

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 การดำเนินงานวิจัย.....	4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย.....	4
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	5
2.1 ทฤษฎีพื้นฐานของสารอินทรีย์.....	5
2.1.1 พันธะของสารอินทรีย์.....	5
2.1.1.1 ออร์บิทัลอะตอม.....	5
2.1.1.2 ออร์บิทัลโมเลกุล.....	6
2.1.1.3 ไฮบริดออร์บิทัล.....	8
2.2 สารกึ่งตัวนำอินทรีย์.....	10
2.2.1 สารอินทรีย์โมเลกุลขนาดเล็ก.....	12
2.2.2 สารคอนจูเกตพอลิเมอร์.....	13
2.3 ไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์.....	14
2.3.1 กระบวนการทำงานของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์.....	15
2.3.1.1 การฉีดพาหะและการขนส่งพาหะใน OLED.....	17
2.3.1.2 การรวมตัวของพาหะและการปลดปล่อยแสง.....	22
2.3.1.3 การประมาณค่าประสิทธิภาพควอนตัมภายในและภายนอก.....	23
2.3.2 การออกแบบโครงสร้าง OLED แบบหลายชั้น.....	26

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.3.3 หน้าทีและตัวอย่างสารอินทรีย์ที่ใช้ใน OLED	28
2.3.3.1 แผ่นฐานรองรับ.....	29
2.3.3.2 ขั้วไฟฟ้าแอโนด	29
2.3.3.3 ชั้นฉีดโฮล	29
2.3.3.4 ชั้นขนส่งโฮล	30
2.3.3.5 ชั้นเปล่งแสง.....	31
2.3.3.6 ชั้นส่งผ่านอิเล็กตรอน.....	31
2.3.3.7 ชั้นฉีดอิเล็กตรอน.....	32
2.3.3.8 ชั้นขั้วไฟฟ้าแคโทด.....	32
2.4 ไดโอดเปล่งแสงไฮบริดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์.....	33
2.4.1 ไดโอดเปล่งแสงโครงสร้างไฮบริดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์.....	33
2.4.2 สนามไฟฟ้าในสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์.....	34
2.5 สมบัติสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ซิงค์ซีลีไนด์ (ZnSe).....	34
บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	37
3.1 ระบบระเหยสารอินทรีย์.....	38
3.2 สมบัติสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่ใช้ในการสร้างไดโอดเปล่งแสงไฮบริด.....	43
3.2.1 สมบัติทางกายภาพของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ซิงค์ซีลีไนด์.....	43
3.2.2 สมบัติทางกายภาพของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ NPB	44
3.3 การเตรียมฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์บนฐานรองรับกระจกสไลด์	45
3.4 การทำความสะอาดฐานรองรับอินเดียมทินออกไซด์.....	46
3.5 การสร้างไดโอดเปล่งแสงไฮบริดโครงสร้าง ITO/NPB/ZnSe/Al.....	47
3.5.1 เงื่อนไขการเตรียมสารอินทรีย์และอนินทรีย์ด้วยอัตราการระเหยสาร ไม่คงที่.....	48
3.5.2 เงื่อนไขการเตรียมสารอินทรีย์และอนินทรีย์ด้วยอัตราการระเหยสาร คงที่.....	48
3.6 การตรวจสอบสมบัติทางไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงไฮบริด โครงสร้างITO/NPB/ZnSe/Al.....	51

