บทที่ 3

การทดลอง

การศึกษาสมบัติของโครงสร้างควอนตัมเวลล์อินเดียมแกลเลียมอาร์เซไนด์/แกลเลียมอาร์เซไนด์ โดยเฉพาะสมบัติทางแสง และเงื่อนไขที่สำคัญในการสร้างโครงสร้างควอนตัมเวลล์ที่อยู่ในขอบเขตของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สามารถแบ่งเป็นหัวข้อได้ดังนี้

3.1 การหาเงื่อนไขของอุณหภูมิแผ่นฐาน

เนื่องจากอะตอมของอินเดียมจะถูกคายออกจากผิวหน้าของแผ่นฐานได้มากเมื่ออุณหภูมิของแผ่นฐานสูง หรือกล่าวได้ว่า แผ่นฐานมีอัตราการคาย (Desorbtion Rate) อะตอมอินเดียมสูงที่อุณหภูมิสูง [18] ดังนั้นอุณหภูมิแผ่นฐานจึงมีผลต่ออัตราส่วนอะตอมของชั้นอินเดียมแกลเลียมอาร์เซไนด์ และมีผลต่อความลึกของเวลล์ ในการศึกษาเงื่อนไขของอุณหภูมิแผ่นฐานที่มีผลกระทบต่อโครงสร้างควอนตัมเวลล์จึงทำได้ด้วยการสร้างชิ้นงานตัวอย่างที่มีโครงสร้างควอนตัมเวลล์เดี่ยว (Single Quantum Well) ของอินเดียมแกลเลียมอาร์เซไนด์/แกลเลียมอาร์เซไนด์ ณ อุณหภูมิแผ่นฐาน 480, 510, 540, 570 และ 600 °C โดยการคงตัวแปรอื่นๆ ได้แก่ ค่าความกว้างของเวลล์ ความดันของลำโมเลกุล (Flux Pressure) ของเซลล์อินเดียม แกลเลียม และอาร์เซนิกเอาไว้ แล้วนำแผ่นฐานที่สร้างได้ไปวัดด้วยวิธีโฟโตลูมิเนสเซนส์เพื่อศึกษาระดับพลังงานควอนไตซ์ภายในเวลล์แต่ละชั้น

การออกแบบโครงสร้าง เริ่มต้นด้วยการกำหนดอัตราการปลูกผลึก (Growth Rate) ไว้ประมาณ 0.9 μm/hr จากนั้นคำนวณความดันลำโมเลกุลของเซลล์แกลเลียมโดยความสัมพันธ์เชิงเส้นที่ปรับเทียบมาโดยบริษัท RIBER ดังนี้

"อัตราการปลูกผลึกแกลเลียมอาร์เซไนด์ที่ได้เมื่อใช้ความดันลำโมเลกุลของเซลล์แกลเลียม 7×10^{-7} torr ได้แก่ 1.3 μm ต่อชั่วโมง โดยปกติความดันลำโมเลกุลของอาร์เซนิกที่เหมาะสมจะมีค่าเป็น 20 เท่าของแกลเลียม ดังนั้นความดันลำโมเลกุลของอาร์เซนิกที่ใช้จะมีค่าประมาณ 1.5×10^{-5} torr" [19]

เมื่อกำหนดอัตราการปลูกผลึกโดยประมาณได้แล้วก็คำนวณความดันโมเลกุลของแกลเลียมและอาร์เซนิกได้ดังนี้

$$P_{Ga} = \frac{\text{Growth Rate} \times 7 \times 10^{-7}}{1.3 \mu m}$$

$$P_{As} \approx 20 \times P_{Ga}$$

จากการคำนวณดังกล่าวจะได้ $P_{Ga} = 4.9 \times 10^{-7}$ torr และ $P_{As} = 1 \times 10^{-5}$ torr

การคำนวณความดันไมเลกุลของอินเดียมทำได้โดยคำนวณตามสมการ

$$P_{In} = P_{Ga} \times \frac{x}{1-x} \times \frac{\text{ค่าความไวของหัววัดสำหรับอินเดียม}}{\text{ค่าความไวของหัววัดสำหรับแกลเลียม}} \qquad \text{.....(16)}$$

โดยค่าความไวของหัววัดความดัน (Guage Sensitivity) ของไอโมเลกุลของวัสดุต่างๆ แสดงอยู่ในตารางที่ 3.1 [19]

