

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VII
สารบัญรูป.....	VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	2
1.4 ประโยชน์ที่ได้รับจากงานวิจัย.....	2
1.5 แนวทางในการศึกษาวิจัย.....	2
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	4
2.1 วัสดุสารกึ่งตัวนำ.....	4
2.1.1 สารกึ่งตัวนำมูลฐาน.....	6
2.1.2 สารกึ่งตัวนำประเภทสารประกอบ.....	6
2.1.3 แถบช่องว่างพลังงาน.....	6
2.1.3.1 สารกึ่งตัวนำที่มีแถบช่องว่างพลังงานแบบตรง.....	8
2.1.3.2 สารกึ่งตัวนำที่มีแถบช่องว่างพลังงานแบบอ้อม.....	8
2.2 สารกึ่งตัวนำบ่อควอนตัม.....	10
2.2.1 นิยามของบ่อควอนตัมและแถบพลังงาน.....	11
2.2.2 โครงสร้างของสิ่งประดิษฐ์บ่อควอนตัม.....	12
2.2.2.1 บ่อควอนตัมเดี่ยว.....	12
2.2.2.2 บ่อควอนตัมคู่.....	12
2.2.2.3 บ่อควอนตัมแบบพหุ หรือมัลติควอนตัมเวลล์.....	12
2.2.2.4 บ่อควอนตัมแบบอื่น ๆ	13
2.2.3 แบบของสิ่งประดิษฐ์บ่อควอนตัม.....	13
2.2.3.1 สิ่งประดิษฐ์บ่อควอนตัมแบบที่ I	13

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.2.3.2	สิ่งประดิษฐ์บ่อควอนตัมแบบที่ II	14
2.2.3.3	สิ่งประดิษฐ์บ่อควอนตัมแบบที่ III	14
2.2.4	พารามิเตอร์ในสิ่งประดิษฐ์บ่อควอนตัม.....	15
2.3	การคำนวณหาระดับพลังงานย่อยในบ่อศักย์.....	15
2.3.1	การแก้สมการชโรดิงเงอร์โดยวิธีการทางคณิตศาสตร์.....	16
2.3.1.1	บ่อศักย์สูงอนันต์.....	16
2.3.1.2	บ่อศักย์สูงจำกัด.....	18
2.3.2	ระเบียบวิธีเชิงตัวเลข.....	22
2.3.2.1	ปัญหาค่าเริ่มต้น.....	23
2.3.2.2	ปัญหาค่าขอบเขต.....	23
2.3.2.2.1	วิธีการยิงเป้า.....	25
2.3.2.2.2	วิธีหารากสมการ.....	26
บทที่ 3	ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.....	28
3.1	การวิเคราะห์และแนวทางในแก้ปัญหา.....	28
3.1.1	ลำดับขั้นตอนในการหาระดับพลังงานย่อยในบ่อศักย์ โดยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข.....	28
3.1.1.1	การหาระดับพลังงานย่อยในบ่อศักย์สูงอนันต์.....	31
3.1.1.2	การหาระดับพลังงานย่อยในบ่อศักย์สูงจำกัด.....	33
3.1.2	การคำนวณหาการเปลี่ยนระดับพลังงาน ในโครงสร้างบ่อควอนตัม.....	34
3.1.1.3.1	การหาความสูงของบ่อควอนตัม $Al_{0.3}Ga_{0.7}As/GaAs$	36
3.1.1.3.2	การคำนวณหาช่องว่างพลังงานของกำแพง.....	36
3.1.1.3.3	ความสัมพันธ์ของ Varshni	36
3.1.1.3.4	ความสัมพันธ์ของ Vina	37
3.1.1.3.5	ความสัมพันธ์ของ Passler	37

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 4 ผลการคำนวณ.....	39
4.1 ผลการคำนวณพลังงานสถานะพื้นบ่อศักย์สูงอนันต์.....	39
4.2 ผลการคำนวณพลังงานสถานะพื้นบ่อศักย์สูงจำกัด.....	41
4.3 ผลการคำนวณโครงสร้างบ่อควอนตัม.....	43
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย.....	45
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	45
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	47
เอกสารอ้างอิง.....	48
ภาคผนวก.....	50
ภาคผนวก ก โปรแกรมสำหรับบ่อศักย์สูงอนันต์ (infinite potential well).....	51
ภาคผนวก ข โปรแกรมสำหรับบ่อศักย์สูงจำกัด (finite potential well).....	54
ภาคผนวก ค โปรแกรมสำหรับการคำนวณหาค่าการเปลี่ยนระดับพลังงาน (transition energy)	59
ประวัติผู้เขียน.....	66

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 แสดงบางส่วนของส่วนที่เกี่ยวข้องกับสารกึ่งตัวนำ.....	6
2.2 วัสดุสารกึ่งตัวนำ.....	7
2.3 ตัวอย่างสารกึ่งตัวนำที่นิยมประดิษฐ์เป็นสารกึ่งตัวนำบ่อควอนตัม.....	10
2.4 ปรากฏการณ์ต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในสารกึ่งตัวนำที่มีโครงสร้างแบบบ่อ และการประยุกต์ใช้งานเป็นสิ่งประดิษฐ์อิเล็กทรอนิกส์.....	13
4.1 แสดงระดับพลังงานและค่าฟังก์ชันคลื่นของบ่อศักย์สูงอนันต์ ที่ได้จากระเบียบวิธีเชิงตัวเลขโดยวิธีการยิงเป้า.....	40
4.2 ค่าศักย์ของบ่อในแถบนำและแถบวาเลนซ์ที่คำนวณได้.....	43
4.3 ค่าการเปลี่ยนระดับพลังงานที่ได้จากการคำนวณโดยใช้ระเบียบวิธีการเชิงตัวเลข และค่าที่ได้จากการทดลอง.....	44

