บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปัจจุบันสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำได้เข้ามามีบทบาทสำคัญในชีวิตประจำวันอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ เนื่องจากสมบัติทางไฟฟ้าและทางแสงที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านต่างๆ ได้ ขึ้นกับชนิดของสารกึ่งตัวนำ สิ่งประดิษฐ์เหล่านี้ได้ถูกนำไปใช้ในด้านอิเล็กทรอนิกส์กำลัง , ไมโครอิเล็กทรอนิกส์, นาโนอิเล็กทรอนิกส์, การสื่อสารทางแสง ฯลฯ ส่งผลให้เทคโนโลยีในการผลิตสารกึ่งตัวนำพัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็วเพื่อรองรับกับความต้องการและปรับปรุงคุณสมบัติเฉพาะของสารกึ่งตัวนำนั้นๆ ในอดีตการผลิตส่วนใหญ่มักจะเป็นเทคโนโลยีของ Si ซึ่งมีข้อดีคือเป็นสารกึ่งตัวนำที่มีราคาถูกเนื่องจากทำมาจากทรายซึ่งสามารถหาได้ง่าย แต่ข้อด้อยที่พบคือความคล่องตัวของพาหะที่ต่ำ, เปล่งแสงได้ไม่ดีเนื่องจากมีช่องว่างแถบพลังงานแบบไม่ตรง อีกทั้งในปัจจุบันวงจรรวมที่มีขนาดเล็กลงพบว่าเมื่อมีการย่อขนาดของสิ่งประดิษฐ์ลงสมบัติเฉพาะตัวของซิลิคอนมีการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากปรากฏการณ์ควอนตัม [1] ปัญหาดังกล่าวเป็นแรงผลักดันให้เกิดการพัฒนาสารกึ่งตัวนำชนิดใหม่ สารกึ่งตัวนำชนิดต่างๆ จึงเข้ามามีบทบาทมากขึ้นเพื่อเพิ่ม รองรับกับบทประยุกต์ที่ Si ไม่สามารถตอบสนองได้ เช่น GaAs, InAs, ZnO, GaN ฯลฯ การศึกษาโครงสร้างและสมบัติพื้นฐานของสารกึ่งตัวนำเหล่านี้มีความสำคัญเพื่อให้เกิดความเข้าใจและสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ ได้อย่างเหมาะสม

ZnO เป็นสารประกอบสารกึ่งตัวนำในหมู่ II-VI ที่มีการค้นคว้าวิจัยอย่างมากในปัจจุบันโดยทั่วไป ZnO มีลักษณะเป็นผงสีขาว ไม่ละลาย น้ำ ZnO ถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมเช่น ด้านการแพทย์, ด้านอาหาร, ด้านงานก่อสร้าง ฯลฯ สมบัติทางไฟฟ้าของ ZnO ได้รับความสนใจอย่างมากเนื่องจาก มันเป็นสารประกอบ กึ่งตัวนำที่มีโครงสร้างพื้ นฐานแบบ Hexagonal Wurtzite มีช่องว่างแถบพลังงานแบบตรงและกว้ าง (ค่าประมาณ 3.37 eV) จึงมีแรงดันพังทลายสูง, สามารถทำงานได้ที่อุณหภูมิและความถี่สูง , ถูกรบกวนทางไฟฟ้าได้น้อย, มีสมบัติความเป็น n-type และสามารถถูกเจือโดย MgO หรือ CdO เพื่อปรับค่าช่องว่างแถบพลังงา นให้อยู่ในช่วง ประมาณ 3-4 eV ได้ [2]

ZnO ได้ถูกพัฒนาเป็นสิ่งประดิษฐ์ทางไฟฟ้าและทางแสงหลายชนิดเช่น ขั้วไฟฟ้าโปร่งแสง (transparent conducting electrodes) [3], ทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้า [4], เซนเซอร์แก๊สหลายชนิด [5], field emission devices [6], อุปกรณ์ออปโตอิเล็กทรอนิกส์ [7] ฯลฯ

สารประกอบกึ่งตัวนำที่มีสมบัติใกล้เคียงกับ ZnO คือ GaN ซึ่งมีช่องว่างแถบพลังงาน ≈ 3.4 eV และได้ถูกนำไปใช้ในงานบางชนิดคล้ายกับ ZnO แต่ ZnO ได้เปรียบ GaN หลายประการคือ

1) มีราคาถูกเนื่องจากใช้ในเชิงพาณิชย์อย่างแพร่หลาย
2) มีพลังงานยึดเหนี่ยว exciton ประมาณ 60 meV ซึ่งสูงกว่า GaN ประมาณ 2.4 เท่า (GaN ≈ 25 meV) ซึ่งเป็นสมบัติสำคัญสำหรับสิ่งประดิษฐ์ทางแสง
3) สามารถเข้าสู่กระบวนการทางเคมีแบบเปียกได้
4) มีความคงทนต่อรังสี (radiation damage) มากกว่า Si และ GaAs [8]

