

บทที่ 4

ผลการทดลองและวิเคราะห์ผล

ผลการศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าและสมบัติทางแสงของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์โครงสร้าง ITO/NPB/ZnSe/Al เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงความหนาของชั้นส่งผ่านโพลี NPB และ ชั้นส่งผ่านอิเล็กตรอน ZnSe จะแบ่งการรายงานผลการทดลองและวิเคราะห์ผลออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้

- การศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าและทางแสงของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดที่สร้างโดยอัตราการระเหยสารไม่คงที่
- การศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าและทางแสงของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดที่สร้างโดยอัตราการระเหยสารคงที่

โดยข้อมูลที่ได้จากการศึกษาสมบัติทางแสงและไฟฟ้าจะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อใช้ในการอธิบายกลไกการทำงานของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดต่อไป

4.1 การศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าและทางแสงของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดโครงสร้าง

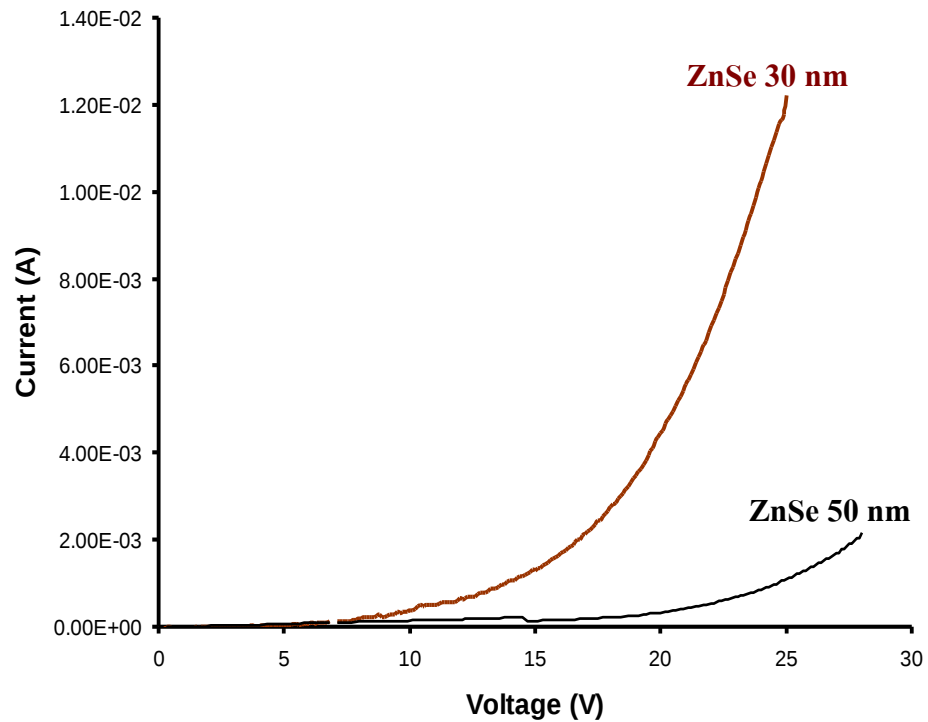
ITO/NPB/ZnSe/Al ที่สร้างโดยอัตราการระเหยสารไม่คงที่

ในส่วนแรกนี้จะได้ทำการศึกษถึงผลกระทบของสมบัติทางไฟฟ้าและสมบัติทางแสงเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความหนาของชั้น NPB และ ZnSe ของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดที่สร้างโดยอัตราการระเหยของสารไม่คงที่ ทำให้อัตราการระเหยของสารมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างไม่คงที่ตลอดการเตรียมสาร โดยผลการวัดค่าสมบัติทางไฟฟ้าและสมบัติทางแสงของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดที่สร้างขึ้นประกอบด้วย

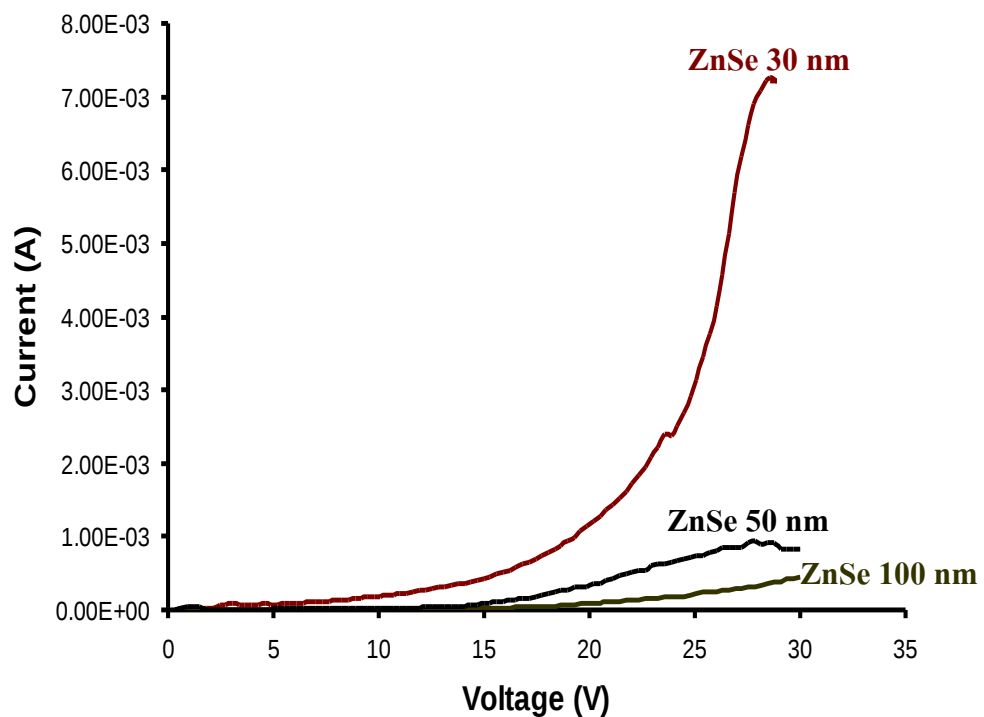
4.1.1 ผลการวัดสมบัติทางไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดที่ทำการเปลี่ยนแปลงความ

หนาของชั้นสารอนินทรีย์ ZnSe โดยความหนาชั้น NPB คงที่

ผลการวัดความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสที่ไหลผ่านกับความต่างศักย์ที่จ่ายให้แก่ไดโอดเปล่งแสงไฮบริดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์โครงสร้าง ITO/NPB/ZnSe/Al ที่ทำการเปลี่ยนแปลงความหนาของชั้นสารอนินทรีย์ ZnSe โดยให้ความหนาของชั้นสารอินทรีย์ NPB มีค่าคงที่ 50 และ 100 นาโนเมตร และความหนาชั้นสารอนินทรีย์ ZnSe มีค่า 15, 30 และ 50 นาโนเมตร แสดงในรูปที่ 4.1 และ 4.2



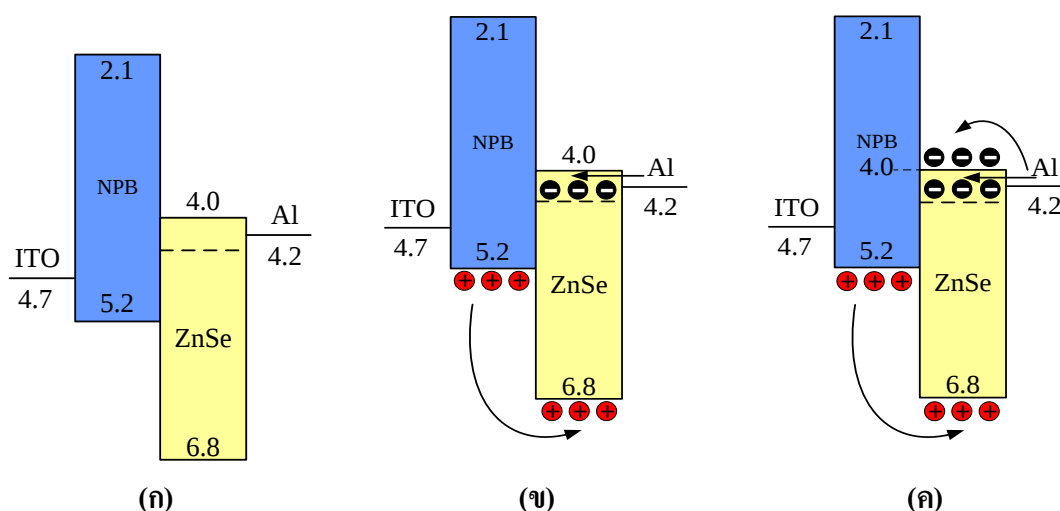
รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความต่างศักย์ของไดโอดเปล่งแสงไฮบริด ที่เปลี่ยนแปลงความหนาชั้น ZnSe เป็น 30 และ 50 nm โดยความหนาของชั้น NPB คงที่ 50 nm



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความต่างศักย์ของไดโอดเปล่งแสงไฮบริด ที่เปลี่ยนแปลงความหนาชั้น ZnSe เป็น 30, 50 และ 100 nm โดยความหนาของชั้น NPB คงที่ 100 nm

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อทำการเพิ่มความต่างศักย์ให้แก่ไดโอดเปล่งแสงไฮบริด ค่ากระแสที่ไหลผ่านไดโอดเปล่งแสงไฮบริดจะสามารถแบ่งพฤติกรรมออกได้เป็น 2 ส่วนขึ้นกับค่าความต่างศักย์ กล่าวคือ เมื่อทำการจ่ายความต่างศักย์ที่มีค่าน้อยให้แก่ไดโอดเปล่งแสง กระแสที่ไหลในไดโอดเปล่งแสงจะมีการเพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้น แต่เมื่อทำการเพิ่มความต่างศักย์ให้มีค่าสูงขึ้น จนถึงจุดหนึ่งจะทำให้ค่าของกระแสที่ไหลผ่านไดโอดมีการเพิ่มขึ้นแบบเส้นโค้งอย่างรวดเร็ว ดังแสดงในรูป 4.1 และ 4.2

