สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

ไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ที่สามารถปรับสีได้

COLOR TUNABLE ORGANIC LIGHT EMITTING DIODE

T120452

สิรินทรา ขันธรรม

SIRINTRA KHANTHAM

วพ
ส731 ว
2554
เลขหมู่.........
เลขทะเบียน 120452
วัน, เดือน, ปี -1 มี.ค. 2555
b.12385396
i..........

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชานาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี

วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2554

KMITL-2011-NT-M-001-005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COLOR TUNABLE ORGANIC LIGHT EMITTING DIODE

SIRINTRA KHANTHAM

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

MASTER OF SCIENCE IN NANOSCIENCE AND NANOTECHNOLOGY

COLLEGE OF NANOTECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2011

KMITL-2011-NT-M-001-005

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2011

COLLEGE OF NANOTECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์ ไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ที่สามารถปรับสีได้

นักศึกษา นางสาวสิรินทรา ขันธรรม

รหัสประจำตัว 51614257

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา นาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี

พ.ศ. 2554

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.จิติ หนูแก้ว

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ดร.เบญจพล ตันฮู้

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและสร้างสิ่งประดิษฐ์ไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ที่สามารถปรับสีได้ โดยมีโครงสร้างที่ประกอบด้วย ขั้วนำไฟฟ้าโปร่งแสงที่สร้างจากฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ (ITO) ชั้นส่งผ่านโฮลเป็นสารอินทรีย์ N,N'-Di(naphthalen-1-yl)-N,N'-diphenyl-benzidine(NPB) ชั้นเปล่งแสงเป็นสารอินทรีย์ 4-(Dicyanomethylene)-2-methyl-6-(4-dimethyl-aminostyryl)-4H-pyran (DCM) ที่เจือลงใน tris(8-hydroxyquinoline) aluminium (Alq_3) และขั้วไฟฟ้าแคโทดเป็นชั้นโลหะ(Al) โดยการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารเจือ DCM ในชั้น Alq_3 ทำให้ผลของสมบัติทางไฟฟ้าและทางแสงของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ที่สร้างขึ้นเปลี่ยนแปลงไป โดยตำแหน่งสูงสุดของสเปกตรัมจะเลื่อนจากย่านสีเขียวไปทางย่านสีแดงเมื่อความเข้มข้นของสารเจือ DCM เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากเมื่อมีการเจือสาร DCM เข้าไปในสาร Alq_3 จะทำให้เกิดแถบพลังงานของสาร DCM ในแถบพลังงานของสาร Alq_3 ที่ทำหน้าที่เป็นสารหลัก เมื่อมีการเจือสาร DCM มากขึ้นก็จะทำให้เกิดแถบพลังงานของสาร DCM ชัดเจนขึ้น ในขณะที่ค่ากระแสและค่าความส่องสว่างมีค่าลดลง ซึ่งอิมพีแดนซ์ของอุปกรณ์จะถูกจำลองเพื่อหาค่าลักษณะทางไฟฟ้า โดยใช้วงจรสมมูลที่ประกอบด้วยวงจรขนานของความต้านทานไฟฟ้าและความจุไฟฟ้าซึ่งจากการวิเคราะห์ผลการทดลองจากกราฟ Cole-Cole ที่มีการไบอัสแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเท่ากัน จะพบว่าค่าอิมพีแดนซ์จะเพิ่มมากขึ้นตามความเข้มข้นของสารเจือ DCM และเมื่อเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารเจือเท่ากัน จะพบว่าค่าอิมพีแดนซ์ลดลงเมื่อมีการไบอัสแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเพิ่มขึ้น จากผลการทดลองเงื่อนไขที่เหมาะสมในการสร้างไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์คือ ความหนาของชั้น NPB ที่ 30 นาโนเมตร และความหนาของชั้น Alq_3ที่เจือด้วยสารอินทรีย์ DCM 50 นาโนเมตร โดยมีอัตราความเข้มข้นของสารเจือเป็น 1:0.01 โดยมีค่าความส่องสว่างสูงสุด 1,590 แคนเดลาต่อตารางเมตร ที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 14 โวลต์ และมีพิกัด CIE (0.444,0.489) จากเงื่อนไขที่ได้นำไปสร้างเป็นไดโอดเปล่งแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารอินทรีย์โครงสร้างแบบหลายชั้น โดยทำการเพิ่มชั้นสารอินทรีย์ NPB ทำหน้าที่เป็นชั้นเปล่งแสง และสารอินทรีย์ 2,9-dimethyl-4,7-diphenyl-1,10-phenanthro-line(BCP) ที่มีความหนา 30 นาโนเมตร เป็นชั้นส่งผ่านอิเล็กตรอน โดยความหนาที่แตกต่างกันของชั้น NPB ที่เพิ่มลงไป จะสามารถปรับสีที่เปล่งแสงออกมาของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ได้ โดยค่ากระแสของอุปกรณ์มีค่าลดลงเมื่อความหนาของชั้น NPB มากขึ้น โดยอิมพีแดนซ์ของอุปกรณ์ได้จากการวิเคราะห์ผลการทดลองจากกราฟ Cole-Cole ที่มีการไบอัสแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเท่ากัน จะพบว่าค่าอิมพีแดนซ์จะเพิ่มมากขึ้นเมื่อความหนาของชั้น NPB มากขึ้น และเมื่อเปรียบเทียบที่ความหนาของชั้น NPB เดียวกัน จะพบว่าค่าอิมพีแดนซ์ลดลงเมื่อมีการไบอัสแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเพิ่มขึ้น โดยที่ตำแหน่งสูงสุดของสเปกตรัมของการเปล่งแสงจะปรากฏตำแหน่งที่ 460 และ 630 นาโนเมตร เนื่องจากเกิดการรวมตัวกันของอิเล็กตรอนกับโฮล ในชั้น Alq_3:DCM และชั้น NPB โดยมีพิกัด CIE (0.342, 0.299) ถึง (0.167, 0.166) ซึ่งขึ้นอยู่กับความหนาของชั้น NPB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Color Tunable Organic Light Emitting Diode
Student	Ms.Sirintra Khantham
Student ID	51614257
Degree	Master of Science
Program	Nanoscience and Nanotechnology
Year	2011
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr. Jiti Nukeaw
Thesis Coadvisor	Dr. Benchapol Tunhoo

ABSTRACT

This research is a study and fabrication of color tunable organic light emitting diode(OLED). The OLED structure consists of indium tin oxide(ITO) as anode electrode, N,N'-Di(naphthalen-1-yl)-N,N'-diphenyl-benzidine(NPB) as hole transport layer(HTL), 4-(Dicyanomethylene-2-methyl–6-(4–dimethyl-aminostyryl)-4H-pyran(DCM) doped tris (8-hydroxyquinoline) aluminium (Alq_3) as emitting layer(EML) and aluminum(Al) as cathode electrode. The Alq_3 was doped by DCM with various of the doping concentration. It was found that the electrical and optical characteristics of OLED depended on the doping concentration of DCM in Alq_3. The electroluminescence(EL) peak position shifted from green to red when the concentration of DCM was increased, because the DCM trap in doped Alq3. The current and luminance intensity of OLED were decrease with increasing the DCM concentration. The electrical impedance of fabricated OLED was simulated by using the RC equivalent circuit. It can be contracted the electrical components from the analysis of Cole–Cole plot. The impedance was increased according to the concentration of DCM at the same DC bias. The result revealed that the optimized thickness of fabricated OLED were 30 nm for NPB and 50 nm for DCM doped Alq_3 at doping concentration 1:0.01. The highest luminance intensity of 1,590 Cd/m^2 at bias voltage of 14 V and CIE coordinate of (0.444,0.489) were observed at the optimized condition. In addition, the multi-layer structure of OLED was developed by adding the NPB organic layer as light emitting layer and the layer of 30 nm of 2,9-dimethyl-4,7- diphenyl-1,10-phenanthro-line (BCP) the transmission electron layer.The NPB layer was controlled at various thicknesses to obtain color tuneable property of the device.The current density of OLED was decreased with increasing NPB

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

thickness. From the Cole-Cole plot, the impedance was increased when thickness of the NPB layer increased. Whereas the impedance was decreased while DC bias voltage increased. The EL spectra exhibits two distinct peaks at 460 and 630 nm, due to electron-hole recombination from energy gap of Alq_3:DCM and NPB layer. The CIE coordinate of the device can be varied from (0.342, 0.299) to (0.167, 0.166) depend on NPB thickness.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ เนื่องจากความกรุณาจากอาจารย์ที่ปรึกษา รศ.ดร.จิติ หนูแก้ว และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ดร.เบญจพล ตันสู้ ผู้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ทั้งทางด้านทฤษฎี และทางด้านปฏิบัติ พร้อมทั้งให้คำแนะนำในการแก้ปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในงานวิจัย ข้าพเจ้าจึงขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ ดร.ศุภนิจ พรธีระภัทร ดร.ปิติพร ถนอมงาม และ ดร.ทุติยาภรณ์ ทิวาวงศ์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ให้คำชี้แนะและการตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จได้ด้วยความเรียบร้อย

ขอขอบคุณ พี่เบญ โบว์ แคน ที่ค่อยช่วยเหลือในการทำงานวิจัยและการใช้เครื่องระบบระเหยสารอินทรีย์ (Low Temperature Evaporation System ; LTE) และเครื่องมือต่างๆ ในการทำงานวิทยานิพนธ์ให้สำเร็จไปได้ด้วยดี

ขอขอบคุณ พี่โม พี่นิ้ม อาย เก่ง ยศ และเพื่อนพี่น้องสมาชิกห้องปฏิบัติการ Central Laboratory และ ห้องปฏิบัติการ Electronics and Control for Nanodevices Laboratory ทุกท่านที่ค่อยช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้กับข้าพเจ้า ในการทำงานวิจัยและในทุกสถานการณ์ที่เกิดขึ้นตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา

ขอขอบคุณ พี่น้อง พ้องเพื่อน ในวิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบังทุกท่านที่ค่อยให้ความช่วยเหลือและให้กำลังใจ ตลอดระยะเวลาที่ผ่านมา

ขอขอบคุณ ศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์และสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบังที่ได้ให้ทุนในการศึกษาและในการสนับสนุนการทำวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ผู้เป็นที่รัก ผู้ค่อยให้กำลังใจ ให้ความอบอุ่นและให้โอกาสในการศึกษาอันมีค่ายิ่ง จนมีข้าพเจ้าในวันนี้ และข้าพเจ้ามีความซาบซึ้งในความกรุณาอันดียิ่งจากทุกท่านที่ได้กล่าวนามมา และขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

สิรินทรา ขันธรรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ III
กิตติกรรมประกาศ V
สารบัญ VI
สารบัญตาราง IX
สารบัญรูป X

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 3
1.3 การดำเนินงานวิจัย 4
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย 5
1.5 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์ 5

บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ 7
2.1 ไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ 7
2.1.1 สารกึ่งตัวนำอินทรีย์ 7
2.1.1.1 โมเลกุลขนาดเล็ก 10
2.1.1.2 คอนจูเกทพอลิเมอร์ 11
2.1.2 กระบวนการทำงานของ OLED 12
2.1.2.1 การฉีดพาหะและการขนส่งพาหะใน OLED 14
2.1.2.2 การรวมตัวของพาหะและการปลดปล่อยแสงของ OLED 20
2.1.2.3 การประมาณค่าประสิทธิภาพควอนตัมภายในและภายนอก 21
2.1.3 การออกแบบโครงสร้าง OLED แบบหลายชั้น 24
2.1.4 หน้าที่ของชั้นสารแต่ละชั้นที่ใช้ในการสร้าง OLED 26
2.1.4.1 แผ่นฐานรองรับ 27
2.1.4.2 ขั้วไฟฟ้าแอโนด 27
2.1.4.3 ชั้นฉีดโฮล 28

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.1.4.4 ชั้นขนส่งโฮล 28

2.1.4.5 ชั้นเปล่งแสง 29

2.1.4.6 ชั้นส่งผ่านอิเล็กตรอน 29

2.1.4.7 ชั้นฉีดอิเล็กตรอน 29

2.1.4.8 ชั้นขั้วไฟฟ้าแคโทด 30

2.2 การเจือสารของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ 31

2.3 ไดอะแกรม CIE 35

2.4 อิมพีแดนซ์หรือความต้านทานเชิงซ้อน 39

2.4.1 วงจรที่มีตัวต้านทาน (R) เพียงอย่างเดียว 41

2.4.2 วงจรที่มีตัวเหนี่ยวนำ (L) เพียงอย่างเดียว 41

2.4.3 วงจรที่มีตัวเก็บประจุ(C) เพียงอย่างเดียว 42

2.4.4 วงจรที่มีตัวต้านทาน(R) กับ ตัวเหนี่ยวนำ (L) ต่ออนุกรมกัน 42

2.4.5 วงจรที่มีตัวต้านทาน(R) กับ ตัวเก็บประจุ (C) ต่ออนุกรมกัน 44

2.4.6 วงจรที่มีตัวต้านทาน(R) กับ ตัวเก็บประจุ (C) ต่อขนานกัน 46

2.4.7 ลักษณะของวงจรสมมูลในการวิเคราะห์ค่าอิมพีแดนซ์ 47

บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 51

3.1 ระบบระเหยสารอินทรีย์ 52

3.2 สารอินทรีย์ที่ใช้การสร้าง OLED 57

3.3 กระบวนการกัดแผ่นฐานรองรับอินเดียมทินออกไซด์ 58

3.4 การทำความสะอาดแผ่นฐานรองรับอินเดียมทินออกไซด์ 58

3.5 การสร้างไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ แบบสองชั้น 59

3.5.1 การปลูกฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ ด้วยระบบระเหยสารอินทรีย์ 60

3.5.2 การระเหยขั้วไฟฟ้าด้วยระบบระเหยสารด้วยความร้อน 61

3.6 การสร้างไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ แบบหลายชั้น 62

3.6.1 การปลูกฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ ด้วยระบบระเหยสารอินทรีย์ 63

3.6.2 การระเหยขั้วไฟฟ้าด้วยระบบระเหยสารด้วยความร้อน 64

3.7 การตรวจสอบสมบัติทางไฟฟ้าของ OLED 65

3.8 การตรวจสอบสเปกตรัมอิเล็กโทรลูมิเนสเซนซ์ ของ OLED 66

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษา เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.9 การตรวจสอบสมบัติทางแสงของ OLED 67

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล 68

4.1 ไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ โครงสร้างแบบสองชั้น 68

4.1.1 ผลการวัดสเปกตรัมอิเล็กโทรลูมิเนสเซนซ์ของ OLED แบบสองชั้น 69

4.1.2 การตรวจสอบสมบัติทางแสงของ OLED แบบสองชั้น 73

4.1.3 การตรวจสอบสมบัติทางไฟฟ้าของ OLED แบบสองชั้น 73

4.1.4 การวิเคราะห์วงจรสมมูลของ OLED แบบสองชั้น 75

4.1.4.1 การวิเคราะห์ค่าอิมพีแดนซ์กับความถี่ 75

4.1.4.2 การวิเคราะห์อิมพีแดนซ์ส่วนจริงกับส่วนจินตภาพ 77

4.2 ไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ โครงสร้างแบบหลายชั้น 81

4.2.1 ผลการวัดสเปกตรัมอิเล็กโทรลูมิเนสเซนซ์ของ OLED แบบหลายชั้น 82

4.2.2 การตรวจสอบสมบัติทางแสงของ OLED แบบหลายชั้น 86

4.2.3 การตรวจสอบสมบัติทางไฟฟ้าของ OLED แบบหลายชั้น 87

4.2.4 การวิเคราะห์วงจรสมมูลของ OLED แบบหลายชั้น 88

4.2.4.1 การวิเคราะห์ค่าอิมพีแดนซ์กับความถี่ 88

4.2.4.2 การวิเคราะห์อิมพีแดนซ์ส่วนจริงกับส่วนจินตภาพ 89

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 95

เอกสารอ้างอิง 97

ประวัติผู้เขียน 100

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 ค่า Glass Transition Temperature T_g, ค่าระดับพลังงานของ HOMO และ LUMO, ค่า Mobility ของโฮลและอิเล็กตรอน ของสารแต่ละตัวที่ใช้ใน OLED 30

3.1 สมบัติของสารอินทรีย์ 57

4.1 พิกัด CIE ของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์โครงสร้างแบบสองชั้น 71

4.2 ค่าความต้านทานและความจุของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์โครงสร้างแบบสองชั้น 79

4.3 ค่าความยาวคลื่นแสงตำแหน่งสูงสุดของสเปกตรัมของโครงสร้างแบบหลายชั้น 83

4.4 พิกัด CIE ของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์โครงสร้างแบบหลายชั้น 84

4.5 ค่าความต้านทานและความจุของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์โครงสร้างแบบหลายชั้น 92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 โครงสร้างไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ (ก) แบบชั้นเดียว (ข) แบบสองชั้น
(ค) แบบหลายชั้น 7

2.2 ตัวอย่างของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ 8

2.3 การกระจายของอิเล็กตรอน และการเกิด sp^2 ออร์บิทัล ของคาร์บอนที่เป็นพันธะคู่ 8

2.4 พันธะซิกมาและพันธะพายในวงของเบนซีน 9

2.5 ระดับพลังงานพันธะของอะตอมคาร์บอนกับอะตอมข้างเคียงภายในวงเบนซีน 10

2.6 สารกึ่งตัวนำอินทรีย์แบบ โมเลกุลขนาดเล็ก (ก) TPD (ข) Alq_3 (ค) DPVBi (ง) CuPc 11

2.7 สารกึ่งตัวนำอินทรีย์แบบคอนจูเกทพอลิเมอร์ 11

2.8 กระบวนการเกิดอิเล็กโทรลูมิเนสเซนซ์ของ OLED 12

2.9 กระบวนการทำงานของ OLED (ก)โครงสร้างแบบชั้นเดียว (ข)โครงสร้างแบบสองชั้น 13

2.10 กลไกในการฉีดกระแสที่บริเวณรอยต่อของสารอินทรีย์กับขั้วโลหะ 2 แบบ 17

2.11 (ก) แผนภาพของ SCLC ที่เกิดจากสนามไฟฟ้าภายนอก (V/d) บวกกับสนามไฟฟ้า
ภายใน (E_{int}) เหนี่ยวนำให้เกิดการฉีดของประจุพาหะที่มากขึ้นเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำ
ให้ได้ค่าความหนาแน่นกระแสสูงสนามไฟฟ้าทั้งหมด $E_{total} = V/d + E_{int}$ มีความหมาย
อย่างมากต่อการไหลของกระแส เมื่อให้ (O) แทนโฮล (●) แทนอิเล็กตรอน
(ข) กราฟของความหนาแน่นกระแสกับความต่างศักย์ (J-V) 18

2.12 ความหนาแน่นกระแสกับความต่างศักย์ที่ขึ้นอยู่กับความหนาของชั้นสารอินทรีย์ 19

2.13 สถานะซิงเกรตและทริปเปตของเอกซิตอน 20

2.14 (ก) เอกซิตอนแบบซิงเกรตที่รวมตัวกันแล้วเกิดการเปล่งแสง
(ข) เอกซิตอนแบบทริปเปตที่รวมตัวกันแล้วไม่เกิดการเปล่งแสง 20

2.15 แผนภาพกระบวนการพื้นฐานของ EL ใน OLED 21

2.16 การไหลของกระแสในการฉีดและการขนส่งโฮลและอิเล็กตรอนในชั้นสารอินทรีย์
J_h และ J_e เป็นความหนาแน่นกระแสสุทธิของโฮลและอิเล็กตรอนตามลำดับ
J_r คือ ส่วนประกอบของความหนาแน่นของกระแสที่ทำให้เกิดการรวมตัว
ของพาหะ (recombination current density) J_h' และ J_e' คือความหนาแน่นกระแส
ของโฮลและอิเล็กตรอนที่ไม่ได้เกิดการรวมตัวกันของพาหะ (recombination) 22

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

2.17 (ก) สารโครงสร้างพื้นฐานของ OLED โครงสร้าง SH-H, SH-E และ DH เมื่อชั้น HTL, ETL และ EML (ข) โครงสร้างชั้นสูงของ OLED สามโครงสร้าง MH-1 MH-2 และ MH-3 โดยที่โครงสร้างสองชั้นของ HTL และ ETL มีผลต่อการปรับปรุงประสิทธิภาพของ OLED 25

2.18 ไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์โครงสร้างแบบหลายชั้น 26

2.19 ระดับชั้นพลังงานของอุปกรณ์ไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบชั้นเดียว Φ_C คือ ฟังก์ชันงานของขั้วไฟฟ้าแคโทดและ Φ_A คือฟังก์ชันงานของขั้วไฟฟ้าแอโนด ΔE_h และ ΔE_e คือกำแพงของการฉีดโฮลและอิเล็กตรอนตามลำดับ E_g คือแถบช่องว่าง(Band gap) ระหว่างระดับพลังงาน HOMO และ LUMO 27

2.20 สารที่ใช้เป็น Hole Injection Layer ใน OLED 28

2.21 โครงสร้างของ NPB และ TPD 28

2.22 โครงสร้างของ Alq_3, DPVBi, DCJTB, DCM2 29

2.23 โครงสร้างของ BAlq 29

2.24 ไดอะแกรมของชั้นเปล่งแสงของสาร Alq_3ที่มีการเจือด้วยสาร DCM 32

2.25 พีคของ EL ที่เลื่อนไปทางสีน้ำเงิน เมื่อมีความเข้มข้นของ DCM น้อยลง 32

2.26 ลักษณะความหนาแน่นของกระแสกับแรงดัน เมื่ออัตราความเข้มข้นของสาร Alq3:DCM (1:0.01, 1:0.05, 1:0.1, 1:0.2, 1:0.3, 1:0.4) 33

2.27 พีคของพลังงาน EL กับความเข้มข้นของสารเจือ DCM 34

2.28 ความหนาแน่นกระแสกับแรงดัน ที่ความเข้มข้นของสารเจือ DCM ต่างๆ 34

2.29 ฟังก์ชันความไวแสงของตามนุษย์ (Color-Matching Functions) 35

2.30 ไดอะแกรม CIE 36

2.31 สเปกตรัม EL เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความหนาของชั้น DPVBi 37

2.32 พิกัด CIE เมื่อเปลี่ยนแปลงความหนาของชั้น DPVBi 38

2.33 พิกัด CIE เมื่อจ่ายแรงดันต่างกัน 38

2.34 อิมพีแดนซ์ของ R, L และ C เป็นแบบเวกเตอร์ 39

2.35 อิมพีแดนซ์ต่อแบบอนุกรม 40

2.36 อิมพีแดนซ์ต่อแบบขนาน 40

2.37 (ก)วงจร RL อนุกรม (ข)ไดอะแกรมของรูปคลื่น (ค)เฟสเซอร์ไดอะแกรม 43

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

2.38 ที่มาของอิมพีแดนซ์ไดอะแกรม 44

2.39 (ก)วงจร RC อนุกรม (ข)ไดอะแกรมของรูปคลื่น (ค)เฟสเซอร์ไดอะแกรม 44

2.40 ที่มาของอิมพีแดนซ์ไดอะแกรม 45

2.41 (ก)วงจร RC ขนาน (ข)ไดอะแกรมรูปคลื่น (ค)เฟสเซอร์ไดอะแกรม 46

2.42 (ก) วงจรมีตัวต้านทานเพียงอย่างเดียว (ข) กราฟ Cole – Cole จะมีจุดบนแกน X 47

2.43 (ก) วงจรมีตัวเก็บประจุเพียงอย่างเดียว (ข) กราฟ Cole – Cole จะมีจุดบนแกน Y ฝั่งบน 48
(ค) กราฟ Cole – Cole จะมีจุดบนแกน Y ฝั่งล่าง

2.44 (ก) วงจรมีตัวต้านทานกับตัวเก็บประจุต่ออนุกรมกัน (ข) กราฟ Cole – Cole จะมีจุดบน 49
แกน X สำหรับตัวต้านทาน และ จะมีจุดบนแกน Y สำหรับตัวเก็บประจุ
(ค) กราฟ Cole – Cole ของวงจรที่มีตัวต้านทานกับตัวเก็บประจุต่ออนุกรมกัน

2.45 (ก) วงจรมีตัวต้านทานกับตัวเก็บประจุต่อขนานกัน (ข) กราฟ Cole – Cole ของวงจร 49
ที่มีตัวต้านทานกับตัวเก็บประจุต่อขนานกัน

2.46 (ก) วงจรที่มีตัวต้านทานต่ออนุกรมกับตัวต้านทานที่ต่อขนานกับตัวเก็บประจุ 50
(ข) กราฟ Cole – Cole จะมีจุดบนแกน X สำหรับตัวต้านทานและจะมีจุดในลักษณะเป็น
ครึ่งวงกลมในระนาบ สำหรับตัวต้านทานที่ต่อขนานกับตัวเก็บประจุ (ค)กราฟCole – Cole
ของวงจรที่มีตัวต้านทานต่ออนุกรมกับตัวต้านทานที่ต่อขนานกับตัวเก็บประจุ

3.1 ไดอะแกรมขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 51

3.2 ระบบระเหยสารอินทรีย์ 52

3.3 แผนภาพระบบสุญญากาศของระบบระเหยสารอินทรีย์ 53

3.4 หัวระเหยสารอินทรีย์ 54

3.5 ชุดควบคุมการระเหยสารของระบบระเหยสารอินทรีย์ 54

3.6 อุปกรณ์ช่วงล่างภายในห้องสุญญากาศสูง 55

3.7 อุปกรณ์ช่วงบนภายในห้องสุญญากาศสูง 55

3.8 ผลึกควอทซ์ 56

3. 9 เครื่องแสดงผลความหนาฟิล์มบาง 56

3.10 แผ่นฐานรองรับอินเดียมทินออกไซด์ (ITO) ที่ถูกปิดด้วยหน้ากาก 58

3.11 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำความสะอาดฐานรองรับ ITO 59

3.12 ลวดลาย ITO บนฐานรองรับที่กระจก 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

3.13 หน้ากากสำหรับระเหยสารอินทรีย์ 60

3.14 หน้ากากสำหรับระเหยขั้ว Al 61

3.15 ไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ ที่สร้างเสร็จแล้วมีพื้นที่ 0.5x0.5 ตารางเซนติเมตร 61

3.16 (ก) โครงสร้าง และ (ข) ไดอะแกรมไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบสองชั้น 62

3.17 ลวดลาย ITO บนฐานรองรับที่กระจก 63

3.18 หน้ากากสำหรับระเหยสารอินทรีย์ 63

3.19 หน้ากากสำหรับระเหยขั้ว Al 64

3.20 ไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ที่สร้างเสร็จแล้วมีพื้นที่ 0.5x0.5 ตารางเซนติเมตร 64

3.21 (ก) โครงสร้าง และ (ข) ไดอะแกรมไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบหลายชั้น 65

3.22 ระบบวัดสมบัติทางไฟฟ้า Agilent E4980A 20Hz-2MHz Precision LCR Meter 65

3.23 ระบบตรวจวัดสเปกตรัมอิเล็กโทรลูมิเนสเซนซ์ USB4000 Spectrophotometer 66

3.24 ไดอะแกรมระบบวัดของการตรวจสอบสมบัติทางแสง 66

3.25 กล้องวัดความส่องสว่าง รุ่น LS-110 67

3.26 ไดอะแกรมระบบวัดของการตรวจสอบสมบัติทางแสง 67

4.1 โครงสร้างและไดอะแกรมระดับพลังงานของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบสองชั้น 68

4.2 สเปกตรัมอิเล็กโทรลูมิเนสเซนซ์ของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบสองชั้น 69

4.3 พีคของพลังงาน EL กับความเข้มข้นของสารเจือ DCM 70

4.4 ไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบสองชั้นของโครงสร้างที่เป็น ITO/NPB30nm/Alq_3:DCM (1:x)50 nm/Al 150nm โดย (ก) x = 0,(ข) x = 0.01,(ค) x = 0 .03 และ (ง) x = 0.05 70

4.5 พิกัด CIE ของ ไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบสองชั้น 71

4.6 ไดอะแกรมระดับพลังงานการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนกับโฮลของ ไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบสองชั้น (ก) ไม่มีการเจือ (ข) มีการเจือ 0.01 (ค) มีการเจือ 0.03 (ง) มีการเจือ 0.05 72

4.7 ค่าความส่องสว่างกับความต่างศักย์ของ ไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบสองชั้น 73

4.8 ค่ากระแสกับความต่างศักย์ของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบสองชั้น 74

4.9 ความหนาแน่นกระแสกับแรงดัน ที่ความเข้มข้นของสารเจือ DCM ต่างๆ 75

4.10 ค่าอิมพีแดนซ์กับความต่างถี่ของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบสองชั้น 76

4.11 การวิเคราะห์ค่าอิมพีแดนซ์ส่วนจริง กับส่วนจินตภาพ (กราฟ Cole-Cole) 77

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.12 (ก) วงจรสมมูล (ข) โครงสร้าง ไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบสองชั้น 78

4.13 แผนภูมิไดอะแกรมเปรียบเทียบค่า Rp1 กับ Rp2 ที่มีการไบอัสที่ 0V 80

4.14 แผนภูมิไดอะแกรมเปรียบเทียบค่า Rp1 กับ Rp2 ที่มีการไบอัสที่ 8V 80

4.15 โครงสร้างและไดอะแกรมระดับพลังงานของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบหลายชั้น 82

4.16 สเปกตรัมอิเล็กโทรลูมิเนสเซนซ์ของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบหลายชั้น 83

4.17 ไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบหลายชั้น ขณะจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้า 30โวลต์ของโครงสร้างที่เป็น ITO/NPB30nm/Alq3:DCM (1:0.01) 50 nm/NPB x nm/BCP 30nm/Al 150 nm โดย x = (ก) NPB 20 nm, (ข) NPB 25 nm, (ค) NPB 30 nm (ง) NPB 35 nm, (จ) NPB 40 nm 83

4.18 พิกัด CIE ของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบหลายชั้น 84

4.19 ไดอะแกรมระดับพลังงานไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบหลายชั้น 85

4.20 ค่าความส่องสว่างกับความต่างศักย์ของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบหลายชั้น 86

4.21 ค่าความหนาแน่นกระแสกับความต่างศักย์ของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบหลายชั้น 87

4.22 ค่าอิมพีแดนซ์กับความต่างถี่ของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบหลายชั้น 88

4.23 การวิเคราะห์ค่าอิมพีแดนซ์ส่วนจริง กับส่วนจินตภาพ (กราฟ Cole-Cole) 90

4.24 (ก) วงจรสมมูล (ข) โครงสร้าง ไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบหลายชั้น 91

4.25 แผนภูมิไดอะแกรมเปรียบเทียบค่า R_{P1}, R_{P2}, R_{P3} และ R_{P4} ที่มีการไบอัสที่ 20V 93

4.26 แผนภูมิไดอะแกรมเปรียบเทียบค่า R_{P1}, R_{P2}, R_{P3} และ R_{P4} ที่มีการไบอัสที่ 25V 93

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ (Organic Light Emitting Diode ; OLED) เป็นอุปกรณ์เปล่งแสง (Light Emitting Device ; LEDs) ที่สร้างจากสารอินทรีย์ ทำงานโดยการเปล่งแสงออกมาจากสารอินทรีย์ที่ความยาวคลื่นต่างๆ ขึ้นอยู่กับชนิดของสารอินทรีย์ที่ใช้และโครงสร้างของไดโอดเปล่งแสง ในปัจจุบันไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ได้รับความสนใจอย่างมาก เนื่องจากมีศักยภาพสูงพอที่จะนำไปประยุกต์สร้างเป็นจอแสดงผลแบบแบนบาง (Flat Panel Display) อุปกรณ์ชนิดนี้ ทำให้เทคโนโลยีของ OLED ถูกพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว เพื่อให้มีประสิทธิภาพเทียบเท่ากับอุปกรณ์เปล่งแสงสารอนินทรีย์ที่ใช้อยู่ทั่วไป ในอนาคตอันใกล้นี้นักวิจัยเชื่อว่าจอแสดงผลที่สร้างจาก OLED จะเข้ามามีบทบาทสำคัญแทนจอแสดงผลที่มีอยู่ในปัจจุบัน

การศึกษาวิจัยทางด้าน OLED เริ่มจากในปี ค.ศ. 1963 Pope และคณะ[1] ได้มีการค้นพบปรากฏการณ์ อิเล็กโทรลูมิเนสเซนส์ (Electroluminescence, EL) จากสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ ซึ่งในขณะนั้นความสว่างของการเปล่งแสงของอุปกรณ์มีค่าต่ำและสามารถสว่างอยู่ได้เพียงเวลาสั้นๆ หลังจากนั้นได้มีการศึกษาและพัฒนาเทคโนโลยีทางด้านนี้เรื่อยมาจนกระทั่งในปี ค.ศ. 1987 C. W. Tang และ S. A. Van Slyke[2] ทำการสร้างไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ ที่เปล่งแสงในช่วงความยาวคลื่นแสงสีเขียวจากสารอินทรีย์ Tris(8-Hydroxyquinoline)Aluminum (Alq_3)โดย OLED ที่สร้างขึ้นเป็นโครงสร้างแบบหลายชั้น (Multi-Layer) ซึ่งเตรียมโดยวิธีระเหยสารในสุญญากาศ และพบว่า OLED ที่ทำการประดิษฐ์ขึ้นมานี้ สามารถนำไปประยุกต์ใช้เป็นจอแสดงผลแบบบางได้ การค้นพบครั้งนี้เป็นจุดเริ่มต้นที่สำคัญของการศึกษาวิจัยและพัฒนา OLED เพื่อให้มีประสิทธิภาพสูงรวมทั้งสามารถนำมาใช้งานได้จริงในอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ต่อไปในอนาคต

เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับจอแสดงผลที่พบในปัจจุบัน เช่น จอแสดงผลแบบหลอดรังสีแคโทด (Cathode Ray Tubes ; CRT) และจอแสดงผลแบบ (Liquid Crystal Display ; LCD) พบว่าจอแสดงผลที่สร้างจาก OLED มีคุณสมบัติพิเศษและมีข้อได้เปรียบในหลายๆ ด้าน เช่น ด้านวัสดุที่ใช้ OLED สร้างจากสารอินทรีย์ที่สามารถสังเคราะห์ขึ้นได้เองจากห้องทดลองทำให้ต้นทุนด้านวัสดุมีราคาต่ำและยังสามารถปรับปรุงโครงสร้างทางเคมีของสารเพื่อเปลี่ยนแปลงสมบัติของสารอินทรีย์ได้ง่ายและหลากหลาย นอกจากนี้สารอินทรีย์ส่วนมากสามารถย่อยสลายได้ในธรรมชาติ จึงไม่เป็นอันตรายต่อสิ่งแวดล้อม ส่วนด้านการสร้าง OLED สามารถสร้างได้โดยใช้กระบวนการเช่น วิธีระเหยสารด้วยความร้อนในสุญญากาศ วิธีการเคลือบโดยการหมุน (Spin

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Coating) เป็นต้น ซึ่งเป็นกระบวนการที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อนราคาไม่แพง รวมทั้งสามารถเตรียมได้พร้อมกันเป็นจำนวนมาก ทำให้ต้นทุนของการสร้างจอแสดงผลที่สร้างจาก OLED มีราคาต่ำ ส่วนด้านการใช้งาน จอแสดงผลที่สร้างจาก OLED มีจุดเด่นตรงที่ บาง น้ำหนักเบา มีความสว่างสูง มีความเร็วในการตอบสนองสูง สามารถเปล่งแสงได้ด้วยตัวเองไม่จำเป็นต้องใช้แสงจากด้านหลังทำให้ประหยัดพลังงาน และมีมุมมองที่กว้างกว่า จอแสดงผลแบบเดิม ข้อได้เปรียบประการสำคัญที่ทำให้ OLED ได้รับความสนใจอย่างมากคือ สามารถที่จะสร้างบนฐานรองรับที่สามารถโค้งงอได้ เช่น พลาสติก ทำให้นักวิจัยจำนวนมากเชื่อว่า OLED จะเป็นเทคโนโลยีที่สำคัญที่จะนำไปสู่ความสำเร็จในการสร้างจอแสดงผลแบบโค้งงอ (Flexible Display)[1]

ด้วยข้อได้เปรียบต่างๆ ที่ได้กล่าวมาทำให้ในปัจจุบัน OLED ยังคงได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยงานวิจัยจะเน้นไปทางด้านการปรับปรุงประสิทธิภาพการเปล่งแสงของ OLED ให้มีค่าสูงขึ้น ทั้งทางด้านการปรับปรุงโครงสร้างทางเคมีของสารอินทรีย์ และ การออกแบบโครงสร้างแต่ละชั้นของตัวอุปกรณ์ ซึ่ง OLED ที่ดีควรจะใช้ค่าความต่างศักย์ต่ำและค่าประสิทธิภาพการส่องสว่างสูงปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของ OLED คือปริมาณประจุที่ฉีดเข้าไปในชั้นสารอินทรีย์และความสามารถในการส่งผ่านประจุในสารอินทรีย์ จึงได้มีความพยายามที่จะจำกัดการฉีดโฮลเนื่องจากสภาพคล่องทางไฟฟ้าของโฮลของสารอินทรีย์โดยทั่วไปมีค่าประมาณ 10^{-7} – 10^{-3} cm^2/Vs ส่วนสภาพคล่องทางไฟฟ้าของอิเล็กตรอนมีค่าน้อยกว่า 10-100 เท่า เพื่อให้โฮลกับอิเล็กตรอนสามารถรวมตัวกันแล้วปลดปล่อยแสงได้มากที่สุดจึงทำการกั้นโฮล ที่บริเวณรอยต่อของขั้วแอโนดกับสารอินทรีย์ หรือที่บริเวณระหว่างรอยต่อของสารอินทรีย์กับสารอินทรีย์และเพิ่มการฉีดอิเล็กตรอนโดยทำการปรับปรุงขั้วแคโทดจากการเจือสารหรือเพิ่มชั้นต่างๆเข้าไป

ไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ยังสามารถเปล่งแสงออกมาได้หลายสี โดยการเรืองแสงเป็นสิ่งสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อการเกิดความสว่างของ OLED เช่น แรงดันขีดเริ่ม (Turn on Voltage) ประสิทธิภาพและช่วงชีวิต (Lifetime) ดังนั้นการใช้วัสดุในการเปล่งแสงสีต่างๆ เช่น แสงสีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน จากสามสีสามารถนำมาผสมแม่สีกัน เพื่อให้ได้จอแสดงผลเต็มสี (Full Color Displays) ซึ่งแนวทางในการประดิษฐ์มีได้หลายวิธี เช่นในการผสมแม่สี ของโครงสร้างแบบหลายชั้น โดยการเปล่งแสงจากชั้นต่างๆรวมกันเพื่อทำให้เกิดแสงสีที่ต้องการ หรืออีกวิธีหนึ่งจะใช้เทคนิคของการเจือสารในชั้นเปล่งแสง ซึ่งจะมีชั้นเปล่งแสงเพียงชั้นเดียว โดยหาอัตราส่วนความเข้มข้นของสารเจือที่เหมาะสม ที่ให้เกิดการเปล่งแสงสีที่ต้องการ เป็นต้น[3] โดยไดอะแกรม CIE (The Commision Internationale de I'Eclairage) จะนำมาใช้แสดงผลสีของ OLED ที่เปล่งแสงออกมา ซึ่งจะสามารถบอกตำแหน่งพิกัด CIE ของการรวมสีของ OLED เพื่อนำไปสู่การวิเคราะห์หาความหนาที่เหมาะสมหรืออัตราการเจือของสารที่เหมาะสมเพื่อให้ได้การเปล่งแสงในสีที่เราต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้ยังมีการวิจัยเกี่ยวกับกระบวนการเสื่อมสภาพของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ รวมทั้งการทำให้ของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ มีอายุการใช้งานนานขึ้นโดยการป้องกันความชื้นและออกซิเจนในอากาศโดยการห่อหุ้ม โดยใช้พอลิเมอร์ (Polymer) บางชนิดเป็นต้น

จากที่ได้กล่าวมาจะเห็นได้ว่าการพัฒนาประสิทธิภาพของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ ให้สูงขึ้น เป็นความจำเป็นอย่างยิ่ง โดยหนึ่งในหลายวิธีที่จะเพิ่มประสิทธิภาพไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ คือ วิธีการแทรกชั้นสารอินทรีย์ซึ่งทำหน้าที่เป็นชั้นส่งผ่านโฮล (Hole Transport Layer ; HTL) เข้าไปในโครงสร้างของ ไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ นอกจากนี้การศึกษาถึงเรื่องการปรับเปลี่ยนสีของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ ยังขึ้นอยู่กับอัตราส่วนของความเข้มข้นของสารเจือและขึ้นอยู่กับความหนาของชั้นEML ซึ่งมีส่วนช่วยให้ประสิทธิภาพสูงขึ้นด้วยเช่นกัน

สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและสร้างสิ่งประดิษฐ์ไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ที่สามารถปรับสีได้ ที่เป็นโครงสร้างแบบสองชั้น (Double Layer OLED) โดยมีสารอินทรีย์ NPB เป็นชั้นส่งผ่านโฮล สารอินทรีย์ DCM ที่เจือลงใน Alq_3 เป็นชั้นเปล่งแสงสีส้ม (Emitting Layer ; EML) และชั้นส่งผ่านอิเล็กตรอน (Electron Transport Layer ; ETL) มีขั้วนำไฟฟ้าโปร่งแสงเป็นฟิล์มบางอินเดียมทินออกไซด์ (ITO) เป็นขั้วไฟฟ้าแอโนด และขั้วโลหะอลูมิเนียม (Al) เป็นขั้วไฟฟ้าแคโทด โดยการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารเจือ DCM ในชั้นสารอินทรีย์ Alq_3 ที่จะส่งผลต่อสมบัติทางไฟฟ้าและสมบัติทางแสงของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ที่สร้างขึ้น และนำเงื่อนไขความเข้มข้นของสารเจือที่เหมาะสม ไปพัฒนาสร้างเป็นไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์โครงสร้างแบบหลายชั้น (Multi-Layer OLED) โดยทำการเพิ่มชั้นสารอินทรีย์ NPB ที่ทำหน้าที่เป็นชั้นเปล่งแสงสีน้ำเงิน และชั้นสารอินทรีย์ BCP ที่ทำหน้าที่เป็นชั้นส่งผ่านอิเล็กตรอน โดยการเปลี่ยนแปลงความหนาของชั้นสารอินทรีย์ NPB ที่จะส่งผลต่อสมบัติทางไฟฟ้าและสมบัติทางแสงของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ที่สร้างขึ้น โดยจะทำการหาเงื่อนไขความหนาที่เหมาะสมเพื่อพัฒนาเป็นไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์โครงสร้างแบบหลายชั้นที่มีประสิทธิภาพสูงต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 ศึกษาวิธีการปลูกฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์โดยระบบระเหยสารอินทรีย์ (Low Temperature Evaporation System ; LTE)

1.2.2 ศึกษาการสร้างไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบสองชั้น โดยมีชั้นของสาร NPB เป็นชั้นส่งผ่านโฮลและมีการเจือสาร DCM ลงไปใน Alq_3 ซึ่งทำหน้าที่เป็นชั้นเปล่งแสงและชั้นส่งผ่านอิเล็กตรอน โดยเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารในชั้นเปล่งแสง

1.2.3 ศึกษาการสร้างไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบหลายชั้น โดยการรวมกันระหว่างการเปล่งแสงสีส้มกับแสงสีน้ำเงิน โดยให้ชั้น Alq_3 ที่มีการเจือสาร DCM ทำหน้าที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เปล่งแสงสีส้ม และให้ชั้นสาร NPB ทำหน้าที่เปล่งแสงสีน้ำเงิน โดยมีชั้นสาร BCP เป็นชั้นส่งผ่านอิเล็กตรอน โดยเปลี่ยนแปลงความหนาของชั้นเปล่งแสงสีน้ำเงิน

1.2.4 ศึกษาการวัดและวิเคราะห์สเปกตรัมอิเล็กโทรลูมิเนสเซนซ์ (Electroluminescence) กับสมบัติทางแสงของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ ด้วยระบบวัดทางแสง

1.2.5 ศึกษาการวัดและวิเคราะห์สมบัติทางไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ ด้วยระบบวัดทางไฟฟ้า

1.2.6 ศึกษาการวิเคราะห์วงจรสมมูล (Equivalent Circuit Analysis) ของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ ด้วยระบบวิเคราะห์อิมพีแดนซ์

1.2.7 ทำการวิเคราะห์และเปรียบเทียบความเข้มข้นของสารที่ใช้ในการเจือสารของโครงสร้างแบบสองชั้นที่เหมาะสม เพื่อนำไปสร้างเป็นโครงสร้างแบบหลายชั้น และเปรียบเทียบความหนาของชั้นสารที่เหมาะสม เพื่อนำไปพัฒนาสร้างเป็นไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์โครงสร้างแบบหลายชั้นให้มีประสิทธิภาพสูงต่อไป

1.3 การดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาและสร้างสิ่งประดิษฐ์ไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบสองชั้น และไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบหลายชั้นที่สามารถปรับสีได้ โดยไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบสองชั้น จะมีสารอินทรีย์ NPB เป็นชั้นส่งผ่านโฮล และ Alq_3 ที่มีการเจือสาร DCM เป็นชั้นเปล่งแสงและชั้นส่งผ่านอิเล็กตรอน โดยการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารในชั้นเปล่งแสง ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบสองชั้น จากนั้นนำเงื่อนไขการเจือสารที่เหมาะสมไปสร้างเป็นไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบหลายชั้น โดยการรวมตัวกันระหว่างการเปล่งแสงสีส้มกับการเปล่งแสงสีน้ำเงินเข้าด้วยกัน ซึ่งมีชั้นAlq_3 ที่มีการเจือสาร DCM เป็นชั้นเปล่งแสงสีส้ม และชั้นสาร NPB เป็นชั้นเปล่งแสงสีน้ำเงิน โดยมีชั้นสาร BCP เป็นชั้นส่งผ่านอิเล็กตรอน โดยการเปลี่ยนแปลงความหนาของชั้นเปล่งแสงสีน้ำเงิน ซึ่งมีผลต่อประสิทธิภาพของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบหลายชั้น โดยทำการวัดและวิเคราะห์สเปกตรัมอิเล็กโทรลูมิเนสเซนซ์ของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ด้วยเครื่อง Spectrophotometer จากนั้นตรวจสมบัติทางแสงโดยการวัดค่าความส่องสว่าง เมื่อเปลี่ยนแปลงค่าความต่างศักย์ ด้วยกล้องวัดความส่องสว่าง (Luminance Meter LS-110) และตรวจสอบสมบัติทางไฟฟ้าโดยการวัดความหนาแน่นกระแสกับความต่างศักย์ , ตรวจสอบลักษณะของอิมพีแดนซ์ (Impedance) กับความถี่ ด้วยระบบวัดทางไฟฟ้า และจะนำมาวิเคราะห์วงจรสมมูลกับกราฟ Cole-Cole จากนั้นนำข้อมูลที่ได้จากการทดลองไปทำการวิเคราะห์ เพื่อนำไปพัฒนาสร้างเป็นไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบหลายชั้นที่มีประสิทธิภาพสูงต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1.4.1 มีความรู้ความเข้าใจในเทคนิค และวิธีการในการระเหยสารกึ่งตัวนำอินทรีย์โดยระบบระเหยสารอินทรีย์

1.4.2 สามารถสร้างไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ แบบสองชั้น โดยมีชั้นสาร Alq_3 ที่มีการเจือสาร DCM เป็นชั้นเปล่งแสงได้

1.4.3 สามารถสร้างไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบหลายชั้น โดยมีการรวมกันระหว่างชั้นเปล่งแสงสีส้มกับชั้นเปล่งแสงสีน้ำเงิน โดยชั้นสาร Alq_3 ที่มีการเจือสาร DCM เป็นชั้นเปล่งแสงสีส้ม และชั้นสาร NPB เป็นชั้นเปล่งแสงสีน้ำเงินได้

1.4.4 สามารถวัดและวิเคราะห์สเปกตรัมอิเล็กโทรลูมิเนสเซนซ์กับสมบัติทางแสงของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ ด้วยระบบวัดทางแสงได้

1.4.5 สามารถวัดและวิเคราะห์สมบัติทางไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ ด้วยระบบวัดทางไฟฟ้าได้

1.4.6 สามารถวิเคราะห์วงจรสมมูล (Equivalent Circuit Analysis) ของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ ด้วยระบบวิเคราะห์อิมพีแดนซ์

1.4.7 สามารถนำข้อมูลและเงื่อนไขที่ได้ ไปพัฒนาสร้างเป็นไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์โครงสร้างแบบหลายชั้นให้มีประสิทธิภาพสูงได้

1.5 รายละเอียดของวิทยานิพนธ์

วิทยานิพนธ์เล่มนี้แบ่งเป็น 5 บท ซึ่งในแต่ละบทมีรายละเอียดดังนี้

1.5.1 บทที่ 1 บทนำ ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

1.5.1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

1.5.1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.5.1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.5.1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย

1.5.2 บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

1.5.2.1 ไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ กล่าวถึง กระบวนการทำงานและโครงสร้างของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์

1.5.2.2 การเจือสารของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ กล่าวถึง การเจือสารเพื่อเพิ่มแถบพลังงานในชั้นเปล่งแสงเพื่อให้เปล่งแสงในสีที่ชัดเจนตามความต้องการ โดยเฉพาะในกรณีที่ต้องการเพิ่มย่านความยาวคลื่นในการเปล่งแสง

1.5.2.3 ไดอะแกรม CIE กล่าวถึง การวิเคราะห์สีจากแสงสเปคตรัม โดยจะสัมพันธ์กับความยาวคลื่นแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.5.2.4 อิมพีแดนซ์หรือความต้านทานเชิงซ้อน กล่าวถึง การวิเคราะห์วงจรสมมูลของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์

1.5.3 บทที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

1.5.3.1 ระบบระเหยสารอินทรีย์ กล่าวถึง ระบบที่ถูกออกแบบมาเพื่อให้สามารถระเหยสารอินทรีย์ได้เป็นอย่างมีประสิทธิภาพ

1.5.3.2 กระบวนการกัดและทำความสะอาดแผ่นฐานรองรับอินเดียมทินออกไซด์

1.5.3.3 การสร้างไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบสองชั้นและแบบหลายชั้น

1.5.3.4 การตรวจสอบสมบัติทางไฟฟ้าและทางแสง

1.5.4 บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล เป็นบทที่นำเสนอผลการทดลอง ของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบสองชั้น และแบบหลายชั้น

1.5.5 บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง กล่าวถึง สรุปผลของงานวิจัยที่ได้ทำการทดลอง เพื่อนำไปพัฒนาไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูงต่อไป

