บทที่ 1

บทนำ

สิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำได้รับความสนใจอย่างกว้างขวางในงานวิจัยทางวิทยาศาสตร์และวิศวกรรมศาสตร์ เริ่มจากเทคโนโลยีของเจอร์เมเนียมและซิลิคอนได้ถูกพัฒนาไปอย่างกว้างขวาง แต่คุณสมบัติของสิ่งประดิษฐ์ที่สร้างจากเจอร์เมเนียมและซิลิคอนมีขีดจำกัดหลายประการ เช่น สมบัติทางแสงที่ไม่สามารถเปล่งแสงได้ และสิ่งประดิษฐ์ที่สร้างจากเจอร์เมเนียมและซิลิคอนไม่สามารถใช้งานในสภาวะที่มีรังสีหรือที่มีอุณหภูมิสูงได้ เป็นต้น จนกระทั่งได้มีการค้นพบสารประกอบกึ่งตัวนำประเภทของกลุ่ม III-V ที่มีสมบัติทางแสงและทางไฟฟ้าที่ดีกว่า โดยเฉพาะแกลเลียมอาร์เซไนด์ได้รับความสนใจจากนักวิทยาศาสตร์และวิศวกรมากที่สุด จึงทำให้เทคโนโลยีของแกลเลียมอาร์เซไนด์ได้ถูกพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วและกว้างขวางกว่าสารประกอบกึ่งตัวนำชนิดอื่นๆ จนได้มีการนำสิ่งประดิษฐ์ที่สร้างจากแกลเลียมอาร์เซไนด์มาประยุกต์ใช้งานด้านต่างๆอย่างแพร่หลายในปัจจุบันนี้ ตัวอย่างเช่น Gunn diode ที่ใช้ในอุปกรณ์กำเนิดสัญญาณไมโครเวฟ High speed digital GaAs MESFET IC ที่ใช้ในคอมพิวเตอร์ความเร็วสูงที่เรียกว่า Supercomputer และ LASER diode ที่ใช้ในระบบสื่อสารทางแสง (Optical Communication) สาเหตุที่ทำให้นักวิจัยให้ความสนใจในแกลเลียมอาร์เซไนด์มากมีดังนี้

1. แกลเลียมอาร์เซไนด์มีช่องว่างแถบพลังงาน (Band gap energy) ที่กว้าง (E_g=1.424 eV[1] ที่ 300 K) ดังนั้นสิ่งประดิษฐ์ที่สร้างจากแกลเลียมอาร์เซไนด์จึงมีความสามารถในการทำงานในสภาวะที่มีอุณหภูมิสูงได้ดี

2. แกลเลียมอาร์เซไนด์มีความคล่องตัวของพาหะสูงและสมบัติการเคลื่อนที่ของพาหะแบบ Hot carrier Transport ที่เกิดขึ้นในโครงสร้างหัวต่อเฮตเตอโร (Heterojunction)[2] ที่มีแกลเลียมอาร์เซไนด์เป็นส่วนประกอบนั้นมีความคล่องตัวของพาหะสูงกว่าโครงสร้างหัวต่อโฮโม (Homojunction) จึงทำให้สิ่งประดิษฐ์ที่สร้างจากแกลเลียมอาร์เซไนด์มีผลตอบสนองที่ความถี่สูงได้ดี โดยเฉพาะสิ่งประดิษฐ์ที่ใช้ในอุปกรณ์สื่อสารในความถี่ไมโครเวฟ

3. ช่องว่างแถบพลังงานในแกลเลียมอาร์เซไนด์เป็นแบบ Direct band gap จึงทำให้แกลเลียมอาร์เซไนด์มีสมบัติเปล่งแสง