สาเหตุที่ทำให้พฤติกรรมของกระแสในไดโอดเปล่งแสงไฮบริดถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วน สามารถอธิบายได้จากการเกิดความไม่สมบูรณ์ของผลึกในชั้นสารอนินทรีย์ ZnSe ทำให้เกิดสถานะบกพร่อง (defect state) ภายในช่องว่างแถบพลังงานของชั้น ZnSe ดังแสดงในรูป 4.3(ก) ซึ่งมีผลทำให้ที่ความต่างศักย์มีค่าน้อยกระแสสามารถฉีดเข้าสู่สถานะบกพร่องได้ทำให้เกิดเป็นรอยต่อแบบโอห์มมิก (ohmic contact) ซึ่งส่งผลให้พฤติกรรมของกระแสในช่วงความต่างศักย์น้อยเป็นแบบเชิงเส้น แต่เมื่อทำการจ่ายความต่างศักย์มากขึ้นจะทำให้กระแสสามารถฉีดเข้าไปยังแถบนำของชั้น ZnSe ได้ เกิดเป็น รอยต่อแบบชอกกี้ (schottky contact) ทำให้ค่าของกระแสมีการเพิ่มขึ้นแบบเส้นโค้งอย่างรวดเร็ว ดังแสดงในรูป 4.3(ข) และ 4.3(ค) ตามลำดับ ซึ่งพบพฤติกรรมของกระแสเช่นเดียวกันนี้ในทุกตัวอย่างของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดที่ทำการศึกษา



รูปที่ 4.3 แผนภาพระดับพลังงานของไดโอดเปล่งแสงไฮบริด (ก) เมื่อเกิดจุดบกพร่องของผลึก ZnSe (ข) เมื่อทำการจ่ายความต่างศักย์ที่มีค่าน้อย (ค) เมื่อทำการจ่ายความต่างศักย์ที่มีค่ามาก

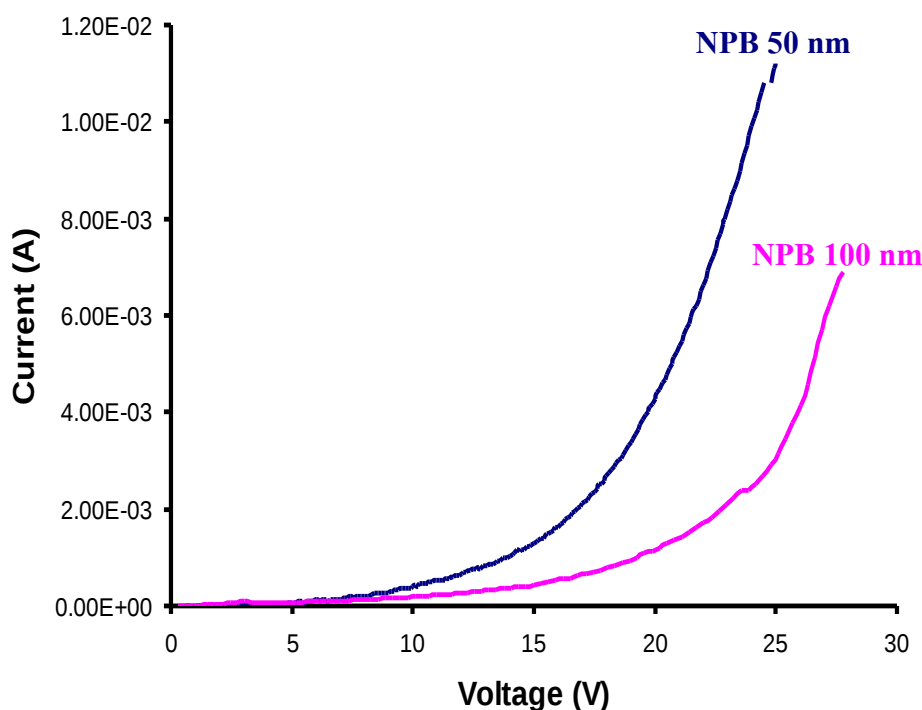
เมื่อทำการทดลองเพิ่มความหนาของชั้น ZnSe จาก 30 นาโนเมตร เป็น 50 นาโนเมตร และ 100 นาโนเมตร ตามลำดับพบว่าค่ากระแสที่วัดได้จากไดโอดเปล่งแสงไฮบริดมีแนวโน้มที่จะลดลง ในขณะที่ค่าความต่างศักย์ขีดเริ่ม (threshold voltage) มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นจาก 6 โวลต์ เป็น 13 โวลต์ เมื่อความหนาของชั้น ZnSe เพิ่มขึ้นและความหนาของชั้น NPB คงที่ 50 นาโนเมตร

โดยผลการทดลองที่ความหนาของชั้น NPB คงที่ 100 นาโนเมตร ก็พบการเพิ่มขึ้นของความต่างศักย์จัดเริ่มจาก 8, 15 และ 20 โวลต์ ตามลำดับ เช่นเดียวกัน

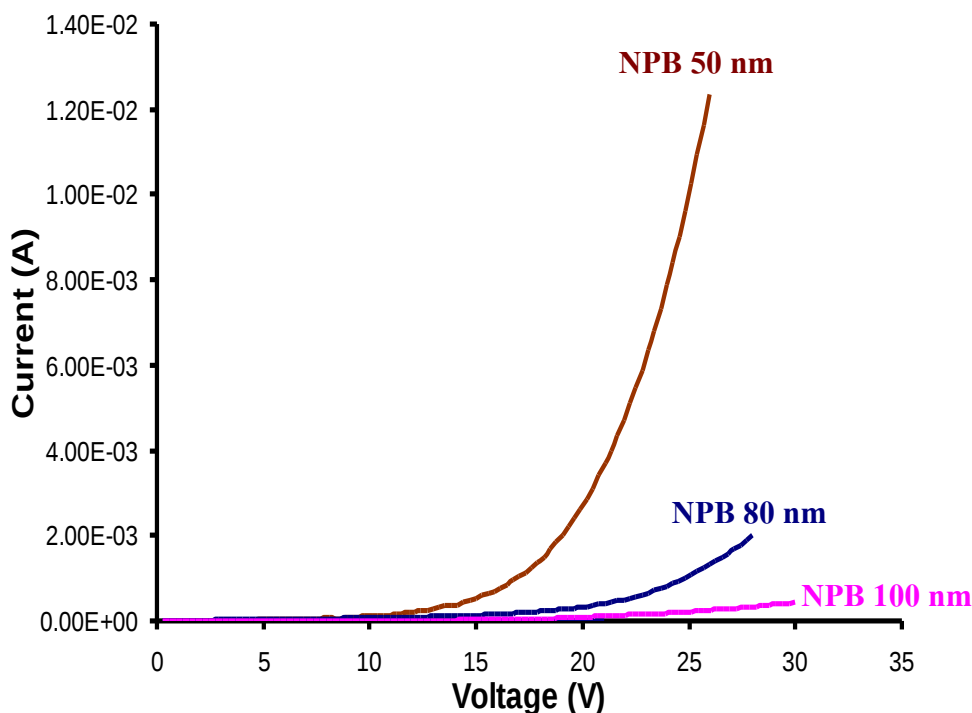
สาเหตุของการลดลงของกระแสที่ไหลผ่านไดโอดเปล่งแสงเมื่อทำการเพิ่มความหนาของชั้น ZnSe สามารถอธิบายได้ด้วย ทฤษฎี Space Charge Limit Current ที่ได้อธิบายในบทที่ 2 กล่าวคือ ค่าของความหนาแน่นของกระแสในไดโอดเปล่งแสงจะมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับค่าความหนาของชั้นสาร ดังนั้นเมื่อความหนาของชั้น ZnSe มีค่าเพิ่มมากขึ้นจึงทำให้ค่ากระแสที่ไหลผ่านไดโอดเปล่งแสงมีค่าลดลง

4.1.2 ผลการวัดสมบัติทางไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดที่ทำการเปลี่ยนแปลงความหนาของชั้น สารอินทรีย์ NPB โดยความหนาชั้น ZnSe คงที่

ผลการวัดความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสที่ไหลผ่านกับความต่างศักย์ที่จ่ายให้แก่ไดโอดเปล่งแสงไฮบริดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์โครงสร้าง ITO/NPB/ZnSe/Al ที่ทำการเปลี่ยนแปลงความหนาของชั้นสารอินทรีย์ NPB โดยให้ความหนาของชั้นสารอนินทรีย์ ZnSe มีค่าคงที่ 30 และ 50 นาโนเมตร และความหนาชั้นสารอินทรีย์ NPB มีค่า 50, 80 และ 100 นาโนเมตร แสดงในรูปที่ 4.4 และ 4.5



รูปที่ 4.4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความต่างศักย์ของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดที่เปลี่ยนแปลงความหนาชั้น NPB เป็น 50 และ 100 nm โดยความหนาของชั้น ZnSe คงที่ 30 nm



รูปที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความต่างศักย์ของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดที่เปลี่ยนแปลงความหนาชั้น NPB เป็น 50, 80 และ 100 nm โดยความหนาของชั้น ZnSe คงที่ 50 nm

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อทำการเพิ่มความต่างศักย์ให้แก่ไดโอดเปล่งแสงไฮบริด ค่ากระแสที่ไหลผ่านไดโอดเปล่งแสงไฮบริดจะสามารถแบ่งพฤติกรรมออกได้เป็น 2 ส่วนขึ้นกับค่าความต่างศักย์เช่นเดียวกับที่พบในผลการวัดสมบัติทางไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดที่ทำการเปลี่ยนความหนาชั้น ZnSe ดังแสดงในรูป 4.1 และ 4.2 ซึ่งสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของกระแสที่ขึ้นความต่างศักย์ได้อธิบายแล้วในหัวข้อ 4.1.1 โดยพบพฤติกรรมของกระแสเช่นเดียวกันนี้ในทุกตัวอย่างของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดที่ทำการศึกษา

