รายการอ้างอิง

1. Pallab Bhattacharya. ***Properties of Lattice-Matched and Strained Indium Galluim Arsenide.*** INSPEC, the Institution of Electrical Engineers, London, p. -viii- (Foreword).
2. Pallab Bhattacharya. ***Properties of Lattice-Matched and Strained Indium Galluim Arsenide.*** INSPEC, the Institution of Electrical Engineers, London, p. 3.
3. S. Adachi. ***J. Appl. Phys. (USA).*** vol. 53 (1982) p. 8775-92.
4. O. Madelung. ***Landolt-Bornstein Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology.*** vol. 22 (Springer-Verlag, 1987), p. 82-97.
5. O. Madelung. ***Landolt-Bornstein Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology.*** vol. 22 (Springer-Verlag, 1987), p. 117-123.
6. O. Madelung. ***Landolt-Bornstein Numerical Data and Functional Relationships in Science and Technology.*** vol. 22 (Springer-Verlag, 1987), p. 142-144.
7. J.P. Loehr. ***Theoretical Studies of Pseudomorphic Quantum Well Optoelectronic Devices.*** University of Michigan, Ph.D. Thesis, 1991.
8. Pallab Bhattacharya. ***Properties of Lattice-Matched and Strained Indium Galluim Arsenide.*** INSPEC, the Institution of Electrical Engineers, London, p. 9.
9. Y. Horikoshi, M. Kawashima, H. Yamaguchi. ***Migration-Enhanced Epitaxy of GaAs and AlGaAs.*** J.J. Appl. Phys., vol. 27, no. 2, Feb 1998, pp. 169-179.
10. Leonard I. Schiff. ***Quantum Mechanics.*** McGraw-Hill Inc., second edition, 1949.
11. Terrence J. Akai. ***Applied Numerical Methods for Engineers.*** John Wiley & Sons, Inc., 1994, p. 124.
12. Beng Streetman. ***Solid State Electronic Devices.*** forth edition, 1995, pp. 41.
13. S. Adachi. ***Heterojunctions of InGaAs and band offsets.*** Properties of Lattice-Matched and Strained Indium Gallium Arsenide, ed. P. Bhattacharya, INSPEC., p. 84.
14. Pallab Bhattacharya. ***Semiconductor Optoelectronic Devices.*** Prentice-Hall, Inc., 1994, p. 134.
15. Pallab Bhattacharya. ***Semiconductor Optoelectronic Devices.*** Prentice-Hall, Inc., 1994, p. 27.
16. คุสิต เครืองาม. ***โซลิดสเตทฟิสิกส์.*** บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น จำกัด, พ.ศ. 2521, หน้า 396.
17. Pallab Bhattacharya. ***Semiconductor Optoelectronic Devices.*** Prentice-Hall, Inc., 1994, p. 259.

18. T. Hayakawa, M. Nagai, H. Horie, Y. Niwata. ***Effects of growth temperature and substrate misorientation in InGaAs/GaAs strained quantum wells grown my MBE.*** J. Crystal Growth, 127(1993), pp. 532-535.

19. RIBER. ***MBE 32 Operator's Guide Instruction Manual.*** (Doc. Code: N ° 608 350 22 G), pp. 82.

20. A. Y. Cho. ***Morphology of Epitaxial Growth of GaAs by a Molecular Beam Method: The Observation of Surface Structures.*** J. Appl. Phys., vol. 41, no. 7, June 1970.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การเผยแพร่ผลงานวิจัย

ณัฐชัย สร้อยมาตี สุวัฒน์ ไสภิตพันธ์ สมชัย รัตนธรรมพันธ์ และสมศักดิ์ ปัญญาแก้ว, ***โฟโตลูมิเนสเซนส์ของควอนตัมเวลล์อินเดียมแกลเลียมอาร์เซไนด์/แกลเลียมอาร์เซไนด์ (Photoluminescense of InGaAs/GaAs Quantum Well).*** การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 20 (20th Electrical Engineering Conference, EECON-20), vol. 3, pp. 485.
วันที่ 13-14 พฤศจิกายน 2540 ณ โรงแรมโซลทวิน ทาวเวอร์ ถนนพระราม 6 ตัดใหม่ กรุงเทพฯ

