



บทที่ 3

การทดลอง

สำหรับในบทนี้เป็นรายละเอียดและขั้นตอนการสร้างโครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด แกลเลียมอาร์เซไนด์แบบที่มีการแทรกชั้นควอนตัมคอตอินเดียมอาร์เซไนด์เป็นชั้นทำงาน การทดลองในงานวิจัยนี้เพื่อศึกษาอิทธิพลของการแทรกชั้นควอนตัมคอตอินเดียมอาร์เซไนด์เป็นชั้นทำงาน การทดลองในโครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ รวมทั้งการเพิ่มขึ้นของจำนวนชั้นควอนตัมคอตอินเดียมอาร์เซไนด์และอธิบายถึงระบบการวัดทั้งทางกายภาพ ระบบการวัดคุณสมบัติทางแสง การวัดคุณลักษณะสมบัติทางกระแสและแรงดันต่อแสงที่ตกกระทบ รวมถึงระบบการวัดสเปกตรัมการตอบสนองของเซลล์แสงอาทิตย์

3 ขั้นตอนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์และการทดลองคุณสมบัติเซลล์แสงอาทิตย์

โครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำการสร้างขึ้นมาเพื่อทำการวิจัยในงานนี้ เป็นชนิดแกลเลียมอาร์เซไนด์แบบที่มีการแทรกชั้นควอนตัมคอตอินเดียมอาร์เซไนด์เป็นชั้นทำงาน ทั้งที่เป็นแบบโครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Schottky โครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Homojunction และโครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์แบบ Heterojunction ซึ่งขั้นตอนการสร้างทั้งหมดมีดังนี้

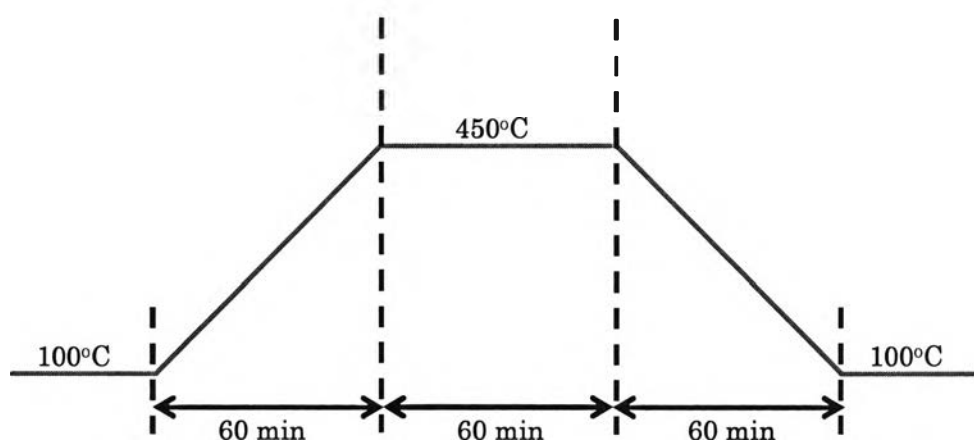
3.1 การปลูกผลึกด้วยเครื่องปลูกผลึกแบบลำโมเลกุล (Molecular Beam Epitaxy, MBE)

สำหรับในงานวิจัยนี้กระทำการปลูกโครงสร้างแบบต่างๆด้วยเครื่องปลูกผลึกแบบลำโมเลกุล เนื่องจากสามารถสร้างโครงสร้างควอนตัมคอตอินเดียมอาร์เซไนด์ซึ่งมีขนาดเป็นนาโนสเกลได้ อีกทั้งโครงสร้างที่สร้างได้นั้นมีคุณภาพผลึกที่ดี เพราะมีการจัดเรียงตัวของผลึกอย่างมีระเบียบ ทำให้โครงสร้างที่สร้างขึ้นมีคุณสมบัติเป็นไปตามทฤษฎี

3.1.1 การเตรียมแผ่นผลึกฐานสำหรับการปลูกผลึก

ในงานวิจัยนี้ใช้แผ่นผลึกฐานชนิดแกลเลียมอาร์เซไนด์ ที่มีระนาบ (100) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว จากนั้นนำไปตัดแบ่งออกเป็น 4 ส่วน จากนั้นนำแผ่นผลึกฐานไปติดกับบล็อกโมลิบดีนัมด้วยอินเดียมเหลว ซึ่งแผ่นผลึกฐานจะติดอยู่บนบล็อกด้วยแรงดึงผิวของอินเดียมที่อยู่ด้านหลัง ดังนั้นทุกครั้งที่ทำการติดแผ่นผลึกฐานเข้าไปใหม่จึงต้องทำการชุบอินเดียมเก่าออกก่อนทุกครั้ง และปริมาณของอินเดียมที่ติดเข้าไปใหม่ต้องไม่มากเกินไป เพราะถ้าหากปริมาณอินเดียมมี

มากเกินไปหรือทำการชูดอกไม่หมด จะทำให้ในขณะที่ทำการปลูกผลึกปรากฏมีอินเดียมขึ้นมาบนผิวผลึกแผ่นฐาน ซึ่งส่งผลให้โครงสร้างที่สร้างขึ้นมีคุณสมบัติไม่ดีและไม่ตรงกับที่ออกแบบไว้ จากนั้นนำเอาบล็อกที่ติดแผ่นผลึกฐานเข้าบรรจุกับขบวนการและนำเข้าสู่ส่วน Introduction chamber ซึ่งในส่วนของ Introduction chamber นี้ภายในจะมีส่วนที่เป็น Heater สำหรับเพื่อทำความสะอาดผิวของแผ่นผลึกฐาน โดยเฉพาะจำพวกไอน้ำ หรือความชื้น และอนุภาคอื่นๆ ซึ่งอาจติดเข้ามาขณะที่ทำการเตรียมแผ่นผลึกฐาน โดยในส่วน Heater นี้สามารถที่จะเพิ่มอุณหภูมิได้ถึง 1100 องศาเซลเซียส จากนั้นทำการเขียนโปรแกรมสำหรับควบคุมความร้อนแก่แผ่นผลึกฐาน หรือที่เรียกว่า Pre-heat ซึ่งมีการกำหนดอุณหภูมิของแผ่นผลึกฐานดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แสดงการขึ้นลงอุณหภูมิของแผ่นผลึกฐานในขั้นตอนการทำความสะอาดผิวแผ่นผลึกฐาน

3.1.2 เงื่อนไขการปลูกผลึก

ในการปลูกผลึกด้วยเครื่องปลูกผลึกแบบลำโมเลกุลนั้นมีองค์ประกอบหรือตัวแปรต่างๆ หลายอย่างที่มีผลต่อคุณภาพผลึกที่ปลูกได้ ซึ่งเงื่อนไขที่ใช้ในการปลูกผลึกมีดังนี้

ควบคุมอัตราความดันระหว่างลำโมเลกุลของแก๊สเทียบกับความดันลำโมเลกุลของอาร์เซนิก โดยปกติความดันลำโมเลกุลของอาร์เซนิกที่เหมาะสมจะมีค่าเป็น 20 เท่าของแก๊สเลียม ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ จากการทดลองระหว่างทำการปลูกสังเกตเห็นว่าค่าอัตราส่วนนี้เป็นค่าที่เหมาะสมและไม่ควรเกิน 25 เท่า เพราะถ้าอัตราส่วนมากกว่านี้จะทำให้ระบบวัด RHEED ไม่ชัดเจน จึงส่งผลต่อการเปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างการปลูก อีกทั้งถ้าหากน้อยกว่านี้ก็จะส่งผลต่อ

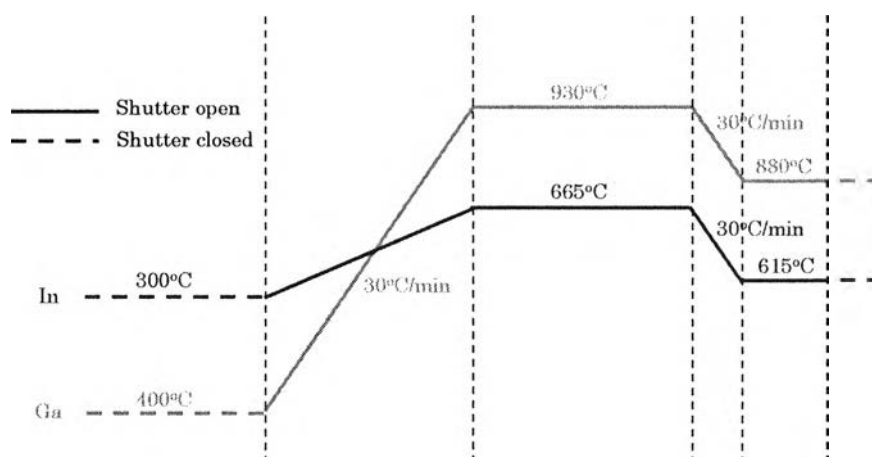
คุณภาพผิวของผลึกไม่ดี เนื่องจากผิวผลึกที่ได้จะไม่เรียบ จึงไม่เหมาะที่จะนำไปสร้างต่อเป็นโครงสร้างอื่นต่อไป

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

โดยที่ P_{As} คือ ความดันลำโมเลกุลของอาร์เซนิก

P_{Ga} คือ ความดันลำโมเลกุลของแกเลียม

และก่อนเริ่มต้นทำการปลูกผลึก จะต้องทำการเตรียมสารที่เป็นองค์ประกอบของสารกึ่งตัวนำนั้นๆ ให้อยู่ในสภาพพร้อมที่จะใช้งาน โดยจะต้องเขียน โปรแกรมในการเพิ่มอุณหภูมิของสารเหล่านั้นให้อยู่ในสภาพพร้อมใช้งาน ซึ่งสารแต่ละชนิดก็จะมีอุณหภูมิใช้งานต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับความต้องการอัตราการปลูกผลึกมากน้อยเพียงไร ในที่นี้ได้แสดงการเพิ่มอุณหภูมิของเซลล์ต่างๆ ที่ใช้งานซึ่งจะสัมพันธ์กับการเปิด-ปิดชัตเตอร์ของเซลล์นั้นๆ ดังในรูปที่ 3.2

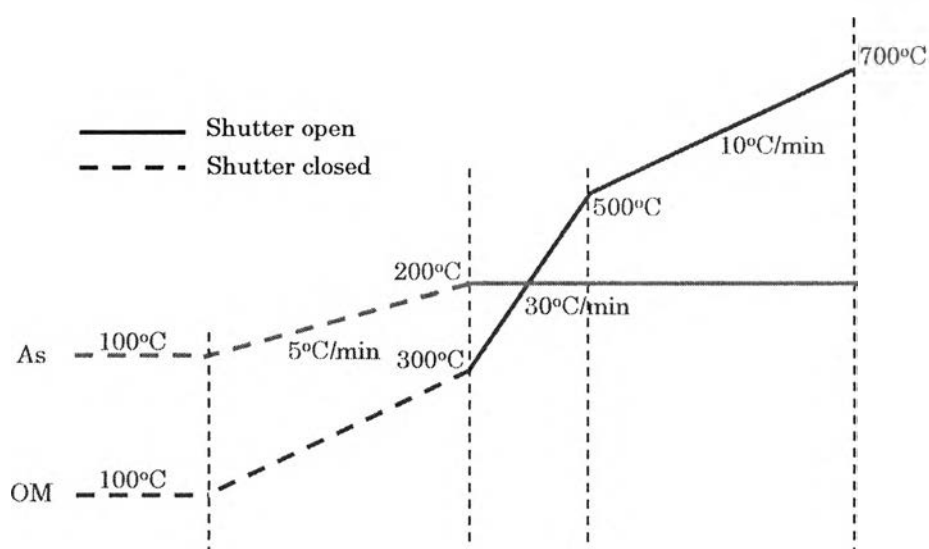


รูปที่ 3.2 แสดงการเพิ่มอุณหภูมิและการเปิด-ปิดของสารที่เป็นองค์ประกอบในการปลูกผลึก

