สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

สำหรับการปลูกชั้นควอนตัมดอตโมเลกุลนั้นใช้เทคนิคการปลูกกลบและการปลูกควอนตัมดอตซ้ำด้วยความหนา 1.2 ML ส่วนการปลูกชั้นควอนตัมดอตโมเลกุลแบบที่มีความหนาแน่นสูงนั้นใช้เทคนิคการปลูกลบและการปลูกควอนตัมดอตซ้ำแบบหลายรอบ โดยที่ 4 รอบแรกด้วยความหนา 0.6 ML ส่วนรอบที่ 5 (รอบสุดท้าย) ด้วยความหนา 1.5 ML

และเมื่อนำมาประยุกต์เข้ากับโครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ ก็พบว่าสามารถขยายย่านการตอบสนองของเซลล์แสงอาทิตย์ต่อย่านความยาวคลื่นยาวได้ดีขึ้นและยิ่งเห็นผลยิ่งขึ้นเมื่อนำไปประยุกต์เข้ากับเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีโครงสร้างแบบ Heterostcurture เนื่องจากเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดนี้มีค่าของสนามไฟฟ้าภายในค่อนข้างสูงอีกทั้งยังมีชั้นหน้าต่างสำหรับรับแสงที่ตกกระทบ และจากทฤษฎี Intermediate band แสดงให้เห็นว่าการมีชั้นพลังงานภายในแถบพลังงานต้องห้ามจะทำให้รับ photon ที่มีพลังงานน้อยกว่า E_g ได้หรือ photon ที่มีความยาวคลื่นยาวได้มากขึ้นและจากคุณสมบัติของ Quantum dot ที่สามารถเก็บกักพาหะได้ใน 3 มิติ คือมีระดับขั้นความเสรีของพาหะเท่ากับศูนย์ และมีความหนาแน่นของสถานะเป็นเดลตาฟังก์ชั่น (δ - function) ดังนั้นการแทรกชั้น Quantum dots แบบต่างๆจึงทำให้เกิด Intermediate band ที่ได้จากการเหลื่อมล้ำกันของระดับพลังงานควอนไทซ์ซึ่งสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ได้

ตารางที่ 5.1 สรุปค่าพารามิเตอร์ต่างๆของ Sample แบบต่างๆ

Embedded structures	Device type	Stacks number of QD or QDM	J_{sc} (mA/cm²)	V_{oc} (v)	F.F (%)	η (%)
QDs	Schottky	3	0.60	0.24	0.53	0.07
QDMs	Schottky	1	0.68	0.25	0.34	0.05
QDMs	Schottky	5	0.64	0.30	0.37	0.07
High density QDMs	Schottky	1	1.50	0.30	0.50	0.22
High density QDMs	Schottky	5	2.10	0.30	0.50	0.31
High density QDMs	Homostructure	1	9.60	0.50	0.52	2.5
High density QDMs	Homostructure	5	14.40	0.50	0.62	4.5
High density QDMs	Heterostructure	0	30.40	0.70	0.68	14.5
High density QDMs	Heterostructure	1	38.40	0.70	0.67	18.0
High density QDMs	Heterostructure	5	62.40	0.70	0.56	24.5

จากตารางจะเห็นว่าโครงสร้างแบบที่มีการแทรกชั้นควอนตัมดอตโมเลกุลแบบที่มีความหนาแน่นสูงให้ค่ากระแสที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะกรณีของ Multi-stacked high density quantum dot molecule ซึ่งมีความหนาแน่นของ dot มากที่สุด จึงทำให้เกิดระดับพลังงานที่ชัดเจนและมีความต่อเนื่องกันมากกว่าโครงสร้างแบบอื่นๆ จึงทำให้ได้ความเข้มกระแสลัดวงจรมากกว่าโครงสร้างที่มีการแทรกชั้นควอนดัมดอตหรือแบบที่มีการแทรกชั้นควอนตัมดอตโมเลกุล และโครงสร้างแบบ Heterostructure และ โครงสร้างแบบ Homostructure ก็ให้แรงดันเปิดวงจรที่ดีกว่าแบบ Schottky

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 เงื่อนไขของควอนตัมดอตที่ให้ Intermediate band ที่ดี

- ควอนตัมดอตต้องมีขนาดเล็กพอที่จะเก็บกักพาหะให้มีความอิสระใน 0 มิติ และมีขนาดใหญ่พอที่จะมีระดับพลังงานควอนไทซ์อย่างน้อยหนึ่งระดับพลังงาน

- ควอนตัมดอตจะต้องไม่มีจุดบกพร่อง

-จำนวนควอนตัมดอตที่สร้างต้องมีความหนาแน่นมากพอที่จะทำให้เกิดการเหลื่อมล้ำของระดับพลังงานควอนไทซ์และมีขนาดใกล้เคียงกันเพื่อให้ได้ Intermediate band ที่กว้าง

- ระยะห่างระหว่างดอตควรน้อยกว่า 95 อังสตรอม

5.2.2 สิ่งที่มีผลกระทบกับการปลูกควอนตัมดอต

- อุณหภูมิของแผ่นฐาน การเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิของแผ่นฐานมีผลกระทบในช่วงการเปลี่ยนรูปของโครงสร้างจาก 2 มิติเป็น 3 มิติ โดยหากอุณหภูมิของแผ่นฐานสูงจะทำให้อะตอมของ In ที่ปลูกลงไปมีพลังงานมากและสามารถเคลื่อนที่บนผิวหน้าที่ดีทำให้ In สามารถวิ่งไปรวมตัวเป็นดอตที่ใหญ่ได้มากดังนั้นจึงส่งผลให้ระดับพลังงานควอนไทซ์ในโครงสร้างจะมีค่าต่ำลง

