

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย และข้อเสนอแนะ

การวิจัยนี้เป็นการศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าและสมบัติทางแสงของไดโอดเปล่งแสงไฮบริด สารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ ซึ่งเป็นสิ่งประดิษฐ์ชนิดใหม่ โดยไดโอดเปล่งแสงไฮบริดที่ ทำการศึกษาเป็นโครงสร้างแบบสองชั้นประกอบด้วย ชั้นสารอินทรีย์ N,N'-di(naphthalen-1-yl)-N,N'-diphenyl-benzidine (NPB) เป็นชั้นส่งผ่านโฮล และชั้นสารอนินทรีย์ซิงค์ซีลีไนด์ (ZnSe) เป็นชั้นส่งผ่านอิเล็กตรอน โดยมีขั้วไฟฟ้าโปรงแสงอินเดียมทินออกไซด์ (ITO) และ โลหะอะลูมิเนียมเป็นขั้วไฟฟ้าบวกและลบตามลำดับ เงื่อนไขที่ใช้ในการศึกษาคือ การเปลี่ยนแปลง ความหนาของชั้นสารอินทรีย์ และ สารอนินทรีย์ ที่เตรียมโดยใช้อัตราการระเหยสารที่คงที่และไม่ คงที่ มีผลอย่างไรต่อสมบัติทางไฟฟ้าและสมบัติทางแสงของไดโอดเปล่งแสงไฮบริด

จากการศึกษาเงื่อนไขของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดที่เตรียมโดยใช้อัตราการระเหยสารไม่ คงที่พบว่า เมื่อทำการเพิ่มความต่างศักย์ให้กับไดโอดเปล่งแสงจะพบพฤติกรรมของกระแส สามารถแบ่งออกเป็นสองส่วนขึ้นกับความต่างศักย์ซึ่งสาเหตุสามารถอธิบายได้จากการเกิดสถานะ บกพร่องในผลึก ZnSe ดังได้อธิบายแล้วในหัวข้อ 4.1.1 โดยเมื่อทำการเพิ่มความหนาของชั้น สารอินทรีย์ NPB และ สารอนินทรีย์ ZnSe พบว่าค่ากระแสที่ไหลผ่านไดโอดเปล่งแสงไฮบริดมี แนวโน้มที่จะลดลง ในขณะที่ค่าความต่างศักย์ขีดเริ่มมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น ดังได้อธิบายในหัวข้อ 4.1.1 และ 4.1.2

เมื่อทำการเพิ่มความต่างศักย์ไฟฟ้าให้แก่ไดโอดเปล่งแสงไฮบริด โครงสร้าง ITO/NPB/ZnSe/Al ที่มีความหนาของ NPB 50 นาโนเมตร และ ZnSe 30 นาโนเมตร พบว่าที่ความ ต่างศักย์ 20 โวลต์ จะพบการเปล่งแสงช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงิน แต่เนื่องจากความสว่างที่เปล่ง ออกมานั้นมีค่าน้อยจนไม่สามารถวัดค่าได้จึงทำให้ไม่สามารถอธิบายถึงที่มาของการเปล่งแสง ช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงินนี้ได้อย่างชัดเจน จากจุดนี้เองแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่าการเตรียม ไดโอดเปล่งแสงไฮบริดโดยอัตราการระเหยไม่คงที่ทำให้ได้ไดโอดเปล่งแสงที่มีประสิทธิภาพต่ำ

อย่างไรก็ตามจากการศึกษาถึงสมบัติทางไฟฟ้าและการพิจารณาระดับโครงสร้างพลังงาน ของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดทำให้สามารถอธิบายถึงกลไกการเปล่งแสงเบื้องต้นได้ โดยที่มาของ การเปล่งแสงช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงินมาจากการรวมตัวภายในชั้นสารอนินทรีย์ ZnSe ดังอธิบาย ในหัวข้อ 4.1.3 ซึ่งเมื่อพิจารณาถึงกลไกการเปล่งแสงเช่นนี้แล้วพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อกลไกการ เปล่งแสงได้แก่ ความหนาของชั้นสาร ค่าสนามไฟฟ้าในชั้นสาร โครงสร้างของระดับพลังงานของ ไดโอดเปล่งแสง และ ความเป็นผลึกของชั้น ZnSe ซึ่งการเตรียมชั้น ZnSe ให้มีความเป็นผลึกที่ดี จะเป็นปัจจัยสำคัญที่จะทำให้ไดโอดเปล่งแสงไฮบริดมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