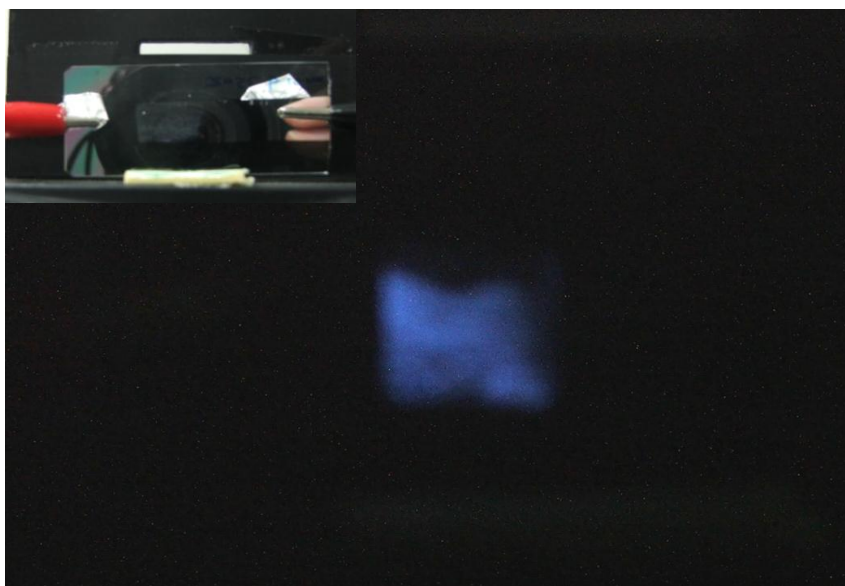
เมื่อทำการเพิ่มความหนาของชั้น NPB จาก 50 นาโนเมตร เป็น 80 และ 100 นาโนเมตร พบว่าค่ากระแสที่วัดได้จากไดโอดเปล่งแสงมีแนวโน้มที่จะลดลงในขณะที่ค่าความต่างศักย์จัดเริ่มมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นจาก 6 โวลต์ เป็น 8 โวลต์ เมื่อความหนาของชั้น NPB เพิ่มขึ้นและความหนาของชั้น ZnSe คงที่ 30 นาโนเมตร โดยผลการทดลองมีแนวโน้มเช่นเดียวกันทั้งที่ความหนาของชั้น ZnSe คงที่ 50 นาโนเมตร คือเพิ่มจาก 13, 15 และ 18 โวลต์ ตามลำดับ โดยสาเหตุของกระแสที่ลดลงอาจอธิบายได้เช่นเดียวกับการอธิบายการลดลงของกระแสเนื่องจากการเพิ่มความหนา NPB คือ อธิบายโดยใช้ทฤษฎี Space Charge Limit Current ที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 กล่าวคือ ค่าของความหนาแน่นของกระแสในไดโอดเปล่งแสงจะมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับค่าความหนาของชั้น NPB ดังนั้นเมื่อชั้นของ NPB มีความหนาเพิ่มมากขึ้นจึงทำให้ค่ากระแสมีค่าลดลง

โดยผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองของ I.D.Parker [11] ซึ่งพบว่าเมื่อเพิ่มความหนาของชั้นสารอินทรีย์ในไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ให้มากขึ้นจะพบการลดลงของความหนาแน่นกระแสที่วัดได้จากไดโอดเปล่งแสงนั้น

4.1.3 การเปล่งแสงย่านความยาวคลื่นสีน้ำเงินในไดโอดเปล่งแสงไฮบริดโครงสร้าง

ITO/NPB/ZnSe/Al

จากการศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ โครงสร้าง ITO/NPB/ZnSe/Al พบว่าที่ความหนาของชั้น NPB 50 nm และ ZnSe 30 nm พบการเปล่งแสงย่านความยาวคลื่นสีน้ำเงินที่สามารถมองเห็นได้ในที่มืด เมื่อทำการจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าให้แก่ไดโอดเปล่งแสงไฮบริดประมาณ 20 โวลต์ ดังแสดงในรูป 4.6

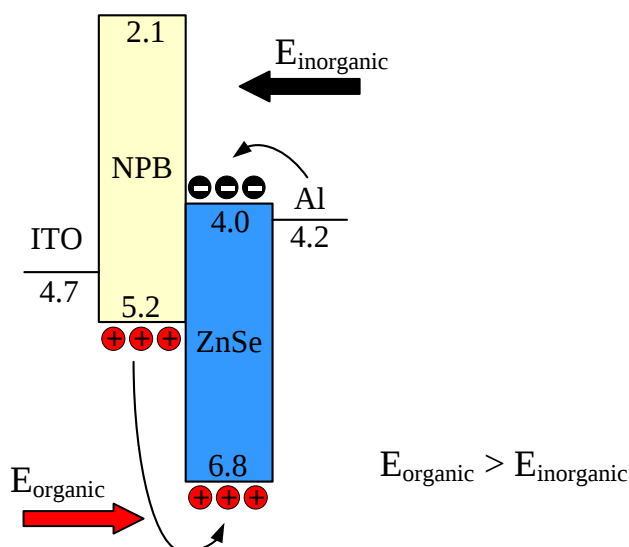


รูปที่ 4.6 การเปล่งแสงความยาวคลื่นช่วงสีน้ำเงินในไดโอดเปล่งแสงไฮบริดโครงสร้าง

ITO/NPB(50nm)/ZnSe(30nm)/Al เมื่อทำการจ่ายความต่างศักย์ประมาณ 20 โวลต์

แต่เนื่องจากความสว่างของแสงที่เปล่งออกมาจากไดโอดเปล่งแสงไฮบริดยังมีค่าต่ำจึงยังไม่สามารถที่จะศึกษาสมบัติทางแสงของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดได้ จึงทำให้ยังไม่สามารถบอกถึงที่มาของการเปล่งแสงสีน้ำเงินและอธิบายกลไกการเปล่งแสงได้อย่างชัดเจน

เมื่อทำการพิจารณาจากโครงสร้างแถบพลังงานของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดที่สร้างขึ้น รวมทั้งพิจารณาถึงสนามไฟฟ้าภายในชั้นสารแต่ละชั้น พบว่าการเปล่งแสงเปล่งแสงช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงินควรจะมาจากชั้นสารอนินทรีย์ ZnSe มากกว่าที่จะมาจากชั้นสารอินทรีย์ NPB โดยสามารถอธิบายกลไกการเปล่งแสงเบื้องต้นของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดได้จากโครงสร้างแถบพลังงานดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 โครงสร้างแถบพลังงานของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดโครงสร้าง ITO/NPB/ZnSe/Al

จากโครงสร้างแถบพลังงานเมื่อทำการจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าให้แก่ไดโอดเปล่งแสงไฮบริด จะทำให้โฮลจากขั้วไฟฟ้าแอโนด ITO ถูกฉีดจากขั้วไฟฟ้าเข้าสู่ระดับ HOMO ของชั้นส่งผ่านโฮล NPB และเคลื่อนที่ไปยังรอยต่อของ NPB และ ZnSe โดยอิทธิพลของสนามไฟฟ้าในชั้น NPB ในขณะที่อิเล็กตรอนจากขั้วไฟฟ้าคาโทดจะถูกฉีดเข้าสู่แถบนำกระแสของชั้นส่งผ่านอิเล็กตรอน ZnSe และเคลื่อนที่ไปยังบริเวณรอยต่อของ ZnSe และ NPB โดยอิทธิพลของสนามไฟฟ้าในชั้น ZnSe เมื่อทำการพิจารณาระดับพลังงานที่บริเวณรอยต่อของ NPB และ ZnSe พบว่าที่บริเวณรอยต่อจะมีกำแพงศักย์ที่เกิดจากความแตกต่างของ ระดับ HOMO และ ระดับ LUMO กับ แถบวาเลนซ์ และ แถบนำกระแส โดยกำแพงศักย์ของโฮลจะมีค่าประมาณ 1.6 อิเล็กตรอนโวลต์ ในขณะที่ของอิเล็กตรอนมีค่าประมาณ 1.9 อิเล็กตรอนโวลต์ ซึ่งความสูงของกำแพงศักย์ที่พบบริเวณรอยต่อจะทำให้อิเล็กตรอนและโฮลข้ามไปยังฝั่งตรงข้ามได้ยากเป็นสาเหตุให้เกิดการกักของพาหะทั้งโฮลและอิเล็กตรอนที่บริเวณรอยต่อ

เมื่อพิจารณาถึงสนามไฟฟ้าที่กระทำต่อชั้นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่ได้กล่าวแล้วในบทที่ 2 พบว่า ค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าในชั้นสารจะขึ้นกับค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของตัวสารและความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ให้กับชั้นสาร ซึ่ง NPB มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประมาณ 4 ในขณะที่ ZnSe มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประมาณ 8.5 จากค่าคงที่ไดอิเล็กตริกที่ต่างกันส่งผลทำให้สนามไฟฟ้าในชั้นสารอินทรีย์มีค่าสูงกว่าสนามไฟฟ้าในชั้นสารอนินทรีย์ประมาณ 2 เท่า ประกอบกับความสูงของกำแพงศักย์ของโฮลมีค่าต่ำกว่าความสูงของกำแพงศักย์ของอิเล็กตรอน ดังนั้นโฮลบางส่วนที่ถูกกักอยู่บริเวณรอยต่อในชั้นสารอินทรีย์จะได้รับพลังงานมากพอที่จะสามารถข้ามกำแพงศักย์บริเวณรอยต่อเข้าไปสู่แถบวาเลนซ์ของชั้น ZnSe และเกิดการรวมตัวกับอิเล็กตรอนที่ถูกกักอยู่บริเวณรอยต่อในชั้นสารอนินทรีย์ เกิดการปลดปล่อยแสงในช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงินเนื่องจาก ZnSe มีค่าช่องว่างแถบพลังงานประมาณ 2.8 อิเล็กตรอนโวลต์ ซึ่งจากการคำนวณพบว่าช่องว่าง

แถบพลังงานของ ZnSe สามารถที่จะปลดปล่อยแสงในช่วงความยาวคลื่นแสงประมาณ 450 นาโนเมตรซึ่งอยู่ในช่วงสีน้ำเงินออกมาได้

กระบวนการการเกิดแสงสีน้ำเงินจากไดโอดเปล่งแสงไฮบริดที่น่าเสนอมีความสอดคล้องกับรายงานของ Wenge Yu ในวารสาร physics letters A ปี 2005 [12] ซึ่งรายงานเกี่ยวกับการเปล่งแสงโดยใช้โครงสร้างของไฮบริดสารอนินทรีย์ ZnSe และ พอลิเมอร์ PPV พบว่าไดโอดเปล่งแสงสามารถเปล่งแสงช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงินออกมาจากชั้น ZnSe ได้

จากการศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงความหนาของทั้งชั้น NPB และ ZnSe โดยอัตราการระเหยสารไม่คงที่ทำให้ทราบว่าปัจจัยที่มีผลต่อสมบัติทางไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดได้แก่ ความหนาของชั้นสารอินทรีย์ และสารอนินทรีย์ โครงสร้างแถบพลังงานของไดโอดเปล่งแสงไฮบริด และสนามไฟฟ้าภายในชั้นสาร สำหรับกลไกการเปล่งแสงจากไดโอดเปล่งแสงไฮบริดพบว่าการเกิดจากการรวมตัวภายในชั้นสารอนินทรีย์ ZnSe ซึ่งความยาวคลื่นแสงที่ปลดปล่อยออกมานั้นจะมีความสัมพันธ์กับความกว้างของช่องว่างแถบพลังงาน ดังนั้นปัจจัยสำคัญประการหนึ่งซึ่งมีผลต่อกลไกการเปล่งแสงของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดคือ ความเป็นผลึกของ ZnSe ซึ่งจะขึ้นกับอัตราการระเหยโดยตรง

