

표면 텍스처링 깊이와 간격에 따른 후면 전극 실리콘 태양전지 효율에 미치는 영향

장왕근, 장윤석, 박정일, 박정호
고려대학교 전기전자공학부

A effect of the efficiency for the back contact silicon solar cell with the surface texturing depth and gap

Wang Geun Jang, Yun-seok Jang, Jungil Park, Jungho Pak
School of Electrical Engineering, Krea University, Seoul, Korea

Abstract - 본 논문에서는 SILVACO 사의 ATHENA와 ATLAS를 이용하여 후면 전극 실리콘 태양전지 (back contact silicon solar cell)의 전면 텍스처링 (texturing) 깊이 (depth)와 텍스처링 간격 (gap)에 따른 태양전지 효율 (efficiency)에 미치는 영향을 분석하였다. 제안한 후면 전극 실리콘 태양전지는 (100) silicon wafer(n-type, $6 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$)을 기반으로 전면부에 텍스처링을, 후면부에 BSF(back surface field, $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$)와 에미터(emitter, $8.5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$)를 구성하고, 셀간 피치를 1250 μm , BSF와 에미터의 간격을 25 μm 으로 한 구조이다. 텍스처링 간격이 없이 텍스처링 깊이를 0 μm 에서 150 μm 으로 증가시켜 분석한 결과, 텍스처링 깊이가 증가할수록 효율이 23.90%에서 25.79%로 증가하였다. 텍스처링 간격을 1 μm 에서 100 μm 으로 증가시켜 분석한 결과, 텍스처링 깊이와 상관없이 텍스처링 간격이 증가할수록 후면 전극 실리콘 태양전지의 효율이 감소하였다. 텍스처링 유무에 따라 후면 전극 태양전지의 외부양자효율의 차이를 보였고 텍스처링이 있을 때 외부양자효율이 보다 높은 값을 얻었다.

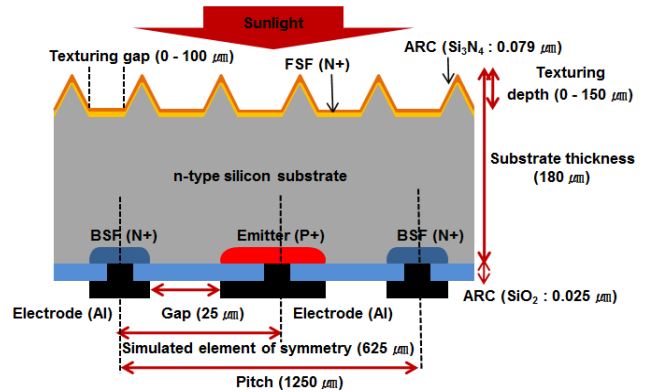
1. 서 론

태양전지는 크게 결정질 실리콘 태양전지, 비결정질 실리콘 태양전지, 화합물 반도체 태양전지로 분류된다. 결정질 실리콘 태양전지에서 높은 효율을 가지는 후면 전극 실리콘 태양전지는 후면에 전극을 형성하여 광흡수를 증가시켰으며 모듈 제작시 이점으로 꾸준히 연구되고 있다[1]. 태양전지의 효율을 감소시키는 원인에는 광학적 손실과 전극 부분의 저항과 캐리어의 재결합에 의한 전기적 손실이 있고, 입사광 반사에 의한 광학적 손실이 가장 큰 비중을 차지한다[2]. 태양전지 전면 부분에 텍스처링을 형성하면 태양전지 전면에서 빛의 반사율을 감소시켜 빛의 흡수를 증가시킬 수 있고 빛의 통과 길이도 증가시킬 수 있다[2]. 또한 증가된 빛의 흡수는 태양전지 내부의 단락전류밀도 (J_{sc})를 증가시키고 효율을 높일 수 있다[3]. 본 연구에서는 태양전지 전면에서 텍스처링 깊이와 간격변화에 따른 후면 전극 실리콘 태양전지 효율에 미치는 영향을 2차원 수치해석 시뮬레이션을 통해 분석하였다. 텍스처링 간격을 없이 하고 텍스처링 깊이만을 0 μm 에서 150 μm 까지 변화시켜 후면 전극 실리콘 태양전지의 효율 분석하였고, 텍스처링 깊이가 30 μm , 50 μm , 100 μm , 150 μm 일 때 텍스처링 간격에 따른 후면 전극 실리콘 태양전지 효율을 분석하였다.

