บทที่ 1

บทนำ

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.1 ที่มาของปัญหา

ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาสร้างทรานซิสเตอร์จากวัสดุสารประกอบกึ่งตัวนำตระกูลแกลเลียมอาร์เซไนด์ เนื่องจากแกลเลียมอาร์เซไนด์มีความคล่องตัวของอิเล็กตรอน (electron mobility) สูงกว่าของซิลิกอนถึง 6 เท่า ดังตารางที่1.1 ซึ่งส่งผลให้สิ่งประดิษฐ์ที่สร้างจากแกลเลียมอาร์เซไนด์มีผลตอบสนองเชิงความถี่หรือความเร็วในการทำงานสูงกว่าสิ่งประดิษฐ์โครงสร้างเดียวกันที่สร้างจากซิลิกอนถึง 6 เท่าเช่นกัน ยิ่งไปกว่านั้นยังสามารถปรับปรุงลักษณะสมบัติของทรานซิสเตอร์ให้ดีขึ้นได้โดยใช้สารประกอบ 3 ธาตุ (Ternary Compounds) โดยการเติมอลูมิเนียมลงในแกลเลียมอาร์เซไนด์ กลายเป็นแกลเลียมอลูมิเนียมอาร์เซไนด์ (GaAlAs) เป็นผลให้ช่องว่างแถบพลังงานเพิ่มขึ้นตามปริมาณของอลูมิเนียม จึงสามารถผลิตทรานซิสเตอร์ที่มีโครงสร้างเป็นหัวต่อต่างชนิด (Heterojunction) ของแกลเลียมอลูมิเนียมอาร์เซไนด์และแกลเลียมอาร์เซไนด์ที่หัวต่ออิมิตเตอร์-เบส เรียกว่า ทรานซิสเตอร์ชนิดหัวต่อต่างชนิดหนึ่งหัวต่อ (Single Heterojunction Bipolar Transistor-SHBT) ส่งผลให้ประสิทธิภาพในการฉีดของหัวต่อขึ้นอยู่กับเทอม $e^{(\Delta E_g/kT)}$ เมื่อ ΔE_g คือ ผลต่างช่องว่างแถบพลังงานของชั้นอิมิตเตอร์ (แกลเลียมอลูมิเนียมอาร์เซไนด์) กับชั้นเบส (แกลเลียมอาร์เซไนด์) โดยไม่ต้องคำนึงถึงอัตราส่วนสารเจือระหว่างชั้นอิมิตเตอร์กับชั้นเบสอย่างในทรานซิสเตอร์ซิลิกอน ทำให้มีอิสระในการกำหนดค่าสารเจือของชั้นอิมิตเตอร์และชั้นเบส ส่งผลให้สมรรถนะทั้งเชิงความถี่และเชิงกำลังของสิ่งประดิษฐ์มีค่าสูงมาก [1] ซึ่งลดข้อจำกัดในกรณีของไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ชนิดหัวต่อเหมือน (Homojunction Bipolar Transistor) ที่ว่า เมื่ออัตราขยายกระแสสูงทรานซิสเตอร์นั้นจะใช้งานได้ที่ความถี่ต่ำๆ และในทางกลับกันเมื่อใช้งานที่ความถี่สูงมาก จะมีอัตราขยายกระแสที่ต่ำ

อย่างไรก็ตามทรานซิสเตอร์โครงสร้างนี้จะมีความไม่สมมาตรระหว่างหัวต่ออิมิตเตอร์-เบสกับคอลเล็กเตอร์-เบส จึงเป็นโครงสร้างที่ไม่เหมาะสมจะใช้ในวงจรรวม [2] ซึ่งโดยส่วนใหญ่ชั้นคอลเล็กเตอร์จะอยู่ด้านบน (Collector-up) และควรจะเหมือนกับชั้นอิมิตเตอร์ เพื่อความสะดวกในการผลิต นอกจากนั้น ในเชิงประยุกต์ใช้งาน ทรานซิสเตอร์ในวงจรรวมทำหน้าที่เพียง ปิด-เปิดวงจร (Switching) ค่า Turn on Voltage ควรมีค่าน้อย แต่ SHBT จะมีค่าประมาณ 0.2 โวลท์ อันเป็นผลจากความต่างระหว่างอิมิตเตอร์กับคอลเล็กเตอร์ ทำให้เกิดพลังงานสูญเสียโดยเปล่าประโยชน์ในการปิด-เปิดและเกิดความล่าช้า นอกจากนั้นยังมีการฉีดโฮลจากเบสเข้าสู่คอลเล็กเตอร์ใน Saturation Mode ด้วย ทำให้เกิดแนวคิดสร้างทรานซิสเตอร์ไบโพลาร์ชนิดหัวต่อต่างชนิดทั้งที่หัวต่ออิมิตเตอร์-