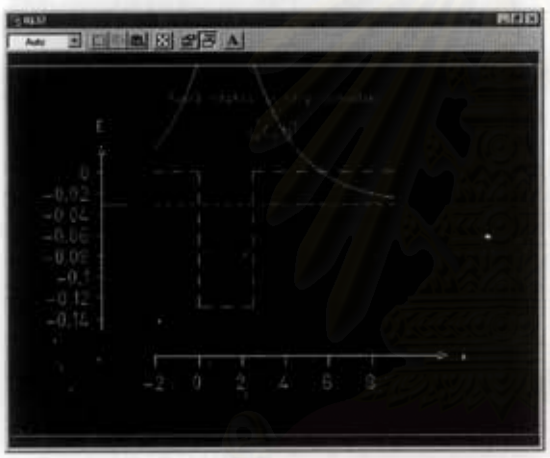
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก.

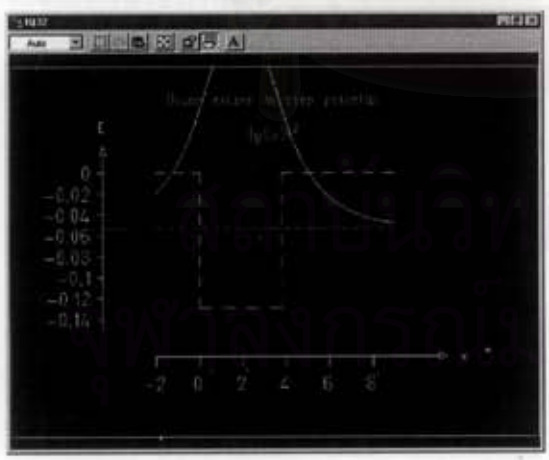
ภาพผลการจำลองโครงสร้างควอนตัมเวลล์
ของอินเดียมแกลเลียมอาร์เซไนด์/แกลเลียมอาร์เซไนด์

แสดงฟังก์ชันความน่าจะเป็นในการพบอิเล็กตรอน ($|\psi|^2$) เฉพาะโครงสร้างควอนตัมเวลล์ที่แถบนำไฟฟ้า แกนตั้งหน่วย eV แกนนอนหน่วย nm คิดความลึกของเวลล์ที่แถบนำไฟฟ้าเป็น 60% ของความแตกต่างของความกว้างแถบพลังงานต้องห้ามระหว่างอินเดียมแกลเลียมอาร์เซไนด์และแกลเลียมอาร์เซไนด์

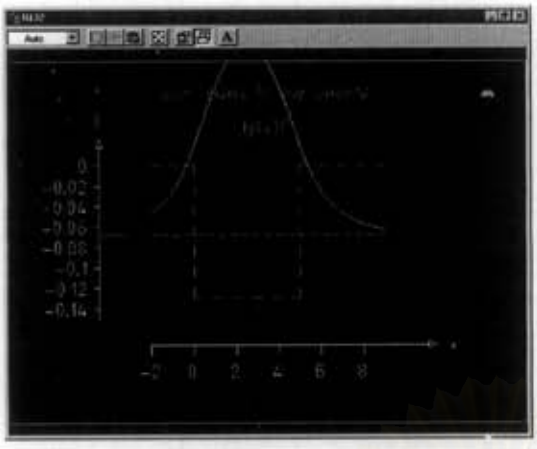
1. เมื่อทำการแปรเปลี่ยนความกว้างเวลล์



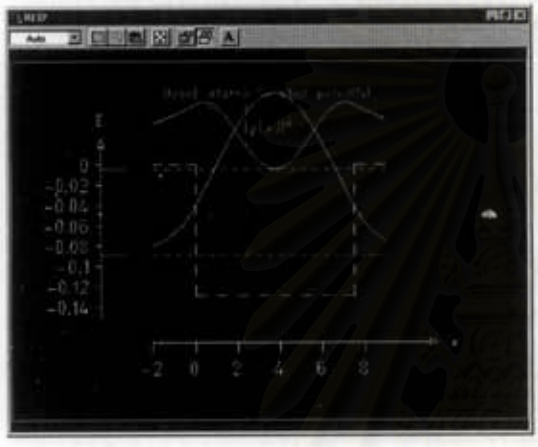
เวลล์กว้าง 25 Å ลึก 0.1287 eV (x = 0.2)



