250 3.500 3.750 4.000 4.250 4.500 4.759 5.000 Note for the second seco	El measurement			Plot 0	
3.0004-1- 2.7954-1- 2.5954-1- 2.2954-1- 2.2954-1- 2.17564-1- 2.17564-1- 2.17564-1- 2.17564-1- 2.17564-1- 2.17564-1- 2.17564-1- 2.10004-1- 2.0004-0- 2.0004-0- 2.0004-0- 1.0001.1501.1500.1750.2000.2.250.2.590.3.000 3.250.3.500 3.150 4.000 4.250 4.500 4.750 5.000 100004(-) 2.0004-0- 2.000	3.250E+1 -				
2.7054-1 2.5054-1 2.2054-1 2.2054-1 2.2054-1 1.2754-1 1.17564-1 1.10054-1 7.5054-0 2.5054-0 2.50064-0 2.50064-0 2.50064-0 1.00001,250 1.500 1.750 2.000 2.250 2.500 3.500 3.500 3.750 4.000 4.250 4.500 4.750 5.000 Watge(t)	3.000E+1-				
2.506+4- 2.2056+1- \$2.2056+1- \$2.17506+1- \$1.5706+1- \$1.5006+1- 7.5006+0- 2.5006+	2.750E+1 -				
2.5004+1 8.1754+1- 9.15004+1- 9.15004+1- 9.15004+1- 7.5004-0- 2.5004-0- 2.5004-0- 2.5004-0- 2.5004-0- 1.000 1.250 1.500 1.750 2.000 2.250 2.500 2.59 3.000 3.250 3.500 4.000 4.250 4.500 4.750 5.000 Water (v.)	2.500E+1 -				
1,7902+1- 2,1502+1- 3,1202+1- 1,002+1- 7,502+0- 5,002+0- 2,002+0- 0,0000+0- 1,000 1,250 1,500 1,750 2,000 2,250 2,500 2,759 3,000 3,250 3,500 3,750 4,000 4,250 4,500 4,759 5,000 volge(v.) PLOT Buffer	2.250E+1 -				
B 150024-1- 5 150024-1- 1.00024-1- 2.000240- 2.000240- 2.000240- 1.000 1.500 1.750 2.000 2.550 2.753 3.000 3.550 3.550 4.000 4.550 4.550 4.759 5.000 Maga (v.) ROT Buffer	₹ 1.750E+1-				
5 1.5504-1- 1.50004-1- 7.55040-0- 2.55004-0- 2.55004-0- 0.0004-0-1 1.000 1.550 1.500 1.750 2.000 2.250 2.500 2.750 3.000 3.250 3.500 3.750 4.000 4.250 4.500 4.750 5.000 Veta(κ)	E 1.500E+1-				
1.000#+1- 7.500#+0- 5.000#+0- 2.000#+0- 1.000 1.250 1.500 1.750 2.000 2.250 2.500 2.759 3.000 3.250 3.500 3.750 4.000 4.250 4.500 4.759 5.000 vetge (v.)	∃ 1.250E+1-				
7,000440- 5000440- 2.000440- 0.000440- 1.doo 1.dso 1.sto 1.rtso 2.doo 2.dso 2.fso 3.doo 3.dso 3.dso 3.dso 4.doo 4.dso 4.dso 4.fso 5.doo 1.doo 1.dso 1.dso 1.sto 1.rtso 2.doo 2.dso 2.fso 3.doo 3.dso 3.dso 3.dso 3.dso 4.dso 4.dso 4.dso 4.fso 5.doo	1.000E+1-				
2.5002+0- 0.0002+0- 1.000 1.250 1.500 1.750 2.000 2.250 2.500 2.750 3.000 3.250 3.500 3.750 4.000 4.250 4.500 4.750 5.000 Wolve (v.)	7.500E+0 -				
0.0008+0- 1.000 1.250 1.500 1.750 2.000 2.250 2.500 2.759 3.000 3.550 3.500 3.750 4.000 4.250 4.500 4.759 5.000 vetge(v.)	2.500E+0 -				
1.000 1.250 1.500 1.750 2.000 2.250 2.500 2.750 3.000 3.250 3.750 4.000 4.250 4.500 4.750 5.000 vatog(v)	0.000E+0 -	1 1 1 1	1 1 1 1		
PLOT Buffer	1.000 1.250 1.	500 1.750 2.000 2.250	2.500 2.750 3.000 3.2 Voltae (v.)	50 3.500 3.750 4.000 4.250 4.500 4.750 5.000	
PLOT Buffer					
				PLOT Buffer	

รูปที่ 3.21 โปรแกรมควบคุมการวัคสมบัติทางแสงของใดโอคเปล่งแสง

## 3.8 การตรวจสอบสเปกตรัมการเปล่งแสงด้วยไฟฟ้าของใดโอดเปล่งแสงไฮบริด โครงสร้าง ITO/NPB/ZnSe/Al

สเปกตรัมการเปล่งแสงด้วยไฟฟ้าของไคโอคเปล่งแสงไฮบริดจะถูกตรวจสอบ โคยใช้เกรื่อง Spectrofluorometer ของ Ocean Optics รุ่น USB2000 โดย ใช้สาย fiber optic เป็นตัวนำแสงจากไดโอคเปล่งแสงมายังตัวตรวจวัด ดังแสดงในรูป 3.22



(ก)



รูปที่ 3.22 ระบบตรวจวัดสเปกตรัมการเปล่งแสงด้วยไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงไฮบริด

- (n) USB2000 Spectrofluorometer
- (1) Software 00IBase32