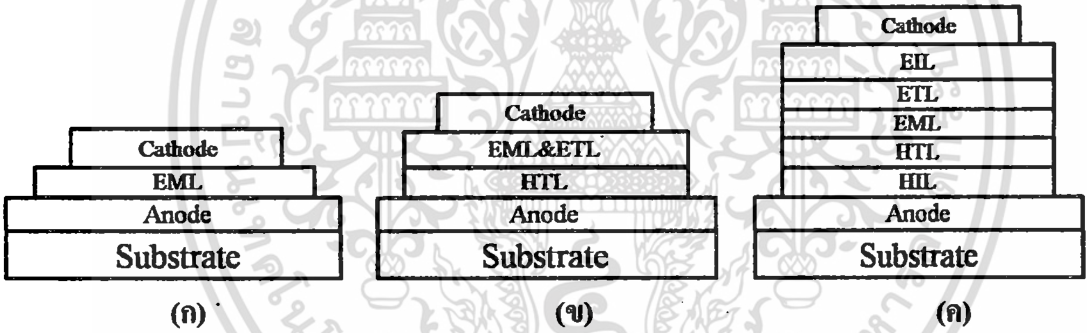
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ (Organic Light-Emitting Diode; OLED)

ไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์เป็นอุปกรณ์เปล่งแสงที่สร้างจากฟิล์มบางสารอินทรีย์ที่ถูกประกบด้วยขั้วไฟฟ้า โดยเมื่อมีการจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าแก่ไดโอดจะเกิดการเปล่งแสงออกมาที่ความยาวคลื่นต่าง ๆ ขึ้นอยู่กับชนิดของสารอินทรีย์ที่ใช้ และโครงสร้างของไดโอดเปล่งแสง โดยโครงสร้างของ OLED แบบชั้นเดียวแสดงดังรูปที่ 2.1(ก) โดยจะประกอบไปด้วยชั้นเปล่งแสง (Emitting Layer; EML) เพียงชั้นเดียว เพื่อให้การเพิ่มประสิทธิภาพของ OLED ให้สูงขึ้น จึงได้มีการพัฒนาโครงสร้างเป็นแบบสองชั้นและแบบหลายชั้นซึ่งแสดงดังรูปที่ 2.1 (ข) - (ค) ตามลำดับ โดยจะประกอบจากชั้นสารที่ทำหน้าที่ต่อไปนี้ ชั้นฉีดโฮล (Hole Injection Layer ; HIL) ชั้นส่งผ่านโฮล (Hole Transport Layer ; HTL) ชั้นส่งผ่านอิเล็กตรอน (Electron Transport Layer ; ETL) ชั้นฉีดอิเล็กตรอน (Electron Injection Layer ; EIL)[4]



รูปที่ 2.1 โครงสร้างไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ (ก)แบบชั้นเดียว (ข)แบบสองชั้น (ค)แบบหลายชั้น

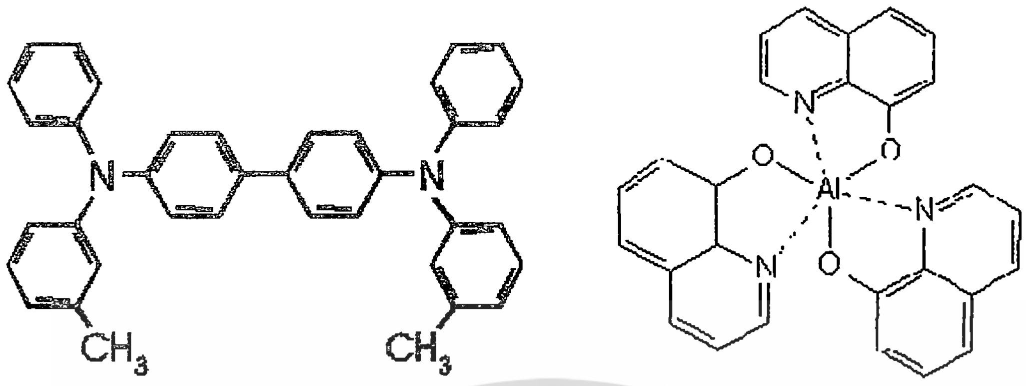
2.1.1 สารกึ่งตัวนำอินทรีย์ (Organic Semiconductor)

สารอินทรีย์ในธรรมชาติส่วนใหญ่จะประกอบไปด้วยอะตอมของธาตุพื้นฐานคือ ไฮโดรเจน (Hydrogen), คาร์บอน (Carbon), ออกซิเจน (Oxygen), ไนโตรเจน (Nitrogen) ซึ่งมีลักษณะโครงสร้างหลายแบบและมีสมบัติที่แตกต่างกันออกไป ซึ่งสารบางชนิดสามารถสังเคราะห์ได้ในห้องปฏิบัติการ

สารกึ่งตัวนำอินทรีย์เป็นสารอินทรีย์ที่มีลักษณะเฉพาะเมื่อนำมาทำการทดลองและวิเคราะห์ทางฟิสิกส์พบว่า สารอินทรีย์ดังกล่าวมีแถบพลังงานต้องห้าม (Forbidden Bandgap) จึงเรียกสารดังกล่าวว่าเป็นสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ (Organic Semiconductor) โดยลักษณะโครงสร้างส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

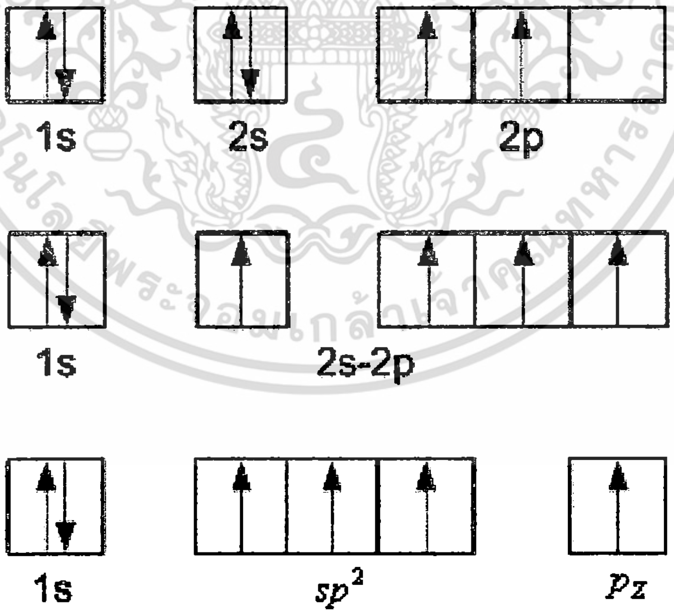
ใหญ่ของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์จะมีลักษณะพันธะเป็นพันธะคู่สลับพันธะเดี่ยว เรียกโครงสร้างลักษณะนี้ว่า โครงสร้างแบบคอนจูเกต (Conjugate System) ดังรูปที่ 2.2



TPD **Alq_3**

รูปที่ 2.2 ตัวอย่างของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์

สารกึ่งตัวนำอินทรีย์จะมีโครงสร้างพื้นฐานของอะตอมคาร์บอนซึ่งเป็นแบบ sp^2 ไฮบริดออร์บิทัล เมื่อพิจารณาคู่พันธะของอะตอมคาร์บอนที่เป็นพันธะคู่ ภายในพันธะคู่จะประกอบด้วยพันธะซิกมา 1 คู่ พันธะพาย 1 คู่ ส่วนพันธะที่เหลือจะเป็นพันธะซิกมาทั้งหมดเนื่องจากเป็นพันธะเดี่ยวดังรูปที่ 2.3

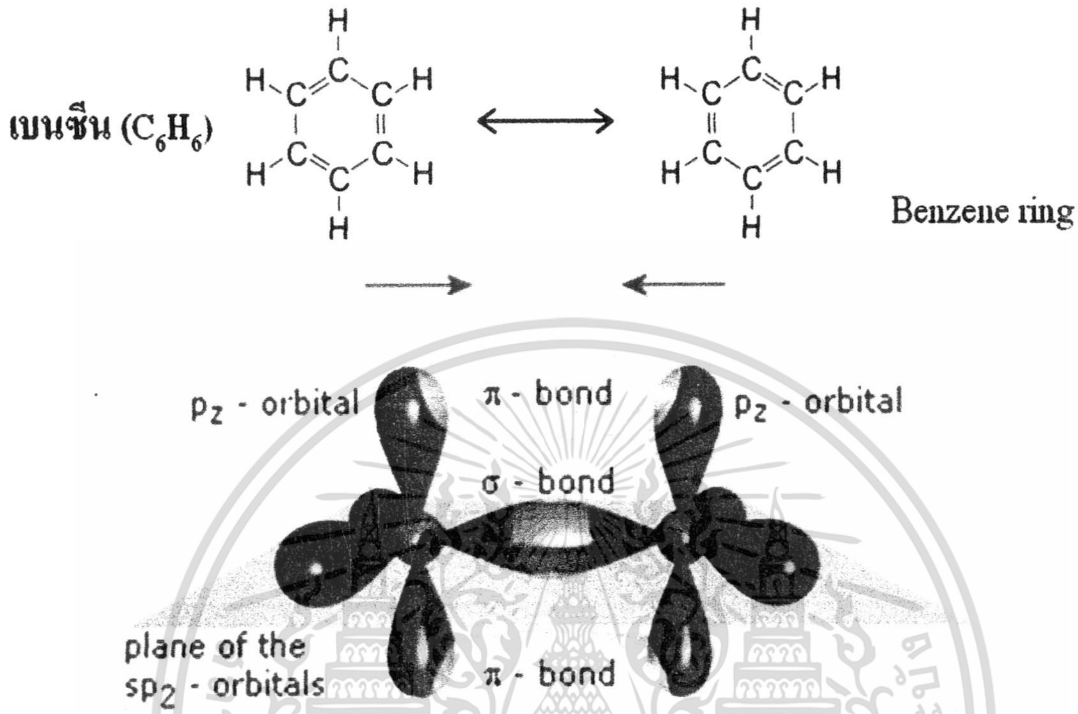


รูปที่ 2.3 การกระจายของอิเล็กตรอน และการเกิด sp^2 ออร์บิทัล ของคาร์บอนที่เป็นพันธะคู่

พิจารณาอะตอมของคาร์บอนที่ภายในวงของเบนซีน (Benzene ; C_6H_6) อะตอมของคาร์บอนเป็นแบบ sp^2 ไฮบริดออร์บิทัล มีพันธะเป็นแบบคู่สลับเดี่ยว ในแนวระนาบของวงเบนซีน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะมีระนาบของพันธะซิกมาซึ่งเกิดจากการสร้างพันธะระหว่างอะตอมของ คาร์บอนกับคาร์บอน และ อะตอมของ คาร์บอนกับไฮโดรเจน และภายในวงของเบนซีนส่วนที่เป็น p_z ออร์บิทัล จะเกิดเป็นพันธะพายที่เกิดจากพันธะคู่ระหว่างอะตอมของคาร์บอน 3 คู่ ดังรูปที่ 2.4

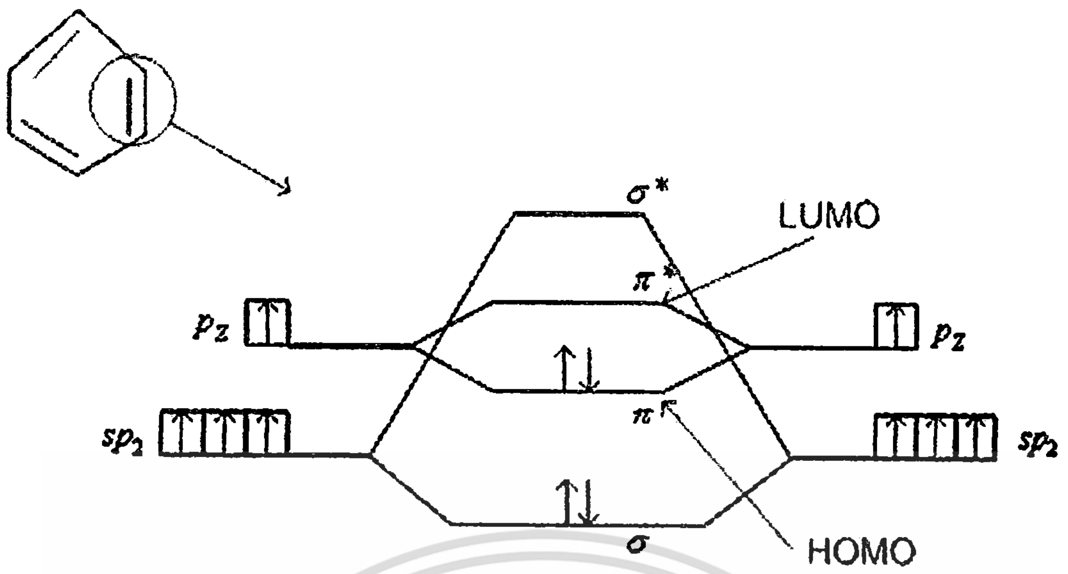


รูปที่ 2.4 พันธะซิกมาและพันธะพายในวงของเบนซีน

เมื่อพิจารณาถึงระดับพลังงานของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ ในลักษณะของโมเลกุลออร์บิทัล แล้วจะพบว่าลักษณะของการเกิดพันธะระหว่างพันธะคู่ของอะตอมคาร์บอน ส่วนที่เป็น sp^2 จะเป็นพันธะซิกมาที่มีความเสถียร ระดับพลังงานของออร์บิทัลโมเลกุลแบบสร้าง มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับไฮบริดออร์บิทัล และระดับพลังงานของออร์บิทัลโมเลกุลแบบต้านจะมีค่าสูงมากเนื่องจากต้องใช้พลังงานที่มีค่ามากเพื่อที่จะทำลายพันธะซิกมา

ส่วนที่เป็น p_z ออร์บิทัล จะเกิดเป็นพันธะพายระดับพลังงานของออร์บิทัลโมเลกุลที่สร้าง มีค่าลดลงเมื่อเทียบกับ ออร์บิทัลอะตอม ระดับพลังงานของออร์บิทัลโมเลกุลที่ต้านการสร้างพันธะจะมีค่าไม่มากนักเนื่องจากพันธะพาย เป็นพันธะที่เกิดจากการซ้อนทับด้านข้างของออร์บิทัล p ดังนั้นอิเล็กตรอนที่กระจายอยู่บริเวณนี้จะเป็นอิเล็กตรอนแบบไม่ประจำที่ (Delocalized Electron) เนื่องจากความหนาแน่นของอิเล็กตรอนกระจายตัวอยู่นอกนิวเคลียส เมื่อมีพลังงานมากระตุ้นทำให้อิเล็กตรอนที่กระจายตัวอยู่สามารถเคลื่อนที่ไปตามพันธะพายได้ เสมือนเป็นการเคลื่อนประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.5 ระดับพลังงานพันธะของอะตอมคาร์บอนกับอะตอมข้างเคียงภายในวงเบนซีน

เมื่อพิจารณาจากทฤษฎีออร์บิทัลโมเลกุล (Molecular Orbital Theory) ระดับพลังงาน ของอิเล็กตรอนใน p_z ออร์บิทัล ระดับพลังงานของออร์บิทัลโมเลกุลที่สร้าง (π Bonding Molecular Orbital) จะเป็นระดับที่สูงที่สุดที่อิเล็กตรอนสามารถอาศัยอยู่ได้ จึงเรียกระดับพลังงานนี้ว่า Highest Occupied Molecular Orbital (HOMO) และ ที่ระดับพลังงานของออร์บิทัลโมเลกุลที่ต้านการสร้างพันธะ (π* Antibonding Molecular Orbital) จะเป็นระดับที่ต่ำที่สุดที่ไม่มีอิเล็กตรอนอาศัยอยู่ได้ จึงเรียกระดับพลังงานนี้ว่า Lowest Unoccupied Molecular Orbital (LUMO) ระหว่างระดับพลังงาน HOMO และ LUMO เสมือนเป็นช่องว่างแถบพลังงานที่มีค่าใกล้เคียงกับสารกึ่งตัวนำ ระดับพลังงานชั้น HOMO เปรียบเสมือนแถบวาเลนซ์ (Valence Band) ส่วนระดับพลังงานชั้น LUMO เปรียบเสมือนแถบนำ (Conduction Band) จึงเรียกสารที่มีสมบัติดังกล่าวว่า สารกึ่งตัวนำอินทรีย์ (Organic Semiconductor) [5] แสดงดังรูปที่ 2.5

2.1.1.1 โมเลกุลขนาดเล็ก (Small Molecule)

เป็นสารประกอบออร์แกนิกส์ที่มีโครงสร้างพันธะเป็นแบบคู่สลับเดี่ยวเป็นโครงข่ายจับตัวกันเป็นโมเลกุล สารบางชนิดจะมีอะตอมของโลหะเจืออยู่ด้วย จับกันเป็นโครงข่ายที่จำกัด แสดงดังรูปที่ 2.6 และสารแต่ละชนิดจะมีสมบัติที่แตกต่างกันออกไปตามหน้าที่ดังนี้

1.วัสดุนำพาอิเล็กตรอน (Electron Transport Material) มีความสามารถในการขนส่งอิเล็กตรอนได้ดีและประพฤติตนคล้ายกับสารกึ่งตัวนำชนิดเอ็น

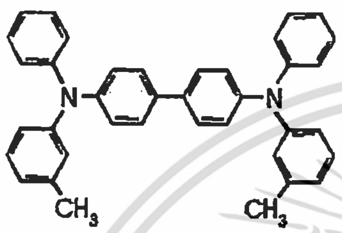
2.วัสดุนำพาโฮล (Hole Transport Material) มีความสามารถในการขนส่งโฮลได้ดีและประพฤติตนคล้ายกับสารกึ่งตัวนำชนิดพี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

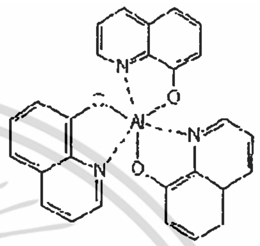
3.วัสดุเปล่งแสง (Emission Material) เป็นวัสดุที่เปล่งแสงในช่วงของแสงสีที่ตาสามารถมองเห็นได้

4.วัสดุเจือ (Dopant Material) เมื่อทำการเจือสารเหล่านี้ลงไปในวัสดุเปล่งแสง จะทำให้แสงสีที่ออกมาสามารถเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมได้

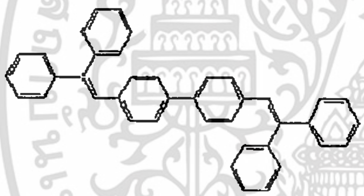
สารบางชนิดสามารถทำหน้าที่ได้หลายแบบ เช่น สารกึ่งตัวนำอินทรีย์ Alq_3 มีสมบัติที่เป็นวัสดุนำพาอิเล็กตรอน และ วัสดุเปล่งแสง



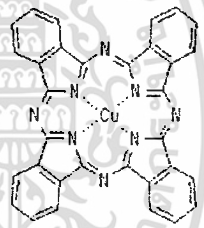
(ก) TPD



(ข) Alq_3



(ค) DPVBi

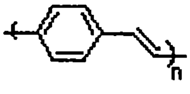


(ง) CuPc

รูปที่ 2.6 สารกึ่งตัวนำอินทรีย์แบบโมเลกุลขนาดเล็ก (ก) TPD (ข) Alq_3 (ค) DPVBi (ง) CuPc

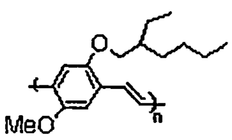
2.1.1.2 คอนจูเกทพอลิเมอร์ (Conjugated Polymer)

คอนจูเกทพอลิเมอร์คือ สารที่มีหน่วยของมอนอเมอร์ (Monomer) ซ้ำๆกัน เรียงต่อกันไปโดยมีโครงสร้างพันธะเป็นแบบคู่สลับเดี่ยวเรียงต่อกันออกไปตามสายโซ่ของพอลิเมอร์ เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนไปตามสายโซ่ของพอลิเมอร์ แสดงดังรูปที่ 2.7



PPV
ให้แสงสีเหลือและเขียว

PPP
ให้แสงสีน้ำเงิน



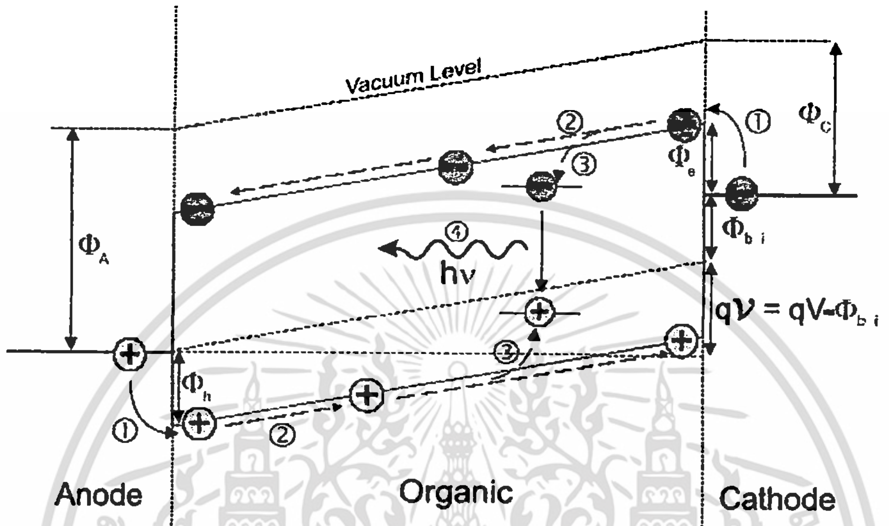
MEHPPV
ให้แสงสีแดง

รูปที่ 2.7 สารกึ่งตัวนำอินทรีย์แบบคอนจูเกทพอลิเมอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงว ... ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 กระบวนการทำงานของ OLED

เมื่อทำการพิจารณาแผนภาพระดับพลังงานของ OLED โครงสร้างแบบชั้นเดียว กระบวนการเกิด อิเล็กโทรลูมิเนสเซนซ์ (Electroluminescence) ของ OLED มีขั้นตอนหลักอยู่ 4 ขั้นตอนแสดงดังรูปที่ 2.8 [6]



รูปที่ 2.8 กระบวนการเกิดอิเล็กโทรลูมิเนสเซนซ์ของ OLED

เมื่อให้ Φ_A คือ ฟังก์ชันงาน (Work Function) ของขั้วแอโนด

Φ_C คือ ฟังก์ชันงานของขั้วแคโทด

Φ_h คือ กำแพงการฉีดโฮล

Φ_e คือ กำแพงการฉีดอิเล็กตรอน

Φ_{bi} คือ Built-in Potential

ขั้นตอนการปลดปล่อยแสงของ OLED คือ

1. การฉีดพาหะโฮลและอิเล็กตรอนจากขั้วไฟฟ้าเข้าสู่ชั้นสารอินทรีย์

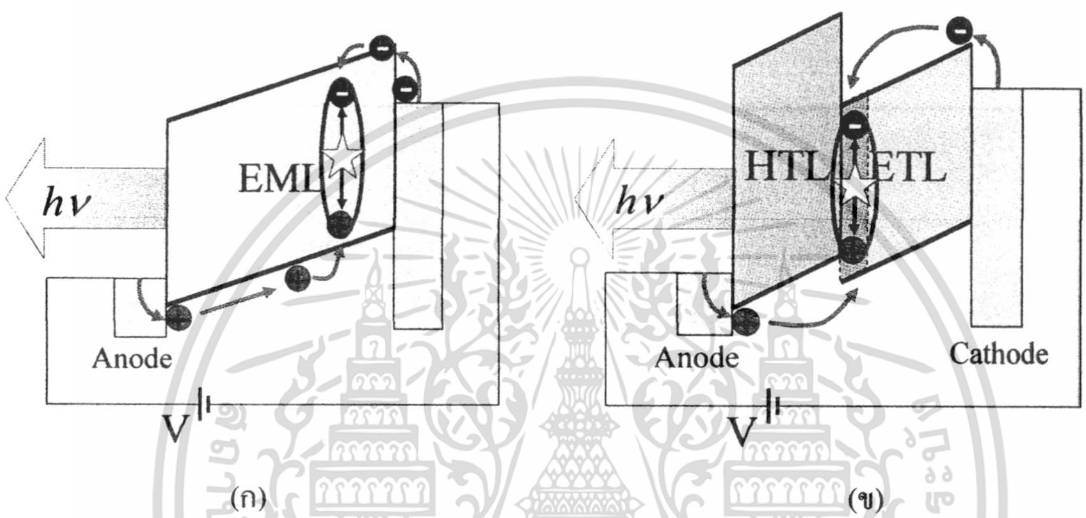
2. การส่งผ่านโฮลและอิเล็กตรอนในชั้นสารอินทรีย์

3. การรวมตัวของเอกซิตอน

4. การปลดปล่อยแสงของเอกซิตอน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการป้อนแรงดันไฟฟ้า จะทำให้ประจุโฮลและอิเล็กตรอนถูกฉีดออกมาจากขั้วไฟฟ้า และเคลื่อนที่ผ่านเข้าไปในชั้นของสารอินทรีย์ และเกิดการรวมตัวกันจากสถานะกระตุ้น ผลลัพธ์สุดท้ายจะเกิดการปลดปล่อยแสงออกมา เริ่มแรกที่มีการศึกษา OLED โครงสร้างแบบชั้นเดียว พบว่ายังมีประสิทธิภาพที่ต่ำอยู่ จนกระทั่งในปี ค.ศ. 1987 C. W. Tang และ S. A. Van Slyke ได้ทำการสร้างไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ที่เปล่งแสงในช่วงความยาวคลื่นแสงสีเขียวจากสารอินทรีย์ Alq_3 [Tris (8-Hydroxyquinoline) Aluminum] โดย OLED ที่สร้างขึ้นเป็นโครงสร้างแบบหลายชั้น ทำให้มีประสิทธิภาพการเปล่งแสงสูงขึ้นสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 กระบวนการทำงานของ OLED (ก)โครงสร้างแบบชั้นเดียว (ข)โครงสร้างแบบสองชั้น

เมื่อทำการป้อนแรงดันไฟฟ้าให้กับขั้วไฟฟ้าของ OLED ของโครงสร้างแบบชั้นเดียว จะพบว่าโฮลและอิเล็กตรอนจะถูกฉีดจากขั้วไฟฟ้าเข้าไปยังชั้นของสารอินทรีย์และเกิดกระบวนการต่างๆ 4 ขั้นตอนตามที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น แต่เนื่องจากว่าในสารอินทรีย์ โฮลจะมีสภาพคล่องทางไฟฟ้าสูงกว่าอิเล็กตรอนประมาณ 10-100 เท่า ทำให้โอกาสที่โฮลจะวิ่งเข้าไปยังขั้วแคโทดของ OLED ก็มีความเป็นไปได้สูง ทำให้โอกาสที่อิเล็กตรอนกับโฮลจะเกิดการรวมตัวกันแบบเปล่งแสงก็เป็นไปได้ต่ำ ทำให้ OLED โครงสร้างแบบชั้นเดียวยังมีประสิทธิภาพต่ำอยู่ เมื่อนำมาพัฒนาเป็นโครงสร้างแบบสองชั้น โดยในชั้นแรกเป็นชั้นส่งผ่านโฮลและชั้นที่สองเป็นชั้นส่งผ่านอิเล็กตรอน โดยผิวสัมผัสระหว่างชั้นทั้งสองนี้จะเป็นตำแหน่งของการรวมตัวกันของคู่อิเล็กตรอนโฮล (Electron-hole Pair) และเป็นผลทำให้เกิดการเปล่งแสงแบบอิเล็กโทรลูมิเนสเซนซ์ออกมา

เมื่อทำการป้องแรงดันไฟฟ้าให้กับขั้วไฟฟ้าของ OLED ที่เป็นโครงสร้างแบบสองชั้น ก็จะเกิดกระบวนการทั้ง 4 ตามที่ได้กล่าวมาแล้วเช่นกัน โดยการออกแบบโครงสร้างแบบรอยต่อเฮเทโร (Hetero Junction) ทำให้สามารถฉีดโฮล จากชั้น HTL ไปยังชั้น ETL ได้ง่ายขึ้น และทำให้สามารถกักอิเล็กตรอน ที่ฉีดเข้ามาในทิศทางตรงกันข้ามทำให้มีความเป็นไปได้ในการเกิดเอกซิตอนมากขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และทำให้เกิดการรวมตัวกันบริเวณใกล้ๆกับรอยต่อของชั้นทั้งสอง แสดงดังรูปที่ 2.9 ระดับชั้นพลังงาน HOMO ของ HTL จะอยู่เหนือกว่าของชั้น ETL เล็กน้อย ทำให้โฮลสามารถเข้าไปในชั้น ETL ได้อย่างรวดเร็ว ในขณะเดียวกัน ระดับชั้นพลังงาน LUMO ของชั้น ELT ต้องอยู่ต่ำกว่าของชั้น HTL อย่างมาก จึงทำให้อิเล็กตรอนถูกจำกัดให้อยู่ในชั้น ETL เนื่องจากสภาพคล่องของโฮลต่ำ และในชั้น ETL จึงต้องสร้างให้มีการเพิ่มความหนาแน่นของโฮลมากขึ้น จึงจะทำให้ขบวนการจับกันของอิเล็กตรอนกับโฮล เกิดมากขึ้น นอกจากนั้นช่องว่างจากรอยต่อที่ออกมาต้องมีระยะทางเพียงพอเพื่อที่จะได้ไม่เกิดขึ้นที่บริเวณใกล้ๆผิวรอยต่อของขั้วโลหะ จึงทำให้ OLED ที่เป็นโครงสร้างแบบสองชั้นมีประสิทธิภาพสูงกว่าแบบชั้นเดียว [7]

โครงสร้างแบบสองชั้นสามารถปรับปรุงให้เป็นสามชั้นได้ โดยชั้นที่จะเพิ่มเข้าไปคือชั้น EML ซึ่งจะอยู่ระหว่างชั้น HTL กับ ETL เป็นตัวแปลที่สำคัญเพราะเป็นตำแหน่งที่อิเล็กตรอนกับโฮล เกิดการรวมตัวกันและเกิดการอิเล็กโทรลูมิเนสเซนซ์ จึงจำเป็นต้องพิจารณาหาความเหมาะสมของสารอินทรีย์ในชั้นนี้ ซึ่งชั้นที่เกิดการเปล่งแสงหรือเกิดการรวมตัวกันนี้ ควรจะเลือกเอาสารอินทรีย์ที่ให้สีในชั้นเปล่งแสงที่มีค่าประสิทธิภาพในการเปล่งแสงสูง นอกจากนี้ชั้น HTL และ ETL ควรจะมีความเหมาะสมและมีคุณสมบัติในการถ่ายเทประจุได้ดี [8]

ความหนาของชั้นสารอินทรีย์ควรจะมีความต้านทานน้อยๆ เพื่อจะทำให้ความหนาแน่นของกระแสมีค่าสูง เมื่อมีการป้อนแรงดันไฟฟ้าเข้าไป เนื่องจากแสงที่ปลดปล่อยออกมาจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับความหนาแน่นกระแสที่จะทะลุผ่านเข้าไปในชั้นสารอินทรีย์ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับการเพิ่มการฉีดประจุเข้าไปและประสิทธิภาพการส่งผ่านซึ่งเป็นผลทำให้เกิดการปลดปล่อยแสงออกมาที่แรงดันไฟฟ้าต่ำ

การสร้าง OLED ทำมาจากสารอินทรีย์ที่มีกลไกการเปล่งแสงที่แตกต่างกันกับ LED ที่มีรอยต่อแบบพี-เอ็น ของสารอนินทรีย์ ทั้งคุณสมบัติทางอิเล็กทรอนิกส์และคุณสมบัติทางแสงระหว่างสารกึ่งตัวนำอินทรีย์และอนินทรีย์ และรูปแบบของการฉีดพาหะ Space Charge Limited Current (SCLC) และ โมเลกุลของเอกซิตอน (Molecular Exciton) เป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้เข้าใจในกลไกของ OLED

2.1.2.1 การฉีดพาหะและการขนส่งพาหะใน OLED

การฉีดและการเคลื่อนที่ของประจุพาหะในไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ ได้มีการศึกษาอย่างละเอียดโดย Kalinowski [9] โดยสารอินทรีย์ที่สามารถเปล่งแสงด้วยไฟฟ้า จะมีอยู่ 2 แบบ คือ โมเลกุลขนาดเล็กและพอลิเมอร์ชนิดคอนจูเกทส่วนมากแล้ว จะเป็นสารที่มีความนำไฟฟ้าต่ำ และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สภาพคล่องทางไฟฟ้าของโฮล จะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 10^{-7}–10^{-3} cm^2/Vs ส่วนสภาพคล่องทางไฟฟ้าของอิเล็กตรอนจะมีค่าน้อยกว่า 10-100 เท่า

สารอินทรีย์จะแตกต่างจากสารกึ่งตัวนำอนินทรีย์ โดยที่สมบัติการเคลื่อนที่และการฉีดประจุพาหะในไดโอดเปล่งสารอินทรีย์จะพิจารณาได้จากการกระโดด(Hop) ของประจุพาหะระหว่างสถานะโลคอลภายในสารอินทรีย์มีลักษณะเหมือนกับการกระโดด จากสถานะดีโลคอลในโลหะไปสู่สถานะโลคอลในสารอินทรีย์ ซึ่งอัตราการเคลื่อนที่จากตำแหน่งหนึ่งไปยังอีกตำแหน่งหนึ่งขึ้นอยู่กับความแตกต่างของพลังงานทั้งสองตำแหน่งและระยะห่างระหว่างกัน ซึ่งประจุพาหะสามารถกระโดด ไปสู่ตำแหน่งที่มีพลังงานสูงกว่าได้ โดยการดูดกลืนโฟนอนที่มีพลังงานเหมาะสม ซึ่งจะลดโอกาสของการเคลื่อนที่ของประจุพาหะจากสถานะโลคอลที่มีพลังงานมากกว่าไปยังสถานะที่มีพลังงานน้อยกว่า เมื่อประจุพาหะได้รับพลังงานที่สามารถกระโดดได้ จะสามารถเคลื่อนที่ไปได้ในระยะห่างค่าหนึ่ง นั่นคือ Localization Length ระดับพลังงานของการเคลื่อนที่แบบการกระโดด ของโฮลและอิเล็กตรอนอยู่รอบๆแถบพลังงาน HOMO และ LUMO โดยความกว้างของแถบพลังงานนี้สามารถพิจารณาได้จาก อัตรกิริยาระหว่างโมเลกุลและระดับพลังงานของความไม่เป็นระเบียบ

สารอินทรีย์ที่ใช้ในการสร้าง OLED มักจะพบว่ามีคุณสมบัติเป็นฉนวนอยู่ภายใต้เงื่อนไขสนามไฟฟ้าต่ำ(< 10^4 V/cm) เช่น ผลึกเดี่ยวของ Anthracene จะมีความต้านทานอยู่ในระดับ $10^{20}\Omega$ cm และเมื่อทำให้บริสุทธิ์ในสุญญากาศ (Vacuum-Sublimed) ฟิล์มบาง Anthracene จะมีความต้านทานอยู่ในระดับ $10^{15}\Omega$ cm และ π-Conjugared Polymer, poly(p-phenylene vinylene) จะมีความต้านทานอยู่ในระดับ $10^{16}\Omega$ cm จะชี้ให้เห็นว่าเรื่องความบริสุทธิ์ของสารอินทรีย์จะไม่มีประจุสุทธิ ถ้าไม่มีการเจือทางเคมีของผู้ให้ (Donor) และ ผู้รับ (Acceptor) ของโมเลกุลใน OLED โดยจะทำให้ได้ความหนาแน่นกระแสสูงมาก ซึ่งมากกว่า 1 A/cm^2 ซึ่งเป็นไปได้ยาก ถ้าจะไม่มีการเจือสารโดยเป็นพื้นฐานของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นที่จะทำให้เข้าใจในการควบคุมทฤษฎีของการเคลื่อนที่ของพาหะในสารกึ่งตัวนำอินทรีย์

ความเข้มของกระแสที่มีค่ามากสามารถพิจารณาได้จากการฉีดพาหะที่บริเวณรอยต่อระหว่างสารอินทรีย์กับขั้วไฟฟ้า และ SCLC โครงสร้างทางอิเล็กทรอนิกส์ของฟิล์มบางสารอินทรีย์จะอยู่บนพื้นฐานของระดับชั้นพลังงาน HOMO และ LUMO ของแต่ละโมเลกุล ซึ่งจะทำปฏิกิริยากันด้วยแรงแวนเดอร์วาลส์ (Vander Waals) และ วาเลนซ์บอนด์ (Valence Bonds) นอกจากนี้เรายังสามารถอธิบายโครงสร้างทางอิเล็กทรอนิกส์ของฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ได้อย่างชัดเจน เช่น Ionization Potential (IP), Electron affinity (Ea) และ Charge Carrier Density (n_h, n_e) และ mobilities (μ_h, μ_e) ของโฮลและอิเล็กตรอน ค่า IP และ E_a จะสัมพันธ์กับ Carrier Injection

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Phenomena และ Charge Carrier Densities (n_h, n_e) และ Mobilities (μ_h, μ_e) จะสัมพันธ์กับ Carrier Injection Phenomena ซึ่งสามารถอธิบายความหนาแน่นของพาหะภายในของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ โดยการคาดคะเนบนพื้นฐานของการเจือปนและความไม่สม่ำเสมอของโครงสร้างของฟิล์มบางซึ่งต่ำมาก โดยทั่วไป 10^5-10^{10} cm^{-3} สภาพคล่อง (Mobility) ของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์มีค่าต่ำประมาณ 10^{-3}-$10^{-7}cm^2/Vs$ เมื่อเปรียบเทียบกับสารอนินทรีย์ซึ่งมีค่า 1-$10^3cm^2/Vs$ ถึงแม้ว่าตัวเลขต่างๆ ที่ได้จะดูเหมือนว่าเป็นอุปสรรค์ต่อการสร้างเป็นอุปกรณ์ แต่เนื่องจากเป็นองค์ประกอบของฟิล์มที่บางมาก ทำให้มีความเป็นไปได้ที่จะนำไปสู่การสร้างอุปกรณ์จากสารกึ่งตัวนำอินทรีย์

เมื่อทำการป้อนความต่างศักย์ 10 V ให้กับชั้นสารอินทรีย์หนา 100 นาโนเมตร จะพบว่าค่าสนามไฟฟ้าจะมีค่าสูงถึง 10^6 V/cm^2 ซึ่งเกิดจากการจะเหนี่ยวนำ ทำให้เกิดการฉีดพาหะและ SCLC ในตอนแรก โดยการศึกษาพฤติกรรมของการฉีดพาหะจากขั้วไฟฟ้า จะมีสองกลไกในการฉีดประจุพาหะคือ Schottky Thermal Emission และ Tunneling Injection Process ทั้งสองเป็นพื้นฐาน ในทฤษฎีของสารกึ่งตัวนำ อนินทรีย์ และกระบวนการ Schottky Emission สามารถอธิบายได้โดย

$$J = \frac{4\pi qmk}{h^3} T^2 \exp\left(-\frac{q\Phi_{Bn}}{kT}\right)\left[\exp\left(\frac{qV}{kT}\right)-1\right] \tag{2.1}$$

เมื่อ m คือ effective mass ของ electron(hole)

k คือ Boltzmann's Constant

h คือ Planck's Constant

T คือ Temperature

q คือ Elementary Charge

Φ_{Bn} คือ Barrier Height

V คือ Applied Voltage

ตัวอย่างเช่นที่รอยต่อของ Alq_3/Mg ความสูงของกำแพงศักย์จะมีค่า 1.0 eV เมื่อคิดจาก Schottky Emission ซึ่งไม่สามารถทำให้มีความหนาแน่นกระแสมากกว่านี้ได้ ถ้ามีกำแพงศักย์สูงกว่า 1 eV พลังงานที่ใช้ในการกระตุ้นของ OLED โดยทั่วไปที่พบมีค่าประมาณ 0.03 eV โดยกลไกในการฉีดพาหะที่เป็นไปได้อีกกลไกหนึ่ง คือ การฉีดผ่านระดับชั้นพลังงานที่มีอิเล็กตรอนอาศัยอยู่ ซึ่งเป็นชั้นที่เกิดจากความบกพร่องของโครงสร้าง หรือมีสารเจือปน แสดงดังรูปที่ 2.10(ก) อีกสิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

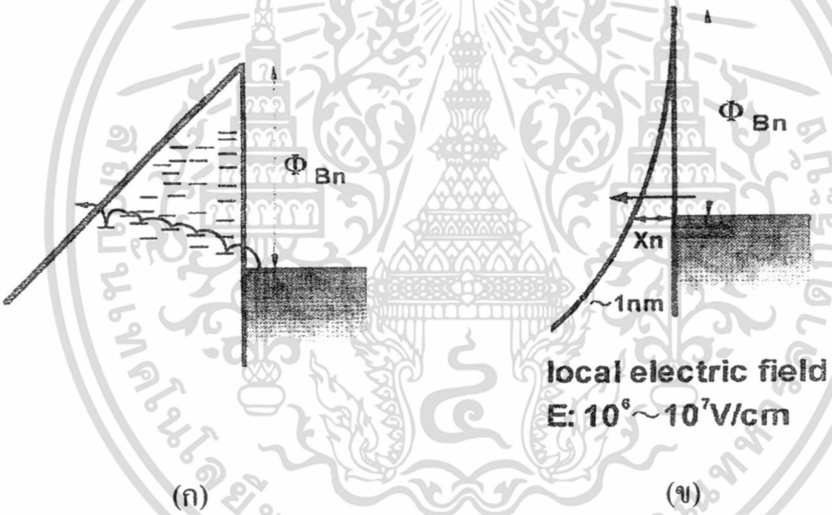
หนึ่งที่มีความเป็นไปได้ในการอธิบาย การฉีดพาหะโดยกลไกลแบบ Fowler-Nordheim Tunneling Injection แสดงดังรูปที่ 2.10(ข) โดยการไหลของกระแส สามารถอธิบายได้โดย

$$J = \left(\frac{q^3 V^2 m_0}{8\pi h \Phi_{Bn} m^*}\right) \exp\left(-\frac{4(2m^*)^{0.5}\Phi_{Bn}^{1.5}}{3\hbar q V}\right) \quad (2.2)$$

เมื่อ m_0 คือ มวลของอิเล็กตรอนอิสระ

m^* คือ มวลประสิทธิผล (Effective Mass)

พื้นฐานของสมการนี้จะเกิดขึ้นเมื่อทำการป้อนสนามไฟฟ้าให้มีค่าอยู่ในระดับ 10^6 V/cm โดยระยะทางการทะลุผ่านมากกว่า 10 นาโนเมตร โดยค่านี้ไม่ได้เป็นค่าที่แท้จริง เมื่อนำไปประยุกต์ใช้ที่สนามไฟฟ้าสูงจะมีค่าประมาณ 10^7 V/cm ของระหว่างชั้นของสารอินทรีย์กับขั้วไฟฟ้า อีกอย่างหนึ่งในทางปฏิบัติกำแพงศักย์ควรจะต่ำกว่า ถ้าต้องการใช่กลไกการทะลุผ่าน



รูปที่ 2.10 สองกลไกในการฉีดกระแสที่บริเวณรอยต่อของสารอินทรีย์กับขั้วโลหะ (ก) การฉีดกระแสแบบ Schottky โดยทางความไม่บริสุทธิ์หรือความไม่เป็นระเบียบของโครงสร้าง (ข) การฉีดกระแสแบบทะลุผ่านFowler-Nordheim Tunneling เกิดภายใต้สนามไฟฟ้า 10^6-10^7 V/cm

ดังนั้นควรจะใช้การฉีดพาหะประจุโดยทั้งสองกลไก ซึ่งสามารถอธิบายการเคลื่อนที่ของพาหะในฟิล์มบางสารอินทรีย์เมื่อ Applied Electric Filed น้อยกว่า 10^4 V/cm และ Injected Current Density (n_{ci}) น้อยกว่า Intrinsic Charge Density (n_i) การไหลของกระแสสมารถอธิบายได้โดย กฎของโอห์ม(Ohm's law) เมื่อ n_{ci} มากกว่า n_i โดยการนำไปประยุกต์ใช้ที่มากกว่า 10^5 V/cm อย่างไรก็ตามการฉีดพาหะประจุจากสเปซชาร์จ (Space Charge) ใกล้ๆกับรอยต่อระหว่างสารอินทรีย์กับขั้วไฟฟ้า เนื่องจากสภาพคล่องของพาหะ มีค่าต่ำแสดงดังรูปที่ 2.11 ที่เป็นเช่นนี้ เนื่องจาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงแก้ไข และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
120452

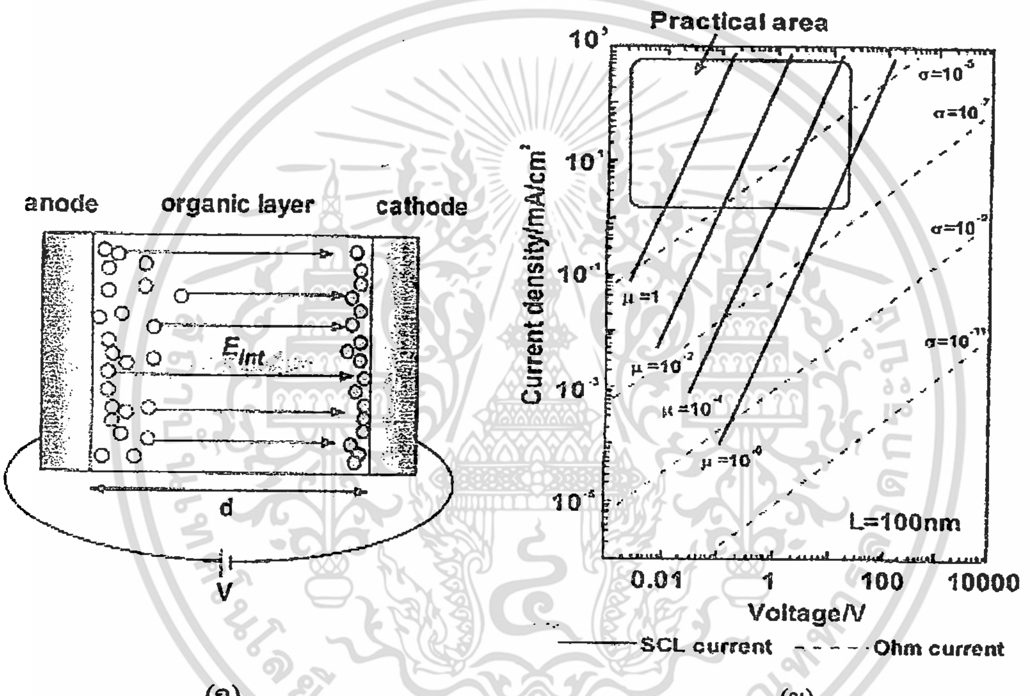
สนามไฟฟ้าภายนอกสามารถเปลี่ยนแปลงได้โดยสเปซชาร์จ (Space Charge) ความหนาแน่นของกระแส (J) ควบคุมได้โดย SCLC สามารถอธิบายได้โดย

$$J = \frac{9\varepsilon\varepsilon_0 \mu V^2}{8L^3} \tag{2.3}$$

เมื่อ ε คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริกสัมพัทธ์ (Relative Dielectric Constant)

ε_0 คือ ค่าคงที่ไดอิเล็กตริก (Dielectric Constant)

L คือ ความหนาของชั้นสาร



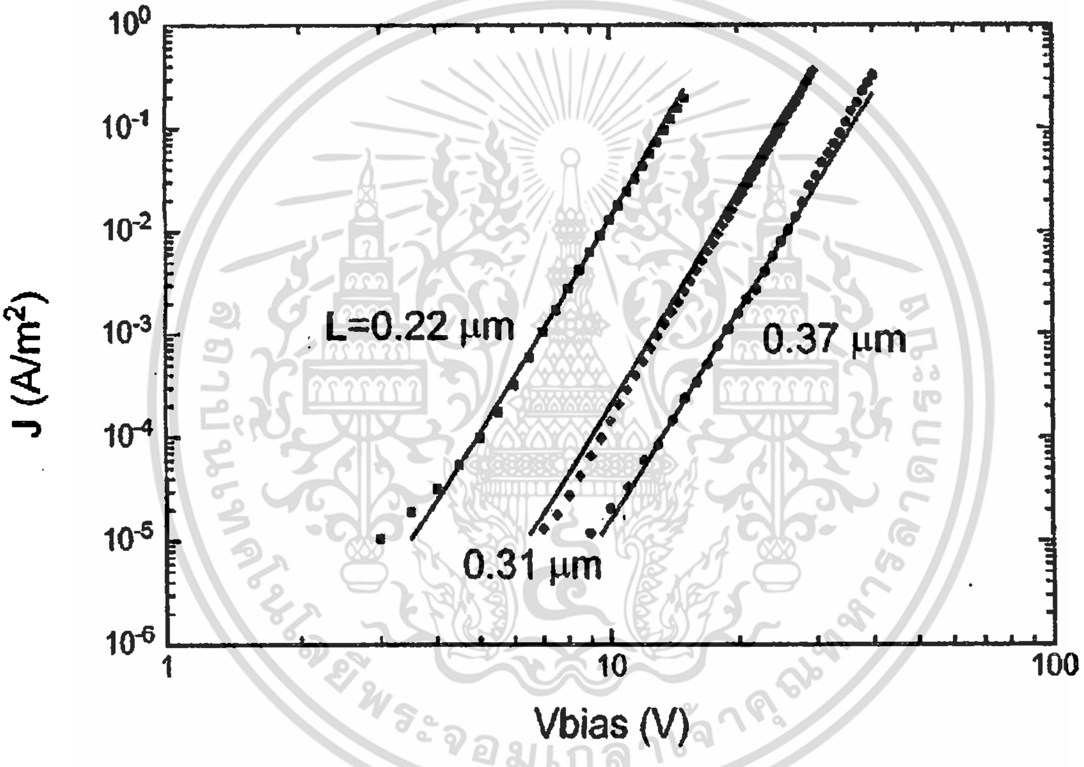
รูปที่ 2.11 (ก) แผนภาพของ SCLC ที่เกิดจากสนามไฟฟ้าภายนอก (V/d) บวกกับสนามไฟฟ้าภายใน (E_{int}) เหนี่ยวนำให้เกิดการฉีดของประจุพาหะที่มากขึ้นเป็นสิ่งสำคัญที่จะทำให้ได้ค่าความหนาแน่นกระแสสูงสนามไฟฟ้าทั้งหมด E_{total} = V/d + E_{int} มีความหมายอย่างมากต่อการไหลของกระแส เมื่อให้ (O) แทนโฮล (●) แทนอิเล็กตรอน (ข) กราฟของความหนาแน่นกระแสกับความต่างศักย์ (J-V)

ปรากฏการณ์นี้ไม่อยู่ภายใต้ ความสมดุลทางไฟฟ้าสถิต (Electrostatic Equilibrium) แต่อยู่ภายใต้ ความสมดุลในการเคลื่อนที่ของพาหะ (Dynamic Charge Equilibrium) เมื่ออุปกรณ์อยู่ภายใต้ขบวนการเกิดประจุทั้งหมด สมมุติให้มีสเปซชาร์จ (Space Charge) และประจุไม่มีความเป็นกลางในฟิล์มสารอินทรีย์ดังนั้นจะสามารถหาความหนาแน่นของกระแสของฟิล์มสารอินทรีย์ได้โดยการแทนค่า $\mu = 1-10^{-6} cm^2/Vs$ (สภาพคล่อง) L=100 นาโนเมตร (ความหนาของอุปกรณ์) และ V=0.01-20V (การเพิ่มแรงดัน) จะสามารถทำให้ได้ความหนาแน่นกระแสที่มากแสดงดังรูปที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ที่นำไปใช้ ...ในการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.18 (ข) การเปรียบเทียบกันกับกระแสบริเวณรอยต่อโอหม์มิก และ SCLC จะทำให้สามารถได้ความหนาแน่นกระแส 1 mA/cm^2 ถึง 1 A/cm^2 โดยใช้ความต่างศักย์เพียงแค่ 10 V ถ้า สภาพคล่องของพาหะ จะมากกว่า 10^{-4} cm^2/Vs