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.7 การตรวจสอบสมบัติทางแสงของไดโอดเปล่งแสงไฮบริด	
โครงสร้าง ITO/NPB/ZnSe/Al.....	52
3.8 การตรวจสอบสเปกตรัมการเปล่งแสงด้วยไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงไฮบริด	
โครงสร้าง ITO/NPB/ZnSe/Al.....	53
บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล.....	54
4.1 การศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าและทางแสงของไดโอดเปล่งแสงไฮบริด	
โครงสร้าง ITO/NPB/ZnSe/Al ที่สร้างโดยอัตราการระเหยสารไม่คงที่.....	54
4.1.1 ผลการวัดสมบัติทางไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดที่ทำการ	
เปลี่ยนแปลงความหนาของชั้นสารอินทรีย์ ZnSe โดยความหนา	
ชั้น NPB คงที่.....	54
4.1.2 ผลการวัดสมบัติทางไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดที่ทำการ	
เปลี่ยนแปลงความหนาของชั้น สารอินทรีย์ NPB โดยความหนา	
ชั้น ZnSe คงที่.....	57
4.1.3 การเปล่งแสงย่านความยาวคลื่นสีน้ำเงินในไดโอดเปล่งแสงไฮบริด	
โครงสร้าง ITO/NPB/ZnSe/Al.....	59
4.2 การศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าและทางแสงของไดโอดเปล่งแสงไฮบริด	
โครงสร้าง ITO/NPB/ZnSe/Al ที่สร้างโดยอัตราการระเหยสารคงที่.....	61
4.2.1 ผลการวัดสมบัติทางไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดสารอินทรีย์	
และสารอินทรีย์โครงสร้าง ITO/NPB/ZnSe/Al เมื่อทำการเปลี่ยน	
แปลงความหนาชั้น NPB และ ZnSe.....	62
4.2.2 ผลการวัดสมบัติทางแสงของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดสารอินทรีย์	
และสารอินทรีย์โครงสร้าง ITO/NPB/ZnSe/Al เมื่อทำการเปลี่ยน	
แปลงความหนาของชั้น NPB และ ZnSe.....	64
4.2.3 ผลการวัดสเปกตรัมการเปล่งแสงด้วยไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสง	
ไฮบริดสารอินทรีย์และสารอินทรีย์โครงสร้าง ITO/NPB/ZnSe/Al.....	66
4.2.4 การเปล่งแสงย่านความยาวคลื่นสีน้ำเงินในไดโอดเปล่งแสงไฮบริด	
สารอินทรีย์และสารอินทรีย์โครงสร้าง ITO/NPB/ZnSe/Al.....	67
4.3 การประยุกต์สร้างไดโอดเปล่งแสงไฮบริดแบบคอตเทมทริกซ์.....	71

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	73
บรรณานุกรม.....	77
ประวัติเขียน	78

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงค่า Glass Transition Temperature T_g , ค่าระดับพลังงานของ HOMO และ LUMO, ค่า Mobility ของโฮลและอิเล็กตรอน ของสารแต่ละตัวที่ใช้ใน OLED.....	32
3.1 สมบัติของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ซิงค์ซัลไฟด์.....	43
3.2 สมบัติของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ NPB.....	44

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะของออร์บิทัล 1s ที่มีลักษณะเป็นแบบทรงกลม.....	5
2.2 ออร์บิทัล 2p ที่ถูกแบ่งโดยระนาบแนบพ คล้ายกับลูกตุ้ม โดยทั้งสองด้านจะมีเฟสต่างกัน.....	6
2.3 ออร์บิทัล d ตามลักษณะของการกระจาย.....	6
2.4 ลักษณะการซ้อนทับของพันธะซิกมา.....	7
2.5 ระดับพลังงานของออร์บิทัล โมเลกุลเมื่อเกิดการซ้อนทับของพันธะซิกมา.....	7
2.6 ลักษณะการซ้อนทับของพันธะพาย.....	8
2.7 sp ออร์บิทัลแบบไฮบริด.....	8
2.8 sp ² ออร์บิทัลแบบไฮบริด.....	9
2.9 sp ³ ออร์บิทัลแบบไฮบริด.....	9
2.10 ตัวอย่างของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์.....	10
2.11 การกระจายของอิเล็กตรอน และการเกิด sp ² ออร์บิทัล ของคาร์บอนที่เป็นพันธะคู่.....	10
2.12 พันธะซิกมาในวงของเบนซีน และพันธะพายในวงของเบนซีน.....	11
2.13 ระดับพลังงานพันธะของอะตอมคาร์บอนกับอะตอมข้างเคียงภายในวงเบนซีน.....	12
2.14 สารกึ่งตัวนำอินทรีย์แบบโมเลกุลขนาดเล็ก	
(ก) TPD (ข) Alq ₃ (ค) DPVBi (ง) CuPc.....	13
2.15 สารกึ่งตัวนำอินทรีย์แบบคอนจูเกตพอลิเมอร์.....	13
2.16 โครงสร้างไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบต่างๆ (ก) แบบชั้นเดียว (ข) แบบสองชั้น	
(ค) แบบหลายชั้น.....	14
2.17 กระบวนการเกิดปรากฏการณ์การเปล่งแสงด้วยไฟฟ้าของ OLED.....	15
2.18 กระบวนการทำงานของ OLED (ก) แบบชั้นเดียว (ข) แบบสองชั้น.....	16
2.19 กลไกที่เป็นไปได้ในการฉีดกระแสที่บริเวณรอยต่อของสารอินทรีย์/ขั้วโลหะ	
(ก) การฉีดกระแสแบบ Schottky โดยทางความไม่บริสุทธิ์หรือความไม่เป็นระเบียบของ	
โครงสร้าง (ข) การฉีดกระแสแบบทะลุผ่าน Fowler-Nordheim tunneling เกิดภายใต้	
สนามไฟฟ้าสูงประมาณ 10 ⁶ -10 ⁷ V/cm.....	20

