

การพัฒนาฟิล์มซิงค์ออกไซด์เจือโบรอนโดยวิธี MOCVD เพื่อประยุกต์ใช้ในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางซิลิคอน

Development of Boron Doped Zinc Oxide Films by MOCVD Technique and Their Applications to Silicon Thin Film Solar Cells

ปริญญาณ กรุดาด ศศิวิมล ทรงไตร ทวีวัฒน์ กระจำงสังข์ อมรรัตน์ ลิ้มมณี จริญญา ศรีธาราธิคุณ กอบศักดิ์ ศรีประภา
ห้องปฏิบัติการวิจัยเทคโนโลยีพลังงานแสงอาทิตย์ (STL) หน่วยวิจัยอุปกรณ์และระบบอัจฉริยะ (IDSRU)
ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ (NECTEC)

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอ การพัฒนาฟิล์มซิงค์ออกไซด์เจือโบรอน (ZnO:B) สร้างบนกระจกฐานรองโซดาไลม์ (Soda-lime glass) ด้วยวิธี Metal Organic Chemical Vapor Deposition (MOCVD) เพื่อประยุกต์ใช้เป็นชั้นนำไฟฟ้าโปร่งแสงในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางซิลิคอน ฟิล์ม ZnO:B ได้ถูกพัฒนาเพื่อให้ได้คุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้เป็นชั้นนำไฟฟ้าโปร่งแสง ด้วยการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขการสร้าง คือ อุณหภูมิและปริมาณสารเจือ B_2H_6 จากการปรับอุณหภูมิการสร้าง และอัตราการไหลของสารเจือ B_2H_6 ทำให้ได้ฟิล์ม ZnO:B ที่มีพื้นผิวขรุขระเป็นพีระมิด ความต้านทานประมาณ $6.1 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ มีค่าการส่องผ่านแสงรวม และกระจายในช่วงความยาวคลื่น 400-1100 nm ประมาณ 70% และ 35% ตามลำดับ เมื่อนำกระจกเคลือบฟิล์ม ZnO:B ไปใช้เป็นชั้นนำไฟฟ้าโปร่งแสงในเซลล์แสงอาทิตย์ พบว่ากระแสไฟฟ้ายึดวงจรและประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกระจกมาตรฐานเคลือบ $SnO_2:F$ แสดงให้เห็นว่าฟิล์ม ZnO:B ที่ได้จากการพัฒนานี้เหมาะที่จะนำไปใช้เป็นชั้นนำไฟฟ้าโปร่งแสงในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางซิลิคอน

คำสำคัญ : ซิงค์ออกไซด์, MOCVD, เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางซิลิคอน, การกระเจิงของแสง

Abstract

In this paper, development of boron-doped zinc oxide (ZnO:B) film on soda-lime glass substrate deposited by metal organic chemical vapor deposition (MOCVD) method for thin film silicon solar cells applications is reported. By optimizing substrate temperature and B_2H_6 flow rate for ZnO:B deposition, the films with pyramid-like structure and resistivity of about $6.1 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ have been obtained. The total and diffuse spectral transmittances in the wavelength region of 400-1100 nm are found to be about 70% and 35%, respectively. We found that the microcrystalline silicon solar cell using the ZnO:B coated glass substrate indicated higher short circuit current density (J_{sc}) and conversion efficiency than the cell using commercial $SnO_2:F$ coated glass. These results have verified that the ZnO:B film coated glass prepared by MOCVD technique has an excellent potential for using as transparent conductive oxides glass for silicon thin film solar cells.

Keywords : Zinc oxide, MOCVD, silicon thin film solar cells, light scattering

เอกสารนี้เป็นเอกสารสิทธิ์สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

เซลล์แสงอาทิตย์เป็นอุปกรณ์ที่แปลงพลังงานแสงให้เป็นพลังงานไฟฟ้า ด้วยหลักการ โฟโตโวลตาอิก (Photovoltaic: PV) เมื่อแสงที่มีพลังงานโฟตอนมากกว่าช่องว่างพลังงาน (E_g) เข้าสู่สารกึ่งตัวนำ แสงจะถูกสารกึ่งตัวนำดูดกลืน และกระตุ้นให้เกิดอิเล็กตรอนอิสระขึ้นในแถบคอนดักชัน และเกิดโฮลอิสระขึ้นในแถบวาเลนซ์ ชั้นอินทรินซิก (i-layer) ทำหน้าที่เป็นชั้นแอคทีฟ (active layer) ที่ผลิตกระแสไฟฟ้าโฟโต ส่วนชั้นพี (p-layer) และเอ็น (n-layer) ทำหน้าที่สร้างแรงดันไฟฟ้าของรอยต่อกระแสไฟฟ้าโฟโตที่ได้จากรอยต่อ p-i-n จะมีค่ามากขึ้นขึ้นกับความสามารถในการดูดกลืนแสงอย่างมีประสิทธิภาพของชั้น i

ปัจจุบันเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางชนิดคอนแบบเซลล์ซ้อน (tandem solar cells) เป็นที่นิยมผลิตในเชิงพาณิชย์ โดยชั้นบน (top cell) เป็นวัสดุอะมอร์ฟัส (a-Si:H) ทำหน้าที่ดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 350-800 nm. ส่วนชั้นล่าง (bottom cell) เป็นวัสดุชนิดไมโครคริสตัลไลน์ ($\mu\text{-Si:H}$) ซึ่งดูดกลืนแสงในช่วงความยาวคลื่น 500-1100 nm โดยสร้างบนฐานรองกระจกเคลือบขี้ผึ้งนำไฟฟ้าโปร่งแสง หรือ Transparent Conductive Oxides (TCO) coated glass ซึ่งเป็นวัสดุที่สามารถส่งผ่านแสงในช่วงความยาวคลื่น 350-1100 nm ได้ดี และมีค่าสภาพความต้านทานต่ำ จากคุณสมบัติข้างต้นทำให้กระจก TCO ถูกนำไปใช้เป็นฐานรองสำหรับสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางชนิดคอน กระจก TCO สามารถสร้างได้จากสารประกอบหลายชนิด แต่ที่นิยมใช้กันมาก คือ อินเดียมออกไซด์ (In_2O_3) ดีบุกออกไซด์ (SnO_2) ซิงค์ออกไซด์ (ZnO) ซึ่งอยู่ในรูปสารประกอบที่มีการเจือสารเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของสารนั้นๆ โดย อินเดียม ออกไซด์ เจือดีบุก ($\text{In}_2\text{O}_3:\text{Sn}$) เรียกว่า ITO (Indium Tin Oxide) ดีบุกออกไซด์ เจือฟลูออรีน ($\text{SnO}_2:\text{F}$) เรียกว่า FTO และซิงค์ออกไซด์เจือโบรอน หรือ ZnO:B สำหรับฟิล์ม ITO นั้นมีราคาแพงเท่ากับงานวิจัยเพื่อพัฒนาประสิทธิภาพในระดับห้องปฏิบัติการมากกว่าที่จะนำมาผลิตเป็นเชิงพาณิชย์ ซึ่งจะทำให้ต้นทุนการผลิตสูง ส่วน $\text{SnO}_2:\text{F}$ นั้นมีคุณสมบัติการนำไฟฟ้าที่ดีและปัจจุบันนิยมนำมาใช้ในการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์เชิง

พาณิชย์ แต่การปรับปรุงคุณสมบัติพื้นผิวของฟิล์มทำได้ยาก ส่วนการเคลือบฟิล์ม ZnO นั้นทำได้ง่ายและหลายวิธี แต่วิธีที่นิยมใช้ในการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบาง คือ วิธี Magnetron sputtering และวิธี MOCVD ซึ่งได้ลักษณะของพื้นผิวฟิล์ม ZnO ที่ต่างกัน ฟิล์ม ZnO ที่ได้จากวิธี Magnetron sputtering จะมีลักษณะพื้นผิวที่เรียบ ทำให้แสงที่เข้าสู่เซลล์แสงอาทิตย์มีระยะทางการเดินทางของแสงที่สั้น ส่วนวิธี MOCVD ได้มีรายงานวิจัย [1] ที่สังเคราะห์ฟิล์ม ZnO ที่มีรูปร่างผลึกเป็นรูปทรงพีระมิด และพื้นผิวที่มีความขรุขระ เหมาะสมในการนำไปใช้เป็นชั้นรับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ ทำให้แสงกระเจิงเข้าสู่ชั้นเซลล์ได้มากขึ้น และการสร้างด้วยวิธีนี้จะไม่ทำให้เกิดการทำลายชั้นต่างๆ ของเซลล์แสงอาทิตย์ เนื่องจากไม่มีปรากฏการณ์ Ion bombardment และ Deposition rate จะสูงกว่าวิธี magnetron sputtering มาก อีกทั้งยังสามารถปรับปรุงพื้นผิวของฟิล์ม (Texture) โดยการปรับเงื่อนไขการสร้างได้ ในขณะที่วิธีการ magnetron sputtering นั้นปรับพื้นผิวได้ยาก หรือต้องใช้ขั้นตอนอื่นๆ เช่น การ etching เพิ่มเติม

