ผลของความกว้างเซลล์ที่มีต่อประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางซิลิคอนบนพื้นที่ขนาดใหญ่

Effect of the cell width on the efficiency of the large area thin film silicon solar module

ทรงเกียรติ กิตติสนธิรักษ์ นพดล สิทธิพล อมรรัตน์ ลิ้มมณี จรัญ ศรีธาราธิคุณ กอบศักดิ์ ศรีประภา
สถาบันพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ (SOLARTEC), สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (NSTDA)
111 ถ.พหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120
โทร 0-2564-7000 ต่อ 2722 โทรสาร 0-2564-7059 E-mail : songkiate@nstda.or.th
Songkiate Kittisontirak* Nopphadol Sitthiphol Amornrat Limmanee Jaran Sritharathikhun Kobsak Sriprapha
Institute of Solar Energy Technology Development (SOLARTEC), National Science and Technology Development Agency,
111 Phahonyothin Rd., Klong 1, Klong Luang, Pathumthani, 12120, Thailand
Tel: 02 564 7000 ext 2722 Fax: 02 564 7059, * Corresponding author: songkiate@nstda.or.th

บทคัดย่อ

เงื่อนไขหนึ่งในการพัฒนาประสิทธิภาพแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอนที่สำคัญคือการหาเงื่อนไขที่ดีที่สุดสำหรับพื้นที่รับแสงและจำนวนเซลล์ ซึ่งส่งผลต่อค่าศักย์วงจรเปิด, Open circuit voltage (V_{OC}) และกระแสไฟฟ้าลัดวงจร, Short circuit current (I_{SC}) คือเมื่อแบ่งจำนวนเซลล์เพิ่มมากขึ้นค่า V_{OC} ของแผงเซลล์จะมีค่าสูงขึ้นตามไปด้วย ในขณะที่ค่า I_{SC} ก็จะลดลงตามพื้นที่ของแต่ละเซลล์ที่ลดลง นอกจากนั้นการเพิ่มขึ้นของจำนวนเซลล์จะส่งผลให้ค่าความต้านทานอนุกรม (R_S) สูงขึ้น ส่งผลให้ค่า fill factor (FF) ลดลง งานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาผลของความกว้างของเซลล์ที่มีต่อประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางซิลิคอนบนแผ่นฐานรองกระจกนำไฟฟ้าโปร่งแสงขนาด 0.79 m^2 สร้างด้วยวิธี RF-PECVD (Radio Frequency-Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition) ในห้องเคลือบแบบเดี่ยว (Single chamber) [1] โดยใช้โครงสร้างเซลล์ซ้อน (multi-junction) แบบอะมอร์ฟัส/อะมอร์ฟัสซิลิคอน (a-Si:H/a-Si:H) จากการทดลองเปลี่ยนความกว้างของเซลล์ค่าต่างๆเป็น 2.94, 2.33, 1.93, 1.65, 1.51, 1.43 และ 0.93 cm บนพื้นที่ขนาด 0.79 m^2 แผงเซลล์จะมีค่ากำลังไฟฟ้าเท่ากับ 46.8, 47.3, 50.3, 50.8, 55.2, 51.3 และ45.6 วัตต์ ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า การหาความกว้างเซลล์ที่เหมาะสมสามารถส่งผลต่อการปรับปรุงประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ได้

คำสำคัญ **:** เซลล์แสงอาทิตย์, ฟิล์มบางซิลิคอน

Abstract

In order to increase the efficiency of amorphous silicon solar modules, an active area and the number of cells in the module are very important factors. When the number of cells increased, open circuit voltage (V_{OC}) increased while short circuit current (I_{SC}) decreased due to decreasing in each cells area. However, series resistance (R_S) also became higher leading to the reduction of fill factor (FF). In this research, we studied the effect of cell width on the efficiency of 0.79 m^2 thin film silicon solar cell module with a structure of a-Si:H/a-Si:H multi-junction fabricated by using radio frequency-plasma enhanced chemical vapor deposition (RF-PECVD) technique in single chamber (batch type). In our experiments, the width of cells was varied to be 2.94, 2.33, 1.93, 1.65, 1.51, 1.43 และ 0.93 cm with the total area of 0.79 m^2 and we obtained the output power of solar cells of 46.8, 47.3, 50.3, 50.8, 55.2, 51.3 and 45.6 watt, respectively. Experiment results showed that the properly width of cells can improve a conversion efficiency of the large area thin film solar cell module.

Key words **:** Solar cell, Thin film silicon

1. บทนำ

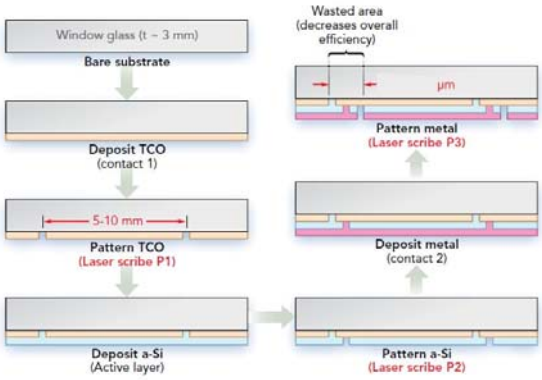
เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางซิลิคอน (thin film silicon solar cells) เป็นเซลล์แสงอาทิตย์อีกชนิดหนึ่งที่ได้รับความนิยมและมีการใช้งานเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากมีจุดเด่นหลายประการ อาทิเช่น มีราคาถูก ต้นทุนในการผลิตต่ำ สามารถสร้างได้บนพื้นที่กว้าง และใช้วัตถุดิบในการผลิตน้อยเมื่อเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิคอนทั่วไป อย่างไรก็ตามประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดดังกล่าวนี้ยังด้อยกว่าเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิคอน ทำให้มีการพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพอย่างต่อเนื่อง ปัจจุบันแผงเซลล์แสงอาทิตย์ขนาด 0.79 m^2 ที่มีโครงสร้างแบบเซลล์ซ้อน (multi-junction solar cells) ระหว่างอะมอร์ฟัส/อะมอร์ฟัสซิลิคอน (amorphous/ amorphous silicon, a-Si:H/a-Si:H) ของทางสถาบันพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์มีประสิทธิภาพประมาณ 6.3% (กำลังไฟฟ้าที่สภาวะเสถียรประมาณ 50 W)

เนื่องจากจุดเด่นของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางซิลิคอนที่สามารถสร้างได้บนพื้นที่ขนาดใหญ่นั้น ทำให้มีความจำเป็นที่จะต้องมีการแบ่งเซลล์ให้มีจำนวนที่เหมาะสมเพื่อให้ได้แผงเซลล์ที่มีประสิทธิภาพสูงที่สุด งานวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงผลของความกว้างเซลล์ที่มีต่อประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางซิลิคอนบนพื้นที่ขนาดใหญ่ ซึ่งจะส่งผลต่อ ค่าศักย์วงจรเปิด (V_{OC}) และกระแสไฟฟ้าลัดวงจร (I_{SC}) เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมที่มีต่อประสิทธิภาพของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางซิลิคอน

2. วิธีการทดลอง

2.1 กระบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดโครงสร้าง glass/ SnO_2/ p a-SiO/ i a-Si/ n μc-Si/ p μc-Si/ i a-Si/ n μc-Si/ ZnO/ Ag จะถูกใช้ในงานวิจัยนี้โดยกระบวนการทดลองแสดงดังรูปที่1เริ่มจากการใช้กระจกเคลือบขั้วนำไฟฟ้าโปร่งแสง(TCO) ขนาด 0.79 m^2เป็นฐานรองสำหรับสร้างฟิล์มบางซิลิคอน กระบวนการแรกทำการตัดชั้นฟิล์มนำไฟฟ้าโปร่งแสงด้วยเครื่องLaser Scriberแสดงดังรูปที่ 2 โดยใช้ด้วยความยาวคลื่น 1064 nm เรียกว่า P1 จากนั้นนำแผ่นฐานรองไปทำการสร้างฟิล์มบางซิลิคอนด้วยวิธี RF-PECVD ในห้องเคลือบแบบเดี่ยว (Single chamber) ดังรูปที่ 3 หลังจากที่เสร็จกระบวนการเคลือบฟิล์มบางซิลิคอนครบทุกชั้นแล้วเซลล์แสงอาทิตย์จะถูกนำไปตัดด้วยแสงเลเซอร์โดยเครื่อง Laser Scriberอีกครั้งที่ความยาวคลื่น 532 nmเรียกว่าP2 เพื่อทำการแบ่งชั้นฟิล์มบางซิลิคอน จากนั้นนำไปเคลือบขั้วนำไฟฟ้า(ZnOและAl) ด้วยเครื่อง PVD (Physical Vapor Deposition) เพื่อเป็นชั้น Back contact เสร็จแล้วนำไปตัดด้วย เลเซอร์ความยาวคลื่น 532 nm ครั้งสุดท้ายเรียกว่า P3 เพื่อตัดชั้นขั้วนำไฟฟ้าแบ่งเป็นจำนวนเซลล์ตามต้องการ แล้วจึงวัดประสิทธิภาพภายใต้แสง AM 1.5, 1000 W/m^2 ที่ 25 °C