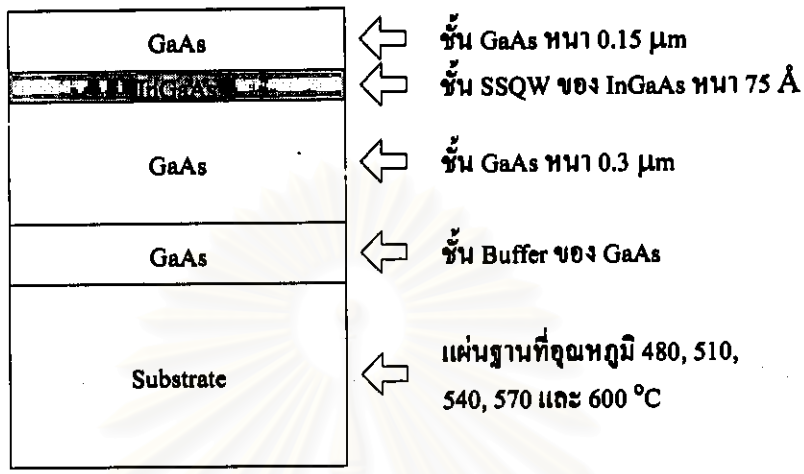
ตารางที่ 3.1 ค่าความไวของหัววัดความดันสำหรับธาตุต่างๆ

ชนิด	ความไวของหัววัดความดัน
H_2	0.45
Al	0.92
P	1
Ga	1.68
As	1.76
Kr	1.89
Cd	2.40
In	2.44
Sb	2.52
Xe	2.65

จากสมการที่ (16) จำเป็นจะต้องกำหนดอัตราส่วนอะตอมที่ต้องการให้แก่สมการ ค่าที่จะแทนนี้เป็นค่าที่เกิดจากการประมาณอัตราส่วนอะตอมในกรณีที่ไม่มีการคายอะตอมของอินเดียมออกจากผิวหน้าเลย ค่าอัตราส่วนอะตอมที่เลือกนี้จะต้องสัมพันธ์กับความกว้างของเวลล์ เนื่องจากความกว้างของเวลล์ที่ปลูกได้จะต้องไม่เกินค่าความหนาวิกฤติ เช่น หากเลือกอัตราส่วนอะตอม x = 0.2 จากรูปที่ 2.2 จะประมาณได้ว่าความกว้างเวลล์ที่ปลูกได้ต้องไม่เกิน 100 Å และจะคำนวณความดันลำไมเลกุลของอินเดียมได้เป็น $P_{In} = 1.77 \times 10^{-7}$ torr อย่างไรก็ตาม เนื่องจากในการปลูกผลึกจะเกิดการคายอะตอมอินเดียมเกิดขึ้นเสมอ ค่า x = 0.2 นี้จึงเป็นเพียงค่าที่คาดเอาไว้เท่านั้น อัตราส่วนอะตอมที่แท้จริงจะน้อยกว่าค่านี้เสมอ

ดังที่ได้กล่าวแล้วว่าค่าความกว้างของเวลล์จะต้องไม่เกินค่าความหนาวิกฤติ สำหรับกรณี x = 0.2 เวลล์ที่สร้างต้องมีความกว้างไม่เกิน 100 Å งานวิจัยในหัวข้อนี้จึงเลือกค่าประมาณ 75 Å เนื่องจากอัตราการปลูกผลึกมีค่าเป็น 0.9 μm/hr หรือเป็น 2.5 Å/s เมื่อคำนวณเวลาที่ใช้ในการปลูกชั้นเวลล์ทำให้ต้องใช้เวลาในการปลูกประมาณ 30 วินาที ส่วนที่เป็นชั้นกำแพงที่สร้างจากวัสดุแกลเลียมอาร์เซไนด์ควรจะมีความหนามากกว่าระยะทะลุของฟังก์ชั่นคลื่นที่ทะลุเข้าไปในชั้นกำแพง

และไม่หนาจนเกินไปจนทำให้แสงที่เปล่งออกมาจากโครงสร้างควอนตัมเวลล์ในการวัดโฟโตลูมิเนสเซนส์ถูกดูดกลืนไปหมด ในการทดลองนี้จะใช้เวลาในการปลูกชั้นกำแพงประมาณ 10 นาที รูปที่ 3.1 แสดงโครงสร้างของชิ้นงานตัวอย่างที่ใช้ในหัวข้อการทดลองนี้