อีกตัวอย่างหนึ่งที่ได้มีศึกษาการไหลของกระแสของโฮลและอิเล็กตรอนที่ขึ้นอยู่กับ SCLC คือ P. W. M. Blom [10] และคณะที่ได้ทำการศึกษา OLED โดยใช้โครงสร้างแบบ ITO/PPV/Au ซึ่งจากการทดลองพบว่าค่าความหนาแน่นกระแส (J) กับความต่างศักย์ (V) จะขึ้นอยู่กับความหนาของชั้นสารอินทรีย์ (L) แสดงดังรูปที่ 2.12 จะเห็นได้ว่าความหนาแน่นกระแส (J) จะเปลี่ยนแปลงตามค่าความหนาของชั้นสารอินทรีย์ (L) ตามสมการที่ (2.3)



รูปที่ 2.12 ความหนาแน่นกระแส (J) กับความต่างศักย์ (V) ที่ขึ้นอยู่กับความหนาของชั้นสารอินทรีย์ (L)

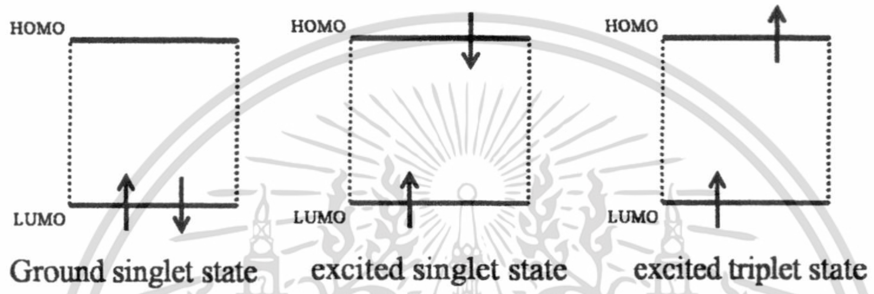
ถึงแม้ว่าฟิล์มบางสารอินทรีย์จะมีคุณสมบัติเป็นฉนวนแต่จากการป้อนความต่างศักย์ 10 V ให้กับอุปกรณ์ที่มีความหนา 100 นาโนเมตร ทำให้ความเข้มข้นของสนามไฟฟ้ามีค่าประมาณ 10^6 V/cm จากกระบวน SCLC จะยอมให้เกิดการฉีดกระแสอย่างต่อเนื่องกันได้ ซึ่งในทางปฏิบัติจะทำให้ได้ความหนาแน่นกระแสตั้งแต่ 1 mA/cm^2 ถึง 1 A/cm^2 ซึ่งทำให้สามารถนำไปสร้างเป็นอุปกรณ์จากฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2.2 การรวมตัวของพาหะและการปลดปล่อยแสงของ OLED

เมื่อประจุโฮลและอิเล็กตรอนเคลื่อนที่จากขั้วไฟฟ้ามายังบริเวณชั้นสารอินทรีย์เปล่งแสง จะเกิดการรวมตัวกันของคู่อิเล็กตรอนโฮลและจะเกิดการเอกซิตอนเกิดขึ้น ซึ่งสถานะของเอกซิตอนจะแบ่งได้ออกเป็น 2 แบบ คือ สถานะซิงเกรต (Singlet State) และ สถานะทริปเปต (Tripet State) แสดงดังรูป 2.13 ซึ่งโอกาสของการเกิดเอกซิตอนแบบซิงเกรตต่อแบบทริปเปตจะเป็น 1:3 โดนสามารถเขียนสมการการเกิดเอกซิตอนได้ดังสมการที่ 2.4

$$4(h+e) \rightarrow S + 3T \tag{2.4}$$



รูปที่ 2.13 สถานะซิงเกรตและทริปเปตของเอกซิตอน

รูปที่ 2.14 (ก) เอกซิตอนแบบซิงเกรตที่รวมตัวกันแล้วเกิดการเปล่งแสง
(ข) เอกซิตอนแบบทริปเปตที่รวมตัวกันแล้วไม่เกิดการเปล่งแสง

โดยเอกซิตอนที่จะเกิดการเปล่งแสงแบบฟลูออเรสเซนซ์ได้ จะต้องเป็นเอกซิตอนแบบซิงเกรตเท่านั้น ในขณะที่เอกซิตอนแบบทริปเปตจะเกิดการรวมตัวแบบไม่ปลดปล่อยแสงซึ่งอาจเกิดในรูปของความร้อน หรือการสั่นของโมเลกุลแทน หรืออาจเกิดการรวมตัวเป็นซิงเกรตแล้วปลดปล่อยแสงแบบฟอสโพเรสเซนซ์ (Phosphorescent) แสดงดังรูปที่ 2.14 โดยค่าความยาวคลื่นแสงที่สามารถปลดปล่อยออกมาจากปรากฏการณ์อิเล็กโทรลูมิเนสเซนซ์ จะมีความสัมพันธ์กันความกว้างของช่องว่างพลังงานของตัวสารที่เกิดการเปล่งแสงด้วยความสัมพันธ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\lambda(nm) = \frac{1240}{E_g} \quad (2.5)$$

เมื่อ λ คือ ความยาวคลื่นแสงที่ปลดปล่อยมาจากสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ (นาโนเมตร)

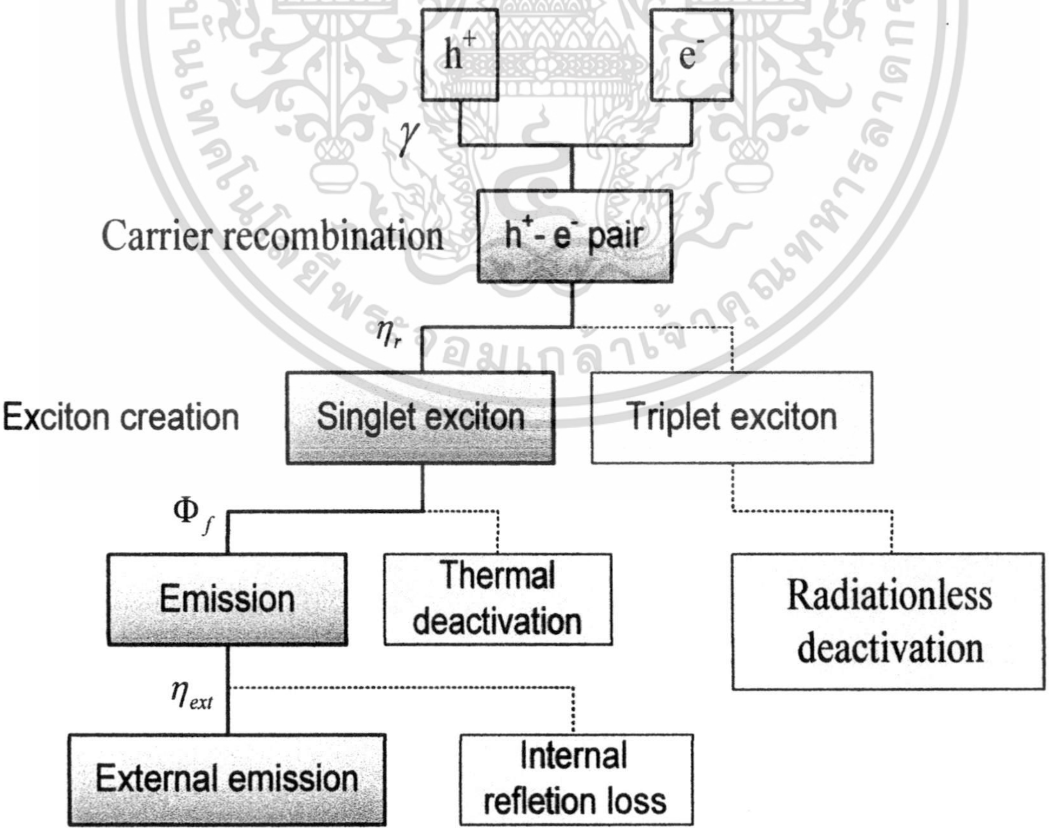
E_g คือ ควากกว้างช่องว่างแถบพลังงานของสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ (อิเล็กตรอนโวลต์)

2.1.2.3 การประมาณค่าประสิทธิภาพควอนตัมภายในและภายนอก

จากรูปที่ 2.15 จะแสดงกระบวนการพื้นฐานของการรวมตัวของพาหะในการปลดปล่อยแสง (Charge Recombination) เริ่มจากการรวมตัวกันของโฮลกับอิเล็กตรอน และเกิดการเปล่งแสงออกมา โดยจะมีประสิทธิภาพภายในและภายนอก ซึ่งจะสัมพันธ์กันกับตัวแปร η_{ext} คือแสงที่สามารถทะลุผ่านออกมาภายนอก ซึ่งจะได้ค่าโดยประมาณ โดยจะพิจารณาจากดัชนีหักเห (n) ของชั้นสารอินทรีย์ใน OLED ที่แสงจะสามารถทะลุผ่านออกมาภายนอกจะสามารถเขียนเป็นค่าโดยประมาณได้ดังสมการที่ 2.6

$$\eta_{ext} = \frac{1}{2n^2} \quad (2.6)$$

เมื่อ n คือ ค่าดัชนีหักเหของชั้นสารอินทรีย์



รูปที่ 2.15 แผนภาพกระบวนการพื้นฐานของ EL ใน OLED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อให้คำจำกัดความของ ประสิทธิภาพทางควอนตัม ของการเปล่งแสงด้วยไฟฟ้าจากภายนอก (External EL Quantum Efficiency) คือ $\eta_\phi(ext)$ เป็นค่าอัตราส่วนของจำนวนของโฟนอนที่เปล่งแสง ที่ออกมาภายนอกอุปกรณ์หารด้วยจำนวนของพาหะประจุที่ฉีดเข้าไปในอุปกรณ์ สำหรับ ประสิทธิภาพทางควอนตัม ของการเปล่งแสงด้วยไฟฟ้าจากภายใน (Internal EL Quantum Efficiency) คือ η_ϕ ให้คำจำกัดความเป็นจำนวนของโฟนอน ที่เกิดขึ้นภายในอุปกรณ์หารด้วยจำนวนของพาหะประจุ ที่ถูกฉีดเข้าไปดังนั้น $\eta_\phi(ext)$ คือ

$$\eta_\phi(ext) = \eta_\phi \eta_{ext} \tag{2.7}$$

และ

$$\eta_\phi = \gamma \eta_r \phi_f \tag{2.8}$$

โดยให้ η_ϕ คือ Internal Quantum Efficiency

γ คือ Charge-Bance Factory

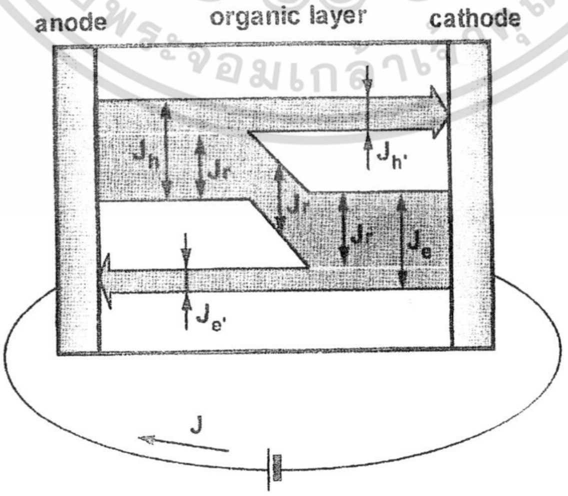
η_r คือ Efficiency ของ Production for Singlet Excitons

ϕ_f คือ Quantum Efficiency ของ Fluorescence

โดยให้คำจำกัดความของ Charge-Balance Factory γ คือ

$$\gamma = \frac{J_r}{J} \tag{2.9}$$

โดยให้ความหนาแน่นกระแส (Current Density) J คือ วงจรกระแส (Circuit Current) และ J_r คือ กระแสที่ได้จากการเกิดการรวมตัวของพาหะ (Recombination Current) แสดงดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 การไหลของกระแสในการฉีดและการขนส่งโฮลและอิเล็กตรอนในชั้นสารอินทรีย์ J_h และ J_e เป็นความหนาแน่นกระแสสุทธิของโฮลและอิเล็กตรอนตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ ... ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

J_r คือ ส่วนประกอบของความหนาแน่นของกระแสที่ทำให้เกิดการรวมตัวของพาหะ (Recombination Current Density) J_h' และ J_e'คือความหนาแน่นกระแสของโฮลและอิเล็กตรอนที่ไม่ได้เกิดการรวมตัวกันของพาหะ (Recombination)

จำนวนของโฮลและอิเล็กตรอนที่ถูกฉีดเข้ามาจากแอโนดและแคโทดให้เป็น J_h และ J_e ตามลำดับ จำนวนของโฮลที่ข้ามทะลุชั้นสารอินทรีย์โดยไม่มีการรวมตัวกัน (Recombination) กับอิเล็กตรอน และจำนวนของอิเล็กตรอนที่ข้ามทะลุผ่านชั้นสารอินทรีย์โดยไม่มีการรวมตัวกัน (Recombination) กับโฮลให้เป็น J_h' และ J_e' ตามลำดับ ดังนั้นจะสามารถเขียนได้ดังสมการ 2.10 และ 2.11

$$J = J_h + J_e' = J_e + J_h' \tag{2.10}$$

$$J_r = J_h - J_h' = J_e - J_e' \tag{2.11}$$

แม้ว่าจะไม่มีวิธีการวัดโดยตรงที่จะประมาณค่า J_r แต่สามารถอธิบายค่า J_r โดยอาศัยพื้นฐานการตรวจสอบบริเวณที่เกิดจากการรวมตัวของพาหะ (Charge Carrier Recombination)

ความสัมพันธ์ระหว่าง ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานภายใน (Internal Energy Conversion Efficiency) คือ η_E โดยให้คำจำกัดความโดยเป็นอัตราส่วนของ กำลังการเปล่งแสง (Emitter Light Power) และ กำลังไฟฟ้าขาเข้า (Input Electric Power ; JV) และ ประสิทธิภาพควอนตัมภายใน (Internal Quantum Efficiency) ให้เป็น

$$\eta_E = \frac{\eta_\phi \varepsilon_P}{eV} \tag{2.12}$$

เมื่อ ε_P คือ Average Photon Energy of Emitter Light

V คือ Applied Voltage

ดังนั้นการเพิ่มแรงดัน (Applied Voltage) เพียงอย่างเดียวที่จะแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพที่แสดงออกมาของ ประสิทธิภาพในการเปลี่ยนพลังงาน (Energy Conversion Efficiency)

จากที่ได้ทำการพิจารณาถึงความสัมพัทธ์ต่างๆ จะเห็นได้ว่าสิ่งสำคัญที่ทำให้ได้ OLED ที่มีประสิทธิภาพสูงสุด คือ

1.เมื่อได้ Charge-Balance Factor $\gamma = 1.0$ สำเร็จ

2.การทำโครงสร้างแบบหลายชั้น (Multilayer) ทำให้ได้ค่า γ เข้าใกล้ 1.0 มากขึ้น

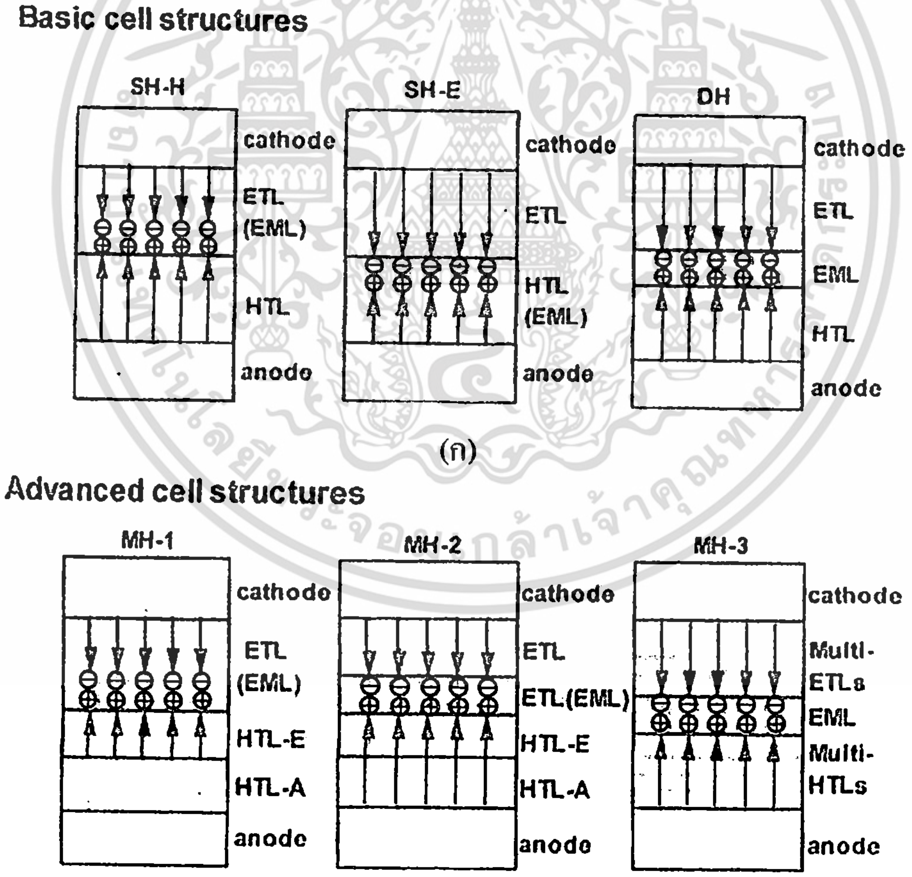
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.การใช้สาร Fluorescent Molecule ร่วมกันหรือทำการเจือกันจะทำให้ได้ประสิทธิภาพทางควอนตัมสูง เนื่องจากโดยคุณสมบัติของโมเลกุลจะมีความเข้มข้นน้อย โดยการเจือเพียงเล็กน้อยของจำนวนสารที่มี Fluorescent Molecule สูง จะเข้าไปในสารหลัก (Host) ของชั้นสารอินทรีย์ จะทำให้ได้ประสิทธิภาพสูงขึ้น

4.ควรจะเลือกให้มีอุปสรรคในประจุพาหะระหว่างขั้วกับชั้นสารอินทรีย์มีค่าน้อยๆ

2.1.3 การออกแบบโครงสร้าง OLED แบบหลายชั้น

ที่ผ่านมาการศึกษาสารอินทรีย์โครงสร้างแบบหลายชั้น จะแสดงให้เห็นว่าสามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของอุปกรณ์ OLED ได้เป็นอย่างดี โดยความสำคัญส่วนใหญ่ของโครงสร้างแบบหลายชั้นที่ได้รับการยอมรับ เนื่องจากสามารถกักพาหะประจุ ให้อยู่ภายในชั้นเปล่งแสงได้และทำให้เกิดความสมดุลของการฉีดพาหะ และการส่งผ่านพาหะเป็นไปดังรูปที่ 2.17(ก) จะสรุปทั้ง 3 โครงสร้างพื้นฐานของ OLED เป็น SH-H (Single Hetero-H structure), SH-E (Single Hetero-E Structure) และ DH (Double Hetero Structure)



(ข)

รูปที่ 2.17 (ก) สารโครงสร้างพื้นฐานของ OLED โครงสร้าง SH-H, SH-E และ DH เมื่อชั้น HTL, ETL และ EML (ข) โครงสร้างชั้นสูงของ OLED สามโครงสร้าง MH-1,MH-2 และ MH-3 โดยที่โครงสร้างสองชั้นของ HTL และ ETL มีผลต่อการปรับปรุงประสิทธิภาพของ OLED

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในตอนแรกจะให้ความสำคัญกับการศึกษาโครงสร้างแบบพื้นฐานที่เป็นสารอินทรีย์สองชั้นก่อน ซึ่งจะประกอบไปด้วยชั้น HTL และ ETL หลังจากนั้น ก็จะมีการปรับปรุงโครงสร้างของ OLED เพื่อให้ได้ค่าความสว่างสูงและความทนทานของ OLED โดยการปรับปรุงชั้นของสารอินทรีย์เป็นแบบ 4 หรือ 5 ชั้น สำหรับโครงสร้าง SH-H เสนอโดย Tang และ Vanslyke จะมีการรวมตัวกันของพาหะเกิดขึ้นภายในชั้น ETL ซึ่ง ETL สามารถรับโฮลที่ฉีดเข้ามาจากชั้น HTL ได้ ดังนั้นชั้น ETL จะทำหน้าที่สองอย่างคือ เป็นชั้นเปล่งแสงและชั้นขนส่งอิเล็กตรอน ซึ่งในโครงสร้างแบบ SH-E จะทำหน้าที่คล้ายกันเพียงทำหน้าที่กลับกันเท่านั้น ซึ่ง HTL จะทำหน้าที่ได้สองอย่างคือเป็นทั้งชั้นเปล่งแสงและชั้นขนส่งโฮล และเมื่อทำการแยกชั้นเปล่งแสงออกจากชั้นอื่นก็จะกลายเป็นโครงสร้างแบบ DH

ซึ่งสิ่งสำคัญในการศึกษาโครงสร้างแบบหลายชั้นนอกจากจะให้เป็นชั้น HTL หรือ ETL แล้วยังใช้ทำหน้าที่ในการบล็อกโฮลหรืออิเล็กตรอน เพื่อให้เกิดการรวมตัวกันของพาหะที่มีประสิทธิภาพสูงยิ่งขึ้น ซึ่งใกล้กับบริเวณรอยต่อของ HTL/ETL โดยบริเวณที่เกิดการรวมตัวของพาหะ (Recombination region) ของโครงสร้างแบบหลายชั้น เป็นบริเวณที่มีค่าจำกัดและเป็นบริเวณที่แคบมากๆ โดยทั่วไปน้อยกว่า 10 นาโนเมตร ซึ่งใกล้บริเวณรอยต่อของ HTL/ETL จากการสะสมของโฮลหรืออิเล็กตรอนที่บริเวณรอยต่อจะช่วยให้เกิดการรวมตัวกันสูงขึ้น ซึ่งตรงกันข้ามกับอุปกรณ์แบบชั้นเดียว บริเวณที่เกิดการรวมตัวของพาหะจะกว้าง มากกว่า 50-100 นาโนเมตร ทำให้การรวมตัวกันของพาหะเป็นไปได้น้อยกว่าโครงสร้างแบบหลายชั้น

จากความสำคัญของโครงสร้างสารอินทรีย์แบบหลายชั้นที่ได้กล่าวมาแล้ว ทำให้สามารถรักษา โมเลกุลของเอกซิตอน จากการสลายเข้าไปในชั้นขั้วไฟฟ้าได้ ซึ่งถ้าบริเวณที่เกิด Excited Molecules ใกล้กับขั้วโลหะน้อยกว่า 20 นาโนเมตร จะไม่เกิดการเปล่งแสงขึ้น เนื่องจากพลังงานจะถูกถ่ายเทไปยังขั้วโลหะเกิดขึ้นอย่างเห็นได้ชัด ดังนั้นความหนา 50-70 นาโนเมตร ของ HTL และ ETL จะสามารถป้องกันการสูญเสียพลังงานของ Molecular Excitons อย่างมีประสิทธิภาพ

บนพื้นฐานของ 3 โครงสร้าง OLED พื้นฐานจะสามารถพัฒนามาเป็นโครงสร้างแบบหลายชั้นได้โดย MH 1-3 ซึ่งเป็นโครงสร้างที่ได้มีการเสนอกันมา สรุปได้ดังรูปที่ 2.17(ข) โครงสร้าง MH-1 และ MH-2 ได้มีการปรับ HTLs และ ETLs เป็นสองชั้น ซึ่งจุดประสงค์ของ การทำเป็นแบบสองชั้น คือการแบ่งแยกการฉีดพาหะจากขั้วไฟฟ้าและการขนส่งพาหะ ซึ่งสรุปเป็นความต้องการหลักๆของ HTL ควรจะเป็นดังนี้

1. HTL ควรจะมีกำแพงศักย์ (Potential Barrier) น้อยๆ เพื่อที่การฉีดโฮลจากขั้วแอโนดจะเป็นไปโดยง่าย เพื่อทำให้เกิดกำแพงศักย์ในการฉีดพาหะอย่างต่ำ ระหว่างชั้นทั้งสอง I_p ของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

HTL ควรจะเหมาะสมกับขั้วแอโนดโดยทั่วไปจะใช้ ITO ซึ่งมี I_p = 5.0 eV HTL ควรจะมีค่าเหมือนกัน

2. HTL สามารถขนส่งโฮลด้วย low driving voltage มีค่าสภาพคล่องของโฮลสูงมากกว่า 10^{-3} cm^2/Vs

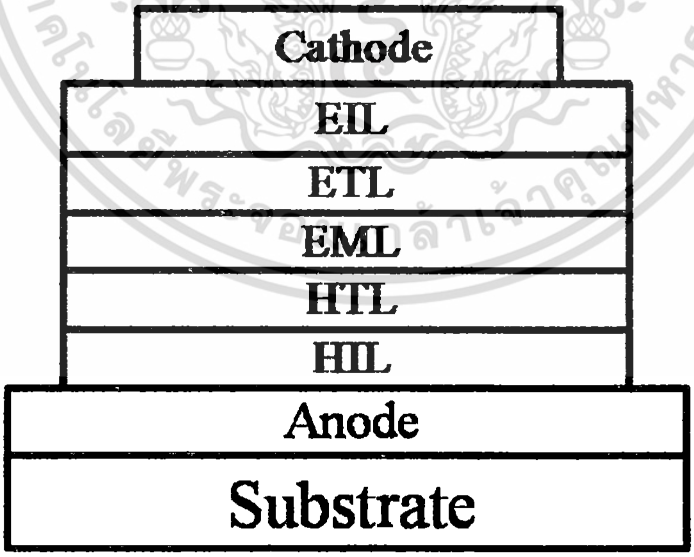
3. HTL ที่สามารถบล็อก การทะลุผ่านเข้ามาของอิเล็กตรอนจาก ETL ได้ซึ่ง HTL ที่มี Ea น้อยๆเป็นที่ต้องการมาก

4. HTL ควรจะมีพลังงานของเอกซิตอน มากกว่า ETL เพื่อที่จะป้องกันและต่อต้านการเคลื่อนที่ของเอกซิตอน ทำให้มีประสิทธิภาพในการเปล่งแสงมากขึ้น

บนพื้นฐานของความต้องการทั้งหมด ไม่สามารถที่จะทำได้ทุกความต้องการใน HTL ชั้นเดียว โดยเฉพาะความต้องการในข้อ 1 เป็นไปไม่ได้กับความต้องการในข้อที่ 4 เป็นผลลัพธ์ ในการสร้าง HTL สองชั้น ในลักษณะที่คล้ายกันทำให้ต้องใช้ ETL สองชั้น เป็นสิ่งที่จำเป็นในการปรับปรุงประสิทธิภาพของ OLED

2.1.4 หน้าที่ของชั้นสารแต่ละชั้นที่ใช้ในการสร้าง OLED

โดยจะอธิบายและยกตัวอย่างสารแต่ละชั้นของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์โครงสร้างแบบหลายชั้นดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 ไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์โครงสร้างแบบหลายชั้น

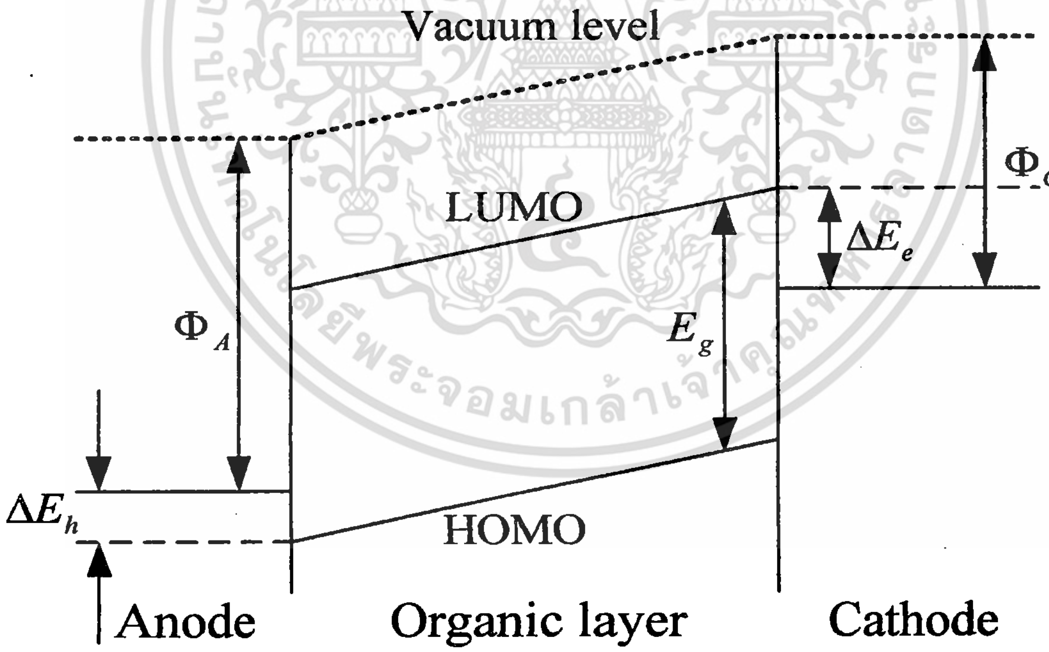
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4.1 แผ่นฐานรองรับ (Substrate)

ทำหน้าที่เป็นชั้นสำหรับสร้างสารอินทรีย์ในชั้นต่างๆ ของ OLED และทำหน้าที่ป้องกันชั้นของสารอินทรีย์จากความชื้นและอากาศ ซึ่งเป็นผลทำให้ OLED เสื่อมสภาพลงได้ วัสดุที่ใช้ทำจากกระจกหรือพลาสติก (ในกรณีที่จะทำจอแบบโค้งงอได้) ซึ่งจะต้องมีค่าความทะลุผ่านของแสงสูงในกรณีที่จะทำให้ชั้นเปล่งแสงสารอินทรีย์เปล่งแสงทะลุผ่านแผ่นฐานรองรับออกมา แต่ในกรณีที่มีการเปล่งแสงออกมาจากด้านบนของแผ่นฐานรองรับอาจใช้ซิลิกอนสำหรับอุปกรณ์ขนาดเล็ก

2.1.4.2 ขั้วไฟฟ้าแอโนด (Anode)

ทำหน้าที่จ่ายประจุบวกโฮลเข้าไปยังชั้นสารอินทรีย์ ซึ่งโลหะที่จะนำมาใช้ทำขั้วไฟฟ้าแอโนดจะต้องมีคุณสมบัติที่สำคัญคือ มีฟังก์ชันงาน Φ_A สูง แสดงดังรูปที่ 2.19 รวมทั้งจะต้องเป็นฟิล์มบางที่มีความโปร่งแสงสูงในย่านความยาวคลื่นแสงที่ตามองเห็น มีความต้านทานไฟฟ้าต่ำ นำไฟฟ้าได้ดี สารส่วนใหญ่ที่นิยมนำมาใช้ทำเป็นขั้วไฟฟ้าแอโนดของ OLED คือ ITO เพราะมีคุณสมบัติต่างๆ ดังกล่าวข้างต้น ซึ่งมีฟังก์ชันงาน $\Phi_A \sim 4.5$ eV และสามารถเพิ่มขึ้นไปได้อีกถึงประมาณ 5.1 eV ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่ใช้ในการทำ [9]

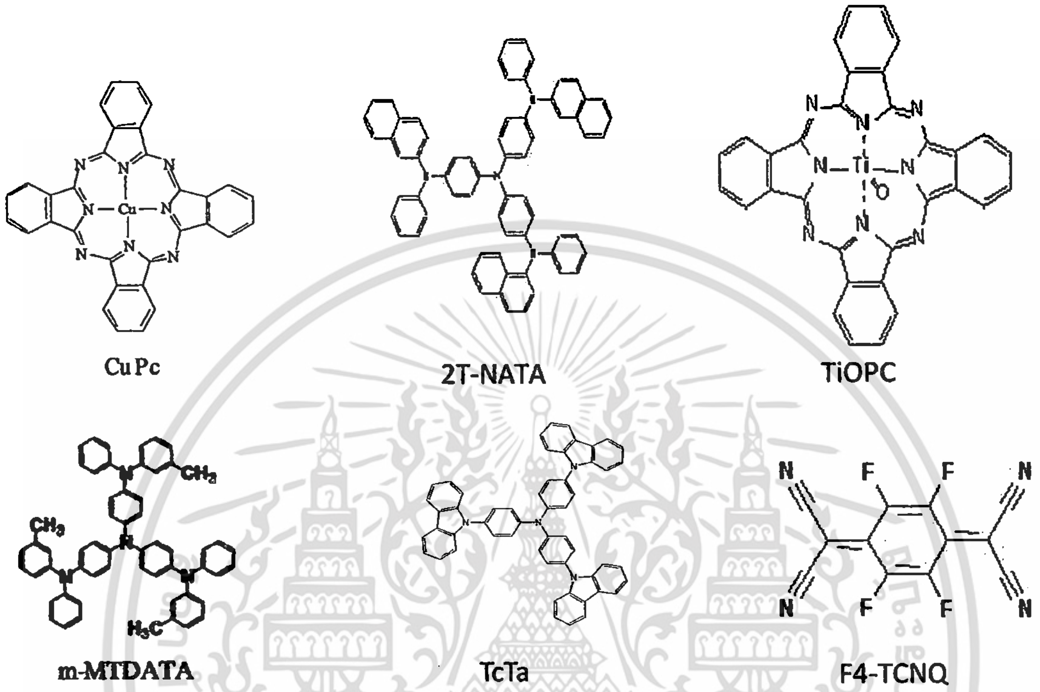


รูปที่ 2.19 ระดับชั้นพลังงานของอุปกรณ์ไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบชั้นเดียว Φ_C คือ ฟังก์ชันงานของขั้วไฟฟ้าแคโทดและ Φ_A คือฟังก์ชันงานของขั้วไฟฟ้าแอโนด ΔE_h และ ΔE_e คือกำแพงของการฉีดโฮลและอิเล็กตรอนตามลำดับ E_g คือแถบช่องว่าง (Band Gap) ระหว่างระดับพลังงาน HOMO และ LUMO

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4.3 ชั้นฉีดโฮล (Hole Injection Layer ; HIL)

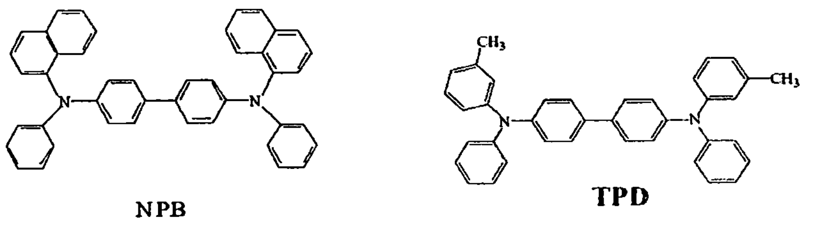
ทำหน้าที่ควบคุมการฉีดประจุบวกโฮล ที่บริเวณรอยต่อของขั้วไฟฟ้าแอโนดและยกระดับการฉีดประจุบวกโฮลจากขั้วไฟฟ้าแอโนด โดยที่สารอินทรีย์ในชั้นนี้จะเป็นชนิด p-type และในชั้นนี้ ประจุบวกโฮลจะมีสภาพคล่องสูง โดยสารที่ใช้ในชั้นนี้ ที่พบจะแสดงดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 สารที่ใช้เป็น Hole Injection Layer ใน OLED

2.1.4.4 ชั้นขนส่งโฮล (Hole Transport Layer ; HTL)

ทำหน้าที่ขนส่งประจุบวกโฮล เข้าไปยังบริเวณชั้นเปล่งแสง และยังช่วยกักประจุลบที่มาจากขั้วไฟฟ้าแคโทดไว้ให้อยู่ในบริเวณเปล่งแสงเป็นการช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการเปล่งแสงของ OLED สารที่ใช้ในชั้น HTL จะมีสภาพคล่องตัวของประจุบวกโฮลสูง โดยสารอินทรีย์ที่ใช้ในขั้ว HIL จะเป็นชนิด p-type โดยส่วนใหญ่จะใช้ iphenyl diamines (TPD) และ N,N'-di(naphthalen-1-yl)-N,N'-diphenyl-benzidine (NPB) แสดงดังรูปที่ 2.21

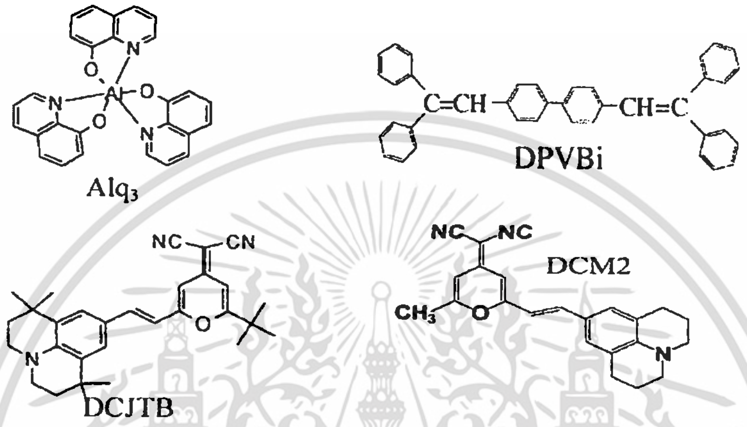


รูปที่ 2.21 โครงสร้างของ NPB และ TPD

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4.5 ชั้นเปล่งแสง (Emitting Layer ; EML)

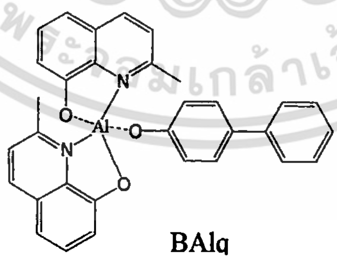
ทำหน้าที่เป็นชั้นเปล่งแสง เป็นชั้นที่เกิดการรวมตัวกันของอิเล็กตรอนกับโฮล เกิดการปลดปล่อยพลังงานแสงออกมาในชั้นนี้ และยังทำหน้าที่เป็นชั้นส่งผ่านอิเล็กตรอน ชั้นกักโฮลอีกด้วยทำให้ประสิทธิภาพในการเปล่งแสงดีขึ้น โดยสารที่ใช้ในชั้นเปล่งแสงนี้ จะเป็นตัวเปล่งแสงสีต่างๆ เช่น สีเขียวนิยมใช้ Alq_3 สีแดงเป็นสารเจือสีของ DCM2, DCJTB สีน้ำเงิน DPVBi แสดงดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 โครงสร้างของ Alq_3, DPVBi, DCJTB, DCM2

2.1.4.6 ชั้นส่งผ่านอิเล็กตรอน (Electron Transport Layer ; ETL)

ทำหน้าที่ส่งผ่านประจุลบอิเล็กตรอนและยังช่วยกักประจุบวกโฮลที่มาจากขั้วไฟฟ้าแอโนดให้อยู่ในบริเวณเปล่งแสงด้วย โดยสารที่ใช้ในชั้น ETL จะเป็นสารอินทรีย์ชนิด n-type มีสภาพคล่องตัวของอิเล็กตรอนสูง สารที่ใช้ส่วนใหญ่จะเป็น Alq_3, BAlq แสดงดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 โครงสร้างของ BAlq

2.1.4.7 ชั้นฉีดอิเล็กตรอน (Electron Injection Layer ; EIL)

ทำหน้าที่เป็นตัวช่วยฉีดอิเล็กตรอนจากขั้วแคโทดเข้าไปยังชั้น ETL โดยสารที่ใช้ในชั้น EIL จะเป็นสารอินทรีย์หรือสารอนินทรีย์ชนิด n-type มีค่าสภาพคล่องตัวของอิเล็กตรอนสูง มีค่าฟังก์ชันงานต่ำมาก สารส่วนใหญ่ที่ใช้เป็น LiF, Li, Sr,Sm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.4.8 ชั้นขั้วไฟฟ้าแคโทด (Cathode)

ทำหน้าที่จ่ายประจุลบอิเล็กตรอนเข้าไปยังชั้นสารอินทรีย์ ซึ่งโลหะที่จะนำมาใช้ทำขั้วแคโทดจะต้องมีค่าฟังก์ชันงาน Φ_C ต่ำดังรูปที่ 2.19 ส่วนใหญ่จะใช้ Aluminium (Al), Calcium (Ca) และ Magnesium (Mg): Silver (Ag) โดยจะใช้เป็นขั้วไฟฟ้าเพื่อป้องกันสารอินทรีย์จากการเกิดออกซิเดชัน และยังทำหน้าที่เป็นกระจกช่วยในการสะท้อนแสงในชั้นของสารอินทรีย์ออกมาอีกด้วย

โดยที่คุณสมบัติเฉพาะตัวของแต่ละสารที่ใช้ใน OLED เช่น ค่า Glass Transition Temperature T_g, ค่าระดับพลังงานของ HOMO และ LUMO, ค่า Mobility ของโฮลและอิเล็กตรอน แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 ค่า Glass Transition Temperature T_g, ค่าระดับพลังงานของ HOMO และ LUMO, ค่า Mobility ของโฮลและอิเล็กตรอน ของสารแต่ละตัวที่ใช้ใน OLED [9]

Material	T_g(°C)	HOMO(eV)	LUMO(eV)	μ_h(cm^2/Vs)	μ_e(cm^2/Vs)
CuPc	-	4.8	3.1	~10^{-3}	-
m-MTDATA	-	-	-	$1.5x10^{-5}$-$1.5x10^{-4}$	$1.5x10^{-7}$-$1.5x10^{-6}$
TPD	65	5.6, 5.1	2.5	1-$2x10^{-3}$	-
NPB,NPD	95	5.8	-	$3x10^{-4}$	-
Alq_3	>170	5.9, 5.7-5.9	3.2	$2x10^{-8}$	$1.4x10^{-6}$
Rubrene	-	5.4	3.2	-	-
DPVBi	64	5.9	2.8	-	-
PVK	-	5.4, 6.1	1.9, 1.2	-	-
PPV	-	5.1	2.5	-	-
2,5Dialkoxy-PPV	-	4.9-5.1	2.5-2.8	$5x10^{-7}$, 10^{-10}-10^{-9}	-
MEH-PPV	-	4.9	2.8	$5x10^{-7}$-$5x10^{-6}$, $2.3x10^{-7}$-$6x10^{-6}$	$6x10^{-8}$, $1.2x10^{-5}$
m-LPPP	-	5.5	2.3	10^{-3}	-
Polythiophenes	-	5.5-6	2-3.5	-	-
PFO	-	5.8	2.1	$4x10^{-4}$-$8x10^{-3}$	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

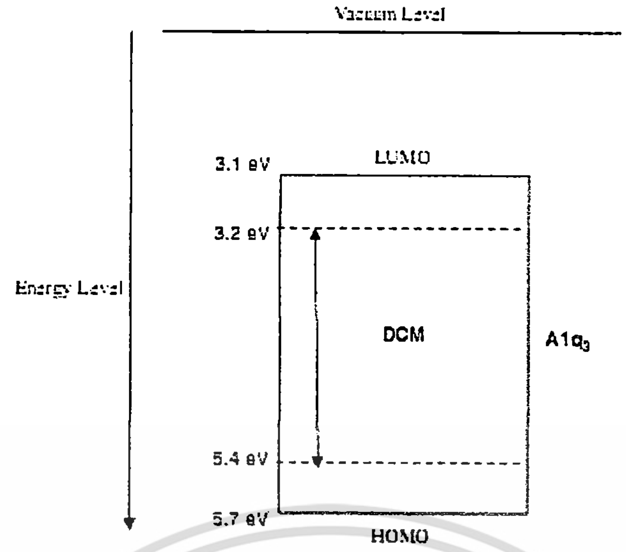
2.2 การเจือสารของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ (Dye-Doped of Organic Light Emitting Diode)

ไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์สามารถเปล่งแสงออกมาได้หลายสี ขึ้นอยู่กับวัสดุในชั้นเปล่งแสงที่ให้แสงสีต่างๆ เช่น แสงสีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน จากสามสีสามารถนำมาผสมแม่สีกันเพื่อให้ได้จอแสดงผลเต็มสี (Full Color Displays) ซึ่งแนวทางในการทำมีได้หลายวิธี เช่นในการผสมแม่สี ของโครงสร้างแบบหลายชั้น โดยการเปล่งแสงจากชั้นต่างๆรวมกัน เพื่อทำให้เกิดแสงสีที่ต้องการ และอีกวิธีหนึ่งจะใช้เทคนิคของการเจือสารในชั้นเปล่งแสง ซึ่งจะมีชั้นเปล่งแสงเพียงชั้นเดียว โดยหาอัตราส่วนความเข้มข้นของสารเจือที่เหมาะสม ที่ให้เกิดการเปล่งแสงสีที่ต้องการ เป็นต้น [3]

การเจือสารของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ เป็นการเจือสารเพื่อเพิ่มแถบพลังงานในชั้นเปล่งแสงซึ่งโดยทั่วไปชั้นเปล่งแสงจะถูกเจือด้วยสารเจือที่มีความเหมาะสมที่จะช่วยทำให้ OLED เปล่งแสงในสีที่ชัดเจนตามความต้องการ โดยเฉพาะในกรณีที่ต้องการเพิ่มย่านความยาวคลื่นในการเปล่งแสง โดยการเจือสารจะช่วยในเรื่องของการเคลื่อนที่ของพาหะ และลดการดูดกลืนของพาหะ เนื่องจากชั้นสารในโครงสร้างของ OLED ที่มีการเจือสาร จะมีพลังงานของอิเล็กตรอน จากสภาวะที่ถูกกระตุ้น จะถูกถ่ายเทจากสารตั้งต้นหลักไปยัง สารเจือซึ่งทำหน้าที่เป็นผู้รับอิเล็กตรอน (Acceptor) ผ่านกระบวนการ Forster Resonant Energy Transfer หรือ กระบวนการเคลื่อนที่ของพาหะ[11,12] โดยเอกซิตอนที่เกิดจากสารหลักจะเปลี่ยนระดับพลังงานจากสารหลักลงมายังชั้นสารเจือ(ในแบบที่ไม่มีการเปล่งแสง) โดยอาศัยการจับคู่กันของโมเลกุลของผู้ให้และผู้รับ ซึ่งความเข้มข้นของสารเจือจะมีผลโดยตรงต่อสีและประสิทธิภาพของ OLED [12-15]

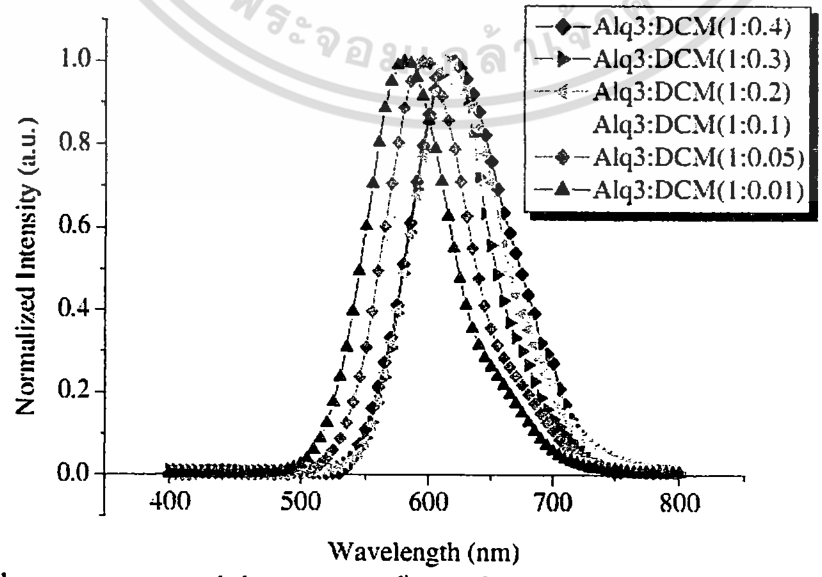
โดยทั่วไปสาร Alq_3 จะเป็นสารหลักที่มีความเหมาะสมมากที่สุด เนื่องจาก มีประสิทธิภาพในการเปล่งแสงสูงถึง 25-30 เปอร์เซ็นต์ โดยในเลเซอร์สารอินทรีย์ส่วนใหญ่จะใช้สาร Alq_3 เป็นสารหลักและเจือด้วยสาร DCM , coumarin-6, rubrene(5,6,11,12-tetraphenylnaphthacene) [12] เป็นต้น โดยการเจือสารในปริมาณความเข้มข้นเพียงเล็กน้อย สามารถที่จะทำให้เปลี่ยนย่านความยาวคลื่นในการเปล่งแสงของ OLED ได้ รวมถึงสามารถเปลี่ยนความเข้มข้นของแสงและลดการเคลื่อนที่ของพาหะผ่านชั้นเปล่งแสง (เพิ่มปริมาณพาหะในการเปล่งแสง) สำหรับ OLED โดยทั่วไปจะเป็นที่ทราบกันว่าสาร DCM ถือเป็นสารเจือที่สำคัญในกรณีที่ต้องการให้ OLED เปล่งแสงสีแดง [12] โดยค่าระดับพลังงาน HOMO และระดับพลังงาน LUMO ของสาร DCM จะอยู่ภายในช่วงของแถบพลังงานของสาร Alq_3 ซึ่งจะแสดงดังรูปที่ 2.24 โดยสาร Alq_3 จะทำหน้าที่เป็นสารหลัก ที่ใช้ในการฉีดอิเล็กตรอนและช่วยในการแพร่ของโฮลไปยังสารเจือ และสำหรับสาร DCM จะมีคุณสมบัติ Hyperpolarizability ที่ดี เนื่องจากมีความไม่สมมาตรของโครงสร้างโมเลกุล[15]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.24 ไดอะแกรมของชั้นเปล่งแสงของสาร Alq_3ที่มีการเจือด้วยสาร DCM

โดยในการเจือสารในชั้นเปล่งแสงสารอินทรีย์ จะมีผลต่อสมบัติทางแสงและสมบัติทางไฟฟ้า ซึ่งได้มีงานวิจัยที่ศึกษาถึงผลของการเจือสารในไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ ที่ใช้สาร Alq_3 เป็นสารหลัก และสาร DCM เป็นสารเจือ ดังเช่นงานวิจัยของ W.C.Shen และคณะ[16] ได้ทำการศึกษาถึงไดโอดเปล่งแสงสีขาวที่ให้ความสว่างสูงโดยการรวมการเปล่งแสงสีส้มและสีน้ำเงินของโครงสร้าง ITO/NPB 50 nm / Alq_3:DCM(1:x) 600 nm /Al 150 nm โดยชั้น NPB จะทำหน้าที่เป็นชั้นส่งผ่านโฮล ที่มีความหนา 50 นาโนเมตร และชั้น Alq_3 ที่เจือด้วยสาร DCM ทำหน้าที่เป็นชั้นเปล่งแสงสีส้ม ที่มีความหนา 60 นาโนเมตร โดยอัตราความเข้มข้นของสาร Alq_3:DCM เป็น 1:0.01, 1:0.05, 1:0.1, 1:0.2, 1:0.3, 1:0.4 โดยในการเจือสารในชั้นเปล่งแสงสีส้มจะมีผลต่อสมบัติทางแสง โดยจะแสดงดังรูปที่ 2.25

