

SOD방법을 이용한 저가 EFG 리본 실리콘 태양전지의 효율 향상에 관한 연구

김병국¹, 임종엽¹, 저호¹, 오병진¹, 박재환¹, 이진석², 장보윤², 안영수², 임동건^{1,a}

¹ 충주대학교 전자공학과

² 한국에너지기술연구원

Improving Efficiency of Low Cost EFG Ribbon Silicon Solar Cells by Using a SOD Method

Byeong-Guk Kim¹, Jong-Youb Lim¹, Hao Chu¹, Byoung-Jin Oh¹, Jae-Hwan Park¹,
Jin-Seok Lee², Bo-Yun Jang², Young-Soo, An², and Donggun Lim^{1,a}

¹ Department of Electronic Engineering, Chungju National University, Chungju 380-702, Korea

² Energy Conversion and Storage Research Center, Korea Institute of Energy Research,
Daejeon 305-343, Korea

(Received October 12, 2010; Revised November 18, 2010; Accepted January 28, 2011)

Abstract: The high cost of crystalline silicon solar cells has been considered as one of the major obstacles to their terrestrial applications. Spin on doping (SOD) is presented as a useful process for the manufacturing of low cost solar cells. Phosphorus (P509) was used as an n-type emitters of solar cells. N-type emitters were formed on p-type EFG ribbon Si wafers by using a SOD at different spin speed (1,000~4,000 rpm), diffusion temperatures (800°C~950°C), and diffusion time (5~30 min) in N₂+O₂ atmosphere. With optimum condition, we were able to achieve cell efficiency of 14.1%.

Keywords: EFG ribbon silicon wafer, Spin on doping, Solar cell

1. 서 론

태양광 발전은 다른 발전 방식과는 달리 대기오염, 소음, 발열, 진동 등의 공해가 전혀 없는 깨끗한 에너지원이며 고갈의 염려가 없는 무한한 에너지 원천이다. 아직까지는 태양광발전 시스템의 넓은 설치면적이 필요하고 발전 단가가 상대적으로 높은 단점이 있기 때문에 태양광 발전 기술의 궁극적인 실용화를 위해서는 기존 발전 방식과 경쟁 가능한 가격수준의 저가, 고효율화 기술 개발이 필요하다. 현재 태양

전지의 시장이 급격히 성장 하면서 결정질 실리콘 태양전지의 중요성이 부각되어 많은 연구 개발 및 양산화의 확대로 실리콘 태양전지가 세계 태양전지 시장의 약 80% 이상을 차지하고 있다. 그 이유는 실리콘이 지구상에서 산소 다음으로 풍부한 매장량을 나타내고 있으며 다른 재료들과는 달리 환경 친화적이라는 점에서 강점을 가지고 있기 때문이다. 이 같은 실리콘을 중심으로 최근 몇 년 동안에는 연 평균 30% 이상의 경이로운 성장률을 보이고 있다. 하지만 다른 신재생 에너지원에 비해 높은 발전단가로 인해 태양광 산업 발전의 걸림돌로 작용하고 있으며 이를 해결하기 위해서는 발전단가, 즉 태양전지의 제조 단가를

a. Corresponding Author; dglim@cjnu.ac.kr

절감하는 것이 필수이다 [1,2].

실리콘 태양전지의 확산공정에서 에미터 층의 도핑 농도를 높게 하면, 높은 개방 전압을 얻을 수 있지만 반응자의 이동도가 감소하며 과도한 불순물의 도입으로 인해 재결합 속도가 매우 커지므로 반응자가 수집되지 못하고 모두 재결합되어 효율을 떨어뜨리는 원인이 된다. 따라서 적절한 범위에서의 도핑 농도를 유지할 수 있는 도핑 공정의 최적화가 필요하다 [3-5].

이에 본 논문에서는 저가의 다결정 EFG 리본 웨이퍼 실리콘 기판을 이용한 저가 고효율 태양전지 제조에 적용하기 위해 셀 제조공정에서 효율에 큰 영향을 미치는 확산 공정으로 양산 자동화 시스템에 적용이 용이한 SOD 방법을 사용하였다. 이때 공정 변수로 스핀속도, 확산온도와 시간을 조절하여 도핑을 최적화하였다.

2. 실험 방법

기판으로는 붕소가 도핑된 P-type의 비저항이 $3 \Omega\text{-cm}$, 두께가 $250 \pm 50 \mu\text{m}$ 저가 다결정 EFG 리본 실리콘 웨이퍼를 사용하였다. 기판의 이물질 및 불순물 제거를 위해 아세톤, 메틸알콜, 초순수의 순서로 10분씩 초음파 세척기로 세정을 하고 질소로 건조 시켰다. 그리고 HCl 10% 용액으로 금속 불순물 제거와 HF 10% 용액으로 자연 산화막을 제거한 후 초순수로 충분히 헹구고 질소로 완전히 건조 시킨 후 산 증기 텍스처링 공정을 진행하였다. HF(49%)와 HNO₃(62%)이 희석된 용액과 실리콘이 반응하여 생성되는 산 증기를 EFG 리본 실리콘 웨이퍼와 반응시켜 8분 30초 동안 공정을 하였다 [3,4]. 이 때 산 용액과 실리콘의 반응을 촉진시켜 산 증기의 밀도를 높이고 안정화시키기 위해 초순수를 가열하여 중탕 구조로 주변온도를 60°C로 유지하며 밀폐구조의 챔버에서 진행하였다.

태양전지 에미터 층 형성에는 SOD 방법으로 스핀속도 1,000~4,000 rpm, 시간은 30초로 하여 인 액체 소스(P509)를 도핑한 후 hot plate에서 200°C, 10분간 건조 시켰다. 이후 급속 열처리 장비로 확산온도를 800~950°C, 시간을 5~30분까지 가변하며 공정 압력 2.2 torr, N₂ + O₂ 분위기에서 확산공정을 실시하였다.

확산 후 형성된 기판 표면의 PSG 층은 HF 10%

용액에서 3분 동안 제거하였고 e-beam evaporator system을 사용하여 1 μm 두께로 Ag 전면 전극을 증착하였다. 이후 PECVD 장비로 RF power 200 W, SiH₄ 가스 50 sccm, 공정압력 230 mtorr, 기판온도 300°C, 공정시간 90초로 두께 76 nm, 굴절률 $n = 1.95$ 의 값을 갖는 SiN_x 박막을 증착하였다. 이때 효율 측정 시 접촉해야 하는 전극 부분은 캡톤 테이프를 붙여 노출시키지 않았다. 후면은 전체적으로 Al 전극을 증착하였고 전면과 후면 전극의 접촉특성을 향상시키기 위해 550°C에서 5분간 열처리를 하였다.

표면 텍스처링 된 다결정 EFG 리본 실리콘 웨이퍼는 전계방사형 주사 현미경 (FE-SEM, JSM-6,700)과 AFM (atomic force microscope, XE-100)으로 표면 미세 구조를 분석하였고 UV-Vis spectrophotometer (SINCO, S-3,100)로 표면 반사도를 측정하였다. 인이 확산된 에미터 표면 저항은 4-point probe 장비로 5 포인트를 측정하여 평균값을 분석하였고 ellipsometer (Elli-SE-F)로 SiN_x 박막의 두께 및 굴절률, surface profiler(ET-3,000i)로 Ag, Al 전극 두께를 측정 하였다. 모의 태양광 측정기(AM 1.5, 100 mW/cm²)로 다결정 EFG 리본 실리콘 태양전지의 I-V 특성을 측정하여 변환효율을 분석 및 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 다결정 EFG 리본 실리콘 웨이퍼에 산 증기 텍스처링 방법을 적용한 표면과 단면의 미세구조 SEM 이미지 결과이다. 이 이미지를 보면 과식각에 의한 불균일하고 거친 표면구조가 아닌 전체적으로 균일한 특성의 표면 구조를 가지면서 식각된 크기가 1 μm 미만의 균일한 구조로 식각된 것을 볼 수 있다. 이는 실리콘 태양전지의 전극을 형성 할 때 전극과의 표면적이 증가하여 접촉저항이 감소하는 효과를 가져와 충전율과 단락전류를 상승시키는데 큰 이점으로 작용할 수 있을 것으로 판단된다 [7,8].

그림 2는 각각의 공정에 따른 반사도 특성의 변화를 보여준다. 텍스처링 전 EFG 리본 실리콘 웨이퍼의 32.44%의 반사도 값에서 산 증기를 이용한 텍스처링 공정만으로 6.44%까지 반사도 값이 감소하였으며, SiN_x 반사방지막의 형성으로 입사된 빛이 내부반사에 의해 빛의 흡수가 증가되어 반사도가 2.37%까지 낮아진 것을 확인할 수 있다.

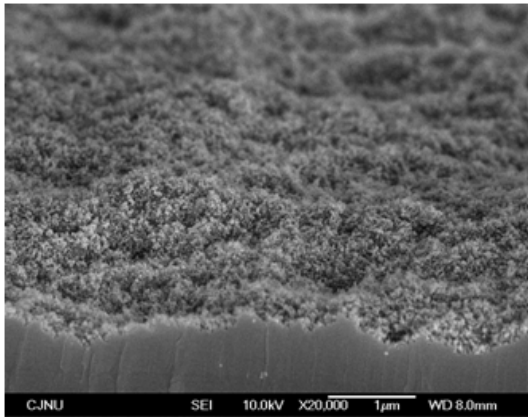


Fig. 1. SEM image of EFG Wafer surface after vapor texturing.

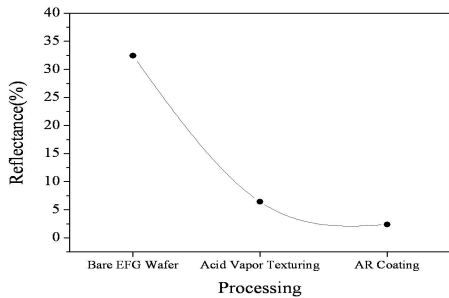


Fig. 2. Reflectance as a function of the various processes.

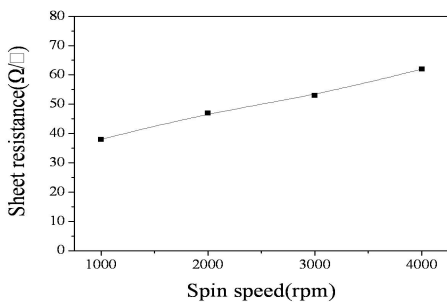


Fig. 3. Sheet resistance as a function of the spin speed.

그림 3~5는 SOD 방법의 확산공정에서 스피ن속도를 1,000~4,000 rpm, 확산온도와 시간을 800~950°C, 5~30분까지 변화하여 측정된 에미터 표면 저항 특성으로 스피ن속도가 높아질수록 표면 저항이 증가하는 것은 시료 표면에 도포된 인 소스의 두께가 얇아져 도핑양이 감소하였기 때문이며 온도와 시간 증가할수록 표면 저항이 낮아지는 것은 온도와 시간이 증가하면서 도핑 깊이와 도핑양이 증가하였기 때문이다. 에미터 표면 저항

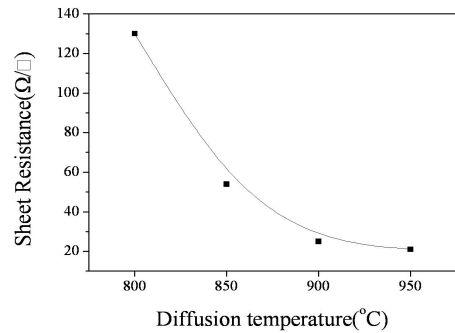


Fig. 4. Sheet resistance as a function of the diffusion temperature.

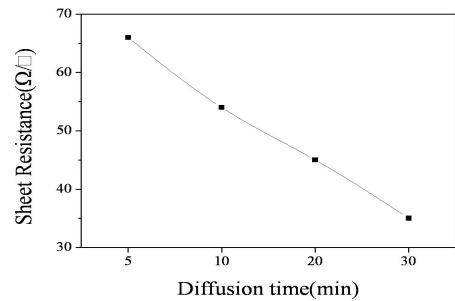


Fig. 5. Sheet resistance as a function of the diffusion time.

은 전면 전극을 설계하는데 중요한 요소가 되므로 확산공정을 최적화하는 것은 필수이다 [5,6]. 본 실험에서는 스피ن속도 3000 rpm, 확산온도 850°C, 확산시간 10분의 조건에서 54 Ω/□의 에미터 표면 저항 값을 얻었다.

그림 6에서는 스피ن속도와 확산온도, 시간의 변화에 따라 도핑된 각각의 시료들을 중앙, 상하좌우 5 포인트에서 측정된 에미터 표면 저항의 균일도 특성을 보여준다. 전체적으로 평균 94% 이상인 균일도 값이 나타났으며 큰 오차 없이 균일하게 도핑이 이루어졌다는 것을 확인할 수 있다.

그림 7은 PECVD 장비로 증착한 온도 변화에 따른 SiN_x 박막의 굴절률 특성을 보여준다. 수소를 포함하고 있는 실리콘 질화막은 한 번의 공정으로 반사방지막과 뛰어난 패시베이션의 역할을 하기 때문에 결정질 실리콘 태양전지 제작에 주로 사용되고 있다 [3-8]. 본 연구에서도 이 SiN_x 박막을 적용하였으며 온도 변화에 따라 굴절률의 변화를 측정된 결과 기판 온도가 300°C일 때 굴절률 값이 n = 1.95로 나타났다. 이와 같은 특성으로 SiN_x 박막을 증착한 이유는 공기의 굴절률(1.0)과 실리콘의 굴절률(3.85)을 고려할 때 태양광의 반사율이 최소가 되는 굴절률 값이 1.96 이며

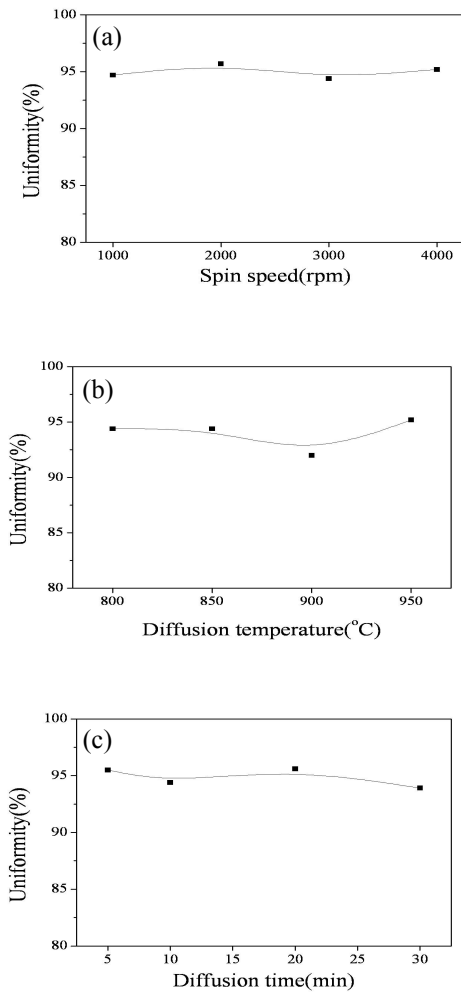


Fig. 6. (a) spin speed (b) diffusion temperature (c) diffusion time with uniformity of emitter sheet resistance. (cell area = 2.5x2.5 cm)

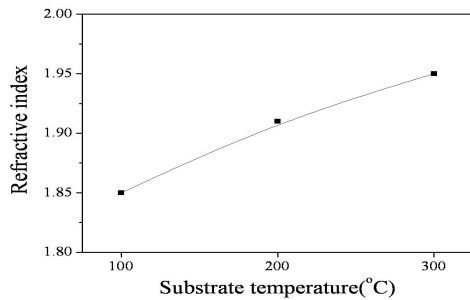


Fig. 7. Refractive index of SiN_x anti-reflectance as a function of the substrate temperature.

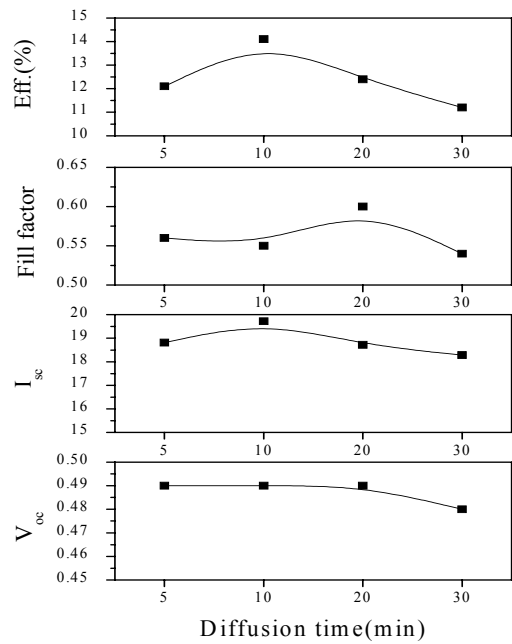


Fig. 8. Effects of diffusion time on the cell parameters (AM 1.5 100 mW/cm², Cell Size= 0.38 cm²).

실리콘의 굴절률이 3.85 이 되는 입사광 파장에 대한 반사방지막의 두께가 76 nm 정도의 값을 가지기 때문이다 [9,10].

SOD 방법에서 스피드 3,000 rpm, 확산온도 850 °C, 확산시간 10분과 SiN_x 박막의 굴절률 n = 1.95, 인 최적의 공정조건을 적용하고 전후면의 전극은 e-beam evaporator system으로 각각 Ag, Al을 두께 1 μm 정도씩 증착하였다. 이후 전극의 접촉특성을 향상시키기 위하여 급속 열처리 장비로 550°C에서 5분간 열처리를 하였다. 최적화된 공정 조건으로 제작된 EFG 태양전지를 모의 태양광 측정기(AM 1.5, 100 mW/cm²)로 I-V 특성을 측정하여 분석한 결과 그림 8에서 보여 주듯이 최고 14.1%의 변환 효율을 얻었다.

4. 결론

본 연구에서는 저가 고효율 태양전지를 위한 저가 다결정 EFG 리본 실리콘 기판으로 진공 기법보다 장비가 저렴하고 상온에서 공정이 가능하며 양산화 시스템에 적용하여 생산속도를 높일 수 있는 SOD 방법을 적용하여 저가 실리콘 태양전지를 제작하였다.

SOD 방법을 이용한 확산 공정에서 3,000 rpm, 30초, 850°C, 10분의 조건에 에미터 표면 저항을 54 Ω/□로 최적화시켜 저가 다결정 EFG 리본 실리콘 웨이퍼로 태양전지를 제작한 결과 14.1%의 변환 효율을 달성하였다. 이러한 결과들로 보아 SOD 기술은 결정질 실리콘 태양전지의 저가화와 고효율화에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 한국에너지기술연구원의 “저가 리본 태양전지 기술개발”의 위탁연구 과제의 지원으로 연구 되었으며 이에 감사드립니다.

REFERENCES

- [1] Solar&Energy Yatap Leaders Bldg.342-1 "Crystalline Si Solar Cells and Solar Modules Core Patent Analysis" 2010.
- [2] S. U. Jun, K. M. Lim, S. H. Choi, Y. M. Hong, K. M. Cho, J. Kor. Inst. Surf. Eng. **40**, 3 (2007).
- [3] M. Ju. M. Gunasekaran, K. Kim, K. Han, I. Moon, K. Lee, S. Han, T. Kwon, D. Kyung, J. Y Materials Science and Engineering B **153**, 66 (2008).
- [4] K. M. Han, M. Thamilselvan, K. H. Kim M. K. Ju, Y. K. Kim, I. Y. Moon, K. S. Lee, D. H. Kyung, T.Y. Kwon, J. S. Yi, Solar Energy Materials & Solar Cells **93**, 1042 (2009).
- [5] M. Ben Rabha, M.F. Boujmil, M. Saadoun, H. Ezzaouia, B. Bessaïs Applied Surface Science, **254**, 4467 (2008).
- [6] D. S. Kim, J. P. Kalejs, B. R. Bathey, A. M. Gabor, A. Rohatgi, K. Nakayashiki, S. H. Lee, *Proceedings of the KSES Autume Annual Conference*, 23 (2003).
- [7] U. Gangopadhyay, S.K. Dhungel, P.K. Basu, S.K. Dutta, H. Saha, J. Yi, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, **91**, 285 (2007).
- [8] A. Ben Jaballah, M. Saadoun, M. Hajji, H. Ezzaouia, B. Bessaïs *Applied Surface Science*, **238**, 199 (2004).
- [9] F. Duerinckx, J. Szlufcik, *Solar Energy Materials and Solar Cells*, **72**, 231 (2002).
- [10] J, D. Lee, M. J. Kim, S. H. Lee, *The Korean Solar Energy Society*, **29**, 2 (2009).