เมื่อทำการพิจารณาถึงการสร้างไดโอดเปล่งแสงไฮบริดที่มีอัตราการระเหยสารไม่คงที่พบว่า การระเหยขึ้นไปยังตัวกันของ ZnSe แต่ละช่วงเวลามีความเร็วไม่เท่ากัน มากบ้าง น้อยบ้าง จึงเป็นสาเหตุให้ฟิล์มบาง ZnSe มีความเป็นผลึกที่ไม่ดี เกิดเป็นสถานะบกพร่องอยู่ภายในช่องว่างแถบพลังงานของ ZnSe โดยสถานะบกพร่องที่เกิดขึ้นนี้จะมีผลต่อการฉีดกระแส ดังแสดงให้เห็นจากรูปที่ 4.1 และ 4.2 ซึ่งได้อธิบายแล้วในหัวข้อ 4.1.1 รวมทั้งยังมีผลต่อกลไกการปลดปล่อยแสงของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดทำให้ไดโอดเปล่งแสงที่สร้างโดยมีอัตราการระเหยสารไม่คงที่มีประสิทธิภาพที่ไม่ดีดังจะเห็นได้จากความสว่างที่น้อยจนไม่สามารถวัดค่าความส่องสว่างได้

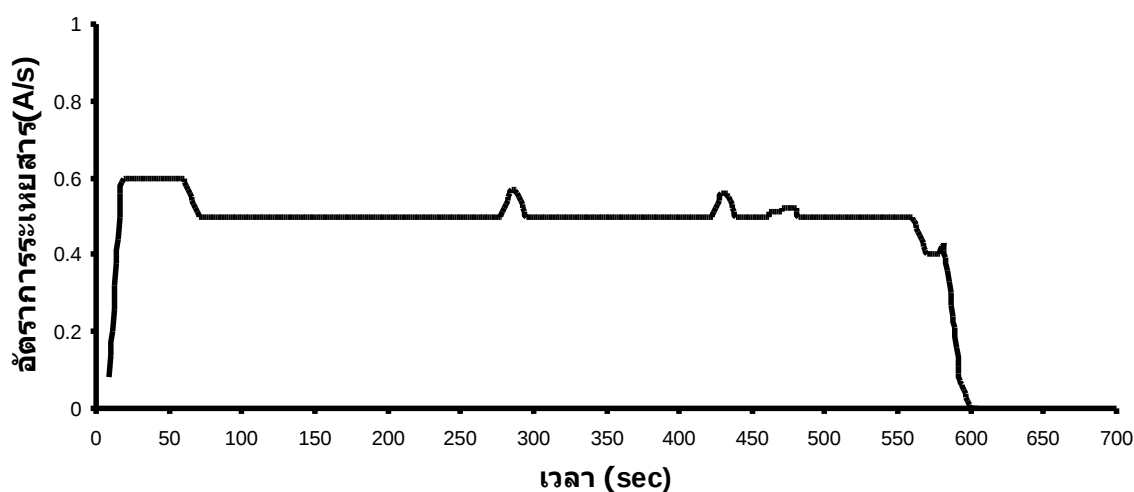
ในหัวข้อต่อไปจะได้ทำการศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าและทางแสงของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดโครงสร้าง ITO/NPB/ZnSe/Al ที่สร้างโดยมีอัตราการระเหยสารคงที่และลดอัตราการระเหยสารให้ช้าลงเพื่อให้ความเป็นผลึกของชั้น ZnSe ดีขึ้น โดยจะทำการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของชั้น ZnSe เนื่องจากเป็น ชั้นที่เกิดการรวมตัวและปลดปล่อยแสงออกมาเป็นหลัก ในขณะที่ชั้น NPB ทำหน้าที่เป็นเพียงชั้นส่งผ่านโฮลเท่านั้นซึ่งไม่มีผลต่อกลไกการเปล่งแสง

4.2 การศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าและทางแสงของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดโครงสร้าง

ITO/NPB/ZnSe/Al ที่สร้างโดยอัตราการระเหยสารคงที่

ในส่วนที่สองนี้จะได้ทำการศึกษาถึงผลกระทบของสมบัติทางไฟฟ้าและสมบัติทางแสงเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงความหนาของชั้น ZnSe และ NPB ของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดที่มีอัตราการระเหยของสารคงที่ ซึ่งจะทำให้อัตราการระเหยของสารมีค่าคงที่ตลอดการเตรียมสาร รวมทั้ง

ลดอัตราการระเหยสารให้ลดลง ซึ่งจะทำให้ความเป็นผลึกของชั้น ZnSe มีค่าเพิ่มขึ้น โดยอัตราการระเหยสารจะแสดงดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 อัตราการระเหยสารตลอดช่วงการเตรียมฟิล์มบาง ZnSe

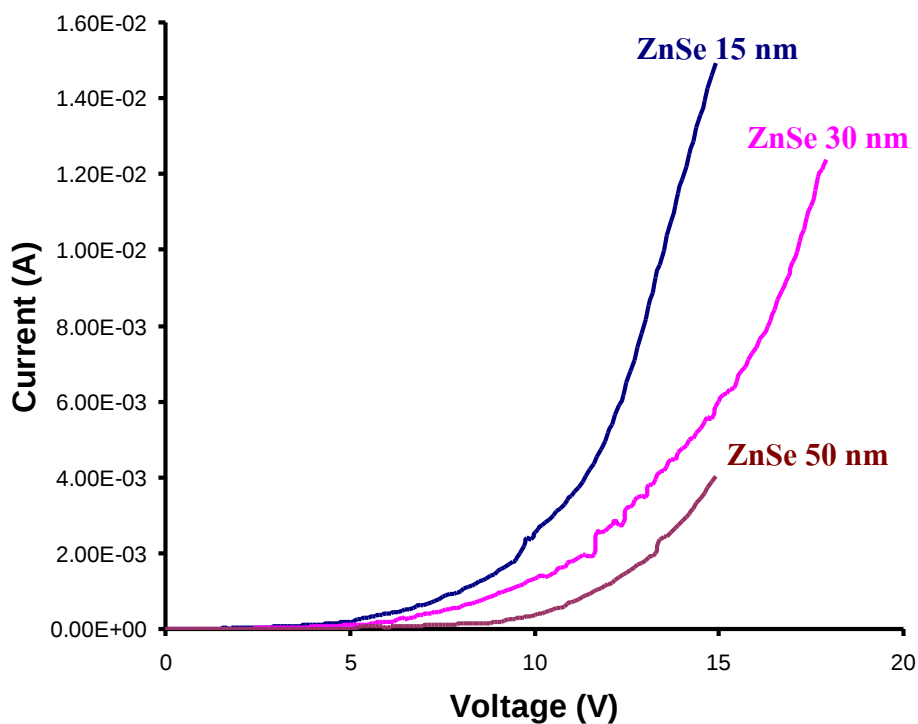
จากการศึกษาในหัวข้อ 4.1 พบว่า ชั้น NPB เป็นชั้นที่ทำหน้าที่ส่งผ่านโฮลเท่านั้นไม่ได้มีผลต่อการเปล่งแสงนอกจากนั้นความหนาที่เพิ่มขึ้นของ NPB ยังมีผลต่อความหนาแน่นของกระแสรวมทั้งค่าความต่างศักย์ขั้วเริ่มของไดโอดเปล่งแสงซึ่งอธิบายไว้ในหัวข้อ 4.1.2 ดังนั้นในการทดลองตอนนี้จะทำการศึกษาการลดความหนาของชั้น NPB จาก 50 นาโนเมตร เป็น 30 นาโนเมตร จากเดิมที่หนา 100 นาโนเมตร เป็น 50 นาโนเมตร โดยผลการวัดค่าสมบัติทางไฟฟ้าและสมบัติทางแสงของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดที่สร้างขึ้นประกอบด้วย

4.2.1 ผลการวัดสมบัติทางไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดสารอินทรีย์และสาร

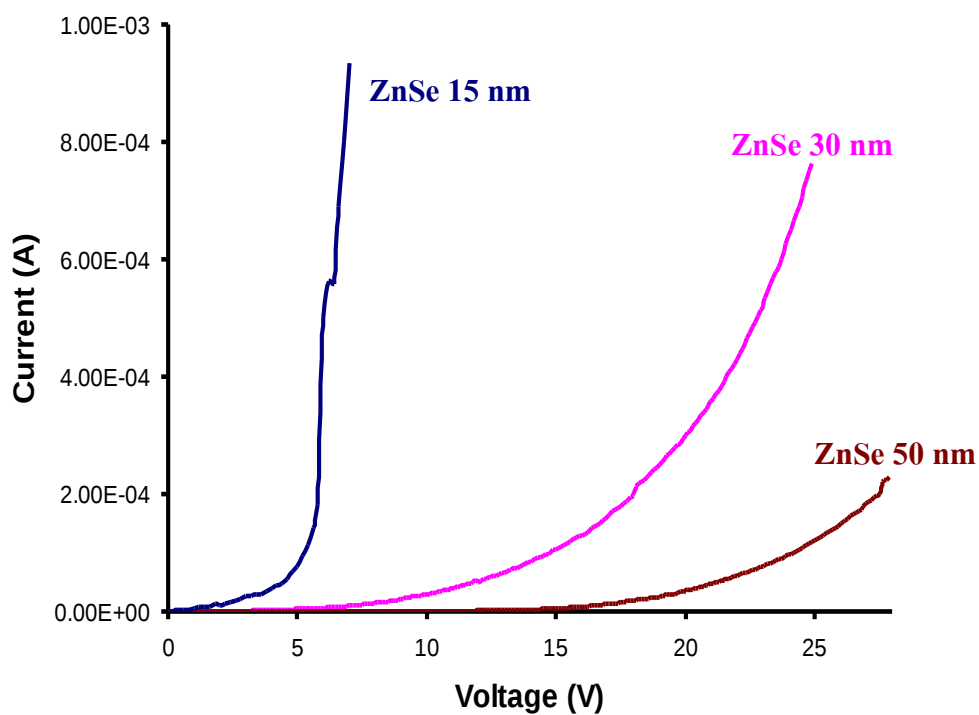
อนินทรีย์โครงสร้าง ITO/NPB/ZnSe/Al เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงความหนาชั้น