จากกราฟการเพิ่มอุณหภูมิของเซลล์ต่างๆ เพื่อเตรียมให้พร้อมสำหรับการปลูกผลึก สามารถอธิบายได้ดังนี้ เริ่มต้นจะทำการทดสอบระบบต่างๆ โดยที่จะคงอุณหภูมิไว้ที่อุณหภูมิเริ่มต้น โดยที่อุณหภูมิของ Ga จะเริ่มต้นที่ 400 องศาเซลเซียส ส่วนอุณหภูมิของ In จะเริ่มต้นที่ 300 องศาเซลเซียส จากนั้นจะทำการเพิ่มอุณหภูมิไปยังจุดที่ใช้งาน (ขึ้นอยู่กับต้องการอัตราเร็วในการปลูกผลึกเท่าใด อีกทั้งยังต้องสัมพันธ์กับจำนวนหรือปริมาณของสารนั้นๆ ที่เหลืออยู่) โดยปกติจะทำการเพิ่มอุณหภูมิให้สูงกว่าอุณหภูมิใช้งานอยู่ราว 50-60 องศาเซลเซียส และขณะที่ทำการเพิ่มอุณหภูมินั้นเราจะเปิดชัตเตอร์ เพื่อให้สารอื่นๆ ที่ไม่ต้องการหลุดออกไปเสียก่อน ก่อนที่จะทำการปลูกผลึก จากนั้นก็ทำการลดอุณหภูมิลงมาที่อุณหภูมิใช้งาน จากนั้นก็ทำการปิดชัตเตอร์เพื่อรอการใช้งานต่อไป

3.1.3 การปลูกผลึก

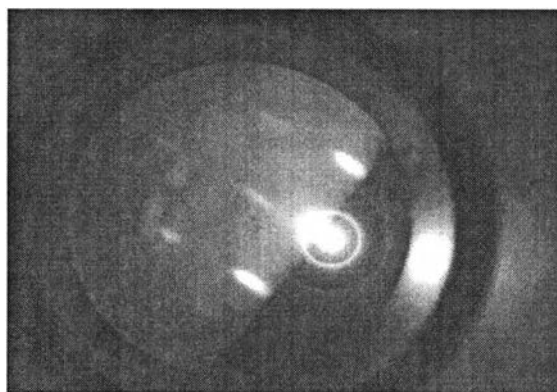
เมื่อทำความสะอาดแผ่นผลึกฐานเสร็จก็สามารถนำเข้าสู่ห้องปลูกผลึกได้ทันที โดยนำบล็อกที่มีแผ่นผลึกฐานติดอยู่ ไปติดกับ Heater ภายในห้องปลูกผลึก ซึ่งโดยปกติแผ่นผลึกฐานที่มาถึงขั้นตอนนี้จะยังคงมีชั้นออกไซด์บางๆ ปกคลุมอยู่ ชั้นออกไซด์ดังกล่าวเป็นออกไซด์ของแกเลียม (Gallium Oxide) ที่มีลักษณะไม่เป็นผลึกและมีเสถียรภาพสูงมาก ดังนั้นก่อนที่จะทำการปลูกผลึกตามโครงสร้างที่ต้องการ จึงจำเป็นที่จะต้องกำจัดชั้นออกไซด์ออกเสียก่อน สำหรับการกำจัดออกไซด์สามารถทำได้โดยการเพิ่มอุณหภูมิของแผ่นผลึกฐาน โดยการเขียนโปรแกรมควบคุมอุณหภูมิและองค์ประกอบอื่นๆ ดังรูปที่ 3.3 ซึ่งในขั้นตอนการกำจัดออกไซด์ออกจากผิวหน้าของแผ่นผลึกฐานนั้น ทำได้โดยอาศัยหลักการเพิ่มอุณหภูมิของแผ่นผลึกฐานให้สูงขึ้น โดยปกติออกไซด์ของแกเลียมนั้นจะสลายตัวที่อุณหภูมิ 580 องศาเซลเซียส แต่เนื่องจากอุณหภูมิที่ใช้ในการกำจัดออกไซด์นั้นค่อนข้างสูง



รูปที่ 3.3 แสดงการเพิ่มอุณหภูมิและการเปิดชัตเตอร์ของบล็อกที่มีแผ่นผลึกฐานติดอยู่ด้านบนกับชัตเตอร์อาร์เซนิก

จึงมีผลทำให้อาร์เซนิกซึ่งเป็นสารประกอบของสารกึ่งตัวนำแกเลียมอาร์เซไนด์ หลุดออกจากผิวของแผ่นผลึกฐานแกเลียมอาร์เซไนด์ ดังนั้นการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิแผ่นผลึกฐานจะต้องกระทำในบรรยากาศของอาร์เซนิก (Arsenic Atmosphere) โดยการเปิดชัตเตอร์ของเซลล์อาร์เซนิกให้สอดคล้องกับอุณหภูมิของแผ่นผลึกฐานที่สูงขึ้น ในที่นี้จะทำการเปิดชัตเตอร์อาร์เซนิกที่อุณหภูมิของบล็อกที่มีการติดแผ่นผลึกฐานอยู่ด้านบนที่ 300 องศาเซลเซียส ซึ่งวิธีนี้เรียกว่า สมดุลอาร์เซนิก (Arsenic Stability) โดยไอของอาร์เซนิกจะปกคลุมที่ผิวหน้าแผ่นผลึกฐานทำให้เกิดสมดุลระหว่างการระเหยของผิวหน้าแผ่นผลึกฐานแกเลียมอาร์เซไนด์และการก่อตัวใหม่ของแกเลียมและอาร์เซ

นิกกลายเป็นแกลเลียมอาร์เซไนด์ ทำให้ผิวหน้าของแกลเลียมอาร์เซไนด์ไม่เสียไป หากสังเกตแผนภาพ RHEED ที่อุณหภูมิที่ผิวของแผ่นผลึกฐานต่ำกว่า 580 องศาเซลเซียส จะเห็นเป็นภาพขมุกขมัว หรือเป็นลักษณะครึ่งวงกลมรอบจุดตกกระทบของลำอิเล็กตรอน แต่ถ้าอุณหภูมิที่ผิวของแผ่นผลึกฐานมีค่าเท่ากับ 580 องศาเซลเซียส จะปรากฏภาพ RHEED เป็นริ้วๆ อย่างชัดเจน ซึ่งในจุดนี้สามารถใช้ประโยชน์ในการเปรียบเทียบอุณหภูมิระหว่างอุณหภูมิที่บล็อกรที่มีการติดแผ่นผลึกฐานกับอุณหภูมิที่ผิวที่สามารถทราบได้จากแผนภาพ RHEED ซึ่งทำให้สามารถทราบถึงผลต่างของอุณหภูมิทั้งสองได้ ซึ่งจากเดิมนั้นที่ใกล้ๆ บล็อกจะมีตัวตรวจวัดอุณหภูมิ (Thermocouple) อยู่ด้วย แต่เนื่องจากอุณหภูมิที่วัดได้นั้นเป็นเพียงอุณหภูมิที่อยู่ใกล้ๆ ตัววัดเท่านั้น ซึ่งยังขึ้นอยู่กับหลายๆ ปัจจัย เช่น ชนิดของบล็อก ความจุความร้อนของบล็อกแต่ละอัน (ซึ่งมีค่าไม่เท่ากันขึ้นอยู่กับการใช้งานของบล็อกนั้นๆ) ความหนาของอินเดียมที่ใช้ติดแผ่นผลึกฐานกับบล็อก ตำแหน่งของบล็อก ปริมาตรของแผ่นผลึกฐาน เป็นต้น ดังนั้นการเปรียบเทียบอุณหภูมิจึงต้องกระทำทุกครั้งที่ทำกรปลูกผลึก

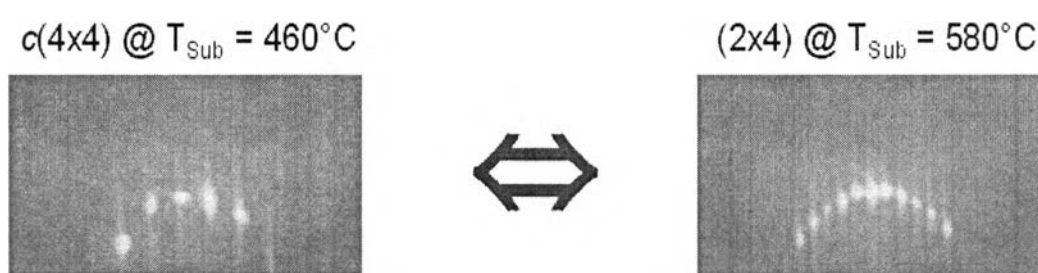


รูปที่ 3.4 แสดงแผนภาพ RHEED เมื่อเริ่มการกำจัดออกไซด์ของแกลเลียมอาร์เซไนด์

หลังจากที่ทำการกำจัดออกไซด์ของแกลเลียมแล้วจะต้องทำการปลูกชั้นบัฟเฟอร์บางๆ เพื่อเป็นการปรับสภาพผิวหน้าของแผ่นผลึกฐาน เนื่องจากขณะที่ทำการกำจัดออกไซด์นั้นชั้นผิวหน้าแผ่นผลึกฐานที่กลายมาเป็นออกไซด์บางส่วนจะหลุดออกไปในชั้นตอนนี้ ดังนั้นจึงส่งผลให้เกิดความไม่เรียบของชั้นผิวหน้าของแผ่นผลึกฐาน จึงต้องทำการปรับสภาพผิวหน้าให้เรียบก่อนที่จะกระทำในส่วนขั้นต่อไป

3.1.4 ขั้นตอนในการปลูกชั้นควอนตัมดอต

หลังจากที่ทำการปลูกชั้นบัฟเฟอร์ที่อุณหภูมิ 580 องศาเซลเซียส เพื่อเป็นการปรับสภาพผิวหน้าของแผ่นผลึกฐานตามค่าความหนาที่ออกแบบไว้ ต่อมาก็เป็นขั้นตอนในการปลูกชั้นควอนตัมดอต โดยปกติแล้วชั้นควอนตัมดอตชนิดอินเดียมอาร์เซไนด์นั้นจะทำการปลูกที่อุณหภูมิแผ่นผลึกฐานเท่ากับ 500 องศาเซลเซียส เพราะเป็นอุณหภูมิช่วงที่เหมาะสมในการปลูกชั้นควอนตัมดอตซึ่งจะทำให้ได้ขนาดของควอนตัมที่ค่อนข้างสม่ำเสมอ แต่เนื่องจากการทดลองนี้ไม่มีเครื่องมือหรืออุปกรณ์สำหรับวัดค่าอุณหภูมิที่ผิวหน้าของแผ่นผลึกฐาน (ซึ่งมีราคาค่อนข้างสูง) จึงต้องใช้วิธีเปรียบเทียบอุณหภูมิแบบทางอ้อมโดยเทียบกับสิ่งที่ทราบ นั่นคือเปรียบเทียบกับการเปลี่ยนแปลงของแผนภาพ RHEED ที่จะเปลี่ยนแปลงเมื่ออุณหภูมิของแผ่นผลึกฐานเปลี่ยนไป โดยที่องค์ประกอบสำหรับการปลูกผลึกอื่นๆคงที่ ซึ่งแผนภาพ RHEED จะมีการเปลี่ยนแปลงดังรูปที่ 3.5

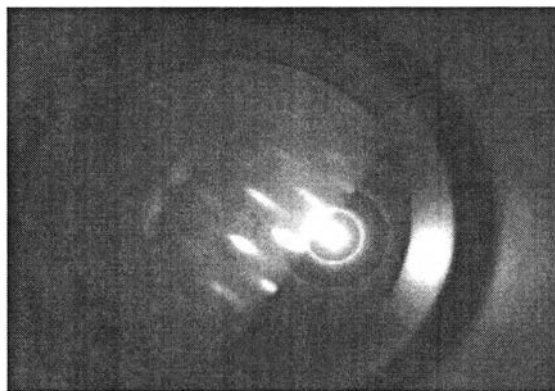


ภาพที่ 3.5 แสดงแผนภาพ RHEED ที่มีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบที่สอดคล้องกับอุณหภูมิที่เปลี่ยนไป