เบส และหัวต่อคอลเล็กเตอร์-เบส เพื่อให้ชั้นคอลเล็กเตอร์ทำจากวัสดุชนิดเดียวกับชั้นอิมิตเตอร์ Bailbe et al [3] ได้เสนอทฤษฎีการทำงานทางด้านกระแสตรงของสิ่งประดิษฐ์ชนิดนี้และทำการผลิตด้วยเทคโนโลยีการปลูกผลึกเอพิแทกซีจากสถานะของเหลว โดยทรานซิสเตอร์มีโครงสร้างแบบเมสา (Mesa) จากนั้นได้มีนักวิจัยหลายๆกลุ่มได้รายงานในเรื่องนี้ [4,10,11,12,13,14,15,16,17,18,19] แต่ยังคงใช้โครงสร้างเมสาซึ่งไม่เหมาะสมที่จะใช้ในวงจรรวม ทรานซิสเตอร์ชนิดนี้ซึ่งมีโครงสร้างระนาบถูกนำเสนอโดย H. Erkaya และ Ronald J. Roedel โดยใช้เทคโนโลยี MOCVD ปลูกผลึก แต่กระบวนการแพร่ซึมสังกะสีเพื่อทำผิวสัมผัสโอห์มมิกของเบสค่อนข้างยุ่งยาก และทรานซิสเตอร์ที่ได้ก็ไม่ทำงานในโมดปกติ มีเพียงอัตราขยายประมาณ 2 เมื่อทำงานในโมดกลับทางเท่านั้น ทั้งนี้เนื่องจากผลของไดโอดพาราสิทสองตัวที่เกิดขึ้นด้านข้าง [5]

ในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำเสนอวิธีการสร้างไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ชนิดหัวต่อต่างชนิดทั้งระหว่างอิมิตเตอร์-เบส และคอลเล็กเตอร์-เบส (Double Heterojunction Bipolar Transistor-DHBT) โครงสร้างระนาบขึ้นอีกครั้งหนึ่ง โดยอาศัยเทคโนโลยี Liquid Phase Epitaxy (LPE) แต่จะเสนอวิธีการแพร่ซึมสังกะสีจากชั้นอิมิตเตอร์สู่ชั้นเบส เพื่อสร้างขั้วโลหะเบสแบบใหม่ที่ง่ายและไม่ยุ่งยาก

	ซิลิกอน	แกลเลียมอาร์เซไนด์
ช่องว่างแถบพลังงาน (Energy Gap) (eV)	1.1	1.43
ความคล่องตัว (Mobility) ที่อุณหภูมิ 300 K ($cm^2/V*s$)	1450	8500

ตารางที่ 1.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติทางไฟฟ้าระหว่างซิลิกอนกับแกลเลียมอร์เซไนด์

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษา และพัฒนาเทคโนโลยีในการผลิตไบโพลาร์ทรานซิสเตอร์ชนิดหัวต่อต่างชนิดคู่โครงสร้างระนาบซึ่งใช้แกลเลียมอาร์เซไนด์ และแกลเลียมอลูมิเนียมอาร์เซไนด์ และศึกษาลักษณะสมบัติกระแสตรงของสิ่งประดิษฐ์ที่สร้างขึ้น

1.3 ขอบเขตของวิทยานิพนธ์

1 ออกแบบและผลิตทรานซิสเตอร์สองหัวต่อชนิดหัวต่อต่างชนิดคู่แบบระนาบตามโครงสร้างที่ออกแบบไว้

2 วัดลักษณะสมบัติกระแสตรงของทรานซิสเตอร์ที่ผลิตในข้อ 1

1.4 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์

เนื้อหาวิทยานิพนธ์จะประกอบด้วย 4 ส่วน กล่าวคือ

1. ศึกษาทฤษฎีพื้นฐาน เพื่อทำความเข้าใจกับพารามิเตอร์ที่สำคัญๆที่มีผลต่อสมรรถนะของสิ่งประดิษฐ์
2. ศึกษาเทคโนโลยี Liquid Phase Epitaxy ที่ใช้ในการปลูกผลึก จากนั้นศึกษาเทคโนโลยีในการแพร่ซึมโลหะสังกะสี เพื่อสร้างขั้วโลหะเบสบนระนาบผิวของสิ่งประดิษฐ์
3. วัดลักษณะสมบัติของสิ่งประดิษฐ์และวิเคราะห์ผล
4. สรุปผลและเสนอแนะสิ่งที่ควรจะดำเนินการต่อไป