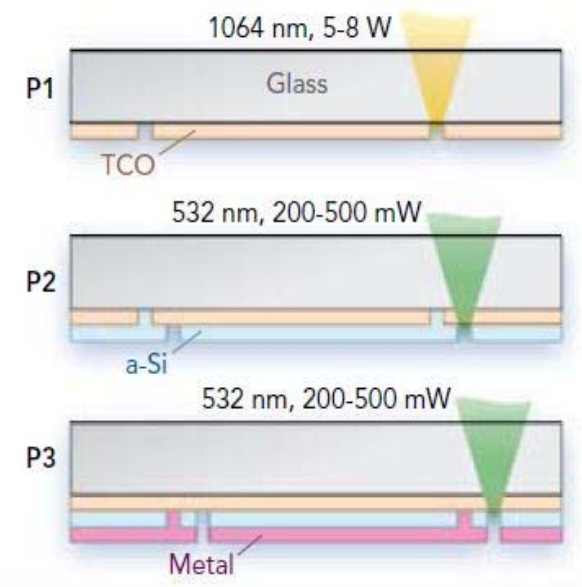
รูปที่ 1 กระบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางอะมอร์ฟัสซิลิคอน

รูปที่ 2 เครื่อง Laser Scriber

รูปที่ 3 ห้องเคลือบระบบ Plasma-enhanced chemical vapor deposition (PECVD) แบบSingle chamber

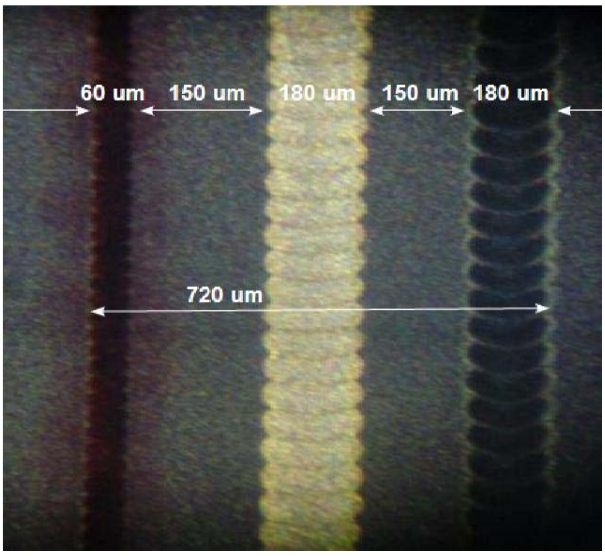
2.2 กระบวนการแบ่งเซลล์ด้วยเครื่องLaser Scriber

รูปที่ 4 แสดงภาพตัดขวางของกระบวนการแบ่งเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งประกอบไปด้วย P1,P2,P3 [2] โดยทิศทางการไหลของกระแสจะเริ่มจาก Back contact ของขั้วบวก ผ่าน TCO แล้วขึ้นไปยังชั้นฟิล์มของเซลล์ถัดไป จนไปถึงยังขั้วลบของเซลล์สุดท้ายโดยแต่ละเซลล์จะต่ออนุกรมกัน ฉะนั้น จำนวนเซลล์ที่ทำการแบ่งจำส่งผลต่อความต้านทานอนุกรมของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ด้วย



รูปที่ 4 แสดงภาพตัดขวางเซลล์แสงอาทิตย์หลังตัด P1,P2 และ P3

ขนาดของเส้น P1,P2,P3 รวมทั้งระยะห่างของแต่ละเส้นแสดงดังรูปที่ 5 ซึ่งพื้นที่ดังกล่าวเป็นพื้นที่สูญเสีย (Dead area) มีขนาด 8.748 cm^2 ต่อ 1 เซลล์ โดยพื้นที่ Dead area อันเนื่องจากการแบ่งเซลล์จะขึ้นอยู่กับจำนวนเซลล์ที่ทำการแบ่งต่อ1แผงเซลล์แสงอาทิตย์



รูปที่ 5 แสดงขนาดและระยะห่างของ P1,P2 และ P3

3. ผลการทดลอง

3.1 ผลของความกว้างเซลล์ที่มีต่อประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์

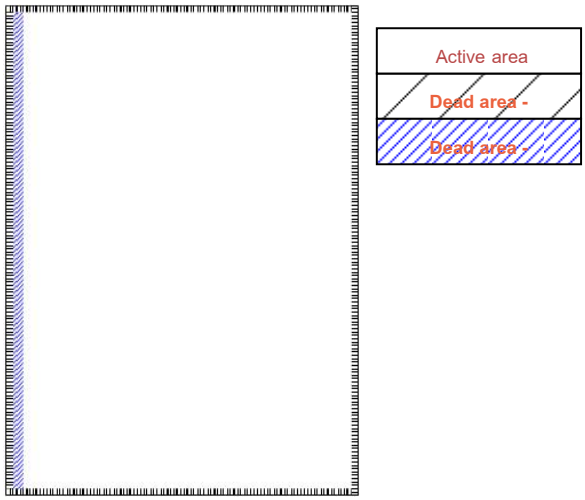
เมื่อทำการปรับจำนวนเซลล์เพิ่มขึ้นจาก 20 ถึง60 เซลล์พบว่าพื้นที่ Dead area มีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วยจาก175 cm^2 เป็น525 cm^2 อันเนื่องมาจากจำนวนเส้นของเลเซอร์ที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้พื้นที่ Active area มีค่าลดลง โดยความกว้างของเซลล์จะมีค่าลดลงเมื่อทำการเพิ่มจำนวนเซลล์เพิ่มมากขึ้น สามารถสรุปได้ดังตารางที่1 ซึ่งจะเห็นได้ว่าความกว้างของขนาดเส้นเลเซอร์ P1,P2,P3 เป็นอีกตัวแปรหนึ่งที่ส่งผลต่อพื้นที่ Dead area และ Active area โดยหากสามารถลดขนาดของเส้นเลเซอร์ได้จะส่งผลให้ พื้นที่ Active area เพิ่มขึ้นตามไปด้วย

No.Cell	Cell width (cm.)	Dead area (cm^2)	Active area (cm^2)
20	2.94	175	7091
25	2.33	219	7047
30	1.93	262	7003
35	1.65	306	6960
38	1.51	332	6933
40	1.43	350	6916
60	0.93	525	6741

ตารางที่ 1 แสดงผลของจำนวนเซลล์ที่มีต่อ พื้นที่ Active area และ Dead area

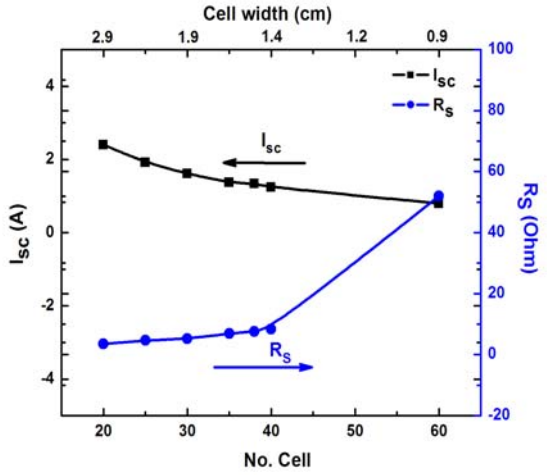
รูปที่6แสดงภาพการคำนวณพื้นที่ Active area และ Dead area ก่อนทำการแบ่งเซลล์ พื้นที่ของกระจกฐานรองมีขนาด 63.5 cm x 124.5 cm = 7905.75 cm^2 และทำการลบขอบสี่ด้าน ด้านละ1.5 cm คิดเป็นพื้นที่ 555 cm^2เพื่อใช้ในกระบวนการประกอบแผง และ พื้นที่ของเซลล์ที่เป็นขั้วบวกมีค่า 0.7cm x 121.5cm = 85.05 cm^2 รวมพื้นที่ Dead area ก่อนทำการแบ่งเซลล์เป็น 555 cm^2 + 85.05 cm^2 = 640.05 cm^2 เหลือพื้นที่ Active area ก่อนทำการแบ่งเซลล์เป็น7905.75 – 640.05 = 7265.7 cm^2

เมื่อทำการแบ่งเซลล์พื้นที่ Active area จะมีค่าลดลงไปอีกตามจำนวนเซลล์ที่เพิ่มขึ้น เนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของ Dead area จากเส้นเลเซอร์นั่นเอง