หนึ่งในวิธีการเตรียมสารอนินทรีย์ ZnSe ให้มีความเป็นผลึกสูงขึ้นคือการเตรียมสารโดยใช้อัตราการระเหยคงที่และระเหยที่อัตราการระเหยที่ต่ำเพื่อให้เกิดการจับตัวที่ดีขึ้นด้วยเหตุนี้จึงทำการเตรียมไดโอดเปล่งแสงโดยใช้อัตราการระเหยที่คงที่ แล้วจึงทำการศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าและทางแสงซึ่งพบว่าเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงความหนาของชั้น ZnSe เป็น 15, 30 และ 50 นาโนเมตร และความหนาชั้น NPB เป็น 30 และ 50 นาโนเมตร พบว่าทุกความหนาของ NPB และ ZnSe พฤติกรรมของกระแสที่ไหลผ่านไดโอดเปล่งแสงไฮบริดเมื่อทำการเพิ่มความต่างศักย์ยังคงสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ช่วงซึ่งเกิดจากการเกิดจุดบกพร่องของผลึก คือช่วงที่เป็นเชิงเส้นตามรายต่อแบบโอห์มมิก และช่วงที่เป็นเส้นโค้งแบบชอกกี ZnSe โดยพบว่าค่ากระแสที่ไหลผ่านไดโอดเปล่งแสงไฮบริดมีแนวโน้มที่จะลดลงในขณะที่ค่าความต่างศักย์ขั้วเริ่มของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาของทั้งชั้น ZnSe และ NPB เพิ่มขึ้น ตามที่ได้อธิบายในหัวข้อ 4.1.1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแม้ว่าจะทำการลดอัตราการระเหยและระเหยด้วยอัตราคงที่แล้วก็ตามแต่ก็ยังพบการเกิดสถานะบกพร่องภายในชั้น ZnSe อยู่ โดยสาเหตุที่ทำให้พบสถานะบกพร่องเกิดจากข้อจำกัดของระบบระเหยสารด้วยความร้อนซึ่งทำการเตรียม ZnSe ให้มีความเป็นผลึกที่ดีได้ยากจึงทำให้ยังพบการเกิดสถานะบกพร่องในชั้น ZnSe อยู่ แต่อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดที่เตรียมโดยใช้อัตราการระเหยคงที่มีค่าสูงกว่าการเตรียมโดยอัตราการระเหยไม่คงที่ดังจะเห็นได้จากค่าความต่างศักย์ขั้วเริ่มของไดโอดเปล่งแสงที่ลดลงรวมทั้งความส่องสว่างที่สามารถที่จะศึกษาถึงสมบัติของแสงที่เปล่งออกมาได้

เมื่อทำการตรวจสอบสมบัติทางแสงของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดพบว่า ทุกความหนาของ NPB และ ZnSe พฤติกรรมการส่องสว่างของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดเมื่อทำการเพิ่มความต่างศักย์จะเป็นเช่นเดียวกับกระแสที่ไหลผ่านไดโอดเปล่งแสงไฮบริด โดยค่าความส่องสว่างของไดโอดเปล่งแสงมีแนวโน้มที่จะลดลง ในขณะที่ ความต่างศักย์ขั้วเริ่มส่องสว่างมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นเมื่อความหนาของทั้งชั้น ZnSe และ NPB เพิ่มขึ้น ตามที่ได้อธิบายในหัวข้อ 4.2.2 โดยไดโอดเปล่งแสงไฮบริดที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดที่ได้จากเงื่อนไขความหนาที่ทำการศึกษา คือความหนาของ NPB 50 นาโนเมตร ความหนาของ ZnSe 30 นาโนเมตร และทำการเตรียมที่อัตราการระเหยที่ต่ำและคงที่ ซึ่งค่าประสิทธิภาพที่ได้คือ 0.86 แคนเดลาต่อแอมป์ (cd/A)

จากการศึกษาสเปกตรัมอิเล็กโตรลูมิเนสเซนซ์พบว่าที่ความต่างศักย์ 16 โวลต์ไดโอดเปล่งแสงไฮบริดที่มีความหนาของชั้น NPB 50 นาโนเมตร และ ZnSe 30 นาโนเมตร พบว่ามีการเปล่งแสงที่ส่องความยาวคลื่นได้แก่ ความยาวคลื่น 457 นาโนเมตรซึ่งเกิดจากการรวมตัวของพาหะจากช่องว่างแถบพลังงานของ ZnSe ในขณะที่ ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตร เกิดจากการรวมตัวของพาหะจากสถานะบกพร่องของผลึก ZnSe ดังได้อธิบายในหัวข้อ 4.2.4

จากการศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าและทางแสงของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดทำให้ทราบถึงตัวแปรที่มีผลต่อประสิทธิภาพของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดรวมทั้งสามารถอธิบายกลไกการทำงานและที่มาของการเปล่งแสงได้ แม้ว่าไดโอดเปล่งแสงไฮบริดที่สร้างขึ้นจะยังมียังมีประสิทธิภาพต่ำเมื่อ