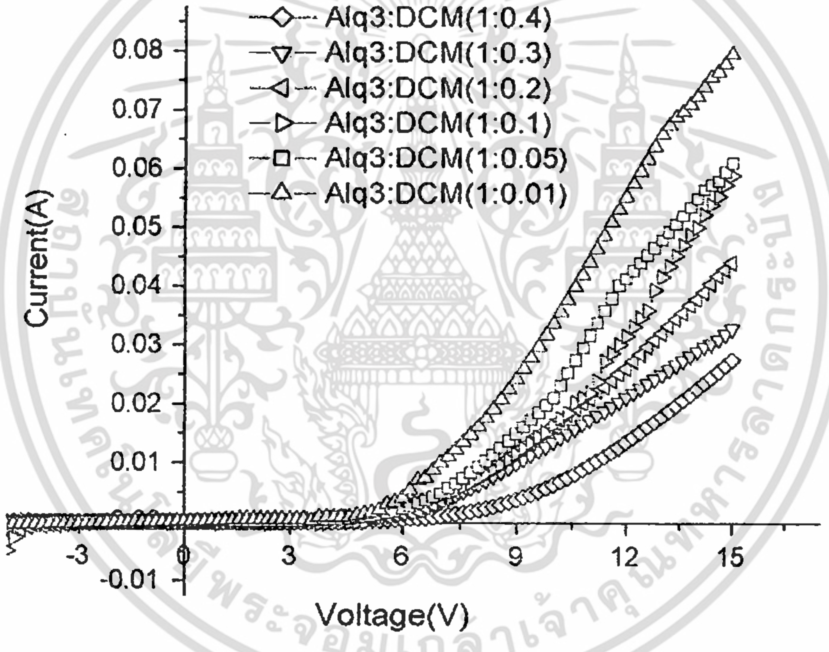


รูปที่ 2.25 พีคของ EL ที่เลื่อนไปทางสีน้ำเงิน เมื่อมีความเข้มข้นของ DCM น้อยลง

เอกสารนี้เป็น...โยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผลของสเปกตรัมอิเล็กโทรลูมิเนสเซนซ์ ที่แสดงดังรูปที่ 2.25 จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการเจือสาร DCM เข้าไปในสาร Alq_3 น้อยลง จะทำให้พีคของสเปกตรัมจะเลื่อนจากทางย่านสีแดงไปยังทางย่านสีน้ำเงิน เนื่องจาก เมื่อมีการเจือสาร DCM เข้าไปใน สาร Alq_3 จะทำให้เกิดแถบพลังงานของสาร DCM ในแถบพลังงานของสาร Alq_3 ที่ทำหน้าที่เป็นสารหลัก เมื่อมีการเจือสาร DCM น้อยลงก็จะทำให้เกิดแถบพลังงานของสาร DCM จางลง จึงทำให้สเปกตรัมเลื่อนจากทางย่านสีแดงไปทางย่านสีน้ำเงิน

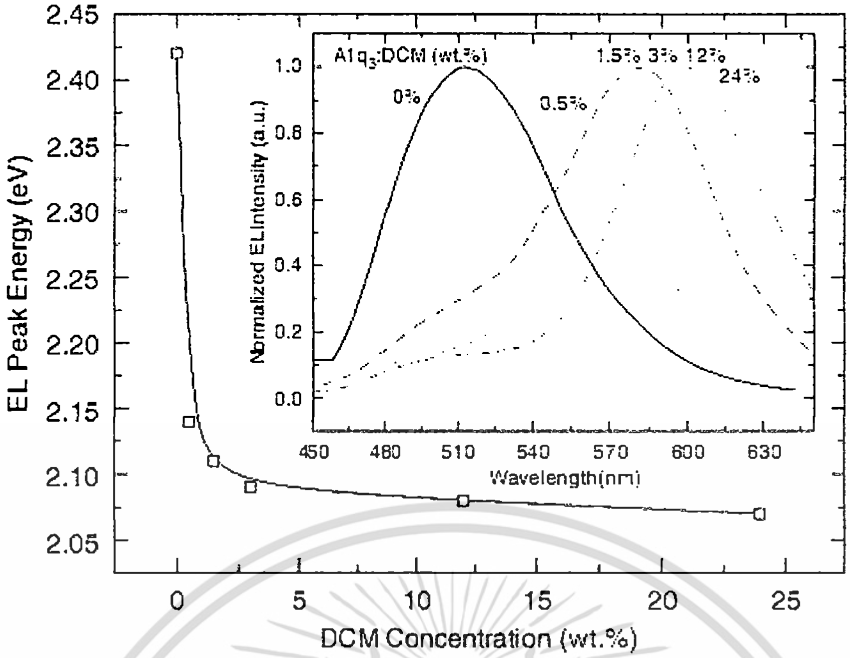
การเจือสารในไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ยังมีผลต่อสมบัติทางไฟฟ้า โดยจากความหนาแน่นกระแสกับแรงดัน จะแสดงดังรูปที่ 2.26 ซึ่งเป็นงานวิจัยของ W.C.Shen และคณะ[17] จะสังเกตเห็นได้ว่ากระแสจะลดลงด้วยความเข้มข้นสารเจือลดลง เนื่องจากความต้านทานเหนี่ยวนำของสารเจือมากเกินไปในสาร Alq_3 ที่ทำหน้าที่เป็นสารหลัก



รูปที่ 2.26 ลักษณะความหนาแน่นของกระแสกับแรงดัน เมื่ออัตราความเข้มข้นของสาร Alq3:DCM (1:0.01, 1:0.05, 1:0.1, 1:0.2, 1:0.3, 1:0.4)

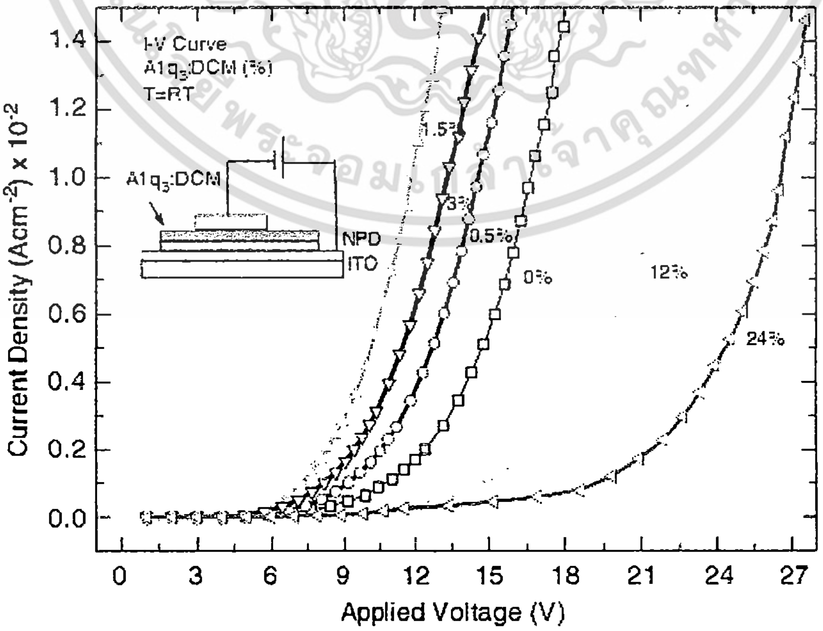
โดยยังมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการเจือสารในไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ คืองานวิจัยของ A. Uddin และคณะ[18] ที่ได้ทำการศึกษาถึงผลของการเจือต่อสมบัติทางแสงและสมบัติการส่งผ่านของพาหะประจุใน Alq_3 โดยมีโครงสร้างเป็นแบบสองชั้น ที่ประกอบไปด้วย ITO/NPD/Alq_3:DCM/Al โดยชั้น NPD จะทำหน้าที่เป็นชั้นส่งผ่านโฮล ที่มีความหนา 60 นาโนเมตร และชั้น Alq_3 ที่เจือด้วยสาร DCM ทำหน้าที่เป็นชั้นเปล่งแสง ที่มีความหนา 60 นาโนเมตร ที่ความเข้มข้นของสารเจือ DCM เป็น 0 % , 0.5% , 1.5% , 3% , 12% และ 24% โดยน้ำหนัก และนำมาตรวจสอบสมบัติทางแสง จะแสดงดังรูปที่ 2.27

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.27 พีคของพลังงาน EL กับความเข้มข้นของสารเจือ DCM

ผลของสเปกตรัมอิเล็กโทรลูมิเนสเซนซ์ ที่แสดงดังรูปที่ 2.25 จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการเจือสาร DCM เข้าไปจะทำให้พีคของสเปกตรัมจะเลื่อนจากทางย่านสีเขียวไปยังทางย่านสีแดงเนื่องจากเมื่อมีการเจือสาร DCM เข้าไปในสาร Alq_3 จะทำให้เกิดแถบพลังงานของสาร DCM ในแถบพลังงานของสาร Alq_3 ที่ทำหน้าที่เป็นสารหลัก เมื่อมีการเจือสาร DCM มากขึ้นก็จะทำให้เกิด แถบพลังงานของสาร DCM ชัดเจนขึ้น เช่นกัน จึงทำให้ สเปกตรัมเลื่อนไปทางย่านของสีแดง



รูปที่ 2.28 ความหนาแน่นกระแสกับแรงดัน ที่ความเข้มข้นของสารเจือ DCM ต่างๆ

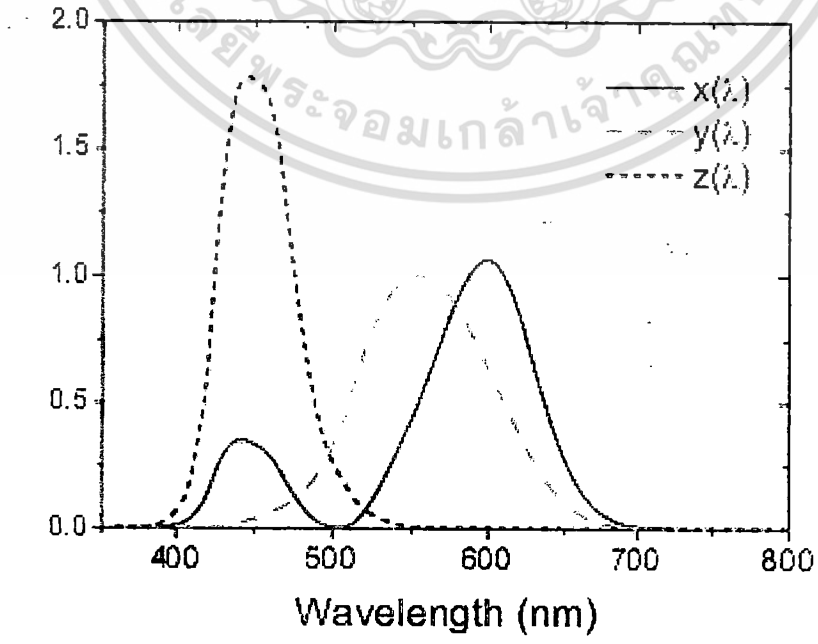
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนสมบัติการส่งผ่านพาหะประจุใน Alq_3 สามารถอธิบายผลได้จากรูปที่ 2.28 ที่แสดงความหนาแน่นกระแสกับแรงดัน ที่มีความเข้มข้นของสารเจือ DCM ต่างๆ จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการเจือสาร DCM เข้าไป จะทำให้เกิดแถบพลังงานขึ้น โดยสาร Alq_3 จะทำหน้าที่เป็นสารหลัก ที่ใช้ในการฉีดอิเล็กตรอนและช่วยในการแพร่ของโฮล ไปยังสารเจือ DCM จึงทำให้สาร DCM สามารถดักอิเล็กตรอนและโฮลได้ ดังนั้นจึงทำให้ความต่างศักย์ขีดเริ่ม (Threshold Voltage) ต่ำลง เมื่อมีการเจือเข้าไป แต่เมื่อมีการเจือสาร DCM มากขึ้นในระดับหนึ่ง กับทำให้ความต่างศักย์ขีดเริ่ม มากขึ้น บ่งชี้ว่าสารเจือ DCM มีอิทธิพลต่อสมบัติการส่งผ่านประจุใน Alq_3

2.3 ระบบ CIE (The Commision Internationale de I'Eclairage)

การศึกษาการตรวจวัดคลื่นแสงเริ่มขึ้นใน คริสต์ศตวรรษที่ 19 ในปี ค.ศ. 1928 W.D.Wright และ J.Guild ประสบความสำเร็จในการตรวจวัดคลื่นแสงครั้งสำคัญ และได้รับการรับรองจาก Commission Internationale de l 'Eclairage หรือ CIE ในปี 1931 [19] โดยค่าไตรสติมูลัส (Tristimulus Values) XYZ และปริภูมิสี (Color Space) Yxy ถือว่าพัฒนามาจากระบบสี CIE ซึ่งมีแนวพื้นฐานมาจากทฤษฎี 3 องค์ประกอบ (Three-Compenent Theory) ในการมองเห็น ได้กล่าวไว้ว่าตาของมนุษย์ประกอบด้วยเซลล์ไวแสงสามสี คือสีแดง สีเขียว สีน้ำเงิน และสีทั้งหมดที่เรามองเห็นเกิดจากการผสมของสามสีหลักดังกล่าว

โดยในปี 1931 CIE ได้ให้กำหนดมาตรฐานการมองเห็นของมนุษย์เพื่อให้ได้ฟังก์ชันความไวแสงของเซลล์ทั้งสาม (Color-Matching Function) $x(\lambda)$, $y(\lambda)$ และ $z(\lambda)$ จะแสดงดังรูปที่ 2.29 ซึ่งค่าไตรสติมูลัสXYZ จะถูกคำนวณมาจากฟังก์ชันการมองเห็นดังกล่าว



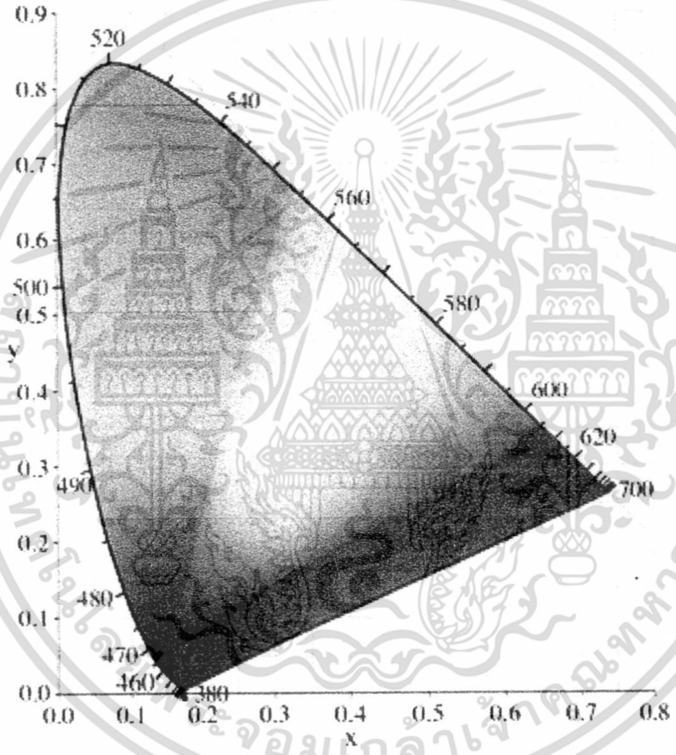
รูปที่ 2.29 ฟังก์ชันความไวแสงของตามนุษย์ (Color-Matching Functions)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ห้ามนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่เนื่องจากค่าไตรสติมูลัส XYZ นี้ นำไปแปลความหมายของสีได้ค่อนข้างยาก ดังนั้น CIE จึงนำเสนอปริภูมิสีใหม่ในปี 1931 เป็นรูปกราฟสองมิติโดยไม่รวมความสว่างเข้ามาด้วย เรียกว่า ปริภูมิสี Yxy (Yxy Color Space) ทั้งนี้ให้ Y แทนค่าความสว่าง (ค่าไตรสติมูลัส Y) ส่วนค่า x และ y คือค่าสัมประสิทธิ์ของสี (Chromaticity Coefficients) ที่ได้จากการคำนวณค่าไตรสติมูลัส XYZ ดังสมการที่ 2.13

$$x = \frac{X}{X+Y+Z} \quad \text{และ} \quad y = \frac{X}{X+Y+Z} \tag{2.13}$$

ซึ่งเป็นวิธีการที่สามารถระบุความหมายของสีได้ชัดเจนขึ้น โดยไดอะแกรมแสดงปริภูมิสีในระบบนี้ จะแสดงดังรูปที่ 2.30

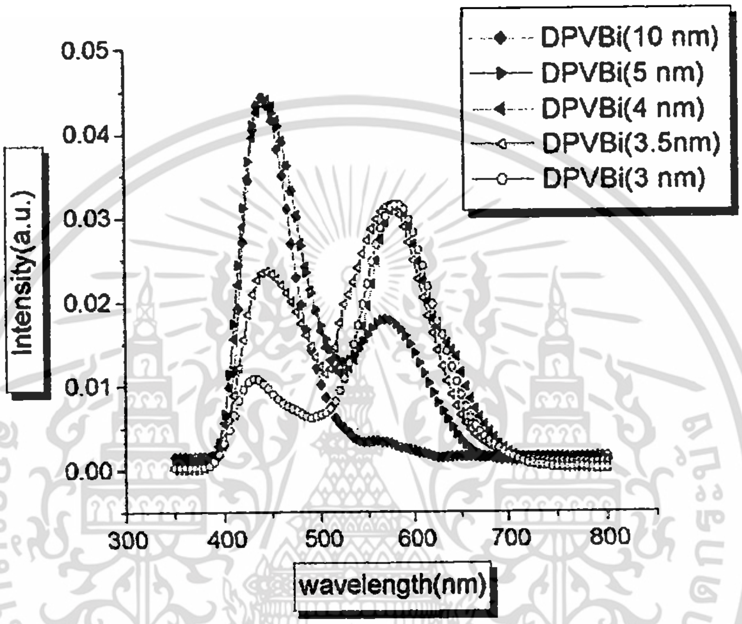


รูปที่ 2.30 ไดอะแกรม CIE

โดยมีลักษณะเป็นรูปสามเหลี่ยมเกือกม้า โดยการวิเคราะห์สีจากแสงสเปคตรัม สัมพันธ์กับความยาวคลื่นแสง แสดงถึงแสงสีขาวท่ามกลางแสงสเปคตรัมรอบรูปเกือกม้าโค้งรูปเกือกม้าแสดงความยาวคลื่นจาก 400 - 700 nm สามเหลี่ยมสี CIE สร้างขึ้นตามระบบความสัมพันธ์พิกัด x และ y คาร์เตเซียน ในทางคณิตศาสตร์จากมุมตรงข้าม 3 มุมของรูปเกือกม้า คือสีน้ำเงินม่วงเข้ม ประมาณ 400 nm สีเขียวประมาณ 520 nm และสีแดงประมาณ 700 nm คือสีจากแสง ที่จะนำมาผสมกันและก่อให้เกิดสีต่าง ๆ ขึ้น โดยแสงสีแดง จะมีความยาวคลื่นสูงสุด แต่มีความถี่คลื่นต่ำสุด และจะหักเหได้น้อยที่สุด ส่วนแสงสีม่วงจะมีความยาวคลื่นน้อยสุด แต่มีความถี่คลื่นสูงสุด และหักเหได้มากที่สุด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

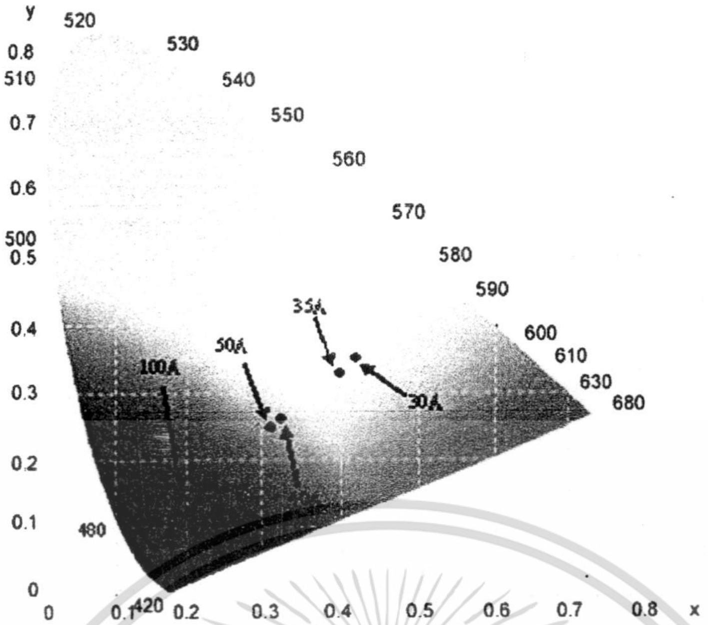
โดยงานวิจัยของ W.C.Shen และคณะ[17] ได้ทำการศึกษาถึงไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ที่มีความส่องสว่างสูงด้วยการเปล่งแสงสองชั้น ของโครงสร้าง ITO/NPB 50 nm /DPVBi y nm/ Alq_3:DCM(1:0.01) 600 nm /Al 150 nm โดยชั้น NPB จะทำหน้าที่เป็นชั้นส่งผ่านโฮล ที่มีความหนา 50 นาโนเมตร ชั้นที่สองเป็นชั้น DPVBi ที่ความหนา 3, 3.5, 4, 5 และ 10 นาโนเมตรที่ทำหน้าที่เป็นชั้นเปล่งแสงสีน้ำเงิน ชั้นที่สามเป็นชั้น Alq3 ที่เจือด้วยสาร DCM ทำหน้าที่เป็นชั้นเปล่งแสงสีส้ม ที่มีความหนา 60 นาโนเมตร โดยอัตราความเข้มข้นของสาร Alq_3:DCM เป็น 1:0.01 ที่ทำหน้าที่เป็นชั้นเปล่งแสงสีส้ม โดยสเปกตรัม EL จะแสดงดังรูปที่ 2.31



รูปที่ 2.31 สเปกตรัม EL เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความหนาของชั้น DPVBi

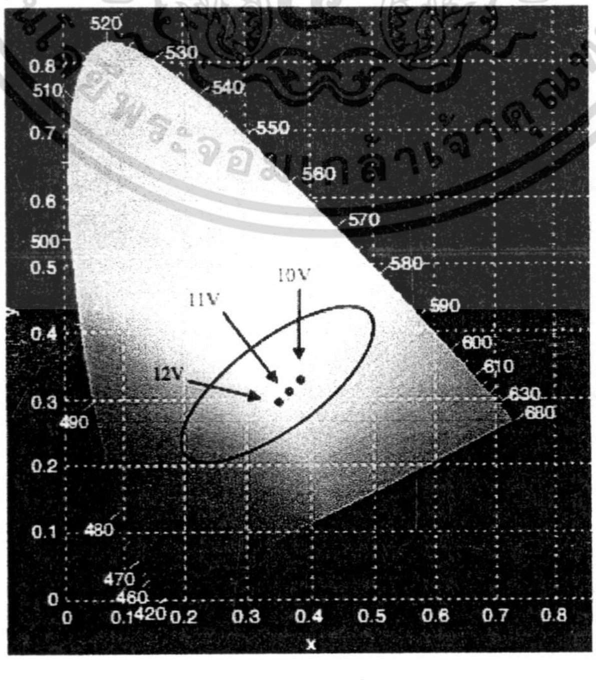
โดยงานวิจัยนี้จะเป็นไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ที่เปล่งแสงสองชั้นรวมกัน ระหว่างชั้นของสาร DPVBi ที่จะเปล่งแสงสีน้ำเงินและ Alq_3 ที่เจือด้วยสาร DCM จะเปล่งแสงสีส้มโดย อัตราความเข้มข้นของสารเจือ Alq_3:DCM(1:0.01) โดยจะทำการ หาความหนาของชั้นสาร DPVBi เพื่อเปล่งแสงน้ำเงินแล้วรวมกับการเปล่งแสงสีส้ม เพื่อให้ได้ไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์สีขาว โดยจะแสดงผลของสเปกตรัม EL เมื่อเปลี่ยนแปลงความหนาของชั้น DPVBi ซึ่งจะเห็นได้ว่าจะเกิดพีคในช่วง 450 นาโนเมตร กับ 580 นาโนเมตร โดยช่วง 450 นาโนเมตร จะเป็นการเปล่งแสงของชั้น DPVBi และช่วง 580 นาโนเมตรจะเป็นการเปล่งแสงของชั้น Alq_3 ที่เจือด้วยสาร DCM และถ้ามีชั้นของสาร DPVBi มากขึ้นก็จะทำให้การเปล่งแสงของสีน้ำเงินมากขึ้น จึงทำให้การเปล่งแสงสีส้มลดลงไป และความหนาของชั้น DPVBi ที่เหมาะสม ที่ทำให้เข้าใกล้แสงสีขาวมากที่สุด คือความหนาที่เป็น 3.5 นาโนเมตร โดยจะแสดงพิกัด CIE ของโครงสร้าง ITO/NPB 50 nm /DPVBi y nm/ Alq_3:DCM(1:0.01) 600 nm /Al 150 nm เมื่อเปลี่ยนแปลงความหนาของชั้น DPVBi เป็น 3, 3.5, 4, 5 และ 10 นาโนเมตร จะแสดงดังรูปที่ 2.32

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.32 พิกัด CIE เมื่อเปลี่ยนแปลงความหนาของชั้น DPVBi

โดยงานวิจัยของ W.C.Shen และคณะ[16] ที่เป็นโครงสร้าง ITO/NPB 50 nm /DPVBi 3.5 nm/ Alq_3:DCM(1:0.01) 600 nm /LiF 1 nm/Al 150 nm โดยมีการจ่ายแรงดันที่ต่างกัน คือ 10 V, 11V และ 12 V โดยพิกัด CIE จะแสดงดังรูปที่ 2.33 จะเห็นได้ว่า การจ่ายแรงดันมีผลต่อสีของการเปล่งแสง เนื่องจาก เมื่อมีการจ่ายแรงดันมากขึ้น จะทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนกับโฮลมากขึ้น และบริเวณที่เกิดการรวมตัวกันของอิเล็กตรอนกับ โฮลในชั้นเปล่งแสงเปลี่ยนไป จึงทำให้การจ่ายแรงดันมีผลต่อสีของการเปล่งแสง



รูปที่ 2.33 พิกัด CIE เมื่อจ่ายแรงดันต่างกัน

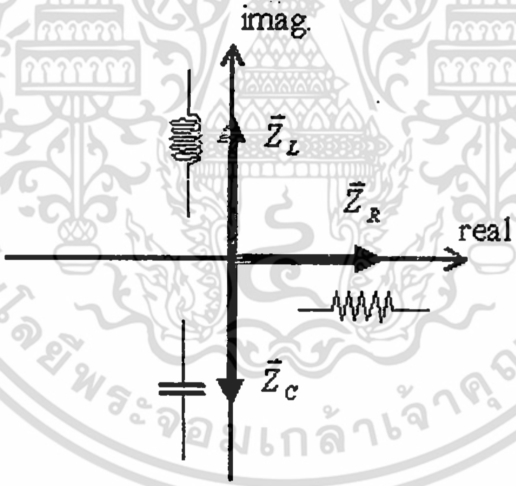
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 อิมพีแดนซ์หรือความต้านทานเชิงซ้อน

อิมพีแดนซ์ (impedance) ในวงจรหมายถึง อัตราส่วนระหว่างแรงดันต่อกระแส ซึ่งใช้ตัว Z เป็นสัญลักษณ์เขียนแทน และมีหน่วยเป็นโอห์ม (Ω) ซึ่งจะแสดงดังสมการที่ 2.14

$$Z = E/I \quad \text{หรือ} \quad E = IZ \tag{2.14}$$

เนื่องจากมุมเฟสระหว่างแรงดันและกระแสในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับจะเปลี่ยนแปลงกับตัวต้านทาน (R), ตัวเหนี่ยวนำ (L) และ ตัวเก็บประจุ (C) จึงจำเป็นต้องมีวิธีเขียนสมบัติของ R, L และ C ในลักษณะเดียวกันเพื่อจะสามารถเขียนสมการรูปทั่วไปได้ ดังนั้น อิมพีแดนซ์หรือความต้านทานเชิงซ้อน จะเป็นวิธีที่รวมค่าความต้านทาน *R* และความต้านทานจินตภาพหรือรีแอกแตนซ์ (reactance) *X* ในรูปตัวแปรเดี่ยว เรียกว่าอิมพีแดนซ์ *Z* โดยตัวต้านทานจะมีแรงดันและกระแส เฟสตรงกัน ในตัวเก็บประจุเฟสของกระแสจะนำหน้าแรงดัน อยู่ 90 องศา และในตัวเหนี่ยวนำเฟสของแรงดันจะนำหน้าของกระแสอยู่ 90 องศา เนื่องจากความต้านทานและรีแอกแทนซ์เป็นปริมาณสเกลาร์ เพื่อให้ได้ข้อมูลเฟสเพิ่มเติมจึงต้องเปลี่ยนไปพิจารณาอิมพีแดนซ์ซึ่งเป็นปริมาณเวกเตอร์



รูปที่ 2.34 อิมพีแดนซ์ของ R, L และ C เป็นแบบเวกเตอร์

เวกเตอร์เป็นปริมาณที่มีทั้งขนาดและทิศทาง จากรูปที่ 2.34 จะแสดงอิมพีแดนซ์ของ R, L และ C เป็นแบบเวกเตอร์ เพื่อแสดงความแตกต่างระหว่างความต้านทานและรีแอกแทนซ์ ซึ่งเขียนบนแกนต่างกัน โดยเขียนความต้านทานในแนวแกน x หรือแกนจริง (real axis) และรีแอกแทนซ์ในแนวแกน y หรือแกนจินตภาพ (imaginary axis) ความต้านทานเป็นบวกเสมอ แต่จากรูปที่ 2.34 นี้ อิมพีแดนซ์ของความเหนี่ยวนำเป็นบวกและอิมพีแดนซ์ของความจุไฟฟ้าเป็นลบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การคำนวณทางคณิตศาสตร์ เราเขียนอิมพีแดนซ์เป็นปริมาณเชิงซ้อน (complex number) ซึ่งเป็นตัวเลขที่มีสองส่วน คือ ส่วนจริง (real) และส่วนจินตภาพ (imaginary) ตัวเลขปริมาณเชิงซ้อนเขียนในรูปดังสมการที่ 2.15

$$\overline{Z} = x + jy, j = \sqrt{-1} \tag{2.15}$$

โดยที่ x เป็นส่วนจริงและ y เป็นส่วนจินตภาพ ถ้าเขียนอิมพีแดนซ์ในลักษณะนี้แล้ว ความต้านทานจะเป็นส่วนจริง และรีแอกแทนซ์จะเป็นส่วนจินตภาพ ขนาดของอิมพีแดนซ์คำนวณจากขนาดหรือมอดูลัส (modulus) ของปริมาณเชิงซ้อน ดังสมการที่ 2.16

$$Z = \sqrt{x^2 + y^2} \tag{2.16}$$

โดยการใช้ระบบดังกล่าวเราสามารถรวมอิมพีแดนซ์ได้เมื่อเราเขียนทั้งสาม (R, L และ C) ในรูปแบบเดียวกัน ดังสมการที่ 2.17 สำหรับตัวต้านทาน สมการที่ 2.18 สำหรับตัวเหนี่ยวนำ และสมการที่ 2.19 สำหรับตัวเก็บประจุ

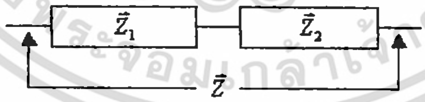
$$\overline{Z}_R = R \tag{2.17}$$

$$\overline{Z}_L = j\omega L \tag{2.18}$$

$$\overline{Z}_C = \frac{-j}{\omega C} \tag{2.19}$$

สำหรับอิมพีแดนซ์ต่อกันแบบอนุกรม เรารวมอิมพีแดนซ์โดยจะได้ดังสมาการที่ 2.20 และจะแสดงดังรูปที่ 2.35

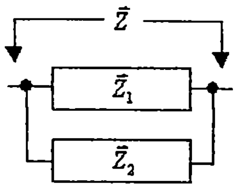
$$\overline{Z} = \overline{Z}_1 + \overline{Z}_2 \tag{2.20}$$



รูปที่ 2.35 อิมพีแดนซ์ต่อแบบอนุกรม

และสำหรับอิมพีแดนซ์ต่อกันแบบขนาน เรารวมอิมพีแดนซ์โดย

$$\overline{Z} = \frac{\overline{Z}_1\overline{Z}_2}{(\overline{Z}_1 + \overline{Z}_2)} \tag{2.21}$$



รูปที่ 2.36 อิมพีแดนซ์ต่อแบบขนาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.1 วงจรที่มีตัวต้านทาน (R) เพียงอย่างเดียว

จากวงจรไฟฟ้าสลับที่ประกอบด้วย R เพียงอย่างเดียว เมื่ออาศัยกฎของโอห์มก็จะได้

$$E = V = IR \quad \text{หรือ} \quad I = EG = VG \tag{2.22}$$

ลักษณะสมบัติของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่ประกอบด้วย R เพียงอย่างเดียว

1. กระแสกับแรงดันจะเกิดอินเฟสกัน ซึ่งจะทำให้มุมเฟสของวงจรที่ได้มีค่าเท่าศูนย์ ($\emptyset$=0)
2. ค่าอิมพีแดนซ์จะเท่ากับค่าความต้านทาน (Z = R)
3. ค่าแอดมิตแตนซ์จะเท่ากับค่าความนำ (Y = G)
4. กำลังงานไฟฟ้าที่เกิดขึ้นในวงจร ถือว่าเป็นกำลังไฟฟ้าเฉลี่ย ($P = VI = I^2R = V^2/R$)

2.4.2 วงจรที่มีตัวเหนี่ยวนำ (L) เพียงอย่างเดียว

จากวงจรไฟฟ้าสลับที่ประกอบด้วย L เพียงอย่างเดียว เมื่ออาศัยกฎของโอห์มจะได้

$$I = \frac{E}{X_L} \quad \text{หรือ} \quad \frac{I}{E} = X_L \quad \text{หรือ} \quad \frac{I}{E} = \frac{1}{X_L} \tag{2.23}$$

และ

$$V = E = IX_L \tag{2.24}$$

แต่อัตราส่วนของ I/E ก็คือค่าแอดมิตแตนซ์ ดังนั้นในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่ประกอบด้วย L เพียงอย่างเดียวค่าแอดมิตแตนซ์ก็คือค่าอินดัคติฟซัซเซพแตนซ์ B_L ดังนั้นจะได้

$$B_L = \frac{1}{X_L} \tag{2.25}$$

ส่วนอัตราส่วนของ E/I ก็คือค่าอิมพีแดนซ์ ดังนั้นในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่ประกอบด้วย L เพียงอย่างเดียวค่าอิมพีแดนซ์ก็คือค่า อินดัคติฟรีแอคแตนซ์ ซึ่งจะได้

$$XL = \omega L = 2\pi fL \tag{2.26}$$

ลักษณะสมบัติของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่ประกอบด้วย L เพียงอย่างเดียว

1. กระแสกับแรงดันจะมีเฟสต่างกัน 90° หรือ π/2rad โดยแรงดันที่เกิดขึ้นในวงจรจะนำหน้ากระแสไปเป็นมุม 90° หรือจะกล่าวในอีกทางหนึ่งก็คือ กระแสจะล้าหลังแรงดันอยู่เป็นมุม 90°
2. มุมเฟสของวงจร(มุมเฟสของกระแสเมื่อเทียบกับแรงดัน) มีค่าเท่ากับ – 90° หรือ - π/2 rad
3. ค่าแอดมิตแตนซ์จะเท่ากับค่าอินดัคตีฟซัซเซฟแตนซ์ ($Y = B_L = 1/X_L$ ซีเมนส์)
4. ค่าอิมพีแดนซ์จะเท่ากับค่าอินดัคติฟรีแอคแตนซ์ ($Z = XL = \omega L = 2\pi fL$ โอห์ม)
5. จะไม่มีกำลังไฟฟ้า (กำลังเฉลี่ย) เกิดขึ้นในวงจร (P = 0)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4.3 วงจรที่มีตัวเก็บประจุ(C) เพียงอย่างเดียว

จากวงจรไฟฟ้าสลับที่ประกอบด้วย C เพียงอย่างเดียวเมื่ออาศัยกฎของโอห์มจะได้

$$I = \frac{E}{X_C} \quad \text{หรือ} \quad \frac{I}{E} = X_C \quad \text{หรือ} \quad \frac{I}{E} = \frac{1}{X_C} \tag{2.26}$$

และ

$$V = E = IX_C \tag{2.27}$$

แต่อัตราส่วนของ I/E ก็คือค่าแอดมิตแตนซ์ ดังนั้นในวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่ประกอบด้วย C เพียงอย่างเดียว ค่าแอดมิตแตนซ์ก็คือค่า คาปาซิตีฟซัซเซพแตนซ์ B_C ดังนั้น จะได้

$$B_C = \frac{1}{X_C} \tag{2.28}$$

ส่วนอัตราส่วนของ E/I ก็คือ ค่าอิมพีแดนซ์ ดังนั้นในวงจรไฟสลับที่ประกอบด้วย C เพียงอย่างเดียวค่าอิมพีแดนซ์ก็คือค่า คาปาซิตีฟรีแอคแตนซ์ นั้นเอง ซึ่งจะได้

$$X_C = \frac{1}{\omega C} = \frac{1}{2\pi fC} \tag{2.28}$$

ลักษณะสมบัติของวงจรไฟฟ้ากระแสสลับที่ประกอบด้วย C เพียงอย่างเดียว

1. กระแสกับแรงดันจะมีเฟสต่างกัน 90° หรือ $\pi/2$ rad โดยกระแสจะนำหน้าแรงดันไปเป็นมุม 90°
2. มุมเฟสของวงจร (มุมเฟสของกระแสเมื่อเทียบกับแรงดัน) มีค่าเท่ากับ +90° หรือ $+\pi/2$ rad
3. ค่าแอดมิตแตนซ์จะเท่ากับค่าคาปาซิตีฟ ซัซเซพแตนซ์ ($Y = B_C = 1/X_C$ ซีเมนส์)
4. ค่าอิมพีแดนซ์จะเท่ากับค่าคาปาซิตีฟรีแอคแตนซ์ ($Z = XC = 1/\omega C = ½ \pi fC$ โอห์ม)
5. จะไม่มีกำลังไฟฟ้า (กำลังเฉลี่ย) เกิดขึ้นในวงจร (P = 0)

2.4.4 วงจรที่มีตัวต้านทาน(R) กับ ตัวเหนี่ยวนำ (L) ต่ออนุกรมกัน

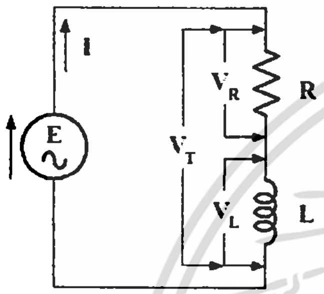
เมื่อนำ R และ L มาต่อกันแบบอนุกรม และต่อเข้ากับแหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้า E ดังแสดงในรูปที่ 2.37(ก) จะเห็นว่า จะทำให้เกิดกระแส I ไหลในวงจร และกระแส I ดังกล่าวนี้จะเป็นตัวทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมขึ้นที่ R และ L คือ $V_R(IR)$ และ $V_L(IX_L)$ ตามลำดับ โดยกระแส I ที่ไหลในวงจรจะอินเฟสกับแรงดัน V_R แต่ล้าหลังแรงดัน V_L อยู่เป็นมุม 90°

การเขียนไดอะแกรมของรูปคลื่น และเฟสเซอร์ไดอะแกรมของวงจร RL อนุกรมดังในรูปที่ 2.37(ก) เราจะใช้กระแส I เป็นตัวอ้างอิงในการเขียนเสมอ ดังในรูปที่ 2.37(ข) จะเห็นว่า ไดอะแกรมของรูปคลื่นของกระแส I จะเริ่มต้นที่จุด 0° ส่วนในรูปที่ 2.37(ค) จะเห็นว่า เฟสเซอร์ของกระแส I จะเขียนในแนวแกน X หรือ แกน 0° ไดอะแกรมของรูปคลื่นของวงจร RL อนุกรมจะแสดงดังใน

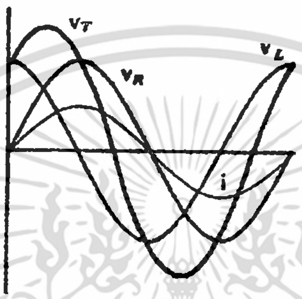
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.37(ข) จะพิจารณาเห็นว่ารูปคลื่นของกระแส I จะอินเฟสกับรูปคลื่นของแรงดัน V_R แต่จะล้าหลังรูปคลื่นของแรงดัน V_L อยู่เป็นมุม 90° และจะนำหน้าแรงดัน V_R ไปเป็นมุม 90° เช่นเดียวกัน ส่วนรูปคลื่นของแรงดัน V_T ได้มาจากค่าทุกๆ ขณะเวลาของรูปคลื่นของแรงดัน V_R กับ V_L รวมกัน

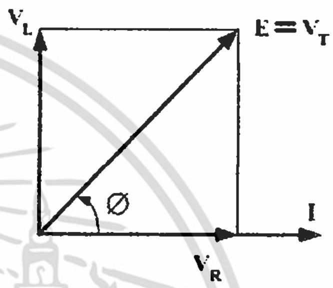
อย่างไรก็ตาม การเขียนรูปคลื่นแทนปริมาณของแรงดันและกระแสที่แสดงให้เห็นตามในรูปที่ 2.37(ข) ที่นำไปใช้ในการวิเคราะห์วงจร โดยเฉพาะวงจรที่มีลักษณะยุ่งยากและซับซ่อนมาก ๆ แล้ว จะทำให้การพิจารณาหรือการวิเคราะห์วงจรยิ่งยากมาก ดังนั้นจึงต้องใช้เฟสเซอร์เขียนแทน ซึ่งจะแสดงดังรูปที่ 2.37(ค)



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 2.37 (ก)วงจร RL อนุกรม (ข)ไดอะแกรมของรูปคลื่น (ค)เฟสเซอร์ไดอะแกรม

เฟสเซอร์ไดอะแกรมดังรูปที่ 2.37(ค) จะเห็นได้ว่า เฟสเซอร์ของแรงดัน V_R กับเฟสเซอร์ของกระแส I จะอินเฟสกัน และมีทิศทางชี้ไปทางขวา (0°) และเฟสเซอร์ของแรงดัน V_L จะชี้ไปในแกนตั้ง (90°) เพราะนำหน้าแรงดัน V_R และกระแส I ไปเป็นมุม 90° ส่วนเฟสเซอร์ของแรงดัน V_T ได้มาจากเฟสเซอร์ของแรงดัน V_L บวกกับเฟสเซอร์ของแรงดัน V_R ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์เฟสเซอร์ของแรงดันดังนี้คือ

$$V_T^2 = V_R^2 + V_L^2 \quad \text{หรือ} \quad V_T = \sqrt{V_R^2 + V_L^2} \tag{2.29}$$

การหาค่าอิมพีแดนซ์ของวงจร RL อนุกรม สามารถหาได้จากสมการความสัมพันธ์ของแรงดันในสมการที่ 2.29 เมื่อนำกฎของโอห์มมาใช้ในการพิจารณา ซึ่งจะได้ดังนี้คือ

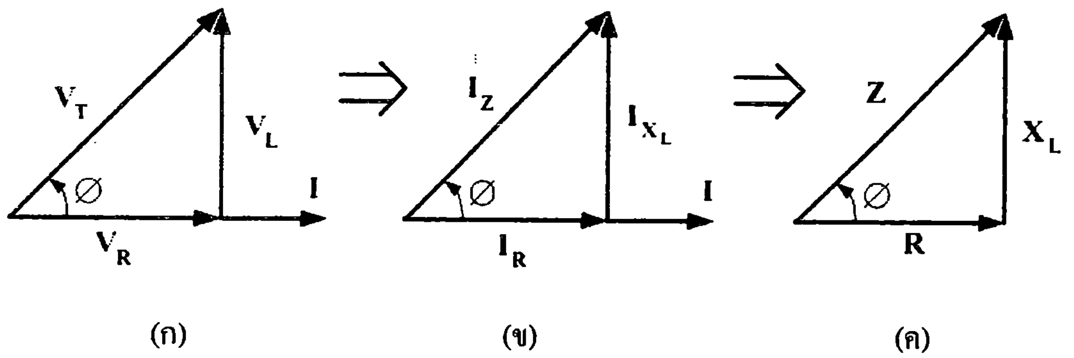
จากสมการที่ 2.29 เมื่อแทนค่า $V_T = IZ$, $V_R = IR$ และ $V_L = IX_L$ จะได้

$$(IZ)^2 = (IR)^2 + (IX_L)^2$$

เมื่อใช้กระแส I^2 หารสมการข้างบนตลอด จะได้

$$Z^2 = R^2 + X_L^2 \quad \text{หรือ} \quad Z = \sqrt{R^2 + X_L^2} \tag{2.30}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ในการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



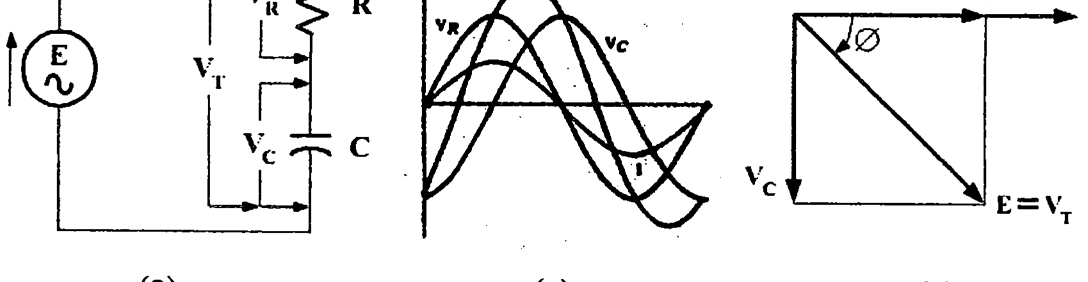
รูปที่ 2.38 ที่มาของอิมพีแดนซ์ไดอะแกรม

เฟสเซอร์ไดอะแกรมในรูปที่ 2.38(ก) คือ เฟสเซอร์ไดอะแกรมในรูปที่ 2.37(ค) เมื่ออาศัยกฎของโอห์มโดยการแทนที่ $V_T = IZ$, $V_L = IX_L$ และ $V_R = IR$ ก็จะได้เฟสเซอร์ไดอะแกรมในรูปที่ 2.38(ก) เป็นรูปที่ 2.38(ข) เมื่อตัดตัวประกอบกระแส I ออกไป จะทำให้ได้อิมพีแดนซ์ไดอะแกรมดังในรูปที่ 2.38(ค)

2.4.5 วงจรที่มีตัวต้านทาน(R) กับ ตัวเก็บประจุ (C) ต่ออนุกรมกัน

เมื่อนำ R และ C มาต่อแบบอนุกรม และต่อเข้ากับแหล่งกำเนิดแรงดันไฟฟ้า E ดังแสดงในรูปที่ 2.39(ก) จะเห็นว่า จะทำให้เกิดกระแส I ไหลในวงจร และกระแส I ดังกล่าวนี้ จะเป็นตัวทำให้เกิดแรงดันตกคร่อมที่ R และ C คือ V_R (I_R) และ V_C(IX_C) ตามลำดับ โดยกระแส I ที่ไหลในวงจรจะอินเฟสกับแรงดัน V_R และจะนำหน้าแรงดัน V_C ไปเป็นมุม 90°

การเขียนไดอะแกรมของรูปคลื่นและเฟสเซอร์ไดอะแกรมของวงจร RC อนุกรมดังในรูปที่ 2.39(ก) นี้ เราจะใช้กระแส I เป็นตัวอ้างอิง ดังในรูปที่ 2.39(ข) จะเห็นได้ว่าไดอะแกรมของรูปคลื่นของกระแสจะเริ่มที่จุด 0° ส่วนในรูปที่ 2.39(ค) จะเห็นว่า เฟสเซอร์ของกระแส I จะเขียนในแนวแกน x หรือแกน 0°



รูปที่ 2.39 (ก)วงจร RC อนุกรม (ข)ไดอะแกรมของรูปคลื่น (ค)เฟสเซอร์ไดอะแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไดอะแกรมของรูปคลื่นของวงจร RC อนุกรม ดังในรูปที่ 2.39(ข) จะเห็นว่า รูปคลื่นของกระแส I จะอินเฟสกับรูปคลื่นของแรงดัน V_R และจะนำหน้ารูปคลื่นของแรงดัน V_C ไปเป็นมุม 90° หรือ $\pi/2$ rad นั่นคือ แรงดัน V_C จะล้าหลังกระแส I อยู่เป็นมุม 90° และจะล้าหลังแรงดัน V_R อยู่เป็นมุม 90° เช่นเดียวกัน ส่วนรูปคลื่นของแรงดัน V_T ได้มาจากค่าทุกๆ ขณะเวลาของรูปคลื่นของแรงดัน V_R กับ V_C ร่วมกัน

ส่วนเฟสเซอร์ไดอะแกรมดังในรูปที่ 2.39(ค) จะเห็นว่า เฟสเซอร์ของแรงดัน V_R จะอินเฟสกับกระแส I และมีทิศทางชี้ไปทางขวา (0°) และเฟสเซอร์ของแรงดัน V_C จะชี้ลงเป็นมุม 90°ส่วนเฟสเซอร์ของแรงดัน V_T ได้มาจากผลรวมทางเฟสเซอร์ระหว่างแรงดัน V_R กับ V_C ซึ่งจะได้ส่วนสัมพันธ์ของเฟสเซอร์ของแรงดันดังนี้

$$V_T^2 = V_R^2 + V_C^2 \quad \text{หรือ} \quad V_T = \sqrt{V_R^2 + V_C^2} \qquad (2.31)$$

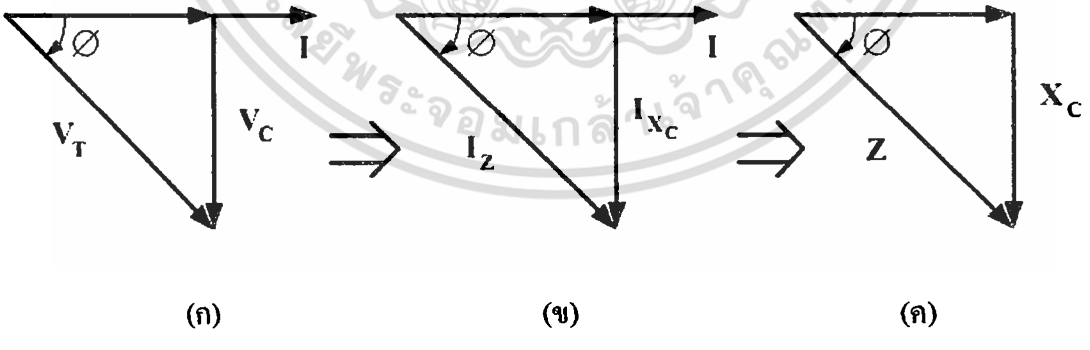
การหาค่าอิมพีแดนซ์ RC อนุกรม สามารถหาได้จากสมการความสัมพันธ์ของแรงดันในสมการที่ 2.31 เมื่อนำกฎของโอห์มมาใช้ในการพิจารณา ซึ่งจะหาได้ดังนี้