- ปริมาณของ In ช่วงแรกของการเกิดควอนดัมดอต การเพิ่มปริมาณของ In ที่ปลูกจะไปเพิ่มจำนวนดอตให้มากขึ้นและดอตที่เกิดขึ้นจะมีการปรับขนาดและรูปร่างให้มีลักษณะเดียวกันเพื่อเข้าสู่สมดุล ทำให้การกระจายของขนาดลดลงแต่ค่าเฉลี่ยของขนาดของดอตยังมีค่าเท่าเดิม หลังจากนั้นเมื่อดอตมีการเรียงตัวกันจนเต็มผิวหน้าแล้ว In อะตอมที่ปลูกเพิ่มลงไปในช่วงหลังจึงจะไปเพิ่มขนาดของดอตทำให้ขนาดเฉลี่ยของดอตเพิ่มขึ้น

- อัตราเร็วในการปลูกผลึกชั้นควอนตัมดอต การปลูกดอตที่อัตราเร็วต่ำเสมือนเป็นการที่ให้ In อะตอมมีเวลาที่จะสามารถวิ่งบนผิวได้มากขึ้นจึงส่งผลกระทบในลักษณะเดียวกันกับการปลูก

ควอนตัมดอตที่อุณหภูมิสูง ดังนั้นควอนตัมดอตที่ได้จะมีขนาดใหญ่ขึ้นซึ่งส่งผลทำให้ระดับพลังงานควอนไทซ์ต่ำลง

- ผลของปริมาณ As ในการสร้างควอนตัมดอตบน GaAs จะสร้างในสภาวะ As-riched คือ ปลูกในบรรยากาศที่เต็มไปด้วย As โดยปริมาณของ As_4 จะส่งผลกระทบต่อความสม่ำเสมอของควอนตัมดอตคือหากมีอะตอมของ Asในบรรยากาศมาก จะทำให้การเคลื่อนที่ของอะตอม In บนผิวหน้าของแผ่นฐานไม่ดี ขนาดของ ควอนตัมดอตที่เกิดขึ้นจึงมีความไม่สม่ำเสมอ แต่การลดปริมาณ As ในบรรยากาศขณะการปลูกผลึกจะมีขีดจำกัด คือบรรยากาศจะต้องอยู่ในสภาวะที่เต็มไปด้วย As เพื่อป้องกันการหลุดออกมาจากแว่นผลึกทำให้ได้ผลึก InAs ที่มีคุณภาพดี

- ผลของจำนวนชั้นของควอนตัมดอต เมื่อจำนวนชั้นของควอนตัมดอตมากขึ้นทำให้ระดับค่าพลังงานของสเปกตรัมตรงจุดที่มีความเข้มสูงมีค่าลดลง (กราฟจะมีการเลื่อนไปทางซ้ายกรณีที่แกน x เป็นแกนพลังงาน) ตามจำนวนชั้นที่เพิ่มขึ้น (เสมือนเป็นดอตขนาดใหญ่) ซึ่งส่งผลให้ค่าพลังงานของโครงสร้างควอนตัมดอตลดลง

5.2.3 ปัญหาของความต้านทานอนุกรมที่มีผลกับประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์โดยเฉพาะกับแสงที่ความเข้มสูง

- ความลึกของหัวต่อ ความลึกของหัวต่อจะมีผลอย่างมากต่อความด้านทานอนุกรมโดยถ้าความลึกของหัวต่อมากจะทำให้แสงเข้าถึงได้น้อยลงแต่จะทำให้มีค่าความต้านทานอนุกรมต่ำ ส่วนถ้าต้องการให้แสงเข้าถึงได้มากต้องทำให้ความลึกของหัวต่อบางซึ่งจะทำให้ความต้านทานอนุกรมมาก

- ความหนาของแว่นผลึก หากแว่นผลึกบางจะให้ค่าความต้านทานอนุกรมต่ำแต่จะส่งผลให้โฟตอนบางส่วนจะไม่ถูกดูดกลืน แต่หากแว่นผลึกหนาจะทำให้โฟตอนถูกดูดกลืนมากขึ้นแต่ความต้านทานอนุกรมจะสูงขึ้นด้วย

- ลักษณะของอิเล็กโตรดด้านหน้า ถ้าเส้นอิเล็กโตรดมีขนาดกว้างจะทำให้ความด้านทานอนุกรมมีค่าน้อยลงแต่จะทำให้พื้นที่รับแสงลดลงด้วย ส่วนระยะห่างระหว่างอิเล็กโตรดถ้ามีค่ามากจะทำให้รับแสงได้มากแต่จะทำให้ความต้านทานอนุกรมมากตามไปด้วย

- ความเข้มข้นของสารเจือปนในชั้นผลึก หากความเข้มข้นของสารเจือปนในแว่นผลึกต่ำจะทำให้ค่าเวลาชีวิตของพาหะมีค่าเพิ่มขึ้นแต่จะทำให้ค่าความต้านทานเพิ่มขึ้นด้วย ส่วนค่าความเข้มข้นของสารเจือปนในชั้นแพร่ซึมปรกติมีค่าสูงแต่หากสูงเกินไปจะทำให้ค่าเวลาชีวิตของพาหะต่ำมากและอาจทำให้เกิดการแคบลงของแถบพลังงานต้องห้ามซึ่งจะทำให้ค่าแรงดันเปิดวงจรมีค่าต่ำกว่าทางทฤษฎี