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.20 (ก) แผนภาพของ SCLC ที่เกิดจากสนามไฟฟ้าภายนอก (V/d) บวกกับสนามไฟฟ้าภายใน (E_{int}) เหนี่ยวนำให้เกิดการฉีดของประจุพาหะที่มากขึ้นเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้ได้ค่าความหนาแน่นกระแสสูง โดยสนามไฟฟ้าทั้งหมด $E_{total} = V/d + E_{int}$ มีอิทธิพลอย่างมากต่อการไหลของกระแส เมื่อให้สัญลักษณ์วงกลมเปิด (O) แทน exceed holes และวงกลมปิด (●) แทน exceed electrons (ข) กราฟเปรียบเทียบของความหนาแน่นกระแสกับความต่างศักย์ (J-V) ของ ohmic current ที่แสดงด้วยเส้นประ (---) และ SCLC ที่แสดงโดยเส้นทึบ (—) โดยกรอบสี่เหลี่ยมจะแสดงค่าของความหนาแน่นกระแสที่สามารถนำไปใช้งานได้.....	21
2.21 ความหนาแน่นกระแส (J) กับความต่างศักย์ (V) ที่ขึ้นอยู่กับความหนาแน่นของสารอินทรีย์ (L)	22
2.22 สถานะซิงเกรตและทริปเปตของเอกซิตอน.....	23
2.23 (ก) เอกซิตอนแบบซิงเกรตที่รวมตัวกันแล้วเกิดการเปล่งแสง (ข) เอกซิตอนแบบทริปเปตที่รวมตัวกันแล้วไม่เกิดการเปล่งแสง	23
2.24 แผนภาพกระบวนการพื้นฐานของการเปล่งแสงด้วยไฟฟ้าใน OLED	24
2.25 การไหลของกระแสในการฉีดและการขนส่งโฮลและอิเล็กตรอนในชั้นสารอินทรีย์ J_h และ J_e เป็นความหนาแน่นกระแสสุทธิของโฮลและอิเล็กตรอนตามลำดับ J_r คือส่วนประกอบของ recombination current density J_h' และ J_e' คือความหนาแน่นกระแสของโฮลและอิเล็กตรอนที่ไม่ได้เกิดการ recombination ตามลำดับ.....	25
2.26 (ก) สามโครงสร้างพื้นฐานของ OLED โครงสร้าง SH-H, SH-E และ DH เมื่อชั้น hole-transport layer (HTL), electron-transport layer (ETL) และ emitter layer (EML) (ข) โครงสร้างชั้นสูงของ OLED สามโครงสร้าง MH-1, MH-2 และ MH-3 โดยที่โครงสร้างสองชั้นของ HTL และ ETL มีผลต่อการปรับปรุงประสิทธิภาพของ OLED.....	27
2.27 ไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์โครงสร้างแบบหลายชั้น.....	28
2.28 ระดับชั้นพลังงานของอุปกรณ์ไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบชั้นเดียว Φ_c คือฟังก์ชันงานของขั้วไฟฟ้าแคโทดและ Φ_A คือฟังก์ชันงานของขั้วไฟฟ้าแอโนด ΔE_h และ ΔE_e คือค่าพลังงานของการฉีดโฮลและอิเล็กตรอนตามลำดับ E_g คือแถบช่องว่าง (Band gap) ระหว่าง HOMO และ LUMO	29
2.29 สารที่นิยมใช้เป็น Hole Injection Layer ใน OLED.....	30
2.30 โครงสร้างของ NPB และ TPD	30