จากสมาการที่ 2.31 เมื่อแทนค่า $V_T = IZ$, $V_R = IR$ และ $V_C = IX_C$ จะได้

$$(IZ)^2 = (IR)^2 + (IX_C)^2$$

เมื่อใช้กระแส I^2 หารตลอดจะได้

$$Z^2 = R^2 + X_C^2 \quad \text{หรือ} \quad Z = \sqrt{R^2 + X_C^2} \qquad (2.32)$$



รูปที่ 2.40 ที่มาของอิมพีแดนซ์ไดอะแกรม

เฟสเซอร์ไดอะแกรมในรูปที่ 2.40(ก) คือเฟสเซอร์ไดอะแกรมในรูปที่ 2.39(ค) เมื่ออาศัยกฎของโอห์มจะได้เฟสเซอร์ไดอะแกรมในรูปที่ 2.40(ก) เป็นรูปที่ 2.40(ข) และเมื่อตัดตัวประกอบรวมกระแส I ออกไป จะทำให้ได้อิมพีแดนซ์ไดอะแกรมดังในรูปที่ 2.40(ค)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

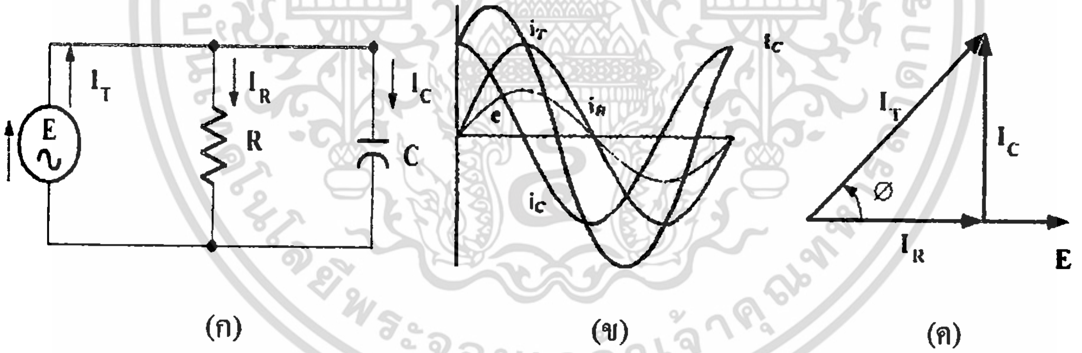
จากเฟสเซอร์และอิมพีแดนซ์ไดอะแกรมที่รูปที่ 2.40(ก) และ (ค) จะได้

$$\cos\phi = \frac{V_R}{V_T} = \frac{R}{Z} \tag{2.33}$$

ดังนั้นจะได้เพาเวอร์แฟคเตอร์ของวงจร RC อนุกรมเท่ากับ cos $\varnothing$ หรือเท่ากับ R/Z หรือเท่ากับ V_R/V_T

2.4.6 วงจรที่มีตัวต้านทาน(R) กับ ตัวเก็บประจุ (C) ต่อขนานกัน

เมื่อนำ R และ C มาต่อกันแบบขนาน และต่อเข้ากับแหล่งกำเนิดไฟฟ้า E ดังในรูปที่ 2.41 (ก) จะเห็นว่า จะทำให้เกิดกระแสไหลผ่าน R และ C มีค่าเท่ากับ I_R และ I_C ตามลำดับ ส่วนกระแสทั้งหมดของวงจรคือ I_T มีค่าเท่ากับกระแส I_R บวกกับกระแส I_C ทางเฟสเซอร์ โดยกระแส I_R จะอินเฟสกับแรงดัน E แต่กระแส I_C จะนำหน้าแรงดัน E ไปเป็นมุม 90° การเขียนไดอะแกรมของรูปคลื่นและเฟสเซอร์ไดอะแกรมของวงจร RC ขนานดังในรูปที่ 2.41(ก) เราจะใช้แรงดัง E เป็นตัวอ้างอิงในการเขียนเสมอ ดังเช่นในรูปที่ 2.41(ข) จะเห็นว่า ไดอะแกรมของรูปคลื่นของแรงดัน E จะเริ่มต้นที่จุด 0° ส่วนในรูปที่ 2.41(ค) จะเห็นว่าเฟสเซอร์ ของแรงดัน E จะเขียนในแนวแกน X หรือแกน 0° เช่นกัน



รูปที่ 2.41 (ก) วงจร RC ขนาน (ข) ไดอะแกรมรูปคลื่น (ค) เฟสเซอร์ไดอะแกรม

ไดอะแกรมของรูปคลื่นของวงจร RC ขนาน ดังในรูปที่ 2.41(ข) จะเห็นว่า รูปคลื่นของแรงดัน E จะอินเฟสกับรูปคลื่นของกระแส I_R และจะล้าหลังรูปคลื่นของกระแส I_C อยู่เป็นมุม 90° หรือ $\pi/2$ rad นั้นคือกระแส I_C จะนำหน้ากระแส I_R ไปเป็นมุม 90° และจะนำหน้าแรงดัน E ไปเป็นมุม 90° เช่นเดียวกัน ส่วนรูปคลื่นของกระแส I_T ได้มาจากค่าทุกๆ ขณะเวลาของรูปคลื่นของกระแส I_R กับ I_C ร่วมกัน

ส่วนเฟสเซอร์ไดอะแกรมในรูปที่ 2.41(ค) จะเห็นว่าเฟสเซอร์ของกระแส I_R จะอินเฟสกับของแรงดัน E และมีทิศทางชี้ไปทางขวา (0°) และเฟสเซอร์ของกระแส I_C มีทิศทางชี้ขึ้นในแกนตั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำมุม 90° กับแรงดัน E ส่วนเฟสเซอร์ของกระแส I_T ได้มาจากผลรวมทางเฟสเซอร์ระหว่างกระแส I_R กับ I_C ซึ่งจะได้ความสัมพันธ์ของกระแสดังนี้คือ

$$I_T^2 = I_R^2 + I_C^2 \quad \text{หรือ} \quad I_T = \sqrt{I_R^2 + I_C^2} \tag{2.34}$$

2.4.7 ลักษณะของวงจรสมมูลในการวิเคราะห์ค่าอิมพีแดนซ์

การวิเคราะห์ค่าอิมพีแดนซ์ที่เป็นส่วนจริง(real 'Z') ในแนวแกน X กับค่าอิมพีแดนซ์ที่เป็นส่วนจินตภาพ(imaginary 'Z') ในแนวแกน Y ซึ่งเรียกว่า กราฟ Cole – Cole โดยความถี่จะขึ้นอยู่กับค่าของอิมพีแดนซ์และเฟสของอิมพีแดนซ์ของแต่ละวงจร ถ้าวงจรมีเพียงตัวต้านทานเพียงอย่างเดียว ดังรูปที่ 2.42(ก) จะมีจุดหรือเส้นบนแกน X ในกราฟ Cole – Cole ดังรูปที่ 2.42(ข) โดยเมื่อวิเคราะห์ค่าอิมพีแดนซ์แล้ว จะมีค่าอิมพีแดนซ์ดังสมการที่ 2.35

$$Z_R = R \tag{2.35}$$

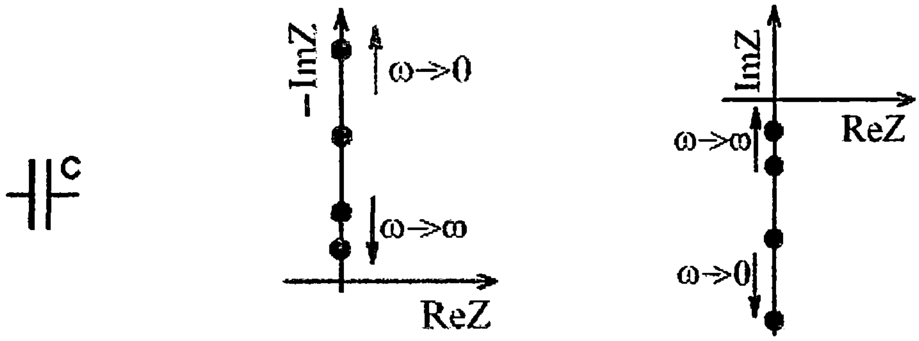
รูปที่ 2.42 (ก) วงจรมีตัวต้านทานเพียงอย่างเดียว (ข) กราฟ Cole – Cole จะมีจุดบนแกน X

ถ้าวงจรมีเพียงตัวเก็บประจุเพียงอย่างเดียว ดังรูปที่ 2.43(ก) จะมีจุดหรือเส้นบนแกน Y ฝั่งบน ในกราฟ Cole – Cole ดังรูปที่ 2.43(ข) โดยเมื่อวิเคราะห์ค่าอิมพีแดนซ์ จะมีค่าอิมพีแดนซ์ดังสมการที่ 2.36 ถ้ามีจุดหรือเส้นบนแกน Y ฝั่งล่าง ในกราฟ Cole – Cole ดังรูปที่ 2.43(ค) โดยวิเคราะห์ค่าอิมพีแดนซ์ จะมีค่าอิมพีแดนซ์ดังสมการที่ 2.37 โดยความถี่ต่ำจะมีค่าอิมพีแดนซ์สูง และความถี่สูงจะมีค่าอิมพีแดนซ์ต่ำ

$$Z_C = \frac{-i}{\omega C} \tag{2.36}$$

$$Z_C = \frac{1}{i\omega C} \tag{2.37}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

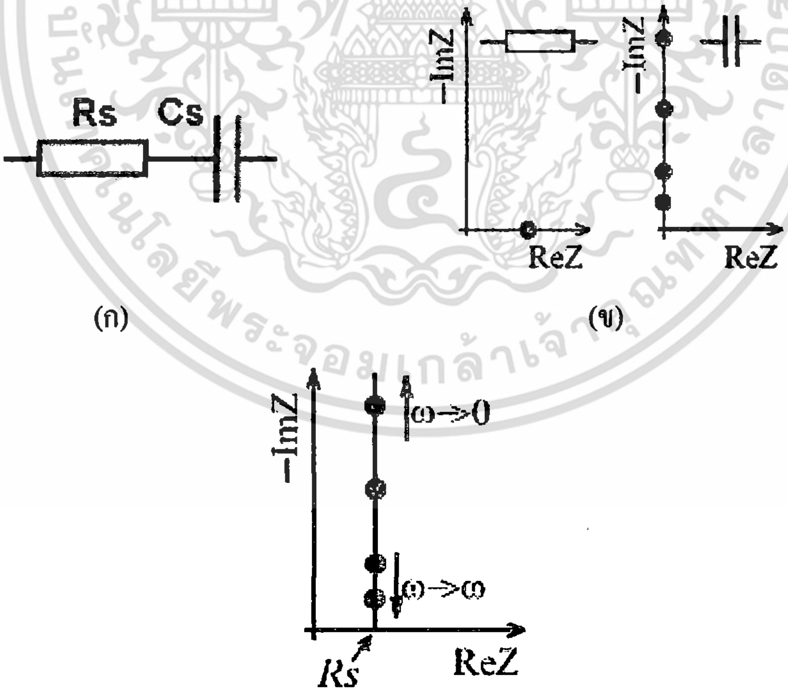


(ก) (ข) (ค)

รูปที่ 2.43 (ก) วงจรมีตัวเก็บประจุเพียงอย่างเดียว (ข) กราฟ Cole – Cole จะมีจุดบนแกน Y ฝั่งบน (ค) กราฟ Cole – Cole จะมีจุดบนแกน Y ฝั่งล่าง

ถ้าวงจรมีตัวต้านทานกับตัวเก็บประจุต่ออนุกรมกัน ดังรูปที่ 2.44(ก) จะมีจุดบนแกน X สำหรับตัวต้านทานและจะมีจุดบนแกน Y สำหรับตัวเก็บประจุ ในกราฟ Cole – Cole ดังรูปที่ 2.44 (ข) เมื่อมาต่ออนุกรมกัน จะมีอิมพีแดนซ์ในกราฟ Cole – Cole ดังรูปที่ 2.44(ค) โดยเมื่อวิเคราะห์ค่าอิมพีแดนซ์ จะมีค่าอิมพีแดนซ์ดังสมการที่ 2.38

$$Z_C = R_S - \frac{i}{\omega C_S} \qquad (2.38)$$



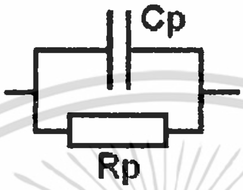
(ค)

รูปที่ 2.44 (ก) วงจรมีตัวต้านทานกับตัวเก็บประจุต่ออนุกรมกัน (ข) กราฟ Cole – Cole จะมีจุดบนแกน X สำหรับตัวต้านทาน และ จะมีจุดบนแกน Y สำหรับตัวเก็บประจุ (ค) กราฟ Cole – Cole ของวงจรที่มีตัวต้านทานกับตัวเก็บประจุต่ออนุกรมกัน

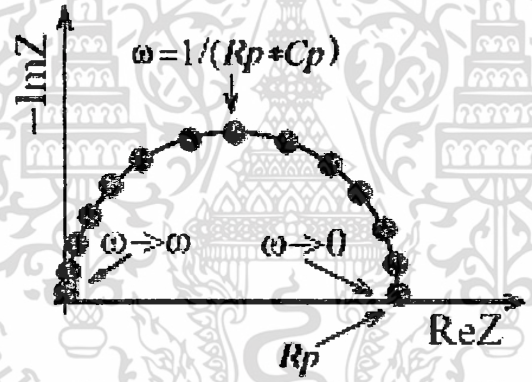
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าวงจรมีตัวต้านทานกับตัวเก็บประจุต่อขนานกัน ดังรูปที่ 2.45(ก) จะมีอิมพีแดนซ์ในกราฟ Cole – Cole ดังรูปที่ 2.45(ข) โดยมีลักษณะเป็นครึ่งวงกลมในระนาบ เมื่อมาต่อขนานกัน แสดงว่าเป็นวงจรสมมูลของวงจรขนาน RC โดยเมื่อวิเคราะห์ค่าอิมพีแดนซ์ จะมีค่าอิมพีแดนซ์ดังสมการที่ 2.39

$$Z_C = \frac{R_P}{1+\omega^2 R_P^2 C_P^2} - i\frac{\omega R_P^2 C_P}{1+\omega^2 R_P^2 C_P^2} \tag{2.39}$$



(ก)



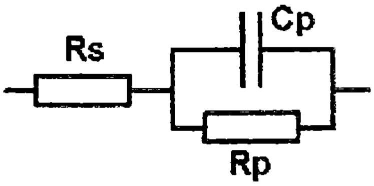
(ข)

รูปที่ 2.45 (ก) วงจรมีตัวต้านทานกับตัวเก็บประจุต่อขนานกัน (ข) กราฟ Cole – Cole ของวงจรที่มีตัวต้านทานกับตัวเก็บประจุต่อขนานกัน

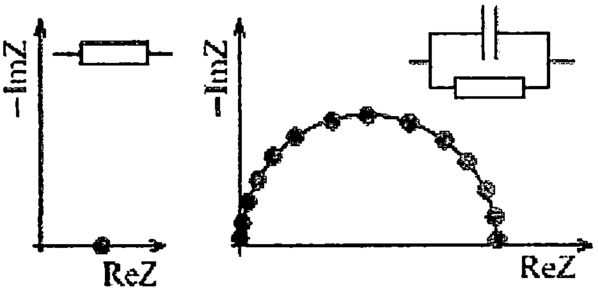
ถ้าวงจรมีตัวต้านทานต่ออนุกรมกับตัวต้านทานที่ต่อขนานกับตัวเก็บประจุ ดังรูปที่ 2.46(ก) จะมีจุดบนแกน X สำหรับตัวต้านทานและจะมีจุดในลักษณะเป็นครึ่งวงกลมในระนาบ สำหรับตัวต้านทานที่ต่อขนานกับตัวเก็บประจุ ในกราฟ Cole – Cole ดังรูปที่ 2.46(ข) เมื่อนำตัวต้านทานมาต่ออนุกรมกับตัวต้านทานที่ต่อขนานกับตัวเก็บประจุ จะมีอิมพีแดนซ์ในกราฟ Cole–Cole ดังรูปที่ 2.46 (ค) โดยเมื่อวิเคราะห์ค่าอิมพีแดนซ์ จะมีค่าอิมพีแดนซ์ดังสมการที่ 2.40

$$Z_C = R_S + \frac{R_P}{1+\omega^2 R_P^2 C_P^2} - i\frac{\omega R_P^2 C_P}{1+\omega^2 R_P^2 C_P^2} \tag{2.39}$$

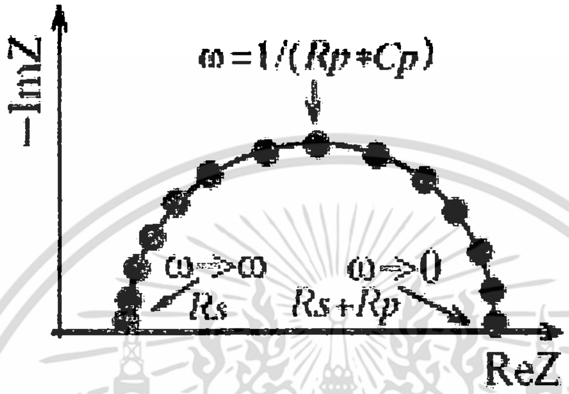
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)



(ค)

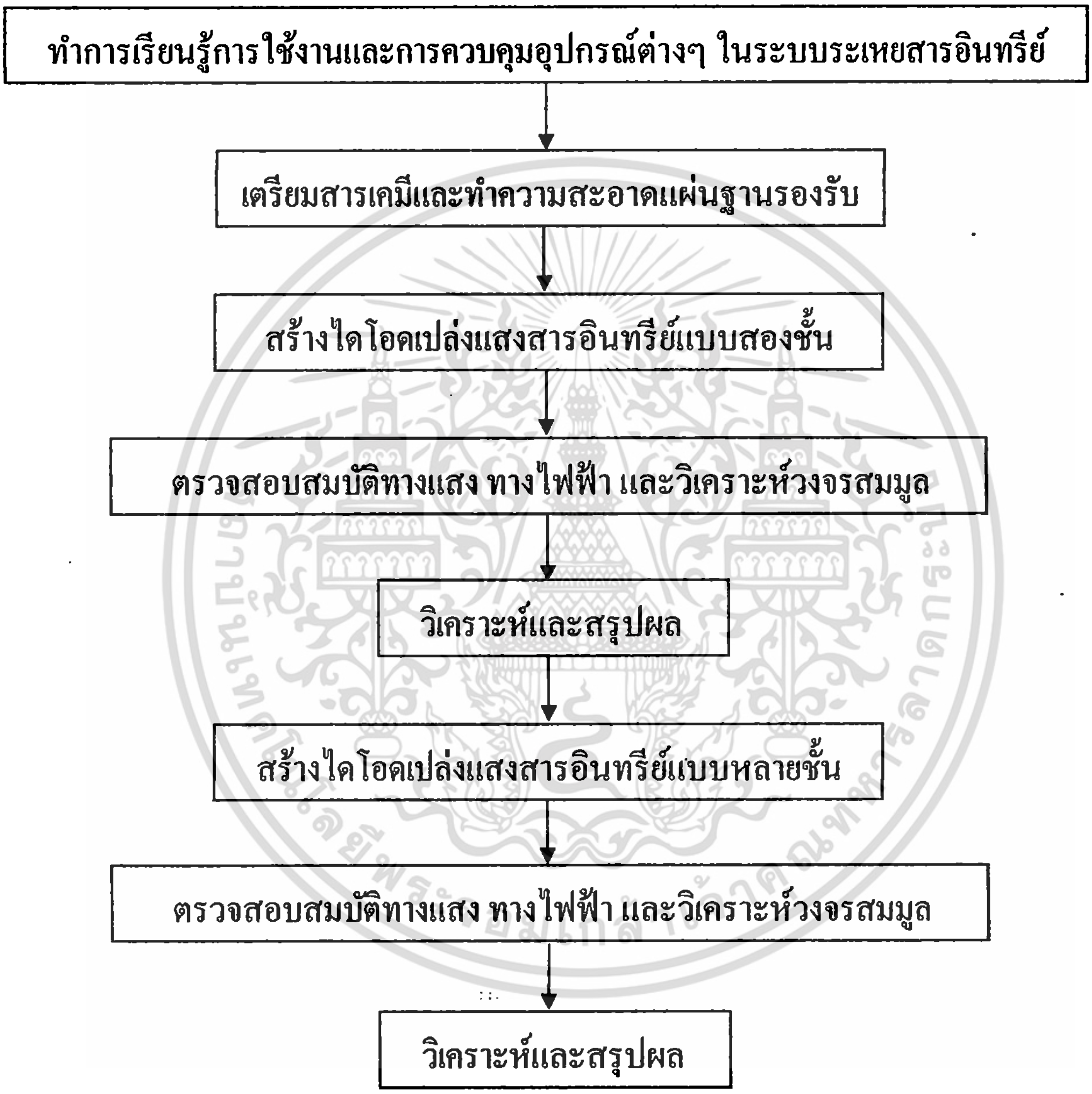
รูปที่ 2.46 (ก) วงจรที่มีตัวต้านทานต่ออนุกรมกับตัวต้านทานที่ต่อขนานกับตัวเก็บประจุ (ข) กราฟ Cole–Cole จะมีจุดบนแกน X สำหรับตัวต้านทานและจะมีจุดในลักษณะเป็นครึ่งวงกลมในระนาบสำหรับตัวต้านทานที่ต่อขนานกับตัวเก็บประจุ (ค) กราฟ Cole–Cole ของวงจรที่มีตัวต้านทานต่ออนุกรมกับตัวต้านทานที่ต่อขนานกับตัวเก็บประจุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

ขั้นตอนดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยการสร้างไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ สามารถสรุปขั้นตอนทั้งหมดเป็นไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ไดอะแกรมขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

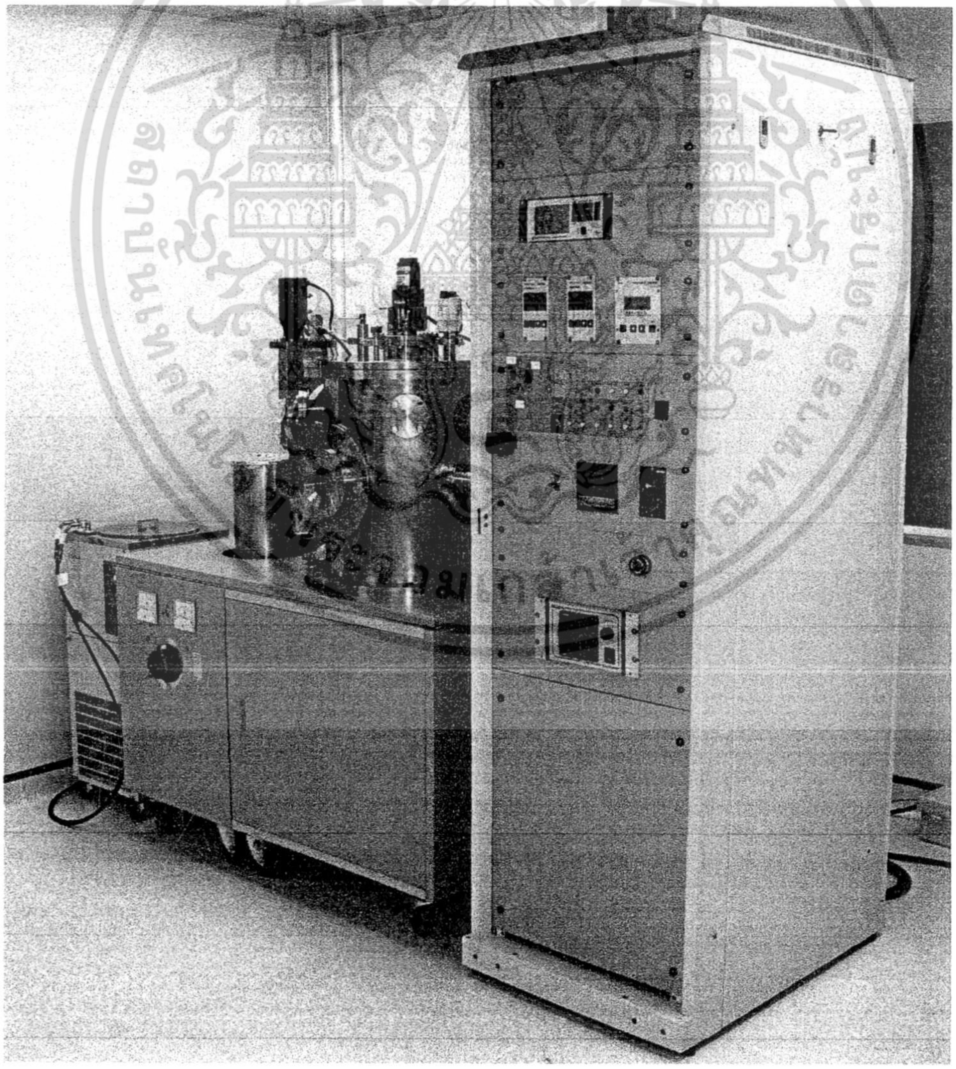
ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัยเริ่มจากการเรียนรู้การใช้งานและการควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ ในระบบระเหยสารอินทรีย์ และจะทำการเตรียมอุปกรณ์ สารเคมี และเครื่องมือเพื่อใช้วัดสมบัติทางแสงและทางไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ที่สร้างขึ้น จากนั้นทำการสร้างไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์โครงสร้างแบบสองชั้น ตรวจสอบสมบัติทางแสง ทางไฟฟ้า และทำการวิเคราะห์วงจรสมมูลของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ที่สร้างขึ้น แล้วทำการวิเคราะห์และสรุปผลที่ได้ เพื่อทำการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาเงื่อนไขการเจือสาร DCM ลงในสาร Alq_3 ที่เหมาะสม จากนั้นทำการสร้างไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์โครงสร้างแบบหลายชั้น โดยทำการเพิ่มชั้นสาร NPB และสาร BCP เข้ามา แล้วทำการตรวจสอบสมบัติทางแสง ทางไฟฟ้า และทำการวิเคราะห์วงจรสมมูลของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ที่สร้างขึ้น แล้วทำการวิเคราะห์และสรุปผล

3.1 ระบบระเหยสารอินทรีย์

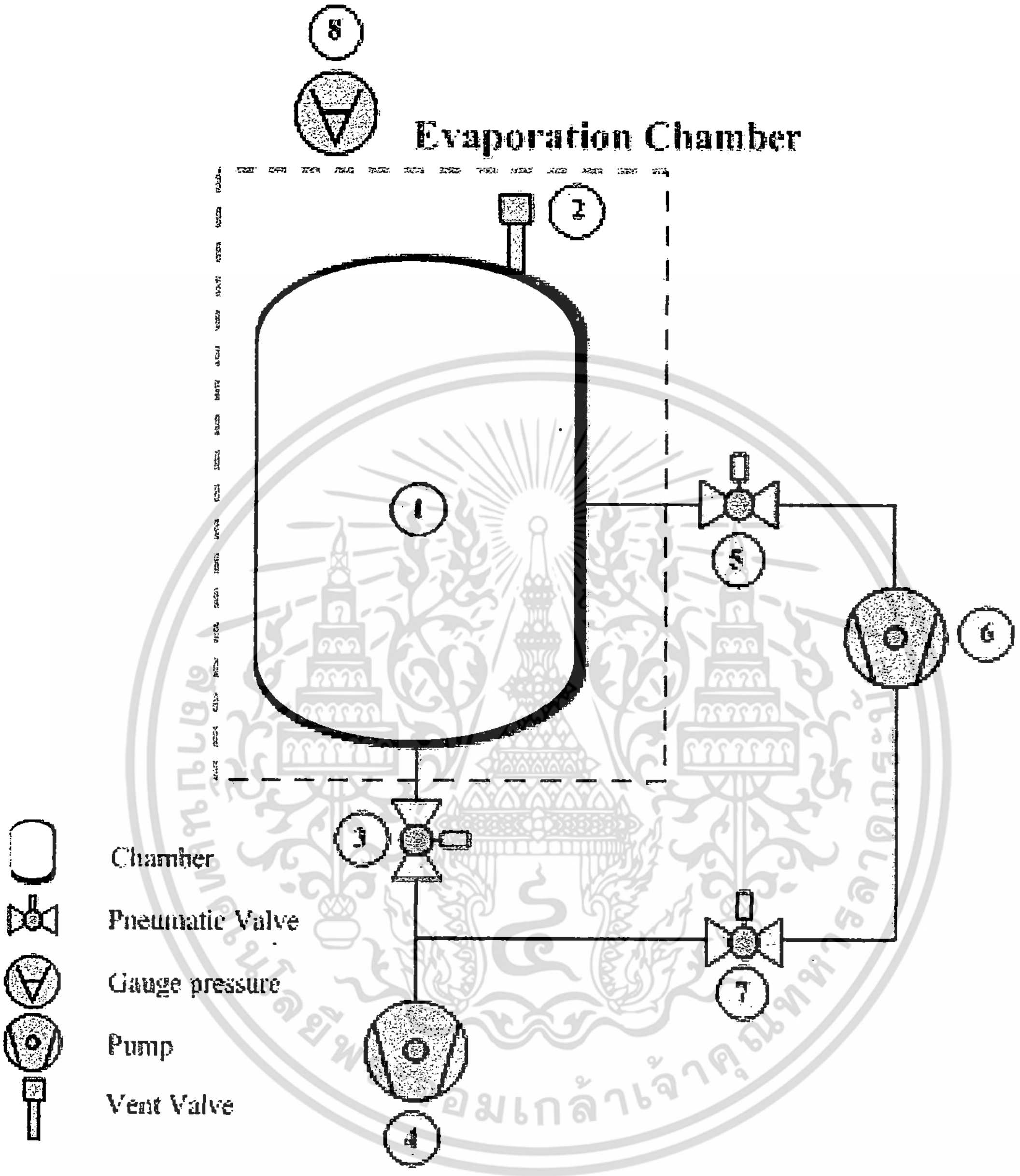
ระบบระเหยสารอินทรีย์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ มาจากห้องปฏิบัติการ Central Laboratory ของวิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง สจล. จะแสดงดังรูปที่ 3.2 โดยระบบจะถูกออกแบบมาเพื่อให้สามารถระเหยสารอินทรีย์ได้เป็นอย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากสารอินทรีย์มีอุณหภูมิในการระเหยต่ำเมื่อเทียบกับสารอนินทรีย์โดยทั่วไป ดังนั้นระบบจึงออกแบบให้สามารถควบคุมการให้อุณหภูมิกับสารอินทรีย์ได้อย่างละเอียดและแม่นยำ เพื่อให้สามารถควบคุมอัตราการระเหยของสารอินทรีย์ได้อย่างถูกต้องแม่นยำและมีความสม่ำเสมอ



รูปที่ 3.2 ระบบระเหยสารอินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยระบบระเหยสารอินทรีย์มีส่วนประกอบที่สำคัญดังรูปที่ 3.3



1. evaporation chamber
2. evaporation chamber vent valve
3. roughing evaporation chamber valve (RV)
4. rotary pump (RP)
5. high vacuum valve (HV)
6. turbo molecular pump (TMP)
7. backing valve (BV)
8. full range gauge

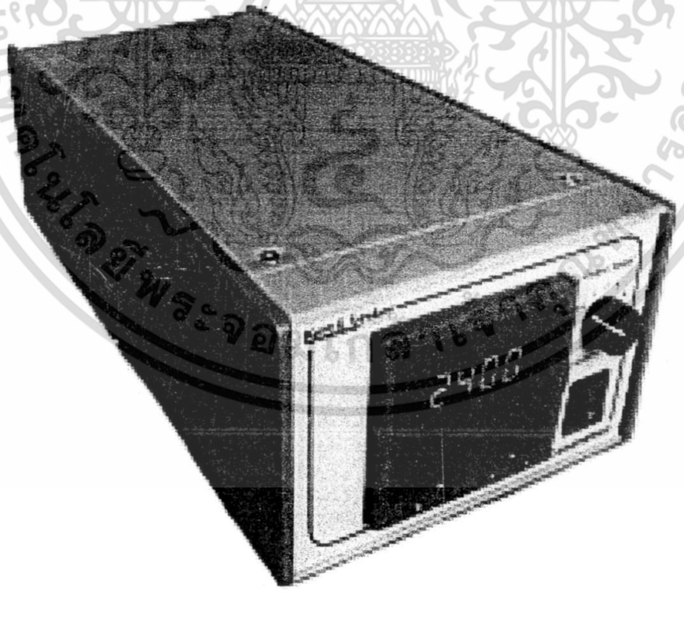
รูปที่ 3.3 แผนภาพระบบสุญญากาศของระบบระเหยสารอินทรีย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภายในห้องสุญญากาศ (Vacuum Chamber) ประกอบไปด้วยอุปกรณ์ต่างๆ ดังนี้

- ระบบระเหยสารอินทรีย์ (Low Temperature Evaporator ; LTE) เป็นชุดที่ใช้สำหรับระเหยสารอินทรีย์โดยระบบประกอบด้วย 2 ส่วน คือ หัวระเหยสารอินทรีย์ และ ชุดควบคุมการระเหยสารอินทรีย์ของบริษัท Kurt J. Lesker ดังแสดงในรูปที่ 3.4 และ 3.5 ซึ่งสามารถให้ความร้อนแก่สารอินทรีย์ได้อย่างทั่วถึงสม่ำเสมอ มีเทอร์โมคับเปิลชนิด K ในการตรวจวัดค่าอุณหภูมิที่สารอินทรีย์ได้รับเพื่อนำมาใช้ควบคุมอุณหภูมิที่ให้แก่สารอินทรีย์ ซึ่งระบบที่ใช้สามารถควบคุมอุณหภูมิที่ให้ได้อย่างแม่นยำ ± 0.1 องศาเซลเซียส

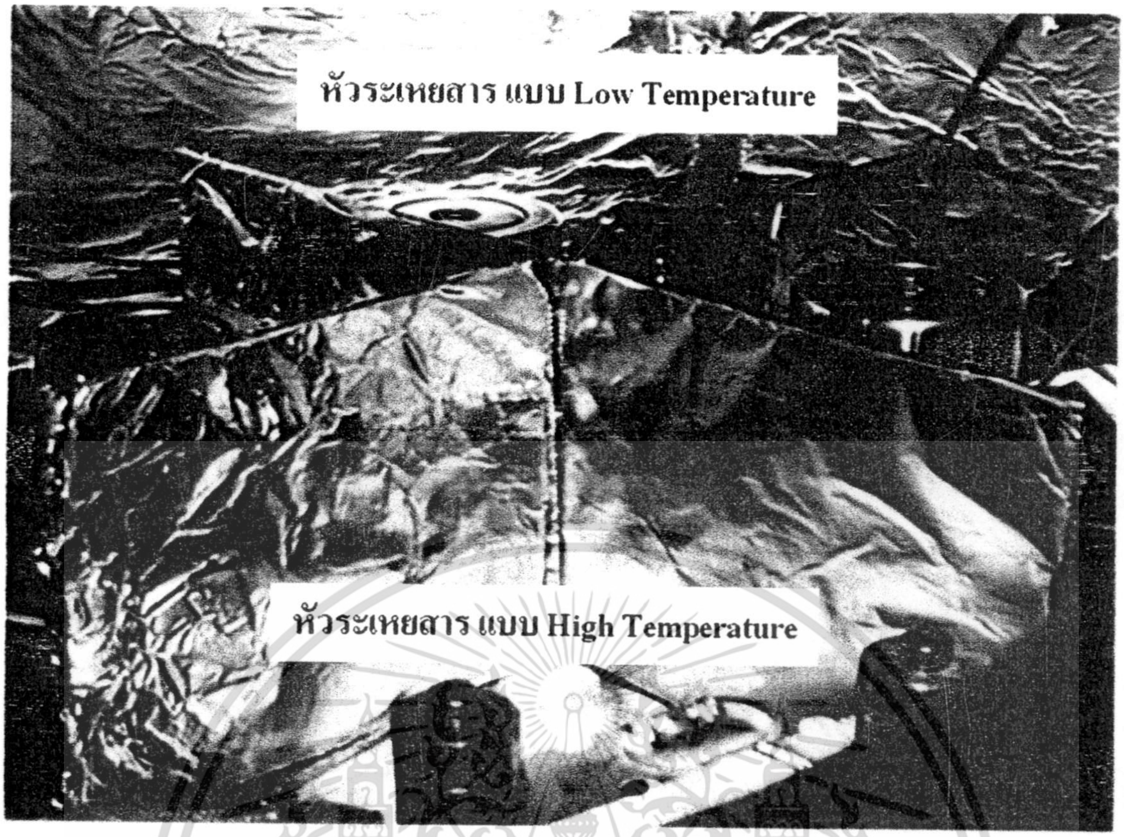
รูปที่ 3.4 หัวระเหยสารอินทรีย์



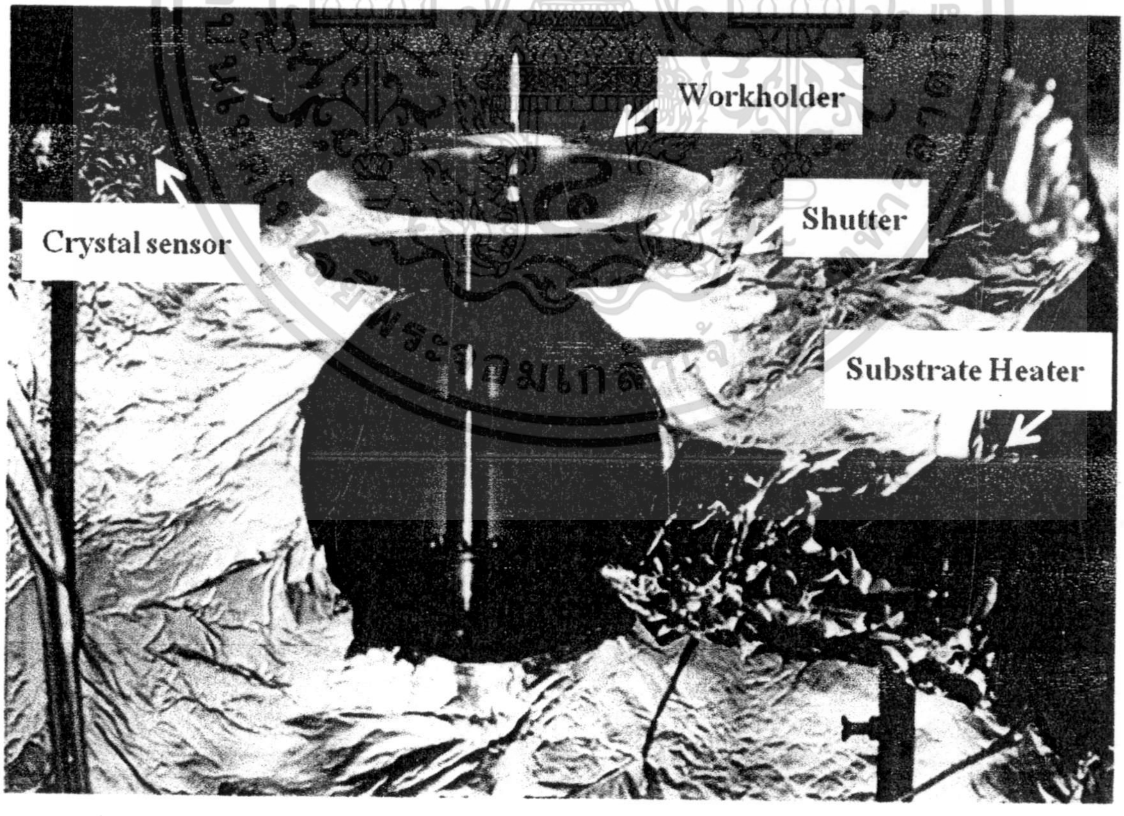
รูปที่ 3.5 ชุดควบคุมการระเหยสารของระบบระเหยสารอินทรีย์

- โดยภายในห้องสุญญากาศได้ทำการติดตั้งชุดระเหยสารอินทรีย์ทั้งหมด 3 ชุดและระบบระเหยสารด้วยความร้อนเป็นระบบที่ออกแบบมาเพื่อทำการระเหยสารอนินทรีย์ แสดงดังรูปที่ 3.6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 อุปกรณ์ช่วงล่างภายในห้องสุญญากาศสูง



รูปที่ 3.7 อุปกรณ์ช่วงบนภายในห้องสุญญากาศสูง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ชัตเตอร์มีหน้าที่ในการเปิด-ปิดไอระเหยของสารที่จะขึ้นไปเกาะฐานรองรับ

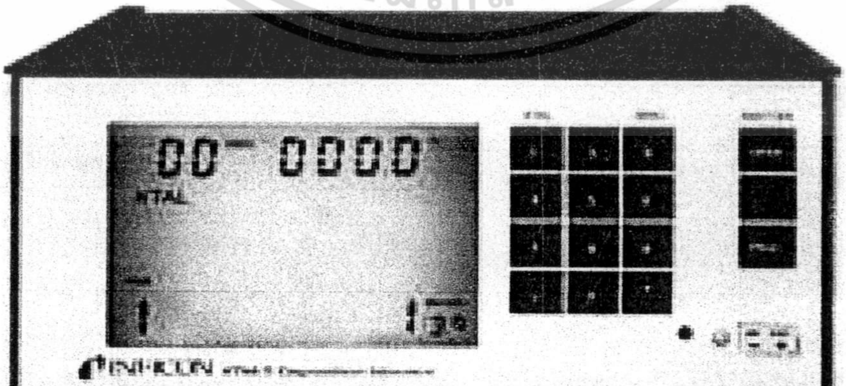
- ตัวยึดจับฐานรองรับมีหน้าที่ใช้ยึดจับฐานรองรับและสามารถทำการหมุนได้ขณะที่ทำการระเหย

- ชุดให้ความร้อนแก่ฐานรองรับเป็นระบบที่ให้ความร้อนแก่ฐานรองรับโดยหลอดไฟควอทซ์ และมีเทอร์โมคัปเปิลที่สามารถวัดอุณหภูมิของฐานรองรับได้

- ระบบตรวจวัดความหนาของฟิล์มบาง ความหนาของฟิล์มบางถูกตรวจสอบความหนาโดยใช้ผลึกควอทซ์ ดังแสดงในรูปที่ 3.7 และ3.8

รูปที่ 3.8 ผลึกควอทซ์

ความหนาของสารที่กำลังระเหยจะวัดจากค่าความถี่การสั่นของคริสตอลที่มีค่าลดลงเมื่อมีสารมาเคลือบเกาะที่ผิวของคริสตอลมากขึ้น โดยความถี่ที่ได้จะคำนวณอัตราการระเหยสารและความหนาโดยเครื่อง XTC/2 Thin Film Deposition Monitor ของ INFICON แสดงดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3. 9 เครื่องแสดงผลความหนาฟิล์มบาง

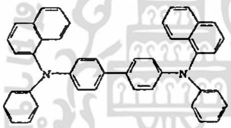
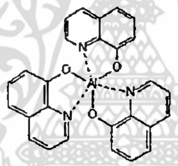
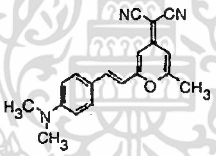
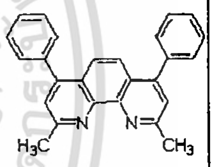
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 สารอินทรีย์ที่ใช้การสร้างไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์

ในงานวิจัยนี้ สารที่ใช้ในการประดิษฐ์ไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ จะมีลักษณะทางกายภาพแสดงดังตารางที่ 3.1 โดยสารที่ใช้ได้แก่

- สาร NPB (N,N'-di(naphthalen-1-yl)-N,N'-diphenyl-benzidine)
  เป็นสารที่ใช้ทำหน้าที่เป็นชั้นส่งผ่านโฮลและทำหน้าที่เป็นชั้นเปล่งแสงสีน้ำเงิน
- สาร Alq_3 (Tris-(8-hydroxy-quinolinato)-aluminium)
  เป็นสารที่ใช้ทำหน้าที่เป็นชั้นเปล่งแสงสีส้มเมื่อมีการเจือด้วยสาร DCM
- สาร DCM (4-(Dicyanomethylene)-2-methyl-6-(4-dimethyl-aminostyryl)-4*H*-pyran)
  เป็นสารที่ใช้ในการเจือเผือทำหน้าที่เป็นชั้นเปล่งแสงสีส้ม
- สาร BCP (2,9-dimethyl-4,7- diphenyl-1,10-phenanthro-line)
  เป็นสารที่ใช้ทำหน้าที่เป็นชั้นส่งผ่านอิเล็กตรอน, ชั้นสกัดโฮล และชั้นสกัดเอกซิตอน

ตารางที่ 3.1 สมบัติของสารอินทรีย์

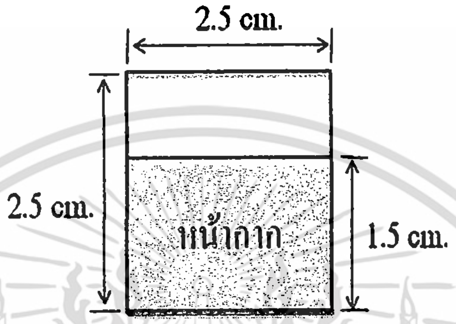
สมบัติของสาร	สาร NPB	สาร Alq_3	สาร DCM	สาร BCP
สูตรเคมี	 $C_{44}H_{32}N_2$	 $C_{27}H_{18}AlN_3O_3$	 $C_{19}H_{17}N_3O$	 $C_{26}H_{20}N_2$
Molecular Weight	588.72 g/mole	459.42 g/mole	303.36 g/mole	360.46 g/mole
จุดหลอมเหลว	280~282 °C	416~418 °C	215-220 °C	277-285 °C
Thermal Gravimetric Analysis	Weight loss<0.5% at 340 °C	Weight loss<0.5% at 300 °C	Weight loss <0.5% at 300 °C	Weight loss <0.5% at 260.4 °C
ลักษณะทางกายภาพ	สีขาว-เหลืองอ่อน	สีเขียว-เหลือง	สีแดง	สีขาว-เหลืองอ่อน
HOMO	5.2 eV	5.7 eV	5.4 eV	7.0 eV
LUMO	2.4 eV	3.1 eV	3.2 eV	3.5 eV
Hole Mobility	3×10^{-4} cm^2/Vs	2×10^{-4} cm^2/Vs	-	-
Electron Mobility	-	1.4×10^{-4} cm^2/Vs	-	-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 กระบวนการกัดแผ่นฐานรองรับอินเดียมทินออกไซด์ (ITO)

เป็นกระบวนการที่มีวัตถุประสงค์เพื่อกัด(Etching) อินเดียมทินออกไซด์ บางส่วนที่ไม่ต้องการออกจากแผ่นฐานรองรับเพื่อเป็นการป้องกันการเกิดการลัดวงจรของขั้วไฟฟ้าทั้งสอง โดยการกัดมีวิธีการดังนี้

- ปิดแผ่นหน้ากากลงบนแผ่นฐานรองรับในบริเวณที่ไม่ต้องการกัด ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แผ่นฐานรองรับ ITO ที่ถูกปิดด้วยหน้ากาก

- นำแผ่นฐานรองรับดังกล่าวไปแช่ในสารละลายกรดไฮโดรคลอริก(HCl) กับสารละลายกรดไนตริก(HNO_3) ในอัตราส่วน 2:1 เป็นเวลา 15 นาที เพื่อทำการกัด ITO ออก
- นำแผ่นฐานรองรับที่กัดเรียบร้อยแล้วไปล้างด้วยน้ำไร้ประจุ (DI Water) เพื่อทำการล้างสารละลายออก

3.4 การทำความสะอาดแผ่นฐานรองรับ ITO

ก่อนที่จะทำการระเหยสารลงบนฐานรองรับ ITO จะมีขั้นตอนการทำความสะอาดเพื่อล้างสิ่งสกปรก ฝุ่น และคราบไขมันที่ปนเปื้อนบนพื้นผิว รูปอุปกรณ์ที่ใช้แสดงดังรูปที่ 3.11 โดยขั้นตอนการทำความสะอาดเริ่มจาก

1. ล้างฐานรองด้วยน้ำไร้ประจุ (DI Water) ในเครื่องอัลตร้าโซนิค เป็นเวลา 15 นาที
2. ล้างฐานรองด้วยอะซิโตน(Acetone; CH_3COCH_3)ในเครื่องอัลตร้าโซนิคเป็นเวลา 15 นาที
3. ล้างฐานรองด้วยเมทานอล (Methanol; CH_3OH) ในเครื่องอัลตร้าโซนิค เป็นเวลา 15 นาที
4. ล้างฐานรองด้วยไอโซโพรพานอล (Isopropanol;$(CH_3)_2CHOH$)ในเครื่องอัลตร้าโซนิค เป็นเวลา 15 นาที
5. เป่าให้แห้งโดยใช้ก๊าซไนโตรเจน (N_2)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.11 สารเคมีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการทำความสะอาดฐานรองรับ ITO

3.5 การสร้างไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ โครงสร้างแบบสองชั้น

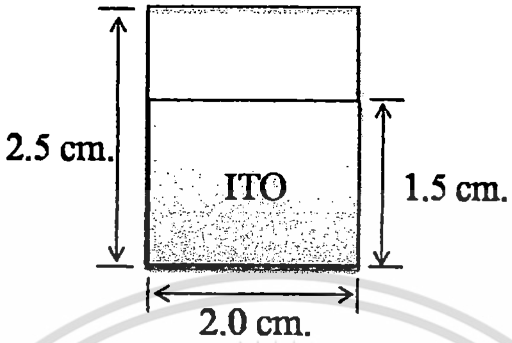
ไดโอเปล่งแสงสารอินทรีย์โครงสร้างแบบสองชั้น จะประกอบไปด้วยการระเหยสารในชั้นแรกที่เป็นสารอินทรีย์ NPB ให้มีความหนา 30 นาโนเมตร บนแผ่นฐานรองรับกระจกที่เป็นอินเดียมทินออกไซด์ และส่วนชั้นที่สอง จะเป็นสารอินทรีย์ Alq_3 ที่ไม่มีการเจือและมีการเจือสาร DCM ในอัตราส่วนของความเข้มข้นที่เป็น Alq_3:DCM คือ 1:0, 1:0.01, 1:0.03 และ 1:0.05 โดยให้มีความหนาของชั้นที่สองเป็น 50 นาโนเมตร และอลูมิเนียมที่นำมาเป็นขั้วไฟฟ้า ให้มีความหนา 150 นาโนเมตร ตามลำดับโดยมีโครงสร้างดังต่อไปนี้

- ITO/NPB 30nm/Alq_3 50 nm/Al 150 nm
- ITO/NPB 30nm/Alq_3:DCM(1:0.01) 50 nm/Al 150 nm
- ITO/NPB 30nm/Alq_3:DCM(1:0.03) 50 nm/Al 150 nm
- ITO/NPB 30nm/Alq_3:DCM(1:0.05) 50 nm/Al 150 nm

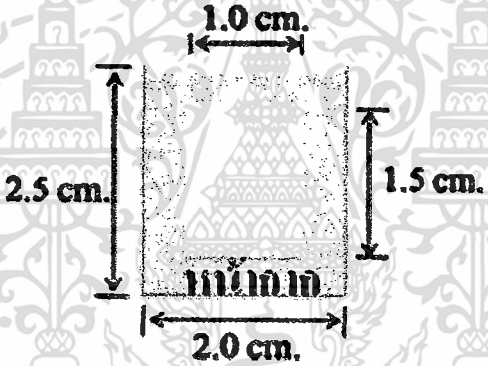
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.1 การปลูกฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ ด้วยระบบระเหยสารอินทรีย์

