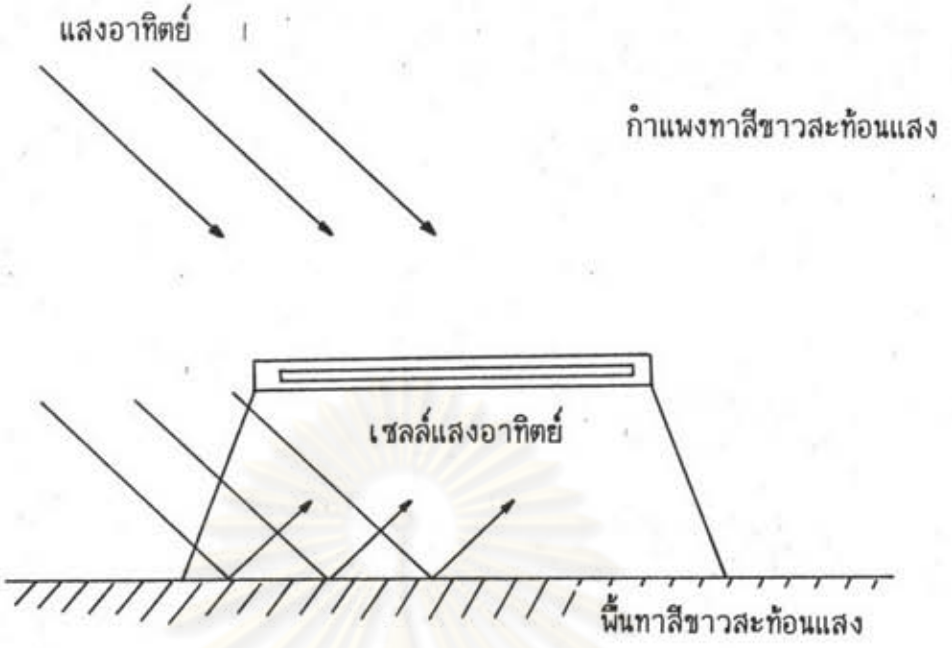
บทที่ 6

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุปผลการทดลอง

การสร้างเซลล์แสงอาทิตย์แบบ SC2AA ได้ผลดีพอใช้คือ ค่ากำลังไฟฟ้าขาออกมีค่าประมาณ 1.6 เท่า เมื่อเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์แบบ CSC ซึ่งได้ตั้งเป้าหมายไว้ว่ากำลังไฟฟ้าขาออกควรมีค่าอยู่ระหว่าง 1 - 2 เท่า และควรจะมีค่าสูงกว่านี้ถ้ามีการออกแบบหน้ากากสำหรับการแพร่ซึมและหน้ากากสำหรับการทำขั้วโลหะที่ดีกว่านี้ เนื่องจากหน้ากากที่ออกแบบมานั้นมีขนาดโตพอที่ผู้วิจัยสามารถทำการปรับแนว (Alignment) ได้ง่าย ซึ่งอาจมีขนาดที่เหมาะสมมากกว่านี้