2. การทดลอง

2.1 การเตรียมฟิล์ม ZnO:B

คณะวิจัยได้พัฒนาฟิล์ม ZnO เจือโบรอนสร้างด้วยวิธี MOCVD ลงบนกระจกโซดาแลม โดยใช้พลังงานความร้อนกระตุ้นทำให้เกิดปฏิกิริยาเคมี สารตั้งต้นที่ใช้คือ ไตรเอทิลซิงค์ ($(\text{C}_2\text{H}_5)_2\text{Zn}$) กับ น้ำ (H_2O) โดยมีก๊าซอาร์กอน (Ar) เป็นพาหะ และมีก๊าซโบรอน (B_2H_6) เป็นสารเจือ ภายใต้สภาวะสุญญากาศโดยปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นแสดงในสมการที่ 1 [2]



เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมในการนำไปประยุกต์ใช้กับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดไมโครคริสตัลไลน์ชนิดคอน โดยเปรียบเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างบนกระจก $\text{SnO}_2:\text{F}$ ที่ใช้ในเชิงพาณิชย์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้กระจกเคลือบ ZnO:B แทนกระจก $\text{SnO}_2:\text{F}$ รายละเอียดเงื่อนไขในการสร้างฟิล์ม ZnO:B สรุปไว้ในตารางที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1 เงื่อนไขการสร้างฟิล์มซิงค์ออกไซด์

พารามิเตอร์	
อุณหภูมิฐานรอง [°C]	120-210
อุณหภูมิ DEZ [°C]	40
อัตราการไหลก๊าซ Ar ของ DEZ [sccm]	40
อุณหภูมิ H ₂ O [°C]	40
อัตราการไหลก๊าซ Ar ของ H ₂ O [sccm]	80
อัตราการไหล B ₂ H ₆ [sccm]	0-20
ความดันในการปลูกฟิล์ม [mtorr]	300
ความหนาฟิล์ม ZnO [μm]	2

จากนั้นนำฟิล์ม ZnO:B ที่ได้มาวิเคราะห์พื้นผิวหน้าและลักษณะของผลึกด้วยภาพถ่ายจากเครื่อง Scanning Electron Microscope :SEM และเครื่อง Atomic Force Microscope :AFM วิเคราะห์คุณสมบัติทางไฟฟ้าด้วยวิธีฮอลล์ (Hall measurement) และคุณสมบัติทางแสงด้วยเครื่อง UV/Visible Spectrometer with integrating sphere ในการวัดค่าการส่องผ่านแสง (transmittance: T) ค่าการสะท้อนแสง (reflectance: R) เพื่อนำมาคำนวณสัมประสิทธิ์ของการดูดกลืน (α) ที่ความหนา (d) ของฟิล์ม ZnO:B ตามสมการที่ 2 [3]

$$\alpha = \frac{1}{d} \ln \left(\frac{1-R(\lambda)}{T(\lambda)} \right) \quad (2)$$

2.2 การสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางไมโครคริสตัลไลน์ซิลิคอน

เซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางไมโครคริสตัลไลน์ซิลิคอน ($\mu\text{-Si:H}$) ถูกสร้างด้วยเทคนิค PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition) ด้วยเครื่อง multi-chamber เพื่อศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่างกระจกฐานรองมาตรฐาน SnO₂:F ดังตารางที่ 2 และ ZnO:B ที่ได้จากการวิจัยนี้ เคลือบฟิล์มชั้น p-i-n บนฐานรองทั้งสองพร้อมกัน เพื่อลดความผิดพลาดจากกระบวนการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีโครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ดังนี้ TCO glass /p- $\mu\text{-Si:H}$ (35 nm) /i- $\mu\text{-Si:H}$ (1000 nm) /n- $\mu\text{-Si:H}$ (35 nm)/ ZnO:Al/Ag เซลล์แสงอาทิตย์มีพื้นที่รับแสง 1 cm² เปรียบเทียบการตอบสนองทางแสงของ