นำแผ่นฐานรองรับ ITO ที่ผ่านการทำความสะอาดแล้วดังรูปที่ 3.12 มาติดหน้ากาก(Mask) สำหรับละเหยสารอินทรีย์ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.12 ลวดลาย ITO บนฐานรองรับที่กระจก



รูปที่ 3.13 หน้ากากสำหรับระเหยสารอินทรีย์

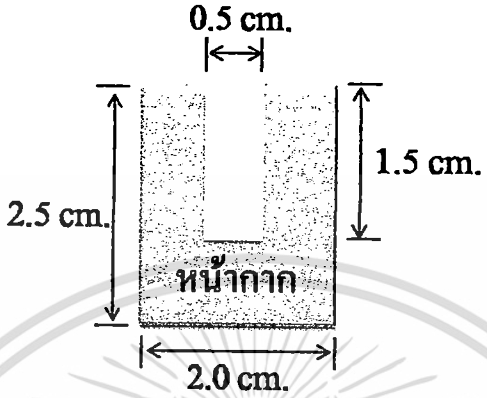
ทำการระเหยสารอินทรีย์ NPB ก่อนด้วยความหนา 30 นาโนเมตร ตามด้วยสารอินทรีย์ Alq_3 ด้วยความหนา 50 นาโนเมตร ที่ไม่มีการเจือสารอินทรีย์ DCM ลงไป กับมีการเจือด้วยสารอินทรีย์ DCM โดยมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการระเหยของสารอินทรีย์ DCM ที่เจือลงไปในสารอินทรีย์ Alq_3 เป็น Alq_3:DCM(1:0.01), Alq_3:DCM(1:0.03) และ Alq_3:DCM(1:0.05) โดยให้มีความหนาเป็น 50 นาโนเมตร เงื่อนไขที่ใช้ในการระเหยสารอินทรีย์ทั้งสองชนิดเหมือนกันดังนี้

- Base Pressure ประมาณ 3×10^{-6} mbar
- Evaporation Rate ประมาณ 1-2 Å/s (ชั้นสาร Alq_3และDCM คือตามเงื่อนไขที่ได้ระบุไว้)
- ไม่มีการให้ความร้อนแก่แผ่นฐานรองรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5.2 การระเหยขั้วไฟฟ้าด้วยระบบระเหยสารด้วยความร้อน

นำฐานรองรับที่ทำการระเหยสารกึ่งตัวนำอินทรีย์เสร็จแล้วมาทำการระเหยขั้วไฟฟ้าอลูมิเนียมโดยนำหน้ากากสำหรับระเหยสารอินทรีย์ออกนำหน้ากากสำหรับระเหยขั้วอลูมินัมดังรูปที่ 3.14 มาติดแทน

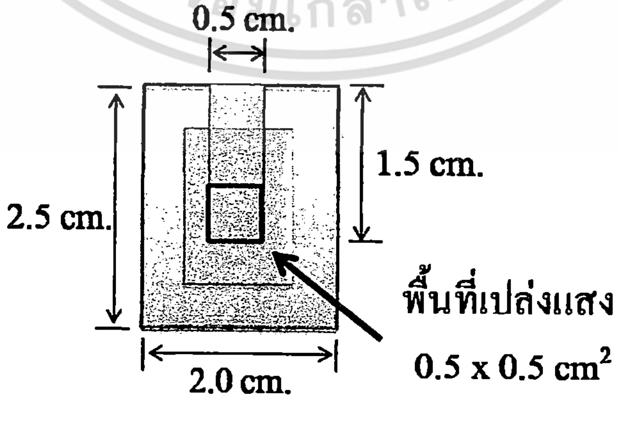


รูปที่ 3.14 หน้ากากสำหรับระเหยขั้ว Al

ทำการระเหยขั้วไฟฟ้า Al ด้วยระบบระเหยสารด้วยความร้อน โดยมีเงื่อนไขในการระเหยสารดังนี้

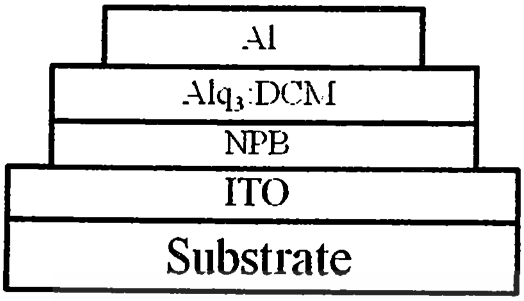
- Base Pressure ประมาณ 4 x 10^{-6} mbar
- Evaporation Rate ประมาณ >20 Å/s
- ความหนา 150 นาโนเมตร
- ไม่มีการให้ความร้อนแก่แผ่นฐานรองรับ

ไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ที่ได้ จะมีพื้นที่เปล่งแสง 0.5x0.5 ตารางเซนติเมตร ดังรูปที่ 3.15 ไดอะแกรมและโครงสร้างแบบสองชั้นจะแสดงดังรูปที่ 3.16 จากนั้นนำไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ ที่สร้างขึ้นไปทำการตรวจวัดสมบัติทางไฟฟ้าและทางแสงต่อไป

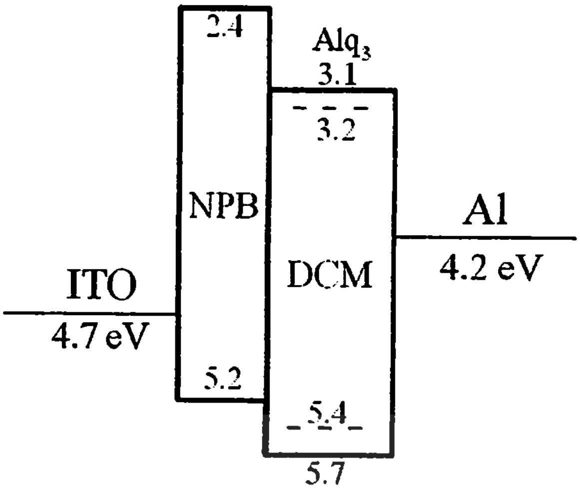


รูปที่ 3.15 ไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ ที่สร้างเสร็จแล้วมีพื้นที่ 0.5x0.5 ตารางเซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.16 (ก) โครงสร้าง และ (ข) ไดอะแกรมไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบสองชั้น

3.6 การสร้างไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์โครงสร้างแบบหลายชั้น

โครงสร้างแบบหลายชั้น จะประกอบไปด้วยการระเหยสารในชั้นแรกที่เป็นสารอินทรีย์ NPB ให้มีความหนา 30 นาโนเมตร บนแผ่นฐานรองรับกระจกที่เป็นอินเดียมทินออกไซด์ ชั้นที่สองจะเป็นสารอินทรีย์ Alq_3 มีการเจือสาร DCM ในอัตราส่วนของความเข้มข้นที่เป็น Alq_3:DCM (1:0.01) โดยให้มีความหนาของชั้นที่สองเป็น 50 นาโนเมตร ชั้นที่สามจะเป็นสารอินทรีย์ NPB ให้มีความหนา 20,25,30,35 และ 40 นาโนเมตร ชั้นที่สี่จะเป็นสารอินทรีย์ BCP ให้มีความหนา 30 นาโนเมตร และอลูมิเนียมที่นำมาเป็นขั้วไฟฟ้า ให้มีความหนา 150 นาโนเมตร ตามลำดับ โดยมีโครงสร้างดังต่อไปนี้

-ITO / NPB 30nm / Alq_3:DCM(1:0.01) 50 nm / NPB 20 nm /BCP 30 nm /Al 150 nm

-ITO / NPB 30nm / Alq_3:DCM(1:0.01) 50 nm / NPB 25 nm /BCP 30 nm /Al 150 nm

-ITO / NPB 30nm / Alq_3:DCM(1:0.01) 50 nm / NPB 30 nm /BCP 30 nm /Al 150 nm

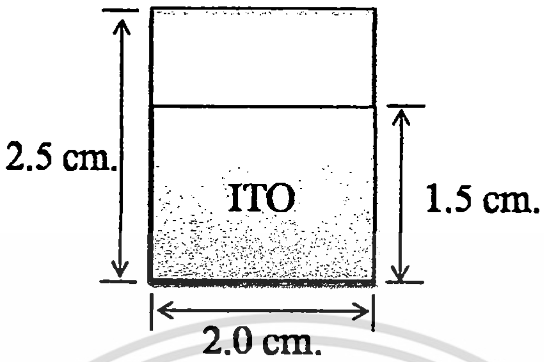
-ITO / NPB 30nm / Alq_3:DCM(1:0.01) 50 nm / NPB 35 nm /BCP 30 nm /Al 150 nm

-ITO / NPB 30nm / Alq_3:DCM(1:0.01) 50 nm / NPB 40 nm /BCP 30 nm /Al 150 nm

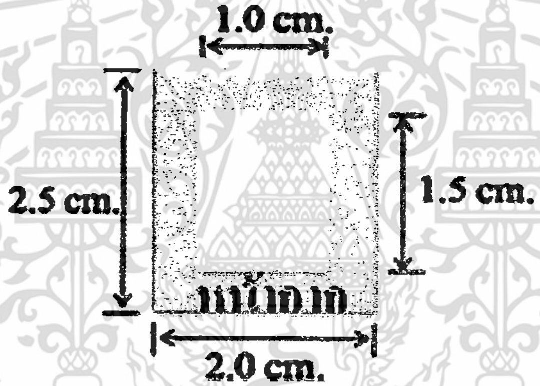
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.1 การปลูกฟิล์มบางสารกึ่งตัวนำอินทรีย์ ด้วยระบบระเหยสารอินทรีย์

นำแผ่นฐานรองรับ ITO ที่ผ่านการทำความสะอาดแล้วดังรูปที่ 3.17 มาติดหน้ากาก(Mask) สำหรับละเหยสารอินทรีย์ดังรูปที่ 3.18



รูปที่ 3.17 ลวดลาย ITO บนฐานรองรับที่กระจก



รูปที่ 3.18 หน้ากากสำหรับระเหยสารอินทรีย์

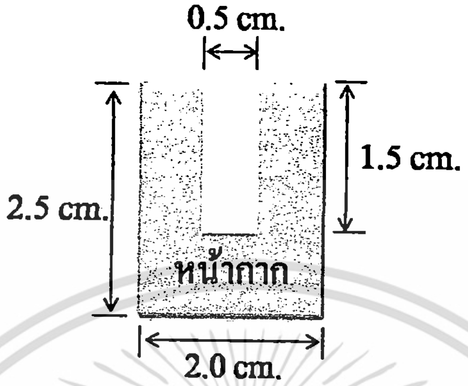
ทำการระเหยสารอินทรีย์ NPB ก่อนด้วยความหนา 30 นาโนเมตร ตามด้วยสารอินทรีย์ Alq_3 ที่มีการเจือด้วยสารอินทรีย์ DCM ในอัตราส่วนเป็น Alq_3 : DCM (1:0.01)โดยให้มีความหนาเป็น 50 นาโนเมตร และตามด้วย การระเหยสารอินทรีย์ NPB ด้วยความหนาตั้งแต่ 20 , 25 , 30 , 35 และ 40 นาโนเมตร หลังจากนั้นตามด้วยระเหยสารอินทรีย์ BCP ด้วยความหนา 30 นาโนเมตร เงื่อนไขที่ใช้ในการระเหยสารอินทรีย์ทั้งหมดเหมือนกันดังนี้

- Base Pressure ประมาณ 3×10^{-6} mbar
- Evaporation Rate ประมาณ 1-2 A°/s (ชั้นสาร Alq_3และDCM คือตามเงื่อนไขที่ได้ระบุไว้)
- ไม่มีการให้อุณหภูมิแผ่นฐานรองรับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.2 การระเหยขั้วไฟฟ้าด้วยระบบระเหยสารด้วยความร้อน

นำฐานรองรับที่ทำการระเหยสารกึ่งตัวนำอินทรีย์เสร็จแล้วมาทำการระเหยขั้วไฟฟ้าอลูมิเนียมโดยนำหน้ากากสำหรับระเหยสารอินทรีย์ออกนำหน้ากากสำหรับระเหยขั้วอลูมินัม ดังรูปที่ 3.19 มาติดแทน

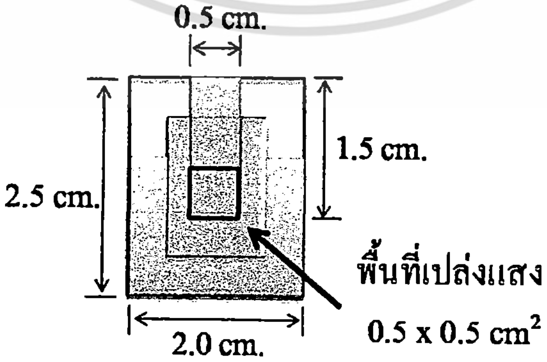


รูปที่ 3.19 หน้ากากสำหรับระเหยขั้ว Al

ทำการระเหยขั้วไฟฟ้า Al ด้วยระบบระเหยสารด้วยความร้อน โดยมีเงื่อนไขในการระเหยสารดังนี้

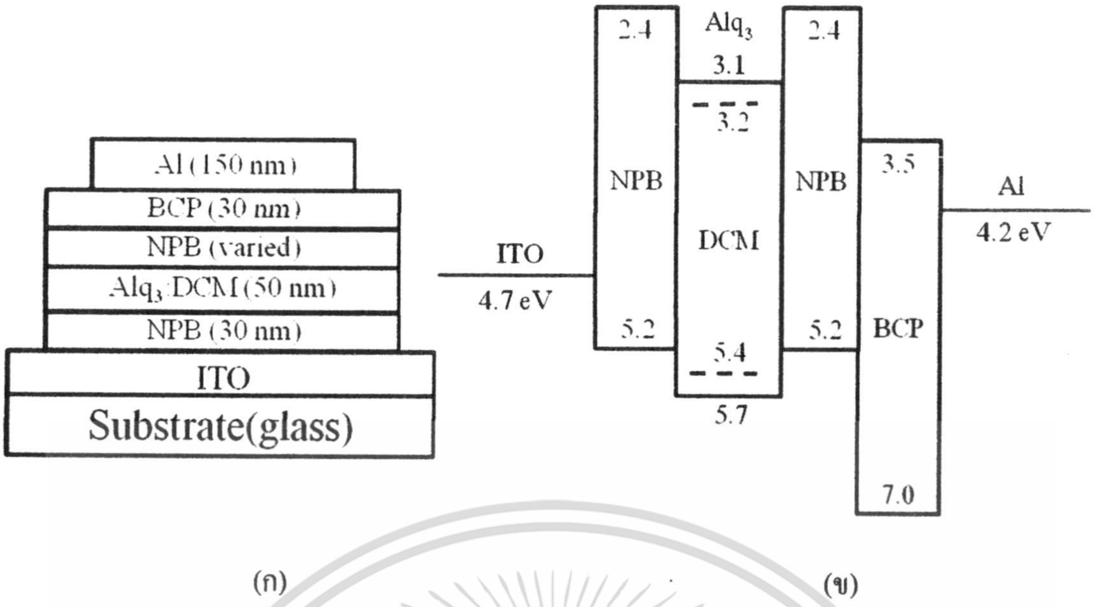
- Base Pressure ประมาณ 4 x 10^{-6}mbar
- Evaporation Rate ประมาณ >20 A°/s
- ความหนา 150 นาโนเมตร
- ไม่มีการให้อุณหภูมิแผ่นฐานรองรับ

ไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ที่ได้ที่จะมีพื้นที่เปล่งแสง 0.5x0.5 ตารางเซนติเมตร ดังรูปที่ 3.20 ไดอะแกรมและโครงสร้างแบบสองชั้นจะแสดงดังรูปที่ 3.21 จากนั้นนำไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ที่สร้างขึ้นไปทำการตรวจวัดสมบัติทางไฟฟ้าและทางแสงต่อไป



รูปที่ 3.20 ไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ที่สร้างเสร็จแล้วมีพื้นที่ 0.5x0.5 ตารางเซนติเมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 (ก) โครงสร้าง และ (ข) ไดอะแกรมไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบหลายชั้น

3.7 การตรวจสอบสมบัติทางไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์

ทำการตรวจสอบสมบัติทางไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ ด้วยระบบวัดทางไฟฟ้าที่จัดขึ้นในห้องปฏิบัติการ โดยใช้ Agilent E4980A 20Hz-2MHz Precision LCR Meter ดังรูป 3.22 ที่ทำการวัด

- การวัดความหนาแน่นกระแสกับความต่างศักย์ของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์
- การวัดอิมพีแดนซ์กับความถี่ของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์

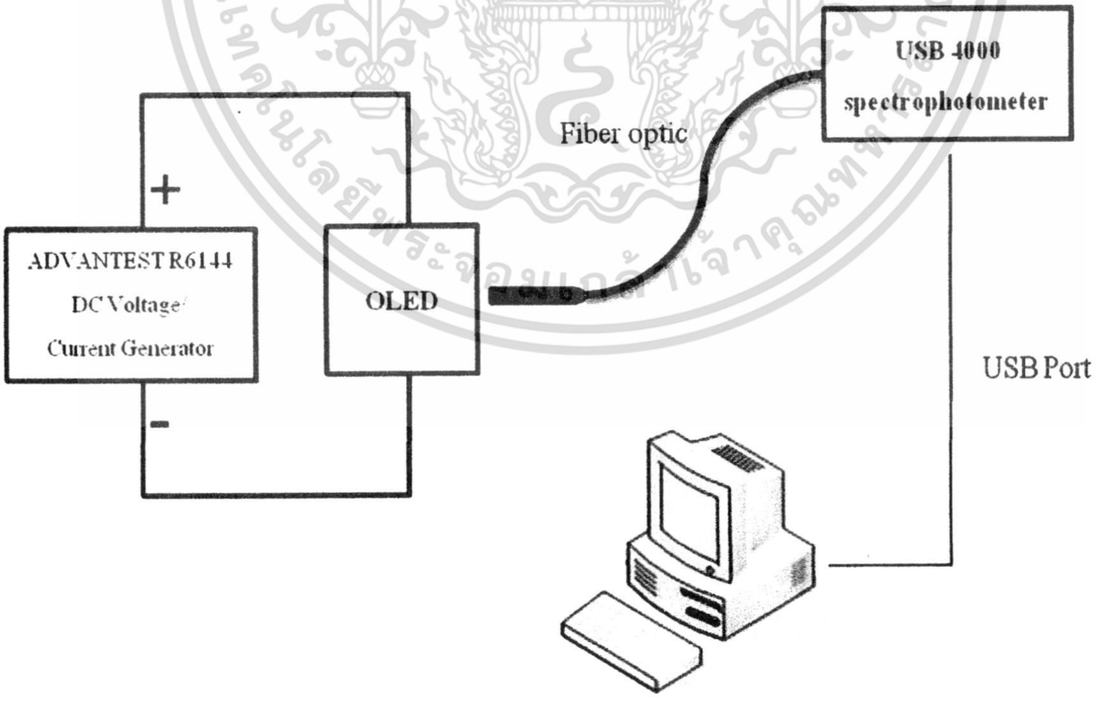
รูปที่ 3.22 ระบบวัดสมบัติทางไฟฟ้า Agilent E4980A 20Hz-2MHz Precision LCR Meter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8 การตรวจสอบสเปกตรัมอิเล็กโทรลูมิเนสเซนซ์ (EL) ของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์

สเปกตรัมอิเล็กโทรลูมิเนสเซนซ์ของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ จะถูกตรวจสอบโดยใช้เครื่อง Spectrophotometer ของ Ocean Optics รุ่น USB4000 แสดงในรูปที่ 3.23 และส่วนประกอบของระบบวัดของการตรวจสอบสเปกตรัมอิเล็กโทรลูมิเนสเซนซ์จะแสดงดังรูปที่ 3.24

รูปที่ 3.23 ระบบตรวจวัดสเปกตรัมอิเล็กโทรลูมิเนสเซนซ์ USB4000 Spectrophotometer

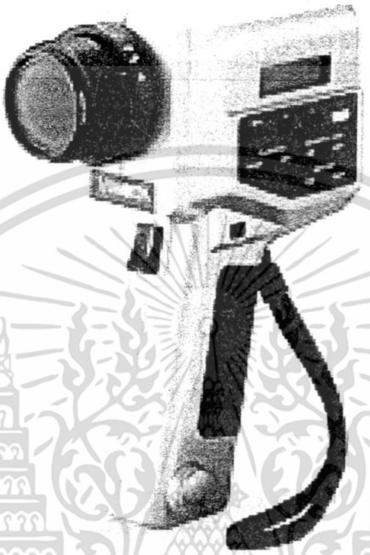


รูปที่ 3.24 ไดอะแกรมระบบวัดของการตรวจสอบสมบัติทางแสง

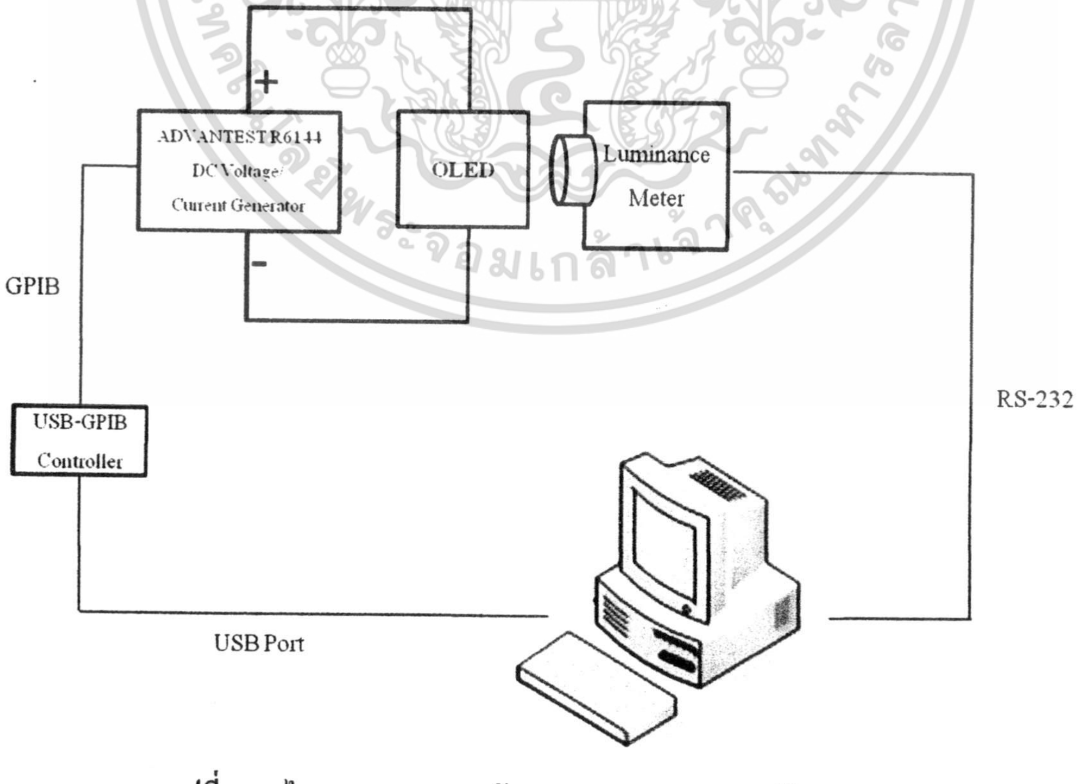
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่ ... ไม่ใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.9 การตรวจสอบสมบัติทางแสงของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์

ทำการตรวจสอบสมบัติทางแสงของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ ด้วยกล้องวัดความส่องสว่าง (Luminance Meter) รุ่น LS-110 ของบริษัท KONICA MINOLTA โดยทำการวัดในที่มืด แสดงภาพอุปกรณ์ดังรูปที่ 3.25 และรูปที่ 3.26 จะแสดงไดอะแกรมระบบวัดของการตรวจสอบสมบัติทางแสง



รูปที่ 3.25 กล้องวัดความส่องสว่าง รุ่น LS-110



รูปที่ 3.26 ไดอะแกรมระบบวัดของการตรวจสอบสมบัติทางแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

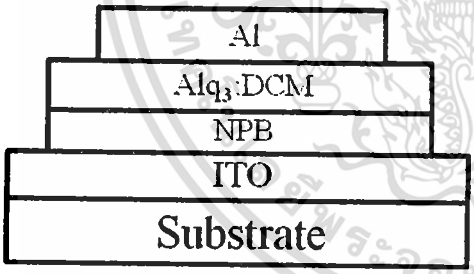
บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

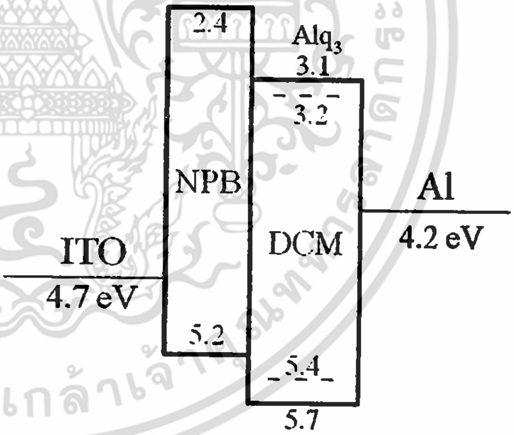
4.1 ไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์โครงสร้างแบบสองชั้น

จากการศึกษาการสร้างไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์โครงสร้างแบบสองชั้น เริ่มจากการระเหยสารอินทรีย์ NPB เป็นชั้นแรก โดยทำหน้าที่เป็นชั้นส่งผ่านโฮล ที่ความหนา 30 นาโนเมตร ส่วนชั้นที่สองจะเป็นสารอินทรีย์ Alq_3 โดยทำหน้าที่เป็นชั้นเปล่งแสง ที่ไม่มีและมีการเจือสารอินทรีย์ DCM ลงไปในสารอินทรีย์ Alq_3 โดยมีการเปลี่ยนแปลงอัตราการระเหยของสารอินทรีย์ DCM ที่เจือลงไป ซึ่งอัตราส่วนระหว่าง Alq_3:DCM จะเป็น 1:0 , 1:0.01 , 1:0.03 และ 1:0.05 โดยให้มีความหนา 50 นาโนเมตร และขั้วแคโทดที่เป็นสาร Al โดยให้มีความหนา 150 นาโนเมตร

โดยโครงสร้างของ ไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ จะแสดงดังรูปที่ 4.1(ก) และไดอะแกรมระดับพลังงานจะแสดงดังรูปที่ 4.1(ข)[10,20] ซึ่งช่องว่างแถบพลังงาน (ระดับ HOMO-LUMO) เป็นพารามิเตอร์ที่สำคัญที่สุดอย่างหนึ่งในการออกแบบและการประดิษฐ์ไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.1 โครงสร้างและไดอะแกรมระดับพลังงานของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบสองชั้น

-ITO/NPB 30nm/ Alq_3 50 nm/Al 150 nm

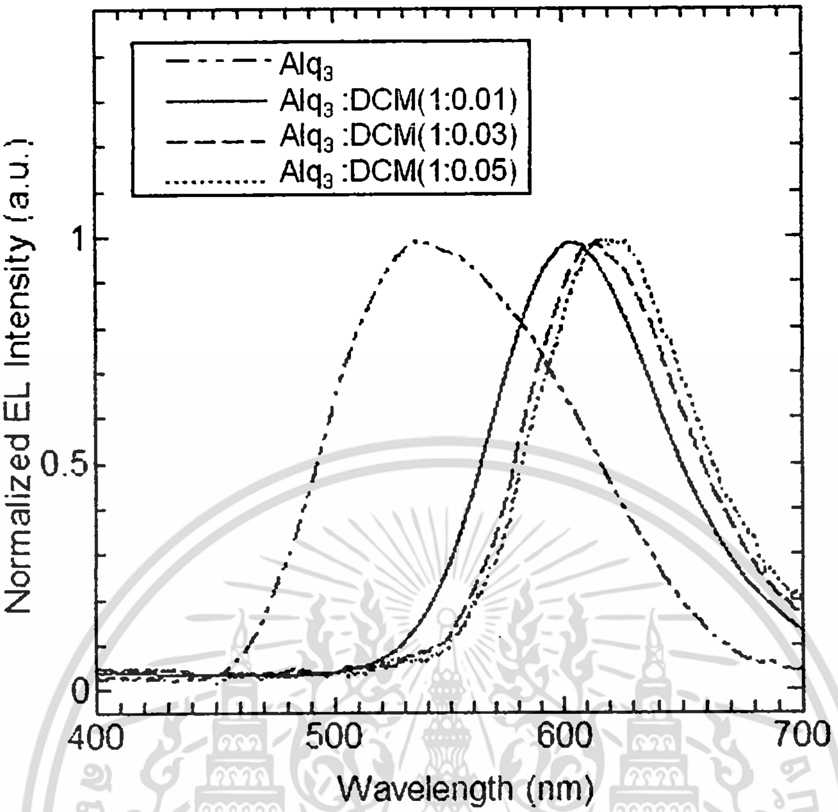
-ITO/NPB 30nm/ Alq_3:DCM(1:0.01) 50 nm/Al 150 nm

-ITO/NPB 30nm/ Alq_3:DCM(1:0.03) 50 nm/Al 150 nm

-ITO/NPB 30nm/ Alq_3:DCM(1:0.05) 50 nm/Al 150 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

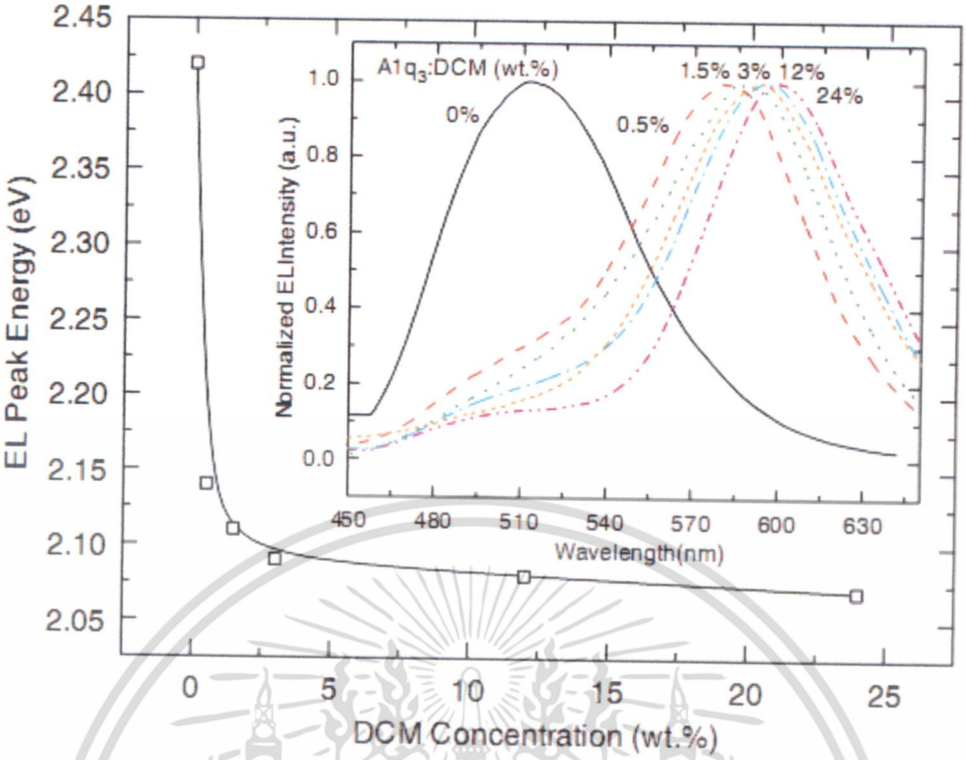
4.1.1 การวัดสเปกตรัมอิเล็กโทรลูมิเนสเซนซ์ของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบสองชั้น



รูปที่ 4.2 สเปกตรัมอิเล็กโทรลูมิเนสเซนซ์ของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบสองชั้น

การวัดสเปกตรัมอิเล็กโทรลูมิเนสเซนซ์ของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบสองชั้น จะแสดงดังรูปที่ 4.2 จากโครงสร้าง ITO/NPB 30nm/ Alq_3 50 nm/Al 150 nm มีค่าของตำแหน่งสูงสุดของสเปกตรัมที่ประมาณค่าความยาวคลื่นแสง 536 นาโนเมตร ซึ่งเป็นแสงที่มีความยาวคลื่นอยู่ในย่านสีเขียวซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันแบบเปล่งแสงที่บริเวณชั้นของสาร Alq_3 และโครงสร้าง ITO / NPB 30 nm / Alq_3:DCM (1:0.01,0.03,0.05) 50 nm / Al 150 nm โดยในชั้นเปล่งแสงจะมีสาร DCM เจือลงไปในสาร Alq_3 โดยจะสังเกตเห็นได้ว่าสเปกตรัมจะเลื่อนไปทางสีแดงเมื่อมีการเจือ DCM ที่เพิ่มมากขึ้น โดยจะมีตำแหน่งสูงสุดของสเปกตรัมประมาณค่าความยาวคลื่นแสง 603, 613 และ 622 นาโนเมตร ตามลำดับ โดยผลที่ได้จะสอดคล้องกับงานวิจัยของ A. Uddin และคณะ[18] ที่ได้ทำการศึกษาถึงผลของการเจือต่อสมบัติทางแสงและสมบัติการส่งผ่านของพาหะประจุใน Alq_3 โดยมีโครงสร้างเป็นแบบสองชั้น ที่ประกอบไปด้วย ITO/NPD/Alq_3:DCM/Al โดยชั้น NPD จะทำหน้าที่เป็นชั้นส่งผ่านโฮล ที่มีความหนา 60 นาโนเมตร และชั้น Alq3 ที่เจือด้วยสาร DCM ทำหน้าที่เป็นชั้นเปล่งแสง ที่มีความหนา 60 นาโนเมตร ที่ความเข้มข้นของสารเจือ DCM เป็น 0 % , 0.5% , 1.5% , 3% , 12% และ 24% โดยน้ำหนัก ซึ่งผลของการวัดสเปกตรัมอิเล็กโทรลูมิเนสเซนซ์ จะแสดงดังรูปที่ 4.3

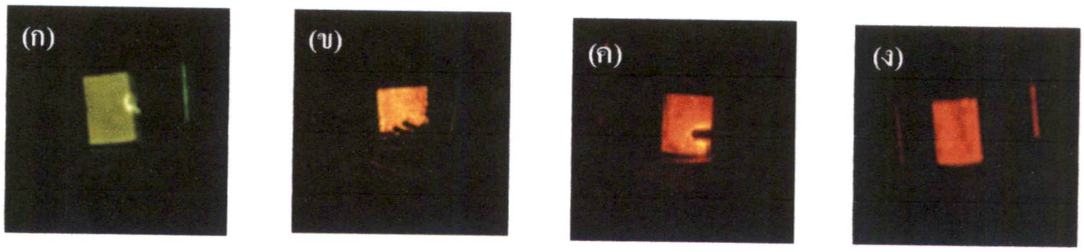
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.3 พีคของพลังงาน EL กับความเข้มข้นของสารเจือ DCM[18]

จะเห็นได้ว่าผลของสเปกตรัมอิเล็กโทรลูมิเนสเซนซ์ของงานวิจัยของ A. Uddin เมื่อมีการเจือสาร DCM เข้าไปจะทำให้พีคของสเปกตรัมจะเลื่อนจากทางย่านสีเขียวไปยังทางย่านสีแดง เนื่องจากเมื่อมีการเจือสาร DCM เข้าไปในสาร Alq_3 จะทำให้เกิดแถบพลังงานของสาร DCM ในแถบพลังงานของสาร Alq_3 ที่ทำหน้าที่เป็นสารหลัก เมื่อมีการเจือสาร DCM มากขึ้น จะทำให้เกิดแถบพลังงานของสาร DCM ชัดเจนขึ้น เช่นกัน จึงทำให้ สเปกตรัมเลื่อนไปทางย่านของสีแดง

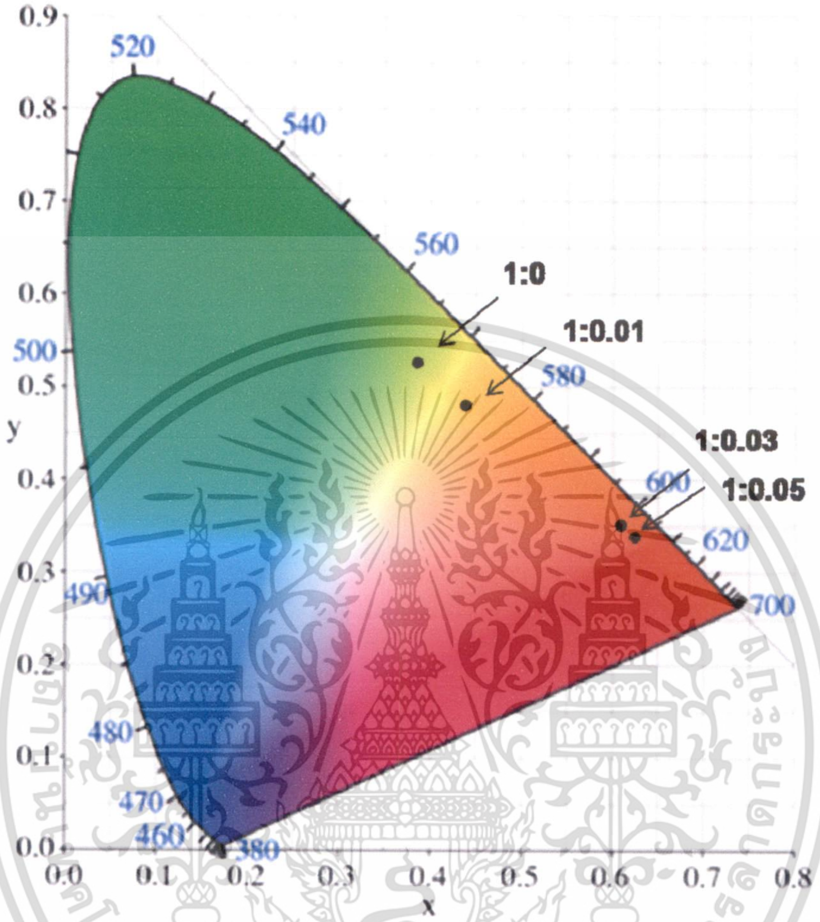
จากผลการวัดสเปกตรัมอิเล็กโทรลูมิเนสเซนซ์ของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบสองชั้น ของโครงสร้าง ITO/NPB 30nm/ Alq_3:DCM(1:x) 50 nm/Al 150 nm ซึ่งอัตราส่วนความเข้มข้นของ Alq_3:DCM เป็น 1:0, 1:0.01, 1:0.03, 1:0.05 โดยรูปภาพของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์โครงสร้างแบบสองชั้น จะแสดงดังรูปที่ 4.4(ก) – (ง) ตามเงื่อนไขต่างๆ



รูปที่ 4.4 ไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบสองชั้น ของโครงสร้างที่เป็น ITO/NPB 30nm / Alq_3:DCM (1:x) 50 nm/Al 150 nm โดย (ก) x = 0 , (ข) x = 0.01 , (ค) x = 0 .03 และ (ง) x = 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยพิกัด CIE ของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบสองชั้นจะแสดงดังรูปที่ 4.5 ซึ่งเมื่อมีการเจือสาร DCM ลงไปในสาร Alq_3 จะเป็นแสงที่มีความยาวคลื่นอยู่ในย่านสีแดงและตำแหน่ง x, y ของพิกัด CIE ของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบสองชั้นจะแสดงดังตารางที่ 4.1



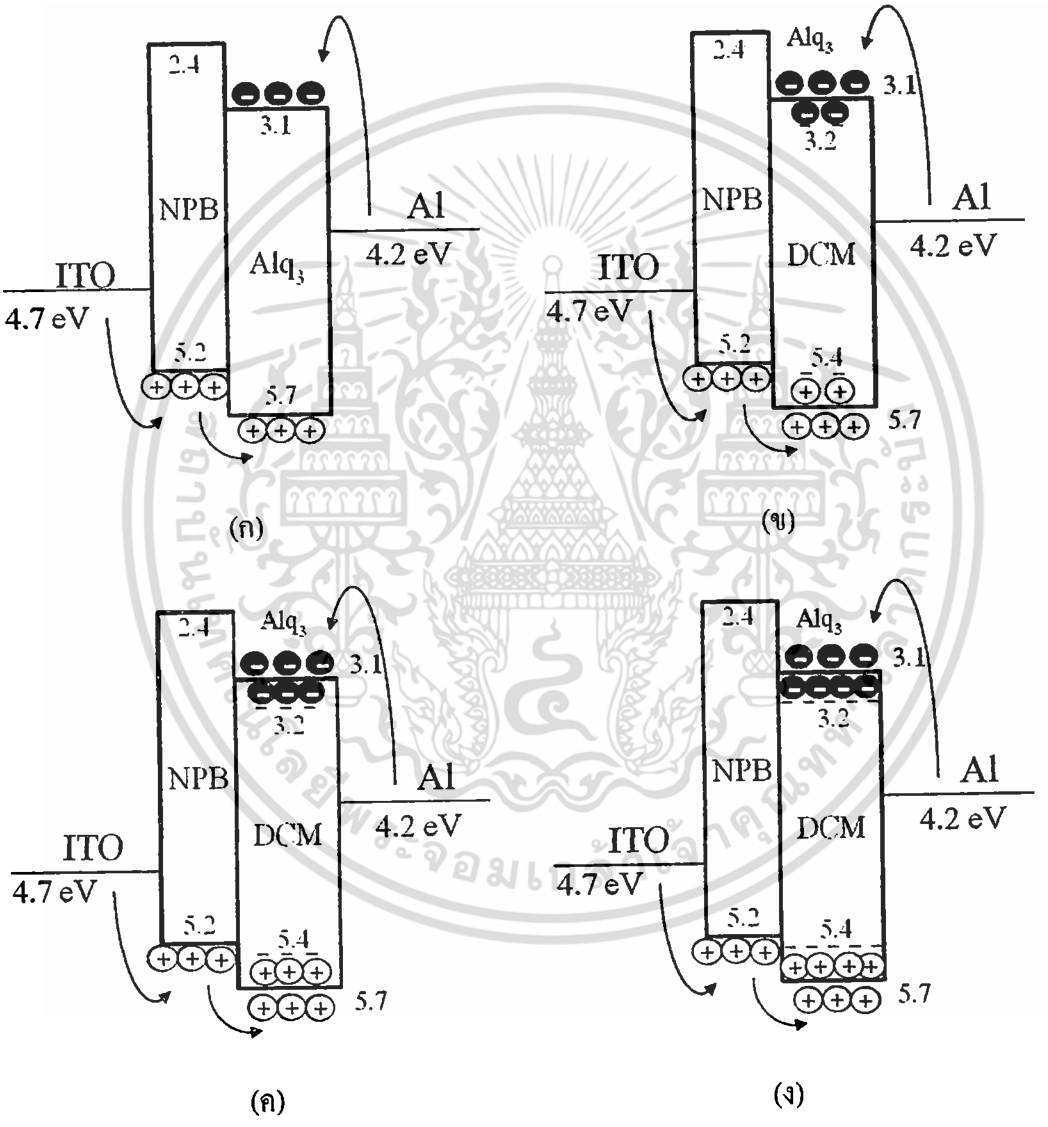
รูปที่ 4.5 พิกัด CIE ของ ไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบสองชั้น

ตารางที่ 4.1 พิกัด CIE ของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์โครงสร้างแบบสองชั้น

อัตราความเข้มข้นของสารเจือ (Alq_3:DCM)	พิกัด CIE (x,y)
1:0	(0.390,0.523)
1:0.01	(0.444,0.489)
1:0.03	(0.617,0.350)
1:0.05	(0.625,0.344)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากเมื่อมีการเจือสาร DCM เข้าไปในสาร Alq_3 จะทำให้เกิดแถบพลังงานของสาร DCM ในแถบพลังงานของสาร Alq_3 ที่ทำหน้าที่เป็นสารหลัก เมื่อมีการเจือสาร DCM มากขึ้น จะทำให้เกิด แถบพลังงานของสาร DCM ชัดเจนขึ้น จะแสดงดังรูปที่ 4.6 โดยสาร Alq_3 จะทำหน้าที่เป็นสารหลัก ที่ใช้ในการฉีดอิเล็กตรอนและช่วยในการแพร่ของโฮล ไปยังสารเจือ DCM จึงทำให้สาร DCM สามารถดักอิเล็กตรอนและโฮลได้มากขึ้น จึงทำให้อิเล็กตรอนและโฮลจะอยู่ในแถบพลังงานของสาร DCM เป็นส่วนใหญ่ และเกิดการรวมตัวกันของเอกซิตอน แล้วปลดปล่อยพลังงานแสงออกมาในย่านของสีแดง

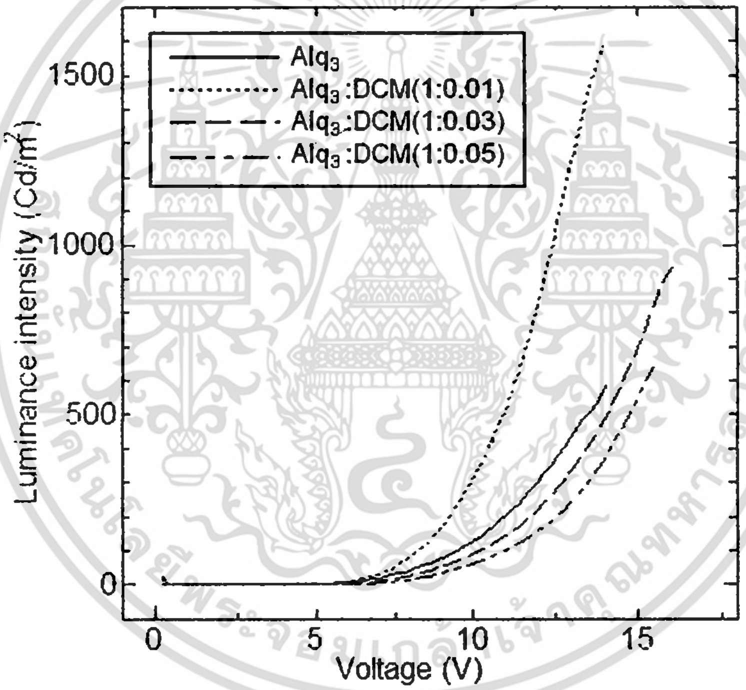


รูปที่ 4.6 ไดอะแกรมระดับพลังงานการเคลื่อนที่ของอิเล็กตรอนกับโฮลของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบสองชั้น (ก) ไม่มีการเจือ (ข) มีการเจือ 0.01 (ค) มีการเจือ 0.03 (ง) มีการเจือ 0.05

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 การตรวจสอบสมบัติทางแสงของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบสองชั้น

การตรวจสอบสมบัติทางแสงของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบสองชั้น จะแสดงดังรูปที่ 4.7 ของความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างกับความต่างศักย์ จะพบว่า จากโครงสร้าง ITO/NPB 30nm/ Alq_3 50 nm/Al 150 nm จะมีค่าความส่องสว่าง 583 แคนเดลาต่อตารางเมตร ที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 14 โวลต์ และเมื่อมีการเจือสาร DCM เข้าไปในสาร Alq_3 จะทำให้ค่าความส่องสว่างของ ไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ มีค่าเพิ่มมากขึ้น ของโครงสร้างที่เป็น ITO/NPB 30nm/ Alq_3:DCM(1:0.01) 50 nm/Al 150 nm โดยมีค่าความส่องสว่าง 1,590 แคนเดลาต่อตารางเมตร ที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 14 โวลต์ และส่วนอัตราความเข้มข้นของสารเจือที่เป็น 1:0.03 และ 1:0.05 จะมีค่าความส่องสว่าง 486 และ 369 แคนเดลาต่อตารางเมตร ตามลำดับ ที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 14 โวลต์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อมีการเจือสาร DCM มากขึ้น จะทำให้ค่าความส่องสว่างลดลงได้เช่นกัน

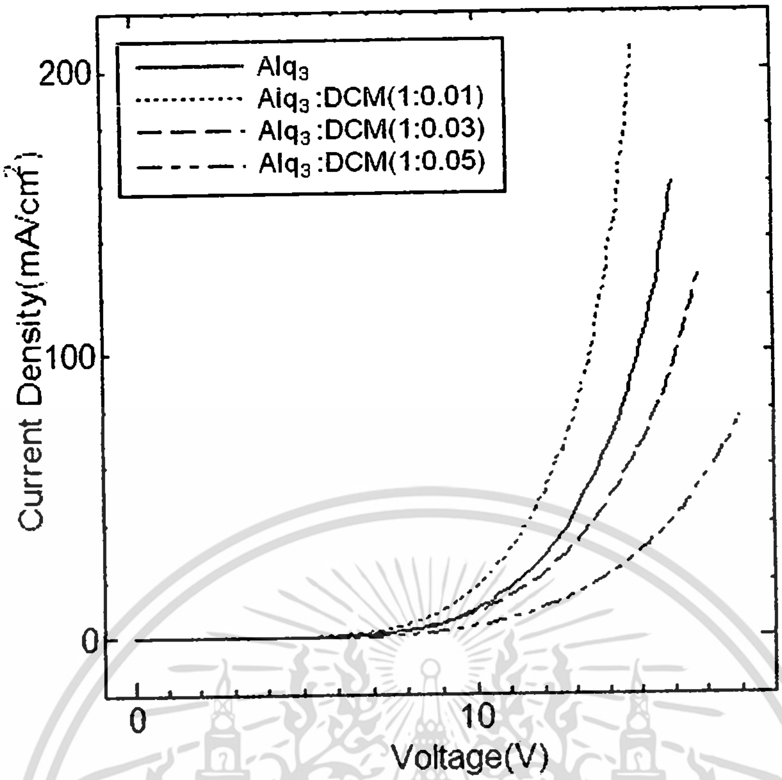


รูปที่ 4.7 ค่าความส่องสว่างกับความต่างศักย์ของ ไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบสองชั้น

4.1.3 การตรวจสอบสมบัติทางไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบสองชั้น

ความสัมพันธ์ระหว่างกระแสกับความต่างศักย์ของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบสองชั้น จะแสดงดังรูปที่ 4.8 พบว่าเมื่อความต่างศักย์ไฟฟ้ามีค่าน้อยกระแสยังไม่สามารถไหลได้ เมื่อมีการให้ความต่างศักย์ไฟฟ้าค่าหนึ่งกับไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ กระแสจึงเริ่มไหลเข้าสู่ไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ได้ ความต่างศักย์ไฟฟ้าค่านี้เรียกว่าความต่างศักย์ขีดเริ่ม (threshold voltage)