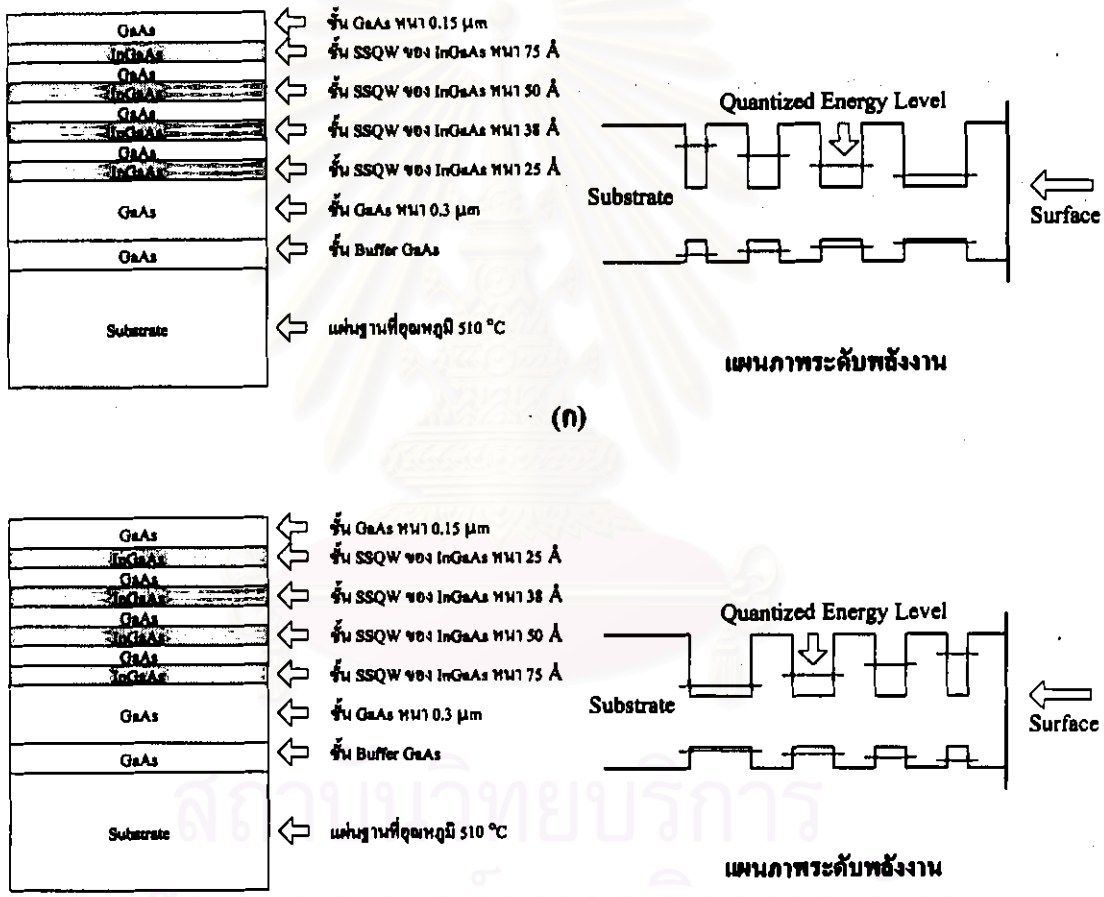
รูปที่ 3.1 โครงสร้างควอนตัมเวลล์เดี่ยวที่ใช้ในการศึกษาผลของอุณหภูมิแผ่นฐานขณะปลูก

3.2 การศึกษาผลของความกว้างเวลล์ที่มีต่อระดับพลังงานควอนไตซ์

ดังที่ได้กล่าวแล้วในส่วนทฤษฎีเรื่องการคำนวณโครงสร้างควอนตัมเวลล์ว่าความกว้างของเวลล์ก็มีผลต่อระดับพลังงานควอนไตซ์ภายในเวลล์ เพื่อที่จะศึกษาผลดังกล่าวจึงได้มีการออกแบบโครงสร้างที่เหมาะสมต่อการทดสอบ ดังนี้