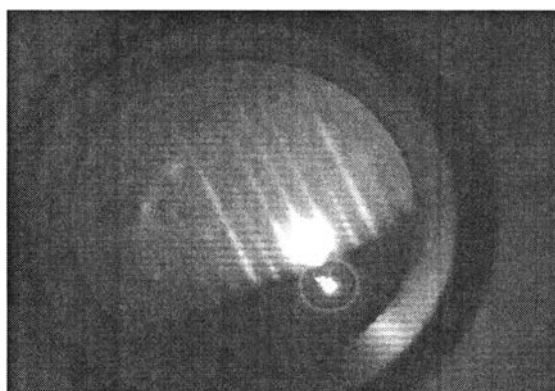
จากแผนภาพ RHEED ที่มีการเปลี่ยนแปลงเนื่องจากผลของอุณหภูมิของแผ่นผลึกฐานเปลี่ยนแปลงไป จึงทำให้สามารถที่จะหาค่าอุณหภูมิในการปลูกชั้นควอนตัมดอตได้ โดยการหาค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิที่วัดได้จากเทอร์โมคัปเปิล ดังนั้นจึงสามารถที่จะหาค่าความแตกต่างของอุณหภูมিরะหว่างค่าที่ได้จากการวัดด้วยเทอร์โมคัปเปิล และค่าที่อ่านได้จากแผนภาพ RHEED

หลังจากที่สามารถหาค่าอุณหภูมิของการปลูกชั้นควอนตัมดอตโดยอาศัยอ่านจากการเปลี่ยนแปลงของแผนภาพ RHEED แล้ว จะต้องทำการปรับสภาพผิวหน้าของแผ่นผลึกฐานอีกครั้งหนึ่ง ด้วยการปลูกชั้นบัฟเฟอร์ทับอีกชั้นหนึ่ง เนื่องจากขณะที่เราทำการหาค่าอุณหภูมิสำหรับการปลูกชั้นควอนตัมดอตโดยวิธีการปรับอุณหภูมิแผ่นผลึกฐานขึ้นลง หรือที่เรียกว่าการหา Transition จะไม่ทำการหมุนแผ่นผลึกฐาน เนื่องจากจะทำให้ไม่สามารถสังเกตเห็นการเปลี่ยนแปลงที่ชัดเจนของการเปลี่ยนแปลงของแผนภาพ RHEED ดังนั้นในช่วงที่ทำการขึ้นลงอุณหภูมินั้นจะทำให้เกิด

ความไม่เรียบขึ้นบนผิวหน้าของแผ่นผลึกฐาน ซึ่งสามารถสังเกตได้จากแผนภาพ RHEED โดยจะปรากฏเป็นริ้วที่ไม่ต่อเนื่องกัน ดังรูปที่ 3.7

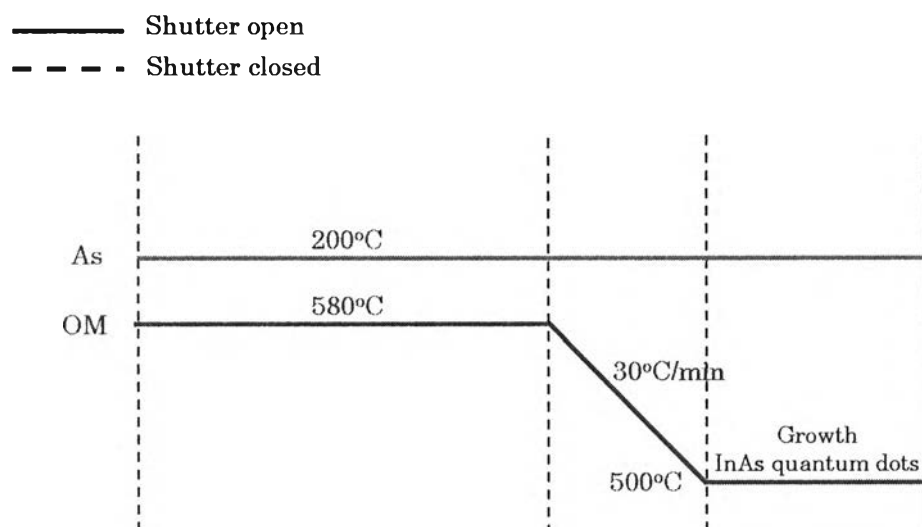


รูปที่ 3.6 แสดงแผนภาพ RHEED ตอนกำลังจัดออกไซด์



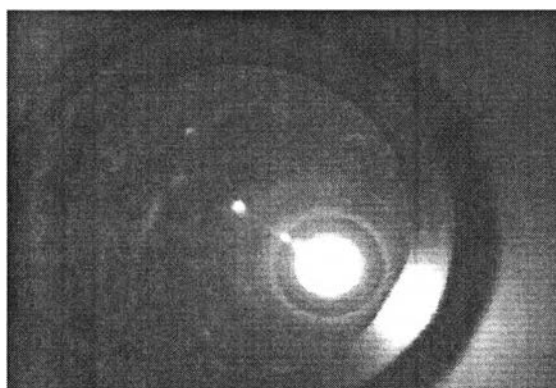
รูปที่ 3.7 แสดงแผนภาพ RHEED หลังจากทำการปลูกชั้นบัฟเฟอร์จนเรียบ

หลังจากที่ทำการปลูกชั้นบัฟเฟอร์ซ้ำจนผิวหน้าของแผ่นผลึกฐานมีความเรียบที่ดี ที่อุณหภูมิ 580 องศาเซลเซียส โดยดูจากแผนภาพ RHEED จะมีลักษณะเป็นริ้วยาวที่ต่อเนื่อง ดังภาพที่ 3.7 จากนั้นทำการลดอุณหภูมิของแผ่นผลึกฐานลงไปที่ 500 องศาเซลเซียส โดยการเขียนโปรแกรมลดอุณหภูมิ ดังรูปที่ 3.8



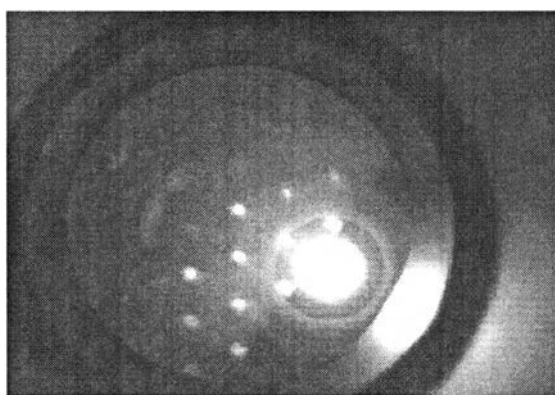
รูปที่ 3.8 แสดงการลดอุณหภูมิของแผ่นผลึกฐานเพื่อทำการปลูกควอนตัมดอต

หลังจากทำการลดอุณหภูมิของแผ่นผลึกฐานลงมาที่ 500 องศาเซลเซียส โดยการเขียนโปรแกรมซึ่งใช้อัตราการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ 30 องศาเซลเซียสต่อนาที ก็เริ่มทำการปลูกชั้นอินเดียมอาร์เซไนด์ควอนตัมดอตได้โดยการเปิดชัตเตอร์ของอินเดียมพร้อมกับทำการจับเวลาการปลูก ซึ่งจะเห็นการเปลี่ยนแปลงของแผนภาพ RHEED โดยจะเริ่มมีลักษณะผิวไม่เรียบสักพัก จากนั้นจะเห็นแผนภาพ RHEED เปลี่ยนเป็นจุดปรากฏขึ้นที่เรียกกันว่าเป็นลักษณะ Spotty pattern โดยจะสังเกตเห็นจาก Specular beam เป็นอันดับแรก ดังรูปที่ 3.9



รูปที่ 3.9 แสดงแผนภาพ RHEED ตอนเริ่มเกิดควอนตัมดอตที่ค่าความหนาราว 1.7 ML

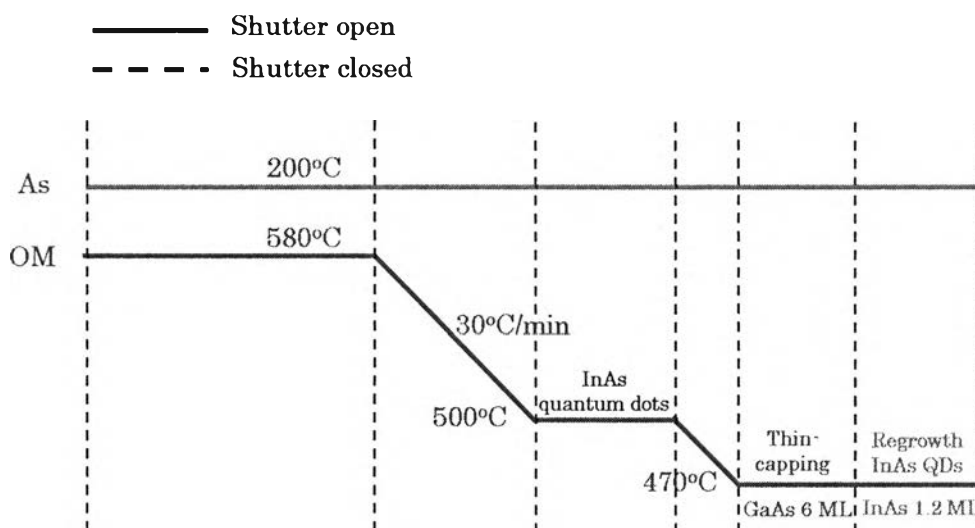
จากแผนภาพ RHEED ทำให้ทราบว่าขณะนี้ได้ทำการปลูกชั้นอินเดียมอาร์เซไนด์ลงไปบนแผ่นผลึกฐานแกลเลียมอาร์เซไนด์ด้วยความหนาประมาณ 1.7 โมโนเลเยอร์ ซึ่งทำให้สามารถบอกได้ว่าด้วยปริมาณความหนาแน่นของอะตอมอินเดียมขนาดนี้จะให้อัตราการปลูกผลึกเป็นเท่าใด แต่ในการวิจัยขั้นนี้ จะทำการปลูกชั้นอินเดียมอาร์เซไนด์หนาราว 1.8 โมโนเลเยอร์ ซึ่งจะให้ความหนาของควอนตัมดอตที่ปลูกขึ้นมีความสม่ำเสมอมากกว่า (เนื่องจากที่ความหนา 1.7 โมโนเลเยอร์นั้นเป็นช่วงเริ่มต้นของการเกิดควอนตัมดอต) ซึ่งสามารถสังเกตได้จากแผนภาพ RHEED ดังรูปที่ 3.10



รูปที่ 3.10 แสดงแผนภาพ RHEED ตอนที่เกิดควอนตัมดอตที่ค่าความหนาราว 1.8 ML

3.1.5 ขั้นตอนในการปลูกชั้นควอนตัมดอตโมเลกุล

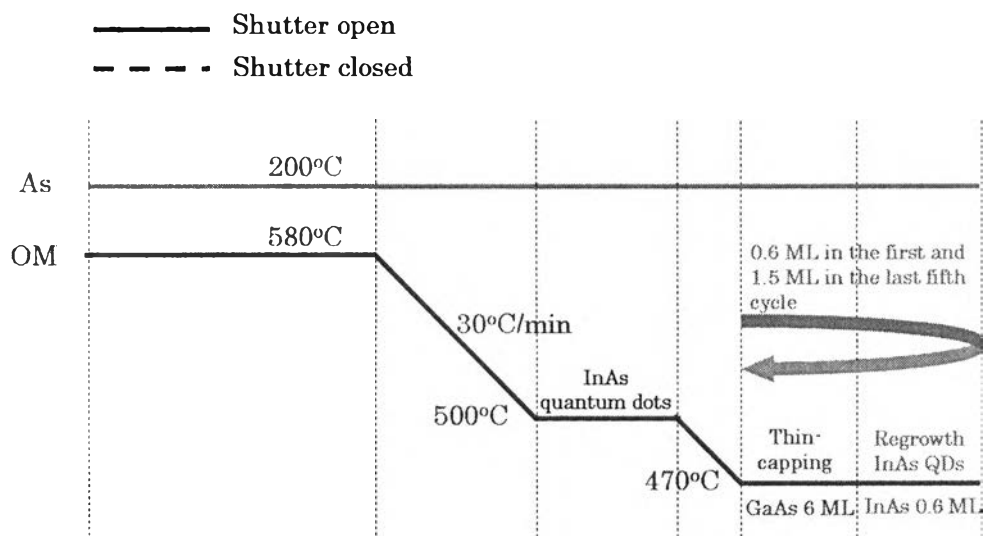
กระบวนการปลูกชั้นควอนตัมดอตโมเลกุลนี้จะกระทำต่อเนื้อหลังจากที่ทำการปลูกชั้นควอนตัมดอตแบบจัดเรียงตัวเองเสร็จ โดยอาศัยเทคนิคการปลูกกลบบางๆและการปลูกควอนตัมดอตซ้ำ (Thin-Capping-and-Regrowth) ซึ่งหลังจากที่ทำการปลูกชั้นอินเดียมอาร์เซไนด์ควอนตัมดอตที่ 500 อนุภาคเซลล์ด้วยความหนา 1.8 โมโนเลเยอร์ จากนั้นจะทำการลดอุณหภูมิของแผ่นผลึกฐานลงไป 470 อนุภาคเซลล์เพื่อทำการปลูกกลบอินเดียมอาร์เซไนด์ควอนตัมดอตบางๆด้วยแกลเลียมอาร์เซไนด์ด้วยความหนาราว 6 โมโนเลเยอร์ที่มีอัตราการปลูก 0.6 โมโนเลเยอร์ต่อวินาที จากนั้นทำการปลูกอินเดียมอาร์เซไนด์ควอนตัมดอตซ้ำด้วยความหนา 1.2 โมโนเลเยอร์ด้วยอัตราการปลูก 0.01 โมโนเลเยอร์ต่อวินาที ที่อุณหภูมิ 470 อนุภาคเซลล์เช่นกัน ซึ่งกระบวนการการปรับลดอุณหภูมิของแผ่นผลึกฐานสามารถทำได้โดยการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ดังรูปที่ 3.11



รูปที่ 3.11 แสดงการลดอุณหภูมิลงเพื่อทำการปลูกควอนตัมดอตโมเลกุล

3.1.6 ขั้นตอนในการปลูกชั้นควอนตัมดอตโมเลกุลแบบที่มีความหนาแน่นสูง

การปลูกชั้นควอนตัมดอตโมเลกุลแบบที่มีความหนาแน่นสูง (High density quantum dot molecules) เป็นเทคนิคที่ช่วยเพิ่มจำนวนของควอนตัมดอตให้มีปริมาณมากขึ้น โดยอาศัยเทคนิคการปลูกกลบบางๆและการปลูกควอนตัมดอตซ้ำ (Thin-capping-and-regrowth) แบบหลายรอบ โดยเริ่มจากเมื่อทำการปลูกชั้นอินเดียมอาร์เซไนด์ควอนตัมดอตแบบจัดเรียงตัวเองเสร็จที่อุณหภูมิของแผ่นผลึกฐาน 500 องศาเซลเซียส ด้วยความหนาแน่น 1.8 โมโนเลเยอร์ จากนั้นทำการลดอุณหภูมิของแผ่นผลึกฐานลงมาที่ 470 องศาเซลเซียส เพื่อทำการปลูกกลบบางๆด้วยแกเลียมอาร์เซไนด์บนอินเดียมอาร์เซไนด์ควอนตัมดอต ด้วยความหนาแน่น 6 โมโนเลเยอร์ ด้วยอัตราการปลูก 0.6 โมโนเลเยอร์ต่อวินาที จากนั้นก็ทำการปลูกชั้นอินเดียมอาร์เซไนด์ควอนตัมดอตซ้ำลงไปด้วยความหนาแน่น 0.6 โมโนเลเยอร์ ด้วยอัตราการปลูก 0.01 โมโนเลเยอร์ต่อวินาที ทำลักษณะเช่นนี้ 4 รอบ (ปลูกกลบบางๆด้วยแกเลียมอาร์เซไนด์หนาแน่น 6 โมโนเลเยอร์ และปลูกอินเดียมอาร์เซไนด์ควอนตัมดอตซ้ำหนาแน่น 0.6 โมโนเลเยอร์) พอถึงรอบที่ 5 จะทำการเพิ่มปริมาณการปลูกอินเดียมอาร์เซไนด์ควอนตัมดอตซ้ำเป็นหนาแน่น 1.5 โมโนเลเยอร์แทน ซึ่งกระบวนการการปลูกกลบบางๆและการปลูกควอนตัมดอตซ้ำนี้ยังคงกระทำที่อุณหภูมิของแผ่นผลึกฐานเท่ากับ 470 องศาเซลเซียสเช่นเดิม โดยที่กระบวนการปรับลดลงของอุณหภูมิแผ่นผลึกฐานนั้น สามารถที่จะทำการเขียนโปรแกรมการขึ้นลงของอุณหภูมิได้ดังรูปที่ 3.12



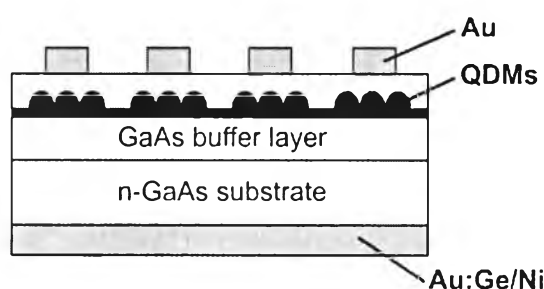
รูปที่ 3.12 แสดงการขั้นตอนในการปลูกชั้นควอนตัมดอตโมเลกุลแบบที่มีความหนาแน่นสูง

3.1.7 โครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นแบบต่างๆ

โครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นสำหรับการทดลองนี้ประกอบไปด้วย

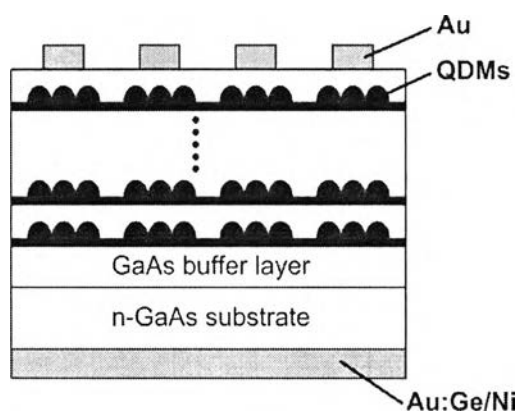
3.1.7.1 โครงสร้างชนิด Schottky quantum dot molecule solar cells

โครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์โครงสร้างแรกที่ได้สร้างขึ้นเป็นชนิด Schottky quantum dot molecule solar cells โดยได้ทำการปลูกโครงสร้างทั้งชนิดแบบ 1- stacked และ 5-stacked ซึ่งมี ส่วนประกอบแต่ละชั้นโครงสร้างดังนี้ โดยเริ่มจากกรณี 1-stacked ซึ่งใช้แผ่นผลึกฐานชนิดเอ็น- แกลเลียมอาร์เซไนต์เป็นแผ่นผลึกเริ่มต้น จากนั้นทำการปลูกชั้นแกลเลียมอาร์เซไนต์บัพเฟอร์หนา ราว 200 นาโนเมตร จากนั้นทำการปลูกชั้นควอนตัมดอตโมเลกุล เมื่อทำการปลูกชั้นควอนตัมดอต โมเลกุลแล้วเสร็จก็ทำการปลูกกลับด้วยชั้นแกลเลียมอาร์เซไนต์ทับด้วยความหนาราว 50 นาโน เมตร สำหรับโครงสร้างที่ทำการปลูกขึ้นได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.13



รูปที่ 3.13 Single-stacked quantum dot molecule solar cells

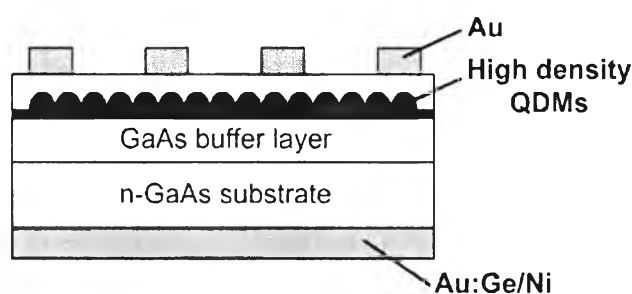
สำหรับกรณี 5-stacked นั้นมีขั้นตอนคล้ายกับการปลูกแบบ 1-stacked โดยเมื่อทำการปลูก ชั้นควอนตัมดอตโมเลกุลแล้วก็จะทำการปลูกกลับด้วยแกลเลียมอาร์เซไนต์ หนาราว 40 นาโนเมตร ทำลักษณะเช่นนี้ 5 รอบ แต่สำหรับรอบสุดท้ายจะเพิ่มความหนาของชั้นแกลเลียมอาร์เซไนต์ที่ปิด ทับเป็นความหนาราว 50 นาโนเมตร สำหรับโครงสร้างที่ทำการปลูกขึ้นได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.14



รูปที่ 3.14 5-stacked quantum dot molecule solar cells

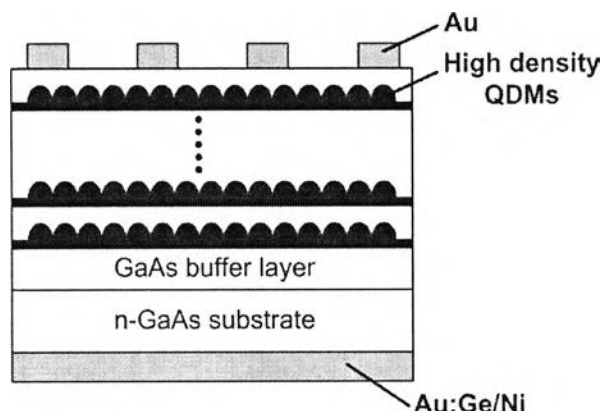
3.7.1.2 โครงสร้างชนิด Schottky high density quantum dot molecule solar cells

โครงสร้างต่อมาเป็นชนิด Schottky high density quantum dot molecule solar cells โดยได้ทำการปลูกโครงสร้างทั้งชนิดแบบ 1- stacked และ 5-stacked ซึ่งมีส่วนประกอบแต่ละชั้นโครงสร้างดังนี้ โดยเริ่มจากกรณี 1-stacked ซึ่งใช้แผ่นผลึกฐานชนิดเอ็น-แกเลียมอาร์เซไนด์เป็นแผ่นผลึกเริ่มต้น จากนั้นทำการปลูกชั้นแกเลียมอาร์เซไนด์บัพเฟอร์หนาราว 200 นาโนเมตร จากนั้นทำการปลูกชั้นควอนตัมดอตโมเลกุลแบบที่มีความหนาแน่นสูง เมื่อทำการปลูกชั้นควอนตัมดอตโมเลกุลแบบที่มีความหนาแน่นสูงแล้วเสร็จก็ทำการปลูกกลบด้วยชั้นแกเลียมอาร์เซไนด์ทับด้วยความหนาราว 50 นาโนเมตร สำหรับโครงสร้างที่ทำการปลูกขึ้นได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15 Single-stacked high density quantum dot molecule solar cells

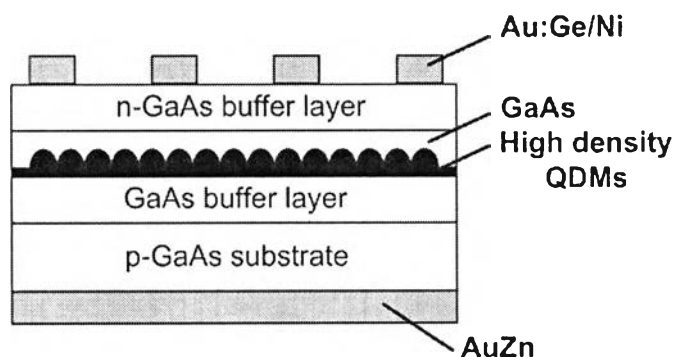
สำหรับกรณี 5-stacked นั้นมีขั้นตอนคล้ายกับการปลูกแบบ 1-stacked โดยเมื่อทำการปลูกชั้นควอนตัมดอตโมเลกุลแล้วก็จะทำการปลูกกลบด้วยแกเลียมอาร์เซไนด์ หนาราว 40 นาโนเมตร ทำลักษณะเช่นนี้ 5 รอบ แต่สำหรับรอบสุดท้ายจะเพิ่มความหนาของชั้นแกเลียมอาร์เซไนด์ที่ปิดทับเป็นความหนาราว 50 นาโนเมตร สำหรับโครงสร้างที่ทำการปลูกขึ้นได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 5-stacked high density quantum dot molecule solar cells

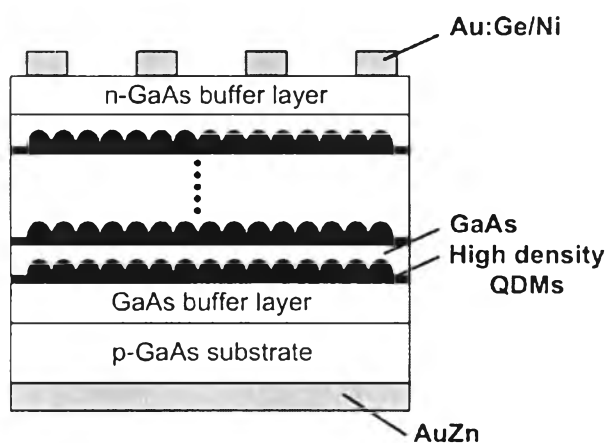
3.7.1.3 โครงสร้างชนิด Homo-junction high density quantum dot molecule solar cells

โครงสร้างต่อมาเป็นชนิด Homostructure high density quantum dot molecule solar cells โดยได้ทำการปลูกโครงสร้างทั้งชนิดแบบ 1- stacked และ 5-stacked ซึ่งมีส่วนประกอบแต่ละชั้น โครงสร้างดังนี้ โดยเริ่มจากกรณี 1-stacked ซึ่งใช้แผ่นผลึกฐานชนิดพี-แกเลียมอาร์เซไนด์เป็นแผ่นผลึกเริ่มต้น จากนั้นทำการปลูกชั้นแกเลียมอาร์เซไนด์บัฟเฟอร์หนาราว 200 นาโนเมตร จากนั้นทำการปลูกชั้นควอนตัมดอตโมเลกุลแบบที่มีความหนาแน่นสูง เมื่อทำการปลูกชั้นควอนตัมดอตโมเลกุลแบบที่มีความหนาแน่นสูงแล้วเสร็จก็ทำการปลูกกลับด้วยชั้นแกเลียมอาร์เซไนด์ทับด้วยความหนาราว 40 นาโนเมตรเมื่อทำการปลูกชั้นแกเลียมอาร์เซไนด์แล้วเสร็จก็ทำการปลูกชั้นเอ็น-แกเลียมอาร์เซไนด์ทับด้วยความหนาราว 200 นาโนเมตรที่มีค่าอัตราส่วนของสารเจือ (Carrier concentration) อยู่ที่ระดับ 10^{18} อะตอม/cm³ สำหรับโครงสร้างที่ทำการปลูกขึ้นได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.17



รูปที่ 3.17 Single-stacked high density quantum dot molecule solar cells (Homostructure)

สำหรับกรณี 5-stacked จะมีส่วนประกอบ โครงสร้างแต่ละชั้นดังนี้ โดยเริ่มใช้แผ่นผลึกฐานชนิดพี-แกเลียมอาร์เซไนด์เช่นกัน จากนั้นปลูกชั้นแกเลียมอาร์เซไนด์บัพเฟอร์หนาราว 200 นาโนเมตร หลังจากนั้นทำการปลูกชั้นควอนตัมดอตโมเลกุลแบบที่มีความหนาแน่นสูง เมื่อทำการปลูกชั้นควอนตัมดอตโมเลกุลแบบที่มีความหนาแน่นสูงแล้วก็จะทำการปลูกกลับด้วยแกเลียมอาร์เซไนด์ หนาราว 40 นาโนเมตร จากนั้นก็จะทำการปลูกชั้นควอนตัมดอตโมเลกุลแบบที่มีความหนาแน่นสูงและเมื่อทำการปลูกชั้นควอนตัมดอตโมเลกุลแบบที่มีความหนาแน่นสูงแล้วเสร็จก็ทำการปลูกกลับด้วยชั้นแกเลียมอาร์เซไนด์อีกครั้งด้วยความหนา 40 นาโนเมตรเช่นกัน ทำลักษณะเช่นนี้ 5 รอบ เมื่อทำการปลูกชั้นแกเลียมอาร์เซไนด์รอบสุดท้ายแล้วเสร็จก็ทำการปลูกชั้นเอ็น-แกเลียมอาร์เซไนด์ทับด้วยความหนาราว 200 นาโนเมตรที่มีค่าอัตราส่วนของสารเจือ (Carrier concentration) อยู่ที่ระดับ 10^{18} อะตอม/cm³ สำหรับโครงสร้างที่ทำการปลูกขึ้นได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.18

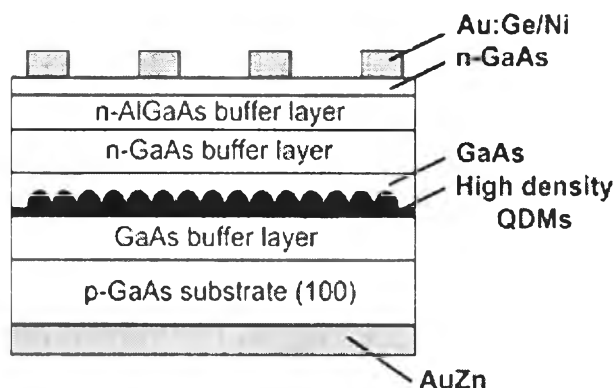


รูปที่ 3.18 5-stacked high density quantum dot molecule solar cells (Homostructure)

3.7.2.4 โครงสร้างชนิด Hetero-junction high density quantum dot molecule solar cells

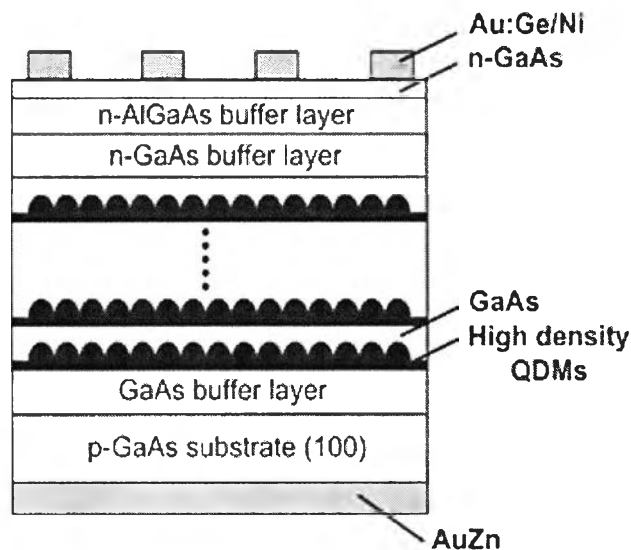
โครงสร้างต่อมาเป็นชนิด Heterostructure high density quantum dot molecule solar cells โดยได้ทำการปลูกโครงสร้างทั้งชนิดแบบ 1- stacked และ 5-stacked ซึ่งมีส่วนประกอบแต่ละชั้นโครงสร้างดังนี้ โดยเริ่มจากกรณี 1-stacked ซึ่งใช้แผ่นผลึกฐานชนิดพี-แกเลียมอาร์เซไนด์เป็นแผ่นผลึกเริ่มต้น จากนั้นทำการปลูกชั้นแกเลียมอาร์เซไนด์บัพเฟอร์หนาราว 200 นาโนเมตร จากนั้นทำการปลูกชั้นควอนตัมดอตโมเลกุลแบบที่มีความหนาแน่นสูง เมื่อทำการปลูกชั้นควอนตัมดอตโมเลกุลแบบที่มีความหนาแน่นสูงแล้วเสร็จก็ทำการปลูกกลับด้วยชั้นแกเลียมอาร์เซไนด์ทับด้วยความหนาราว 40 นาโนเมตรเมื่อทำการปลูกชั้นแกเลียมอาร์เซไนด์แล้วเสร็จก็ทำการปลูกชั้นเอ็น-แกเลียมอาร์เซไนด์ทับด้วยความหนาราว 200 นาโนเมตรที่มีค่าอัตราส่วนของสารเจือ (Carrier

concentration) อยู่ที่ระดับ 10^{18} อะตอม/cm³ จากนั้นทำการปลูกชั้นเอ็น-แกลเลียมอะลูมิเนียมอาร์เซไนด์ ที่มีส่วนผสม (Content: x) เท่ากับ 0.4 ที่มีความหนา 50 นาโนเมตรด้วยอัตราส่วนของสารเจือที่เท่ากัน จากนั้นทำการปลูกชั้นเอ็น-แกลเลียมอาร์เซไนด์บางๆ หนา 20 นาโนเมตรซึ่งมีค่าอัตราส่วนของสารเจือที่เท่ากันปิดทับเป็นชั้นสุดท้าย สำหรับโครงสร้างที่ทำการปลูกชั้นได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.19



รูปที่ 3.19 Single-stacked high density quantum dot molecule solar cells

สำหรับกรณี 5-stacked จะมีส่วนประกอบโครงสร้างแต่ละชั้นดังนี้ โดยเริ่มใช้แผ่นผลึกฐานชนิดพี-แกลเลียมอาร์เซไนด์เช่นกัน จากนั้นปลูกชั้นแกลเลียมอาร์เซไนด์บัพเฟอร์หนา 200 นาโนเมตร หลังจากนั้นทำการปลูกชั้นควอนตัมดอทโมเลกุลแบบที่มีความหนาแน่นสูง เมื่อทำการปลูกชั้นควอนตัมดอทโมเลกุลแบบที่มีความหนาแน่นสูงแล้วก็จะทำการปลูกเคลือบด้วยแกลเลียมอาร์เซไนด์ หนา 40 นาโนเมตร จากนั้นก็จะทำการปลูกชั้นควอนตัมดอทโมเลกุลแบบที่มีความหนาแน่นสูงและเมื่อทำการปลูกชั้นควอนตัมดอทโมเลกุลแบบที่มีความหนาแน่นสูงแล้วเสร็จก็ทำการปลูกเคลือบด้วยชั้นแกลเลียมอาร์เซไนด์อีกครั้งด้วยความหนา 40 นาโนเมตรเช่นกัน ทำลักษณะเช่นนี้ 5 รอบ เมื่อทำการปลูกชั้นแกลเลียมอาร์เซไนด์รอบสุดท้ายแล้วเสร็จก็ทำการปลูกชั้นเอ็น-แกลเลียมอาร์เซไนด์ทับด้วยความหนา 200 นาโนเมตรที่มีค่าอัตราส่วนของสารเจือ (Carrier concentration) อยู่ที่ระดับ 10^{18} อะตอม/cm³ จากนั้นทำการปลูกชั้นเอ็น-แกลเลียมอะลูมิเนียมอาร์เซไนด์ ที่มีส่วนผสม (Content: x) เท่ากับ 0.4 ที่มีความหนา 50 นาโนเมตรด้วยอัตราส่วนของสารเจือที่เท่ากัน จากนั้นทำการปลูกชั้นเอ็น-แกลเลียมอาร์เซไนด์บางๆ หนา 20 นาโนเมตรซึ่งมีค่าอัตราส่วนของสารเจือที่เท่ากันปิดทับเป็นชั้นสุดท้าย สำหรับโครงสร้างที่ทำการปลูกชั้นได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.20



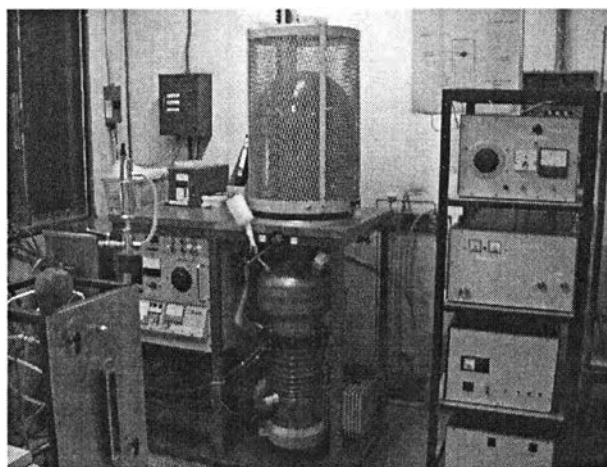
รูปที่ 3.20 5-stacked high density quantum dot molecule solar cells

3.2 ขั้นตอนการทำขั้วสัมผัสของเซลล์แสงอาทิตย์

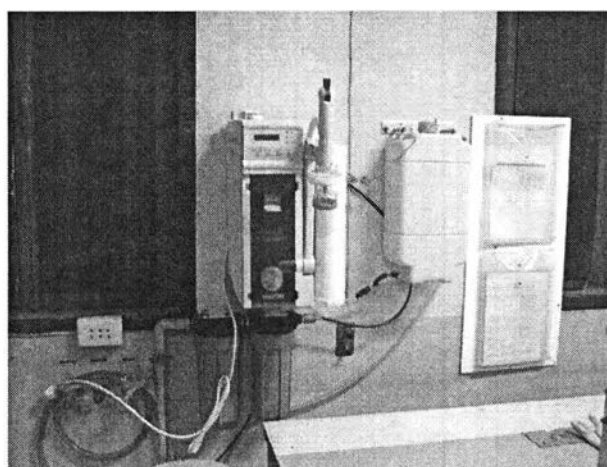
สำหรับการทดลองนี้ได้มีการสร้างขั้วผิวสัมผัสทั้งที่เป็นแบบชอตต์คีย์ (Schottky contact) และแบบโอห์มมิก (Ohmic contact) ขึ้น ซึ่งจัดเป็นส่วนประกอบที่สำคัญสำหรับการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ กระบวนการการทำขั้วสัมผัสนั้นเริ่มจากเมื่อนำแผ่นผลึก โครงสร้างที่ทำการปลูก โครงสร้างตามทีออกแบบไว้ออกมาจากเครื่องปลูกผลึกแบบลำโมเลกุล ซึ่งเมื่อนำออกมาจากบล็อกลูกผลึกนั้น จะพบว่าด้านหลังของแผ่นผลึก โครงสร้างจะติดเต็มไปด้วยอินเดียมที่ทำหน้าเป็นตัวยึดติดระหว่างแผ่นผลึก โครงสร้างกับบล็อกสำหรับปลูกผลึก ดังนั้นก่อนที่จะนำแผ่นผลึก โครงสร้างนี้ ไปสู่กระบวนการการสร้างขั้วสัมผัส จึงต้องต้องนำไปขัดอินเดียมที่ติดอยู่ด้านหลังออกให้หมดเสียก่อน ซึ่งสามารถทำได้โดยการใช้ผงขัดอะลูมินาผสมกับน้ำ DI โดยการขัดจะทำการขัดวนเป็นเลขแปดเพื่อให้เกิดความสม่ำเสมอของผิวแผ่นผลึก โครงสร้างด้านหลัง และเมื่อทำการขัดอินเดียมที่ติดอยู่ด้านหลังจนหมดก็นำไปล้างด้วยน้ำ DI อีกครั้งหนึ่ง จากนั้นนำแผ่นผลึก โครงสร้างไปล้างด้วยอะซิโตน เพื่อขจัดคราบไขมันต่างๆออกจากผิวหน้าของแผ่น จากนั้นก็นำไปล้างด้วยน้ำ DI อีกครั้งหนึ่ง จากนั้นก็นำไปล้างด้วยกรดเกลือ (HCl) เพื่อทำความสะอาดผิวหน้า จากนั้นก็นำไปล้างด้วยน้ำ DI อีกครั้งหนึ่ง และนำไปเป่าด้วยก๊าซไนโตรเจนจนแห้งสนิท

หลังจากที่ทำความสะอาดผิวหน้าของแผ่นผลึก โครงสร้างรวมถึงการขัดกำจัดอินเดียมที่ติดอยู่ด้านหลังของแผ่นผลึก โครงสร้างเรียบร้อยแล้ว ต่อไปก็เป็นกระบวนการการสร้างขั้วสัมผัสแบบชนิด

ต่างๆ ตามที่ต้องการ ซึ่งเครื่องมือที่ใช้ในการสร้างขั้วสัมผัสได้แก่ เครื่อง Evaporation ดังรูปที่ 3.21 สำหรับขั้นตอนการสร้างขั้วสัมผัสมีดังนี้



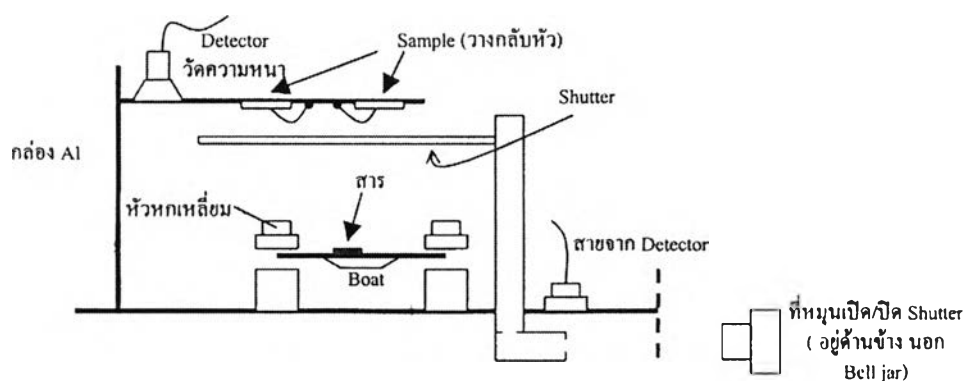
รูปที่ 3.21 เครื่อง Evaporation ที่ใช้สำหรับทำขั้วโลหะชนิดต่างๆ



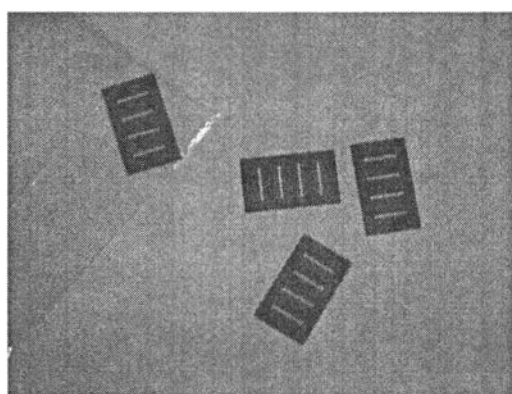
รูปที่ 3.22 เครื่องผลิตน้ำ DI สำหรับใช้ล้างทำความสะอาดชิ้นงาน

เริ่มจากเมื่อทำการล้างทำความสะอาดผิวหน้าของแผ่นผลึกโครงสร้างที่สร้างขึ้นเรียบร้อยแล้ว ต่อจากจึงนำแผ่นผลึกโครงสร้างไปยึดติดกับแผ่นติดชิ้นงาน ซึ่งจะอยู่ภายใน Chamber รูปทรงระฆังคว่ำที่เป็นแก้ว จากนั้นนำสารที่ต้องการใช้เป็นขั้วสัมผัสต่างๆ ใส่เข้าไปใน Boat และนำไปติดกับแกนแท่งที่จะให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ดังนั้นเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน Boat ก็จะเป็นความร้อนขึ้นที่ Boat เป็นอย่างมาก (ขึ้นอยู่กับปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ไหลผ่าน) จากนั้นทำการปิดชุดเตอร์ และทำการติดตั้งตัววัดความหนาตามตำแหน่ง หลังจากนั้นทำการปิด Chamber แล้วทำการปั๊มบรรยากาศภายใน Chamber ให้มีความดันบรรยากาศอยู่ที่ราว 10^{-6} - 10^{-7} torr โดยเริ่มจากปั๊มโดยปั๊ม

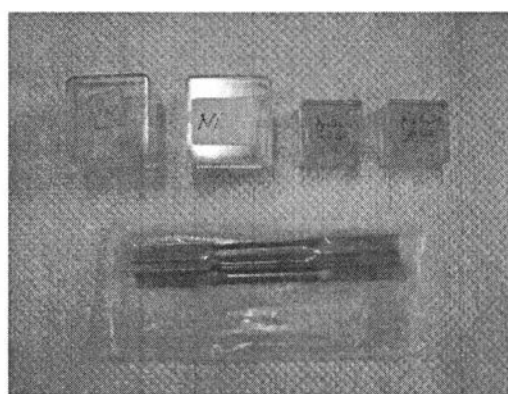
Rotary pump ให้ได้ความดันบรรยากาศราว 10^{-3} torr จากนั้นก็ใช้ Diffusion pump เพื่อทำการปั๊มให้ได้ความดันบรรยากาศราว 10^{-6} - 10^{-7} torr ตามที่ต้องการ จากนั้นทำการเพิ่มค่ากระแสที่ไหลผ่าน Boat จนสารที่ใส่ไว้เกิดการระเหยกกลายเป็นไอ จึงทำการเปิดชัตเตอร์เพื่อให้ไอระเหยติดบนแผ่นผลึก โครงสร้างตามที่ต้องการ สำหรับสภาพภายใน Chamber และการติดตั้งชิ้นงานและอุปกรณ์การวัดได้แสดงดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 3.23 การติดตั้งชิ้นงานและอุปกรณ์การวัดค่าความหนาของชั้นโลหะ



(ก)

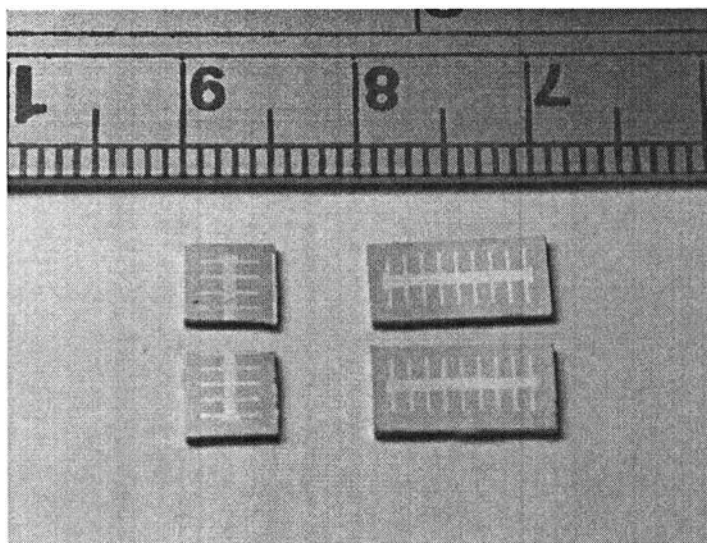


(ข)

รูปที่ 3.24 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้และวัตถุดิบในการทำขั้วโลหะ ดังนี้ (ก) แผ่นหน้ากากสำหรับทำลวดลาย (ข) วัตถุดิบในการทำขั้วโลหะแบบต่างๆ

หลังจากที่ทำการระเหยสารที่ใช้เป็นขั้วสัมผัสเสร็จ ในกรณีที่ทำเป็นขั้วสัมผัสแบบโอห์มมิก จะต้องนำไปแอนนิวเพื่อให้ขั้วสัมผัสนั้นมีคุณสมบัติเป็นโอห์มมิกที่ดี ซึ่งแต่ละชนิดของสารที่ใช้ทำขั้วสัมผัสก็จะมีค่าอุณหภูมิในการแอนนิวต่างกันออกไป เช่นในงานวิจัยชิ้นนี้มีการใช้สารสำหรับทำขั้วสัมผัส 2 ชนิดคือ สาร AuGi:Ni สำหรับใช้เป็นขั้วสัมผัสชนิดโอห์มมิกของแผ่นผลึกแคลเลียมอาร์เซไนด์ชนิดเอ็น จะต้องนำไปแอนนิวที่อุณหภูมิราว 495 องศาเซลเซียส สำหรับสารอีก

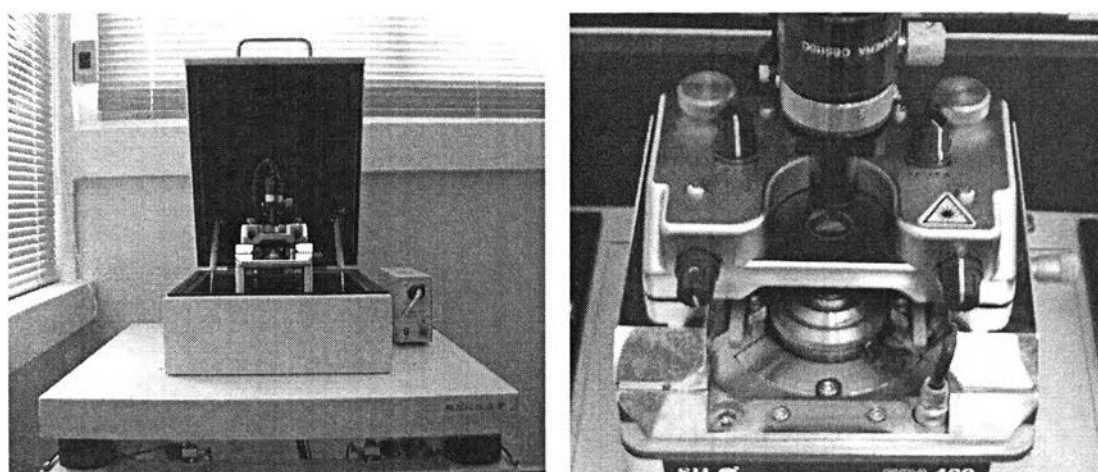
ชนิดหนึ่งก็คือ AuZn สำหรับใช้เป็นขั้วสัมผัสชนิดโอห์มมิคของแผ่นผลึกแคลเซียมอาร์เซไนด์ชนิดพี ซึ่งจะนำไปแอนนิงที่อุณหภูมิราว 395 องศาเซลเซียส สำหรับระยะเวลาในการแอนนิงนั้นขึ้นอยู่กับค่าความหนาของขั้วสัมผัส และการแอนนิงนี้จะกระทำในบรรยากาศก๊าซไนโตรเจน ซึ่งสุดท้ายก็จะได้เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีลวดลายดังรูปที่ 3.25



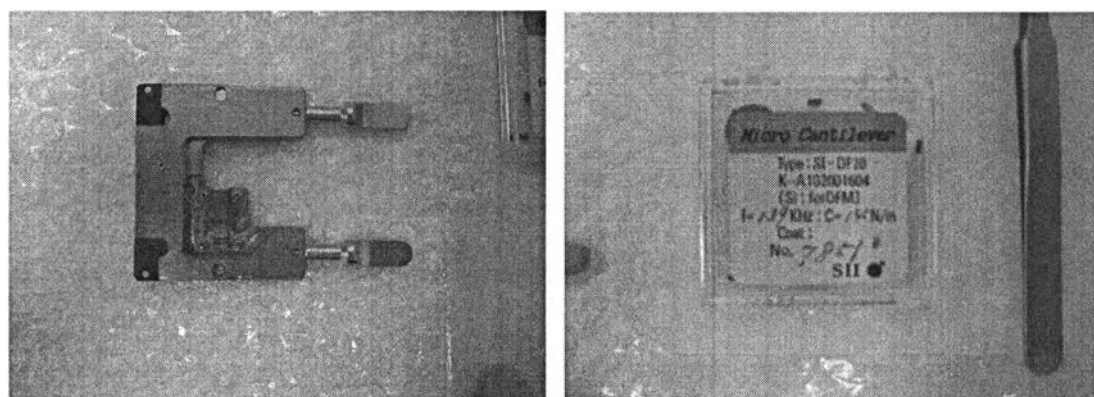
รูปที่ 3.25 แสดงลวดลายเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้น

3.3 การวัดตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของควอนตัมดอต

การตรวจสอบลักษณะทางกายภาพของควอนตัมดอตนั้นมีจุดประสงค์ในการศึกษาขนาดและความสูง รวมถึงจำนวนความหนาแน่นของควอนตัมดอตที่สร้างขึ้นว่ามีลักษณะเป็นอย่างไร และสอดคล้องกับสิ่งที่ต้องการหรือไม่ ซึ่งในงานวิจัยชิ้นนี้ระบบตรวจวัดหรือเครื่องมือวัดลักษณะทางกายภาพจะใช้เครื่องวัด Atomic Force Microscopy: AFM เป็นหลักในการศึกษาลักษณะทางกายภาพของควอนตัมดอตที่สร้างขึ้น ซึ่งสามารถให้ความละเอียดถึงระดับนาโนเมตร สำหรับเครื่องมือวัดแบบ AFM ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้แสดงดังรูปที่ 3.26



รูปที่ 3.26 เครื่องวัด Atomic Force Microscopy: AFM



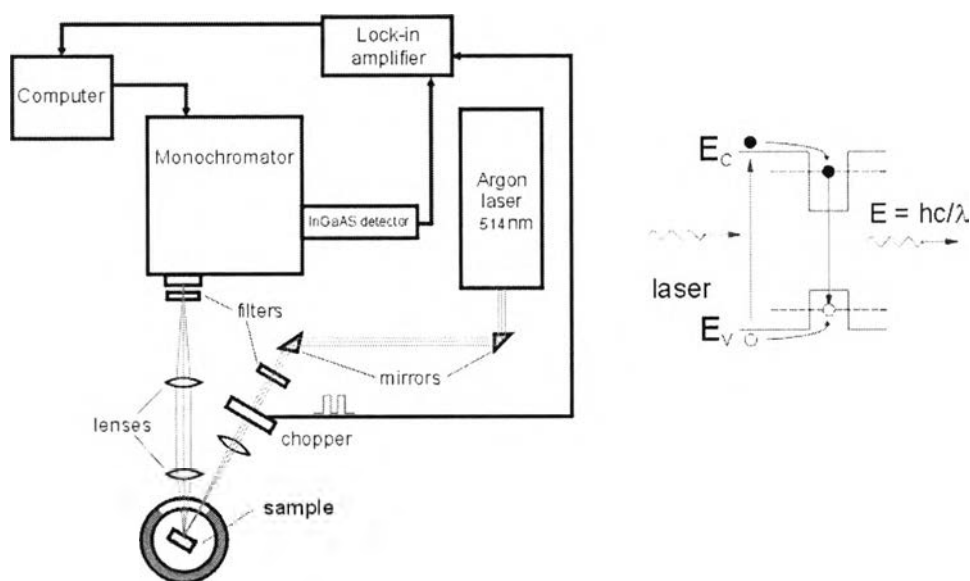
(ก)

(ข)

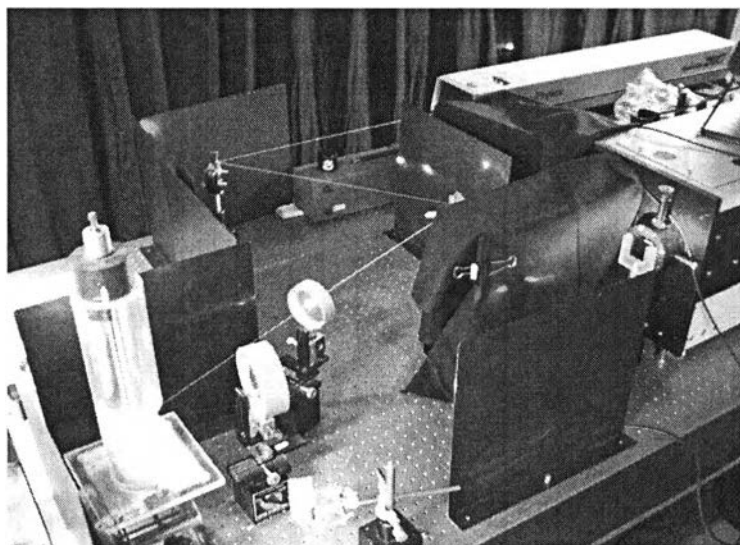
รูปที่ 3.27 อุปกรณ์สำคัญที่ใช้ในการวัด AFM (ก) ตัวจับทูป (Holder) (ข) ตัวทูป (Tip)

3.4 การวัดตรวจสอบคุณลักษณะทางแสงของควอนตัมดอต

สำหรับการตรวจสอบคุณลักษณะทางแสงของควอนตัมดอต นั้นใช้ระบบการวัดโฟโตลูมิเนสเซนส์ในการศึกษาคุณลักษณะ ซึ่งมีขั้นตอนการทดลองได้ดังนี้ โดยเริ่มจากใช้เลเซอร์ชนิด Ar^+ ที่มีความยาวคลื่นเท่ากับ 514 นาโนเมตร ทำหน้าที่กระตุ้นแผ่นชิ้นงาน ซึ่งแสงที่เปล่งออกมา หลังจากการกระตุ้นด้วยเลเซอร์จะถูกรวบรวมด้วยเลนส์ จากนั้นก็ผ่านเข้าไปในส่วนโมโนโครมาเตอร์ (Monochromator) ซึ่งโมโนโครมาเตอร์จะทำหน้าที่ในการแยกสเปกตรัมของแสงออก และส่งผ่านความยาวคลื่นเฉพาะค่าที่กำหนดมายังโฟโตมัลติพลายเออร์ (Photomultiplier) เพื่อทำการแปลงสัญญาณความเข้มแสงเป็นค่ากระแส และส่งผ่านไปยังส่วนขยาย (Lock-in Amplifier) เพื่อขยายสัญญาณและแปลงเป็นแรงดันให้แก่มัลติมิเตอร์เพื่อบันทึกค่าต่อไป โมโนโครมาเตอร์และมัลติมิเตอร์ถูกควบคุมได้โดยเครื่องคอมพิวเตอร์ และการทำงานของลือกอินแอมป์จะสัมพันธ์กับตัวตัดแสง (Light chopper) ลือกอินแอมป์จะวัดสัญญาณในช่วงที่ตัดแสงและไม่ตัดแสง ช่วงที่ตัดแสงจะเป็นช่วงที่ลือกอินแอมป์ไม่ได้รับสัญญาณมีแต่สัญญาณรบกวน และช่วงที่ไม่ตัดแสงจะเป็นช่วงที่ลือกอินแอมป์ได้รับสัญญาณซึ่งมีทั้งสัญญาณจริงและสัญญาณรบกวน ดังนั้นหากนำสัญญาณที่ได้ทั้งสองช่วงเวลามาหักลบกันก็จะทำให้ได้สัญญาณที่มีสัญญาณรบกวนน้อยลง สำหรับระบบวัดโฟโตลูมิเนสเซนส์ได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.28 แสดงระบบวัดโฟโตลูมิเนสเซนส์

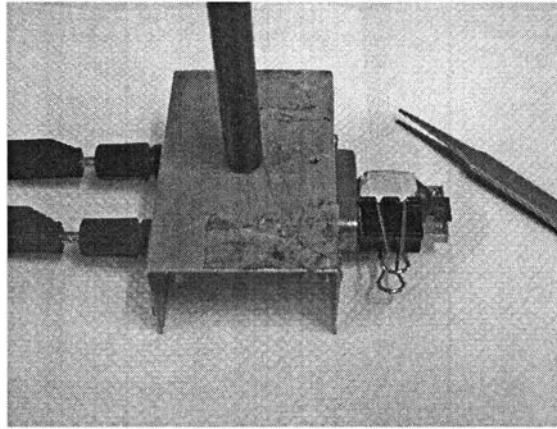


รูปที่ 3.29 การวัดโฟโตลูมิเนสเซนส์ที่ห้องปฏิบัติการวิจัยสารกึ่งตัวนำ

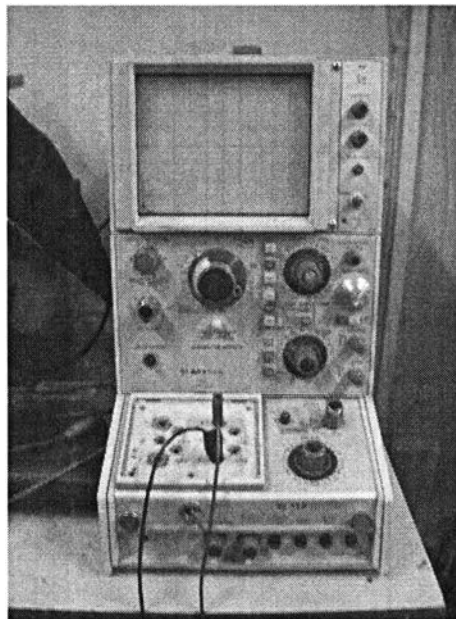
3.5 การวัดตรวจสอบคุณลักษณะสมบัติทางกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์

การตรวจสอบคุณสมบัติทางกระแสและแรงดันต่อแสงที่ตกกระทบ นั้นกระทำเพื่อทดสอบเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นว่ามีคุณลักษณะอย่างไร อีกทั้งผลที่ได้ยังบอกถึงคุณภาพข้อสัมผัสที่สร้างขึ้นว่ามีลักษณะดีหรือไม่ดีเพียงใด ซึ่งการทดลองจะใช้เครื่องจำลองแสงอาทิตย์ (Solar simulator) ที่ใช้หลอดฮาโลเจนซึ่งเป็นหลอดไฟจุดสว่าง (incandescent lamp) ซึ่งบรรจุก๊าซฮาโลเจนไว้เป็นแหล่งกำเนิดแสง หลอดไฟชนิดนี้จะให้ปริมาณแสงที่ความถี่สูงมากกว่าหลอดไฟสว่างธรรมดา อย่างไรก็ตามหลอดไฟชนิดนี้แม้จะให้สเปกตรัมของแสงใกล้เคียงกับแสงอาทิตย์แต่ก็ยังมีปริมาณแสงในย่านอินฟราเรดสูงกว่าแสงอาทิตย์จริง ซึ่งนับว่ามีความสะดวกในการทดสอบเป็นอย่างมาก โดยจะสร้างแสงอาทิตย์จำลองที่ระดับความเข้ม AM1 หรือ $100\text{mW}/\text{cm}^2$ เพื่อทดสอบคุณลักษณะสมบัติทางกระแสและแรงดัน ซึ่งสำหรับขั้นในการทดลองมีดังนี้

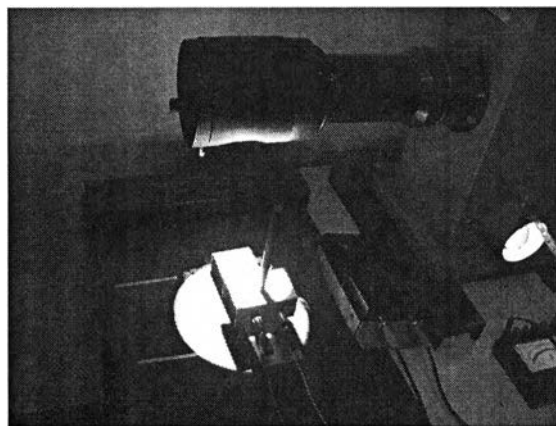
เริ่มจากนำเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นไปติดตั้งกับอุปกรณ์ที่สร้างขึ้น โดยจะมีโพรบสัมผัสทั้งด้านหน้าและด้านหลังซึ่งตัวโพรบจะต่อกับสายไฟที่นำไปต่อกับเครื่องวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้า จากนั้นไปวางที่ตำแหน่งฉายแสง เพื่อทำการวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าต่อไป



รูปที่ 3.30 อุปกรณ์สำหรับติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์สำหรับวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้า



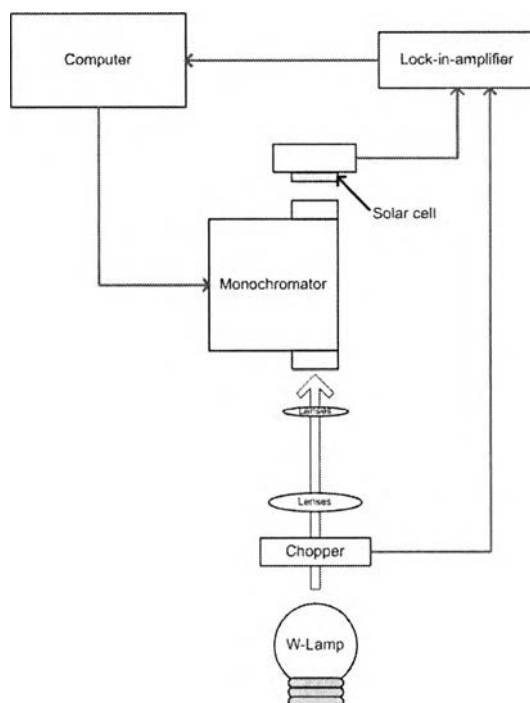
รูปที่ 3.31 เครื่อง Curve tracer สำหรับวัดค่าทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์



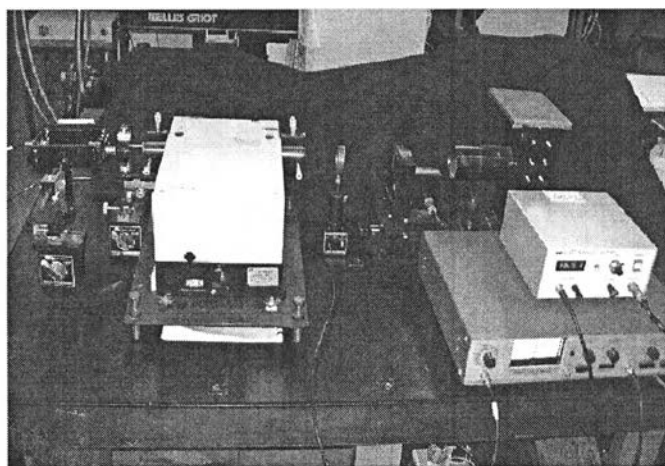
รูปที่ 3.32 การวัดคุณสมบัติทางไฟฟ้าโดยเครื่องจำลองแสงอาทิตย์

3.6 การวัดสเปกตรัมการตอบสนองต่อแสงของเซลล์แสงอาทิตย์

การวัดสเปกตรัมการตอบสนองต่อแสงของเซลล์แสงอาทิตย์นั้นกระทำเพื่อศึกษาการตอบสนองต่อแสงที่ตกกระทบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นนั้นสามารถทำงานได้หรือไม่ที่ค่าความถี่แสงค่านั้นๆ ซึ่งในการทดลองนี้ทำการวัดโดยไม่มีกรไบอัสให้แก่เซลล์แสงอาทิตย์ โดยได้แสดงระบบการวัดสเปกตรัมการตอบสนองต่อแสงอาทิตย์ของเซลล์แสงอาทิตย์ไว้ดังรูปที่ 3.33



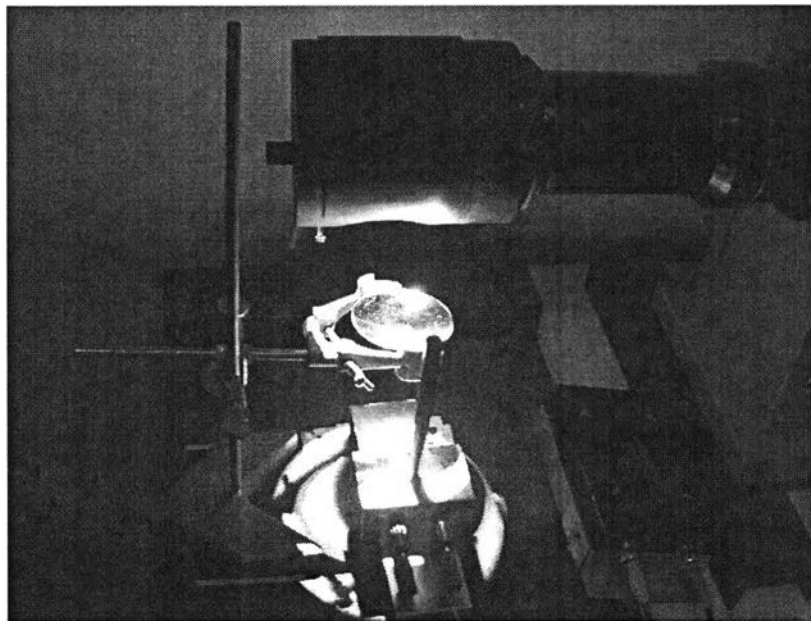
รูปที่ 3.33 ระบบการวัดสเปกตรัมการตอบสนองต่อแสงที่ตกกระทบ



รูปที่ 3.34 ระบบการวัดสเปกตรัมผลตอบสนองต่อแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในห้องทดลอง

3.7 การวัดตรวจสอบคุณลักษณะสมบัติทางกระแสและแรงดันของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ความเข้มสูง

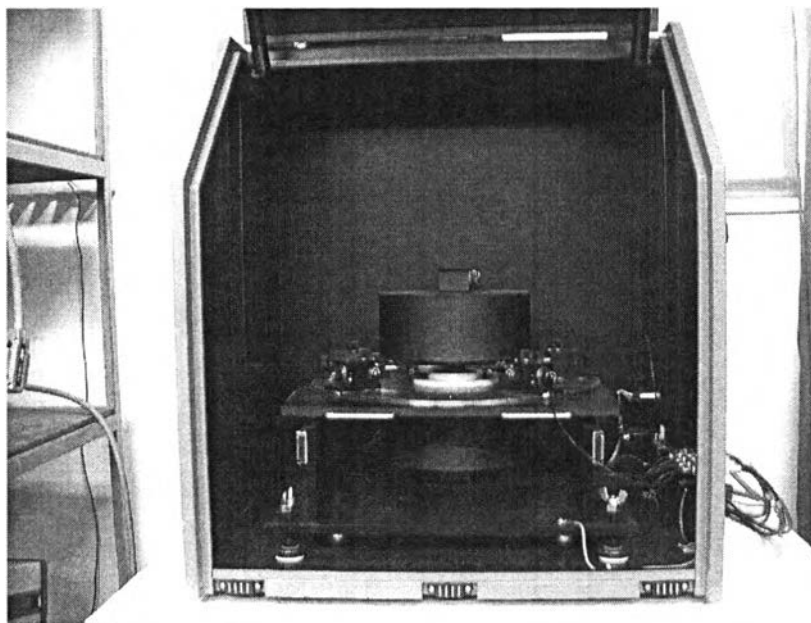
การทดสอบที่ค่าความเข้มแสงสูง (มากกว่า 1 SUN) นั้นกระทำขึ้นเพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้น เพื่อดูแนวโน้มที่จะนำเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้ไปใช้งานที่ความเข้มแสงสูงต่อไป เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้จัดว่ามีราคาค่อนข้างแพง การนำไปใช้งานในสภาวะปกติอาจจะไม่คุ้มกับค่าใช้จ่าย ซึ่งสำหรับการทดลองนั้นเราทำการโดยใช้เลนส์รวมแสงจากแสงอาทิตย์เทียมที่สร้างขึ้นในห้องปฏิบัติการวิจัยสารกึ่งตัวนำ และทำการปรับระยะโฟกัสของเลนส์คิดเป็นเท่าของระยะโฟกัส สำหรับระบบรวมแสงที่สร้างขึ้นได้แสดงไว้ดังรูปที่ 3.35



รูปที่ 3.35 ระบบและส่วนประกอบของการเพิ่มความเข้มแสง

3.8 การวัดค่าสภาพคล่อง

สำหรับในงานวิจัยนี้จำเป็นต้องทราบถึงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อนำไปใช้ในการออกแบบเซลล์แสงอาทิตย์ว่าแต่ละชั้นควรมีความหนาเป็นเท่าไรจึงจะเหมาะสม ได้แก่ ค่าความหนาแน่นพาหะ (Carrier concentration) ค่าความคล่องตัว (Mobility) ซึ่งค่าต่างนั้นสามารถที่จะวัดได้ด้วยวิธีปรากฏการณ์ฮอลล์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้วิธีของ Van der Pauw เพราะเนื่องจากใช้แก้ปัญหาเรื่องของชิ้นงานที่ทำขั้วโลหะไม่สมมาตรกัน เนื่องจากการทำขั้วโลหะให้สมมาตรกันนั้นค่อนข้างทำได้ยาก อีกทั้งวิธีนี้ยังเหมาะกับการใช้วัดชิ้นงานที่เป็นฟิล์มบาง (Thin Film) แบบอพิเทกซีที่ปลูกบนแผ่นฐานได้อีกด้วย สำหรับรูปด้านล่างแสดงภาพเครื่องวัดค่าสภาพคล่องที่ใช้งาน ดังรูปที่ 3.36



รูปที่ 3.36 เครื่องวัดค่าสภาพคล่อง