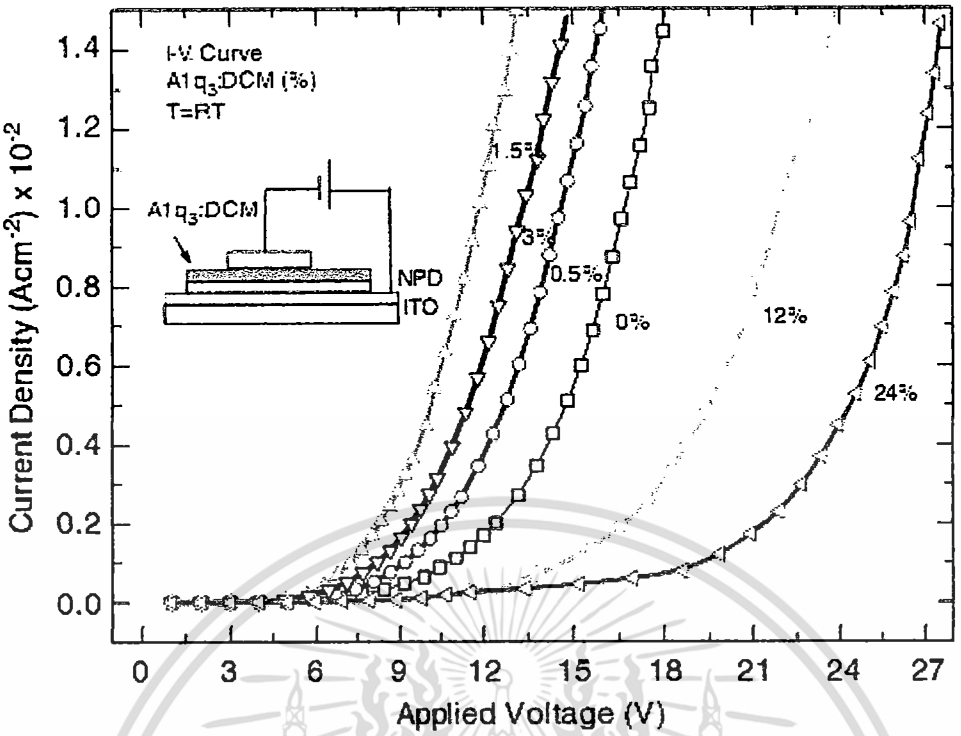
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.8 ค่ากระแสกับความต่างศักย์ของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบสองชั้น

ซึ่งจากโครงสร้าง ITO/NPB 30nm/ Alq_3 50 nm/Al 150 nm จะมีความต่างศักย์ขีดเริ่มที่ 6.9V และเมื่อมีการเจือสาร DCM เข้าไปในสาร Alq_3 ตามโครงสร้างที่เป็น ITO/NPB 30nm/ Alq_3:DCM(1:x) 50 nm/Al 150 nm ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามความเข้มข้นของสาร DCM ที่เจือเข้าไปในสาร Alq_3 ด้วยอัตราความเข้มข้นของสารเจือที่เป็น 1:0.01 , 1:0.03 และ 1:0.05 จะมีความต่างศักย์ขีดเริ่มเป็น 6 V, 7.2 V และ 8 V ตามลำดับ เมื่อมีการเจือสาร DCM มากขึ้น จะมีความต่างศักย์ขีดเริ่มมากขึ้น อันเนื่องมาจากสารเจือทำให้เกิดความต้านทานมากเกินไปภายในสาร Alq_3 ที่เป็นสารหลัก เช่น ปรากฏการณ์การดักโฮลส่งผลให้ลดสภาพคล่องของโฮลในชั้นนั้นๆ ซึ่งจะสอดคล้องกับผลการทดลองของ A. Uddin และคณะ[18] ดังรูปที่ 4.9 ซึ่งจะแสดงความหนาแน่นกระแสกับแรงดัน ที่มีความเข้มข้นของสารเจือ DCM ต่างๆ จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการเจือสาร DCM เข้าไป จะทำให้เกิดแถบพลังงานขึ้น โดยสาร Alq_3 จะทำหน้าที่เป็นสารหลัก ที่ใช้ในการฉีดอิเล็กตรอนและช่วยในการแพร่ของโฮล ไปยังสารเจือ DCM จึงทำให้สาร DCM สามารถดักอิเล็กตรอนและโฮลได้ ดังนั้นจึงทำให้ความต่างศักย์ขีดเริ่ม (threshold voltage) ต่ำลง เมื่อมีการเจือเข้าไป แต่เมื่อมีการเจือสาร DCM มากขึ้นในระดับหนึ่ง กับทำให้ความต่างศักย์ขีดเริ่ม มากขึ้น บ่งชี้ว่าสารเจือ DCM มีอิทธิพลต่อสมบัติการส่งผ่านประจุใน Alq_3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



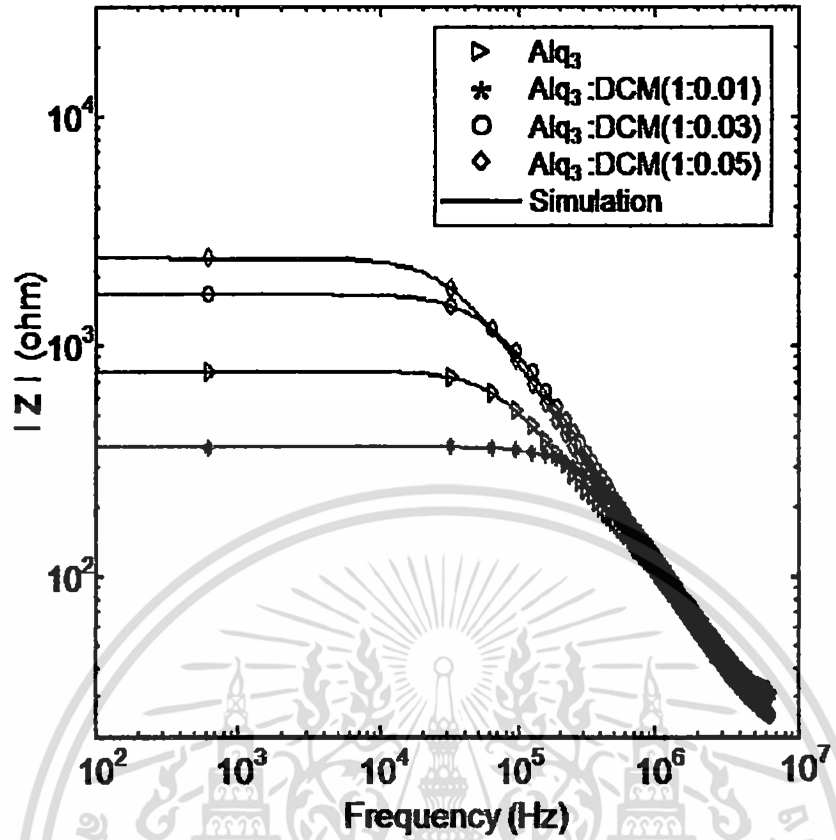
รูปที่ 4.9 ความหนาแน่นกระแสกับแรงดัน ที่ความเข้มข้นของสารเจือ DCM ต่างๆ[18]

4.1.4 การวิเคราะห์วงจรสมมูลของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบสองชั้น

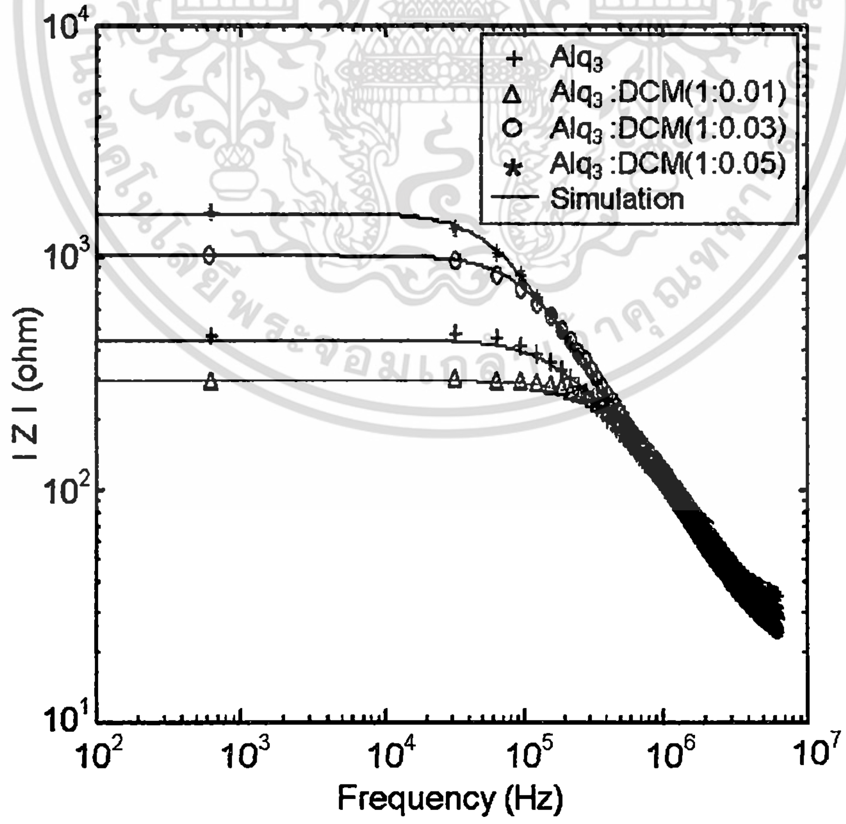
4.1.4.1 การวิเคราะห์ค่าอิมพีแดนซ์กับความถี่ของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบสองชั้น

ความสัมพันธ์ระหว่างอิมพีแดนซ์กับความถี่ของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบสองชั้นที่มีแอมพลิจูดของสัญญาณที่ทดสอบคือ 50 mV และวัดความถี่ในช่วง 100 Hz ถึง 1 MHz โดยมีการไบอัสแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ 0V จะแสดงดังรูปที่ 4.10(ก) และ ไบอัสแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ 8V จะแสดงดังรูปที่ 4.10(ข) จะพบว่าในช่วงความถี่สูง ค่าอิมพีแดนซ์ส่วนใหญ่จะเท่ากัน แต่ในช่วงความถี่ต่ำค่าอิมพีแดนซ์ของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบสองชั้นจะแตกต่างกัน เมื่อมีการเจือสาร DCM เข้าไปในสาร Alq_3 ตามโครงสร้างที่เป็น ITO/NPB 30nm/Alq_3:DCM(1:x) 50 nm/Al 150 nm ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงตามความเข้มข้นของสาร DCM ที่เจือเข้าไปในสาร Alq_3 ด้วยอัตราความเข้มข้นของสารเจือ Alq_3:DCM ที่เป็น 1:0.01 , 1:0.03 และ 1:0.05 เมื่อมีการเจือสาร DCM มากขึ้น จะมีค่าอิมพีแดนซ์มากขึ้นเช่นกัน และเมื่อเปรียบเทียบ รูปที่ 4.10(ก) ที่มีการไบอัสที่ 0V กับ รูปที่ 4.10(ข) ที่มีการไบอัสที่ 8V จะเห็นได้ว่า ที่ 0V จะมีค่าอิมพีแดนซ์มากกว่า ที่ 8V ที่ความเข้มข้นของสารเจือเดียวกัน ฉะนั้น เมื่อมีการไบอัสแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมากขึ้น จะทำให้มีค่าอิมพีแดนซ์ลดลง ที่ความเข้มข้นเดียวกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ไบอัสแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ 0V

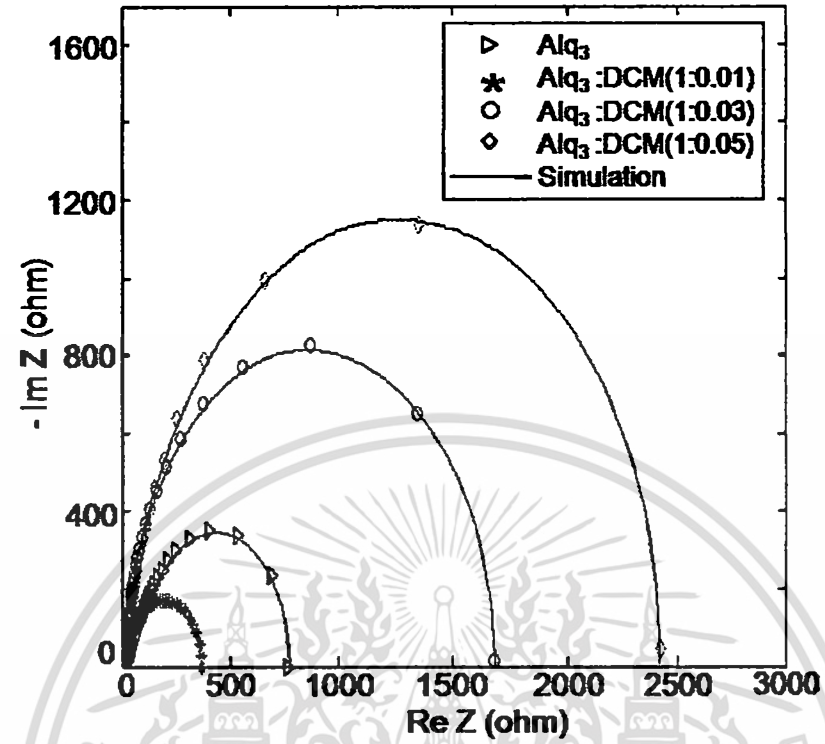


(ข) ไบอัสแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ 8V

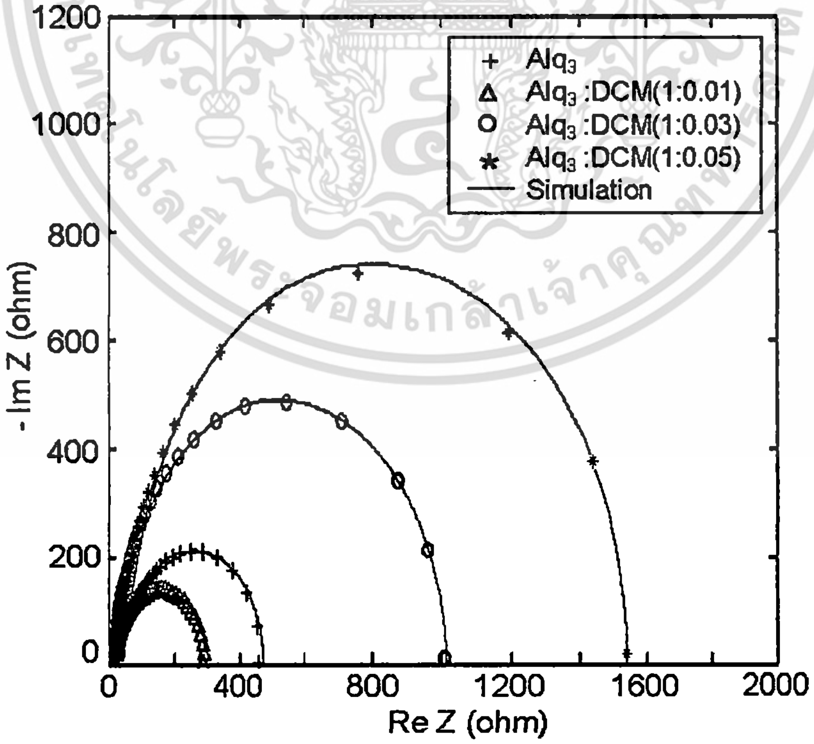
รูปที่ 4.10 ค่าอิมพีแดนซ์กับความถี่ (ก)ไบอัสที่ 0V (ข)ไบอัสที่ 8V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4.2 การวิเคราะห์ค่าอิมพีแดนซ์ที่ส่วนจริง กับส่วนจินตภาพ (กราฟ Cole-Cole)



(ก) ไบอัสแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ 0V



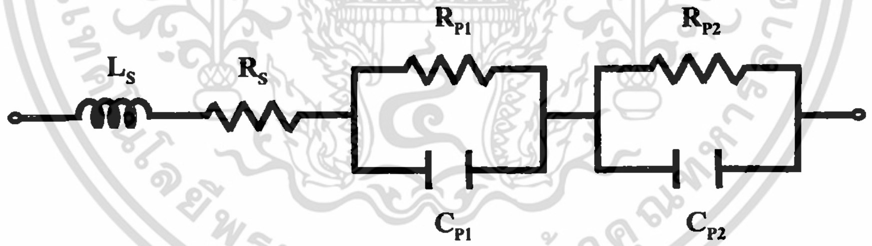
(ข)ไบอัสแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ 8V

รูปที่ 4.11 การวิเคราะห์ค่าอิมพีแดนซ์ส่วนจริงกับส่วนจินตภาพ (กราฟ Cole-Cole)

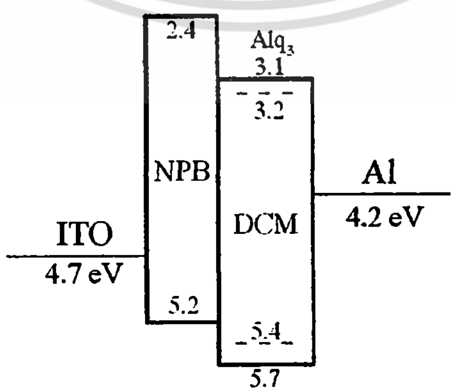
เอกสารนี้เป็น ... ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ค่าอิมพีแดนซ์ที่เป็นส่วนจริง (Real Part) กับค่าอิมพีแดนซ์ที่เป็นส่วนจินตภาพ (Imaginary Part) ซึ่งเรียกว่า กราฟ Cole – Cole ซึ่งจะแสดงดังรูปที่ 4.11 โดยความถี่จะขึ้นอยู่กับค่าของอิมพีแดนซ์และเฟสของอิมพีแดนซ์ของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบสองชั้น โดยมีแอมพลิจูดของสัญญาณที่ทดสอบคือ 50 mV และวัดความถี่ในช่วง 100 Hz ถึง 1 MHz โดยมีการไบอัสแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ 0V จะแสดงดังรูปที่ 4.11(ก) และ ไบอัสแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ 8V จะแสดงดังรูปที่ 4.11(ข) ซึ่งความถี่จากข้อมูลที่วัดได้จะเพิ่มขึ้นจากทางขวาไปทางซ้าย และแกนนอนคือค่าจริงของอิมพีแดนซ์ แกนตั้งคือค่าจินตภาพของอิมพีแดนซ์ จะเห็นได้ว่าค่าอิมพิแดนซ์ของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบสองชั้นจะมีครึ่งวงกลมต่ำสุด เมื่อมีการเจือสาร DCM เข้าไปในสาร Alq_3 ในอัตราความเข้มข้นของสารเจือ Alq_3:DCM ที่เป็น 1:0.01 และเมื่อมีการเจือสาร DCM ลงในสาร Alq3 มากขึ้น จะทำให้ครึ่งวงกลมใหญ่มากขึ้นเช่นกัน และเมื่อเปรียบเทียบ รูปที่ 4.11 (ก) ที่มีการไบอัสที่ 0V กับ รูปที่ 4.11(ข) ที่มีการไบอัสที่ 8V จะเห็นได้ว่า ที่ 0V จะมีครึ่งวงกลมใหญ่กว่า ที่ 8V ที่ความเข้มข้นของสารเจือเดียวกัน ฉะนั้น เมื่อมีการไบอัสแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมากขึ้น จะทำให้มีครึ่งวงกลมลดลง ที่ความเข้มข้นเดียวกัน

โดยกราฟนี้จะใช้ในการหาวงจรสมมูลของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบสองชั้น ถ้ามีจุดหรือเส้นบนแกนนอน จะมีเพียงความต้านทานเพียงอย่างเดียวเท่านั้น แต่ถ้ามีจุดหรือเส้นบนแกนตั้ง แสดงว่ามีความจุไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว แต่ถ้ากราฟมีลักษณะเป็นครึ่งวงกลมในระนาบ แสดงว่าเป็นวงจรสมมูลของวงจรขนาน RC ซึ่งจะแสดงดังรูปที่ 4.12(ก)



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.12 (ก) วงจรสมมูล (ข) โครงสร้าง ไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบสองชั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการวิเคราะห์วงจรสมมูลของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบสองชั้น เพื่อที่จะทำการจำลองค่าความต้านทานที่วัดได้ โดยใช้รูปแบบวงจรสมมูล จะแสดงดังรูปที่ 4.12(ก) ที่ประกอบไปด้วยวงจรขนานสองวงจรต่อกับวงจรอนุกรม ซึ่งวงจรขนานแต่ละวงจรจะประกอบด้วยตัวต้านทานขนานกับตัวเก็บประจุ โดยแต่ละวงจรเทียบได้กับชั้นของสาร NPB และชั้นของสาร Alq_3 ที่เจือด้วยสาร DCM ที่เป็นไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์โครงสร้างแบบสองชั้น[21,22] จะแสดงดังรูปที่ 4.12 (ข) นอกจากนี้วงจรขนานสองวงจรยังเชื่อมต่อกันด้วยวงจรอนุกรมที่มีความต้านทานอนุกร(Rs) และความเหนี่ยวนำ(Ls) ซึ่งเทียบได้กับขั้วของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ ตามลำดับ[23] โดยครึ่งวงกลมกราฟ Cole-Cole จะสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ 4.1[24]

$$Z = R_s + [\frac{R_{P1}}{1+(\omega R_{P1}C_{P1})^2} + \frac{R_{P2}}{1+(\omega R_{P2}C_{P2})^2}] - j[\frac{\omega R_{P1}^2 C_{P1}}{1+(\omega R_{P1}C_{P1})^2} + \frac{\omega R_{P2}^2 C_{P2}}{1+(\omega R_{P2}C_{P2})^2} + \omega L_s] \quad (4.1)$$

เมื่อ Z คือ อิมพีแดนซ์

Rp คือ ความต้านทานไฟฟ้า

Cp คือ ความจุไฟฟ้า

ω คือ ค่าความถี่เชิงมุม

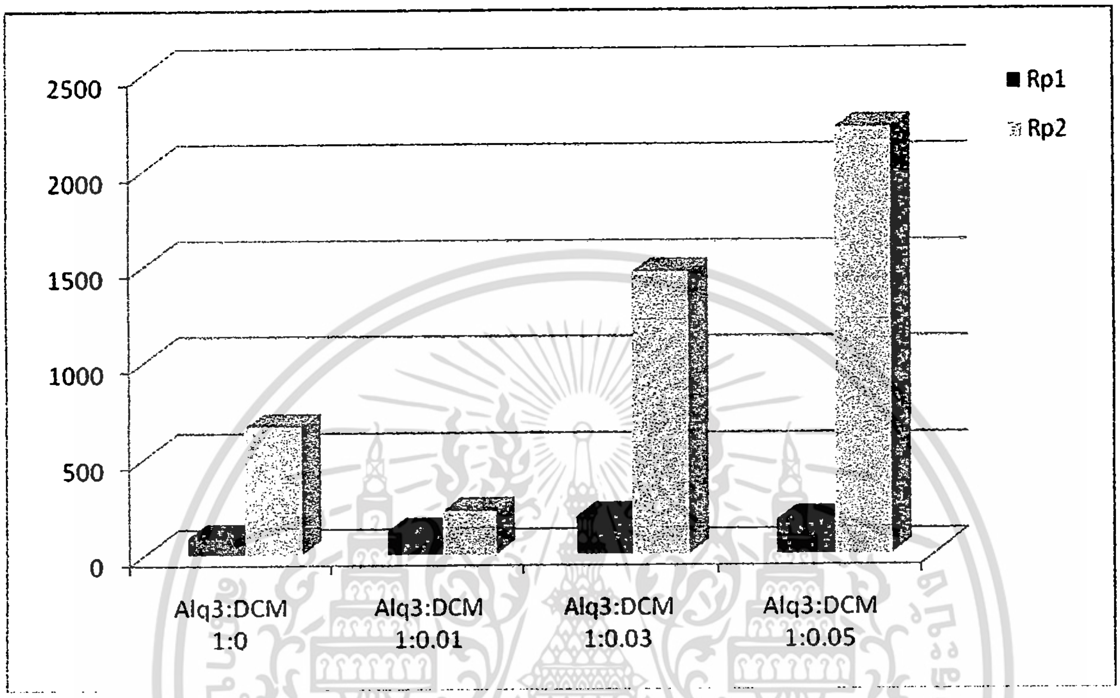
จากอิมพีแดนซ์ของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบสองชั้นที่วัดได้จะแสดงค่าเป็นจุดในรูปที่ 4.11 โดยได้ทำการวิเคราะห์วงจรสมมูลแล้ว จะแสดงค่าเป็นเส้นในรูปที่ 4.11 ซึ่งค่าที่ได้จะแสดงในตารางที่ 4.2 ซึ่งจะแสดงค่าความต้านทาน (R_s) ความเหนี่ยวนำ (L_s) ความต้านทานขนาน (R_{P1}, R_{P2}) และความจุขนาน (C_{P1}, C_{P2})

ตารางที่ 4.2 ค่าความต้านทานและความจุของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์โครงสร้างแบบสองชั้น

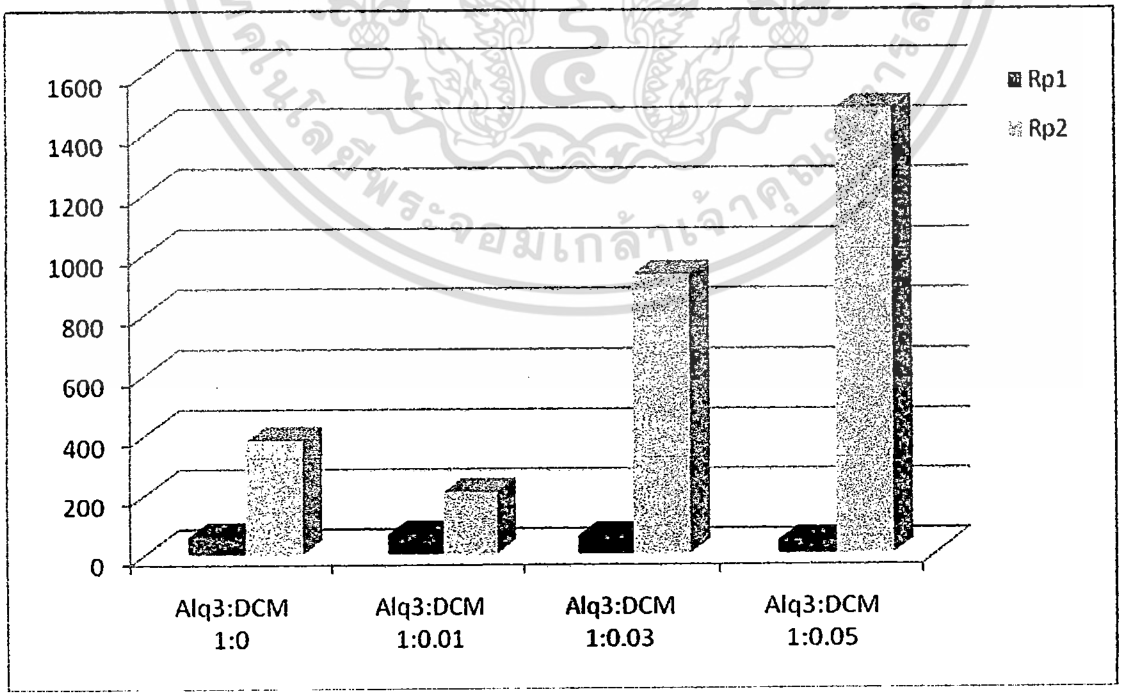
Bias DC	Alq_3:DCM	R_s (Ω)	R_{P1} (Ω)	C_{P1} (nF)	R_{P2} (Ω)	C_{P2} (nF)	L_s (nH)
0V	1:0	25.61	87.79	18.12	665.2	18.29	57.28
	1:0.01	20.54	119.2	19.58	226.1	13.65	84.93
	1:0.03	17.76	198.1	41.88	1,467	11.61	10.27
	1:0.05	24.84	178.8	41.51	2,214	13.69	785.4
8V	1:0	35.96	57.56	38.07	382.8	18.43	104.9
	1:0.01	20.80	64.45	65.35	208.1	52.75	123.4
	1:0.03	28.14	58.05	31.90	928.4	12.47	87.37
	1:0.05	29.52	42.70	32.02	1,481	25.81	42.33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.2 สามารถนำมาเขียนแผนภูมิไดอะแกรมเปรียบเทียบแต่ละความเข้มข้นของสารเจือ ได้ดังรูปที่ 4.13 จะแสดงแผนภูมิไดอะแกรมเปรียบเทียบค่า R_{P1} กับ R_{P2} ที่มีการไบอัสแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ 0V และรูปที่ 4.14 จะแสดงแผนภูมิไดอะแกรมเปรียบเทียบค่า R_{P1} กับ R_{P2} ที่มีการไบอัสแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ 8V



รูปที่ 4.13 แผนภูมิไดอะแกรมเปรียบเทียบค่า R_{P1} กับ R_{P2} ที่มีการไบอัสที่ 0V



รูปที่ 4.14 แผนภูมิไดอะแกรมเปรียบเทียบค่า R_{P1} กับ R_{P2} ที่มีการไบอัสที่ 8V

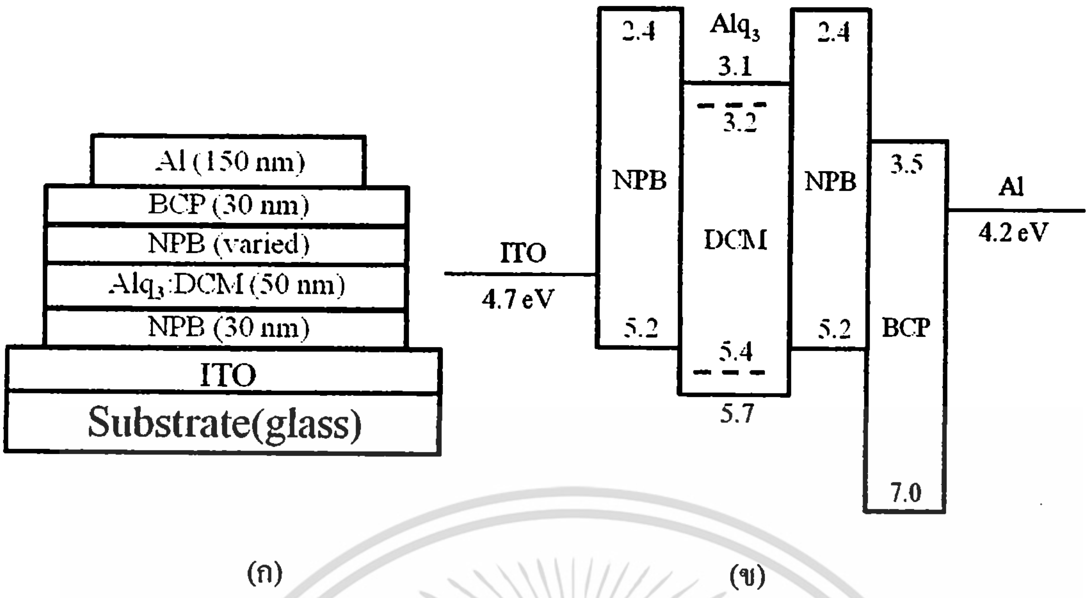
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเปรียบเทียบกันของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์โครงสร้างแบบสองชั้นที่อัตราความเข้มข้นต่างกันและไบอัสแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ 0V กับที่ 8V จากรูปที่ 4.13 และรูปที่ 4.14 จะเห็นได้ว่า ค่า R_s จะมีค่าใกล้เคียงกันทุกอัตราความเข้มข้นทั้ง 0V และ 8V เนื่องจาก ค่า R_s เป็นค่าความต้านทานภายในของขั้วไฟฟ้าของโครงสร้างไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบสองชั้น ส่วนค่า R_{P1} เป็นค่าความต้านทานขนานของวงจร RC ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกันทุกอัตราความเข้มข้น จะมีค่าใกล้เคียงกัน เนื่องจาก R_{P1} เป็นค่าความต้านทานภายในชั้นของสาร NPB ซึ่งชั้นนี้มีความหนา 30 นาโนเมตร ทุกอัตราความเข้มข้น แต่เมื่อเปรียบเทียบไบอัสแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ 0V และ 8V จะเห็นว่า ที่ 8V จะมีค่า R_{P1} น้อยกว่า ที่ 0V เมื่อเทียบที่อัตราความเข้มข้นเดียวกัน ส่วนค่า R_{P2} เป็นค่าความต้านทานภายในชั้นของสาร Alq_3ที่เจือด้วยสาร DCM จะเห็นได้ว่าค่าจะแตกต่างกัน เนื่องจากชั้นนี้ เป็นชั้นที่ได้ทำการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารเจือ DCM โดยที่ อัตราความเข้มข้นของสารเจือ Alq_3:DCM ที่ 1:0.01 จะมีค่า R_{P2} น้อยที่สุด และเมื่อมีการเจือสาร DCM มากขึ้น จะทำให้มีค่า R_{P2} มากขึ้นเช่นกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบไบอัสแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ 0V และ 8V จะเห็นว่า ที่ 8V จะมีค่า R_{P2} น้อยกว่า ที่ 0V เมื่อเทียบที่อัตราความเข้มข้นเดียวกัน โดยจุดที่อยู่ทางด้านซ้ายของกราฟ Cole-Cole ในรูปที่ 4.2 จะเป็นค่าของ R_s ส่วนจุดที่อยู่ทางด้านขวาของกราฟ Cole-Cole จะเป็นค่าของ R_s , R_{P1} และ R_{P2} รวมกัน โดยที่ เมื่อเทียบทุกอัตราความเข้มข้นของสารเจือ พบว่าอัตราความเข้มข้นของสารเจือ Alq_3:DCM ที่ 1:0.01 จะมีค่า R_{P2} น้อยที่สุด เนื่องจากมีความต้านทานน้อยจึงทำให้มีประสิทธิภาพดีกว่าอัตราความเข้มข้นอื่นๆ และเมื่ออัตราความเข้มข้นของสารเจือมากขึ้นจะทำให้มีความต้านทานมากขึ้นด้วยเช่นกัน ซึ่งจะสอดคล้องกับผลการวัดทางด้านสมบัติทางไฟฟ้าและสมบัติทางแสงในรูปที่ 4.7 และรูปที่ 4.8

4.2 ไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ โครงสร้างแบบหลายชั้น

จากการศึกษาการสร้างไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์โครงสร้างแบบสองชั้น จะเห็นได้ว่าโครงสร้าง ITO/NPB 30nm/Alq_3:DCM(1:0.01) 50 nm/Al 150 nm จะมีประสิทธิภาพที่เหมาะสม จึงได้เลือกมาสร้างเป็นโครงสร้างแบบหลายชั้น โดยเริ่มจากชั้นแรกเป็นการระเหยสารอินทรีย์ NPB ด้วยความหนา 30 นาโนเมตร ชั้นที่สองเป็นสารอินทรีย์ Alq_3 ที่มีการเจือด้วยสารอินทรีย์ DCM โดยอัตราส่วนที่เป็น Alq_3:DCM(1:0.01)โดยให้มีความหนาเป็น 50 นาโนเมตร และชั้นที่สามเป็นการระเหยสารอินทรีย์ NPB ด้วยความหนาตั้งแต่ 20 , 25 , 30 , 35 และ 40 นาโนเมตร หลังจากนั้นชั้นที่สี่เป็นการระเหยสารอินทรีย์ BCP ด้วยความหนา 30 นาโนเมตร และชั้นสุดท้าย Al 150 นาโนเมตร โดยโครงสร้างของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบหลายชั้นจะแสดงดังรูปที่ 4.15(ก) และไดอะแกรมระดับพลังงานจะแสดงดังรูปที่ 4.15(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.15 โครงสร้างและไดอะแกรมระดับพลังงานของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบหลายชั้น

-ITO / NPB 30nm / Alq_3:DCM(1:0.01) 50 nm / NPB 20 nm /BCP 30 nm /Al 150 nm

-ITO / NPB 30nm / Alq_3:DCM(1:0.01) 50 nm / NPB 25 nm /BCP 30 nm /Al 150 nm

-ITO / NPB 30nm / Alq_3:DCM(1:0.01) 50 nm / NPB 30 nm /BCP 30 nm /Al 150 nm

-ITO / NPB 30nm / Alq_3:DCM(1:0.01) 50 nm / NPB 35 nm /BCP 30 nm /Al 150 nm

-ITO / NPB 30nm / Alq_3:DCM(1:0.01) 50 nm / NPB 40 nm /BCP 30 nm /Al 150 nm

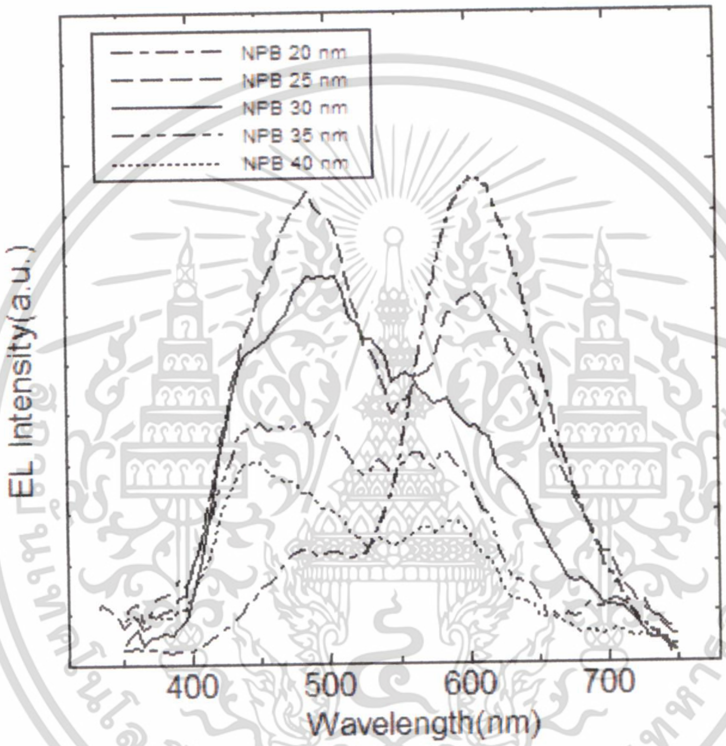
4.2.1 การวัดสเปกตรัมอิเล็กโทรลูมิเนสเซนซ์ของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบหลายชั้น

การวัดสเปกตรัมอิเล็กโทรลูมิเนสเซนซ์ของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบหลายชั้น จะแสดงดังรูปที่ 4.16 จะเห็นได้ว่าสเปกตรัมที่ความหนาของชั้นสาร NPB ต่างๆ จะมีผลต่อการปรับสีของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบหลายชั้น โดยในสเปกตรัมอิเล็กโทรลูมิเนสเซนซ์ จะมีพีคการเปล่งแสง 2 พีค ที่แตกต่างกันพบได้ช่วงบริเวณ 450 นาโนเมตร และ 600 นาโนเมตร ของโครงสร้าง ITO / NPB 30nm / Alq_3:DCM(1:0.01) 50 nm / NPB 20,25,30,35,40 nm /BCP 30 nm /Al 150 nm ซึ่งจะแสดงค่าของตำแหน่งสูงสุดของสเปกตรัมของแต่ละโครงสร้างจะแสดงดังตารางที่ 4.3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

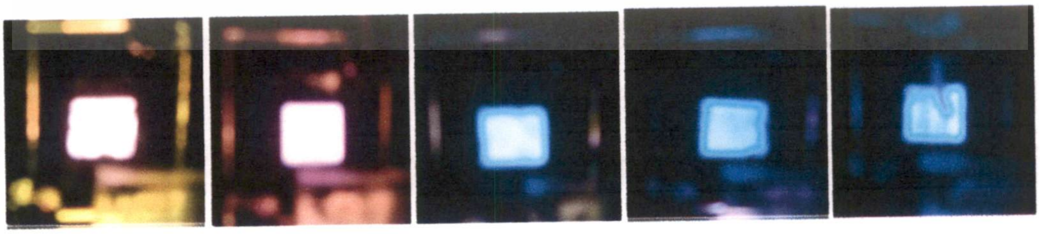
ตารางที่ 4.3 ค่าความยาวคลื่นแสงตำแหน่งสูงสุดของสเปกตรัมของโครงสร้างแบบหลายชั้น

ความหนาของชั้นสารอินทรีย์ NPB (นาโนเมตร)	ความยาวคลื่นแสงสูงสุด 2 พีค
20	479 และ 608 นาโนเมตร
25	483 และ 601 นาโนเมตร
30	488 และ 591 นาโนเมตร
35	442 และ 583 นาโนเมตร
40	439 และ 580 นาโนเมตร



รูปที่ 4.16 สเปกตรัมอิเล็กโทรลูมิเนสเซนซ์ของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบหลายชั้น

โดยจากรูปที่ 4.17 (ก) – (จ) จะเป็นรูปไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบหลายชั้น ขณะจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้า 30 โวลต์ ตามเงื่อนไขต่างๆ

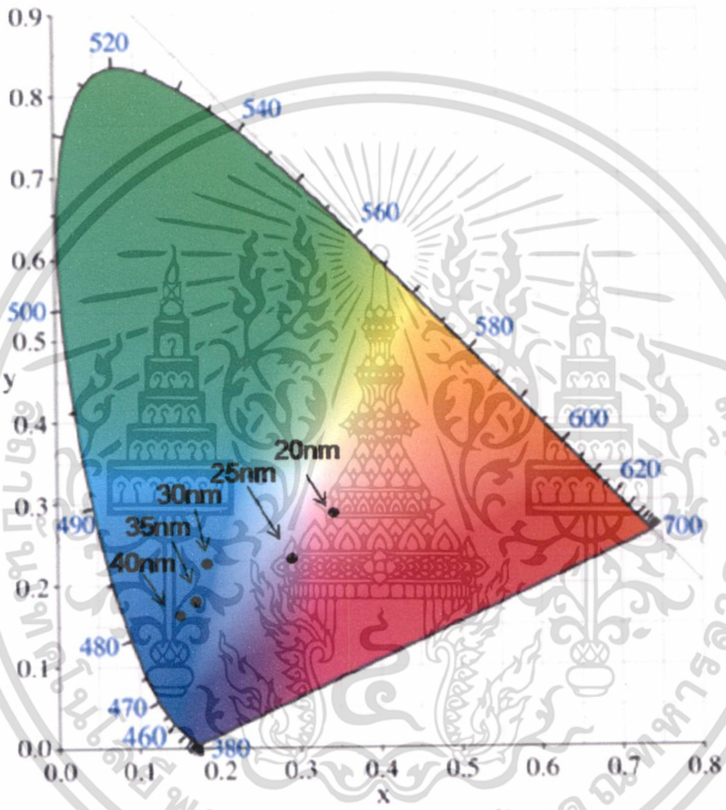


(ก) (ข) (ค) (ง) (จ)

รูปที่ 4.17 ไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบหลายชั้น ขณะจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้า 30โวลต์ของโครงสร้างที่เป็น ITO/NPB30nm/Alq_3:DCM (1:0.01) 50 nm/NPB x nm/BCP 30nm/Al 150 nm โดย x = (ก) NPB 20 nm, (ข) NPB 25 nm, (ค) NPB 30 nm, (ง) NPB 35 nm, (จ) NPB 40 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยพิกัด CIE ของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบหลายชั้นจะแสดงดังรูปที่ 4.18 ซึ่งจะเห็นได้ว่าพิกัด CIE นั้นจะเลื่อนไป ที่ความหนาของ NPB ต่างๆกัน โดยจะเห็นว่าผลการทดลองนี้เกิดปรากฏการณ์การเลื่อนไปทางด้านย่านของสีน้ำเงิน (Blue-Shifted) ด้วยค่าความหนาของชั้นสาร NPB ที่เพิ่มมากขึ้น เนื่องจากการเลื่อนบริเวณการรวมตัว (Recombination Zone) ของอิเล็กตรอนกับโฮล ด้วยความหนาของชั้นสาร NPB ที่ค่าต่างๆ จึงทำให้การเพิ่มความหนาของชั้น NPB มีผลต่อการเปล่งแสงของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบหลายชั้น และตำแหน่ง x, y ของพิกัด CIE ของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบหลายชั้นได้สรุปไว้ในตารางที่ 4.4



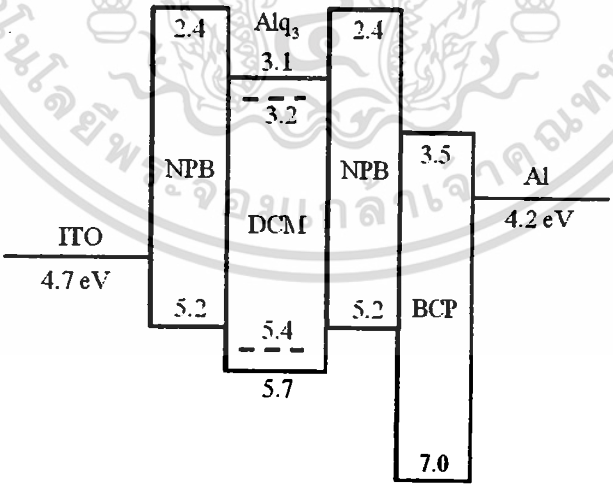
รูปที่ 4.18 พิกัด CIE ของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบหลายชั้น

ตารางที่ 4.4 พิกัด CIE ของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์โครงสร้างแบบหลายชั้น

ความหนาของชั้นสารอินทรีย์ NPB (นาโนเมตร)	พิกัด CIE (x,y)
20	(0.342,0.299)
25	(0.294,0.231)
30	(0.194,0.231)
35	(0.172,0.176)
40	(0.167,0.166)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบหลายชั้น จะเกิดจากการรวมตัวกันแบบปลดปล่อยแสงของอิเล็กตรอนกับโฮลที่ บริเวณชั้นของสาร Alq_3 ที่มีการเจือด้วย DCM ซึ่งจะปลดปล่อยแสงสีส้มออกมา และในเวลาเดียวกัน จะปลดปล่อยแสงสีน้ำเงินในบริเวณชั้นของสาร NPB ที่อยู่ติดกับชั้นสาร BCP ซึ่งจะเห็นได้ว่า สเปกตรัมอิเล็กโทรลูมิเนสเซนซ์จะเกิดขึ้นด้วยกัน 2 พีค เนื่องจากการรวมตัวกันของอิเล็กตรอนกับโฮล จากระดับพลังงานของ Alq_3ที่เจือด้วยสาร DCM และชั้นสาร NPB ที่ทำหน้าที่เป็นชั้นเปล่งแสง จะอธิบายปรากฏการณ์ของกราฟสเปกตรัมอิเล็กโทรลูมิเนสเซนซ์ ด้วยแผนภาพระดับพลังงานของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบหลายชั้นได้ โดยจะแสดงดังรูปที่ 4.19 จะเห็นได้ว่าอิเล็กตรอนจะถูกฉีดจากขั้วแคโทดเข้าไปในชั้นสาร NPB ซึ่งทำหน้าที่เป็นชั้นเปล่งแสง(ชั้นที่สอง) ทำให้อิเล็กตรอนจะพบกับกำแพงศักย์ มีค่า 0.7 eV จะเห็นได้ว่ากำแพงศักย์ที่ต่ำและอิเล็กตรอนที่มีจำนวนมากจากขั้วไฟฟ้า Al จะสามารถฉีดเข้าไปได้โดยง่าย ในทางตรงกันข้าม พลังงานศักย์จากขั้วแอโนดไปยังชั้นสาร NPB ที่ทำหน้าที่เป็นชั้นส่งผ่านโฮล (ชั้นที่หนึ่ง) มีค่า 0.5 eV ซึ่งกำแพงศักย์จะมีค่าใกล้เคียงกันกับฝั่งของขั้วแคโทด โดยสภาพคล่องของโฮลในชั้นสาร NPB(ชั้นที่หนึ่ง) คล้ายกันกับสภาพคล่องอิเล็กตรอนในชั้นสาร BCP ดังนั้นพาหะประจุจึงสามารถที่จะฉีดจากขั้วไฟฟ้าและผ่านไปยังชั้นเปล่งแสงได้ในเวลาเดียวกัน การดักพาหะประจุ โดยการทะลุผ่าน(tunneling) และการกระโดด(hopping) ในไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบหลายชั้นจะมีผลต่อการส่งผ่านประจุของโฮลที่ถูกฉีดเข้าไปในชั้นเปล่งแสงโดยจะทะลุผ่านการดักประจุและการกระโดด ในขณะที่อิเล็กตรอนถูกฉีดเข้าไปในชั้นเปล่งแสงโดยการทะลุผ่านและการกระโดด



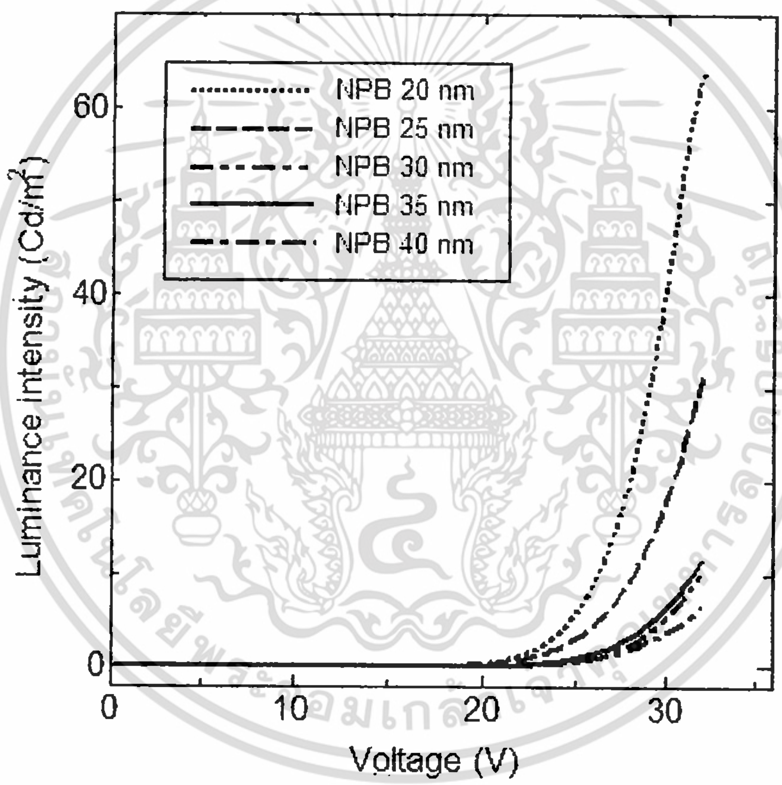
รูปที่ 4.19 ไดอะแกรมระดับพลังงานไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบหลายชั้น

กระบวนการเปล่งแสงสามารถอธิบายได้ด้วยโฮลที่ถูกฉีดจากชั้นสาร NPB(ชั้นที่หนึ่ง) เข้าไปในชั้นเปล่งแสง โดยไม่มีกำแพงศักย์ เพราะระดับพลังงานที่คล้ายกันระหว่างชั้นสาร Alq_3 ที่ถูกเจือเข้าไปด้วย DCM และชั้นสาร NPB(ชั้นที่สอง) ส่งผลให้โฮลบางตัวสามารถที่จะกระโดดเข้าไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่มีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาเท่านั้น มิใช่เพื่อการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในชั้น NPB (ชั้นที่สอง)ได้แต่ไม่สามารถที่จะไปยังขั้วแคโทดได้เนื่องจากกำแพงศักย์ของ HBL มีค่าสูงถึง 1.8 eV ในทางกลับกัน กำแพงศักย์อยู่ที่ 1.1 eV เมื่ออิเล็กตรอนถูกฉีดเข้าไปในชั้น NPB (ชั้นที่สอง) ในกรณีของกระบวนการกระโดด ยากที่จะฉีดอิเล็กตรอนข้ามกำแพงศักย์ ในกรณีของการทะลุผ่าน อิเล็กตรอนจะมีการสะสมตัวกันที่รอยต่อของชั้นสาร NPB/BCP โดยไม่มีการกระโดดเข้าไปยังชั้นเปล่งแสง เนื่องจากการดักโฮลไว้ในชั้น Alq_3 : DCM และอิเล็กตรอนจะสะสมตัวกันในชั้นสาร BCP โดยสนามไฟฟ้าในชั้นสาร NPB (ชั้นที่สอง) มีค่าสูงมาก ซึ่งเป็นสิ่งที่ดี สำหรับอิเล็กตรอนในการทะลุผ่านไปยังชั้นสาร NPB(ชั้นที่สอง) และรวมตัวกันกับโฮล ดังนั้นชั้น Alq_3 : DCM จึงมีการเปล่งแสงสีแดงและชั้น NPB (ชั้นที่สอง) จึงมีการเปล่งแสงสีน้ำเงิน

