การเตรียมพื้นผิวฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์ด้วยวิธีการขัดด้วยผงเพชรเพื่อนำไปใช้เป็นกระจกฐานรองในกระบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง

Treatment of Zinc Oxide Thin Film Surface by Diamond Powder Polishing Method for Use as Glass Substrate in Thin Film Solar Cells Fabrication

ศศิวิมล ทรงไตร* ปฏิภาณ กรุดตาด ทวีศักดิ์ มัฏฐาพันธ์ จรัญ ศรีธาราธิคุณ อมรรัตน์ ลิ้มมณี กอบศักดิ์ ศรีประภา
สถาบันพัฒนาเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ (SOLARTEC) สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (NSTDA)
111 อุทยานวิทยาศาสตร์ประเทศไทย ถนนพหลโยธิน ต.คลองหนึ่ง อ.คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12120
โทร 0-2564-7000 ต่อ 2715 โทรสาร 0-2564-7059 E-mail: sasiwimons@nstda.or.th

Sasiwimon Shongtrai* Patipan Krudtad Taweesak Mattaphan Jaran Sritharathikhun Amornrat Limmanee Kobsak Sriprapha
Institute of Solar Energy Development (SOLARTEC) National Science and Technology Development Agency (NSTDA)
111 Thailand Science Park Phahonyothin Road, Klong 1, Klong Luang, Pathumthani 12120 Thailand
Tel: 0-2564-7000 Fax: 0-2564-7059 E-mail: sasiwimons@nstda.or.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการเตรียมพื้นผิวฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์(ZnO) โดยวิธีการขัดด้วยผงเพชร เพื่อศึกษาวิธีการปรับปรุงพื้นผิวของฟิล์มบาง ZnO ให้มีลักษณะเป็นรูปตัวเอ็ม (M-type) โดยฟิล์มบาง ZnO ที่ใช้ในการทดลองถูกสร้างจากเทคนิค Metal Organic Chemical Vapor Deposition (MOCVD) และนำฟิล์มบางที่ได้มาขัดด้วยผงเพชรขนาด 0.5 ไมโครเมตร โดยแปรค่าเวลาในการขัดจาก 0 - 3 นาที จากนั้นทำการวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวด้วยกล้องจุลทรรศน์แบบส่องกราด(SEM) ผลจากการทดลองพบว่าเมื่อขัดฟิล์มบาง ZnO ด้วยผงเพชร ส่วนยอดของฟิล์มบาง ZnO จะถูกขัดออกไปมากขึ้น ทำให้พื้นผิวของฟิล์มบาง ZnO มีลักษณะเป็นรูปตัวเอ็ม (M-type) ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการขัดด้วยผงเพชรสามารถเปลี่ยนโครงสร้างของฟิล์ม ZnO จากรูปทรงผลึกแบบพิระมิดมียอดแหลม (V-type) ให้เป็นรูปทรงตัวเอ็มได้ และเมื่อนำฟิล์มบาง ZnO มาสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อศึกษาผลของการขัดด้วยผงเพชร พบว่า ศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิด (V_{OC}) และฟิลแฟคเตอร์ (FF) มีค่าสูงขึ้น ส่งผลทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์สูงขึ้นจาก 6.78% เป็น 7.40% เมื่อเทียบกับกระจกเคลือบฟิล์มบาง ZnO ที่ไม่ได้ขัด

คำสำคัญ: ฟิล์มบางซิงค์ออกไซด์, M-type, ผงเพชร

Abstract

This paper repots the treatment of Zinc oxide (ZnO) thin film surface by the diamond powder polishing in order to improve the ZnO film morphology from pyramid-like shape to M-type. The ZnO thin film was prepared by Metal Organic Chemical Vapor Deposition (MOCVD) technique and polished by 0.5 μm (average size) diamond powder and vary the polishing time from 0 to 3 minutes. Scanning electron microscopy (SEM) technique was carried out to investigate the ZnO thin film morphology. It was found that, the peaks of ZnO thin film were cut out according to the polishing time and the surface of ZnO thin film showed M-type shape. Therefore, the polishing with diamond powder can improve the morphology of the ZnO thin film from pyramid-like shape (V-type) to be M-type shape. The fabrication of solar cell using the ZnO coated glass substrate was performance in order to study the effect of diamond powder polishing method. We found that the open circuit voltage (V_{OC}) and fill factor (FF) were increased and the efficiency increased from 6.78% to 7.40% compared with unpolished ZnO coated glass

