บทที่ 1
บทนำ

สารประกอบอินเดียมแกลเลียมอาร์เซไนด์ (Indium Galium Arsenide, $In_xGa_{1-x}As$) เป็นสารประกอบกึ่งตัวนำชนิดหนึ่งที่มีบทบาทสำคัญอย่างมากในงานด้านวิศวกรรมไฟฟ้าในปัจจุบันนอกเหนือไปจากวัสดุชนิดซิลิกอน (Silicon) ซึ่งถูกพัฒนาให้สามารถผลิตได้ในเชิงอุตสาหกรรมจนประสบความสำเร็จไปแล้ว วัสดุอินเดียมแกลเลียมอาร์เซไนด์เริ่มเป็นที่สนใจเป็นครั้งแรกในช่วงต้นทศวรรษที่ 1970 เนื่องจากเป็นสารกึ่งตัวนำที่มีสมบัติที่ดีทั้งทางไฟฟ้าและทางแสง ทำให้มีการศึกษาวัสดุอินเดียมแกลเลียมอาร์เซไนด์เป็นครั้งแรกในรูปของสิ่งประดิษฐ์ไฟฟ้า-แสง (Optoelectronic Devices) สิ่งประดิษฐ์ในระยะเวลานั้นได้แก่ ไดโอดเปล่งแสงที่เปล่งแสงความยาวคลื่น 1.06 μm สร้างโดยวิธีการปลูกผลึกด้วยสถานะไอ (Vapor-Phase Epitaxy) โดยการใช้การไล่ระดับค่าอัตราส่วนอะตอมจากแผ่นฐานแกลเลียมอาร์เซไนด์เพิ่มขึ้นจนถึงค่าที่ต้องการ [1] ต่อมาในช่วงกลางทศวรรษเดียวกันก็ได้มีการใช้วิธีการปลูกผลึกด้วยสถานะของเหลว (Liquid-Phase Epitaxy) สร้างวัสดุแกลเลียมอินเดียมอาร์เซไนด์ฟอสไฟด์ ($Ga_xIn_{1-x}As_yP_{1-y}$) บนแผ่นฐานอินเดียมฟอสไฟด์ (InP) ส่งผลให้มีการปรับปรุงประสิทธิภาพในการส่งผ่านสัญญาณผ่านเส้นใยแก้วนำแสง (Fiber Optic) เพื่อลดการสูญเสีย ในปลายทศวรรษนั้นก็ได้มีการสร้างวัสดุอินเดียมแกลเลียมอาร์เซไนด์บนแผ่นฐานอินเดียมฟอสไฟด์ และนำไปใช้ในการสร้างไดโอดรับแสง (Photodiode) นอกจากนั้นก็ยังมีการสร้างเลเซอร์ไดโอดโดยใช้วัสดุแกลเลียมอินเดียมอาร์เซไนด์ฟอสไฟด์บนแผ่นฐานอินเดียมฟอสไฟด์ สร้างเป็นโครงสร้างรอยต่อต่างชนิดแบบทวิ (Double Heterostructure) ด้วย

งานวิจัยเกี่ยววัสดุอินเดียมแกลเลียมอาร์เซไนด์ในระยะต้นส่วนใหญ่จะสร้างอยู่บนแผ่นฐานอินเดียมฟอสไฟด์ และสร้างได้เฉพาะที่มีค่าอัตราส่วนอะตอมเฉพาะค่าหนึ่งเท่านั้นเพื่อหลีกเลี่ยงภาวะการไม่เข้ากันของผลึก (Lattice Mismatch) เมื่อวิธีการปลูกผลึกได้รับการพัฒนาขึ้น ก็ได้มีการนำเอาวิธีการใหม่ๆ เข้ามาใช้กับวัสดุอินเดียมแกลเลียมอาร์เซไนด์บ้าง วิธีการปลูกผลึกที่เป็นที่สนใจในกลุ่มนักวิจัยได้แก่ วิธีการปลูกผลึกด้วยไออินทรีย์ของโลหะ (Metal-Organic Vapor Phase Epitaxy, MOVPE) และวิธีการปลูกผลึกด้วยลำโมเลกุล (Molecular Beam Epitaxy, MBE) วิธีการปลูกผลึกทั้งสองให้ผลึกที่มีคุณภาพสูง อย่างไรก็ตาม วิธีการปลูกเหล่านี้จำต้องปรับเปลี่ยนเงื่อนไขต่างๆ ไปเมื่อถูกนำไปประยุกต์ใช้กับวัสดุอื่น อันเป็นหัวข้องานวิจัยที่ศึกษากันในช่วงเวลาถัดมา ช่วงต้นทศวรรษ 1980 เริ่มมีการสร้างวัสดุด้วยโครงสร้างพิเศษ ได้แก่ โครงสร้างผลึกยวดยิ่งที่มีความเค้น (Strained-layer Superlattice) ช่วงกลางทศวรรษเดียวกันได้มีการสร้างเลเซอร์ไดโอดชนิดที่มีโครงสร้างควอนตัมเวลล์เป็นชั้นเปล่งแสง โดยมีกระแสขีดเริ่มเปลี่ยน (Threshold Current) ต่ำ และด้วยวิธีการปลูกผลึกทั้งสองนั้นเอง ในปัจจุบันจึงได้มีการศึกษาและสร้างสิ่งประดิษฐ์ด้วยวัสดุ