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
2.31 โครงสร้างของ Alq ₃ , DPVBi, DCJTb, DCM2	31
2.32 โครงสร้างของ BAlq.....	31
2.33 โครงสร้างการจัดเรียงตัวของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์.....	34
2.34 บริลลันโซนของโครงสร้างแบบซิงค์เบลน.....	35
2.35 โครงสร้างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์.....	35
2.36 ช่วงการทะลุผ่านของแสงของฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์.....	36
2.37 ช่วงการดูดกลืนของแสงของฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์.....	36
3.1 ระบบประเหยสารอินทรีย์.....	38
3.2 ห้องสะอาดคลาส 10000.....	38
3.3 แผนภาพระบบสุญญากาศของระบบประเหยสารอินทรีย์.....	39
3.4 หัวระเหยสารอินทรีย์.....	40
3.5 ชุดควบคุมการระเหยสารของระบบประเหยสารอินทรีย์.....	40
3.6 อุปกรณ์ภายในห้องสุญญากาศสูง 1.....	41
3.7 ผลึกควอตซ์.....	41
3.8 เครื่องแสดงผลความหนาฟิล์มบาง.....	42
3.9 อุปกรณ์ภายในห้องสุญญากาศสูง 2.....	42
3.10 ผลึกสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ซิงค์ซีลีไนต์ (ZnSe).....	43
3.11 โครงสร้างสารอินทรีย์ NPB.....	44
3.12 ระบบ อาร์ เอฟ แมกนีตรอนสปัตเตอริง.....	45
3.13 (ก) สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำควาสะอาดฐานรองรับ ITO (ข) ขั้นตอนการทำควาสะอาดฐานรองรับ ITO.....	46
3.14 โครงสร้างไดโอดเปล่งแสงไฮบริด ITO/NPB/ZnSe/Al.....	47
3.15 ลวดลาย ITO บนฐานรองรับกระจก.....	47
3.16 หน้ากากสำหรับระเหยสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์.....	48
3.17 หน้ากากสำหรับระเหยขั้วโลหะอลูมิเนียม	49
3.18 ไดโอดเปล่งแสงไฮบริดที่สร้างเสร็จแล้วมีพื้นที่ 1 ตารางเซนติเมตร.....	50

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.19 ระบบตรวจวัดสมบัติทางไฟฟ้าที่ใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างกระแส ที่ไหลผ่านไดโอดเปล่งแสงและความต่างศักย์ที่จ่ายให้กับตัวไดโอดเปล่งแสง (ก) KEITHLEY 228 voltage/current source (ข) KEITHLEY 195A digital multimeter (ค) โปรแกรมควบคุมการวัดสมบัติทางไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสง.....	51
3.20 ระบบตรวจวัดสมบัติทางแสงที่ใช้ในการหาความสัมพันธ์ระหว่างความสว่างของ ไดโอดเปล่งแสงและความต่างศักย์ที่จ่ายให้กับตัวไดโอดเปล่งแสง.....	52
3.21 โปรแกรมควบคุมการวัดสมบัติทางแสงของไดโอดเปล่งแสง.....	52
3.22 ระบบตรวจวัดสเปกตรัมการเปล่งแสงด้วยไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงไฮบริด (ก) USB2000 Spectrofluorometer (ข) Software 00IBase32.....	53
4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความต่างศักย์ของไดโอดเปล่งแสงไฮบริด ที่เปลี่ยนแปลงความหนาชั้น ZnSe เป็น 30 และ 50 nm โดยความหนาของชั้น NPB คงที่ 50 nm.....	55
4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความต่างศักย์ของไดโอดเปล่งแสงไฮบริด ที่เปลี่ยนแปลงความหนาชั้น ZnSe เป็น 30, 50 และ 100 nm โดยความหนาของชั้น NPB คงที่ 100 nm.....	55
4.3 แผนภาพระดับพลังงานของไดโอดเปล่งแสงไฮบริด (ก) เมื่อเกิดจุดบกพร่องของ ผลึก ZnSe (ข) เมื่อทำการจ่ายความต่างศักย์ที่มีค่าน้อย (ค) เมื่อทำการจ่ายความ ต่างศักย์ที่มีค่ามาก.....	56
4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความต่างศักย์ของไดโอดเปล่งแสงไฮบริด ที่เปลี่ยนแปลงความหนาชั้น NPB เป็น 50 และ 100 nm โดยความหนาของชั้น ZnSe คงที่ 30 nm.....	57
4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความต่างศักย์ของไดโอดเปล่งแสงไฮบริด ที่เปลี่ยนแปลงความหนาชั้น NPB เป็น 50, 80 และ 100 nm โดยความหนาของชั้น ZnSe คงที่ 50 nm.....	58
4.6 การเปล่งแสงความยาวคลื่นช่วงสีน้ำเงินในไดโอดเปล่งแสงไฮบริดโครงสร้าง ITO/NPB(50nm)/ZnSe(30nm)/Al เมื่อทำการจ่ายความต่างศักย์ประมาณ 20 โวลต์.....	59
4.7 โครงสร้างแถบพลังงานของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดโครงสร้าง ITO/NPB/ZnSe/Al.....	60
4.8 อัตราการระเหยสารตลอดช่วงการเตรียมฟิล์มบาง ZnSe.....	62

