บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมา

โฟโตไดโอดเป็นอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณแสงชนิดหนึ่งที่มีความสำคัญมากและใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบสื่อสารทางแสง (Optical communication) ซึ่งจะทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า เมื่อกล่าวถึงโฟโตไดโอดชนิดหัวต่อพี-เอ็นที่ผลิตจากสารกึ่งตัวนำตระกูล GaAs สมรรถนะจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของชั้นรับแสงเป็นอย่างมาก โครงสร้างหนึ่งที่มีการประยุกต์ใช้งานมากที่สุดคือโครงสร้างหัวต่อต่างชนิด (Heterojunction) เนื่องจากชั้นรับแสงมีช่องว่างแถบพลังงานกว้างกว่าชั้นทำงาน ทำให้ผลตอบสนองทางแสงอยู่ในช่วงของช่องว่างแถบพลังงานทั้งสอง และเนื่องจากปรากฏการณ์หน้าต่างแสง (Window effect) ทำให้ความไว (Sensitivity) ในการตอบสนองของโฟโตไดโอดเพิ่มขึ้น

การออกแบบโครงสร้างโฟโตไดโอดเพื่อควบคุมลักษณะผลตอบสนองทางแสงให้ได้ตามต้องการเป็นสิ่งที่สำคัญมาก งานวิจัยที่ผ่านมาในวิทยานิพนธ์ “การผลิตและศึกษาผลตอบสนองทางสเปกตรัมของโฟโตไดโอดหัวต่อต่างชนิดของ GaAlAs/GaAs” โดย น.ส. ทศพร ชวนปราณี [1] ได้ทำการผลิตโฟโตไดโอดโดยต้องการให้ผลตอบสนองทางแสงมีลักษณะกว้างขึ้น ต่อมาในวิทยานิพนธ์เรื่อง “การผลิตและศึกษาผลตอบสนองทางสเปกตรัมของโฟโตไดโอด GaAs/GaAlAs ที่มีช่องว่างพลังงานเป็นขั้นบันได” โดย นาย ภควัฒน์ วิเศษละคร [2] ได้ทำการผลิตโฟโตไดโอดโดยต้องการให้โฟโตไดโอดมีความไวในการตอบสนองมากขึ้น

อย่างไรก็ตาม ในการศึกษาการทำงานของโฟโตไดโอดโดยทั่วไปจะละเลยการเกิดพาหะและกระแสแพร่ซึมจากชั้นรับแสง เนื่องจากการมีปรากฏการณ์หน้าต่างแสงเมื่อกำหนดให้ชั้นรับแสงบางมากๆ ซึ่งปรากฏการณ์หน้าต่างแสงนั้นจะมีประสิทธิผลเต็มที่ก็ต่อเมื่อชั้นรับแสงมีความหนามากกว่าส่วนกลับของค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของชั้นรับแสง แต่เนื่องจากค่าสัมประสิทธิ์การดูดกลืนแสงของชั้นรับแสงที่ค่าพลังงานแสงใกล้เคียงกับค่าช่องว่างแถบพลังงานของชั้นรับแสงมีค่าต่ำมาก ปรากฏการณ์หน้าต่างแสงที่ค่าพลังงานแสงค่านี้จึงไม่มีประสิทธิภาพ ส่งผลให้แสงที่มีค่าประมาณค่าช่องว่างแถบพลังงานแสงจะถูกดูดกลืนห่างจากผิวผลึกลึกถึงบริเวณหัวต่อ และทะลุสู่ชั้นทำงานได้ จึงเกิดผลตอบสนองทางแสงทางด้านความยาวคลื่นสั้นขึ้น นอกจากนั้นพาหะที่เกิดห่างจากรอยต่อพีเอ็นไม่เกินระยะแพร่ซึม (L_e) ยังมีโอกาสถูกสนามไฟฟ้าพัดพา ทำให้เกิดมีผลตอบสนองจากกระแสแพร่ซึมในช่วงความยาวคลื่นสั้นเพิ่มขึ้นอีก