NPB และ ZnSe

ผลการวัดความสัมพันธ์ระหว่างค่ากระแสที่ไหลผ่านกับความต่างศักย์ที่จ่ายให้แก่ไดโอดเปล่งแสงไฮบริดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์โครงสร้าง ITO/NPB/ZnSe/Al ที่ทำการเปลี่ยนแปลงความหนาของชั้นสารอินทรีย์ NPB และ สารอนินทรีย์ ZnSe โดยให้ความหนาของชั้นสารอินทรีย์ NPB มีค่า 30 และ 50 นาโนเมตร และความหนาชั้นสารอนินทรีย์ ZnSe มีค่า 15, 30 และ 50 นาโนเมตร แสดงในรูปที่ 4.9 และ 4.10



รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความต่างศักย์ของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดที่เปลี่ยนแปลงความหนาชั้น ZnSe เป็น 15, 30 และ 50 nm โดยความหนาของชั้น NPB คงที่ 30 nm



รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างกระแสและความต่างศักย์ของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดที่เปลี่ยนแปลงความหนาชั้น ZnSe เป็น 15, 30 และ 50 nm โดยความหนาของชั้น NPB คงที่ 50 nm

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อทำการเพิ่มความต่างศักย์ให้แก่ไดโอดเปล่งแสงไฮบริด ค่ากระแสที่ไหลผ่านไดโอดเปล่งแสงไฮบริดจะสามารถแบ่งพฤติกรรมออกได้เป็น 2 ส่วนขึ้นกับค่าความต่างศักย์เช่นเดียวกับที่พบในผลการวัดสมบัติทางไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดที่ทำการเปลี่ยนความหนาชั้น ZnSe ดังแสดงในรูป 4.1 และ 4.2 ซึ่งสาเหตุของการเปลี่ยนแปลงพฤติกรรมของกระแสที่ขึ้นความต่างศักย์ได้อธิบายแล้วในหัวข้อ 4.1.1 โดยพบพฤติกรรมของกระแสเช่นเดียวกันนี้ในทุกตัวอย่างของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดที่ทำการศึกษา

โดยการพบพฤติกรรมของกระแสเช่นนี้แสดงให้เห็นถึงการเกิดสถานะบกพร่องของผลึก ZnSe อยู่ ทั้งนี้สาเหตุอาจเกิดเนื่องจากข้อจำกัดของระบบระเหยสารด้วยความร้อนซึ่งพบว่าไม่สามารถเตรียมฟิล์มบาง ZnSe ที่มีความเป็นผลึกที่ดีได้ที่มีความหนาน้อยๆ และไม่มีการให้อุณหภูมิกับฐานรองรับ ดังนั้นฟิล์มบาง ZnSe ที่เตรียมได้จึงยังคงพบสถานะบกพร่องเกิดขึ้นอยู่

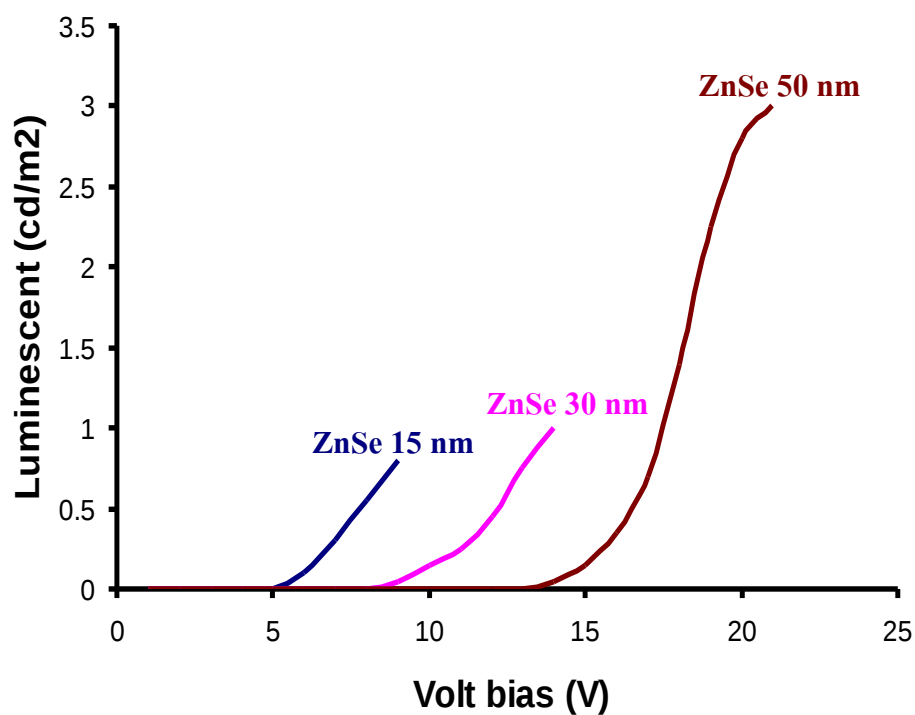
เมื่อทำการทดลองเพิ่มความหนาของชั้น ZnSe จาก 15 นาโนเมตร เป็น 30 นาโนเมตร และ 50 นาโนเมตร ตามลำดับพบว่าค่ากระแสที่วัดได้จากไดโอดเปล่งแสงไฮบริดมีแนวโน้มที่จะลดลง ในขณะที่ค่าความต่างศักย์ขีดเริ่มมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นจาก 4 เป็น 6 และเพิ่มเป็น 8 โวลต์ เมื่อความหนาของชั้น ZnSe เพิ่มขึ้น ที่ความหนาของชั้น NPB 30 นาโนเมตร โดยผลการทดลองมีแนวโน้มเช่นเดียวกันทั้งที่ความหนาของชั้น NPB 50 นาโนเมตร คือเพิ่มจาก 4 เป็น 7 และเพิ่มเป็น 15 โวลต์ ซึ่งสาเหตุของการลดลงของกระแสที่ไหลผ่านไดโอดเปล่งแสงสามารถอธิบายได้ด้วยทฤษฎี Space Charge Limit Current ที่ได้กล่าวไปแล้วในบทที่ 2 และในหัวข้อ 4.1.1

4.2.2 ผลการวัดสมบัติทางแสงของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์

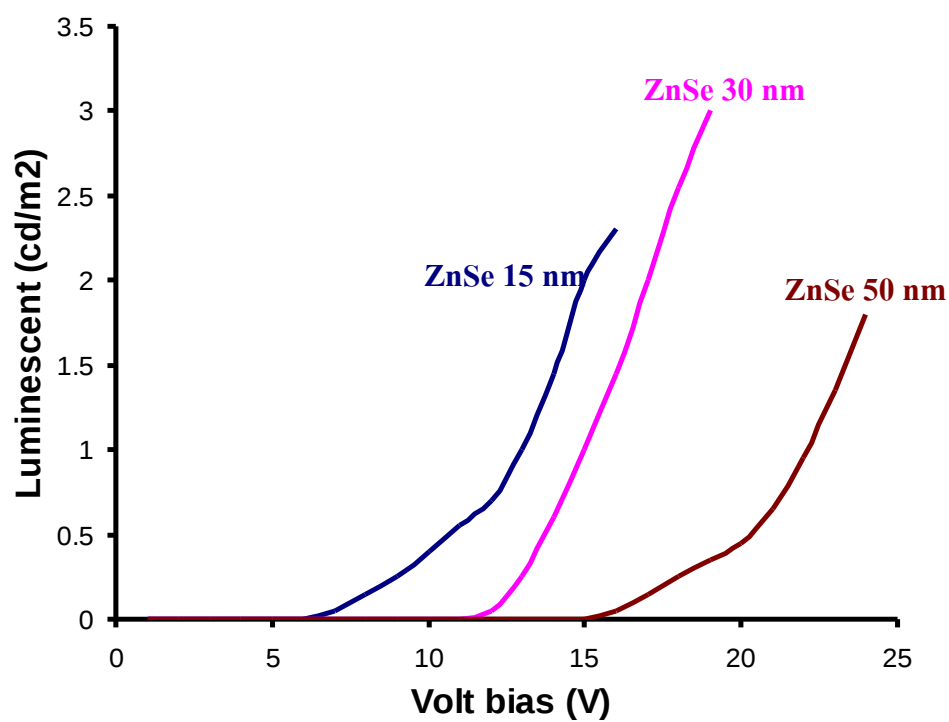
โครงสร้าง ITO/NPB/ZnSe/Al เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงความหนาของชั้น NPB และ ZnSe

ผลการวัดค่าความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างของไดโอดเปล่งแสงกับค่าความต่างศักย์ที่จ่ายให้แก่ไดโอดเปล่งแสงไฮบริดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์โครงสร้าง ITO/NPB/ZnSe/Al ที่ทำการเปลี่ยนแปลงความหนาของชั้นสารอินทรีย์ NPB และ สารอนินทรีย์ ZnSe โดยให้ความหนาของชั้นสารอินทรีย์ NPB มีค่า 30 และ 50 นาโนเมตร และความหนาชั้นสารอนินทรีย์ ZnSe มีค่า 15, 30 และ 50 นาโนเมตร แสดงในรูปที่ 4.11 และ 4.12

จากผลการทดลองพบว่าเมื่อทำการเพิ่มความต่างศักย์ให้แก่ไดโอดเปล่งแสงไฮบริดค่าความส่องสว่างที่วัดได้จะมีพฤติกรรมเช่นเดียวกันกับค่าของกระแสที่ไหลผ่านไดโอดเปล่งแสงไฮบริด กล่าวคือ เมื่อทำการจ่ายความต่างศักย์ค่าต่ำๆ ให้แก่ไดโอดเปล่งแสงไฮบริดจะไม่พบการเปล่งแสงออกมา แต่เมื่อทำการเพิ่มความต่างศักย์ให้สูงขึ้นจนถึงค่าหนึ่งจะพบการเปล่งแสงออกมา หลังจากนั้นเมื่อทำการเพิ่มความต่างศักย์ให้แก่ไดโอดเปล่งแสงต่อไปจะพบว่า ค่าความส่องสว่างของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ซึ่งจะพบพฤติกรรมของการส่องสว่างเช่นเดียวกันในทุกตัวอย่างของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดที่ทำการศึกษา



รูปที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างและความต่างศักย์ของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดที่เปลี่ยนแปลงความหนาชั้น ZnSe เป็น 15, 30 และ 50 nm โดยความหนาของชั้น NPB คงที่ 30 nm



รูปที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความส่องสว่างและความต่างศักย์ของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดที่เปลี่ยนแปลงความหนาชั้น ZnSe เป็น 15, 30 และ 50 nm โดยความหนาของชั้น NPB คงที่ 50 nm