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงช่วงต่าง ๆ ของสภาพนำไฟฟ้าสำหรับวัสดุที่เป็นฉนวนสารกึ่งตัวนำและตัวนำ.....	4
2.2 แสดงแถบพลังงานของ ก)ฉนวน ข)สารกึ่งตัวนำ และ ค)ตัวนำ.....	5
2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนตัมและพลังงานของแกเลียมอาร์เซไนด์.....	8
2.4 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนตัมและพลังงานของซิลิกอน.....	9
2.5 การดูดกลืนและปลดปล่อยโฟนอน.....	9
2.6 ตัวอย่างการเรียงตัวของอะตอมในบ่อควอนตัม.....	11
2.7 โครงสร้างของบ่อควอนตัม.....	11
2.8 ช่องว่างพลังงานของสิ่งประดิษฐ์บ่อควอนตัมที่เกิดจากการนำสารกึ่งตัวนำที่มีช่องว่างพลังงานไม่เท่ากันมาซ้อนกันเป็นจำนวนชั้นที่แตกต่างกัน และมีชื่อเรียกแตกต่างกัน.....	12
2.9 แถบพลังงานของสิ่งประดิษฐ์บ่อควอนตัม (ก)แบบที่ I (ข)แบบที่ II	14
2.10 แถบพลังงานของสิ่งประดิษฐ์บ่อควอนตัมและพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง.....	15
2.11 แสดงบ่อศักย์ลึกลึกอนันต์อยู่ในช่วง $-L/2 < x < L/2$	16
2.12 แสดงบ่อควอนตัมที่มีกำแพงศักย์จำกัดค่า V_0	18
2.13 แสดงกราฟการหาพลังงานย่อยระดับต่าง ๆ ในบ่อควอนตัมเมื่อกำแพงศักย์มีความสูงจำกัดโดยแกน x คือค่าพลังงาน E และแกน y คือค่าในแต่ละข้างของสมการ (2.28) ซึ่งเป็นฟังก์ชันของพลังงาน.....	22
2.14 แสดงวิธีการของวิธีการยิงเป้า.....	24
2.15 แสดงวิธีการของวิธีการยิงเป้า (shooting method).....	25
2.16 แสดงวิธีหาค่ารากโดยวิธีเส้นตัด (secant method).....	26
3.1 แสดงลำดับขั้นในการหาระดับพลังงานย่อยภายในบ่อศักย์.....	29
3.2 แสดงลำดับขั้นวิธีการยิงเป้าเพื่อหามุมหาระดับพลังงาน E ที่ทำให้ผลเฉลยของสมการชโรดิงเงอร์โดยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข.....	29
3.3 แสดงลำดับขั้นวิธีการหารากหรือค่า E ที่ทำให้ฟังก์ชันคลื่นหรือผลเฉลยของสมการชโรดิงเงอร์มีค่าตรงตามเงื่อนไขขอบเขตที่กำหนดให้โดยระเบียบวิธีเชิงตัวเลข.....	30
3.4 แสดงโครงสร้างบ่อศักย์ลึกลึกอนันต์.....	31
3.5 แสดงโครงสร้างบ่อศักย์ลึกลึกจำกัด.....	33
3.6 แสดงโครงสร้างบ่อควอนตัม.....	34

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.7	แสดงลำดับขั้นในการคำนวณหาการเปลี่ยนระดับพลังงานในโครงสร้างบ่อควอนตัม.....35
3.8	แบบจำลองบ่อควอนตัมเดี่ยวของ $Al_{0.3}Ga_{0.7}As / GaAs$36
4.1	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานค่า ต่าง ๆ กับค่าฟังก์ชันคลื่นที่ขอบของบ่อศักย์ สูงอนันต์ที่ได้จากระเบียบวิธีเชิงตัวเลขโดยวิธีการยิงเป้า.....39
4.2	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานค่า ต่าง ๆ กับค่าฟังก์ชันคลื่นที่ขอบของบ่อศักย์ สูงอนันต์ที่ได้จากระเบียบวิธีเชิงตัวเลขโดยวิธีการยิงเป้าบริเวณที่ค่าพลังงานที่มีค่าฟังก์ชัน คลื่นเป็นศูนย์.....40
4.3	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางตามแนวแกน x กับค่าฟังก์ชันคลื่น จากจุดกึ่งกลางของบ่อศักย์ถึงขอบของบ่อศักย์ทางด้านขวา.....41
4.4	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าพลังงานและค่าฟังก์ชันคลื่น ที่ได้จากการยิงเป้าของบ่อศักย์ลึกจำกัด.....42
4.5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางตามแนวแกนของบ่อศักย์ลึกจำกัด และค่าฟังก์ชันคลื่นที่ได้จากค่าพลังงานที่ได้จากการยิงเป้า (E_1 E_2) และจาก การประมาณค่าที่ทำให้ค่าฟังก์ชันคลื่นที่ขอบมีค่าประมาณศูนย์ของบ่อศักย์ลึกจำกัด.....42
4.6	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิและค่าการเปลี่ยนระดับพลังงานที่ได้ จากการคำนวณโดยใช้ระเบียบวิธีการเชิงตัวเลข และที่ได้จากการทดลอง.....44
5.1	สเปกตรัมโฟโตลูมิเนสเซนซ์ของ $Al_{0.3}Ga_{0.7}As / GaAs$ (SQW) ที่อุณหภูมิต่างๆ.....47