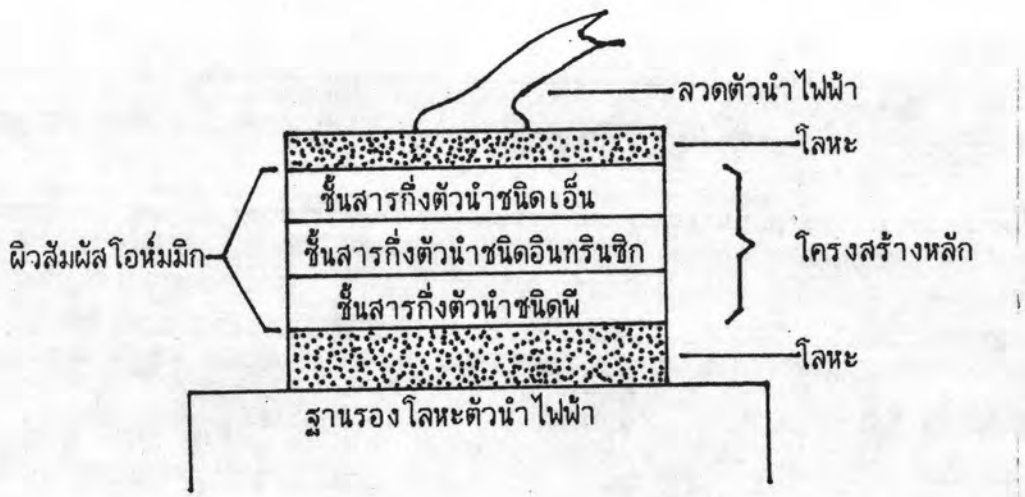
4. คุณสมบัติการแปรเปลี่ยนค่าช่องแถบพลังงาน การแปรเปลี่ยนค่าคงตัวของผลึก (Lattice constant) และการแปรเปลี่ยนดัชนีหักเหของแสง (Reflective index) เมื่อมีการเติมธาตุหมู่ที่ 3 หรือหมู่ที่ 5 ชนิดอื่นที่แตกต่างไปจากแกลเลียมและอาร์เซนิกเข้ากับแกลเลียมอาร์เซไนด์ เช่น อะลูมิเนียม (Al) อินเดียม (In) ฟอสฟอรัส (P) และแอนติโมนี (Sb) ทำให้สามารถสร้างหัวต่อเฮตเตอโร (Heterojunction) ที่มีประสิทธิภาพของการฉีดพาหะที่ดี รวมถึงสมบัติแบบ Carrier confinement และ Optical confilement ในสิ่งประดิษฐ์ที่มีโครงสร้างสร้างหัวต่อเฮตเตอร์โร ทำให้สามารถสร้างสิ่งประดิษฐ์ที่มีสมบัติทางออฟติคอลอิเลคโตรนิก (Optical electronic) ที่ดี ซึ่งเหมาะสมสำหรับการใช้งานในระบบสื่อสารทางแสง และการใช้งานด้านการประมวลภาพ (Image processing)

5. แกลเลียมอาร์เซไนด์มีคุณสมบัติที่เรียกว่า Gunn Effect จึงสามารถใช้เป็นแหล่งกำเนิดความถี่ไมโครเวฟได้

อย่างไรก็ดีเทคโนโลยีของแกลเลียมอาร์เซไนด์ยังมีปัญหาของการเกิดออกไซด์และซัลไฟด์ที่ผิวของแกลเลียมอาร์เซไนด์โดยธรรมชาติ อันเนื่องมาจากความไวต่อการเกิดปฏิกริยากับออกซิเจน ไฮโดรเจน ไฮโดรเจนซัลไฟด์ และไอน้ำในอากาศ จึงเป็นความยุ่งยากของการควบคุมคุณภาพในการสร้างชั้นเอพิแทกซีและการสร้างผิวสัมผัสโลหะบนแกลเลียมอาร์เซไนด์ ดังนั้นการกำหนดคุณสมบัติขั้นพื้นฐานของสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำจึงขึ้นกับ 2 ขั้นตอนต่อไปนี้