โดยพฤติกรรมของการส่องสว่างที่คล้ายกับพฤติกรรมของกระแสที่ไหลผ่านไดโอดเปล่งแสงไฮบริดเมื่อทำการเพิ่มความต่างศักย์ที่ให้แก่ไดโอดเปล่งแสงไฮบริดสามารถอธิบายได้จากกระบวนการเปล่งแสงของไดโอดเปล่งแสงที่ได้กล่าวแล้วในบทที่ 2 กล่าวคือ ค่าของการส่องสว่างของไดโอดเปล่งแสงจะแปรผันตรงกับจำนวนเอกซิตอนที่เกิดขึ้น ซึ่งจำนวนเอกซิตอนนี้จะขึ้นกับจำนวนพาหะหรือความหนาแน่นของกระแสที่ผ่านไดโอดเปล่งแสง ดังนั้นที่ความต่างศักย์มีค่าต่ำๆ ค่าของกระแสที่ไหลผ่านไดโอดเปล่งแสงมีค่าน้อยดังนั้นจำนวนเอกซิตอนที่เกิดขึ้นจะมีค่าน้อยส่งผลให้ความส่องสว่างมีค่าน้อย แต่เมื่อทำการเพิ่มความต่างศักย์จนผ่านค่าความต่างศักย์ขีดเริ่ม ค่าของกระแสที่ไหลผ่านไดโอดเปล่งแสงจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้จำนวนเอกซิตอนที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความส่องสว่างมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน

เมื่อทำการทดลองเพิ่มความหนาของชั้น ZnSe จาก 15 นาโนเมตร เป็น 30 นาโนเมตร และ 50 นาโนเมตร ตามลำดับ พบว่าค่าความสว่างของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดมีแนวโน้มที่จะลดลงในขณะที่ความต่างศักย์ขีดเริ่มการส่องสว่างมีแนวโน้มที่จะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 5 เป็น 9 และเพิ่มเป็น 14 โวลต์ เมื่อความหนาของชั้น ZnSe มีค่าเพิ่มขึ้น และความหนาของชั้น NPB คงที่ 30 นาโนเมตร โดยผลการทดลองมีแนวโน้มเช่นเดียวกันที่ความหนาของชั้น NPB 50 นาโนเมตร โดยเพิ่มจาก 7 เป็น 12 และเพิ่มขึ้นเป็น 16 โวลต์ ซึ่งการลดลงของค่าความส่องสว่างของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดเมื่อทำการเพิ่มความหนาชั้น ZnSe สามารถอธิบายได้ด้วย ทฤษฎี Space Charge Limit Current ที่ได้กล่าวไปแล้วในบทที่ 2 กล่าวคือ ค่าของความหนาแน่นของกระแสในไดโอดเปล่งแสงจะมีความสัมพันธ์แบบแปรผกผันกับค่าความหนาของชั้นสาร ดังนั้นเมื่อความหนาของชั้น ZnSe มีค่าเพิ่มมากขึ้นจึงทำให้ค่ากระแสมีค่าลดลงซึ่งส่งผลให้เกิดการลดลงของจำนวนเอกซิตอนที่ขึ้นสาเหตุให้ค่าความส่องสว่างของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดมีค่าลดลงเมื่อความหนาของชั้น ZnSe มีค่าเพิ่มขึ้น โดยผลการทดลองที่ได้สอดคล้องกับผลการทดลองของ D. Troadec [13] ซึ่งพบว่าเมื่อทำการเพิ่มความหนาของไดโอดเปล่งแสงสารอินทรีย์ให้มากขึ้นจะพบการลดลงของค่าความ ส่องสว่างจากไดโอดเปล่ง แสง รวมทั้งพบว่าค่าความต่างศักย์ขีดเริ่มการส่องสว่างของไดโอดเปล่งแสงมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อทำการเพิ่มความหนาของชั้นสารอินทรีย์

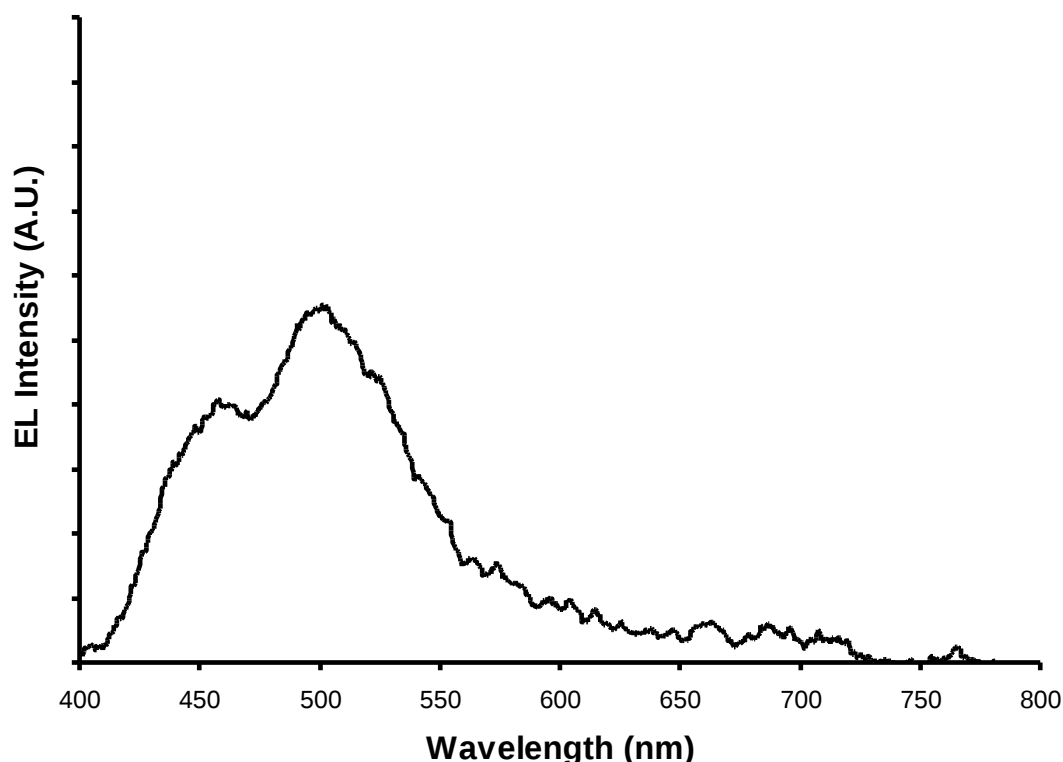
4.2.3 ผลการวัดสเปกตรัมการเปล่งแสงด้วยไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดสารอินทรีย์

และสารอินทรีย์โครงสร้าง ITO/NPB/ZnSe/Al

ผลการวัดสเปกตรัมการเปล่งแสงด้วยไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดสารอินทรีย์และสารอินทรีย์โครงสร้าง ITO/NPB/ZnSe/Al ที่มีความหนาของชั้น NPB 50 นาโนเมตร และความหนาชั้น ZnSe 30 นาโนเมตร เมื่อทำการจ่ายความต่างศักย์คงที่ 16 โวลต์ แสดงในรูปที่ 4.13

สเปกตรัมของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดจะถูกพบที่ความยาวคลื่น 2 ค่าคือ 457 นาโนเมตร และ 500 นาโนเมตร ซึ่งที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตรมีความเข้มของสเปกตรัมสูงกว่าที่ความยาวคลื่น 457 นาโนเมตร โดยสาเหตุและที่มาของความยาวคลื่นทั้งสองตำแหน่งรวมทั้งกลไกการ

เปล่งแสงของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดสารอินทรีย์และอนินทรีย์โครงสร้าง ITO/NPB/ZnSe/Al จะได้วิเคราะห์และอธิบายในหัวข้อ 4.2.4



รูปที่ 4.13 สเปกตรัมการเปล่งแสงด้วยไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดโครงสร้าง

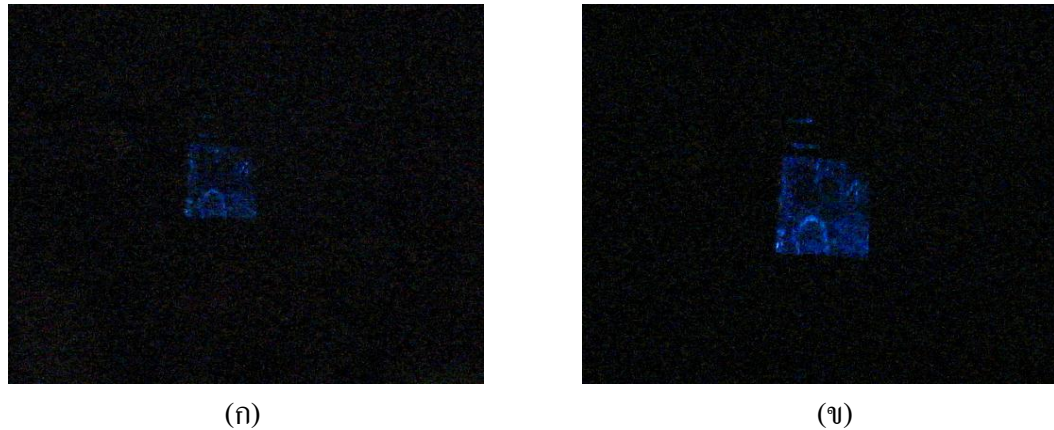
ITO/NPB (50 nm)/ZnSe(30 nm)/Al ที่ทำการจ่ายความต่างศักย์ 16 โวลต์

4.2.4 การเปล่งแสงย่านความยาวคลื่นสีน้ำเงินในไดโอดเปล่งแสงไฮบริดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์โครงสร้าง ITO/NPB/ZnSe/Al

จากการศึกษาสเปกตรัมการเปล่งแสงด้วยไฟฟ้าของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์โครงสร้าง ITO/NPB/ZnSe/Al พบว่าที่ความหนาของชั้น NPB 50 nm และ ZnSe 30 nm มีการเปล่งแสงย่านความยาวคลื่นสีน้ำเงิน 2 ความยาวคลื่นได้แก่ 457 นาโนเมตร และ 500 นาโนเมตร ซึ่งแสงที่เปล่งออกมาสามารถมองเห็นได้ชัดเจนในที่มืด เมื่อทำการจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าให้แก่ไดโอดเปล่งแสงไฮบริดประมาณ 16 โวลต์ ดังแสดงในรูป 4.14