อินเดียมแกลเลียมอาร์เซไนด์ในรูปแบบต่างๆ มากมาย เช่น ไดโอดรับแสง ตัวตรวจจับแสงชนิดโลหะ-สารกึ่งตัวนำ-โลหะ เลเซอร์ไดโอดชนิดช่องเปล่งแสงแนวตั้ง (Vertical Cavity Surface Emitting Laser, VCSEL) โครงสร้างกำทอนทะลุผ่าน (Resonant Tunelling Structure) โครงสร้างควอนตัมไวร์ (Quantum Wire) และควอนตัมด็อท (Quantum Dot) เป็นต้น

เนื่องจากวัสดุอินเดียมแกลเลียมอาร์เซไนด์ไม่สามารถสร้างในลักษณะผลึกหนา (Bulk) โดยปราศจากจุดบกพร่อง (Defects) บนแผ่นฐานแกลเลียมอาร์เซไนด์ได้ การสร้างวัสดุชนิดนี้จึงเน้นที่โครงสร้างพิเศษที่ประกอบด้วยชั้นอินเดียมแกลเลียมอาร์เซไนด์บางๆ กับวัสดุอื่นที่เข้ากันได้กับแผ่นฐานเท่านั้น การประยุกต์ใช้งานวัสดุอินเดียมแกลเลียมอาร์เซไนด์ในลักษณะดังกล่าวอันหนึ่งก็คือ โครงสร้างควอนตัมเวลล์แบบที่มีความเค้น (Strained Layer Quantum Well, SLQW) ของอินเดียมแกลเลียมอาร์เซไนด์/แกลเลียมอาร์เซไนด์ ชั้นผลึกของอินเดียมแกลเลียมอาร์เซไนด์บางๆ จะถูกสร้างให้อยู่ระหว่างผลึกของแกลเลียมอาร์เซไนด์ สารกึ่งตัวนำทั้งสองนี้มีค่าคงตัวผลึกที่แตกต่างกัน ผลของความแตกต่างของค่าคงตัวผลึกนี้ทำให้เกิดความเค้นขึ้นในชั้นผลึกอินเดียมแกลเลียมอาร์เซไนด์อันเป็นผลให้แถบพลังงาน (Energy Band Structure) ของอินเดียมแกลเลียมอาร์เซไนด์มีลักษณะที่แตกต่างไปจากในสภาวะปกติ ในแง่ของการเปล่งแสงแล้วลักษณะดังกล่าวเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในการสร้างเลเซอร์ไดโอดที่มีคุณสมบัติพิเศษและประสิทธิภาพสูง กระแสขีดเริ่มเปลี่ยนต่ำและเปล่งแสงที่มีความยาวคลื่นในย่านที่เป็นที่นิยมใช้ในการสื่อสารผ่านเส้นใยนำแสง วิธีการควบคุมค่าความยาวคลื่นในการเปล่งแสงของโครงสร้างนี้สามารถกำหนดได้จากค่าอัตราส่วนอะตอมและความหนาของชั้นอินเดียมแกลเลียมอาร์เซไนด์ ดังนั้น เพื่อให้การควบคุมตัวแปรทั้งสองสามารถทำได้อย่างแม่นยำนั้น จำเป็นต้องมีความเข้าใจในอิทธิพลของตัวแปรต่างๆ ในกระบวนการสร้างชั้นผลึกที่มีต่อคุณสมบัติของโครงสร้างอย่างชัดเจน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการศึกษาเงื่อนไขที่สำคัญบางประการที่มีผลต่อคุณภาพของผลึกอินเดียมแกลเลียมอาร์เซไนด์ในโครงสร้างควอนตัมเวลล์ที่สร้างโดยวิธีการปลูกผลึกด้วยลำโมเลกุล อันได้แก่ เงื่อนไขของอุณหภูมิแผ่นฐานขณะทำการปลูก ความกว้างของชั้นเวลล์ การควบคุมอัตราส่วนจำนวนอะตอมอินเดียมและแกลเลียม และการควบคุมความดันลำโมเลกุลของอาร์เซนิก การตรวจสอบจะทำโดยการวัดด้วยวิธีโฟโตลูมิเนสเซนส์ (Photoluminescense) เป็นหลัก สำหรับในวิทยานิพนธ์นี้ บทที่ 2 จะกล่าวถึงความรู้พื้นฐานของวัสดุอินเดียมอาร์เซไนด์ แกลเลียมอาร์เซไนด์ และอินเดียมแกลเลียมอาร์เซไนด์ การปลูกผลึกด้วยลำโมเลกุล กลศาสตร์ควอนตัม และทฤษฎีเกี่ยวกับการวัดด้วยวิธีโฟโตลูมิเนสเซนส์ บทที่ 3 เป็นรายละเอียดของการออกแบบการทดลอง บทที่ 4 เป็นการทดลองที่ได้และการวิเคราะห์ผลการทดลอง บทที่ 5 เป็นสรุปของวิทยานิพนธ์นี้และบทสุดท้ายเป็นข้อเสนอแนะ