ในส่วนของโฟโตไดโอดความเร็วสูง ความหนาของชั้นทำงานจะมีค่าไม่มากนักเพื่อลดเวลาเคลื่อนย้ายพาหะ (Transit time) [3] ส่งผลให้กำลังแสงบางส่วนทะลุถึงชั้นแว่นผลึก และถูก

ดูดกลืน พาหะที่เกิดห่างจากชั้นทำงานไม่เกินระยะแพร่ซึม (L_h) จะถูกสนามไฟฟ้าพัดพาทำให้เกิดกระแสแพร่ซึมในช่วงความยาวคลื่นยาวขึ้น

เนื่องจากกระบวนการแพร่ซึมของพาหะเป็นกระบวนการที่ช้ามากเมื่อเปรียบเทียบกับการพัดพาพาหะ ทำให้กระแสแพร่ซึมเป็นปัจจัยหนึ่งที่ทำให้เกิดการผิดเพี้ยนของสัญญาณเอาท์พุตของโฟโตไดโอดในเชิงเวลา และทำให้ค่าความเร็วในการตอบสนองของโฟโตไดโอดลดลง ดังนั้นในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำเสนอการออกแบบโครงสร้างโฟโตไดโอดหัวต่อต่างชนิด ที่มีจุดประสงค์เพื่อลดกระแสแพร่ซึมทั้งที่เกิดจากชั้นรับแสงและเกิดจากแผ่นฐานของโฟโตไดโอด

1.2 วัตถุประสงค์

1) ศึกษาแหล่งที่มาของผลตอบสนองทางแสงที่ขอบด้านความยาวคลื่นสั้นและความยาวคลื่นยาวของโฟโตไดโอดหัวต่อต่างชนิด
2) ออกแบบโครงสร้างของโฟโตไดโอดหัวต่อต่างชนิดเพื่อช่วยขจัดกระแสแพร่ซึมที่ขอบของผลตอบสนองทางแสง ทั้งทางด้านความยาวคลื่นสั้นและด้านความยาวคลื่นยาว
3) ผลิตโฟโตไดโอดหัวต่อต่างชนิดที่มีชั้นหน้าต่างคู่ โดยอาศัยวิธีการปลูกผลึกแบบเอพิแทกซีสถานะเหลว

1.3 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

เนื้อหาของวิทยานิพนธ์แบ่งออกเป็น 6 บท ได้แก่ ในบทที่ 1 จะเป็นการกล่าวถึงความเป็นมาและวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ส่วนในบทที่ 2 จะเป็นทฤษฎีของโฟโตไดโอดหัวต่อต่างชนิด หลักการทำงานเบื้องต้น และลักษณะสมบัติที่สำคัญต่างๆ รวมไปถึงคุณสมบัติของสารประกอบกึ่งตัวนำที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุปกรณ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์

บทที่ 3 เสนอรายละเอียดการออกแบบโครงสร้างของโฟโตไดโอด ที่มีจุดประสงค์เพื่อช่วยขจัดกระแสแพร่ซึมที่ขอบทั้งสองด้านของชั้นทำงาน รวมทั้งการคำนวณผลตอบสนองทางแสงของโฟโตไดโอด บทที่ 4 เป็นเรื่องของเทคโนโลยีการผลิตโฟโตไดโอดหัวต่อต่างชนิด โดยอาศัยวิธีการปลูกผลึกแบบเอพิแทกซีสถานะเหลว และบทที่ 5 คือผลการทดลองวัดลักษณะสมบัติกระแส-แรงดัน และผลตอบสนองทางแสงของโฟโตไดโอดในโครงสร้างที่เลือกมาผลิต รวมทั้งบทวิเคราะห์ความสอดคล้องระหว่างผลการทดลองและผลการคำนวณ และความสอดคล้องระหว่างผลการทดลองที่มีต่อแนวคิดในการออกแบบโครงสร้างของโฟโตไดโอดหัวต่อต่างชนิด

สุดท้ายในบทที่ 6 จะเป็นการสรุปเนื้อหางานวิจัยทั้งหมดและแสดงข้อเสนอแนะในการพัฒนางานวิจัยต่อไป