โดยสาเหตุของการเปล่งแสงทั้งสองความยาวคลื่นที่พบนี้สามารถอธิบายได้จากการพิจารณาโครงสร้างแถบพลังงานของไดโอดเปล่งแสงไฮบริด แสดงในรูป 4.15(ก) พบว่าแสงที่มีความยาวคลื่น 457 นาโนเมตรสอดคล้องกับช่องว่างแถบพลังงานของ ZnSe ซึ่งมีค่าประมาณ 2.8 อิเล็กตรอนโวลต์ ในขณะที่ความยาวคลื่นประมาณ 500 นาโนเมตรเกิดจากการรวมตัวที่บริเวณจุดบกพร่องของผลึก ZnSe เนื่องจากฟิล์มที่ปลูกมีความหนาน้อยรวมทั้งวิธีการปลูกมีผลทำให้มีโอกาสเกิดจุดบกพร่องได้มาก โดยจุดบกพร่องนี้จะเกิดอยู่ระหว่างช่องว่างแถบพลังงานจึงส่งผลให้ความยาวคลื่นที่เปล่งออกมาจากจุดบกพร่องมีแนวโน้มที่จะมีความยาวคลื่นมากขึ้น ดังนั้นจึง

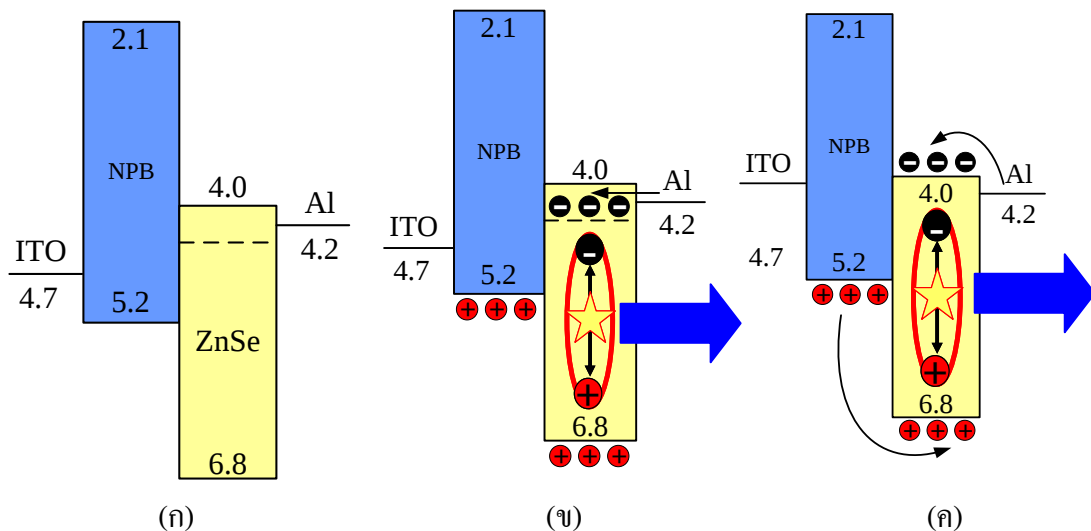
สามารถสรุปได้ว่าแสงทั้งสองความยาวคลื่นที่เปล่งออกมาจากไดโอดเปล่งแสงไฮบริดเกิดจากการรวมตัวของพาหะภายในชั้นของ ZnSe โดยที่แสงที่มีความยาวคลื่น 457 นาโนเมตรเกิดจากช่องว่างแถบพลังงานของผลึก ZnSe ในขณะที่ความยาวคลื่น 500 นาโนเมตรเกิดจากความบกพร่องของผลึก ZnSe ดังแสดงในรูป 4.15(ข) และ 4.15(ค) ตามลำดับ



รูปที่ 4.14 แสงช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงินจากไดโอดเปล่งแสงไฮบริดโครงสร้าง ITO/NPB/ZnSe/Al ที่มีความหนาของชั้น NPB 50 nm และ ZnSe 30 nm

(ก) เมื่อจ่ายความต่างศักย์ 12 โวลต์

(ข) เมื่อจ่ายความต่างศักย์ 16 โวลต์



รูปที่ 4.15 (ก) แผนภาพแถบพลังงานของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดโครงสร้าง ITO/NPB/ZnSe/Al

(ข) การเปล่งแสงที่เกิดจากจุดบกพร่องของผลึก ZnSe

(ค) การเปล่งแสงที่เกิดจากช่องว่างแถบพลังงานของผลึก ZnSe

จากการศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าและสมบัติทางแสงของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดที่เตรียมโดยมีการควบคุมอัตราการระเหยสารทำให้สามารถเข้าใจและอธิบายถึงกลไกการเปล่งแสงของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดได้ดังนี้

เมื่อทำการจ่ายความต่างศักย์ให้แก่ไดโอดเปล่งแสงไฮบริดจะเกิดการฉีดโฮลจากขั้วไฟฟ้าโปร่งแสง ITO เข้าสู่สถานะ HOMO ของชั้นส่งผ่านโฮล NPB และเคลื่อนที่ไปยังรอยต่อของ NPB/ZnSe โดยสนามไฟฟ้าภายในชั้น NPB ในขณะเดียวกันอิเล็กตรอนจากขั้วไฟฟ้าอลูมิเนียมจะถูกฉีดเข้าสู่ชั้นส่งผ่านอิเล็กตรอน ZnSe โดยที่ความต่างศักย์มีค่าน้อย อิเล็กตรอนจะถูกฉีดเข้าสู่สถานะบกพร่องของผลึกซึ่งอยู่ต่ำกว่าค่าฟังก์ชันงานของอลูมิเนียมเกิดเป็นรอยต่อแบบโอห์มิกและเคลื่อนที่ไปยังรอยต่อของ ZnSe/NPB โดยสนามไฟฟ้าภายในชั้น ZnSe ดังจะเห็นได้จากพฤติกรรมของกระแสที่มีการเพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้นที่ความต่างศักย์ต่ำในหัวข้อ 4.1.1 และ 4.2.1

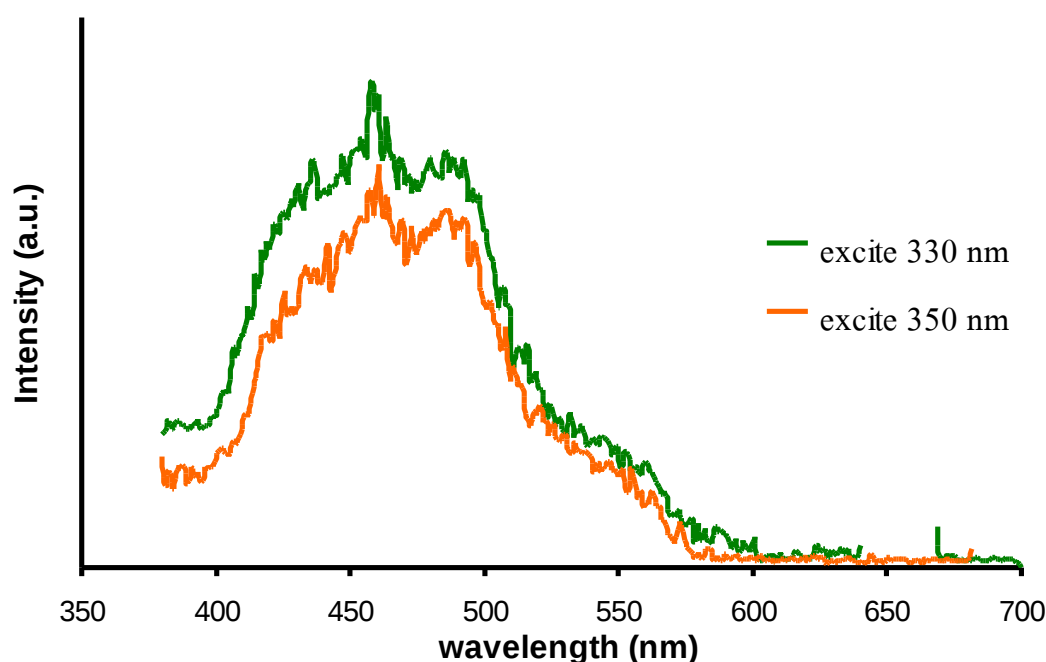
พิจารณาที่บริเวณรอยต่อของ NPB/ZnSe พบว่ามีกำแพงศักย์เกิดขึ้นเนื่องจากความแตกต่างของ ระดับพลังงาน HOMO และ ระดับพลังงาน LUMO ของ NPB กับ แถบวาเลนซ์และแถบนำกระแส ของ ZnSe โดยกำแพงศักย์ของโฮลจะมีค่าประมาณ 1.6 eV ในขณะที่กำแพงศักย์ของอิเล็กตรอนมีค่ามากกว่า 1.9 eV (สถานะบกพร่องของผลึก ZnSe อยู่ต่ำกว่าแถบนำกระแสทำให้ค่าของกำแพงศักย์ของอิเล็กตรอนที่อยู่ในสถานะนี้มีค่ามากกว่า 1.9 อิเล็กตรอนโวลต์) ซึ่งความสูงของกำแพงศักย์จะเป็นสาเหตุให้เกิดการกักของพาหะทั้งโฮลและอิเล็กตรอนที่บริเวณรอยต่อ NPB/ZnSe ทำให้พาหะไม่สามารถเกิดการรวมตัวและปลดปล่อยแสงออกมาได้ ดังจะเห็นได้จากการไม่พบการเปล่งแสงที่ความต่างศักย์ต่ำจากกราฟแสดงแสงสว่างในหัวข้อ 4.2.2

เมื่อทำการเพิ่มความต่างศักย์ให้แก่ไดโอดเปล่งแสงไฮบริดจะทำให้มีการฉีดโฮลเข้าสู่ชั้น NPB มีค่ามากขึ้น ในขณะที่อิเล็กตรอนที่เข้าสู่สถานะบกพร่องมีค่าสูงขึ้นนอกจากนี้จะพบว่าอิเล็กตรอนบางตัวสามารถฉีดเข้าไปยังแถบนำกระแสได้เกิดเป็นรอยต่อแบบชอกกี ดังจะเห็นได้จากการเพิ่มขึ้นของกระแสแบบเส้นโค้งที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 4.1.1 และ 4.2.1 เมื่อพิจารณาถึงสนามไฟฟ้าที่กระทำต่อชั้นสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์ที่ได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 2 พบว่า ค่าความเข้มของสนามไฟฟ้าจะขึ้นกับค่าคงที่ไดอิเล็กตริกของตัวสารและความต่างศักย์ไฟฟ้าที่ให้กับตัวไดโอดเปล่งแสง ซึ่ง NPB มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประมาณ 4 ในขณะที่ ZnSe มีค่าคงที่ไดอิเล็กตริกประมาณ 8.5 จากการคำนวณพบว่าสนามไฟฟ้าในสารอินทรีย์มีค่าสูงกว่าสนามไฟฟ้าในสารอนินทรีย์ ประกอบกับความสูงของกำแพงศักย์ของโฮลมีค่าต่ำกว่าของอิเล็กตรอน ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ที่โฮลในชั้น NPB จะได้รับพลังงานสูงพอที่จะสามารถข้ามกำแพงศักย์บริเวณรอยต่อเข้าไปสู่แถบวาเลนซ์ของชั้น ZnSe และเกิดการรวมตัวกับอิเล็กตรอนที่ถูกกักอยู่บริเวณรอยต่อของ NPB/ZnSe เกิดการปลดปล่อยแสงในช่วงความยาวคลื่นสีน้ำเงินออกมา

โดยความยาวคลื่นแสง 500 นาโนเมตรจะเกิดจากการรวมตัวจากสถานะบกพร่องของผลึก ZnSe ดังแสดงในรูป 4.15 (ข) ในขณะที่ความยาวคลื่นแสง 457 นาโนเมตรจะเกิดจากการรวมตัวจากช่องว่างแถบพลังงานของ ZnSe ดังแสดงในรูป 4.15 (ค) โดยการรวมตัวที่เกิดจาก

สถานะบกพร่องของผลึกจะเกิดได้มากกว่าการรวมตัวที่เกิดจากช่องว่างแถบพลังงานของ ZnSe ดังจะเห็นได้จากความสูงของสเปกตรัมการเปล่งแสงด้วยไฟฟ้าที่ตำแหน่ง 500 นาโนเมตร จะมีค่าสูงกว่าที่ตำแหน่ง 457 นาโนเมตร

เมื่อพิจารณาถึงสเปกตรัมการเรืองแสงของฟิล์มบาง ZnSe ที่ถูกกระตุ้นด้วยแสงความยาวคลื่น 330 และ 350 นาโนเมตร ดังแสดงในรูป 4.16 พบว่าความยาวคลื่นที่ฟิล์มบาง ZnSe สามารถเปล่งออกมามี 2 ความยาวคลื่น ได้แก่ ประมาณ 460 นาโนเมตร และ 500 นาโนเมตร ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับสเปกตรัมการเปล่งแสงด้วยไฟฟ้าจากไดโอดเปล่งแสงไฮบริดดังแสดงในรูป 4.13

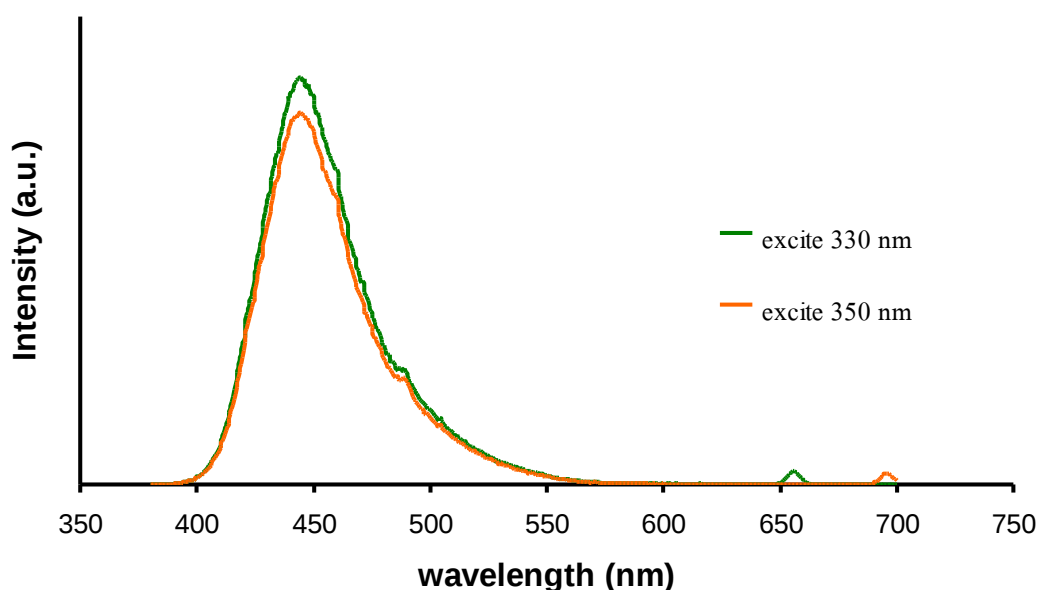


รูปที่ 4.16 สเปกตรัมการเรืองแสงของฟิล์มบาง ZnSe ที่ถูกกระตุ้นด้วยแสงความยาวคลื่น 330 และ 350 นาโนเมตร

ผลของสเปกตรัมการเรืองแสงจากฟิล์มบาง ZnSe ที่ถูกกระตุ้นด้วยแสง เป็นสิ่งที่ช่วยยืนยันอีกประการหนึ่งที่จะทำให้สามารถสรุปได้ว่าแสงความยาวคลื่นสีน้ำเงินทั้งสองความยาวคลื่นที่เปล่งออกมาจากไดโอดเปล่งแสงไฮบริดมาจากชั้นของฟิล์มบาง ZnSe

อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาถึงสเปกตรัมการเรืองแสงของฟิล์มบาง NPB ที่ถูกกระตุ้นด้วยแสงความยาวคลื่น 330 และ 350 นาโนเมตร ดังแสดงในรูป 4.17 พบว่าความยาวคลื่นที่เปล่งออกมามีบริเวณ 450 นาโนเมตร จึงมีความเป็นไปได้เช่นกันที่แสงความยาวคลื่นในช่วง 450 นาโนเมตรที่เปล่งมาจากชั้นฟิล์มบาง NPB แต่อย่างไรก็ตามจากการพิจารณาแบบจำลองกลไกการทำงานของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดที่ได้เสนอไปนั้นพบว่าการเปล่งแสงที่เกิดจากชั้น NPB เกิดขึ้นได้ยาก เนื่องจากผลของสนามไฟฟ้า รวมทั้งความสูงของกำแพงศักย์ของอิเล็กตรอนบริเวณรอยต่อของ NPB และ ZnSe ดังนั้น โอกาสที่แสงสีน้ำเงินที่เปล่งออกมาจากไดโอดเปล่งแสงไฮบริดจะมา

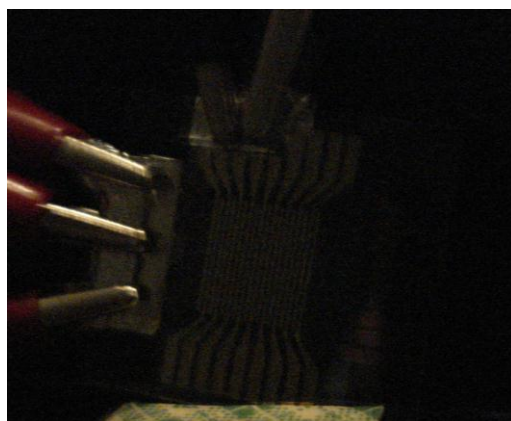
จากชั้นฟิล์มบาง NPB จึงมีโอกาสน้อยมาก โดยอาจจะสามารถเกิดได้ในกรณีที่ทำกาการจ่ายความต่างศักย์ไฟฟ้าที่มีค่าสูงมากให้แก่ไดโอดเปล่งแสงไฮบริด



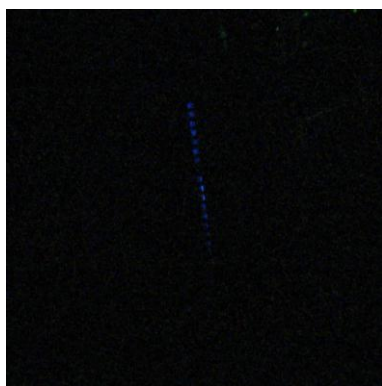
รูปที่ 4.17 สเปกตรัมการเปล่งแสงของฟิล์มบาง NPB ที่ถูกกระตุ้นด้วยแสงความยาวคลื่น 330 และ 350 นาโนเมตร

4.3 การประยุกต์สร้างไดโอดเปล่งแสงไฮบริดแบบคอตเทริกซ์

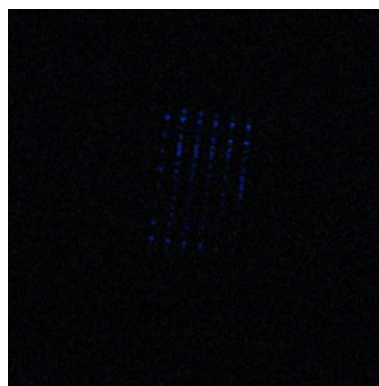
จากการศึกษาสมบัติทางไฟฟ้าและทางแสงของไดโอดเปล่งแสงไฮบริดสารอินทรีย์และสารอนินทรีย์โครงสร้าง ITO/NPB/ZnSe/Al พบว่าเงื่อนไขที่เหมาะสมที่ทำให้ไดโอดเปล่งแสงมีประสิทธิภาพสูงสุดคือ ความหนา NPB 50 นาโนเมตร และ ความหนา ZnSe 30 นาโนเมตร โดยทำการระเหยสารที่อัตราการระเหยที่ต่ำและคงที่ โดยจะได้นำเงื่อนไขนี้ไปทดลองประยุกต์สร้างเป็นโครงสร้างแบบคอตเทริกซ์ขนาด 18x18 จุด โดยแต่ละจุดมีพื้นที่ 500x500 ตารางไมโครเมตร ดังแสดงในรูป 4.18



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.18 ไดโอดเปล่งแสงไฮบริดแบบคอตเททริกซ์ขนาด 18x18 จุด โดยแต่ละจุดมีขนาด 500x500 ตารางไมโครเมตร

(ก) ก่อนทำการจ่ายความต่างศักย์

(ข) ทำการจ่ายความต่างศักย์แถวเดียว

(ค) ทำการจ่ายความต่างศักย์ทุกจุด

จากรูป 4.18 พบว่าไดโอดเปล่งแสงไฮบริดที่สร้างแบบคอตเททริกซ์สามารถเปล่งแสงเห็นได้ชัดเจนในที่มืด แต่พบว่ายังคงมีบางจุดที่มีความสว่างไม่เท่ากันและบางจุดไม่มีการเปล่งแสง ทั้งนี้เกิดจากความไม่เป็นระเบียบของการระเหยสารแต่ละตำแหน่ง แต่อย่างไรก็ตามผลที่ได้นี้จะแสดงถึงความเป็นไปได้ที่จะนำไดโอดเปล่งแสงไฮบริดไปประยุกต์สร้างเป็นจอแสดงผลได้ในอนาคต