เซลล์แสงอาทิตย์ด้วยเครื่องวัด Spectrum Response และวัดคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์จากกราฟ I-V ด้วยเครื่องจำลองแสงอาทิตย์ (Super Solar Simulator) ภายใต้เงื่อนไขมาตรฐาน 100 mW/cm², AM 1.5 ที่อุณหภูมิ 25°C

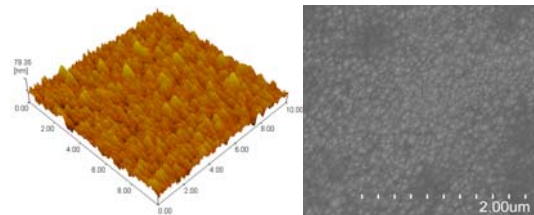
ตารางที่ 2 คุณสมบัติของกระจกมาตรฐาน SnO₂: F

พารามิเตอร์	
Thickness [μm]	0.9
Roughness [nm]	15
Resistivity [Ω.cm]	1.11x10 ⁻³
Mobility [cm ² V ⁻¹ s ⁻¹]	38.26
Carrier density [cm ⁻³]	1.55x10 ²⁰
Total transmittance [TT%]	80
Diffuse transmittance [TD%]	19

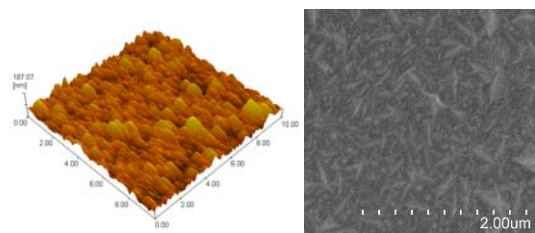
3. ผลการทดลองและการวิเคราะห์

3.1 ผลของอุณหภูมิที่มีต่อคุณสมบัติฟิล์ม ZnO:B

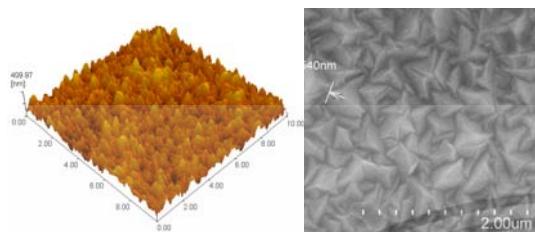
กำหนดการไหล B₂H₆ ที่ 10 sccm อุณหภูมิที่ใช้ในการปลูกฟิล์มเพิ่มจาก 120°C ถึง 210°C จากรูปถ่าย SEM และ AFM ซึ่งแสดงในรูปที่ 1 (ก)-(ง) พบว่าลักษณะพื้นผิวของฟิล์ม ZnO:B มีการเปลี่ยนแปลงไปตามอุณหภูมิที่ใช้ในการปลูกฟิล์ม [4] โดยที่อุณหภูมิ 120°C นั้นมีรูปร่างผลึกไม่ชัดเจนมีลักษณะเป็นแท่ง ส่วนที่อุณหภูมิ 150°C พื้นผิวของฟิล์ม ZnO:B มีผลึกเกิดขึ้นแทรกอยู่บนพื้นผิวของฟิล์ม และเมื่อเพิ่มอุณหภูมิจาก 180°C ถึง 210°C พบว่าผลึกมีขนาดใหญ่ขึ้นและพื้นผิวของฟิล์มมีลักษณะเป็นแบบพีระมิด (pyramid-like) และอุณหภูมิที่สูงขึ้นทำให้ค่าความขรุขระ (roughness: RMS) มีค่าเพิ่มขึ้นจาก 7.5 nm ที่ 120°C เป็น 44.5 nm ที่ 210°C