เวลล์กว้าง 38 Å ลึก 0.1287 eV (x = 0.2)

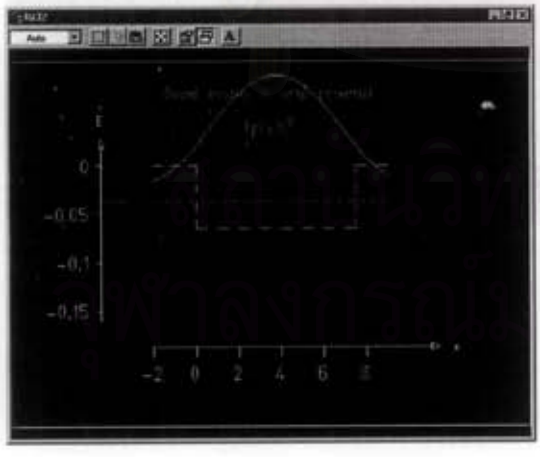


เวลล์กว้าง 50 Å ลึก 0.1287 eV (x = 0.2)

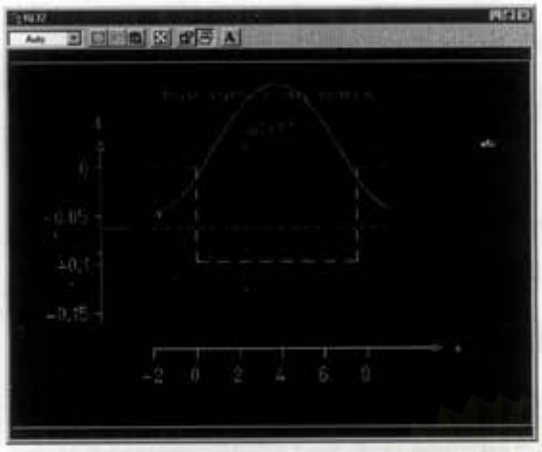


เวลล์กว้าง 75 Å ลึก 0.1287 eV (x = 0.2)

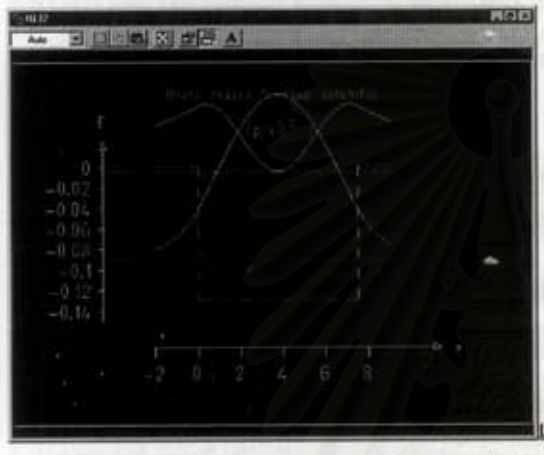
2. เมื่อทำการแปรเปลี่ยนค่าอัตราส่วนอะตอม หรือ การแปรเปลี่ยนความลึกของเวลล์



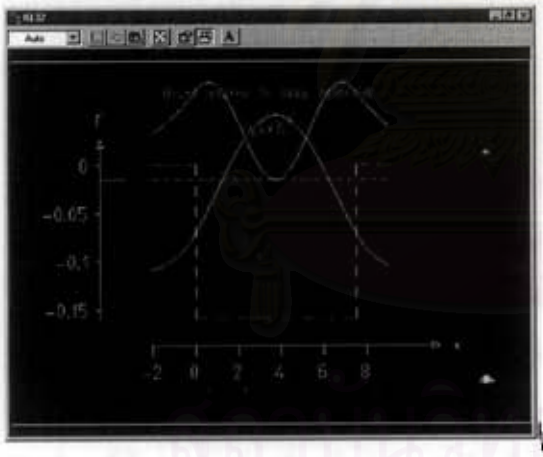
เวลล์กว้าง 75 Å ลึก 0.0653 eV (x = 0.1)



เวลล์กว้าง 75 Å ลึก 0.0977 eV (x = 0.15)



เวลล์กว้าง 75 Å ลึก 0.1287 eV (x = 0.2)



เวลล์กว้าง 75 Å ลึก 0.1582 eV (x = 0.25)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

การปลูกผลึกด้วยวิธีการปลูกผลึกด้วยลำโมเลกุล (Molecular Beam Epitaxy, MBE)

ระบบปลูกผลึกด้วยลำโมเลกุลที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 2 ใช้สำหรับปลูกเฉพาะชั้นผลึกที่สร้างบนแผ่นฐานแกลเลียมอาร์เซไนด์ ชั้นผลึกดังกล่าว ได้แก่ ชั้นแกลเลียมอาร์เซไนด์ ชั้นแกลเลียมอลูมิเนียมอาร์เซไนด์ ชั้นอินเดียมแกลเลียมอาร์เซไนด์ หรือแม้กระทั่งการศึกษาการสร้างชั้นแกลเลียมอาร์เซไนด์บนแผ่นฐานซิลิกอนก็ทำได้ ทั้งนี้ขึ้นกับวัสดุที่บรรจุอยู่ในเซลแต่ละเซล ในที่นี้ระบบดังกล่าวบรรจุสารอาร์เซนิก แกลเลียม อลูมิเนียม อินเดียม และซิลิกอน (สารเจือชนิด n)

กระบวนการปลูกผลึกบนแผ่นฐานแกลเลียมอาร์เซไนด์มีลำดับขั้นต่างๆ ดังนี้

ก. การเตรียมแผ่นฐาน

แผ่นฐานที่ได้นำออกจากกล่องที่บรรจุนับได้ว่ามีความสะอาดในระดับหนึ่ง เมื่อตัดแบ่งแผ่นฐานให้ได้ตามขนาดที่ต้องการแล้วก็นำไปล้างด้วยกระบวนการล้างตามปกติ ได้แก่ การนำแผ่นฐานไปต้ม (หรือปั่นในเครื่องปั่นอุลตร้าโซนิก) ในไตรคลอโรเอทธิลีน อะซิโตน และเมทธิลแอลกอฮอล์ อย่างละอย่างน้อย 5 นาที ตามลำดับ จากนั้นอาจเก็บรักษาไว้โดยแช่ไว้ในเมทธิลแอลกอฮอล์ หรือหากจะนำไปใช้ก็เป่าให้แห้งด้วยไนโตรเจน แล้วให้รีบนำเข้าบรรจุในห้องบรรจุของระบบปลูกผลึกทันที

ข. การติดแผ่นฐานกับบล็อกโมลิบดินัม

บล็อกโมลิบดินัมจะเป็นฐานให้แก่แผ่นฐาน ก้านจับของระบบปลูกผลึกสามารถเกี่ยวส่วนที่เป็นเขี้ยวของบล็อกโมลิบดินัมนี้ได้พอดี การติดแผ่นฐานกับบล็อกโมลิบดินัมจะขึ้นอยู่กับชนิดของบล็อกโมลิบดินัม บล็อกชนิดปราศจากอินเดียม (Indium Free Block) จะถูกออกแบบมาให้สามารถยึดแผ่นฐานกับบล็อกได้ด้วยวิธีทางกล ส่วนบล็อกโมลิบดินัมธรรมดาจะต้องใช้อินเดียมหลอมเหลวทาที่บล็อกแล้วนำเอาแผ่นฐานมาติด แผ่นฐานจะติดอยู่บนบล็อกด้วยแรงตึงผิวของของเหลวอินเดียม ข้อเสียของบล็อกธรรมดาก็คือหลังจากปลูกชั้นผลึกเสร็จแล้ว ชิ้นงานที่ได้จะเปื้อนอินเดียมที่ด้านหลัง ต้องกัดหรือฝนคราบอินเดียมทิ้งก่อนนำไปผ่านกระบวนการถัดไป

ค. การบรรจุบล็อกที่มีแผ่นฐานเข้าระบบปลูกผลึก

เมื่อนำเอาบล็อกเข้าบรรจุกับรถเลื่อนแล้วก็เปิดห้องบรรจุแล้วนำระเลื่อนเข้าประกอบกับรางภายในห้องบรรจุนั้น จากนั้นก็ปิดห้องบรรจุแล้วดูดอากาศออกจากห้องบรรจุด้วยปั๊มไดอะแฟรมและปั๊มดูดซับตามลำดับ จนกระทั่งความดันอากาศภายในห้องลดต่ำลงได้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ แล้วจึงเปิดประตูระหว่างห้องบรรจุและห้องเตรียมแผ่นฐานอย่างช้าๆ รอให้ความดันอากาศของห้องทั้งสองปรับตัวจนเท่ากัน แล้วจึงสามารถเลื่อนรถเลื่อนไปมาระหว่างห้องต่างๆ ได้

ง. การเตรียมแผ่นฐานภายในห้องเตรียมแผ่นฐาน

เมื่อรถเลื่อนอยู่ภายในห้องเตรียมแผ่นฐานแล้วก็ใช้ก้านจับนำเอาบล็อกที่มีแผ่นฐานไปติดที่ตัวทำความร้อนภายในห้องเตรียมแผ่นฐานนั้น การทำความสะอาดแผ่นฐานที่ห้องนี้ทำได้ด้วยการควบคุมตัวทำความร้อนให้เพิ่มอุณหภูมิแก่แผ่นฐานและบล็อกอย่างช้าๆ จนกระทั่งอุณหภูมิถึง 500° C แล้วทิ้งไว้อย่างน้อย 1 ชั่วโมง เพื่อเป็นการทำความสะอาดให้อนุภาคต่างๆ หลุดออกไปจากผิวหน้าแผ่นฐาน จากนั้นก็ลดอุณหภูมิลงเพื่อเตรียมนำเข้าห้องถัดไป

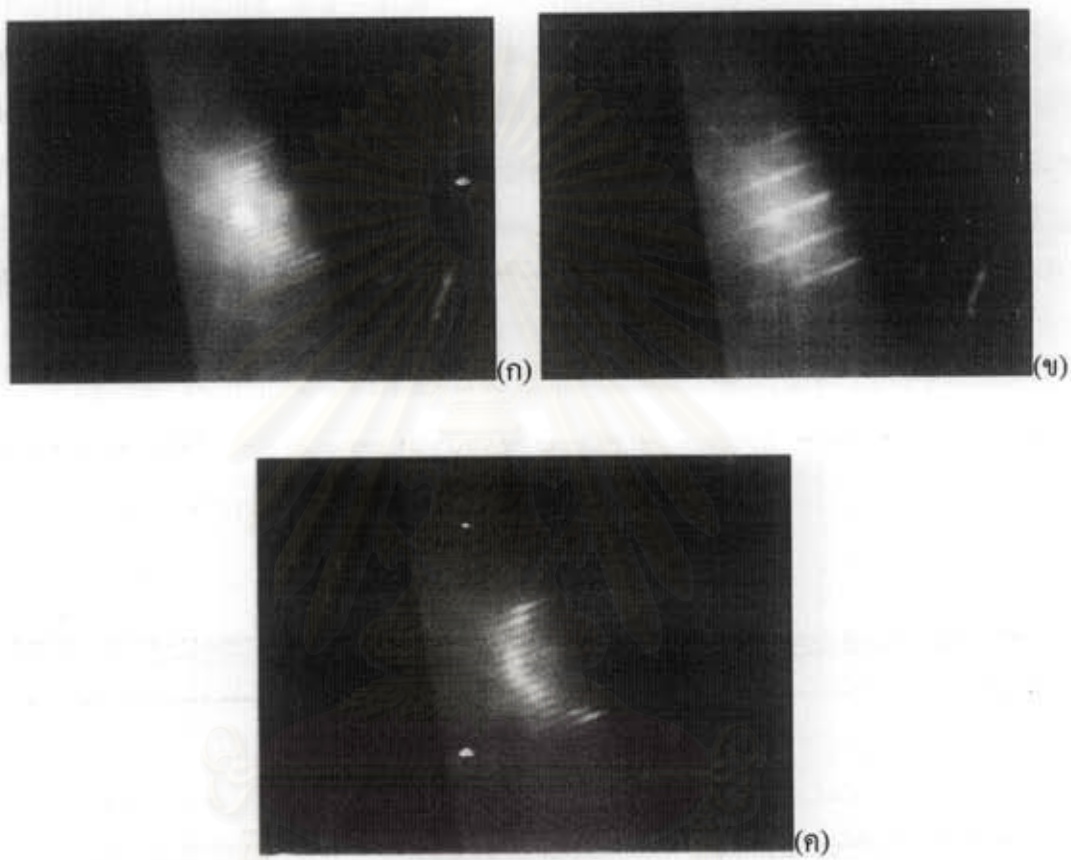
จ. การนำแผ่นฐานเข้าห้องปลูกผลึก

เมื่อทำความสะอาดแผ่นฐานเสร็จก็สามารถนำแผ่นฐานเข้าห้องปลูกผลึกได้ทันที โดยการนำแผ่นฐานเข้าสู่รถเลื่อนอีกคันหนึ่งที่ประจำอยู่ในห้องเคลื่อนย้าย เพื่อให้การดำเนินงานเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพอาจทิ้งแผ่นฐานไว้ในระเลื่อนนี้ชั่วคราวได้ เมื่อนำแผ่นฐานเข้ามาในห้องนี้แล้วก็ใช้ก้านจับในห้องเคลื่อนย้ายนี้จับเอาบล็อกที่ต้องการปลูกแล้วเลื่อนเข้าไปติดกับมือจับ (Manipulator) ภายในห้องปลูกผลึกเพื่อทำการปลูกผลึกต่อไป

ฉ. การเพิ่มอุณหภูมิแผ่นฐานภายในห้องปลูกผลึก

ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่จำเป็นอย่างมากต่อการวัดอุณหภูมิที่แท้จริงของแผ่นฐาน เนื่องจากถึงแม้ที่มือจับจะมีตัวตรวจวัดอุณหภูมิ (Thermocouple) อยู่ด้วย แต่อุณหภูมิที่วัดได้นั้นก็เป็นเพียงอุณหภูมิของมือจับและบริเวณของบล็อกที่อยู่ใกล้ๆ ตัววัดเท่านั้น อุณหภูมิที่แผ่นฐานจะแตกต่างจากอุณหภูมิที่อ่านได้นี้ซึ่งขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ หลากหลาย เช่น ชนิดของบล็อก ความจุความร้อนของบล็อกแต่ละอัน (ซึ่งไม่เท่ากันขึ้นกับการใช้งานบล็อกนั้นๆ) ความหนาของอินเดียมที่ใช้ติดแผ่นฐานกับบล็อก ตำแหน่งของบล็อก ปริมาตรของแผ่นฐาน เป็นต้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องหาอุณหภูมิอ้างอิง วิธีที่ง่ายที่สุดได้แก่การใช้อุณหภูมิการสลายตัวของชั้นออกไซด์ดั้งเดิม (Native Oxide) ที่อยู่บนผิวหน้าแผ่นฐานแกลเลียมอาร์เซไนด์เป็นจุดอ้างอิง โดยปกติแผ่นฐานที่นำมาถึงขั้นตอนนี้จะยังคงมีชั้นออกไซด์ดั้งเดิมบางๆ ปกคลุมอยู่เสมอ ชั้นออกไซด์ดังกล่าวเป็นออกไซด์ของแกลเลียม (Gallium Oxide) ที่ไม่เป็นผลึกและมีเสถียรภาพสูงมาก แต่จะสลายตัวอย่างทันทีทันใดที่อุณหภูมิ 580 °C วิธีการตรวจดูชั้นออกไซด์ทำได้โดยสังเกตจากแผนภาพ RHEED เมื่อแผ่นฐานถูกนำมาติดกับมือจับภายในห้องปลูกผลึกและเพิ่มอุณหภูมิเซลต่างๆ ไปถึงอุณหภูมิใช้งานของแต่ละเซลแล้วก็เริ่มเพิ่มอุณหภูมิแผ่นฐานอย่างช้าๆ ภายใต้บรรยากาศของอาร์เซนิก (Arsenic Atmosphere) โดยการเปิดเซลล์อาร์เซนิกและชัตเตอร์หลัก (Main Shutter) ไว้ วิธีนี้เรียกว่า สมดุลอาร์เซนิก (Arsenic Stabilizer) ไออาร์เซนิกจะปกคลุมที่ผิวหน้าแผ่นฐานทำให้เกิดสมดุลระหว่างการระเหยของผิวหน้าแผ่นฐานแกลเลียมอาร์เซไนด์และการก่อตัวใหม่ของแกลเลียมและอาร์เซนิกเป็นแกลเลียมอาร์เซไนด์ ทำให้ผิวหน้าของแกลเลียมอาร์ไนด์ไม่เสียไป หากสังเกตแผนภาพ RHEED ที่อุณหภูมิต่ำกว่า 580 °C จะเห็นภาพขมุกขมัว หรือเป็นครึ่งวงกลมรอบจุดตกกระทบของลำอิเล็กตรอน ต่อเมื่ออุณหภูมิจริงมีค่าถึง 580 °C จะปรากฏภาพ RHEED เป็นริ้วๆ ชัดเจน และปรากฏขึ้นมาอย่างรวดเร็ว

ดังนั้นในการเพิ่มอุณหภูมิแผ่นฐานจะต้องสังเกตแผนภาพ RHEED อย่างระมัดระวัง เมื่อเห็นภาพ RHEED เป็นเส้นชัดเจนให้บันทึกอุณหภูมิที่อ่านได้ไว้ อุณหภูมินั้นจะตรงกับค่า 580°C และให้นำผลต่างระหว่างอุณหภูมิทั้งสองไปหักลบจากอุณหภูมิที่อ่านได้จากตัวตรวจวัดอุณหภูมิที่มือจับ ค่าที่ได้จะเป็นอุณหภูมิที่แท้จริงของแผ่นฐาน ตัวอย่างแผนภาพ RHEED ที่ได้จากแผ่นฐานแกลเลียมอาร์เซไนด์แสดงอยู่ในรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แผนภาพ RHEED ของแผ่นฐานแกลเลียมอาร์เซไนด์

ช. การนำแผ่นฐานออกจากระบบปลูกผลึก

เมื่อปลูกผลึกเสร็จก็ให้นำเอาบล็อกออกย้อนจากกระบวนนำบล็อกเข้าไป โดยไม่ต้องทำความสะอาดแผ่นฐานที่ห้องเตรียมแผ่นฐานอีก

ประวัติผู้วิจัย

นายณัฐชัย สร้อยมาดี เกิดเมื่อวันที่ 1 กรกฎาคม พ.ศ. 2517 ที่วชิรพยาบาล ราชวัตร กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาตอนปลายจากโรงเรียนสวนกุหลาบวิทยาลัย สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต จากภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2538 ได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญามหาบัณฑิต หลักสูตรวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำ ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2539 มีความสนใจและได้ทำงานวิจัยเกี่ยวกับการปลูกผลึกด้วยลำโมเลกุล และเลือกทำวิทยานิพนธ์ในเรื่องการศึกษาโครงสร้างควอนตัมเวลล์ของอินเดียมแกลเลียมอาร์เซไนด์/แกลเลียมอาร์เซไนด์ที่สร้างโดยวิธีการปลูกผลึกด้วยลำโมเลกุล

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย