บทคัดย่อ

ชั้นฟิล์มไดอิเล็กทริกบนผิวด้านรับแสงของเซลล์แสงอาทิตย์มีความสำคัญในการลดความสูญเสียทางแสงที่เกิดจากการสะท้อนกลับที่ผิวของเซลล์แสงอาทิตย์และมีหน้าที่เป็นชั้นพาสซิเวชัน (Passivation) เพื่อลดผลของค่าความเร็วการรวมตัวใหม่ของพาหะที่ผิวเซลล์ จากหน้าที่ทั้งด้านทางแสงและไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์จึงมีส่วนสำคัญต่อการเพิ่มประสิทธิภาพในการแปลงพลังงานให้แก่เซลล์แสงอาทิตย์ ในปัจจุบันชั้นฟิล์มไดอิเล็กทริกนิยมผลิตจากซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) และ ซิลิคอนไนไตรท์ (SiN_x) เนื่องจากมีสมบัติกทางแสง เช่นค่าดัชนีหักเหแสงเหมาะสม ค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงกลับที่มีค่าต่ำในช่วงความยาวแสงที่มองเห็นได้ อย่างไรก็ตามฟิล์มดังกล่าวไม่สามารถให้อัตราการขยายการผลิตพาหะภายใต้แสงที่สูง จึงเป็นเพียงชั้นเพื่อป้องกันการสะท้อนแสง และชั้นพาสซิเวชัน แต่ผิวเซลล์ที่มีโครงสร้างผิวขรุขระจากกระบวนการสกัดด้วยเคมีสามารถเพิ่มประสิทธิภาพจากการทำหน้าที่กับดักแสง (Light-trapping) ให้กับเซลล์แสงอาทิตย์ได้ เนื่องจากมีพื้นที่รับแสงมากขึ้น ซึ่งจะส่งผลให้เซลล์แสงอาทิตย์มีกระแสลัดวงจรและแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรสูงขึ้น

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและผลิตฟิล์มบางผลึกนาโนซิงค์ออกไซด์ที่เจือด้วยบิสมัท (nc-ZnO:Bi) ที่ผลิตด้วยเทคนิคการเคลือบผิวด้วยแรงหมุนเหวี่ยง (Spin coating) จากการเตรียมสารละลายโซล-เจล (Sol-gel) ซิงค์ออกไซด์ตั้งต้น สำหรับเป็นชั้นป้องกันการสะท้อนแสง และชั้นพาสซิเวชันให้กับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดผลึกซิลิคอน เทคนิคการผลิตดังกล่าวมีต้นทุนการผลิตที่ต่ำกว่าชั้นซิลิคอนไนไตรท์ ที่ผลิตในระบบพลาสม่าและสุญญากาศพิเศษ อีกทั้งเทคนิคโซลเจลยังให้โครงสร้างผิวขรุขระแบบเม็ดผลึกทรงกลมมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางในระดับไม่กี่นาโนเมตร ซึ่งทำหน้าที่เป็นตัวกับดักแสงมากขึ้น คุณสมบัติที่โดดเด่นของฟิล์มบาง nc-ZnO:Bi คือค่าช่องว่างพลังงานทางแสงกว้างมีค่าประมาณ 3.33-3.35 eV และมีอัตราการผลิตพาหะให้แก่เซลล์แสงอาทิตย์จากแสงโฟตอนที่ตกกระทบในช่วงความยาวคลื่นสั้นมีค่าที่สูง โดยให้ค่าอัตราการขยายกระแสโฟโตสูงขึ้นประมาณ 10^4 เท่า เมื่อเปรียบเทียบกับการนำไฟฟ้าในสภาวะที่มืด อีกทั้งงานวิจัยนี้ได้ศึกษา วิธีการลดจุดบกพร่อง (Defect) ที่เกิดขึ้นจากการเติมสารเจือด้วยบิสมัทด้วยวิธีฟอร์มมิ่งก๊าซ (Forming gas) และปรับปรุงคุณภาพพื้นผิวของฟิล์มบางด้วยการเติมสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวก ไตรเมทิลแอมโมเนียมโบไมด์ (CTAB) เพื่อช่วยในการยึดเกาะโมเลกุลของซิงค์ออกไซด์ ซึ่งจะส่งผลต่อคุณภาพของผิวฟิล์มบางและสมบัติทางไฟฟ้าและทางแสงดีขึ้น ภายใต้การเติมสารลดแรงตึงผิวชนิดประจุบวกในปริมาณที่เหมาะสม อีกทั้งในงานวิจัยได้นำฟิล์มบาง nc-ZnO:Bi มาประยุกต์ใช้เป็นชั้นป้องกันการสะท้อนแสงให้กับเซลล์แสงอาทิตย์ ซึ่งมีค่าการทะลุผ่านของแสงมากกว่า 95 % และลดค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงกลับเท่ากับ 5.26% ที่ความยาวคลื่น 600 nm โดยเคลือบบนชั้นรับแสง n-Si ของเซลล์แสงอาทิตย์ผลึกซิลิคอนโครงสร้างรอยต่อพี-เอ็น ซึ่งผลิตด้วย

วิธี Spin on doping (SOD) ร่วมกับเทคนิคการหมุนเหวี่ยงของสารละลาย เพื่อลดการพึ่งพาเทคโนโลยีสุญญากาศ ส่งผลให้เซลล์แสงอาทิตย์ที่ได้ มีต้นทุนการผลิตที่ต่ำ ผลการวัดประสิทธิภาพเชิงควอนตม (QE) พบว่าการเพิ่มชั้นฟิล์มบาง nc-ZnO:Bi ช่วยให้การผลการตอบสนองแสงสีน้ำเงินมากขึ้น และให้ค่า%QE สูงขึ้นประมาณ 40% เมื่อเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์ที่ไม่มีฟิล์มบาง nc-ZnO:Bi และเมื่อนำเซลล์ต้นแบบไปวัดค่าทางไฟฟ้า ได้ให้ค่ากระแสลัดวงจรเท่ากับ 25.81 mA และแรงดันไฟฟ้าเปิดวงจรเท่ากับ 601.3 mV ทำให้ประสิทธิภาพของเซลล์แสงอาทิตย์อยู่ที่ประมาณ 12.23% ภายใต้การทดสอบด้วยแบบจำลอง PC1D

Abstract

Dielectric thin film coating on the top of solar cells is an important layer in order to reduce the optical loss caused by reflections on the surface. In addition, dielectric film is also electronically relevant with surface passivation to reduce surface carrier recombination velocity of solar cell. Both optical and electronic contributions are crucial to improve the energy conversion efficiency of solar cell. In the present, silicon dioxide (SiO_2) and silicon nitride (SiN_x) is mostly used for a dieletric film because thier oprical properties such as refractive index suitability and low reflectance in visible light wavelength. However, the dielectric films are not able to obtain the gain of photo carrier generation. They have only been an anti-reflection coating layer (ARC) and a passivation layer. Nevertheless, surface of solar cell texured by chemical etching is a light-trapping part to improve short circuit current and open circuit voltage of the cell efficiency due to more surface cell area.

This research was studied in the fabrication of Bismuth doped ZnO thin films based on nanocrystalline (ZnO:Bi) structure by using a spin coating technique. The precursor of the sol-gel for the ZnO:Bi layer was investigated to be used for ARC and passivation of silicon solar cells. The sol-gel preparation is a low-cost technique as compared Plasma-enhanced chemical vapor deposition (PECVD) in the plasma and vacuum condition. Moreover, the sol-gel technique provided a roughness surface structure from spherical nano-crystal of nc-Zn:Bi film with the size of several nanometer diameter which contributed the increase of light-trapping area. Moreover, nc-ZnO:Bi film has a crucial property about the large optical energy band gap which was approximately 3.33-3.35 eV and high carrier generation under the short light wavelength. The measured gain of photo-current generation increased by 10^4 times comparing with that of the dark condition. Therefore, This study aims to improve the ZnO:Bi nanocrystalline with reducing defects in Bi doped ZnO by annealing process under forming gas. Meanwhile, the surface quality of ZnO:Bi thin films was obtained due to surfactant addition of cetyltrimethylammonium bromide (CTAB) in order to improve molecules adhesion of zinc oxide. CTAB addition and forming gas procedures can affect to the quality of morphology, optical and electrical properties of the thin films. Moreover, ZnO:Bi thin films with high

transmittance above 95% and low relectance of 5.26% at the light wavelength at 600nm were used as a function of ARC layer of crystalline silicon solar cell with using n-Si emitter layer from non-vacuum spin on doping (SOD) technique. As a result, the solar cells with nc-ZnO:Bi layer showed higher blue-light response and increase of quantum efficiency of 40%, approximately comparing with a reference p/n solar cell. The results of electrical parameters obtained increase of short circuit current of 25.81 mA and open circuit voltage of 601.3 mV with 12.23% efficiency under PC1D simulation.