ผลการทดลองสร้างเซลล์แสงอาทิตย์แบบ SC2AA นั้นพบว่าผลที่ได้ยังไม่คุ้มกับการสร้างเพราะว่าเซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพสูงไม่พอ เมื่อเทียบกับประสิทธิภาพของเซลล์แบบ CSC (ถ้าคิดเทียบกับพื้นที่ทั้งหมดโดยไม่หักขั้วโลหะ) แม้ว่าจะมีบางตัวมีประสิทธิภาพค่อนข้างสูงก็ตาม รวมทั้งการสร้างมีขั้นตอนสลับซับซ้อนกว่าเซลล์แสงอาทิตย์แบบ CSC มากทำให้ใช้เวลาการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์แต่ละตัวกินเวลานานขึ้นและสารเคมีเปลืองเพิ่มขึ้น ต้นทุนการผลิตจึงสูงขึ้นตามซึ่งผิดจุดประสงค์ของการวิจัย และผลการทดลองในรูปที่ 5.22 แสดงให้เห็นว่าเซลล์แสงอาทิตย์แบบ CSC ที่มีกระจกสะท้อนแสงวางทำมุม 60° มีค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรสูงกว่าเซลล์แสงอาทิตย์แบบ SC2AA ที่มีกระจกสะท้อนแสงวางทำมุม 45° ซึ่งเป็นการยืนยันว่าถ้ามีการใช้งานในลักษณะนี้ผลที่ได้ไม่คุ้มกับการสร้างแน่นอน เนื่องจากการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์แบบ SC2AA มีขั้นตอนสลับซับซ้อนกว่า แต่ถ้านำเซลล์แสงอาทิตย์แบบ SC2AA มาใช้งานแบบเดียวกับเซลล์แสงอาทิตย์แบบ CSC และที่พื้นทางด้านหลังสามารถสะท้อนแสงได้โดยไม่ใช้กระจกสะท้อนแสงช่วยดังรูปที่ 6.1 พบว่ามีกระแสไฟฟ้าลัดวงจรเพิ่มขึ้น ซึ่งค่ากระแสไฟฟ้าลัดวงจรที่เพิ่มขึ้นมานี้มีค่าเปลี่ยนไปตามระยะทางระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์กับพื้นผิวที่สะท้อนแสง ถ้าระยะห่างน้อยกระแสไฟฟ้าลัดวงจรจะมีค่ามาก ดังนั้นถ้ามีการใช้งานลักษณะนี้ผลที่ได้น่าจะคุ้มค่ามากกว่า



รูปที่ 6.1 เซลล์แสงอาทิตย์แบบ SC2AA ที่มีการใช้งานแบบเดียวกับเซลล์แสงอาทิตย์แบบ CSC

ผลการทดลองสามารถนำมาสรุปเป็นข้อๆ ได้ดังนี้คือ

1. จากการทดลองเมื่อมีการต่อเซลล์แสงอาทิตย์ในลักษณะขนานกัน พบว่าส่วนใหญ่ของค่าพารามิเตอร์ต่างๆไม่ว่าจะเป็น V_{oc}, FF, η จะมีค่าอยู่ระหว่างเซลล์แสงอาทิตย์ที่วัดจากทางด้านหน้าและด้านหลัง เช่น V_{oc} วัดทางด้านหน้าได้ 0.529 V. วัดทางด้านหลังได้ 0.509 V. วัดเมื่อต่อลักษณะขนานกันได้ 0.517 V. , FF วัดทางด้านหน้าได้ 0.54 วัดทางด้านหลังได้ 0.56 วัดเมื่อต่อลักษณะขนานกันได้ 0.55 และ η วัดทางด้านหน้าได้ 6.56 % วัดทางด้านหลังได้ 5.53 % วัดเมื่อต่อลักษณะขนานกันได้ 6.39 % เป็นต้น

2. I_{sc} ที่เกิดจากการต่อเซลล์แสงอาทิตย์ในลักษณะขนานกันไม่ได้เกิดจากการนำเอา I_{sc} ทางด้านหน้า I_{sc} ทางด้านหลัง เมื่อมีการฉายแสงทีละด้าน รวมกับ I_{sc} ที่เกิดจากการฉายแสงเข้าทางด้านลึกของหัวต่อแล้ววัดอีกด้านหนึ่ง ดังสมการที่ 6.1 แต่เกิดจาก I_{sc} ที่เกิดจากการฉายแสงเข้าทางด้านหน้าและด้านหลังพร้อมกันแล้ววัดทางด้านหน้า รวมกับ I_{sc} ที่เกิดจากการฉายแสงเข้าทางด้านหน้าและด้านหลังพร้อมกันแล้ววัดทางด้านหลัง ดังสมการที่ 6.2

$$I_{sc} \text{ ขนาน} = I_{sc} \text{ หน้า} + I_{sc} \text{ หลัง} + I_{sc_1} + I_{sc_2} \qquad (6.1)$$