เทียบกับประสิทธิภาพของไดโอดเปล่งแสงที่สร้างจากสารอินทรีย์ที่ใช้อยู่ทั่วไป แต่อย่างไรก็ตามแนวคิดการสร้างอุปกรณ์เปล่งแสงโดยใช้โครงสร้างไฮบริดสารอินทรีย์และสารอินทรีย์ที่เป็นวิธีใหม่ที่ยังสามารถพัฒนาต่อไปเพื่อใช้ทดแทนไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ซึ่งวิธีการเตรียมใช้เครื่องมือที่มีราคาสูงได้ โดยข้อมูลที่ได้จากการศึกษาเหล่านี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้สร้างไดโอดเปล่งแสงไฮบริดสารอินทรีย์และสารอินทรีย์ที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้นได้ต่อไปในอนาคต

ข้อเสนอแนะ

- จากที่ได้กล่าวไปแล้วว่าค่าความส่องสว่างของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดมีค่าขึ้นกับจำนวนพาหะที่เกิดการรวมตัวเป็นเอกซิตรอน ซึ่งพบว่าที่รอยต่อของ NPB/ZnSe มีค่าความสูงของกำแพงศักย์สูงถึง 1.6-1.9 อิเล็กตรอนโวลต์จากทางโฮลและอิเล็กตรอน ดังนั้นถ้าสามารถทำการเปลี่ยนหรือแทรกชั้นซึ่งมีผลทำให้ค่าของกำแพงศักย์บริเวณรอยต่อมีค่าลดลง จะทำให้พาหะสามารถที่จะฉีดข้ามกำแพงศักย์ที่บริเวณรอยต่อได้มากขึ้น ทำให้เอกซิตรอนมีค่ามากขึ้นอันจะส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดมีค่าสูงขึ้น
- จากการศึกษาพบว่าความเป็นผลึกของสารอินทรีย์มีผลต่อกลไกการเปล่งแสงซึ่งสัมพันธ์กับประสิทธิภาพของไดโอดเปล่งแสงไฮบริด ดังนั้นถ้าสามารถเตรียมชั้นสารอินทรีย์ให้มีความเป็นผลึกที่ดีได้ ก็จะสามารถพัฒนาไดโอดเปล่งแสงให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้นได้
- เมื่อพิจารณาถึงความยาวคลื่นแสงที่เปล่งออกมาจากไดโอดเปล่งแสงไฮบริดเทียบกับความยาวคลื่นแสงที่ตัวสารแต่ละชั้นสามารถเปล่งออกมาได้ พบว่าความยาวคลื่นแสงที่เปล่งออกมาสามารถเกิดได้จากทั้งชั้น NPB และ ZnSe ซึ่งการศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับที่มาของแสงที่เปล่งจากไดโอดเปล่งแสงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งเพื่อที่จะเข้าใจถึงกลไกการทำงานของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดมากขึ้น
- แม้ว่าสารอินทรีย์ที่อยู่บนสารอินทรีย์สามารถป้องกันการเสื่อมสภาพของสารอินทรีย์ได้ก็ตามแต่ด้วยความหนาของสารอินทรีย์ในระดับนาโนเมตรทำให้ยังป้องกันได้ไม่มากนัก นอกจากนั้นข้อไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดก็สามารถเกิดการเสื่อมสภาพได้จากการเกิดปฏิกิริยากับความชื้น และ ออกซิเจนในอากาศ ซึ่งทั้งสองสาเหตุนี้จะมีผลทำให้ประสิทธิภาพรวมทั้งอายุการใช้งานของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดมีค่าลดลง ดังนั้นถ้าทำการห่อหุ้ม (Encapsulation) ไดโอดเปล่งแสงโดยใช้พอลิเมอร์บางชนิด ซึ่งจะสามารถป้องกันความชื้น และ ออกซิเจนในอากาศที่จะมาทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์และข้อไฟฟ้าโลหะ ซึ่งจะทำให้ไดโอดเปล่งแสงไฮบริดมีอายุการใช้งานที่ยาวขึ้น

- แบบจำลองกลไกการทำงานของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดที่ได้นำเสนอในงานวิจัยนี้ยังเป็นเพียงแบบจำลองขั้นต้นซึ่งสร้างขึ้นจากหลักการทางฟิสิกส์รวมทั้งข้อมูลที่ได้จากการทดลองที่มี ทั้งนี้ความถูกต้องของกระบวนการอาจมีข้อผิดพลาดบางประการ ซึ่งสามารถทำการศึกษาเพิ่มเติมด้วยเงื่อนไขที่แตกต่างรวมถึงเครื่องมือวัดและกระบวนการวัดชนิดอื่น เพื่อนำมาซึ่งความเข้าใจถึงของกลไกการทำงานของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดได้ดียิ่งขึ้น