กมลชนก เมฆหมอก : การศึกษาเซลล์แสงอาทิตย์โครงสร้าง Local back passivation จากลวดลายของฟิล์ม Borosilicate glass ด้วยสารละลายโบรอน (STUDY OF LOCAL BACK PASSIVATION SOLAR CELL STRUCTURE USING PATTERNS OF BOROSILICATE GLASS FILM BY BORON SOLUTION) อาจารย์ที่ปรึกษา : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทิพย์วรรณ ฟังสุวรรณรักษ์, 136 หน้า.

โครงสร้างด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอนรอยต่อ p/n-Si มีส่วนประกอบของชั้นฟิล์มบางไดอิเล็กทริกที่มีลวดลายช่องเปิดขนาดเล็ก เพื่อให้เกิดบริเวณพาสซิเวชันที่ผิวสัมผัสที่แผ่นฐานซิลิคอนด้านหลัง เรียกว่า Local back passivation หรือ Local back surface field (LBSF) บริเวณนี้ยังเกิดสนามไฟฟ้าภายในขึ้น ซึ่งลักษณะที่เกิดขึ้นเหล่านี้ส่งผลให้การรวมตัวใหม่ของพาหะที่บริเวณด้านหลังลดลง ในปัจจุบันการผลิตเซลล์แสงอาทิตย์โครงสร้าง LBSF ในอุตสาหกรรมนิยมใช้วิธีที่ใช้พลังงานสูง เช่น เลเซอร์ ซึ่งจะทำให้พื้นผิวเซลล์เกิดความเสียหายได้ง่าย ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาการสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอนโครงสร้าง LBSF ด้วยวิธีต้นทุนต่ำจากการสร้างลวดลายช่องเปิดขนาดเล็กจากฟิล์มบางไดอิเล็กทริกด้วยวิธีการประทับลาย ซึ่งเป็นหลักการสกัดผิวด้วยสารละลายเคมี ทำให้ไม่เกิดความเสียหายที่รอยสัมผัสซิลิคอน

งานวิจัยนี้ได้สร้างบริเวณ p^+-Si ด้านหลังบางบริเวณด้วยการใช้สารละลายโบรอนที่มีเปอร์เซ็นต์อะตอมของโบรอนเท่ากับ 0.15% โดยผ่านวิธีการประทับลายและแพร่สารเจือที่อุณหภูมิ 1150°C เป็นเวลา 30 นาที เพื่อให้เกิดบริเวณ p^+-Si ที่เหมาะสมโดยมีความต้านทานไฟฟ้าแผ่นประมาณ 46 Ω/sheet นอกจากนี้ยังได้ศึกษาการสังเคราะห์ฟิล์มบางไดอิเล็กทริกชนิดต่าง ๆ ได้แก่ ฟิล์มฟอสโฟซิลิเกต (Phosphosilicate glass, PSG) และฟิล์มโบโรซิลิเกต (Borosilicate glass, BSG) จากกระบวนการแพร่สารเจือด้วยความร้อน ฟิล์มซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) จากกระบวนการ Dry oxidation และฟิล์มซิลิคอนไนไตรด์ (Si_3N_4) จากกระบวนการ Sputtering และ Plasma enhanced chemical vapor deposition (PECVD) เพื่อหาเงื่อนไขที่เหมาะสมสำหรับเป็นชั้นพาสซิเวชันในเซลล์แสงอาทิตย์ซิลิคอนโครงสร้าง LBSF

โครงสร้างเซลล์แสงอาทิตย์ต้นแบบที่ได้พิจารณาในการศึกษานี้ แบ่งได้เป็น 2 โครงสร้าง คือ เซลล์แสงอาทิตย์โครงสร้าง LBSF ที่มีบริเวณช่องเปิดชั้นฟิล์ม BSG เป็นชั้นไดอิเล็กทริกด้านหลัง โดยเซลล์ในโครงสร้างมีความต้านทานไฟฟ้าแผ่นด้านรับแสงในช่วง 110 - 130 Ω/sheet โครงสร้างนี้ให้ค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานที่สูงที่สุด คือ 5.30% ในเงื่อนไขที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดของชั้นฟิล์ม BSG ที่ 15% และเซลล์แสงอาทิตย์โครงสร้าง LBSF ที่มีบริเวณ p^+-Si โดยการศึกษานี้ได้ใช้บริเวณช่องเปิดชั้นฟิล์ม Si_3N_4 เป็นชั้นไดอิเล็กทริกด้านหลัง โครงสร้างนี้ให้ค่าประสิทธิภาพการแปลงพลังงานที่สูงที่สุด คือ 8.76% ในเงื่อนไขที่มีสัดส่วนพื้นที่ช่องเปิดของชั้น

ฟิล์ม Si_3N_4 ที่ 15% อีกทั้งเมื่อนำเงื่อนไขที่ดีที่สุดมาจำลองด้วยโปรแกรม PC1D จากผลการจำลองพบว่าเซลล์แสงอาทิตย์ต้นแบบโครงสร้าง LBSF ด้วยวิธีการประทับลายให้ประสิทธิภาพการแปลงพลังงานที่สูงกว่าเซลล์แสงอาทิตย์โครงสร้างมาตรฐานกว่า 1.43% และเมื่อนำมาคำนวณความคุ้มทุนในการผลิตเชิงอุตสาหกรรม พบว่าราคาต้นทุนต่อวัตต์ลดลงมากกว่า 3.71% เมื่อเปรียบเทียบกับเซลล์แสงอาทิตย์โครงสร้างมาตรฐาน ดังนั้นเซลล์แสงอาทิตย์โครงสร้าง LBSF จากลวดลายของฟิล์มบางไดอิเล็กทริกจากวิธีการประทับลาย จึงมีความคุ้มค่าต่อการลงทุนในการผลิตเชิงอุตสาหกรรมได้

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สาขาวิชา วิศวกรรมไฟฟ้า ลายมือชื่อนักศึกษา กมลชนก

ปีการศึกษา 2562 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

KAMONCHANOK MEKMORK : STUDY OF LOCAL BACK PASSIVATION SOLAR CELL STRUCTURE USING PATTERNS OF BOROSILICATE GLASS FILM BY BORON SOLUTION. THESIS ADVISOR : ASST. PROF. THIPWAN FANGSUWANNARAK, Ph.D., 136 PP.

LOCALBACK PASSIVATION SOLAR CELL/DOPANT SOLUTION DIELECTRIC FILM/STAMPING

The rear structure of p/n junction silicon solar cell consists of a thin dielectric layer with its opening pattern. This will lead to perform in the surface passivation at the rear called as local back passivation or local back surface field (LBSF). The LBSF area also behaves as an internal electric field. This behavior results in a lower carrier recombination at the rear cell. Nowadays, many industrial fabrication techniques for LBSF solar cells are using high-power methods such as laser ablation. This will cause the cell surface to become easily damaged. Therefore, this research has been studied for the preparation of LBSF silicon solar cell structure with a low-cost method by using pattern-stamped approach to form a small opening pattern of a thin dielectric film. This chemical etching concept is able to avoid the silicon surface damage.

In this research, the pattern area of heavily dopant p^+-Si on the local rear areas was demonstrated with using 0.15 at% through the stamping method and subsequent thermal diffusion at 1150˚C for 30 minutes. The appropriate p^+-Si localized arear obtains the sheet resistance at 46 Ω/sheet. Furthermore, the synthesis of various types of dielectric film, including phosphosilicate glass (PSG), borosilicate glass (BSG),

silicon dioxide film (SiO_2) and silicon nitride films (Si_3N_4). The PSG and BSG film are simultaneously performed after the thermal diffusion process. The SiO_2 film was prepared by a dry oxidation. The Si_3N_4 film were differently prepared by using a RF sputtering technique and a plasma-enhanced chemical vapor deposition (PECVD) technique in order to investigate the optimized passivation layer in the LBSF solar cells.

The prototype solar cell structure considered in this study can be divided into 2 structures. Firstly, the LBSF solar cell with such opening BSG areas as the localized dielectric layer. This structure with using 110 - 130 Ω/sheet of the n-emitter layer provides the highest energy conversion efficiency of 5.30% in the condition of the opening BSG film of 15% aperture ratio. Secondly, the LBSF solar cell based on a localized p^+-Si area and a Si_3N_4 dielectric opening layer, provides the highest energy conversion efficiency of 8.76% in the condition of the opening Si_3N_4 film of 15% aperture ratio. Moreover, PC1D simulation showed that the LBSF solar cell using the stamping method provided the higher energy conversion efficiency than that of a standard p/n silicon solar cell by 1.43%. In the cost analysis in industrial solar cell production, the less cost per watt by 3.71% is expected to compare with a standard p/n silicon solar cell. Therefore, the novel fabrication for LBSF solar cells by using a stamping method is mostly possible to be worthwhile for the industrial solar cell investment.

School of Electrical Engineering Student's Signature กมลรัตน

Academic Year 2019 Advisor's Signature