2. 본 론

2.1 시뮬레이션 설계

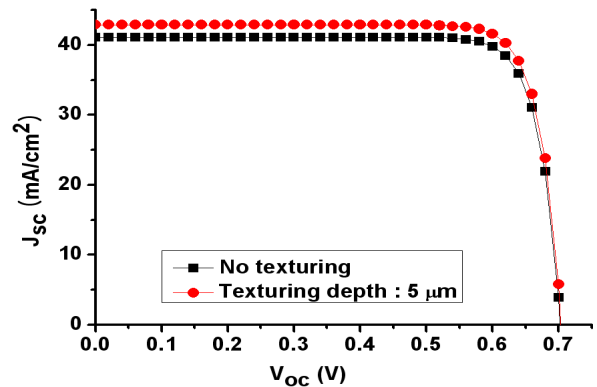
후면 전극 실리콘 태양전지의 시뮬레이션을 위해 SILVACO 사의 TCAD 공정/소자 소프트웨어인 ATHENA (Version 5.18.1.R)와 ATLAS (Version 5.10.2.R)를 이용하였다. 셀간 피치(pitch)는 1250 μm 로 하였고, 태양전지 시뮬레이션에 사용된 단위셀의 구조는 그림 1과 같다. phosphorus이 $6 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 의 농도로 도핑된 (100) silicon wafer(180 μm)를 기반으로 하고, 전면부에는 예정한 경사면이 54.7도를 가지도록 텍스처링하고 $4 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ (phosphorous)로 FSF (front surface field)를 형성하였다. 그 후 전면부에 Si_3N_4 층을 0.079 μm 두께로 증착하였다. 후면부에는 BSF와 에미터의 간격을 25 μm 로 하였고 $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ (phosphorous) 농도로 BSF를, $8.5 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ (boron) 농도로 에미터를 형성하였다[4]. 후면부에 SiO_2 층을 0.025 μm 로 패시베이션한 후, 후면 전극으로 Al(알루미늄)을 사용하였다. Al 전극/BSF 층과 Al 전극/에미터층에서의 콘택 저항은 각각 $0.57 \Omega \cdot \text{cm}^2$, $0.38 \Omega \cdot \text{cm}^2$ 로 설정하였고 태양광 입사에너지는 $AM1.5(100 \text{ mW/cm}^2)$ 로 설정하였다. 후면 전극 실리콘 태양전지 시뮬레이션에서 소수 캐리어의 재결합 모델로 shockley-read-hall 재결합 모델과 Auger 재결합 모델을 사용하였다. 고 농도로 도핑이 되었을 경우를 재결합을 확인하기 위하여 bandgap narrowing 모델을 사용하였고 캐리어의 이동도 모델로 Lombardi CVT 모델, 캐리어의 분포 정도를 표현하기 위해 Fermi-Dirac 모델을 사용하였다.



〈그림 1〉 후면전극 실리콘 태양전지 구조

2.2 시뮬레이션 결과

그림 2는 텍스처링이 없는 후면 전극 실리콘 태양전지와 5 μm 깊이로 텍스처링을 가진 후면 전극 실리콘 태양전지의 J-V curve 결과이다. 텍스처링이 없는 태양전지의 단락전류밀도는 41.1 mA/cm^2 을 나타냈고, 5 μm 깊이로 텍스처링을 가진 태양전지의 단락전류밀도는 42.9 mA/cm^2 을 보였다. 텍스처링 5 μm 을 가진 후면 전극 태양전지는 텍스처링이 없는 후면 전극 태양전지보다 단락전류밀도가 1.8 mA/cm^2 증가하였다. 이는 텍스처링이 있을 때 태양전지 전면에서 빛의 반사율을 감소시켜 태양전지 내부의 단락전류밀도가 증가한 것이다[2].

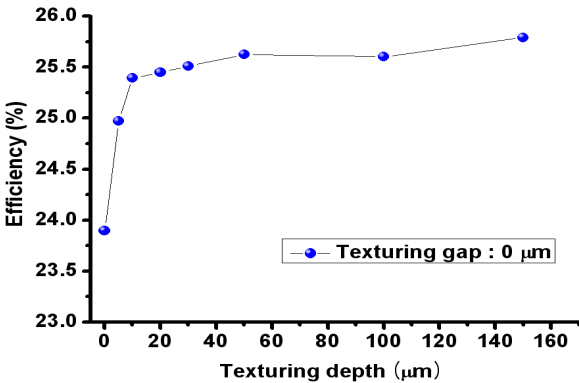


〈그림 2〉 Current density-voltage (J-V) curve

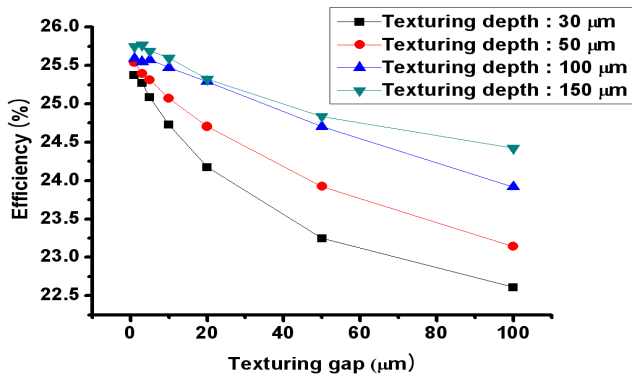
그림 3 (a)는 태양전지 표면 텍스처링 깊이가 후면 전극 실리콘 태양전지 효율에 미치는 영향을 알아보기 위하여 텍스처링 간격 없이 텍스처링 깊이만 고려하여 시뮬레이션한 결과이다. 텍스처링 깊이가 0 μm 에서 150 μm 로 증가할 때, 후면 전극 태양전지의 효율은 23.90%에서 25.79%로 효율이 1.89% 만큼 증가하였다. 태양전지 표면에서의 빛의 반사율이 감소하여 후면 전극 태양전지의 효율이 증가한 것으로 판단된다[2].

후면 전극 실리콘 태양전지의 전면 텍스처링 깊이가 30 μm , 50 μm , 100 μm , 150 μm 일 때, 텍스처링 간격을 1 μm 에서 100 μm 으로 증가시

켜 후면 전극 실리콘 태양전지 효율을 시뮬레이션한 결과는 그림 3 (b)에서 보여주고 있다. 텍스처링 깊이에 상관없이 텍스처링 간격이 증가할수록 후면 전극 실리콘 태양전지의 효율은 감소하였다. 이는 텍스처링 간의 간격이 커지면 빛의 반사율이 증가하여 태양전지의 효율이 감소한 것으로 판단된다[5].



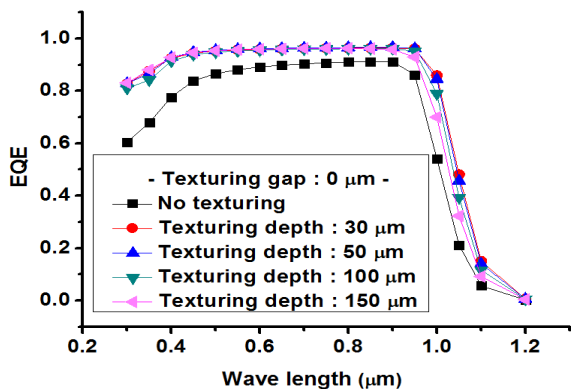
(a)



(b)

<그림 3> (a) Texturing depth (0 μm ~ 150 μm)에 따른 효율 변화, (b) Texturing gap (1 μm ~ 100 μm)에 따른 효율 변화

그림 4는 텍스처링 깊이를 0 μm, 30 μm, 50 μm, 100 μm, 150 μm로 할 경우에 외부양자효율 (EQE, external quantum efficiency)를 나타낸 그래프이다. 300 nm ~ 1100 nm 파장에서 텍스처링 유무에 따라 후면 전극 태양전지의 외부양자효율 차이를 보였고 텍스처링이 있는 태양전지의 외부양자효율이 텍스처링이 없는 태양전지의 외부양자효율보다 높은 값을 보였다. 950 nm 파장 이후에서는 텍스처링 깊이에 따라 태양전지의 외부양자효율 차이를 보였다.



<그림 4> EQE (external quantum efficiency)

3. 결 론

본 연구에서는 2차원 수치해석 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 후면 전극 실리콘 태양전지 전면 부분의 텍스처링 형성에 따른 효율 변화를 관찰하였다. 텍스처링 간격을 없을 경우, 텍스처링 깊이가 0 μm에서 150 μm으로 증가함에 따라 후면 전극 태양전지의 효율이 23.90%에서 25.79%로 증가하였다. 텍스처링 깊이가 30 μm, 50 μm, 100 μm 일 때 텍스처링 간격을 1 μm에서 100 μm로 증가시켜 시뮬레이션한 결과, 텍스처링 깊이와 상관없이 텍스처링 간격이 증가할수록 후면 전극 실리콘 태양전지의 효율이 감소하였다. 이는 텍스처링 간격 증가로 인한 빛의 반사율이 증가하여, 그로 인해 단락전류밀도가 감소하였기 때문이다. 300 nm ~ 1100 nm 파장에서 텍스처링이 있는 태양전지의 외부양자효율이 텍스처링이 없는 태양전지의 외부양자효율보다 높은 값을 보였다. 향후 시뮬레이션을 통해 얻은 결과를 바탕으로 실제 후면 전극 실리콘 태양전지를 제작에 적용할 수 있을 것이다.

[감 사 의 글]

본 연구는 서울시 R&BD 프로그램(No. 10920)과 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(No. 20093021010010).

[참 고 문 헌]

- [1] Emmanuel Van Kerschaver et. al., "Back-contact solar cells: A Review", Prog. Photovolt :Res. Appl, vol.14, pp. 107-123, 2006.
- [2] Seong-Uk Jun et. al., "Surface texturing and anti-reflection coating of multi-crystalline silicon solar cell", J. Kor. Inst. Surf. Eng. Vol. 40, No. 3, 2007.
- [3] D.S. Ruby et. al., "Rie-texturing of multicrystalline silicon solar cells", Solar Energy Material & Solar Cells 74, pp. 133-137, 2002.
- [4] 조성훈 외, "Emitter와 BSF의 농도 및 기판 두께가 후면전극 태양전지에 미치는 영향", 제17회 한국반도체학술대회, pp. 115-116, 2010.
- [5] F. Restrepo et. al., "On black solar cells or the tetrahedral texturing of silicon surface", IEEE Transactions on electron devices, October, 1976