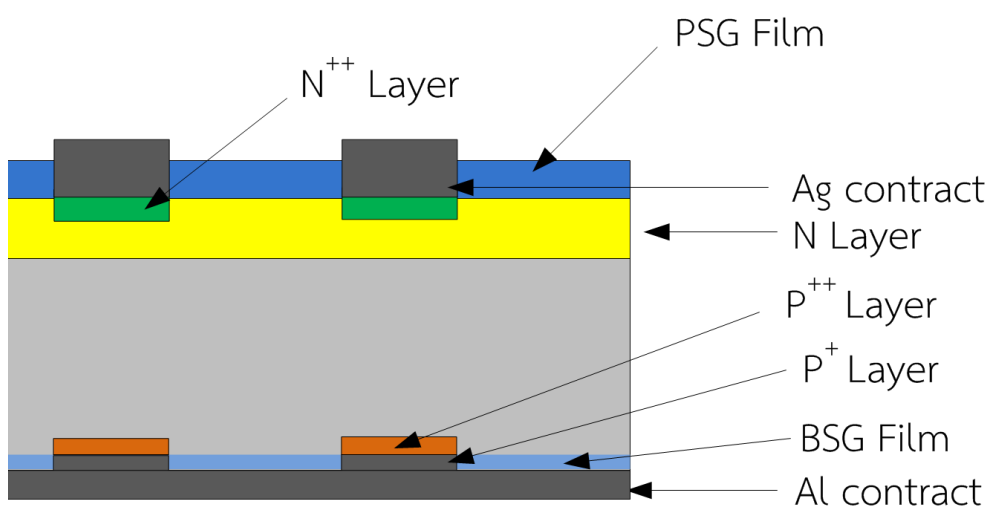


บทที่ 4

ผลการวัดทางแสง ค่าทางไฟฟ้า และการวิเคราะห์ของเซลล์แสงอาทิตย์ โครงสร้างผสมผสาน SE และ LBSF

4.1 บทนำ

จากบทที่ 3 ได้กล่าวถึงการผลิตชั้น ARC ในอุตสาหกรรม และการเตรียมสารละลาย sol-gel เพื่อใช้ในการเตรียมสารละลาย SOD (Spin on Doped) หรือ PSG ink low dope เพื่อสร้างชั้น n-Si บนแผ่นฐานซิลิคอนชนิด p-Si จากการเตรียมสารละลาย PSG ink heavy dope ที่มีความเข้มข้นของสารเจือฟอสฟอรัสต่างกัน ส่งผลให้ความต้านทานไฟฟ้าแผ่นของชั้น n-Si มีค่าต่างกัน เพื่อเป็นแหล่งสารเจือต่างบริเวณด้วยการแพร่ด้วยความร้อนสูง (Thermal diffusion) เพื่อที่จะสร้างชั้น n-Si 2 บริเวณให้กับเซลล์แสงอาทิตย์ และหลังจากกระบวนการแพร่ด้วยความร้อนสูงแล้วได้ทำการสกัดชั้น PSG และ BSG ที่เกิดขึ้น เพื่อนำไปทำชั้น LBSF ด้วยการเปิดช่องบางบริเวณของ BSG ด้วยสารละลายกรด เซลล์แสงอาทิตย์โครงสร้างแบบผสมผสานแสดงในรูปที่ 4.1 ที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้



รูปที่ 4.1 เซลล์แสงอาทิตย์โครงสร้างผสมผสาน SE and LBSF

ดังนั้นในบทที่ 4 ผู้ศึกษาจะกล่าวถึงผลการวัดและวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ ที่ได้จากการวัด การวิเคราะห์ค่าทางแสง และการวิเคราะห์ค่าทางไฟฟ้าโดยที่ในบทที่ 4 นี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีโครงสร้างแบบทั่วไป , เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีโครงสร้างแบบซิลิคอนที่ฟอสฟอรัส (SE cell) , เซลล์แสงอาทิตย์ที่มีโครงสร้างแบบพาสซีเวชันด้านหลังบางบริเวณ (LBSF cell)

และ โครงสร้างแบบผสมผสาน (SE AND LBSF cell) ซึ่งสร้างขึ้นด้วยเทคนิคจำเพาะเพื่อสร้างเซลล์ ด้วยต้นทุนต่ำคือ วิธีสารละลายหมุนเหวี่ยง SOD (Spin on Doped) , วิธีทำลวดลาย SCREEN , วิธีการสร้างลวดลายด้วยแสงจากโฟม (Flash Foam) วิธีการประทับลาย (STAMPING) ได้แสดง รายละเอียดการวิเคราะห์ค่าต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

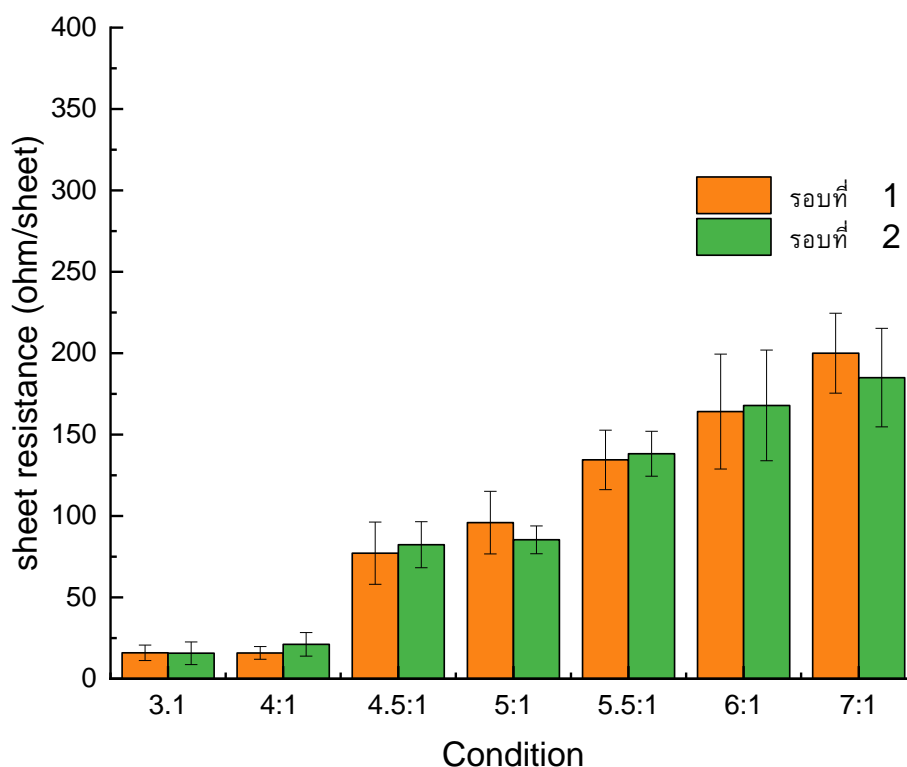
4.2 ผลและการวิเคราะห์เซลล์แสงอาทิตย์

4.2.1 การวิเคราะห์ผลค่าความต้านทานบนชั้นฟิล์มที่สร้างขึ้น

หลังจากผลิตชั้นฟิล์ม PSG ด้วยสารละลาย H_3PO_4 ได้วัดผลของค่าความต้านทาน ไฟฟ้าจำเพาะแผ่น (Sheet Resistance, Ω /sheet) ของชั้น n-Si ด้วยเทคนิคการวัดแบบ 4-point probes เพื่อวัด ค่า Sheet Resistance ของชั้น n-Si เนื่องจากแหล่งสารเจือ PSG ink มีเงื่อนไข ความเข้มข้นของฟอสฟอรัสต่างกันจึงทำให้ค่า Ω /sheet ของชั้น n-Si ที่เกิดขึ้นจึงมีค่าไม่เท่ากัน เช่นกัน และใช้หลักการวัดค่า Ω /sheet ของชั้น n-Si ด้วยการวัดแบบ 4-point probes โดยแสดง ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ปริมาณการเติมสาร H_3PO_4 ในเงื่อนไขที่ใช้สำหรับสร้างสารละลาย PSG และการวัดค่า ความจำเพาะของแผ่นฐานในเงื่อนไขอัตราส่วนของสารละลาย TEOS : H_3PO_4

เงื่อนไข สารละลาย TEOS : H_3PO_4	H_2O (ml)	TEOS (ml)	C_2H_5OH (ml)	H_3PO_4 (ml)	Sheet Resistance (Ω /sheet)	Sheet Resistance (Ω /sheet)
1 : 3.0	10	5	1.5	1.667	15.97	15.68
1 : 4.0				1.250	25.86	21.15
1 : 4.5				1.111	107.12	112.36
1 : 5.0				1.000	95.93	85.35
1 : 5.5				0.909	134.45	138.23
1 : 6.0				0.833	164.12	167.90
1 : 7.0				0.714	200	185



รูปที่ 4.2 การวัดค่าความต้านทานจำเพาะทางไฟฟ้าของชั้นฟิล์ม PSG ในเงื่อนไขต่างๆ

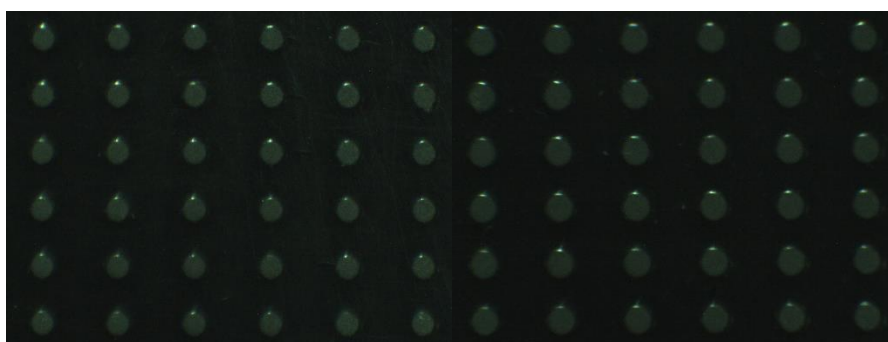
อัตราส่วนความเหมาะสมตั้งแต่ของอัตราส่วนระหว่าง TEOS : H_3PO_4 เริ่มที่ 3:1 ถึง 7:1 โดยในเงื่อนไขทั้งหมดได้เลือกเงื่อนไขการเตรียมสารละลายความเข้มข้นต่ำที่ 7:1 และ สารละลายความเข้มข้นสูงที่ 3:1 โดยค่าความต้านทานของอัตราส่วน 3:1 ค่าความจำเพาะของแผ่นของการเตรียมรอบที่ 1 อยู่ที่ $15.97 \Omega/\text{sheet}$ และในการเตรียมรอบที่ 2 อยู่ที่ $15.68 \Omega/\text{sheet}$ เป็นการเตรียมสองรอบในเงื่อนไขมีความเหมาะสมอยู่ในช่วงทฤษฎีและวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องในบทที่ 2 ในทางกลับกัน อัตราส่วนที่ 7:1 โดยค่าความจำเพาะของแผ่นรอบแรกอยู่ที่ $200 \Omega/\text{sheet}$ และ การเตรียมรอบที่ 2 อยู่ที่ $185 \Omega/\text{sheet}$ นั้น ค่าความต้านทานจำเพาะของแผ่นนั้นยังไม่มีค่าความเหมาะสมพอมามากพอ จะต้องนำชั้นฟิล์มที่สร้างขึ้นผ่านการนำไปสกัดพื้นผิวด้วยสารละลาย HF เพื่อลดชั้นความหนาจะทำให้ค่าความต้านทานนั้นมีความเหมาะสมที่ต่ำกว่า $150 \Omega/\text{sheet}$ และนำไปสร้างเซลล์แสงอาทิตย์โครงสร้างต่างๆในงานวิจัยต่อไป

4.2.2 การวิเคราะห์ลวดลายช่องเปิดชั้น BSG สำหรับเซลล์แสงอาทิตย์โครงสร้าง LBSF

ในการศึกษานี้กำหนดสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดของชั้นฟิล์ม BSG ที่ 8% , 12% และ 15% ตามลำดับและเป็นลวดลายแบบลายแบบจุด ซึ่งลวดลายช่องเปิดหลังจากการประทับลายด้วยสารละลาย HF 15 % แสดงดังรูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 ผลการวัดขนาดช่องเปิดของฟิล์ม BSG ที่สร้างบนแพรซิโพนและลวดลายพิมพ์ที่ได้จากการประทับลาย

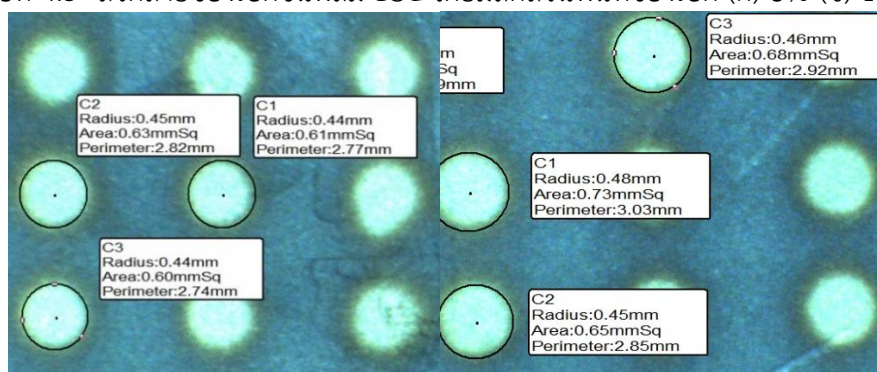
สัดส่วนพื้นที่ช่องเปิด (%)	ช่องเปิดจากการออกแบบ layout (%)	ลวดลายที่สร้างขึ้น acid (%)	ความคลาดเคลื่อน (%)
8	8	11.4	3.4
12	12	15.2	3.2
15	15	18.3	3.3



(ก)

(ข)

รูปที่ 4.3 ลวดลายช่องเปิดชั้นฟิล์ม BSG โดยมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิด (ก) 8% (ข) 12%



(ก)

(ข)

รูปที่ 4.4 ลวดลายการเปิดช่องไดโอดีเล็กติก BSG ด้วยสารละลายกรด บนแผ่นฐานซิลิคอนจากการประทับลาย โดยมีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิด (ก) 8% (ข) 12%

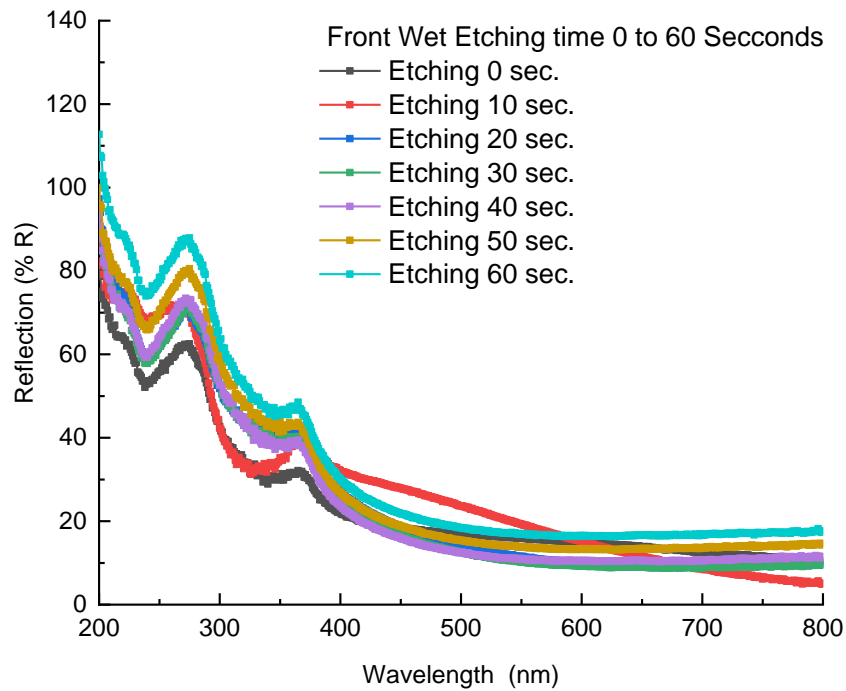
เมื่อทำการวัดขนาดลวดลายที่ได้จากการประทับลายสารละลาย HF ด้วยกล้อง Lightmicroscope พบว่ามีความคลาดเคลื่อนไม่เกิน 4 % โดยภาพที่ 4.3 ที่ 8 % ช่องเปิด ได้ทำการวัดลวดลายช่องเปิด BSG บน โพนีสแตมพ์ทำการวัด 3 จุด ซึ่งมีค่าเส้นภาพรัศมี 0.33 ,0.34 ,0.35 mm ตามลำดับ และมีพื้นที่ 0.35 ,0.36 ,0.39 mmsq. และมีเส้นภาพศูนย์กลางช่องเปิดเท่ากับ 0.66 ,0.68 ,0.70 mm ตามลำดับ และ 12 % ช่องเปิดได้ทำการวัดลวดลายช่องเปิด BSG บน โพนีสแตมพ์ทำการวัด 3 จุด ซึ่งมีค่าเส้นภาพรัศมี 0.39 ,0.39 ,0.40 mm ตามลำดับ และมีพื้นที่ 0.48 ,0.48 ,0.50

mmsq. และมีเส้นภาพศูนย์กลางช่องเปิดเท่ากับ 0.78 ,0.78 ,1.00 mm ตามลำดับ ในส่วนของภาพที่ 4.4 ที่ 8 % ซึ่งทำการวัดบนแผ่นฐานซิลิกอนที่ทำการประทับลายโดยจะพบว่าลวดลายช่องเปิด BSG บนแผ่นฐานซิลิกอนทำการวัด 3 จุด ซึ่งมีค่าเส้นภาพรัศมี 0.44 ,0.44 ,0.45 mm ตามลำดับ และมีพื้นที่ 0.60 ,0.61 ,0.63 mmsq. และมีเส้นภาพศูนย์กลางช่องเปิดเท่ากับ 0.88 ,0.88 ,0.90 mm และ 12 % ช่องเปิดได้ทำการวัดลวดลายช่องเปิดบนแผ่นฐานซิลิกอนทำการประทับลายทำการวัด 3 จุด ซึ่งมีค่าเส้นภาพรัศมี 0.45 ,0.46 ,0.48 mm ตามลำดับ และมีพื้นที่ 0.65 ,0.68 ,0.73 mmsq. และมีเส้นภาพศูนย์กลางช่องเปิดเท่ากับ 0.90 ,0.92 ,0.96 mm ตามลำดับ โดยทำการเปรียบเทียบกับโปรแกรมที่ออกแบบลวดลายด้วย โปรแกรม Layout แสดงในตารางที่ 4.2 โดยงานวิจัยนี้ใช้ช่องเปิด 8 % เพื่อให้ลวดลายใกล้เคียงช่องเปิดที่ 12 % ที่สุด และ ด้วยวิธีการนี้ใช้ระดับพลังงานที่น้อย และสามารถนำไปลดต้นทุนการผลิตในระดับอุตสาหกรรมได้ในอนาคต

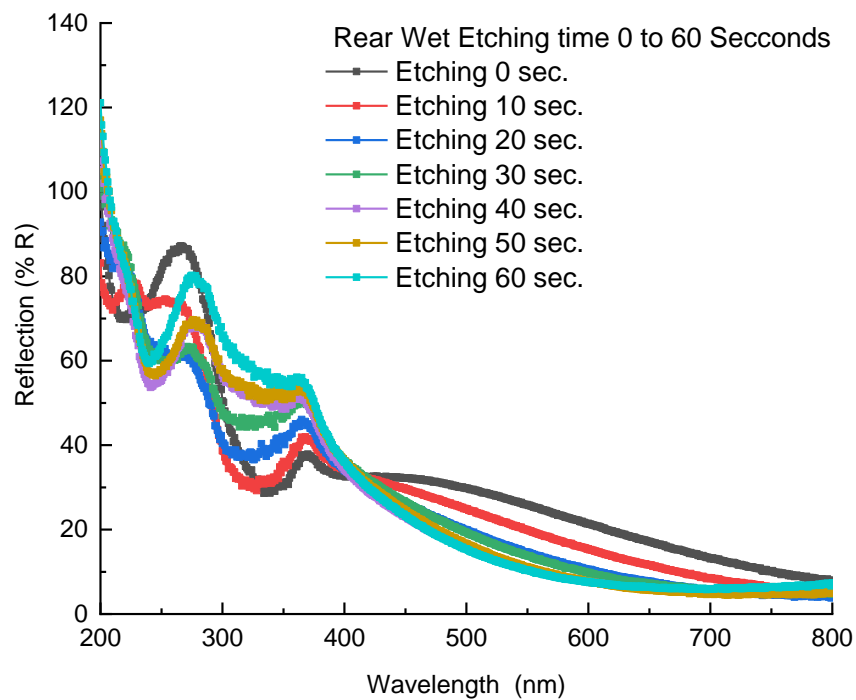
4.3 ผลการวัดค่าทางแสงของชั้นป้องกันการสะท้อนแสงกลับ (Anti-Reflection Coating, ARC)

เซลล์แสงอาทิตย์โดยทั่วไปยังคงจำเป็นต้องมีชั้นป้องกันการสะท้อนแสงกลับ (Anti-Reflection Coating, ARC) เพื่อช่วยลดผลของการสะท้อนแสงกลับที่พื้นผิวและเป็นชั้นพาสซีเวชัน (Passivation) เพื่อลดการรวมตัวใหม่ของพาหะที่ผิว n-Si ดังนั้นเพื่อลดการสูญเสียจากแสงสะท้อนกลับที่ผิวเซลล์แสงอาทิตย์ซึ่งจำเป็นต้องมีชั้น ARC เคลือบอยู่ด้านบนชั้นรับแสงหรือชั้น n-Si จากผลของชั้น ARC ที่สร้างจะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้กับเซลล์แสงอาทิตย์ได้เป็นอย่างดี ดังนั้นการเลือกวัสดุมาเป็นชั้น ARC ให้กับเซลล์แสงอาทิตย์นั้นจึงเป็นสิ่งสำคัญอย่างมาก เนื่องจากเทคโนโลยีที่ใช้ในการผลิตจะใช้เทคโนโลยีชั้นสูงซึ่งมีราคาแพง ในงานวิจัยนี้ได้นำชั้น PSG ที่เป็นผลพลอยได้หลังจากกระบวนการแพร่ด้วยความร้อนสูงได้ใช้เป็นชั้น ARC ซึ่งเป็นผลผลิตที่ได้หลังจากการแพร่ที่ 1000 °C ดังนั้นต้นทุนจึงต่ำกว่าการผลิตในระบบสุญญากาศมาก จากรูปกราฟที่ 4.5 ในช่วงความยาวคลื่น 200 ถึง 800 นาโนเมตร ที่มีการสกัดชั้นผิวในเงื่อนไขตั้งแต่ 0 ถึง 60 วินาที และเป็นการเพิ่มขึ้นทีละ 10 วินาที แสดงให้เห็นว่าในช่วงความยาวคลื่น 280 นาโนเมตร (invisible lights) นั้นค่าการสะท้อนแสงกลับที่ผิว (% R) มีค่าเพิ่มขึ้นตั้งแต่ 59.33 , 64.91 , 67.54 , 68.75 , 70.76 , 77.20 และ 84.40 ตามลำดับเมื่อทำการสกัดพื้นผิวใช้เวลามากขึ้น และ ในช่วงความยาวคลื่น 380-450 นาโนเมตร (แสงสีม่วง) จะได้ค่า %R เพิ่มขึ้นตั้งแต่ 26.72 , 36.47 , 34.88 , 32.63 , 31.37 , 35.07 , 38.56 ตามลำดับเมื่อทำการสกัดนานขึ้น และในช่วง 450 – 500 นาโนเมตร (แสงสีฟ้า) นั้น จะได้ค่า %R มากขึ้นตั้งแต่ 19.78 , 30.10 , 22.83 , 20.56 , 19.53 , 22.54 , 25.65 ตามลำดับ โดยจะพบว่า เมื่อความหนาชั้น PSG ลดลงจากการสกัดชั้นที่นานขึ้นนั้นส่งผลให้ค่าการสะท้อนกลับของแสงต่ำลงและจะเพิ่มขึ้นเมื่อการสกัดใช้เวลามากถึงจุดหนึ่ง โดยพิจารณาจากช่วง แสงสีฟ้า มีค่า %R อยู่ที่ 20.56 และที่ความเข้มแสงของดวงอาทิตย์สูงสุดที่ 600 นาโนเมตรนั้น จะทำให้ค่าการสะท้อนแสงกลับต่ำที่สุดจึงเลือกใช้เงื่อนไข การสกัดชั้นที่ 30 วินาที งานวิจัยนี้จึงได้ใช้งานเงื่อนไขการสกัดพื้นผิวที่ 30 วินาทีซึ่งการสกัดด้วยเวลาเท่านี้คุ้มคุ้มได้ง่ายและส่งผลให้ค่าการสกัดที่ดีกว่าไม่สกัดพื้นผิวเลย และแสดงว่าค่าความหนาของ

ชั้น PSG ที่สร้างขึ้นนั้นมีผลต่อระดับสะท้อนแสงและค่าความเหมาะสมที่จะนำไปสร้างชั้น ARC ให้เซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้งานวิจัยต่อไป



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนกลับของแสงและความยาวคลื่นช่วง 200-800 นาโนเมตร ของชั้นฟิล์มไดอิเล็กทริกPSGด้านหน้า

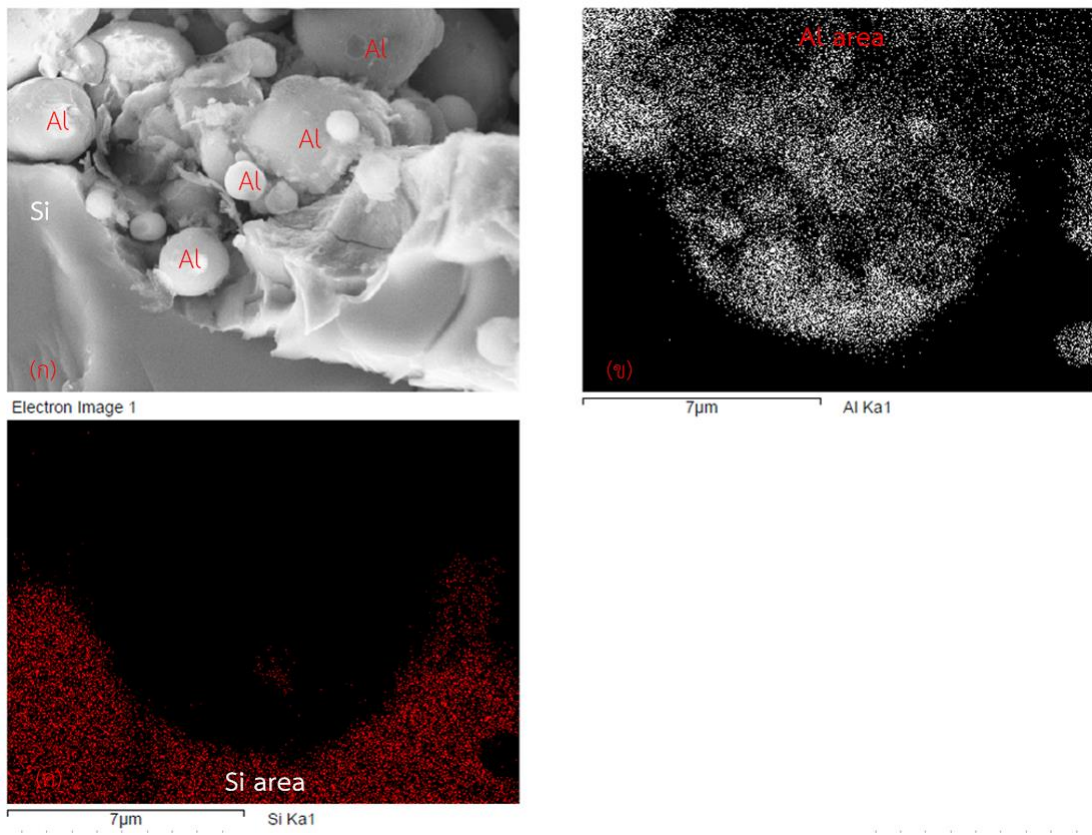


รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนกลับของแสงและความยาวคลื่นช่วง 200-800 นาโนเมตร ของชั้นฟิล์มไดอิเล็กทริกBSGด้านหลัง

อย่างไรก็ตามชั้น ARC ในอุตสาหกรรม การผลิตเซลล์แสงอาทิตย์ นั้นนิยมเลือกใช้ ซิลิคอน ไนไตรด์ (SiN_x) เป็นชั้น ARC นั้นเพราะ ค่าดัชนีหักเหของแสง มีค่าที่ 2.1 และเมื่อนำไปวัดค่าสะท้อน กลับพบว่าค่าเฉลี่ย %R ระหว่างความยาวคลื่น 280 นาโนเมตร ถึง 800 นาโนเมตร มีค่าลดลง อย่างไรก็ตามชั้นตอนในการผลิตชั้น SiN_x นั้นจะต้องอาศัยเทคโนโลยีขั้นสูง และต้นทุนการผลิตด้าน เทคโนโลยีที่เพิ่มขึ้น ขณะที่ชั้น PSG film มาสร้างเป็นชั้น ARC ให้%R ต่ำที่สุด 19.53 % ที่ความยาว คลื่น 450 ถึง 500 นาโนเมตร

หลังจากขั้นตอนของการสกัดชั้นรับแสง ARC n-Si และทำขั้วไฟฟ้าแล้ว ผู้ศึกษาได้นำชิ้นงาน ไปวิเคราะห์ทางโครงสร้างด้วยการถ่ายภาพด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบสแกนหรือส่องกราด (Field Electron Microscope (FE-SEM)) บริษัท JEOL รุ่น JSM-7800F โดยที่การทำงานของ SEM มีหลักการทำงาน คือ แหล่งกำเนิดอิเล็กตรอนจะถูกเร่งให้เคลื่อนที่ไปตามเลนส์ที่กำหนด ซึ่งภายใน เครื่องมีสภาพเป็นสุญญากาศด้วยความต่างศักย์อยู่ในช่วง 0-20 kV โดยที่ทิศทางการเคลื่อนที่จะถูก ควบคุมเลนส์แม่เหล็กไฟฟ้า(Electromagnetic Lens) เมื่อลำแสงอิเล็กตรอนตกกระทบบนผิวของ ชิ้นงาน โดยจะมีสแกนคอยล์ (Scan Coil) ทำหน้าที่ส่องกราดลำแสงอิเล็กตรอนให้ไปอยู่ที่พื้นผิวของ ชิ้นงานเป็นพื้นที่เล็ก ๆ จะทำให้เกิดสัญญาณต่าง ๆ ขึ้นและในเวลาเดียวกันจะมีตัวตรวจจับสัญญาณ (Detector) คอยตรวจจับสัญญาณแล้วประมวลผลเป็นภาพถ่ายอิเล็กตรอน

โดย รูปที่ 4.6 และ 4.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการสะท้อนกลับของแสงและความ ยาวคลื่นของชั้นฟิล์มไดอิเล็กทริกPSGด้านหน้าและBSGด้านหลังของชิ้นงานที่สร้างขึ้น พบว่าฟิล์มพื้น หนารับแสงที่จะมีการนำไปทำขั้วโลหะต่อไปฟิล์มที่สกัดด้วยสารละลาย HF 40 วินาทีที่มีค่าการสะท้อน แสงกลับที่ผิวมีค่าที่ต่ำที่สุดประมาณ 19.53 % ในย่านการดูดกลืนแสงสีฟ้า เหมาะสำหรับเป็นชั้น ป้องกันการสะท้อนแสงด้านบนของเซลล์แสงอาทิตย์ และชั้นฟิล์มด้านหลัง มีค่าการสะท้อนแสงอยู่ใน ระดับกลางของเงื่อนไขทั้งหมด เมื่อเทียบกับการไม่สกัดพื้นผิวใดๆเลยภายใต้เงื่อนไขนี้ จึงเหมาะสม สำหรับการเตรียมชิ้นงานและดำเนินการวิจัยของเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีต้นทุนต่ำต่อไป



รูปที่ 4.7 (ก) ภาพถ่ายอิเล็กตรอนที่ตัดขวางของแผ่น p-Si (ข) ภาพถ่ายอิเล็กตรอนที่ตัดขวางของแผ่นแสดงลักษณะของ Al ที่มีการแพร่ซึมลงไปในช่วงงานและ (ค) ภาพถ่ายอิเล็กตรอนที่ตัดขวางของแผ่น p-Si ที่โดนอลูมิเนียมแพร่ซึมเข้าไป

จากรูปที่ 4.7 (ก) ภาพถ่ายอิเล็กตรอนที่ตัดขวางของแผ่น p-Si พบว่าที่กำลังขยายที่ 8000 เท่า ลักษณะของแผ่นฐาน p-Si ถูกสร้างลวดลายช่องเปิดแบบจุดด้วยวิธีการใช้สารเคมีสกัดผิว เปิดช่องและผ่านกระบวนการทำขั้วโลหะไฟฟ้าความร้อนสูงอย่างรวดเร็ว เพื่อดูการแพร่ซึมของอลูมิเนียมเข้าไปในแผ่น p-Si โดย แสดงในภาพ (ข) ซึ่งแสดงภาพถ่ายอิเล็กตรอนที่ตัดขวางของแผ่น p-Si แสดงลักษณะของ Al ที่มีการแพร่ซึมลงไปในช่วงงาน ถูกถ่ายที่กำลังขยาย 8000 เท่าและ (ค) แสดงภาพถ่ายอิเล็กตรอนที่ตัดขวางของแผ่น p-Si ที่โดนอลูมิเนียมแพร่ซึมเข้าไป ถูกถ่ายที่กำลังขยาย 8000 เท่า แสดงให้เห็นว่า อลูมิเนียมมีการแพร่ซึมเข้าไปในช่วงงานได้ โดยผ่านวิธีการ ประทับลายด้วยสารละลายกรดเพื่อเปิดช่อง แสดงตามภาพตามขวางรูปที่ 4.7 (ก) เพื่อนำมาใช้ในการศึกษาลักษณะพื้นผิวของชิ้นงานรวมถึงสามารถวิเคราะห์ธาตุต่าง ๆ ที่มีอยู่ในชิ้นงานด้วยโหมดการทำงาน Energy dispersive X-ray (EDX) โดยผลที่ได้จะแสดงการแพร่ของอลูมิเนียมที่เข้าไปในช่วงงานซิลิคอนที่สร้างขึ้นตามรูปที่ 4.7 (ข) และ พื้นผิวซิลิคอนที่โดนอลูมิเนียมแพร่เข้าไป(ค) ตามลำดับ

4.4 ผลทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์โครงสร้าง SE and LBSF , LBSF , SE และทั่วไป

ในงานวิจัยนี้ได้ศึกษาผลของโครงสร้างเซลล์ทั้ง 4 ชนิดโดยผลการวัดค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์ด้วยระบบเครื่องจำลองแสงเทียมแสดงดังตารางที่ 4.3

จากตารางแสดงค่าพารามิเตอร์ V_{oc} , I_{sc} , FF และค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน (%) ของทั้งสี่โครงสร้าง โดยผลการวัดสองครั้ง และ มีการทำซ้ำ อีก 1 รอบ เพื่อ ยืนยันผลการทดลองจากผลการวัดพบว่า ในเงื่อนไข ต่าง ๆ สามารถแสดงให้เห็นถึงประสิทธิผลของการสร้างบริเวณ n^{++} -Si (SE) , p^{++} -Si (LBSF) และ การมีทั้งบริเวณ n^{++} -Si (SE) และบริเวณ p^{++} -Si(LBSF) และนำชิ้นงานมาเปรียบเทียบกับชิ้นงาน Ref. (Standard) พบว่าให้ค่า FF สูงกว่าชิ้นงาน Ref. อยู่ทุกโครงสร้าง อย่างไรก็ตามยังมีโครงสร้างเซลล์บางตัวที่มี FF ต่ำกว่าเซลล์มาตรฐานนั้น อาจเป็นเพราะความลึกของชั้น n -Si ดังนั้นการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์โครงสร้างดังกล่าว แต่ประสิทธิภาพของเซลล์ต้นแบบนี้ยังมีประสิทธิภาพต่ำกว่าเซลล์คุณภาพสูงที่ผลิตในระดับอุตสาหกรรม โดยอาจมีสาเหตุดังนี้

1. ผลกระทบจากกระบวนการ Fast Firinging ที่ขั้วไฟฟ้าด้านบน-หลังในระดับ 912°C ซึ่งทะลุสูงเกินเพียงพอหรือต่ำกว่าค่าที่กำหนดเพื่อให้เกิดชั้นสนามไฟฟ้าที่ด้านหลัง (Back Surface Field, BSF) ที่ดีพอที่รอยสัมผัสระหว่างขั้วไฟฟ้าโลหะ ทำให้ค่าแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจร (V_{oc}) ต่ำลง

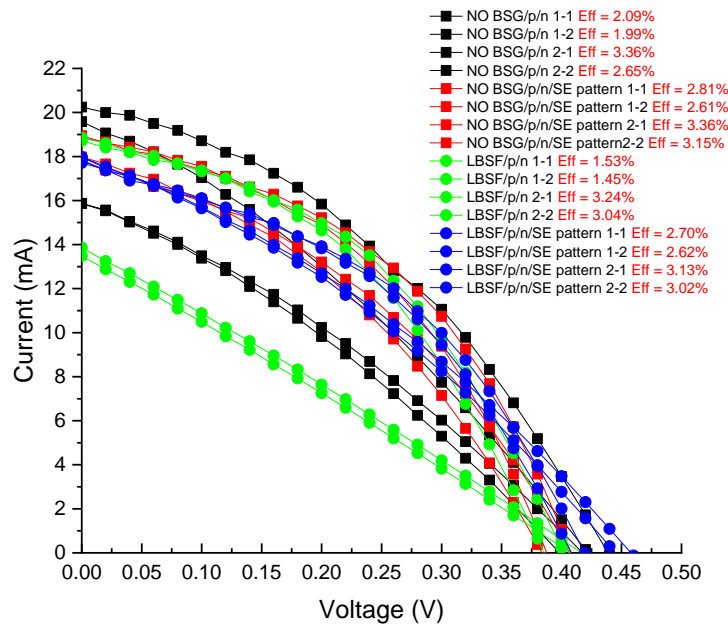
2. ค่าฟิลแฟคเตอร์ (FF) ที่ต่ำลง จากอุณหภูมิ Fast Firinging สูงเกินเพียงพอหรือต่ำทำให้เกิดค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ขั้วสัมผัส มีค่าสูงที่ขั้วด้านบนและด้านหลังเซลล์แสงอาทิตย์ เมื่อลดผลของค่าความต้านทานไฟฟ้าที่ขั้วสัมผัส จากการปรับปรุงระบบ Firinging จะสามารถเพิ่มค่า FF สูงขึ้นได้

3. ขนาดของ หน้ากากพิมพ์ลายขั้วไฟฟ้ามีช่องผ่านสารละลายขนาดใหญ่กว่าขนาดเมสที่ใช้ผลิตในอุตสาหกรรมโดยทำให้ขั้วไฟฟ้าที่พิมพ์ลายออกมานั้นมีความหนามากกว่าการผลิตในอุตสาหกรรม เมื่อผ่านกระบวนการ Fast firinging อาจทำให้เกิดบริเวณสนามไฟฟ้าด้านหลัง (Back Surface Field, BSF) มีประสิทธิภาพที่น้อยลง

ค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน (%) ของเซลล์ทั้งสี่โครงสร้างนั้นมีขนาด $3 \times 3 \text{ cm}$ แต่ละโครงสร้างมี 2 ชุด ผลพบว่าโครงสร้าง SE จะมีค่าประสิทธิภาพมากกว่า โครงสร้างมาตรฐาน อยู่ 0.62% ในการเตรียมชิ้นงานรอบแรก และ 0.5% ในการเตรียมรอบที่สอง , โครงสร้าง LBSF จะมีค่าต่ำกว่า โครงสร้างมาตรฐาน อยู่ -0.54% ในการเตรียมชิ้นงานรอบแรก และ 0.39% ในการเตรียมรอบที่สอง และ โครงสร้างแบบผสมผสาน SE+LBSF จะมีค่า มากกว่า โครงสร้างมาตรฐาน อยู่ 0.63% ในการเตรียมชิ้นงานรอบแรก และ 0.37% ในการเตรียมรอบที่สอง ซึ่งจะนำไปสรุปค่า จาก กราฟ I-V ในลำดับต่อไป

ตารางที่ 4.3 ผลการวัดค่าทางไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์โครงสร้างต่างๆในงานวิจัย

condition	V _{oc} (V)		I _{sc} (mA)		FF (%)		η (%)		Efficiency		V _{mp} (V)		imp (mA)	
									Gain (%)					
โครงสร้าง ทั่วไป (1)	0.42	0.40	15.87	15.85	0.31	0.31	2.09	1.99	-	-	0.22	0.22	9.51	9.03
โครงสร้าง ทั่วไป (2)	0.44	0.42	20.24	19.59	0.38	0.32	3.36	2.65	-	-	0.28	0.24	12.01	11.06
NO BSG/P/N/SE pattern (1)	0.41	0.38	17.83	17.99	0.39	0.38	2.81	2.61	0.72	0.62	0.24	0.24	11.69	10.88
NO BSG/P/N/SE pattern (2)	0.41	0.39	18.83	18.94	0.44	0.43	3.36	3.15	0.00	0.50	0.26	0.24	12.93	13.51
LBSF/P/N (1)	0.42	0.41	13.86	13.48	0.27	0.26	1.53	1.45	-0.56	-0.54	0.22	0.20	6.97	7.25
LBSF/P/N (2)	0.40	0.39	18.71	18.86	0.43	0.42	3.24	3.04	-0.12	0.39	0.24	0.24	13.51	12.67
LBSF/P/N/SE pattern (1)	0.46	0.45	17.97	17.97	0.33	0.33	2.70	2.62	0.61	0.63	0.24	0.24	11.25	10.94
LBSF/P/N/SE pattern (2)	0.42	0.41	17.71	17.83	0.42	0.41	3.13	3.02	-0.23	0.37	0.26	0.26	12.03	11.60



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันไฟฟ้า(V) และกระแสไฟฟ้า(mA)ของเซลล์แสงอาทิตย์ในเงื่อนไขต่าง ๆ

รูปที่ 4.8 แสดงผลการวัด I-V ของเซลล์แสงอาทิตย์โครงสร้างต่างๆ พบว่าค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงาน (Eff. : %) มีขึ้นงาน 2 ชุดของเซลล์แสงอาทิตย์โครงสร้างมาตรฐาน ชั้นแรก ประสิทธิภาพจะอยู่ที่ 1.99-2.09 % ส่วนการวัดชั้นสอง ประสิทธิภาพจะอยู่ที่ 2.65-3.36 % ค่าของเซลล์แสงอาทิตย์โครงสร้าง SE ชั้นแรก ประสิทธิภาพจะอยู่ที่ 2.61-2.81 % ส่วนการวัดชั้นสอง ประสิทธิภาพจะอยู่ที่ 3.15-3.36 % ค่าของเซลล์แสงอาทิตย์โครงสร้าง LBSF ชั้นแรก ประสิทธิภาพจะอยู่ที่ 1.45-1.53 % ส่วนการวัดชั้นสอง ประสิทธิภาพจะอยู่ที่ 3.04-3.24 % ค่าของเซลล์แสงอาทิตย์โครงสร้างผสมผสาน SE+LBSF ชั้นแรกค่าประสิทธิภาพจะอยู่ที่ 2.62-2.70 % ส่วนการวัดชั้นสองค่าประสิทธิภาพจะอยู่ที่ 3.03-3.13 % เมื่อทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการแปลงพลังงานของเซลล์แสงอาทิตย์เทียบกับโครงสร้างเซลล์มาตรฐานจะเห็นได้ว่าจะมีประสิทธิภาพมากกว่าโครงสร้างมาตรฐานยกเว้น LBSF ชั้นแรก ซึ่งจะได้ค่าต่ำกว่าเซลล์มาตรฐาน และเมื่อนำมาพล็อตกราฟ ระหว่างกระแสลัดวงจรและแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรแล้วจะได้พื้นที่ใต้และพฤติกรรมการทำงาน ของเซลล์แสงอาทิตย์เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพโดยรวมของเซลล์แสงอาทิตย์โครงสร้างทั้งหมด โดยจะเห็นได้ว่า โครงสร้างทั้งหมดนั้นให้ค่าประสิทธิภาพที่สูงกว่าเซลล์แสงอาทิตย์โครงสร้างมาตรฐาน

4.5 สรุป

งานวิจัยนี้ได้หาแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพในโครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ที่มีอยู่ในระบบอุตสาหกรรม โดยใช้เทคนิคต้นทุนต่ำที่ไม่ใช้ระดับพลังงานที่สูงมากในกระบวนการผลิต เน้นเป็นการใช้สารเคมีในกระบวนการผลิต ซึ่งวิธีการเตรียมที่ง่ายและไม่ซับซ้อน และยัง มีการเลือกใช้ PSG เป็นชั้น ARC ซึ่งเกิดขึ้นในกระบวนการผลิตเมื่อผ่านการอบด้วยความร้อนสูง มีคุณสมบัติเป็นชั้นป้องกันการสะท้อนที่ดีให้กับชั้นรับแสงเพื่อสร้างเป็นชั้นพาสซีเวชันด้านบนเซลล์อีกที โดยประสิทธิภาพที่ได้จะมีค่ามากกว่าเซลล์โครงสร้างมาตรฐานอยู่