เมื่อ I_{sc} หน้า คือ กระแสไฟฟ้าลัดวงจรที่วัดทางด้านหน้าเมื่อมีการฉายแสงเข้าทางด้านหน้า

I_{sc} หลัง คือ กระแสไฟฟ้าลัดวงจรที่วัดทางด้านหลังเมื่อมีการฉายแสงเข้าทางด้านหลัง

I_{sc_1} คือ กระแสไฟฟ้าลัดวงจรที่วัดทางด้านหน้าเมื่อมีการฉายแสงเข้าทางด้านหลัง

I_{sc_2} คือ กระแสไฟฟ้าลัดวงจรที่วัดทางด้านหลังเมื่อมีการฉายแสงเข้าทางด้านหน้า

$$I_{sc} \text{ ขนาน} = I_1 + I_2 \qquad (6.2)$$

เมื่อ I_1 คือ กระแสไฟฟ้าลัดวงจรที่เกิดจากการฉายแสงเข้าทางด้านหน้าและด้านหลังพร้อมกันแล้ววัดทางด้านหน้า

I_2 คือ กระแสไฟฟ้าลัดวงจรที่เกิดจากการฉายแสงเข้าทางด้านหน้าและด้านหลังพร้อมกันแล้ววัดทางด้านหลัง

โดยที่ $I_1 > I_{sc}$ หน้า $+ I_{sc_1}$

$I_2 > I_{sc}$ หลัง $+ I_{sc_2}$

3. เงื่อนไขการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์พบว่าในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์แบบ SC2AA โดยใช้แว่นผลึกที่มีความต้านทานจำเพาะ 0.1 - 0.2 Ω.cm การแพร่ซึมด้วยเวลา 5' + 15' + 5' นาที แล้วกัดซิลิคอนให้ได้ค่าความต้านทานแผ่น (Sheet Resistance) ≃ 20 - 30 Ω/□ จะให้ค่า Isc ค่อนข้างสูงและยังคงมีค่าฟิลล์แฟกเตอร์ที่มีค่าสูงพอยังคงยอมรับได้ เซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้มีประสิทธิภาพสูงที่สุดในการทดลอง

4. ในการคำนวณหาค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจะต้องหักพื้นที่ส่วนที่เป็นขั้นพีออกด้วย เนื่องจากอิเล็กตรอน-โฮลที่เกิดขึ้นเมื่อมีการฉายแสงนั้นมีบางส่วนรวมตัวไปหมดก่อนที่จะถึงขั้วโลหะซึ่งไม่ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้า

5. การที่จะสร้างเซลล์แสงอาทิตย์แบบ SC2AA ให้มีประสิทธิภาพดีเท่ากับเซลล์แสงอาทิตย์แบบ CSC นั้นเป็นไปได้ยากสำหรับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำจาก Single Crystal หรือ Polycrystalline เนื่องจากพื้นที่ทำงานจะน้อยกว่าเพราะมีขั้วโลหะบนชั้นพีเพิ่มขึ้นมา แต่อาจเป็นไปได้ในเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีขั้วโลหะแบบโปร่งใส

6. เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีโครงสร้างแบบที่ 6 จะมีค่า I_{sc} สูงกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีโครงสร้างแบบที่ 5 เนื่องจากมีพื้นที่ทำงานมากกว่า

7. ค่าความต้านทานอนุกรมในแนวราบ (Lateral Resistance) มีค่าค่อนข้างสูงประมาณ 1-2 Ω (สำหรับเซลล์ฯที่มีคุณภาพค่อนข้างดี) ซึ่งมีค่าน้อยพอที่จะยอมรับได้ เนื่องจากไม่ไปลดค่าประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์มากนัก

8. ปัญหาที่เกิดในการประดิษฐ์เซลล์แสงอาทิตย์ส่วนใหญ่จะเกิดในขั้นตอนการชุบนิกเกิลและบัดกรีต่อสาย จำเป็นต้องใช้น้ำยาที่ใหม่ในการชุบทุกครั้งจึงจะทำให้นิกเกิลติดดี และการเลือกใช้ฟลักซ์ที่ใช้สำหรับบัดกรีต้องเลือกให้มีคุณภาพที่ค่อนข้างดี การบัดกรีจึงทำได้ง่าย

9. เพื่อที่จะหาสาเหตุที่เซลล์แสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพค่อนข้างต่ำจึงนำเอาค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในตารางที่ 5.1 - 5.18 แทนลงในสมการที่ 2.13 เพื่อหาค่า I_{ph} ซึ่งตั้งสมมุติฐานไว้ว่าถ้า I_{ph} มีค่าไม่แตกต่างกับ I_{sc} มากนักแสดงว่าค่า R_s ไม่ใช่เป็นตัวลดประสิทธิภาพของเซลล์ฯ ซึ่งจากการแทนค่าพารามิเตอร์ต่างๆ แล้วพบว่าค่า I_{ph} มีค่าแตกต่างจาก I_{sc} มากอยู่ในช่วงประมาณ 10 - 100 เท่าเกือบทุกตัว ดังนั้นค่า R_s ควรจะเป็นตัวที่ลดประสิทธิภาพของเซลล์ฯ แต่เมื่อลองพิจารณาค่า R_s ในตารางแล้วพบว่าค่า R_s มีค่าค่อนข้างต่ำพอที่จะไม่ไปลดประสิทธิภาพมากนัก ซึ่งแสดงว่าอาจมีการวัดข้อมูลตัวใดตัวหนึ่งผิดพลาดและเมื่อลองเปลี่ยนค่า I_{o1} ให้มีค่าน้อยลงและหรือเปลี่ยนค่า n_1 ให้มีค่าสูงขึ้นพบว่า I_{ph} มีค่าใกล้เคียงกับค่า I_{sc} ซึ่งอาจเป็นไปได้ว่าข้อมูลที่วัดมานั้นผิดพลาดจากความเป็นจริง ทั้งนี้เนื่องจากการวัด I_{o1}, I_{o2}, n_1, n_2 นั้นทำได้ยากเพราะข้อมูลไม่ต่อเนื่อง ส่วนการวัดค่า R_s, R_{sh} ค่อนข้างเชื่อถือได้มากกว่า ดังนั้นจึงยังไม่ทราบแน่ชัดว่าสาเหตุที่เซลล์ฯ มีประสิทธิภาพต่ำนั้นเนื่องเพราะเหตุใด

6.2 ข้อเสนอแนะ

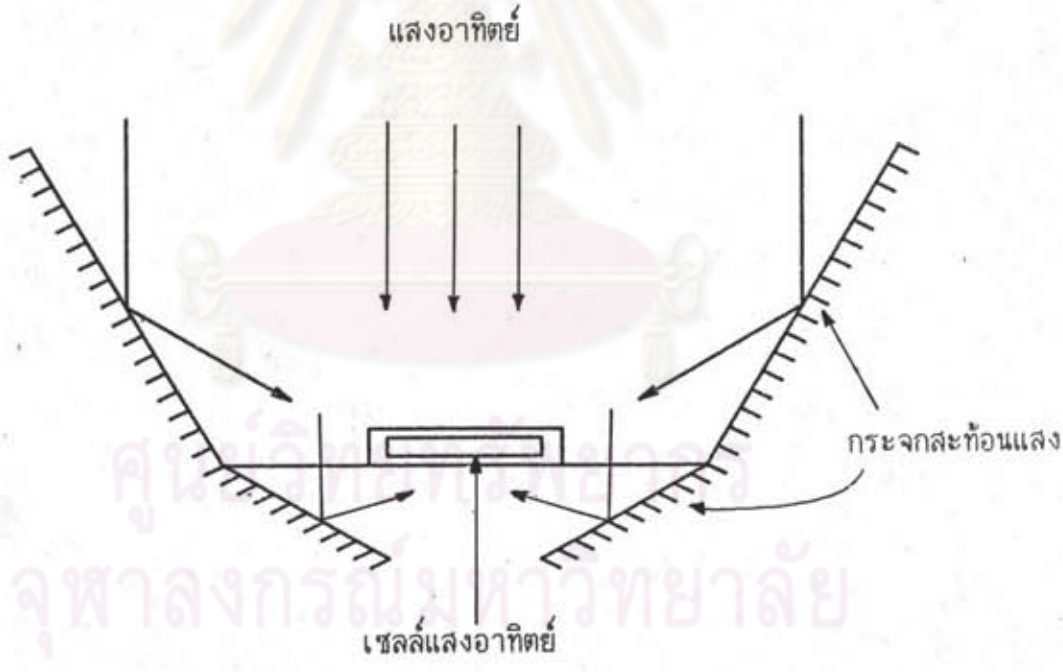
1. ถ้าเลือกใช้แว่นผลึกที่มีความต้านทานจำเพาะใกล้กับ 1 Ω-cm ผลที่ได้ควรจะมีค่าดีกว่านี้ ซึ่งโดยทั่วไปเซลล์แสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพสูงที่ค่าความต้านทานจำเพาะ 1 Ω-cm แต่เนื่องจากห้องปฏิบัติการวิจัยสารกึ่งตัวนำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยไม่มีค่าที่ใกล้เคียงให้เลือกใช้จำเป็นต้องใช้ค่าประมาณ 0.1 Ω-cm

2. การใช้วิธี Lift Off ในขั้นตอนการทำขั้วโลหะนั้นไม่ต้องทำการอบ 120 °C หลังจากทำการ Develope แล้วเนื่องจากจะทำให้น้ำยาไวแสงแข็งตัวเกินไปซึ่งเมื่อทำการฉาบไอโลหะแล้วทำให้ล้างไม่ออกและอาจทำให้โลหะที่ฉาบไว้หลุดออกมาด้วย

3. ถ้ามีการปรับปรุงการแพร่ซึมให้ดีขึ้นคือสามารถควบคุมความลึกของหัวต่อและความเข้มข้นที่ผิวได้เซลล์แสงอาทิตย์จะมีประสิทธิภาพดีกว่านี้แน่นอน เนื่องจากผลการทดลองบ่งถึงค่าความลึกของหัวต่อมีค่าน้อยและต้องมีลักษณะที่เป็นการโดปอย่างหนัก (Heavily dope) เซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้จะมีประสิทธิภาพสูง

4. ถ้าช่องมองภาพของเครื่องถ่ายแบบหน้ากากลงบนแว่นผลึกมองได้ชัดกว่าที่เป็นอยู่ขณะนี้ จะสามารถทำให้ออกแบบหน้ากากในการทำขั้วโลหะและการแพร่ซึมมีรายละเอียดดีกว่านี้

5. จากการทดลองพบว่าเซลล์แสงอาทิตย์แบบ CSC ที่มีกระจกสะท้อนแสงทำมุม 60° จะให้กำลังไฟฟ้าใกล้เคียงกับเซลล์แสงอาทิตย์แบบ SC2AA ดังนั้นถ้าลองเปลี่ยนการติดตั้งเซลล์แสงอาทิตย์แบบ SC2AA ให้วางในแนวนอนและมีกระจกสะท้อนแสงทำมุม 60° ทางด้านหน้าและทางด้านหลังวางกระจกสะท้อนแสงทำมุม 30° ดังรูปที่ 6.2 น่าจะให้กำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นอีกมาก



รูปที่ 6.2 เซลล์แสงอาทิตย์แบบ SC2AA วางในแนวนอนและมีกระจกสะท้อน 2 คู่