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความต่างศักย์ของไดโอดเปล่งแสงไฮบริด ที่เปลี่ยนแปลงความหนาชั้น ZnSe เป็น 15, 30 และ 50 nm โดยความหนาของชั้น NPB คงที่ 30 nm.....	63
4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความต่างศักย์ของไดโอดเปล่งแสงไฮบริด ที่เปลี่ยนแปลงความหนาชั้น ZnSe เป็น 15, 30 และ 50 nm โดยความหนาของชั้น NPB คงที่ 50 nm.....	63
4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างและความต่างศักย์ของไดโอดเปล่งแสง ไฮบริดที่เปลี่ยนแปลงความหนาชั้น ZnSe เป็น 15, 30 และ 50 nm โดยความหนา ของชั้น NPB คงที่ 30 nm.....	65
4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างและความต่างศักย์ของไดโอดเปล่งแสง ไฮบริดที่เปลี่ยนแปลงความหนาชั้น ZnSe เป็น 15, 30 และ 50 nm โดยความหนา ของชั้น NPB คงที่ 50 nm.....	65
4.13 สเปกตรัมการเปล่งแสงด้วยไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดโครงสร้าง ITO/NPB (50 nm)/ZnSe(30 nm)/Al ที่ทำการจ่ายความต่างศักย์ 16 โวลต์.....	67
4.14 แสงช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงินจากไดโอดเปล่งแสงไฮบริดโครงสร้าง ITO/NPB/ZnSe/Al ที่มีความหนาของชั้น NPB 50 nm และ ZnSe 30 nm (ก) เมื่อจ่ายความต่างศักย์ 12 โวลต์ (ข) เมื่อจ่ายความต่างศักย์ 16 โวลต์.....	68
4.15 (ก) แผนภาพแถบพลังงานของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดโครงสร้าง ITO/NPB/ZnSe/Al (ข) การเปล่งแสงที่เกิดจากจุดบกพร่องของผลึก ZnSe (ค) การเปล่งแสงที่เกิดจากช่องว่างแถบพลังงานของผลึก ZnSe.....	68
4.16 สเปกตรัมการเรืองแสงของฟิล์มบาง ZnSe ที่ถูกกระตุ้นด้วยแสงความยาวคลื่น 330 และ 350 นาโนเมตร	70
4.17 สเปกตรัมการเรืองแสงของฟิล์มบาง ZnSe ที่ถูกกระตุ้นด้วยแสงความยาวคลื่น 330 และ 350 นาโนเมตร	71
4.18 ไดโอดเปล่งแสงไฮบริดแบบคอตเททริกซ์ขนาด 18x18 จุด โดยแต่ละจุดมีขนาด 500 ตารางไมโครเมตร (ก) ก่อนทำการจ่ายความต่างศักย์ (ข) ทำการจ่ายความต่างศักย์แถว เดียว (ค) ทำการจ่ายความต่างศักย์ทุกจุด.....	72