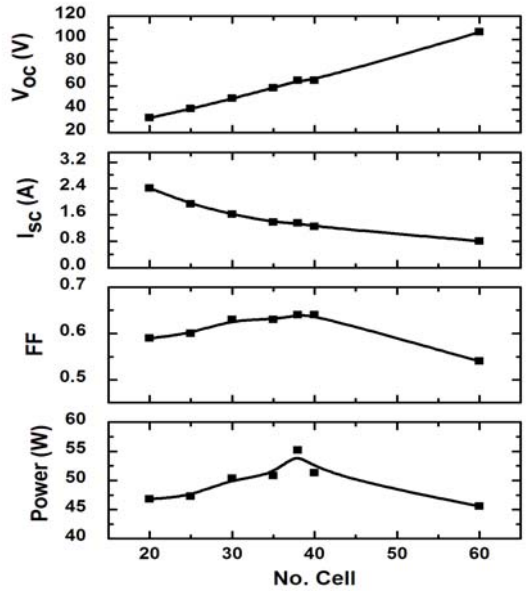
รูปที่ 6 แสดงพื้นที่ Active area และ Dead area

เมื่อนำแผงเซลล์แสงอาทิตย์ที่ทำการแปรค่าจำนวนเซลล์ค่าต่างๆ มาทำการวัดประสิทธิภาพด้วยเครื่องจำลองแสงอาทิตย์เทียม ภายใต้แสง AM 1.5, 1000 W/m^2 ที่ 25 $^{\circ}C$ พบว่าเมื่อจำนวนเซลล์มีค่ามากขึ้นจาก 20ถึง60 เซลล์ ค่าความต้านทานอนุกรมมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 3.5 เป็น 52.0 โอห์ม ส่งผลให้กระแสไฟฟ้ามีค่าลดลงจาก 2.4 แอมป์ เป็น 0.8 แอมป์และค่าแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร(V_{OC}) มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 32.8 โวลท์ เป็น 106.2 โวลท์ อันเนื่องมาจากแต่ละเซลล์ที่เชื่อมต่อกันเป็นการต่อแบบอนุกรมเมื่อจำนวนเซลล์เพิ่มขึ้น ค่าความต้านทานอนุกรมก็จะเพิ่มขึ้นไปด้วยส่งผลให้ค่ากระแสไฟฟ้ามีค่าลดลงและV_{OC}มีค่าเพิ่มขึ้น แสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 ผลของจำนวนเซลล์ที่มีต่อค่า R_S และ I_{SC}

เมื่อจำนวนเซลล์เพิ่มขึ้นจาก 20 ถึง 38 เซลล์พบว่ากำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์จะมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 46.8 W เป็น 55.2 Wอย่างไรก็ตามเมื่อทำการเพิ่มมากกว่า38 เซลล์จนถึง 50เซลล์ ค่ากำลังไฟฟ้าจะมีค่าลดลงเหลือ 45.6 W แสดงดังรูปที่ 8 ซึ่งการลดลงของกำลังไฟฟ้านี้เกิดจากการเพิ่มขึ้นของค่า R_Sและการลดลงของ I_{SC}



รูปที่ 8 ผลของจำนวนเซลล์ที่มีต่อกำลังไฟฟ้าของแผงเซลล์แสงอาทิตย์ ชนิดฟิล์มบางซิลิคอนขนาด 0.79 m^2

4. สรุป

ผลการทดลองพบว่าการเลือกความกว้างหรือจำนวนเซลล์ที่เหมาะสมสามารถเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ได้ โดยความกว้างของเซลล์ส่งผลต่อกำลังไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางซิลิคอน โครงสร้างเซลล์ซ้อน (multi-junction) แบบอะมอร์ฟัส/อะมอร์ฟัสซิลิคอน (a-Si:H/a-Si:H) บนฐานรองกระจกขนาด 0.79 m^2 โดยจำนวนเซลล์ 38 เซลล์ กว้าง 1.51 cm. ให้กำลังไฟฟ้าสูงสุดที่ 55.2 W, V_{OC} 64.72 V, I_{SC} 1.34 A จากผลการทดลองดังกล่าวยังสามารถพัฒนาเพิ่มประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ให้สูงขึ้นอีกได้โดยการลดพื้นที่ของ Dead area โดยลดพื้นที่บริเวณขอบของแผงเซลล์แสงอาทิตย์และลดขนาดความกว้างของเส้นเลเซอร์ P1,P2,P3 ที่ใช้ในการแบ่งเซลล์

เอกสารอ้างอิง

1. T. Nii, T. Kase and P. Sichanugrist “High efficiency a-Si:H solar cells by single chamber method,” Proc. 23th IEEE Photovoltaic Specialists Conf., pp. 941-945, 1993.
2. Corey M. Dunsky and Finlay Colville “Scribing thin-film solar panels” Industrial laser solutions., February 2008 edition