การออกแบบโครงสร้าง การทดลองนี้อาศัยเงื่อนไขการปลูกผลึกดังในการทดลองแรก ได้แก่ ค่าความดันถ้ำโมเลกุลของเซลล์อินเดียม แกลเลียม และอาร์เซนิก และเลือกเอาอุณหภูมิที่สามารถปลูกผลึกที่มีคุณภาพดีเพียงพอ ในที่นี้เลือกค่า 510 °C จัดให้เป็นตัวแปรคงค่า แล้วแปรเปลี่ยนเฉพาะความกว้างของเวลล์ และเพื่อให้เวลล์ทุกเวลล์ถูกสร้างในสภาวะที่ใกล้เคียงกันมากที่สุด จึงได้มีการสร้างโครงสร้างควอนตัมเวลล์เดี่ยว 4 เวลล์ไว้บนแผ่นฐานเดียวกันโดยอาศัยการปลูกเพียงครั้งเดียว โดยทำการแปรเปลี่ยนเวลาที่ใช้ในการปลูกชั้นอินเดียมแกลเลียมอาร์เซไนด์ซึ่งจะทำให้ได้ความกว้างของเวลล์ที่แตกต่างกันออกไป อย่างไรก็ตาม ในการสร้างโครงสร้างควอนตัมเวลล์ 4 เวลล์บนแผ่นฐานเดียวกันนี้ยังมีปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงอีก ได้แก่ การจัดลำดับทางตำแหน่งของเวลล์กว้างและแคบ ซึ่งมีปรากฏการณ์ที่ต้องคำนึงถึงอีกสองประการ ประการแรก หากนำเอาเวลล์ที่มีความกว้างมากที่สุด (มีระดับพลังงานควอนไตซ์ต่ำที่สุด) ไว้อยู่นอกสุด (อยู่ใกล้ผิวหน้ามากที่สุด) โฟตอนที่เวลล์แคบชั้นในเปล่งออกมาขณะทำการวัดโฟโตลูมิเนสเซนส์อาจถูกดูดกลืนโดยเวลล์กว้างชั้นนอกที่มีระดับพลังงานควอนไตซ์ต่ำกว่า อาจทำให้ไม่เห็นผลการวัดจากเวลล์แคบชั้นในได้

อีกประการหนึ่งคือ หากนำเอาเวลล์ที่มีความกว้างมากที่สุด (มีโอกาสเกิดข้อบกพร่องของผลึกสูงที่สุด) ไว้อยู่ในสุด ก็มีโอกาสสูงมากที่จะทำให้ผลึกที่ได้เกิดข้อบกพร่องเสียตั้งแต่ชั้นแรก และส่งผลกระทบเป็นข้อบกพร่องแก่เวลล์อื่นๆ ที่อยู่ถัดออกมาทุกเวลล์ ชิ้นงานตัวอย่างอาจเสียได้ ในการทดลองนี้จึงได้ทดลองสร้างตัวอย่างที่มีการเรียงลำดับเวลล์ทั้งสองแบบ ชิ้นงานที่มีเวลล์กว้างไว้ข้างนอกจะเน้นที่ความบางของชั้นผลึกโดยรวม เพื่อที่จะให้เกิดการดูดกลืนโฟตอนที่เวลล์เปล่งออกมาน้อยที่สุด และชิ้นงานที่มีการเรียงลำดับกลับกันก็จะเน้นที่ความหนาของชั้นเวลล์ที่มีความกว้างมากที่สุด ที่จะต้องไม่หนาเกินความหนาวิกฤตจนเกิดเป็นข้อบกพร่องได้ ชิ้นงานทั้งสองมีโครงสร้างดังแสดงในรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 โครงสร้างและระดับพลังงานของชิ้นงานที่ใช้ศึกษาผลของความกว้างเวลล์ (ก) ชิ้นงานที่มีเวลล์กว้างไว้ข้างนอก (ข) ชิ้นงานที่เวลล์กว้างไว้ข้างใน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3 การศึกษาผลของอัตราส่วนอะตอม (Mole Fraction, x) ของอินเดียมและแกลเลียมในชั้นเวลล์ที่มีต่อระดับพลังงานควอนไตซ์

อัตราส่วนอะตอมของธาตุในหมู่ที่สาม อันได้แก่ธาตุอินเดียมและแกลเลียมมีผลกระทบต่อความกว้างของแถบพลังงานต้องห้ามของผลึกที่ได้ การแปรเปลี่ยนอัตราส่วนอะตอมของธาตุหมู่ที่สามทำได้โดยการแปรเปลี่ยนความดันลำโมเลกุลของเซลล์อินเดียมและแกลเลียม หรือการอาศัยระยะเวลาในการเปิดปิดชัตเตอร์ที่แตกต่างกันในการควบคุมอัตราส่วนอะตอม การออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาผลของอัตราส่วนอะตอมสามารถทำได้ ดังนี้

การออกแบบโครงสร้าง

ก. การควบคุมความดันลำโมเลกุล ค่าอัตราส่วนอะตอมสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ 16 และจากรูปที่ 2.2 ที่แสดงให้เห็นค่าความหนาวิกฤตของชั้นอินเดียมแกลเลียมอาร์เซไนด์ ช่วงของความกว้างเวลล์ที่ปลูกได้สะดวกโดยใช้อัตราการปลูกผลึกเดียวกันกับชิ้นงานตัวอย่างในข้อ 1 และ 2 และมีความกว้างเหมาะสมมีค่าประมาณ 100 Å ซึ่งตรงกับอัตราส่วนอะตอมประมาณ x = 0.2 หากปลูกด้วยค่าอัตราส่วนอะตอมค่ามากกว่านี้จะทำให้ต้องลดความกว้างของเวลล์ที่ปลูกลง เช่น หากต้องการปลูกที่ค่าอัตราส่วนอะตอม x = 0.25 ซึ่งมีค่าความหนาวิกฤตประมาณ 40 Å จะทำให้ต้องลดความกว้างของเวลล์ลงไม่ให้เกิน 40 Å และต้องใช้เวลาปลูกสั้นลง และชิ้นงานมีโอกาสเสียได้

ในทำนองเดียวกันกับชิ้นงานตัวอย่างในข้อ 2 เพื่อให้เวลล์แต่ละเวลล์ถูกสร้างภายใต้เงื่อนไขที่ใกล้เคียงกันมากที่สุด จึงได้มีการสร้างเวลล์ 4 เวลล์ที่มีความกว้างเท่ากัน บนแผ่นฐานที่มีอุณหภูมิ 510 °C มีความกว้างเวลล์ละ 75 Å แต่มีการแปรเปลี่ยนอัตราส่วนอะตอม โดยกำหนดให้เวลล์ที่อยู่ในสุดมีค่าอัตราส่วนอะตอมต่ำที่สุด เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดข้อบกพร่องเสียก่อนที่จะมีการปลูกเวลล์ถัดไป การแปรค่าอัตราส่วนอะตอมจะอาศัยการแปรค่าความดันลำโมเลกุลของแกลเลียมเป็นหลัก โดยให้มีค่าอัตราส่วนอะตอมที่คำนวณได้จากสมการที่ 16 โดยไม่คิดอัตราการคายอะตอมอินเดียมเป็น x = 1, 1.5, 2 และ 2.5 เรียงตามลำดับจากภายในมาภายนอก เวลล์ที่ได้จะลึกมากขึ้นระดับพลังงานควอนไตซ์จะอยู่ต่ำลง และมีโอกาสที่โฟตอนจากเวลล์ชั้นในจะถูกดูดกลืนโดยเวลล์ชั้นนอกได้ โครงสร้างของชิ้นงานตัวอย่างในหัวข้อนี้แสดงได้ดังในรูปที่ 3.3

การแปรเปลี่ยนค่าความดันลำโมเลกุลของอินเดียมในระบบปลูกผลึกที่ใช้อยู่ภายในห้องปฏิบัติการเป็นสิ่งที่ทำได้ยาก เนื่องจากเมื่อคิดที่อัตราการปลูกปกติตามการทดลองที่ 1 และ 2 ความดันบรรยากาศภายในห้องปลูกผลึก (Background Pressure) จะมีค่าอยู่ที่ประมาณ 1×10^{-7} ในขณะที่เมื่อคำนวณความดันลำโมเลกุลของอินเดียมเมื่อต้องการค่าอัตราส่วนอะตอมเป็น 0.1 จะได้ค่าที่ต่ำกว่านั้น การปลูกภายใต้เงื่อนไขนี้จึงเป็นไปได้ยาก จึงจำเป็นต้องเปลี่ยนการแปรค่าเป็นการแปรความดันลำโมเลกุลของแกลเลียมแทน โดยคงความดันลำโมเลกุลของอินเดียมและอาร์เซนิกไว้ที่ค่าเดียวกับในการทดลองที่ 1 และ 2 การเลือกคงค่าอาร์เซนิกที่ค่าเดิมนี้อาจทำให้เวลล์แรกที่มีค่าอัตรา

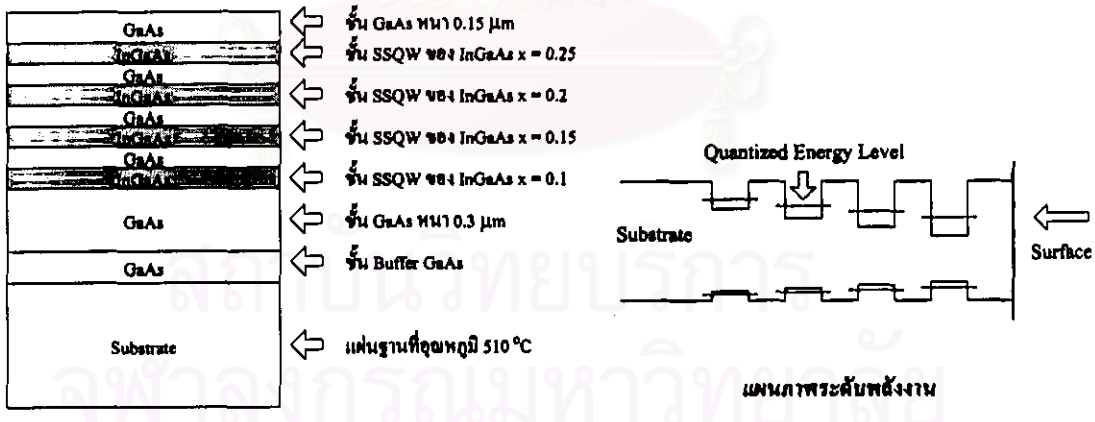
ส่วนอะตอมน้อยที่สุดขาดอะตอมอาร์เซนิกที่เพียงพอ ซึ่งเป็นสิ่งที่จำต้องยอมรับ อย่างไรก็ตาม หากโครงสร้างของเวลล์แรกนี้เสียไปก็จะทำให้เวลล์ที่อยู่ถัดมาเสียไปด้วย ดังนั้น หากสร้างชิ้นงานนี้และวัดผลของเวลล์อื่นออกมาได้ ก็อาจสรุปได้ว่าเวลล์แรกสามารถก่อตัวขึ้นได้แล้วด้วยเช่นกัน

การแปรเปลี่ยนค่าความดันลำโมเลกุลของแกลเลียมจะทำให้อัตราการปลูกผลึกที่ใช้กับแต่ละเวลล์ไม่เท่ากัน ดังนั้นเพื่อให้ความกว้างของเวลล์และชั้นกำแพงของแต่ละเวลล์เท่ากัน เวลาที่ใช้ในการสร้างชั้นเวลล์และชั้นกำแพงของแต่ละเวลล์จึงไม่เท่ากัน จากการคำนวณจะทำให้ได้ตัวเลขต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างชิ้นงานนี้ ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 ค่าความดันลำโมเลกุลของแกลเลียมและเวลาในการปลูกชั้นเวลล์และกำแพงในการสร้างชิ้นงานเพื่อศึกษาผลของค่าอัตราส่วนอะตอมโดยการแปรเปลี่ยนค่าความดันลำโมเลกุล

x	ความดันลำโมเลกุลของแกลเลียม (x 10^{-7} mbar)	อัตราการปลูกผลึก (Å/s)	เวลาที่ใช้สร้างเวลล์ (s)	เวลาที่ใช้สร้างกำแพง (นาที:วินาที)
0.1	11.77	6.071	12.35	2 : 03
0.15	7.41	3.822	19.62	3 : 16
0.2	5.23	2.698	27.80	4 : 38
0.25	3.92	2.022	37.09	12 : 22 *

* *ชั้นนอกสุดเป็นชั้นกำแพงหนา 0.15 μm*

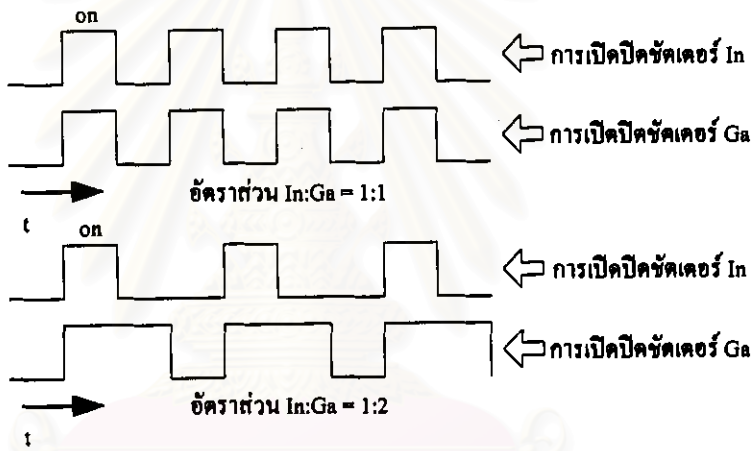


รูปที่ 3.3 โครงสร้างและระดับพลังงานของชิ้นงานที่ใช้ศึกษาผลจากอัตราส่วนอะตอมโดยการแปรเปลี่ยนค่าความดันลำโมเลกุล

ข. การควบคุมระยะเวลาในการเปิดปิดชัตเตอร์ การทดลองนี้จะทำการสร้างชิ้นงาน 2 ชิ้น โดยใช้เงื่อนไขโครงสร้างและความดันเดียวกับการทดลองที่ 1 และคงอุณหภูมิแผ่นฐานไว้ที่ประมาณ 500 °C ชิ้นหนึ่งเป็นชิ้นที่สร้างโดยการควบคุมชัตเตอร์แกลเลียม อินเดียม และอาร์เซ

นิกให้เปิดนาน 1 วินาที และปิดนาน 1 วินาที นับเป็น 1 รอบ ทำการเปิดปิดเป็นจำนวน 30 รอบ เทียบเป็นเวลาในการปลูกผลึกเป็น 30 วินาที ชิ้นที่สองควบคุมชัตเตอร์ให้ทำงานรอบละ 3 วินาที โดยวินาทีแรกเปิดแกลเลียม อินเดียม และอาร์เซนิก วินาทีที่สองเปิดเฉพาะแกลเลียมและอาร์เซนิก และวินาทีที่สามปิดชัตเตอร์ทั้งหมด เวลาปลูกจะกลายเป็นรอบละ 2 วินาที ดังนั้นจึงทำการเปิดปิดเพียง 15 รอบเพื่อให้ความกว้างเวลล์ของชิ้นงานทั้งสองเท่ากัน แผนภาพในการเปิดปิดชัตเตอร์แสดงให้เห็นได้ดังในรูปที่ 3.4 เมื่อคำนวณค่าอัตราส่วนอะตอมจะพบว่า ชิ้นงานแรกมีค่า x = 0.2 ส่วนชิ้นงานที่สองจะมีจำนวนอะตอมอินเดียมลดลงครึ่งหนึ่งเมื่อเทียบกับชิ้นงานแรก ดังนั้น

$$x = \frac{\left(\frac{0.2}{2}\right)}{0.8 + \left(\frac{0.2}{2}\right)} = 0.11$$



รูปที่ 3.4 แผนภาพแสดงเวลาในการเปิดปิดชัตเตอร์ของอินเดียมและแกลเลียม

3.4 การศึกษาผลของความดันที่ผิวหน้าแผ่นฐานที่มีต่อคุณภาพของผลึก

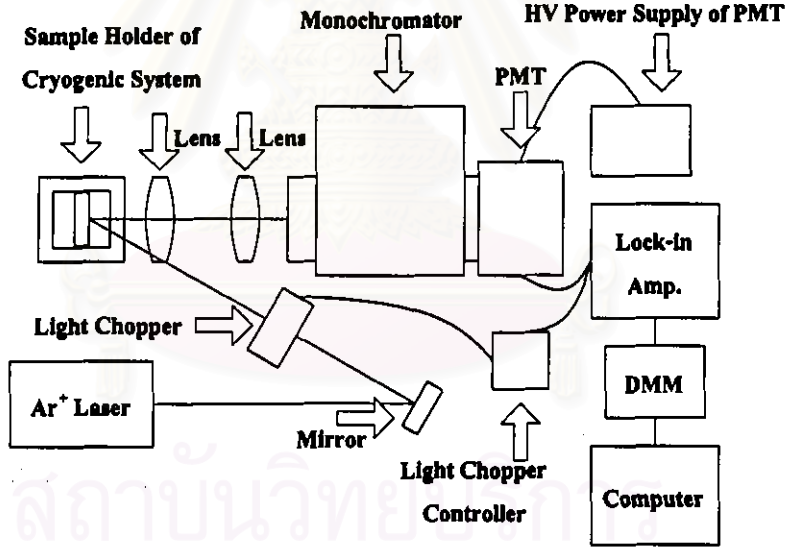
ความดันที่ผิวหน้าของแผ่นฐานเกิดจากโมเลกุลของอาร์เซนิกเป็นส่วนใหญ่ และโดยปกติการปลูกผลึกจะใช้เงื่อนไขที่ให้จำนวนอะตอมของอาร์เซนิกมากพอ หรือที่เรียกอีกอย่างหนึ่งว่าเสถียรภาพของอาร์เซนิก (Arsenic Stabilization) [20] อะตอมของอาร์เซนิกที่ปกคลุมผิวหน้าผลึกขณะปลูกจะทำให้เกิดสมดุลระหว่างการเกิดผลึกและการคายอะตอมออกจากผิวหน้าของผลึก ทำให้ผลึกยังคงอยู่ในสภาพที่ดี ณ อุณหภูมิสูง อย่างไรก็ตาม ดังที่ได้กล่าวแล้วว่าความดันที่ผิวหน้าของผลึกจะมีผลต่อระยะปลอดการชน และมีผลต่อความสมบูรณ์ของผลึก ถ้าความดันของอาร์เซนิกที่ผิวหน้าน้อยเกินไปจนไม่พอที่จะสร้างเสถียรภาพก็จะทำให้ผลึกคายอะตอมออกมาจนผิวหน้าผลึกเสีย

ไป ถ้าความดันมากเกินไปก็จะทำให้มีระยะปลอดการชนน้อย และทำให้เกิดข้อบกพร่องได้มาก ดังนั้นจะมีช่วงความดันของอาร์เซนิกที่เหมาะสมเพียงช่วงหนึ่งเท่านั้นที่จะทำให้ได้ผลึกที่มีคุณภาพ

การออกแบบโครงสร้าง การสร้างชิ้นงานตัวอย่างทำได้ในลักษณะเดียวกับชิ้นงานในข้อ 1 กล่าวคือ ชิ้นงานตัวอย่างจะมีโครงสร้างเป็นควอนตัมเวลล์เดี่ยว โดยชิ้นงานแต่ละชิ้นจะสร้างภายใต้ความดันลำโมเลกุลของอาร์เซนิกเป็น 10, 20, 30 และ 40 เท่าของความดันลำโมเลกุลของแกลเลียม ซึ่งเมื่อคำนวณจะทำให้ได้ค่าความดันดังกล่าวเป็น 4.9×10^{-6}, 9.8×10^{-6}, 1.5×10^{-5} และ 1.96×10^{-5} ตามลำดับ ความดันลำโมเลกุลของธาตุอื่นยังคงใช้ค่าที่จะทำให้ได้ $x = 0.2$ เมื่อไม่คิดอัตราการตายอะตอมอินเดียม ความกว้างของเวลล์เป็น 75 Å ส่วนอุณหภูมิที่ใช้ปลูกผลึกเป็น 500 °C

3.5 ระบบการวัดด้วยวิธีโฟโตลูมิเนสเซนส์

ระบบการวัดโฟโตลูมิเนสเซนส์ที่มีใช้อยู่ภายในห้องปฏิบัติการวิจัยสิ่งประดิษฐ์สารกึ่งตัวนำมีลักษณะดังแสดงได้ในรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ระบบวัดด้วยวิธีโฟโตลูมิเนสเซนส์

เลเซอร์ชนิด Ar^+ เป็นแหล่งกำเนิดเลเซอร์ความยาวคลื่น 488 nm คิดเป็นพลังงานโฟตอนได้ 2.54 eV ทำหน้าที่กระตุ้นตัวอย่างโครงสร้างควอนตัมเวลล์ โครงสร้างควอนตัมเวลล์ที่สร้างขึ้นจะถูกนำไปติดอยู่ในระบบทำความเย็นด้วยปั๊มไครโอจีนิก (Cryogenic Pump) ซึ่งเป็นระบบทำความเย็นที่ใช้ฮีเลียมเป็นสารทำความเย็น สามารถลดอุณหภูมิตัวอย่างลงได้ถึงประมาณ 10 K แสงที่ตัวอย่างเปล่งออกมาจากการรวมตัวแบบเปล่งแสงภายในตัวอย่างถูกรวบรวมโดยเลนซ์สองตัวเพื่อ

ให้เข้าไปยังโมโนโครมาเตอร์ (Monochromator) โมโนโครมาเตอร์จะทำการแยกสเปกตรัมของแสงออก และส่งผ่านความยาวคลื่นเฉพาะค่าที่กำหนดออกมายังหลอดโฟโตมัลติพลายเออร์ (Photomultiplier, PMT) เพื่อแปลงสัญญาณความเข้มแสงเป็นค่ากระแส ตัวล็อกอินแอมป์ (Lock-in Amplifier) จะขยายสัญญาณและแปลงเป็นแรงดันให้แก่มัลติมิเตอร์เพื่อบันทึกค่าต่อไป โมโนโครมาเตอร์และมัลติมิเตอร์ถูกควบคุมได้โดยเครื่องคอมพิวเตอร์ ดังนั้นจากการวัดค่าแรงดัน ณ ตำแหน่งความยาวคลื่นต่างๆ แล้ววาดเป็นกราฟจะได้เป็นสเปกตรัมที่ตัวอย่างเปล่งออกมา

การทำงานของล็อกอินแอมป์จะสัมพันธ์กับตัวตัดแสง (Light Chopper) ล็อกอินแอมป์จะวัดสัญญาณในช่วงที่ตัวตัดแสงและไม่ตัดแสง ช่วงที่ตัวตัดแสงตัดแสงจะเป็นช่วงที่ล็อกอินแอมป์ไม่ได้รับสัญญาณ มีแต่สัญญาณรบกวน ขณะที่ช่วงที่ตัวตัดแสงไม่ตัดแสงจะเป็นช่วงที่ล็อกอินแอมป์ได้รับทั้งสัญญาณจริงและสัญญาณรบกวน ดังนั้นหากนำสัญญาณที่ได้ทั้งสองช่วงเวลามาหักลบกันก็จะเป็นการวัดที่มีสัญญาณรบกวนน้อยลงได้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย