บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการผลิตฟิล์มบางผลึกนาโนซิลิคอน (nc-Si dots) ฝังในเฟสของฟอสฟอรัสซิลิเกต (PSG) เพื่อเป็นแนวทางการประยุกต์สร้างเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนโครงสร้างแบบหลายรอยต่อ ฟิล์ม nc-Si dots ในเฟส PSG สังเคราะห์ด้วยการเตรียมแบบหมึกคอมโพสิตและเคลือบฟิล์มแบบหมุนเหวี่ยง จากผลการศึกษาพบว่าโครงสร้างทางพื้นผิวในระดับจุลภาคพบรูพรุนมีขนาดไม่เกิน 70 nm ในเฟสของ PSG เนื่องจากอัตราการเกิดปฏิกิริยาไฮโดรลิซิสเร็วยิ่งขึ้นในเฟสของออกไซด์ และพบเม็ดทรงกลมขนาดเล็กบนผิวฟิล์ม nc-Si dots ประมาณ 50 nm ซึ่งสามารถส่งผลดีต่อการกับดักแสงให้เพิ่มขึ้น ขณะเดียวกันฟิล์มบาง nc-Si dots ในเฟส PSG มีค่านำไฟฟ้าสูงกว่าฟิล์มบาง nc-Si dots ในเฟส SiO_2 ประมาณ 5 เท่า แสดงถึงตัวกลางของ PSG สามารถปรับปรุงการนำไฟฟ้าให้กับฟิล์มบาง nc-Si dots ได้ อีกทั้งปริมาณของ nc-Si dots มากขึ้น (0.03g 0.06g และ 0.10g) มีผลต่อการเพิ่มขึ้นของกระแสไฟฟ้า อาจเป็นผลมาจากการนำไฟฟ้าของพาหะแบบ Direct tunneling หรืออาจมาจาก Phonon assisted hoping อย่างไรก็ตามจุดบกพร่อง (Defects) ที่รอยสัมผัสระหว่างผิว nc-Si dots และเฟส PSG ก็เพิ่มขึ้นด้วยเช่นกัน และส่งผลต่อการนำไฟฟ้าเช่นกัน

ผลการวัดสมบัติทางแสงพบว่า ฟิล์ม nc-Si dots ในเฟส PSG มีค่าสัมประสิทธิ์การทะลุผ่านแสง (%T) สูงขึ้นเท่ากับ 24.54% 35.53% และ 37.62% สำหรับเงื่อนไข 0.10g ภายใต้การอบที่อุณหภูมิสูงขึ้นที่ 50°C 150°C และ 200°C ตามลำดับ ผลของ %T ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากผลการเกิดออกซิไดซ์ของ nc-Si dots ที่ผิวเพิ่มขึ้น และการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิการอบนั้นมีผลต่อการลดลงของ %R อย่างเห็นได้ชัดในช่วงความยาวคลื่นที่มากกว่า 700 nm พบว่า %R มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 18.39% 17.98% และ 17.41% สำหรับเงื่อนไขการอบที่ 50°C 150°C และ 200°C ตามลำดับ จากการคำนวณด้วย Tauc's plot พบว่า ค่าช่องว่าพลังงานทางแสง E_g ของ nc-Si dots สูงขึ้นมีค่าเท่ากับ 1.36 eV 1.52 eV และ 1.56 eV ตามอุณหภูมิการอบที่ 50°C 150°C และ 200°C ตามลำดับ เนื่องจาก nc-Si dots มีขนาดลดลงจากการเกิดออกซิไดซ์ที่ผิว ขณะที่ค่าดัชนีหักเหแสง n ของ nc-Si dots มีค่าต่ำกว่า c-Si ที่ทุกช่วงความยาวคลื่น ที่บริเวณความยาวคลื่น 300-600 nm ค่า n อยู่ระหว่าง 1.65 – 3.25 เปลี่ยนแปลงตามความหนาแน่นของ nc-Si dots ดังนั้นฟิล์มบาง nc-Si dots ในเฟส PSG จึงสามารถเป็นทางเลือกอย่างหนึ่งเพื่อขยายค่า E_g ให้กว้างขึ้น และมีค่าดัชนีหักเหแสงต่ำกว่า c-Si ทำให้เกิดมุมวิกฤติ (θ_c) ที่สูงขึ้น รวมถึงมีค่าสัมประสิทธิ์การสูญหายที่ต่ำกว่า c-Si ในช่วงความยาวคลื่นสั้น จากคุณสมบัติที่ตอบสนองต่อแสงความยาวคลื่นสั้นกว่าของ c-Si ฟิล์มบาง nc-Si dots จึงมีความเหมาะสมสำหรับการประยุกต์เป็นชั้น p/n ให้กับเซลล์แสงอาทิตย์ชนิดซิลิคอนโครงสร้างหลายรอยต่อ

Abstract

In this research, thin film of nao-crystalline silicon dots (nc-Si dots) in phosphorus silicate glass (PSG) was investigated for an approach of novel tandem solar cell. The nc-Si dots film prepared from Si ink composite were formed by spin-coating technique. The results were shown the small pores in the diameter of 50-70 nm were appeared at the surface morphology of the particular PSG phase owing to higher hydrolysis reaction. Meanwhile, small spherical nc-Si particles with the approximate diameter of 50 nm were found at surface of the nc-Si dots. This surface morphology with some spherical particles can lead to an advantage of high light-trapping. It was found that the conductivity of nc-Si dots in PSG phase is higher than that in SiO_2 phase by 5 times, approximately. This result is noted that PSG phase has more effective conductivity improvement than SiO_2 phase. In addition, the higher amounts of nc-Si dots (0.03g, 0.06g, and 0.10g) seems to effect directly on the conductivity due to mostly possible effect of direct tunneling of such carriers or of phonon assisted hoping, nonetheless, increasing defects from the interface states between nc-Si dots and PSG phase inevitably occur and become worse of the film conductivity.

The optical properties were resulted that transmittance (%T) of nc-Si dots_0.1g in PSG phase obtains the increase of 24.54%, 35.53%, and 37.62% in the annealing conditions at 50°C 150°C and 200°C, respectively. It is due to an existence of more surface oxidation of nc-Si dots. The increase of annealing temperature of films finally results in the decrease of reflectance (%R) of 18.39%, 17.98%, and 17.41% at 50°C 150°C and 200°C, respectively. According to Tuac's plot, the increase values of optical band gap (E_g) are 1.36 eV, 1.52 eV, and 1.56 eV by increasing the annealing temperature of 50°C 150°C and 200°C, respectively possible owing to a decrease of nc-Si dots size. Furthermore, the spectral of refractive index (n) of nc-Si dots in PSG phase are below comparing with that of c-Si bulk. Refractive indices are in between 1.65 and 3.25, which depend on the varying nc-Si dot densities. Therefore, the use of nc-Si dots in PSG film can be an alternative way to extend E_g value and to obtain the both of optimizing n value for increasing critical angle (θ_c) of light incident and low k value in the short range of the light wavelength. Because of good responsibility of nc-Si dots in PSG phase in the shorter wavelength, nc-Si dot thin film can be applied for approaching silicon tandem solar cells.