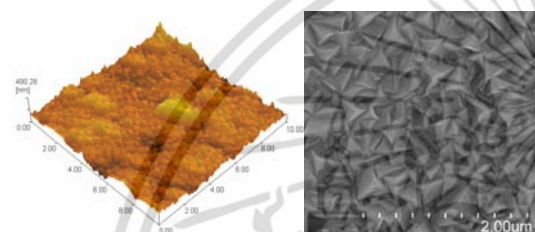
(ก) 120°C, RMS = 7.5 nm



(ข) 150°C, RMS = 18.5 nm



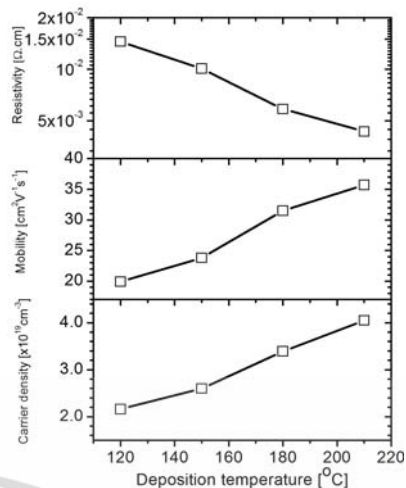
(ค) 180°C, RMS = 42.2 nm



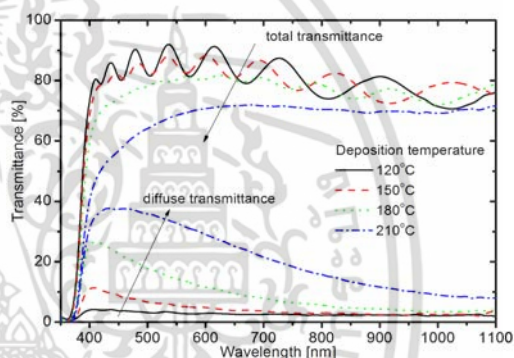
(ง) 210°C, RMS = 44.5 nm

รูปที่ 1 พื้นผิวของฟิล์ม ZnO:B ที่อุณหภูมิ 120 - 210°C

จากผลของการเพิ่มอุณหภูมิจาก 120°C ถึง 210°C ค่าความต้านทานไฟฟ้า (resistivity) มีแนวโน้มลดลง โดยมีค่าต่ำสุด $4.3 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ ที่อุณหภูมิ 210°C เนื่องจากอุณหภูมิที่สูงขึ้นมีผลต่อการจัดเรียงตัวผลึกของฟิล์ม ZnO:B ทำให้ได้ค่าสภาพความคล่องตัวพาหะ (mobility) สูงสุด $35.7 \text{ cm}^2 \text{ V}^{-1} \text{ s}^{-1}$ ในขณะที่ค่าความหนาแน่นพาหะ (carrier density) สูงขึ้นจนถึง $4.05 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ ที่อุณหภูมิ 210°C (รูปที่ 2) ส่วนคุณสมบัติทางแสง พบว่าที่อุณหภูมิ 120°C จนถึง 180°C ค่าการส่องผ่านแสงรวม (total transmittance) มีแนวโน้มลดลงมาจาก 90% เป็นประมาณ 80% ที่ความยาวคลื่น 550 nm ส่วนที่อุณหภูมิ 210°C ค่าการส่องผ่านแสงรวมลดลงมาที่ประมาณ 70% การที่ค่าการส่องผ่านแสงรวมลดลงเป็นผลมาจากฟิล์ม ZnO:B มีความเป็นผลึกมากขึ้น และความขรุขระเพิ่มขึ้นตามอุณหภูมิที่สูงขึ้น ซึ่งเห็นได้จากผลของแสงกระจาย (diffuse transmittance) ที่เพิ่มขึ้น ตามอุณหภูมิ สูงสุดที่อุณหภูมิ 210°C มีค่าประมาณ 35% (รูปที่ 3)



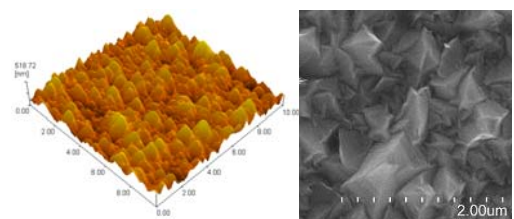
รูปที่ 2 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของ ZnO:B ที่อุณหภูมิ 120 - 210°C



รูปที่ 3 ค่าการส่องผ่านแสงของฟิล์ม ZnO:B ที่อุณหภูมิ 120°C - 210°C

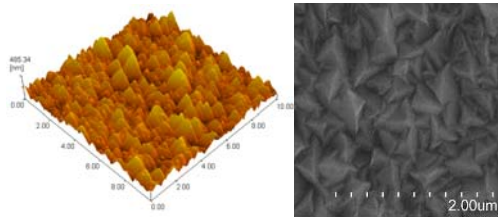
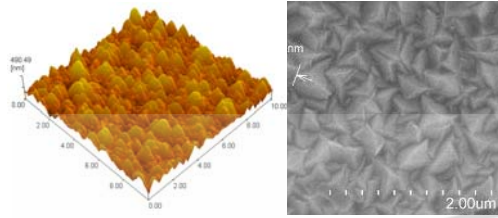
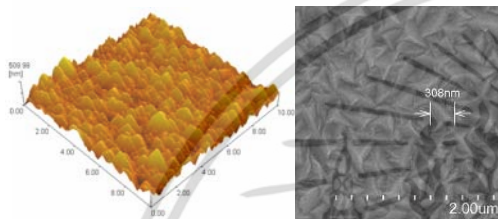
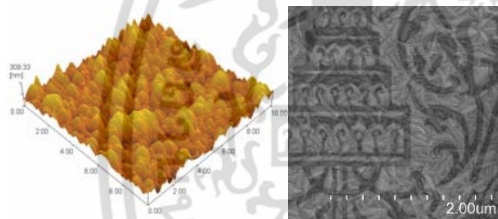
3.2 ผลของอัตราการไหลของก๊าซ B₂H₆ ที่มีต่อคุณสมบัติฟิล์ม ZnO:B

ในการทดลองนี้อัตราการไหลของก๊าซ B₂H₆ เปลี่ยนแปลงจาก 0 sccm ถึง 20 sccm อุณหภูมิที่ใช้ในการปลูกฟิล์มที่ 210°C คงที่ จากการทดลองพบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณก๊าซ B₂H₆ ลักษณะพื้นผิวของฟิล์มซึ่งค่ออกไซด์จะมีขนาดเกรนที่เล็กลง และมีรูปร่างผลึกที่เป็นพริระมิดมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 4



(ก) B₂H₆ = 0 sccm, RMS = 58.8 nm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาต (ก) B₂H₆ = 0 sccm, RMS = 58.8 nm
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

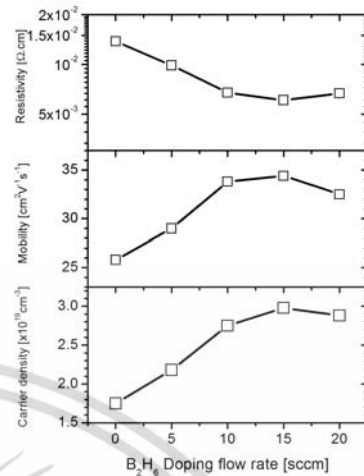
(ข) $B_2H_6 = 5$ sccm, RMS= 55.8 nm(ค) $B_2H_6 = 10$ sccm, RMS= 54.3 nm(ง) $B_2H_6 = 15$ sccm, RMS= 51.3 nm(จ) $B_2H_6 = 20$ sccm, RMS= 38.2 nm

รูปที่ 4 (ก)-(จ) พื้นผิวของฟิล์ม ZnO:B

ที่อัตราการไหลของสารเจือ B_2H_6 0-20 sccm

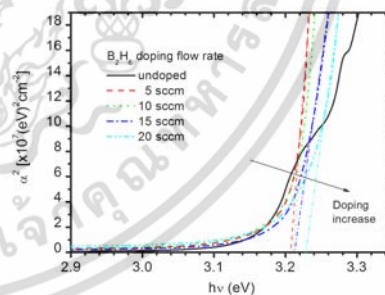
รูปที่ 5 แสดงคุณสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์ม ZnO:B เนื่องจากโบรอน เป็นสารเจือชนิด เอ็น เข้าไปแทนที่อะตอมของ Zn หรือแทรกระหว่างอะตอม ทำให้เพิ่มความหนาแน่นของอิเล็กตรอนอิสระของฟิล์ม ZnO เพิ่มขึ้น[5] เมื่อเพิ่มอัตราการไหลของสารเจือ B_2H_6 จาก 0 ถึง 15 sccm สภาพความต้านทานไฟฟ้าจึงลดลงจาก $13.8 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ ถึง $6.1 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ ในขณะที่ความคล่องตัวของพาหะก็เพิ่มขึ้นตามการเพิ่มของอัตราการไหลสารเจือ B_2H_6 สูงสุดที่ 15 sccm มีค่า $34.4 \text{ cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$ แล้วจะเริ่มลดลงเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของสารเจือ B_2H_6 เป็น 20 sccm เนื่องจากการเพิ่มอะตอมของ โบรอน ที่มากขึ้นนอกจากจะทำให้ความหนาแน่นของพาหะมากขึ้นแล้ว ในขณะเดียวกันก็เป็นการ

เพิ่มความหนาแน่นของจุดบกพร่องของฟิล์ม ZnO:B ด้วย จึงทำให้สภาพความต้านทานไฟฟ้าลดลง



รูปที่ 5 คุณสมบัติทางไฟฟ้าของฟิล์ม ZnO:B

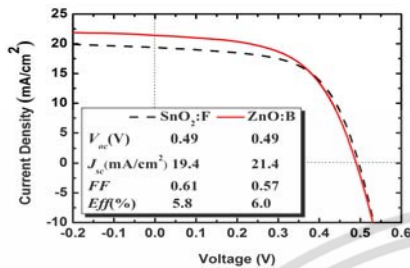
รูปที่ 6 แสดงค่า optical band gap ของฟิล์ม ZnO:B อยู่ที่ประมาณ 3.2 eV และมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราการไหลของก๊าซ B_2H_6 จากการทดลองเราได้ฟิล์ม ZnO:B ที่เหมาะสำหรับไปใช้สร้างเซลล์แสงอาทิตย์ โดยมีค่าความหนาแน่นพาหะเท่ากับ $6.1 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ ค่าความคล่องตัวพาหะเท่ากับ $34.4 \text{ cm}^2 \text{V}^{-1} \text{s}^{-1}$ ค่าการส่องผ่านแสงรวมประมาณ 70% และค่าการส่องผ่านกระจายประมาณ 35% ที่อุณหภูมิ 210°C

รูปที่ 6 optical band gap ของฟิล์ม ZnO:B กับการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของก๊าซ B_2H_6

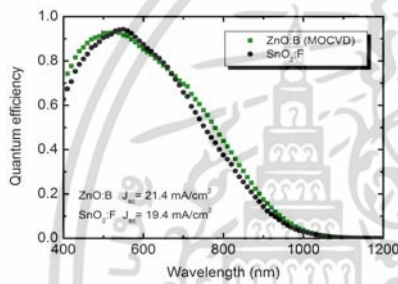
3.3 ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางไมโครคริสตัลไลน์ซิลิคอนบนกระจกเคลือบ ZnO:B

เมื่อพิจารณาผลการวัดคุณสมบัติของฟิล์ม ZnO:B จากผิวหน้าผลึก ความต้านทานไฟฟ้าที่ต่ำ และการส่งผ่านแสงที่ดี ทำให้เลือกฟิล์ม ZnO:B ที่สร้างที่อุณหภูมิฐานรอง 210°C และปริมาณการเติมสารเจือ B_2H_6 15 sccm มาใช้สร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดไมโครคริสตัลไลน์ซิลิคอน เพื่อ

เปรียบเทียบคุณสมบัติของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างบนกระจก ZnO:B กับกระจก SnO₂:F ผลที่ได้แสดงเป็นกราฟ J-V ดังรูปที่ 7 พบว่าค่า J_{sc} ของเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างบนกระจก ZnO:B มีค่า 21.4 mA/cm² ซึ่งมากกว่าเซลล์บนกระจก SnO₂:F ที่วัดค่าได้ 19.4 mA/cm²



รูปที่ 7 กราฟ J-V เปรียบเทียบสมบัติเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดไมโครคริสตัลไลน์บนกระจกเคลือบ ZnO:B กับ SnO₂:F



รูปที่ 8 การตอบสนองทางแสงของเซลล์แสงอาทิตย์ชนิด $\mu\text{c-Si:H}$ บนกระจกเคลือบ ZnO:B กับ SnO₂:F

จากผลของการตอบสนองทางแสงรูปที่ 8 แสดงให้เห็นว่าเซลล์แสงอาทิตย์ที่สร้างบนกระจกเคลือบ ZnO:B มีผลการตอบสนองทางแสงสูงกว่าเซลล์บนกระจกเคลือบ SnO₂:F ในช่วงความยาวคลื่น 400 - 1100 nm เป็นผลมาจากลักษณะพื้นผิวที่ขรุขระทำให้เกิดการกระเจิงของแสงและผ่านเข้าสู่ชั้น $\mu\text{c-Si:H}$ ซึ่งเป็นชั้นที่ผลิตกระแสไฟฟ้าของเซลล์แสงอาทิตย์ได้มากขึ้น และการเพิ่มขึ้นของการตอบสนองของทางแสงนี้ สอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของค่ากระแสไฟฟ้ลัดวงจร ส่วนการลดลงของค่าฟิลแฟคเตอร์ (FF) น่าจะมีสาเหตุเนื่องจากพื้นผิวของฟิล์ม ZnO:B มีความขรุขระสูงกว่ากระจกมาตรฐาน และรูปร่างที่เป็นยอดแหลมของพีระมิด จึงทำให้เกิดความหนาแน่นของจุดบกพร่องในชั้น $\mu\text{c-Si:H}$ ได้มากกว่า สำหรับการแก้ปัญหาดังกล่าว ทำได้โดยการปรับปรุงพื้นผิวของฟิล์ม ZnO:B ด้วยการ etching ฟิล์มก่อนนำไปใช้สร้างเซลล์แสงอาทิตย์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สรุป

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาการเตรียมฟิล์ม ZnO:B บนกระจก โซดาไลม์ ด้วยวิธี MOCVD ได้ถูกพัฒนาเพื่อให้ได้คุณสมบัติที่เหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้เป็นชั้นนำไฟฟ้าโปร่งแสงในเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดฟิล์มบางซิลิคอน โดยผลของการเพิ่มอุณหภูมิทำให้รูปร่างของผลึกที่เป็นพีระมิดมากขึ้น ส่งผลต่อค่าการส่องผ่านแสงกระจายเพิ่มขึ้น และที่สารเจือ B₂H₆ ปริมาณ 15 sccm ให้คุณสมบัติทางไฟฟ้าที่ดี คือ resistivity ต่ำสุดเท่ากับ $6.1 \times 10^{-3} \Omega \cdot \text{cm}$ มีค่า optical band gap ประมาณ 3.2 eV เมื่อนำไปสร้างเป็นเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดไมโครคริสตัลไลน์ จะให้ J_{sc} ที่เพิ่มขึ้น 0.33 mA/cm² จากการทดลองนี้เราสามารถสร้างฟิล์ม ZnO:B บนกระจกด้วยวิธี MOCVD ที่คุณสมบัติโดยรวมใกล้เคียงกับกระจกมาตรฐาน SnO₂:F

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] ทวีศักดิ์ มัญญาพันธ์, นิรุช ปันเกตุ, พีระวุฒิ ชินวารังสี, ปฏิภาณ กรุดตาด, สัทธ ใจมั่น, เรืองศักดิ์ ภัทรกิจโสภณ, พอพนธ์ ลิขิตนุกฤษฎ์, “การสังเคราะห์ซิลิโคนโปร่งแสงนำไฟฟ้า Zinc Oxide ด้วยวิธี MOCVD,” การประชุมเครือข่ายพลังงานแห่งประเทศไทยครั้งที่ 4, นครปฐม, หน้า 385-390, พฤษภาคม 2551.
- [2] J.A. Anna Selvan. “ZnO for Thin Film Solar Cells,” Thesis, Neuchâtel University, 1998.
- [3] H. Jia., D. Liu, Y. Feng, L. Zhang, B. Lai, T. He, Y. Ma, Y. Wang, J. Yin, Y. Huang, Y. Mai. “Study of thermal stability of ZnO:B films grown by LPCVD technique,” Applied Surface Science, Vol.258, No.16, pp. 6018-6023, June., 2012.
- [4] X.L.Chen, J.M. Xuea, D.K. Zhanga, G.F. Houa, Y. Zhaoa. “Temperature-dependent growth of zinc oxide thin film grown by metal organic chemical vapor deposition,” Journal of Crystal Growth, Vol. 296, No. 1, pp. 43-50, Oct., 2006.
- [5] X.L.Chen, B.H. Xu, J.M. Xue, Y. Zhao, C.C. Wei, J. Wang, X.D. Zhang, X.H. Geng. “Boron-doped zinc oxide thin films for large-area solar cells grown by MOCVD,” Thin Solid Films, Vol. 515, No. 7-8, pp. 3753-3759, Feb., 2007.