Keyword: Zinc Oxide, M-type, Diamond powder

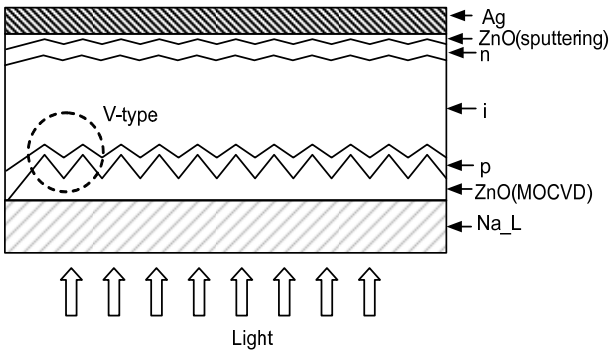
1. บทนำ

ปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางซิลิคอนที่สร้างบนแผ่นฐานรองกระจกจะถูกเคลือบสารนำไฟฟ้าโปร่งแสง หรือฟิล์ม Transparent Conductive Oxide (TCO) ซึ่งมีหน้าที่ให้แสงส่องผ่านเข้าสู่ชั้น p-i-n ของเซลล์แสงอาทิตย์ และเป็นชั้นขั้วด้านบน เพื่อรวบรวบ

กระแสไฟฟ้าที่ได้จากเซลล์แสงอาทิตย์ไปใช้งาน ปัจจุบันบริษัทที่ผลิตกระจกนำไฟฟ้าโปร่งแสง เช่น Asahi ได้พัฒนากระจกเคลือบฟิล์ม SnO_2 (Tin Oxide) ที่มีลักษณะพื้นผิวเป็นรูป U-type ออกจำหน่ายและมีการนำไปใช้พัฒนาประสิทธิภาพได้ผลเป็นอย่างดี จากผลการวิจัยลักษณะพื้นผิวของกระจกพบว่าความขรุขระของพื้นผิวกระจก มีผลต่อประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากผิว TCO ที่ขรุขระนั้น จะช่วยให้แสงกระเจิงที่ผิวของ TCO ได้ระยะทางที่แสงเคลื่อนที่ภายในเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มมากขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้น ถึงแม้ว่าวัสดุ TCO ชนิด ZnO จะมีคุณสมบัตินำไฟฟ้าไม่ดีเท่า ITO (Indium Tin Oxide) และ SnO_2 แต่สามารถทำให้มีความขรุขระได้ง่าย วิธีการเตรียม ZnO ที่สามารถควบคุมความขรุขระของฟิล์มวิธีหนึ่งคือ วิธี MOCVD อาศัยหลักการของการใช้ความร้อน และสภาพความดันที่เหมาะสม

ผลจากการสร้างฟิล์ม ZnO ด้วยวิธีการ MOCVD พบว่าความขรุขระของพื้นผิวฟิล์ม ZnO มีลักษณะ V-type (รูปที่1) เมื่อนำไปสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ทำให้เกิดจุดบกพร่องจากการแตก (crack) เป็นผลให้ FF และ V_{OC} มีค่าต่ำ ดังนั้นจึงได้มีการพยายามเปลี่ยนลักษณะพื้นผิวแบบ V-type เป็นลักษณะ U-type โดยการใช้กรด HCl [1] กัดผิว ZnO หรือการใช้วิธี Ar etching [2] ซึ่งพบว่าช่วยทำให้ได้พื้นผิว ZnO เป็น U-type และช่วยทำให้ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์สูงขึ้น แต่วิธีดังกล่าวมีข้อเสีย คือ วิธีกัดด้วยกรด HCl เป็นวิธีทางเคมีที่ยากต่อการควบคุมให้มีความสม่ำเสมอ ซึ่งยากต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในเชิงพานิชย์ ส่วนวิธี Ar etching สามารถทำให้สม่ำเสมอบนพื้นที่ขนาดใหญ่ได้ แต่เนื่องจากมีอัตราการ etching ต่ำ ดังนั้นจึงต้องใช้เวลานานในการ etching นานส่งผลให้ต้นทุนการผลิตในเชิงพานิชย์สูงขึ้นตามไป

จากความพยายามที่ผ่านมาส่วนใหญ่มุ่งความสนใจไปที่วิธีการที่จะเปลี่ยนพื้นผิวของฟิล์ม ZnO จาก V-type เป็น U-type เพื่อช่วยให้ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์สูงขึ้น แต่ยังไม่มีวิธีใดที่ทำการตัดเฉพาะส่วนยอดพีคของฟิล์ม ZnO ออกเลย และจากปัญหาของทั้งสองวิธีการข้างต้นจึงเป็นสิ่งที่น่าสนใจที่จะพัฒนาวิธีการที่ง่าย สะดวก และรวดเร็วต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานในเชิงพานิชย์ด้วย



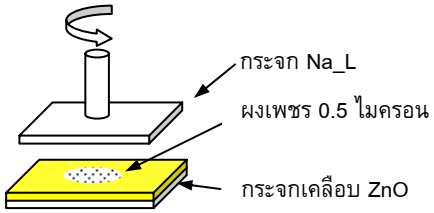
รูปที่ 1 โครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ ZnO (MOCVD) เป็น TCO

2. การทดลอง

การเตรียมฟิล์ม ZnO จะใช้วิธี MOCVD ก๊าซที่ใช้เป็นสารตั้งต้นคือ Diethyl zinc (DEZ) และน้ำ (H_2O) เติมสารเจือด้วยก๊าซไดโบเรน (B_2H_6) เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติการนำไฟฟ้าให้ดีขึ้น โดยมีก๊าซอาร์กอน (Ar) เป็นตัวพาไอของ DEZ และ H_2O เข้าไปทำปฏิกิริยาทางความร้อนที่อุณหภูมิ 180 °C ภายในห้องเคลือบสุญญากาศ [3]

2.1 การเตรียมพื้นผิวของฟิล์ม ZnO ด้วยวิธีการขัดผงเพชร

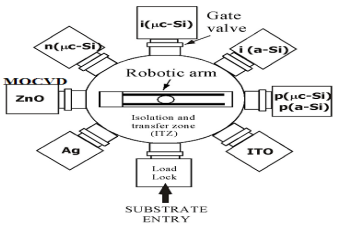
นำกระจก TCO ที่เคลือบฟิล์ม ZnO ด้วยวิธี MOCVD และกระจก SnO_2 ที่ซื้อจากต่างประเทศ ไปขัดด้วยผงเพชรโดยใช้ผงเพชรขนาด 0.5 ไมโครเมตร ตามรูปที่ 2 แปรค่าเวลาในการขัดที่ 1, 2 และ 3 นาที นำไปวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม ZnO และ SnO_2 ก่อนและหลังขัดผงเพชร ด้วยเครื่อง Scanning Electron Microscope (SEM)



รูปที่ 2 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการขัดกระจกด้วยผงเพชร

2.2 ขั้นตอนการทำเซลล์แสงอาทิตย์

กระจก TCO (ZnO,SnO_2) ก่อนและหลังขัดผงเพชร จะถูกนำไปใช้เป็นฐานรองสำหรับสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ เพื่อเปรียบเทียบผลการวัดประสิทธิภาพ ซึ่งเซลล์แสงอาทิตย์จะสร้างโดยเครื่องจักร muti-chamber ดังรูปที่ 3 ซึ่งใช้เคลือบฟิล์มแต่ละชนิดต่างกัน เช่น Ag, ZnO, p-μc-Si:O, i-μc-Si:H และ n-a-Si:H โดยแต่ละ Chamber จะมีประตูเปิดปิดเชื่อมต่อกับ Chamber กลางเพื่อย้ายแผ่นวัสดุฐานรองไปยัง Chamber ต่างๆ โครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ที่ใช้ในการทดลองนี้ คือ ZnO / p-μc-Si:O / i-μc-Si:H / n-μc-Si:H / ZnO / Ag เมื่อเสร็จกระบวนการในการเคลือบฟิล์มครบทุกชั้น เซลล์แสงอาทิตย์จะถูกนำไปตัดด้วยแสงเลเซอร์ เพื่อกำหนดพื้นที่ในการรับแสงที่ 0.75 cm^2 นำไปวัดประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างขึ้นด้วยเครื่อง Super solar simulator ภายใต้เงื่อนไขมาตรฐาน AM 1.5 100 mw/cm^2 ที่ 25°C



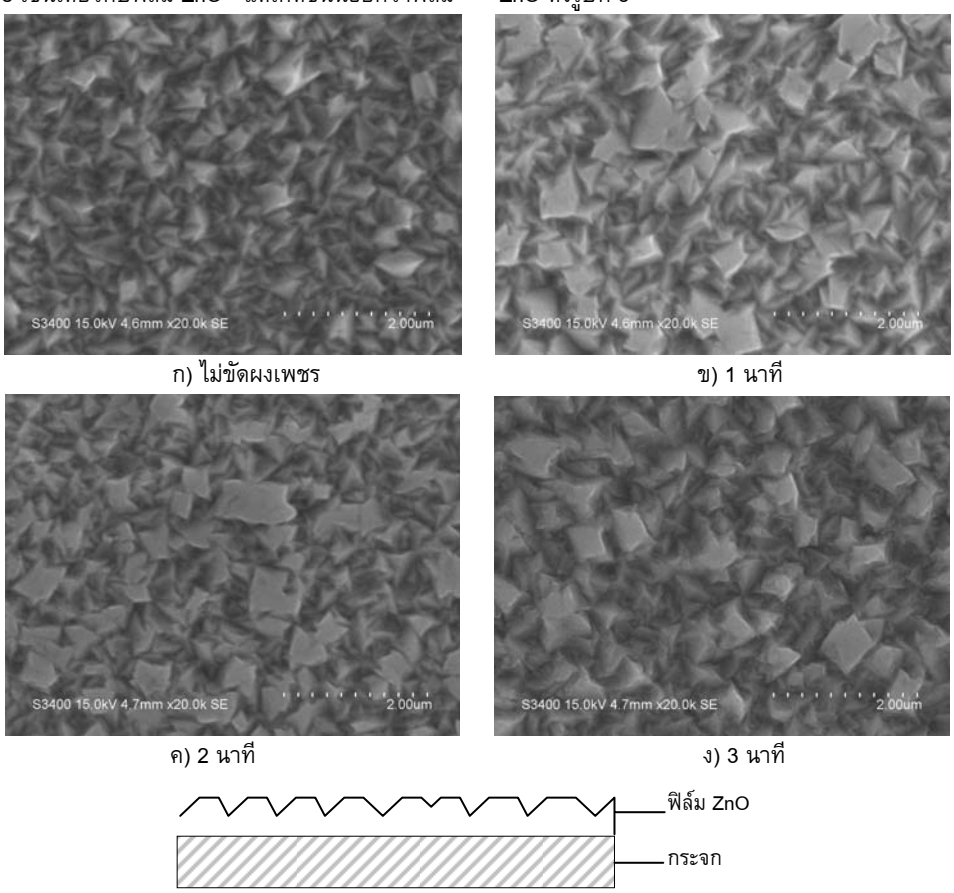
รูปที่ 3 แสดงเครื่องจักรที่ใช้ในการทำเซลล์แสงอาทิตย์

3 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.1 ลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม ZnO

ผลการวิเคราะห์พื้นผิว ZnO ด้วยภาพถ่าย SEM เพื่อดูลักษณะของพื้นผิวและรูปร่างของผลึก พบว่ามีการเปลี่ยนแปลงลักษณะพื้นผิวตามค่าของระยะเวลาในการขัดผงเพชรดังรูปที่ 4 ลักษณะพื้นผิวของ ZnO ที่ยังไม่ได้ขัดมีลักษณะผลึกรูปทรงพิระมิดมียอดแหลมซึ่งจะเรียกพื้นผิวลักษณะนี้ว่า V-type เมื่อใช้เวลาขัด 1 นาทีพบว่าส่วนของยอดผลึกจะถูกตัดออกไปซึ่งจะเรียกลักษณะนี้ว่า M-type และเมื่อเพิ่มระยะเวลาในการขัดเป็น 2 และ 3 นาทีตามลำดับ พบว่ายอดผลึกจะถูกตัดออกเพิ่มมากขึ้นด้วย ส่วนพื้นผิวของ SnO_2 เมื่อทำการขัดพื้นผิวจะ

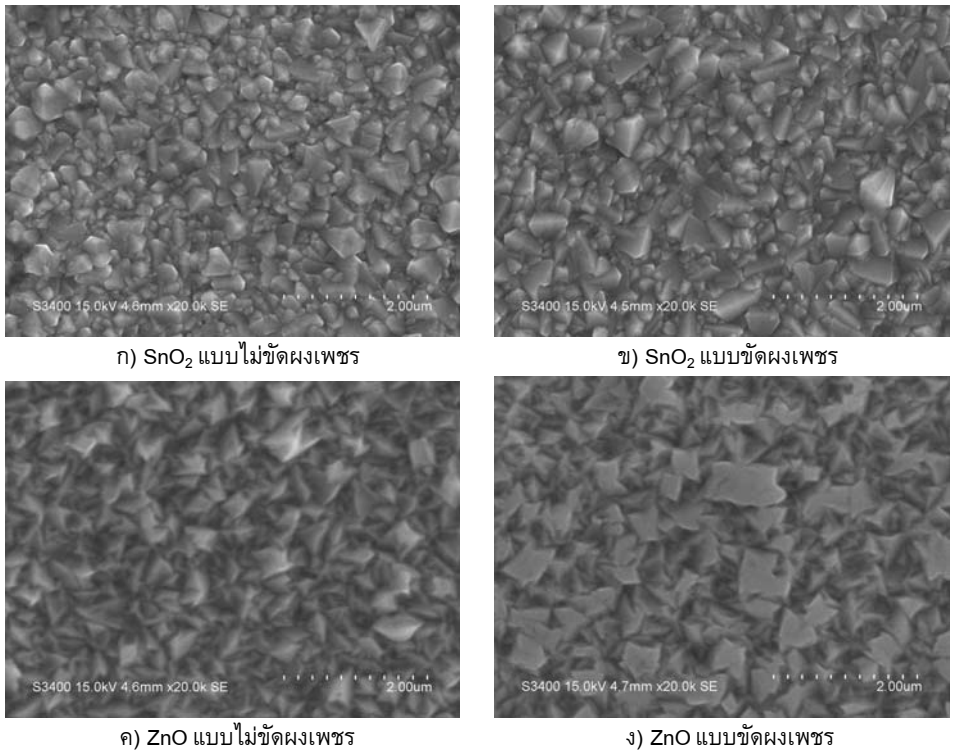
เกิดลักษณะ M-type เช่นเดียวกับฟิล์ม ZnO แต่เกิดขึ้นน้อยกว่าฟิล์ม ZnO ดังรูปที่ 5



ก) ไม่ขัดผงเพชร ข) 1 นาที

ค) 2 นาที ง) 3 นาที

รูปที่ 4 แสดงผลของระยะเวลาในการขัดที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงลักษณะของพื้นผิว ZnO เป็น M-type



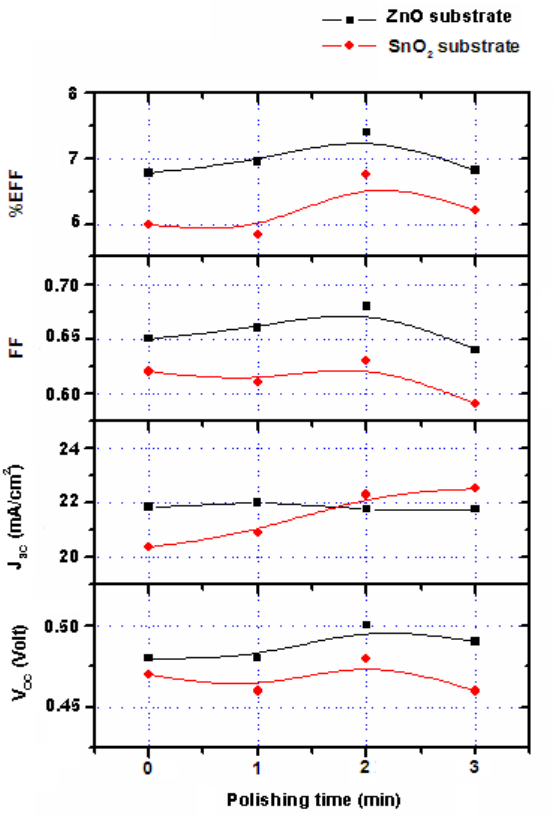
ก) SnO_2 แบบไม่ขัดผงเพชร ข) SnO_2 แบบขัดผงเพชร

ค) ZnO แบบไม่ขัดผงเพชร ง) ZnO แบบขัดผงเพชร

รูปที่ 5 เปรียบเทียบลักษณะของพื้นผิว SnO_2 และ ZnO แบบที่ยังไม่ทำการขัดผงเพชร และแบบขัดผงเพชร

3.2 เซลล์แสงอาทิตย์บนกระจก ZnO และ SnO_2 ชนิด M-type

เซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างบนกระจกเคลือบ ZnO และ SnO_2 ที่ยังไม่ขัดดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2 พบว่ากระจก ZnO มีประสิทธิภาพสูงกว่ากระจก SnO_2 ทั้งนี้เนื่องจากฟิล์ม ZnO มีพื้นผิวที่ขรุขระกว่า SnO_2 ดังรูปที่ 5 จึงทำให้แสงกระเจิงได้มากกว่ากระจก SnO_2 และจากรูปที่ 6 พบว่าผลของเซลล์แสงอาทิตย์ที่ขัดด้วยผงเพชร ค่าศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิด (V_{OC}) และฟิลแฟ็คเตอร์ (FF) มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นทั้งกระจก SnO_2 และกระจก ZnO เป็นผลมาจากยอดผลึกของฟิล์ม ZnO และ SnO_2 ถูกตัดออกไป ซึ่งช่วยให้ฟิล์มชั้น p-i-n ที่เคลือบบนผิวที่เป็น M-type เกิดจุดบกพร่องจากการแตก (crack) ของชั้นฟิล์มน้อยกว่าพื้นผิวที่เป็น V-type ทำให้ฟิลแฟ็คเตอร์ และประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นด้วย โดยประสิทธิภาพสูงสุดของกระจก ZnO ได้ 7.4% และกระจก SnO_2ได้ 6.7% ที่เวลาการขัด 2 นาที



รูปที่ 6 ผลการวัดประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์เมื่อแปรค่าเวลาใช้ขัดผงเพชรบนกระจก ZnO และ SnO_2

ตารางที่ 1 แสดงค่าคุณสมบัติต่างๆ ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่แปรค่าเวลาในการขัดกระจก ZnO ด้วยผงเพชร

Polishing Time (min)	V_{OC} (V)	I_{SC} (mA/cm^2)	Fill factor (FF)	Efficiency (%)
ZnO ไม่ขัดผงเพชร	0.48	21.8	0.65	6.78
ZnO ขัดผงเพชร 1 นาที	0.48	22.0	0.66	6.96
ZnO ขัดผงเพชร 2 นาที	0.50	21.8	0.68	7.40
ZnO ขัดผงเพชร 3 นาที	0.49	21.8	0.64	6.82

ตารางที่ 2 แสดงค่าคุณสมบัติต่างๆ ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่แปรค่าเวลาในการขัดกระจก SnO_2 ด้วยผงเพชร

Polishing Time (min)	V_{OC} (V)	I_{SC} (mA/cm^2)	Fill factor (FF)	Efficiency (%)
SnO_2 ไม่ขัดผงเพชร	0.47	20.3	0.62	6.00
SnO_2 ขัดผงเพชร 1 นาที	0.46	21.0	0.61	5.84
SnO_2 ขัดผงเพชร 2 นาที	0.48	22.3	0.63	6.75
SnO_2 ขัดผงเพชร 3 นาที	0.46	22.54	0.59	6.2

5. สรุป

จากการทดลองขัดผิวฟิล์ม ZnO ที่สร้างด้วยวิธี MOCVD โดยนำมาขัดด้วยผงเพชรขนาด 0.5 ไมโครเมตร แปรค่าระยะเวลาในการขัดที่ 0 - 3 นาที แล้วนำฟิล์มไปวิเคราะห์ลักษณะพื้นผิวด้วย SEM พบว่าเมื่อขัดฟิล์ม ZnO ด้วยผงเพชรส่วนยอดของฟิล์ม ZnO จะถูกขัดออกไป โดยเมื่อใช้เวลาขัดเพิ่มมากขึ้นยอดของฟิล์ม ZnO ก็จะถูกขัดออกไปเพิ่มยิ่งขึ้น เมื่อนำฟิล์ม ZnO และ SnO_2 ที่ขัดผงเพชรมาสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่าศักย์ไฟฟ้าวงจรเปิด (V_{OC}) และ ฟิลแฟ็คเตอร์ (FF) มีค่าสูงขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากผลของรูปร่างผลึกที่เป็น M-type ทำให้ลดจุดบกพร่องจากการแตกในชั้นฟิล์ม p-i-n ได้ ซึ่งส่งผลให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์สูงขึ้น โดยที่เวลาที่เหมาะสมที่สุด คือ 2 นาที สามารถช่วยพัฒนาให้ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์สูงขึ้นเป็น 7.4% และ 6.7% บนกระจก ZnO และ SnO_2 ตามลำดับ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าผงเพชรขนาด 0.5 ไมโครเมตร สามารถปรับพื้นผิว ZnO ให้เป็นชนิด M-type ได้ และพื้นผิวที่ปรับเปลี่ยนสามารถใช้พัฒนาให้ประสิทธิภาพเซลล์แสงอาทิตย์สูงกว่าพื้นผิวแบบ V-type ที่ไม่ขัดผงเพชร

เอกสารอ้างอิง

1. V. Sittinger, F. Ruske, W. Werner, B. Szyszka, B. Rech, J. Hüpkes, G. Schöpe, H. Stiebig “ZnO:Al films deposited by in-line reactive AC magnetron sputtering for a-Si:H thin film solar cells” Thin Solid Films, Vol. 496, Issue 1, pp. 16-25, 2006.
2. M.L. Addonizio, A. Antonaia “Surface morphology and light scattering properties of plasma etched ZnO:B films grown by LP-MOCVD for silicon thin film solar cells” Thin Solid Films Vol. 518, pp. 1026–1031, 2009.
3. ทวีศักดิ์ มัฏฐาพันธ์, พอพนธ์ สิชฌนุกฤษฎ์ “การสังเคราะห์ขั้วโลหะโปร่งแสงนำไฟฟ้า Zinc Oxide ด้วยวิธี MOCVD” การประชุมเชิงวิชาการเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 4, โรงแรมโรสการ์เด้น ริเวอร์ไซด์ สวนสามพราน นครปฐม, 2551