หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

แกลเลียมอาร์เซไนด์ (Gallium Arsenide, GaAs) เป็นสารกึ่งตัวนำประเภทสารประกอบซึ่งกำลังมีบทบาทมากขึ้นในวงการอุตสาหกรรมอิเลกทรอนิกส์ อิเล็กโตรอ็อปติค ตลอดจนคอมพิวเตอร์ และมีพัฒนาการด้านเทคโนโลยีในการสร้างสิ่งประดิษฐ์ต่าง ๆ อย่างกว้างขวาง รองลงไปจากซิลิคอน (Si) แม้ว่าจะมีราคาแพงแต่ก็มีข้อเด่นคือ นอกจากจะมีสมบัติที่สามารถให้อุปกรณ์ซึ่งมีประสิทธิภาพเหนือกว่าอุปกรณ์ประเภทเดียวกันซึ่งทำจากซิลิคอนแล้ว ก็ยังนำไปใช้ทำสิ่งประดิษฐ์ หน้าที่พิเศษได้อีกหลายชนิดซึ่งไม่อาจทำจากซิลิคอนได้ด้วย จากการมีประสบการณ์วิจัยในงานสร้างสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำจากซิลิคอนเป็นหลักมานานพอสมควร ห้องปฏิบัติการวิจัยสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จึงได้ริเริ่มโครงการวิจัยเกี่ยวกับแกลเลียมอาร์เซไนด์โดยเฉพาะขึ้นในประเทศไทยเราควบคู่ไปด้วยอีกแขนงหนึ่ง ซึ่งเนื้อหาของวิทยานิพนธ์นี้เป็นเพียงงานเบื้องต้นชิ้นแรกในโครงการดังกล่าว โดยได้ทำการศึกษาถึงการปลูกผลึกแกลเลียมอาร์เซไนด์ในแบบเอพิแทกซีจากเฟสของเหลวโดยใช้ชุดอุปกรณ์แนวดิ่งซึ่งห้องปฏิบัติการฯ ได้รับส่วนประกอบต่าง ๆ มาจากบริษัท เยนเนอรัลอิเลคตริค (General Electrics) แห่งสหรัฐอเมริกา

เอพิแทกซี (1) หมายถึง การปลูกผลึกเดี่ยวเป็นชั้นบาง ๆ บนพื้นผิวระนาบของผลึกเดี่ยวที่ถูกเตรียมไว้ซึ่งเรียกว่า ซับสเตรต (substrate) โดยที่อะตอมของชั้นผลึกที่ปลูกขึ้นมาใหม่เลียนแบบอย่างการจัดตัวของอะตอมของซับสเตรต ถ้าชั้นผลึกที่ปลูกขึ้นและซับสเตรต เป็นสารชนิดเดียวกัน เราเรียกว่าเป็นการปลูกแบบโฮโมเอพิแทกซี (homoepitaxy) แต่ถ้าเป็นสารต่างชนิดกันก็เรียกว่าเป็นการปลูกแบบเฮตเตอโรเอพิแทกซี (heteroepitaxy) แม้ว่าการปลูกผลึกในลักษณะนี้จะไม่ได้เนื้อเป็นกอบเป็นกำดังเช่นการปลูกผลึกในรูปแบบของการได้ผลึกก้อนโต ๆ (bulk growth) จากผลึกก้อนเล็ก ๆ หรือจากการที่ไม่มีผลึกเริ่มต้นอยู่เลยก็ตาม แต่เมื่อมองในด้านการประยุกต์ทางการทำสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำแล้วมันมีข้อได้เปรียบคือ

1. มักเป็นการปลูกผลึกที่อุณหภูมิต่ำกว่า ความสมบูรณ์และความบริสุทธิ์ของชั้นผลึกที่

ปลูกขึ้น จึงย่อมเหนือกว่าผลึกซึ่งปลูกขึ้นในลักษณะหลัง ทั้งนี้ก็เนื่องจากความสำคัญของเอนโทรปี (entropy) หรือความไร้ระเบียบ ซึ่งเพิ่มขึ้นกับอุณหภูมิ นอกจากนี้การปลูกผลึกที่อุณหภูมิต่ำกว่ายังสามารถหลีกเลี่ยงปัญหาซึ่งเกิดขึ้นกับการปลูกผลึกสารกึ่งตัวนำที่อุณหภูมิสูงในกรณีซึ่งมีความดันไอสูงมากในระบบ ดังเช่นการปลูกผลึกของอัลลอยส์ (alloys) ของสารประกอบ III-V ซึ่งมีฟอสฟอรัสรวมอยู่ด้วย เป็นต้น

2. ชั้นผลึกซึ่งนิยมปลูกแบบเอพิแทกซีมักจะเป็นสารประกอบหรืออัลลอยส์ซึ่งไม่หลอมเหลวหรือระเหยโดยที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงสัดส่วนขององค์ประกอบ (composition) ดังนั้นการปลูกผลึกในลักษณะให้ได้ผลึกก้อนโต ๆ มักจะให้ส่วนผสมที่ไม่ถูกต้อง และอาจเปลี่ยนแปรในทิศทางการปลูกผลึกได้มาก ซึ่งปัญหานี้จะบรรเทาลงได้เมื่อทำการปลูกแบบเอพิแทกซี

3. การออกแบบสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำหลายชนิด มีเจตนาซึ่งต้องการโครงสร้างที่เป็นชั้นผลึกบาง ๆ ซ้อน ๆ กันหลาย ๆ ชั้น