1. การสร้างโครงสร้างหลัก หมายถึงการสร้างส่วนที่เป็นสารกึ่งตัวนำซึ่งเป็นส่วนที่แสดงคุณสมบัติหลักของสิ่งประดิษฐ์ ตัวอย่างเช่น ไดโอด จะประกอบขึ้นด้วยชั้นของสารกึ่งตัวนำตั้งแต่ 2 ชั้นขึ้นไป รูปที่ 1.1 นั้นแสดงโครงสร้างของ PIN ไดโอด อันประกอบขึ้นด้วยชั้นที่เป็นชนิดพี ชนิดอินทรินซิก และชนิดเอ็น ส่วนเทคโนโลยีที่ใช้ในการสร้างนั้นอาจจะเป็นเทกนิคของเอพิแทกซี (Epitaxy) หรือการแพร่ซึม (Diffusion) หรือการฝังด้วยไอออน (Ion implatation) ก็ได้

2. การสร้างผิวสัมผัสโอห์มมิก (Ohmic contact) หลังจากการสร้างโครงสร้างหลักแล้ว จำเป็นต้องมีวิธีการดึงหรือป้อนสัญญาณไฟฟ้าในรูปของกระแสหรือแรงดันออกมาใช้งาน เพื่อให้ได้สัญญาณที่เราต้องการออกมาใช้งาน ซึ่งวิธีการนั้นทำได้ไม่ยากนัก โดยการสร้างชั้นโลหะบางบนผิวชั้นนอกสุดของโครงสร้างหลัก จากนั้นจึงต่อสายตัวนำเพื่อนำสัญญาณไฟฟ้าเข้าออกต่อไป ความหมายของผิวสัมผัสโอห์มมิกนั้นหมายถึงผิวสัมผัสที่ไม่มีการฉีดกระแส (Noninjecting) ไม่เรียงกระแส (Nonrectifying) และลักษณะสมบัติกระแส-แรงดันที่เป็นเชิงเส้นทั้งสองทิศทาง ที่สำคัญอีกประการหนึ่งคือผิวสัมผัสแบบโอห์มมิกนั้นต้องมีค่าความต้านทานน้อยกว่าโครงสร้างหลักมากๆ และในทางปฏิบัติผิวสัมผัสโอห์มมิกต้องมีคุณสมบัติที่ไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลาคือมีความเชื่อถือได้ (Reliability) และสามารถสร้างซ้ำได้ (Reproductibility) สิ่งที่สำคัญข้อสุดท้ายคือผิวสัมผัสโอห์มมิกที่ดีควรมีสมบัติที่



รูปที่ 1.1 ตัวอย่างของโครงสร้างไดโอดแบบ PIN

เรียกว่า ความต้านทานการถ่ายเทความร้อน (Thermal impedance) ต่ำ เพื่อความร้อนที่เกิดจากโครงสร้างหลักสามารถถ่ายเทได้ขณะถูกใช้งาน ผิวสัมผัสโอห์มมิกจะมีคุณสมบัติดังกล่าวข้างต้นครบถ้วนหรือไม่นั้น ขึ้นกับความหนาแน่นของพาหะในสารกึ่งตัวนำ ชนิดของสารกึ่งตัวนำ ชนิดของโลหะที่ใช้ในการสร้างผิวสัมผัสโอห์มมิก และเงื่อนไขในการสร้างได้แก่ เงื่อนไขของการเตรียมผิวสารกึ่งตัวนำ เงื่อนไขของการฉาบผิวโลหะลงบนผิวสารกึ่งตัวนำ และเงื่อนไขของเวลา อุณหภูมิ และสภาวะของบรรยากาศที่ใช้ในการแอนนีล เป็นต้น

อิทธิพลของตัวแปรต่างๆที่เป็นตัวกำหนดลักษณะสมบัติของผิวสัมผัสโอห์มมิกนั้นจะกล่าวถึงในบทต่อๆไป ในวิทยานิพนธ์นี้จะศึกษาวิธีการสร้างผิวสัมผัสโอห์มมิกด้วยวิธีการเตรียมผิวด้วยกระบวนการทางเคมีก่อนการฉาบผิวด้วยโลหะ อิทธิพลของเวลาและอุณหภูมิที่ใช้ในการแอนนีลตอนท้ายของการทดลองนี้ได้นำผลที่ได้จากการทดลองไปประยุกต์ใช้ในการทดลองสร้างไดโอดที่สร้างจากแกลเลียมอาร์เซไนด์และอะลูมิเนียมแกลเลียมอาร์เซไนด์