จากคุณสมบัติและข้อได้เปรียบข้างต้น ทำ ให้เกิดการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อ สังเคราะห์ ZnO มากมายหลายเทคโนโลยี โดยเน้นการสังเคราะห์นาโน ZnO โดยเทคนิคเช่น vapor-liquid-solid (VLS) [9], thermal evaporation [10], chemical vapor deposition (CVD) [11] และ pulsed laser deposition (PLD) [12]

การสังเคราะห์โครงสร้างนาโนมีความหลากหลายของโครงสร้างดังรายงานการค้นพบในปัจจุบันดังนี้ nanowires [13], nanobelts [14], nanoneedles [15], nanorods [16], tetrapods [17], nanopencils [18], nanopins [19], nanoscrews [20], nanotubes [21], nanopropellers [22] และ nanoribbons [23] แต่ละโครงสร้างมีสมบัติทางแสงและทางไฟฟ้าเฉพาะตัวเช่น Zheng [24] ได้ทำการทดสอบสมบัติ field-emission ของ ZnO โครงสร้างเฉพาะตัวต่างๆ และพบว่า ค่า threshold field และ emission current จะแตกต่างกันตามลักษณะเฉพาะของแต่ละโครงสร้าง

ปัญหาสำคัญที่เป็นอุปสรรคต่อก ารนำ ZnO มาใช้ในเชิงพาณิชย์ ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์มีอยู่ 3 ประการคือ 1) การสังเคราะห์ ZnO ให้เป็นชนิด p โดยธรรมชาติ ZnO เป็นสารชนิด n อุปกรณ์ที่ต้องอาศัยสมบัติ ZnO ชนิด n และ p บนแผ่นฐานเดียวกัน จึงไม่สามารถกระทำได้ สารกึ่งตัวนำอื่นจำเป็นต้องเข้ามามีบทบาทร่วมด้วย 2) กระบวนการผลิตซ้ำแบบเดิมเป็นปัญหาสำคัญโดยเฉพาะโครงสร้างนาโน ZnO การควบคุมการผลิตสามารถทำได้ยาก จำเป็นต้องมีการค้นคว้าเพื่อให้ทราบถึงผลกระทบจากตัวแปรที่เกี่ยวข้อง และ 3) การควบคุมการจัดเรียงตัวของโครงสร้างนาโน ZnO ลงบนแผ่นฐาน ซึ่ง จำเป็นอย่างยิ่งต่อการผลิตแบบขนา น (batch processing) และต่อสิ่งประดิษฐ์บางชนิดเช่น field-emission display โดยทั่วไปแล้วการสร้างแม่พิมพ์ลงบนแผ่นฐานเพื่อการจัดเรียงมีหลายวิธี แต่ละวิธีจะมีความแตกต่าง กันไปขึ้นกับลักษณะงานที่ต้องการ

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

วัตถุประสงค์ของการวิจัยคือการสังเคราะห์โครงสร้างนาโน ZnO ลงบนแผ่นฐาน Si ด้วยกระบวนการขนถ่ายเฟสไอ เพื่อศึกษาถึง ผลกระทบ ของการเปลี่ยนแปลง ก) สารตั้งต้น , ข) ตำแหน่งของแผ่นฐานในเตาปฏิกรณ์ และ ค) ก๊าซปฏิกิริยาที่มีต่อ ZnO ในแง่ของโครงสร้าง , องค์ประกอบทางเคมี , สมบัติทางแสงและทางไฟฟ้าสำหรับการประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมอิเล็กทรอนิกส์ในลำดับต่อไป การสังเคราะห์โครงสร้างนาโน ZnO ใช้เตาปฏิกรณ์แบบขดลวดเดี่ยว , โครงสร้างทางกายภาพถูกศึกษาด้วย SEM และ XRD, องค์ประกอบทางเคมีถูกศึกษาด้ วย EDX, สมบัติทางแสงถูกวัดด้วย PL และสมบัติทางไฟฟ้าถูกศึกษา โดยการวัดลักษณะสมบัติกระแส - แรงดัน

1.3 โครงสร้างของวิทยานิพนธ์

เนื้อหาในลำดับต่อไปของวิทยานิพนธ์ประกอบด้วย บทที่ 2 อธิบายความรู้พื้นฐานของ ZnO เช่น โครงสร้าง , สมบัติทางไฟฟ้า, สมบัติทางแสงและการสังเคราะห์ด้วยกระบวนการขนถ่ายเฟสไอ, บทที่ 3 อธิบายเทคนิคและเครื่องมือที่ใช้ในการสังเคราะห์และการวัดลักษณะสมบัติ, บทที่ 4 อธิบายการทดลองและการวิเคราะห์ผล และบทที่ 5 สรุปผลการทดลอง