4.2.2 การตรวจสอบสมบัติทางแสงของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบหลายชั้น



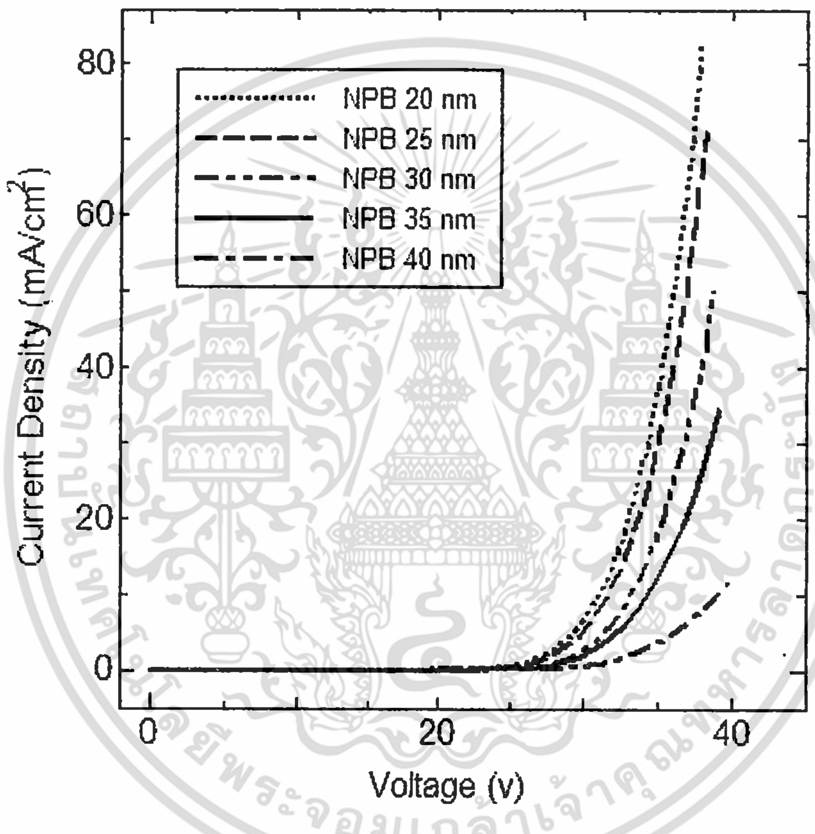
รูปที่ 4.20 ค่าความส่องสว่างกับความต่างศักย์ของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบหลายชั้น

ความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างกับความต่างศักย์ของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบหลายชั้น จะแสดงดังรูปที่ 4.20 โดยจะเห็นได้ว่าความหนาที่เพิ่มขึ้นจะส่งผลให้ความส่องสว่างลดลงที่แรงดันเดียวกัน โดยที่ความหนา NPB 20 นาโนเมตร จะมีความส่องสว่างมากกว่าที่ความหนา 25, 30, 35 และ 40 นาโนเมตร ซึ่งจะเห็นได้ว่าเมื่อความหนาของชั้น NPB มากขึ้น จะทำให้ค่าความส่องสว่างลดลง โดยความเข้มในการส่องสว่างของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบหลายชั้นจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นกระแส ที่จะแสดงในรูปที่ 4.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.3 การตรวจสอบสมบัติทางไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบหลายชั้น

ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นกระแสกับความต่างศักย์ของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบหลายชั้น จะแสดงดังรูปที่ 4.21 พบว่าความต่างศักย์ขีดเริ่มต่ำสุดที่ความหนาของชั้น NPB เป็น 20 นาโนเมตร เมื่อเทียบกับความหนา 25, 30, 35 และ 40 นาโนเมตร จากผลการทดลองได้แสดงให้เห็นว่าการเพิ่มความหนาส่งผลให้กระแสลดลงที่แรงดันเดียวกัน เนื่องจากสารอินทรีย์มีสภาพต้านทานสูง ในขณะที่ประสิทธิภาพความหนาแน่นกระแสกับแรงดันของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์โครงสร้างแบบหลายชั้นจะขึ้นอยู่กับความหนาของชั้นสาร NPB [25,26] ซึ่งจะสอดคล้องกับผลการทดลองของ I.D. Parker [27]



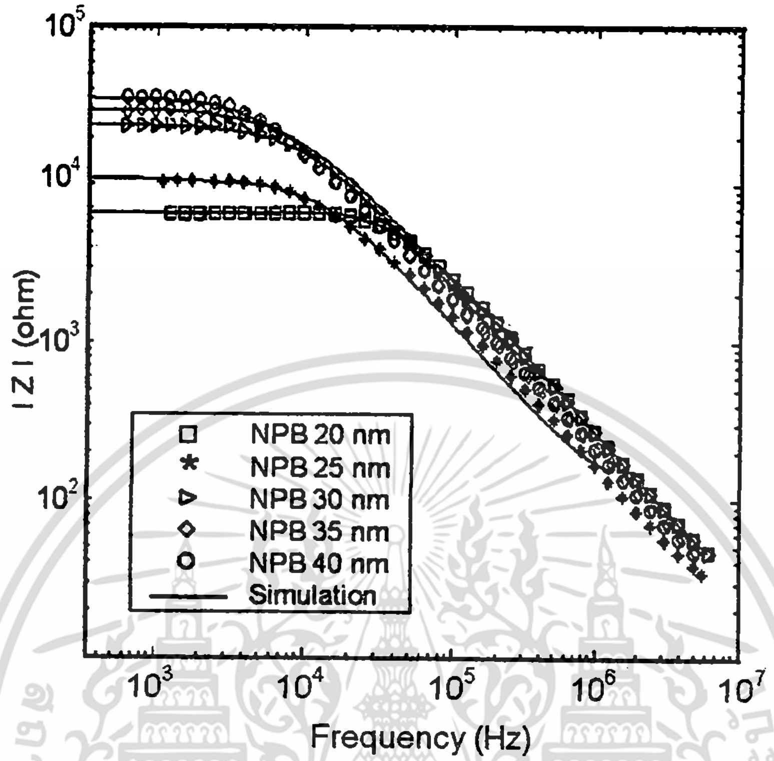
รูปที่ 4.21 ค่าความหนาแน่นกระแสกับความต่างศักย์ของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบหลายชั้น

ความหนาแน่นกระแสและความส่องสว่าง จะลดลง สำหรับไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์โดยทั่วไป จะมี 4 องค์ประกอบ ในการเพิ่มประสิทธิภาพของความสว่างและประสิทธิภาพกำลังของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์[28-31] ประการแรกคือความสมดุลของการเคลื่อนที่ของประจุ ซึ่งได้มาจากการกระจายตัวอย่างมีประสิทธิภาพของพาหะประจุเข้าไปในรอยต่อและเนื้อสาร ซึ่งกล่าวได้ว่าจำนวนของอิเล็กตรอนใน BCP มากพอกับจำนวนโฮลใน NPB ประการที่สอง ประสิทธิภาพในการดักโฮลเพิ่มขึ้น เมื่อนำ DCM มาใช้เป็นสารเจือที่มีประสิทธิภาพควอนตัมสูง ประการที่สามบริเวณการเปล่งแสงเลื่อนไปจากรอยต่อขั้วแคโทด/สารอินทรีย์ เนื่องจาก HBL และ EBL ของ BCP ประการที่สี่ ทั้งการดักพาหะประจุและกลไกการส่งผ่านพลังงานไปยังที่ต่างๆในกระบวนการ EL

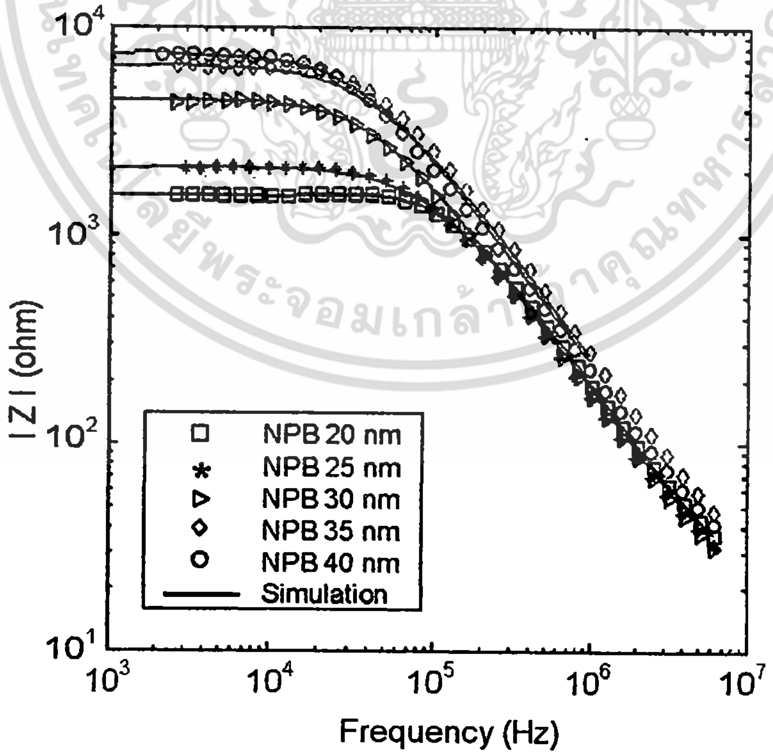
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2.4 การวิเคราะห์วงจรสมมูลของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบหลายชั้น

4.2.4.1การวิเคราะห์ค่าอิมพีแดนซ์กับความถี่ของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบหลายชั้น



(ก) ไบอัสแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ 20V



(ข) ไบอัสแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ 25V

รูปที่ 4.22 ค่าอิมพีแดนซ์กับความถี่ (ก)ไบอัสที่ 20V (ข)ไบอัสที่ 25V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

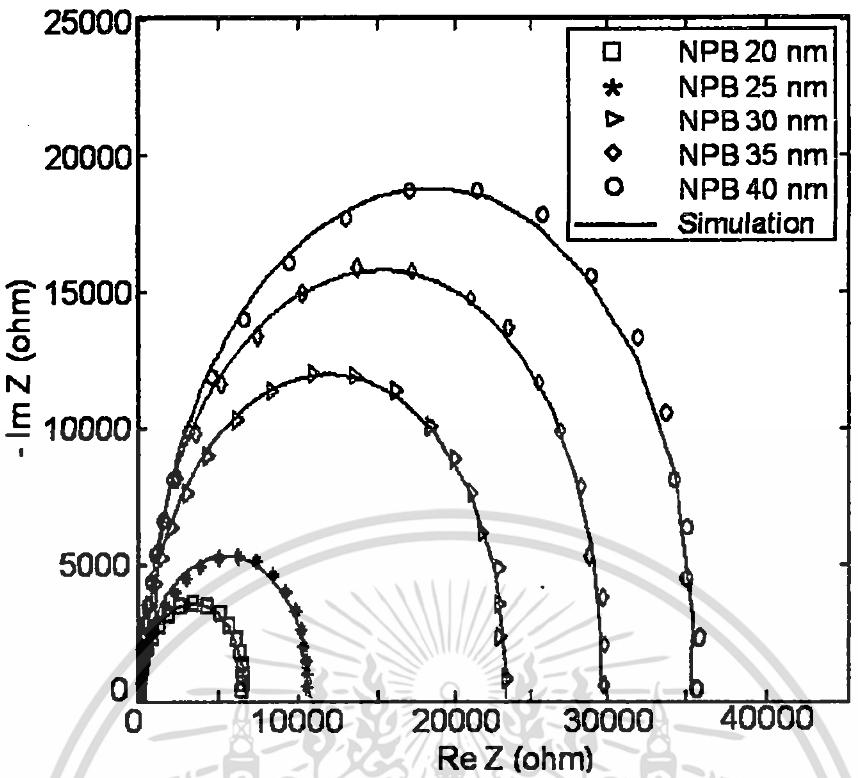
ความสัมพันธ์ระหว่างอิมพีแดนซ์กับความถี่ของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบหลายชั้น ที่มีแอมพลิจูดของสัญญาณที่ทดสอบคือ 50 mV และวัดความถี่ในช่วง 100 Hz ถึง 1 MHz โดยมีการไบอัสแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ 20V จะแสดงดังรูปที่ 4.22(ก) และไบอัสแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ 25V จะแสดงดังรูปที่ 4.22(ข) จะพบว่าในช่วงความถี่สูง ค่าอิมพีแดนซ์ส่วนใหญ่จะเท่ากัน แต่ในช่วงความถี่ต่ำค่าอิมพีแดนซ์ของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบหลายชั้นจะแตกต่างกัน จากโครงสร้างที่เป็น ITO/NPB 30nm/Alq_3:DCM(1:0.01) 50 nm/NPB 20,25,30,35,40 nm/BCP 30 nm/Al 150 nm เมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความหนาของชั้น NPB เป็น 20, 25, 30, 35 และ 40 นาโนเมตร จะเห็นได้ว่า เมื่อมีความหนาของชั้นสาร NPB มากขึ้น จะมีค่าอิมพีแดนซ์มากขึ้นเช่นกัน และเมื่อเปรียบเทียบ รูปที่ 4.22(ก) ที่มีการไบอัส 20V กับ รูปที่ 4.22(ข) ที่มีการไบอัสที่ 25V จะเห็นได้ว่า ที่ 20V จะมีค่าอิมพีแดนซ์มากกว่า ที่ 25V ที่ความหนาของชั้นสาร NPB เดียวกัน ฉะนั้น เมื่อมีการไบอัสแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมากขึ้น จะทำให้มีค่าอิมพีแดนซ์ลดลง ที่ความหนาเดียวกัน

4.2.4.2 การวิเคราะห์ค่าอิมพีแดนซ์ที่ส่วนจริง กับส่วนจินตภาพ (กราฟ Cole-Cole)

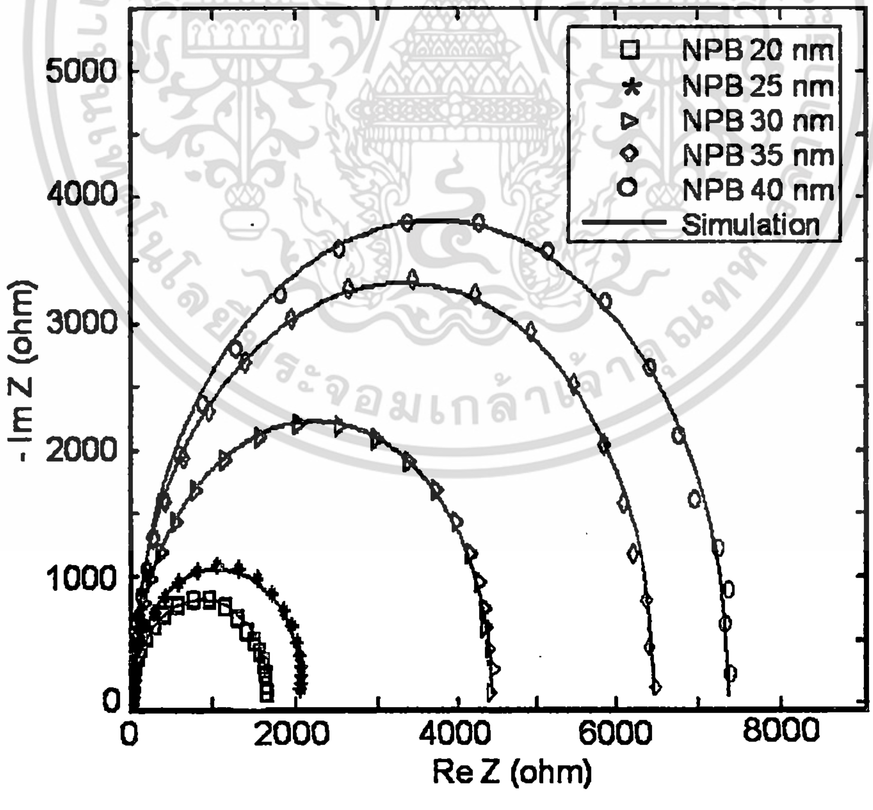
การวิเคราะห์ค่าอิมพีแดนซ์ที่เป็นส่วนจริง (Real Part) กับค่าอิมพีแดนซ์ที่เป็นส่วนจินตภาพ (Imaginary Part) ซึ่งเรียกว่า กราฟ Cole – Cole ซึ่งจะแสดงดังรูปที่ 4.23 โดยความถี่จะขึ้นอยู่กับค่าของอิมพีแดนซ์และเฟสของอิมพีแดนซ์ของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบหลายชั้น โดยมีแอมพลิจูดของสัญญาณที่ทดสอบคือ 50 mV และวัดความถี่ในช่วง 100 Hz ถึง 1 MHz โดยมีไบอัสแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ 20V จะแสดงดังรูปที่ 4.23(ก) และ ไบอัสแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ 25V จะแสดงดังรูปที่ 4.23(ข) ซึ่งความถี่จากข้อมูลที่วัดได้จะเพิ่มขึ้นจากทางขวาไปทางซ้าย และแกนนอนคือค่าจริงของอิมพีแดนซ์ แกนตั้งคือค่า จินตภาพของอิมพีแดนซ์ จะเห็นได้ว่าค่าอิมพีแดนซ์ของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบหลายชั้นจะมีครึ่งวงกลมต่ำสุด เมื่อมีความหนาของชั้นสาร NPB ที่ทำหน้าที่เป็นชั้นเปล่งแสงสีน้ำเงิน เป็น 20 นาโนเมตร และเมื่อมีความหนาของชั้นสาร NPB มากขึ้น จะทำให้ครึ่งวงกลมใหญ่มากขึ้นเช่นกัน และเมื่อเปรียบเทียบ รูปที่ 4.23(ก) ที่มีการไบอัส 20V กับ รูปที่ 4.23(ข) ที่มีการไบอัสที่ 25V จะเห็นได้ว่า ที่ 20V จะมีครึ่งวงกลมใหญ่กว่า ที่ 25V ที่ความหนาของชั้นสาร NPB เดียวกัน ฉะนั้น เมื่อมีการไบอัสแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงมากขึ้น จะทำให้มีครึ่งวงกลมลดลง ที่ความหนาเดียวกัน

โดยกราฟนี้จะใช้ในการหาวงจรสมมูลของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบหลายชั้น ถ้ามีจุดหรือเส้นบนแกนนอน จะมีเพียงความต้านทานเพียงอย่างเดียวเท่านั้น แต่ถ้ามีจุดหรือเส้นบนแกนตั้ง แสดงว่ามีความจุไฟฟ้าเพียงอย่างเดียว แต่ถ้ากราฟมีลักษณะเป็นครึ่งวงกลมในระนาบ แสดงว่าเป็นวงจรสมมูลของวงจรขนาน RC ซึ่งจะแสดงดังรูปที่ 4.24(ก)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



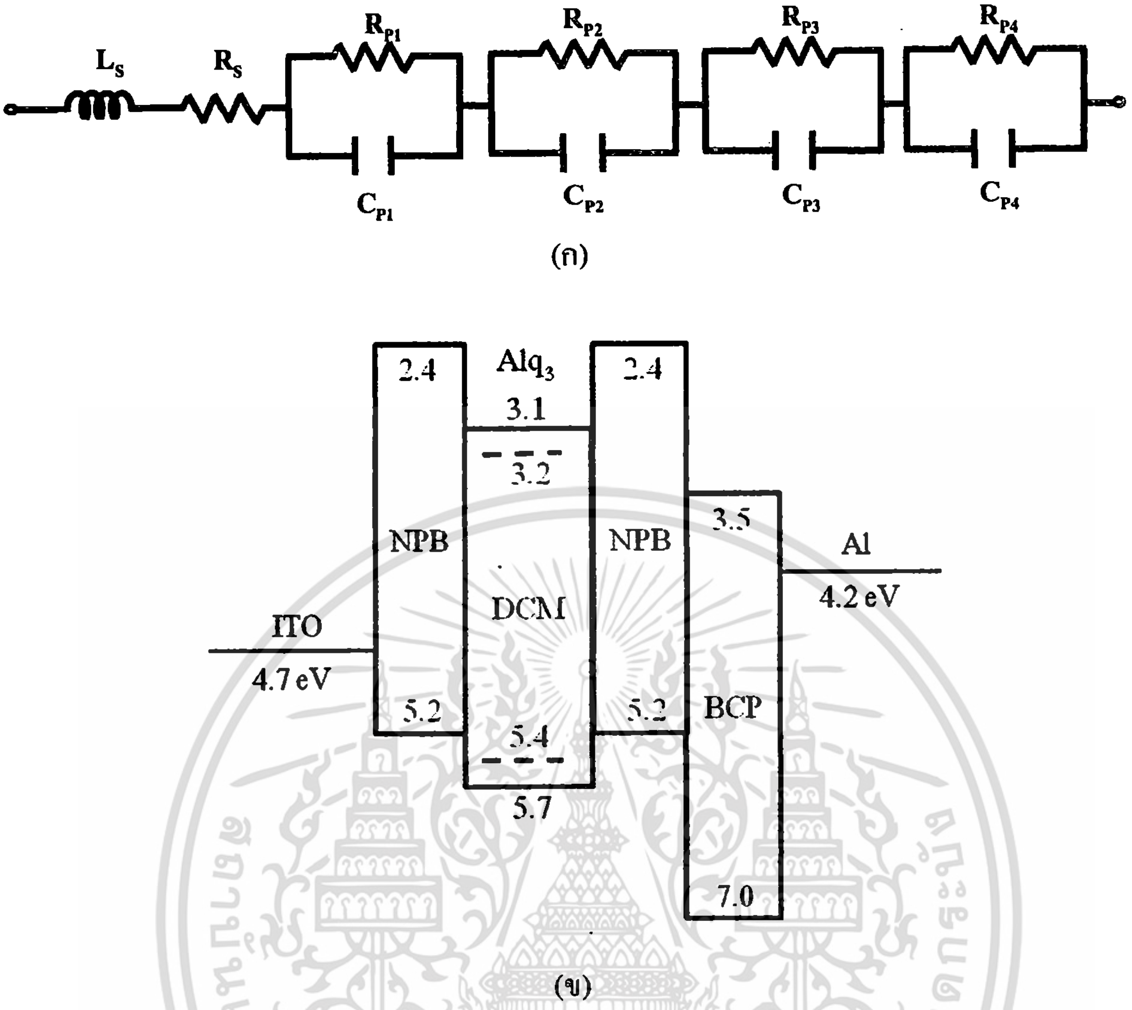
(ก) ไบอัสแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ 20V



(ข) ไบอัสแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ 25V

รูปที่ 4.23 การวิเคราะห์ค่าอิมพีแดนซ์ส่วนจริง กับส่วนจินตภาพ (กราฟ Cole-Cole)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.24 (ก) วงจรสมมูล (ข) โครงสร้าง ไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบหลายชั้น

จากการวิเคราะห์วงจรสมมูลของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบหลายชั้น เพื่อที่จะทำการจำลองค่าความต้านทานที่วัดได้ โดยใช้รูปแบบวงจรสมมูล จะแสดงดังรูปที่ 4.24(ก) ที่ประกอบไปด้วยวงจรขนาน 4 วงจรต่อกับวงจรอนุกรม ซึ่งวงจรขนานแต่ละวงจรจะประกอบด้วยตัวต้านทานขนานกับตัวเก็บประจุ โดยแต่ละวงจรเทียบได้กับชั้นของสาร NPB ที่ทำหน้าที่เป็นชั้นส่งผ่านโฮล ชั้นสาร Alq_3ที่เจือด้วยสาร DCM ที่ชั้นเปล่งแสงสีส้ม กับ ชั้นสาร NPB ที่ทำหน้าที่เป็นชั้นเปล่งแสงสีน้ำเงิน และชั้นสาร BCP ที่ทำหน้าที่เป็นชั้นส่งผ่านอิเล็กตรอน โดยเป็นไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์โครงสร้างแบบหลายชั้น จะแสดงดังรูปที่ 4.24(ข) นอกจากนี้วงจรขนาน 4 วงจรยังเชื่อมต่อกันด้วยวงจรอนุกรมที่มีความต้านทานอนุกร(Rs) และความเหนี่ยวนำ(Ls) ซึ่งเทียบได้กับขั้วของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ ตามลำดับ โดยครึ่งวงกลมกราฟ Cole-Cole จะสามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$Z = R_s + [\frac{R_{P1}}{1+(\omega R_{P1}C_{P1})^2} + \frac{R_{P2}}{1+(\omega R_{P2}C_{P2})^2} + \frac{R_{P3}}{1+(\omega R_{P3}C_{P3})^2} + \frac{R_{P4}}{1+(\omega R_{P4}C_{P4})^2}]$$

$$- j[\frac{\omega R_{P1}^2 C_{P1}}{1+(\omega R_{P1}C_{P1})^2} + \frac{\omega R_{P2}^2 C_{P2}}{1+(\omega R_{P2}C_{P2})^2} + \frac{\omega R_{P3}^2 C_{P3}}{1+(\omega R_{P3}C_{P3})^2} + \frac{\omega R_{P4}^2 C_{P4}}{1+(\omega R_{P4}C_{P4})^2} + \omega L_s] \quad (4.2)$$

เมื่อ Z คือ อิมพีแดนซ์

Rp คือ ความต้านทานไฟฟ้า

Cp คือ ความจุไฟฟ้า

ω คือ ค่าความถี่เชิงมุม

โดยวงจรสมมูลของวงจรขนาน RC จะแสดงดังรูปที่ 4.22(ก)

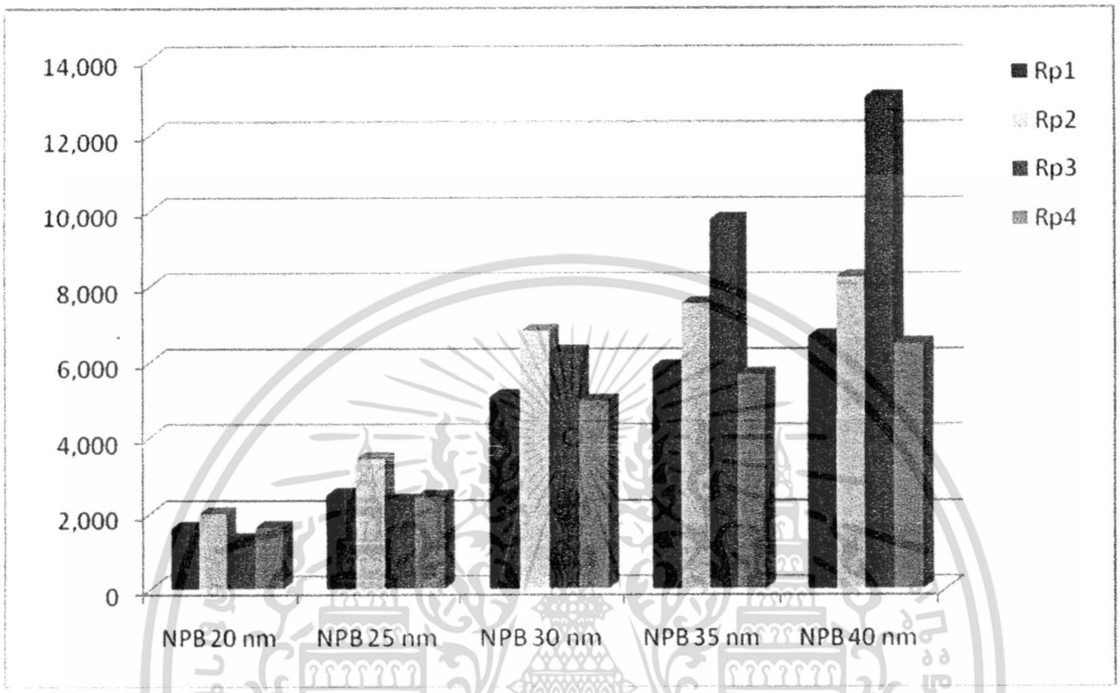
จากอิมพีแดนซ์ของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบหลายชั้นที่วัดได้ จะแสดงค่าเป็นจุดในรูปที่ 4.23 โดยได้ทำการวิเคราะห์วงจรสมมูลแล้ว จะแสดงค่าเป็นเส้นในรูปที่ 4.23 ซึ่งค่าที่ได้จะแสดงในตารางที่ 4.5 ซึ่งจะแสดงค่าความต้านทาน(R_S) ความเหนี่ยวนำ(L_S) ความต้านทานขนาน (R_{P1}, R_{P2}, R_{P3}, R_{P4}) และความจุขนาน(C_{P1}, C_{P2}, C_{P3}, C_{P4})

ตารางที่ 4.5 ค่าความต้านทานและความจุของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์โครงสร้างแบบหลายชั้น

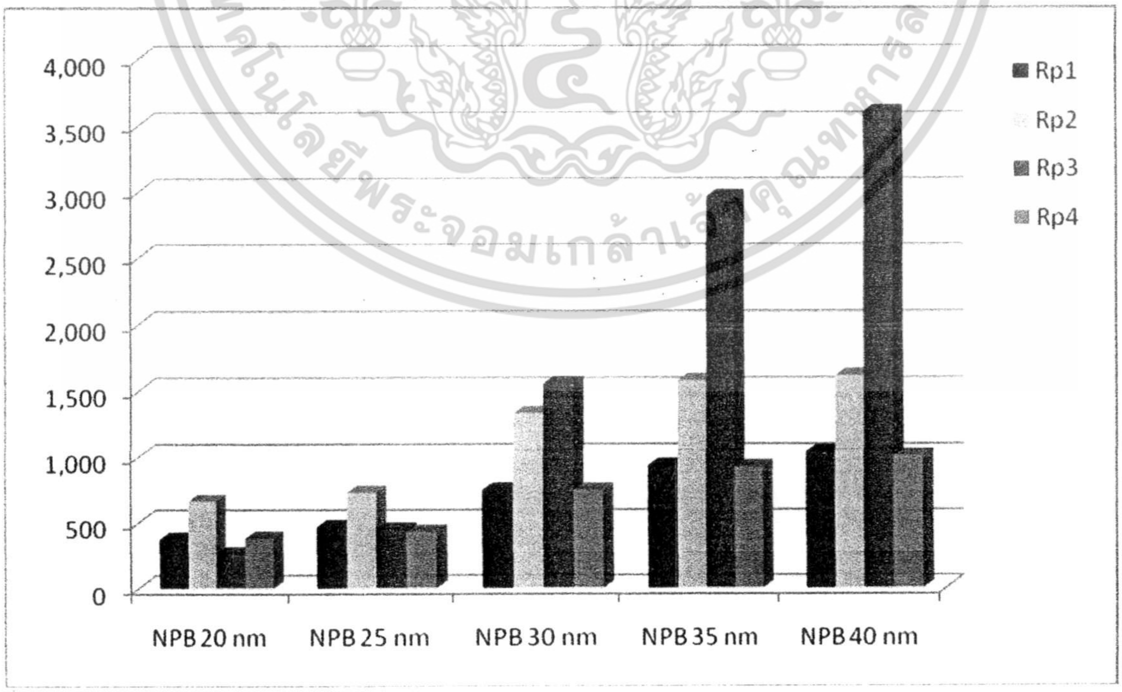
Bias DC	NPB	R_S (Ω)	R_{P1} (Ω)	C_{P1} (nF)	R_{P2} (Ω)	C_{P2} (nF)	R_{P3} (Ω)	C_{P3} (nF)	R_{P4} (Ω)	C_{P4} (nF)	L_S (nH)
20V	20 nm	103.8	1,595	10.97	1,996	22.66	1,297	30.45	1,625	21.81	13.38
	25 nm	117.5	2,478	37.84	3,438	29.46	2,335	55.91	2,438	48.67	20.92
	30 nm	255.5	5,080	37.14	6,810	22.44	6,257	23.63	4,968	35.25	34.49
	35 nm	568.7	5,865	14.49	7,547	17.19	9,762	14.04	5,667	11.31	53.29
	40 nm	744.9	6,665	11.94	8,236	26.34	12,980	12.68	6,474	22.86	97.85
25V	20 nm	16.88	372.7	14.67	667.2	14.17	261.6	13.47	381.9	16.99	48.77
	25 nm	22.20	467.0	10.28	734.4	13.21	446.8	18.19	429.7	12.42	20.18
	30 nm	37.88	752.4	21.79	1,331	12.01	1,553	10.64	749.5	13.92	45.71
	35 nm	57.62	932.8	13.48	1,575	23.46	2,960	10.06	922.5	26.04	89.35
	40 nm	89.21	1,037	24.37	1,612	18.49	3,601	10.89	1,007	22.11	77.64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.5 สามารถนำมาเขียนแผนภูมิไดอะแกรมเปรียบเทียบแต่ละความหนาของชั้นสาร NPB ได้ดังรูปที่ 4.25 จะแสดงแผนภูมิไดอะแกรมเปรียบเทียบค่า R_{P1}, R_{P2}, R_{P3} และ R_{P4} ที่มีการไบอัสแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ 20V และรูปที่ 4.26 จะแสดงแผนภูมิไดอะแกรมเปรียบเทียบค่า R_{P1}, R_{P2}, R_{P3} และ R_{P4} ที่มีการไบอัสแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ 25V



รูปที่ 4.25 แผนภูมิไดอะแกรมเปรียบเทียบค่า R_{P1}, R_{P2}, R_{P3} และ R_{P4} ที่มีการไบอัสที่ 20V



รูปที่ 4.26 แผนภูมิไดอะแกรมเปรียบเทียบค่า R_{P1}, R_{P2}, R_{P3} และ R_{P4} ที่มีการไบอัส 25V

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเปรียบเทียบกันของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์โครงสร้างแบบหลายชั้นที่ความหนาของชั้นสาร NPB ต่างกัน และไบอัสแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ 20V กับที่ 25V จากรูปที่ 4.25 และรูปที่ 4.26 จะเห็นได้ว่า ค่า R_S จะมีค่าใกล้เคียงกันทุกโครงสร้าง ทั้ง 20V และ 25V เนื่องจาก ค่า R_S เป็นค่าความต้านทานภายในของขั้วไฟฟ้าของโครงสร้างไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบหลายชั้น ส่วนค่า R_{P1} เป็นค่าความต้านทานขนานของวงจร RC ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกันทุกโครงสร้าง จะมีค่าใกล้เคียงกัน หรือเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เนื่องจาก R_{P1} เป็นค่าความต้านทานภายในชั้นของสาร NPB ซึ่งชั้นนี้มีความหนา 30 นาโนเมตร เมื่อเทียบกันทุกโครงสร้าง แต่เมื่อเปรียบเทียบไบอัสแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ 20V และ 25V จะเห็นว่า ที่ 25V จะมีค่า R_{P1} น้อยกว่า ที่ 20V เมื่อเทียบที่โครงสร้างเดียวกัน ส่วนค่า R_{P2} เป็นค่าความต้านทานขนานของวงจร RC ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกันทุกโครงสร้าง จะมีค่าใกล้เคียงกัน หรือเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เนื่องจาก R_{P2} เป็นค่าความต้านทานภายในชั้นของสาร Alq_3 ที่มีการเจือด้วยสาร DCM เป็นอัตราส่วนความเข้มข้น Alq_3:DCM ที่ 1:0.01 ซึ่งชั้นนี้มีความหนา 50 นาโนเมตร เมื่อเทียบกันทุกโครงสร้าง แต่เมื่อเปรียบเทียบ ไบอัสแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ 20V และ 25V จะเห็นว่า ที่ 25V จะมีค่า R_{P2} น้อยกว่า ที่ 20V เมื่อเทียบที่โครงสร้างเดียวกัน ส่วนค่า R_{P3} เป็นค่าความต้านทานภายในชั้นสาร NPB ที่ทำหน้าที่เป็นชั้นเปล่งแสงสีน้ำเงิน จะเห็นได้ว่าค่าจะแตกต่างกันมาก เนื่องจากชั้นนี้ เป็นชั้นที่ได้ทำการเปลี่ยนแปลงความหนา ตั้งแต่ 20, 25, 30, 35 และ 40 นาโนเมตร โดยที่ความหนา 20 นาโนเมตร จะมีค่า R_{P3} น้อยที่สุด และเมื่อมีมีความหนาของชั้นสาร NPB มากขึ้น จะทำให้มีค่า R_{P3} มากขึ้นเช่นกัน แต่เมื่อเปรียบเทียบไบอัสแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ 20V และ 25V จะเห็นว่า ที่ 25V จะมีค่า R_{P3} น้อยกว่า ที่ 20V เมื่อเทียบที่โครงสร้างเดียวกัน ส่วนค่า R_{P4} เป็นค่าความต้านทานขนานของวงจร RC ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกันทุกโครงสร้าง จะมีค่าใกล้เคียงกัน หรือเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย เนื่องจาก R_{P4} เป็นค่าความต้านทานภายในชั้นของสาร BCP ซึ่งชั้นนี้มีความหนา 30 นาโนเมตร เมื่อเทียบกันทุกโครงสร้าง แต่เมื่อเปรียบเทียบไบอัสแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงที่ 20V และ 25V จะเห็นว่า ที่ 25V จะมีค่า R_{P4}น้อยกว่า ที่ 20V เมื่อเทียบที่โครงสร้างเดียวกัน โดยจุดที่อยู่ทางด้านซ้ายของกราฟ Cole-Cole ในรูปที่ 4.21 จะเป็นค่าของ R_S ส่วนจุดที่อยู่ทางด้านขวาของกราฟ Cole-Cole จะเป็นค่าของ R_S, R_{P1}, R_{P2}, R_{P3} และ R_{P4} รวมกัน โดยที่ เมื่อเทียบทุกโครงสร้าง พบว่าที่ความหนาของชั้นสาร NPB 20 นาโนเมตร จะมีค่า R_{P3} น้อยที่สุด เนื่องจากมีความต้านทานน้อย จึงทำให้มีประสิทธิภาพดีกว่าที่ความหนาของชั้นสาร NPB อื่นๆ และเมื่อความหนาของชั้นสาร NPB มากขึ้น จะทำให้มีความต้านทานมากขึ้นด้วยเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาการสร้างไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ด้วยระบบระเหยสารอินทรีย์ เพื่อที่จะหาความเข้มข้นของสารเจือของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบสองชั้นที่เหมาะสม และนำเงื่อนไขที่ได้มาสร้างเป็นไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์โครงสร้างแบบหลายชั้น ศึกษาผลจากเปลี่ยนแปลงความหนาของชั้นสารอินทรีย์ หาความหนาของชั้นสารอินทรีย์ของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบหลายชั้นที่เหมาะสม เพื่อนำไปพัฒนาเป็นไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์โครงสร้างแบบหลายชั้นที่มีประสิทธิภาพสูงต่อไป

การศึกษาไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์โครงสร้างแบบสองชั้น จากการสร้างไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์โครงสร้าง ITO/NPB/Alq_3:DCM/Al โดยเงื่อนไขที่สำคัญที่ทำการศึกษาคือทำการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นของสารเจือ DCM ใน Alq_3 พบว่าตำแหน่งสูงสุดของสเปกตรัมจะเลื่อนจากย่านสีเขียวไปทางย่านสีแดง เมื่อความเข้มข้นของสารเจือ DCM เพิ่มมากขึ้นเนื่องจากเมื่อมีการเจือสาร DCM เข้าไปในสาร Alq_3 จะทำให้เกิดแถบพลังงานของสาร DCM ในแถบพลังงานต้องห้ามของสาร Alq_3 เมื่อมีการเจือสาร DCM มากขึ้น จะทำให้เกิดแถบพลังงานของชั้นสาร DCM ชัดเจนขึ้น โดยสาร Alq_3 จะทำหน้าที่เป็นสารหลัก ที่ใช้ในการฉีดอิเล็กตรอนและช่วยในการแพร่ของโฮล ไปยังสารเจือ DCM จึงทำให้สาร DCM สามารถดักอิเล็กตรอนและโฮลได้มากขึ้น จึงทำให้อิเล็กตรอนและโฮลจะอยู่ในแถบพลังงานของสาร DCM เป็นส่วนใหญ่ และเกิดการรวมตัวกันของเอกซิตอน แล้วปลดปล่อยพลังงานแสงออกมาในย่านของสีแดง ในขณะที่ค่ากระแสและค่าความส่องสว่างมีค่าลดลง เนื่องมาจากสารเจือทำให้เกิดข้อบกพร่องในชั้นสาร Alq_3 ที่เป็นสารหลัก จึงทำให้เกิดความต้านทานมาก โดยจะส่งผลให้ลดสภาพคล่องของโฮลในชั้นสาร จึงทำให้มีค่ากระแสลดลงโดยกราฟ Cole-Cole เมื่ออัตราความเข้มข้นของสารเจือ DCM มากขึ้น ก็จะทำให้ชั้น Alq_3 ที่เจือด้วย DCM มีความต้านทานมากขึ้นด้วยเช่นกัน จากผลการทดลองเงื่อนไขที่เหมาะสมในการสร้างไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบสองชั้นคือ ความหนาของชั้น NPB ที่ 30 นาโนเมตร และความหนาของชั้น Alq_3ที่เจือด้วยสาร DCM 50 นาโนเมตร ที่อัตราความเข้มข้นของสารเจือเป็น 1:0.01 โดยมีค่าความส่องสว่างสูงสุด 1,590 แคนเดลาต่อตารางเมตร ที่ค่าความต่างศักย์ไฟฟ้า 14 โวลต์ และมีพิกัด CIE (0.444,0.489) ซึ่งมีความยาวคลื่นแสง 603 นาโนเมตร โดยอัตราความเข้มข้นของสารเจือ Alq_3:DCM ที่ 1:0.01 จะมีค่า Rp2 คือค่าความต้านทานภายในชั้นของสาร Alq_3ที่เจือด้วยสาร DCM น้อยที่สุด เนื่องจากมีความต้านทานน้อย จึงทำให้มีประสิทธิภาพดีกว่าอัตราความเข้มข้นอื่นๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการสร้างไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์โครงสร้างแบบหลายชั้นโดยทำการเพิ่มชั้น NPB ที่ทำหน้าที่เป็นชั้นเปล่งแสงสีน้ำเงิน และชั้น BCP ความหนา 30 นาโนเมตร ที่ทำหน้าที่เป็นชั้นส่งผ่านอิเล็กตรอน โดยมีเงื่อนไขของความเข้มข้นของสารเจือที่เหมาะสม คือสาร Alq_3ที่เจือด้วยสาร DCM เป็น 1:0.01 ที่ได้จากผลการทดลองสร้างไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์แบบสองชั้น นำมาสร้างเป็นไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์โครงสร้างแบบหลายชั้นที่เป็น ITO/NPB/Alq_3:DCM/NPB/BCP/Al โดยเงื่อนไขที่สำคัญคือทำการเปลี่ยนแปลงความหนาของชั้น NPB ที่ทำหน้าที่เป็นชั้นเปล่งแสงสีน้ำเงิน จากผลการทดลองทำการเปลี่ยนแปลงความหนาของชั้น NPB เป็น 20,25,30,35 และ 40 นาโนเมตร พบว่าค่าความหนาแน่นกระแสและความส่องสว่างของอุปกรณ์มีค่าลดลงเมื่อความหนาของชั้น NPB มากขึ้น เนื่องจากสารอินทรีย์มีสภาพความต้านทานสูง โดยที่ตำแหน่งสูงสุดของสเปกตรัมของการเปล่งแสงจะปรากฏตำแหน่งที่ 460 และ 630 นาโนเมตร เนื่องจากเกิดการรวมตัวกันขออิเล็กตรอนกับโฮล ในชั้น Alq_3:DCM และชั้น NPB โดยมีพิกัด CIE (0.342, 0.299) ถึง (0.167, 0.166) เช่นกัน ซึ่งขึ้นอยู่กับความหนาของชั้น NPB โดยกราฟ Cole-Cole จะมีค่า Rp3 คือค่าความต้านทานภายในชั้นสาร NPB ที่ทำหน้าที่เป็นชั้นเปล่งแสงสีน้ำเงิน น้อยที่สุด ที่ความหนาของชั้นสาร NPB 20 นาโนเมตร เนื่องจากมีความต้านทานน้อย จึงทำให้มีประสิทธิภาพดีกว่าที่ความหนาของชั้นสาร NPB อื่นๆ และเมื่อความหนาของชั้นสาร NPB มากขึ้นก็จะทำให้มีความต้านทานมากขึ้นด้วยเช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

[1] M.Pope, H. Kallman, P. Magnante, **"Electroluminescence in Organic Crystals."**, The Journal of Chemical Physics, Vol.38, 1963, 2042-2043

[2] C. W. Tang, S. A. Van Slyke, **"Organic Electroluminescent diodes."**, Applied Physics Letters, Vol.51, 1987, 913-915

[3] C.H. Chuen, Y.T. Tao, **"Highly-bright white organic light-emitting diodes based on a single emission layer."**, Applied Physics Letters, Vol.81, 2002, 4499-4501

[4] Hari Singh Nalwa, **Handbook of Advanced Electronic and Photonic Materials and Devices**,Vol 10, USA:Academic Press, 2001

[5] Stefan Riechel. **"Organic semiconductor lasers with two - dimensional distributed feedback."**, Doktorarbeiten of Ludwig Maximilians Universtat Munchen, Germany 2001

[6] Wolfgang Brutting, Stefan Berleb, **"Organic Electronics."**, 2 (2001) 1-36

[7] Rainer Waser, **Nanoelectronics and information technology : advanced electronic materials and novel devices**, Weinheim : John Wiley, 2003

[8] L.S. Hung, C.H. Chen, **"Recent progress of molecular organic electroluminescent materials and devices."**, Materials Science and Engineering, R 36, 2002, 143-222

[9] Joseph Shinar, **Organic light-emitting devices**, New York : Springer-Verlag, 2004

[10] Georges Hadziioannou, Paul F. Van Hutten, **Semiconducting polymers**, Weinheim : Wiley-VCH, 2000

[11] M. Berggren, A. Dodabalapur, R.E. Slusher, **"Stimulated emission and lasing in dye-doped organic thin films with Forster transfer."**, Applied Physics Letters, Vol.71, 1997, 2230-2232

[12] B.J. Jung, C.B. Yoon, H.K. Shim, L.M. Do, T. Zyung, **"Pure-Red Dye for Organic Electroluminescent Devices:Bis-Condensed DCM Derivatives."**, Advanced Functional Materials, Vol.11, 2001, 430-434

[13] C.W. Tang, S.A. Van Slyke, C.H. Chen, **"Electroluminescence of doped organic thin films."**, Journal of Applied Physics, Vol.65, 1989, 3610-3616

[14] S.R. Forrest, **"Ultrathin Organic Films Grown by Organic Molecular Beam Deposition and Related Techniques."**, Chemical Reviews, Vol.97, 1997, 1793-1896

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[15] S. Ermer, J.F. Valley, R. Lytel, G.F. Lipscomb, T.E. Van Eck, D.G.Girton, **"DCM-polyimide system for triple-stack poled polymer electro-optic devices."**, Applied Physics Letters, Vol.61, 1992, 2272-2274

[16] W.C. Shena, Y.K. Sua, L.W. Ji, **"High bright white organic light-emitting diode based on mixing orange and blue emission"**, Journal of Crystal Growth, Vol.293, 2006, 48–51

[17] W.C. Shena, Y.K. Sua, L.W. Ji, **"High brightness OLED with dual emitting layers"**, Materials Science and Engineering A, Vol.445–446, 2007, 509–512

[18] A. Uddina, C.B. Lee, X.Hu, T.K.S. Wong, X.W. Sun, **"Effect of doping on optical and transport properties of charge carriers in Alq_3."**, Journal of Crystal Growth , Vol.288, 2006, 115–118

[19] Konica Minolta Sensing, Inc., **Precise Color Communication: Color Control From Perception to Instrumentation**, Japan: AIDIPK, 2007

[20] Xiao Jing, Deng Zhenbo, **"Effect of LiF buffer layer on the performance of organic electroluminescent devices."**, Physica E, Vol 28, 2005, 323–327

[21] Y.S. Lee, J.H. Park, J.S. Choi, J.I. Han, **"Admittance Spectroscopic Characteristics and Equivalent Circuit Modeling of Small Molecule-Based Organic Light Emitting Diodes"** Japanese Journal of Applied Physics, Vol 42, 2003, 2715-2718

[22] S.H. Kim, K.-H. Choi, H.-M. Lee, D.-H. Hwang, L.-M. Do, H.Y. Chu, T. Zyung, **"Impedance spectroscopy of single- and double-layer polymer light-emitting diode"**, Journal of Applied Physics, Vol 87, 2000, 882-888

[23] M.C. Petty, C. Pearson, A.P. Monkman, R. Casalini, S. Capaccioli, J. Nagel, **"Application of impedance spectroscopy to the study of organic multilayer devices"**, Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, Vol 171, 2000, 159-166

[24] J. Ross Macdonald, **"Impedance Spectroscopy-Emphasizing Solid Materials and Systems"**, John Wiley & Sons, New York, 1987.

[25] C.H. Liao, M.T. Lee, C.H. Tsai, C.H. Chen, **"Highly efficient blue organic light-emitting devices incorporating a composite hole transport layer"**, Applied Physics Letters, Vol .86, 2005, 203507

[26] V.C. Sundar, J. Zaumseil, V. Podzorov, E. Menard, R.L. Willett, T. Someya, M.E. Gershenson, J.A. Rogers, **"Elastomeric Transistor Stamps:Reversible Probing of Charge Transport in Organic Crystals"**, Science, Vol.303, 2004, 1644-1646

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

[27] I.D. Parker, **"Carrier tunneling and device characteristics in polymer light-emitting diodes."**, Journal of Applied Physics, Vol 75, 1656-1666

[28] L. Li, J. Yu, X. Tang, T. Wang, W. Li, Y. Jiang, **"Efficient bright white organic light-emitting diode based on non-doped ultrathin 5,6,11,12-tetraphenylnaphthacene layer"**, Journal of Luminescence, Vol.128, 2008, 1783-1786

[29] Y.C. Tsai, J.H. Jou, **"Long-lifetime, high-efficiency white organic light-emitting diodes with mixed host composing double emission layers"**, Applied Physics Letters, Vol .89, 2006, 243521

[30] J. Huang, W.J. Hou, J.H. Li, G. Li, Y. Yang, **"Improving the power efficiency of white light-emitting diode by doping electron transport material"**, Applied Physics Letters, Vol .89, 2006, 133509

[31] J. Wang, Y.D. Jiang, J.S. Yu, S.L. Lou, H. Lin, **"Low operating voltage bright organic light-emitting diode using iridium complex doped in 4,4'-bis[N-1-napthyl-N-phenyl-amino]biphenyl"**, Applied Physics Letters,Vol.91, 2007, 131105

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

นางสาวสิรินทรา ขันธรรม เกิดเมื่อวันที่ 24 พฤษภาคม พ.ศ. 2528 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษา จากโรงเรียนคณะราษฎร์บำรุงปทุมธานี ปีการศึกษา 2545 สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาฟิสิกส์ประยุกต์ ภาควิชาฟิสิกส์ประยุกต์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปีการศึกษา 2549 และเข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาโท สาขาวิชานาโนวิทยาและนาโนเทคโนโลยี วิทยาลัยนาโนเทคโนโลยีพระจอมเกล้าลาดกระบัง สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2551 โดยได้รับทุนการศึกษาจากศูนย์ความเป็นเลิศด้านฟิสิกส์ ในระยะเวลา 2 ปี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้