โดยพื้นฐานเอพิแทกซีแบ่งออกเป็น 3 แบบ ขึ้นกับตัวกลางซึ่งอะตอมหรือโมเลกุลเคลื่อนที่ผ่านเพื่อไปเสริมโครงสร้างยังผิวของผลึก กล่าวคือเรามีเอพิแทกซีเฟสของเหลว (liquid-phase epitaxy, LPE)(2) เอพิแทกซีเฟสไอ (vapor-phase epitaxy, VPE)(3) ซึ่งรวมถึงเอพิแทกซีลำโมเลกุล (molecular beam epitaxy, MBE)(4) และในแบบสุดท้ายคือ เอพิแทกซีเฟสของแข็ง (solid-phase epitaxy, SPE) (5) เป็นที่ยอมรับกันว่าสำหรับ LPE นั้น อุปกรณ์ที่ใช้ไม่ซับซ้อนยุ่งยากกว่าผลึกที่ปลูกขึ้นได้มีคุณภาพดีกว่าผลึกที่ปลูกโดยเอพิแทกซีแบบอื่น (6) อย่างไรก็ดีมันก็มีข้อเสียอยู่หลายประการและที่สำคัญคือ มักมีปัญหาในการควบคุมความเรียบของพื้นผิว และความสม่ำเสมอของความหนาของชั้นผลึกที่ปลูกขึ้น และในบางระบบมีปัญหาในการควบคุมความหนาที่น้อย ๆ ตามต้องการ สิ่งเหล่านี้ถ้าเราไม่สามารถควบคุมได้แล้วก็จะเป็นการยากที่จะสร้างสิ่งประดิษฐ์ที่มีประสิทธิภาพสูงได้ ตัวอย่างเช่นในการสร้างทรานซิสเตอร์สนามไฟฟ้า (field-effect transistor, FET) ที่ต้องการความหนาของช่องทางผ่าน (channel) 0.3 ไมครอน ความหนาที่ผิดเพี้ยนไป $\pm$ 0.1 ไมครอน จะนำมาซึ่งความแตกต่างของ pinch-off voltage มากกว่า $\pm$ 60% ผลเสียจะยิ่งเห็นได้ชัดสำหรับสิ่งประดิษฐ์ซึ่งจำเป็นต้องมีการปลูกผลึกทับกันหลาย ๆ ชั้น (multilayer) ในกรณีของดับเบิลเฮตเตอโรสตรัคเจอร์ไดโอดเลเซอร์ (double-heterostructure diode lasers) รอยต่อระหว่างชั้นผลึกที่ไม่เรียบ นอกจากจะทำให้เกิดการสูญเสียประสิทธิภาพโดยตรงเนื่องจากการกระเจิงของ

ลำแสงแล้วยังอาจเป็นสิ่งนำมาซึ่งศูนย์กลางการรวมตัว (recombination centers) ในแบบซึ่งลดความเข้มของแสงที่เปล่งออกมา (7)

แม้ทราบว่าจะมีข้อจำกัดอยู่มาก กล่าวคือ ในวิวัฒนาการล่าสุดของ LPE ระบบที่นิยมใช้ในปัจจุบัน และสามารถลดปัญหาทั้งหลายลงได้มากเป็นระบบชุดอุปกรณ์แนวนอน แต่สำหรับห้องปฏิบัติการฯ แล้ว การศึกษาปัญหาพื้นฐานเช่นนั้นย่อมเป็นสิ่งจำเป็นต่อการจะใช้อุปกรณ์แนวดิ่ง ซึ่งมีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุดต่อไปในอนาคต งานหลักของการวิจัยครั้งนี้จำกัดอยู่เฉพาะการศึกษาเงื่อนไขในการควบคุมลักษณะสัณฐานของพื้นผิว (surface morphology) และความสม่ำเสมอของความหนาของชั้นผลึกแกลเลียมอาร์เซไนด์ ซึ่งทำการปลูกขึ้นแบบโฮโมเอพิแทกซีที่อุณหภูมิใกล้เคียง 800°ซ ด้วยชุดอุปกรณ์ดังกล่าวโดยไม่มีเจตนาใส่สารเจือปนใด ๆ ซับสเตรตส่วนใหญ่ที่ใช้เป็นแกลเลียมอาร์เซไนด์ชนิดเอ็น (n-type) โด๊ปด้วยซิลิคอน และมีผิวหน้าเกือบจะเป็นระนาบ {100} โดยทำมุม 2° เบี่ยงเบนเข้าหาทิศ <110>

จะได้กล่าวทบทวนถึงสมบัติของแกลเลียมอาร์เซไนด์ ซึ่งทำให้มันเป็นที่น่าสนใจในบทที่ 2

สำหรับทฤษฎี ตลอดจนเทคนิคและวิธีการต่าง ๆ ในการปลูกผลึกแบบเอพิแทกซีเฟสของเหลว จะได้กล่าวในบทที่ 3

ในบทที่ 4 จะเป็นการอธิบายถึงรายละเอียดของชุดอุปกรณ์และขั้นตอนการเตรียมการปลูกผลึก

ในบทที่ 5 จะได้แสดงถึง ผลทางสภาพผลึก องค์ประกอบ ลักษณะพื้นผิว และความสม่ำเสมอของความหนา สุดท้ายจะเป็นการวัดสมบัติทางไฟฟ้าของชั้นผลึกที่ปลูกขึ้น

ในบทที่ 6 จะเป็นการสรุปผลการทดลอง และ ข้อเสนอแนะ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย