

절연막을 이용한 단면 표면조직화 결정질 실리콘 태양전지

도겸선*, 박석기**, 명재민*, 유권종***, 송희은***

*연세대학교 대학원 신소재공학과(ksdo@kier.re.kr, immyoung@yonsei.ac.kr),

**건국대학교 대학원 전기공학과(parkseok12@kier.re.kr),

***한국에너지기술연구원(y-gj@kier.re.kr, hsong@kier.re.kr)

The Single-Side Textured Crystalline Silicon Solar Cell Using Dielectric Coating Layer

*Kyeom Seon Do, **Seok Gi Park, ***Jaemin Myoung, ***Gwon Jong Yu, ***Hee-eun Song

*Dept. of New Materials Engineering, Yonsei University,

**Dept. of Electrical Engineering, Konkuk University,

***Photovoltaic Research Center, Korea Institute of energy Research

Abstract

Many researches have been carried out to improve light absorption in the crystalline silicon solar cell fabrication. The rear reflection is applied to increase the path length of light, resulting in the light absorption enhancement and thus the efficiency improvement mainly due to increase in short circuit current. In this paper, we manufactured the silicon solar cell using the mono crystalline silicon wafers with $156 \times 156 \text{ mm}^2$, $0.5 \sim 3.0 \Omega \cdot \text{cm}$ of resistivity and p-type. After saw damage removal, the dielectric film (SiN_x) on the back surface was deposited, followed by surface texturing in the KOH solution. It resulted in single-side texturing wafer. Then the dielectric film was removed in the HF solution. The silicon wafers were doped with phosphorus by POCl_3 with the sheet resistance $50 \Omega/\square$ and then the silicon nitride was deposited on the front surface by the PECVD with 80 nm thickness. The electrodes were formed by screen-printing with Ag and Al paste for front and back surface, respectively. The reflectance and transmittance for the single-sided and double-sided textured wafers were compared. The double-sided textured wafer showed higher reflectance and lower transmittance at the long wavelength region, compared to single-sided. The completed crystalline silicon solar cells with different back surface texture showed the conversion efficiency of 17.4% for the single sided and 17.3% for the double sided. The efficiency improvement with single-sided textured solar cell resulted from reflectance increase on back surface and light absorption enhancement.

Keywords : 표면 조직화(Surface Texturing), 반사도(Reflectance), 투과도(Transmittance), 변환효율(Conversion efficiency), 단락전류(short circuit current)

기 호 설 명

SDR	Saw damage removal
SiNx	질화실리콘
Reflectance	반사도
Transmittance	투과도
OM	Optical microscope
Isc	Short-circuit current

1. 서 론

태양광 산업에서 큰 비중을 차지하고 있는 결정질 실리콘 태양전지는 효율의 증가와 저가의 생산 기술 개발을 위해 다양한 연구가 수행중이다. 효율 증대를 위한 한 방법으로 후면에서의 빛 반사에 대한 연구가 수행되고 있다. 장파장 영역의 빛을 후면에서 반사하여 빛의 경로를 증가시킴으로써 효율 증대에 기여할 수 있다.[1] 후면의 반사를 늘리기 위한 방법으로는 후면 반사방지막 증착, LFC(local fired back contact) 등 다양한 방법이 이용되고 있다.[2, 3]

본 연구에서는 절연막을 후면에 증착한 후 식각하여 단면 표면조직화를 형성함으로써 일반적인 형태의 전, 후면의 양면표면조직화에 달리 전면에만 피라미드 구조를 가지는 표면을 형성하였다. 단면 표면조직화는 태양전지 제작 시 웨이퍼의 손실을 줄일 수 있다. 하지만 본 연구는 후면 구조 차이에 의한 후면반사 특성을 알아보기 위해 웨이퍼의 두께를 동일하게 했으며 태양전지 제작 후 효율의 특성을 비교하였다.

2. 실험 방법

본 실험에서는 boron으로 도핑된 비저항 0.3~3.0 Ω·cm, 156×156 mm 크기의 p-type 단결정 실리콘 기판을 사용하였다. 본 논문에서는 절연막(SiNx)을 증착 후 식각하여 단면 표면조직화를 형성하였으며, 일반적인 양면 표면조직화 구조와의 특성을 비교하였다. 실험 진행 순서는 그

림1에 나타냈으며, 자세한 내용은 다음과 같다.

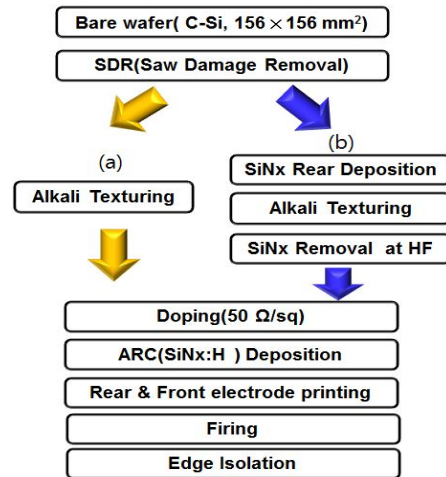


그림 1. 태양전지 제조공정 순서, (a)양면 표면조직화, (b)단면 표면조직화

결정질 실리콘 웨이퍼의 재결합 사이트를 줄이고, 후면반사율을 증가시키기 위해 SDR (saw damage removal)을 수행하였다. 그 후 양면 표면조직화의 경우는 알칼리 용액(KOH)1.5%, IPA 2% 용액을 혼합하여 84°C 온도에서 표면조직화를 수행하였다. 단면 표면조직화의 경우 한쪽 면에 PECVD(plasma enhanced chemical vapor deposition)을 이용하여 절연막(SiNx)을 증착 후 앞에서 수행한 식각 공정을 수행하였다. 그 후 절연막을 제거하기 위해 10% HF 용액을 이용하였다.

양면 표면조직화는 전, 후면 모두 피라미드를 형성한 반면 단면의 경우 전면에만 피라미드를 형성하였다. 이후 p-n 접합을 형성하기 위해 인(phosphorus)을 포함하는 POCl₃와 O₂를 확산로에 주입하여 확산시킨 후 PSG(phosphorous silicate glass)를 제거하였다. 4 point-probe를 이용하여 측정된 면저항은 50 Ω/□였다.

표면반사를 최소화하고 passivation 역할을 하기 위해 PECVD를 이용하여 SiH₄ : NH₃ : Ar=40 : 80 : 1 000 sccm의 가스 조건에서 두께 800 Å, 굴절률 2.0~2.1의 실리콘 질화막 (SiNx)을 전면에 증착하였다. 전극 형성을 위해 전면

에는 Ag 페이스트를, 후면에는 Al 페이스트를 사용하였고 스크린 프린팅 방식을 이용하였다.

전, 후면에 형성한 전극의 저항성 접촉 (ohmic contact)을 만들기 위하여 소성 과정을 거치게 되며, 소성온도는 400°C-425°C-450°C-550°C-870°C 이다. 확산 과정에서 모든 면에 도핑이 되며, 이는 전면과 후면의 재결합을 일으키므로 레이저를 이용하여 측면분리를 하였다. 태양전지의 전기적인 특성은 Pasan의 solar simulator를 이용하여 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 2는 양면, 단면 표면조직화에 대한 후면의 광학현미경 측정 결과를 보여준다. 양면 표면조직화 경우 피라미드의 형성을 확인할 수 있지만, 단면 표면조직화의 경우 피라미드의 형성은 없었다. 그림 2의 (b)가 (a)에 비해 밝은 이미지를 나타냈는데 이는 빛의 반사도가 더 높음을 보여준다.

그림 3을 통하여 양면, 단면 표면조직화의 반사도 특성을 비교하였다. 파장영역 300-1200 nm에 대한 반사도는 양면 표면조직화의 경우 15.96%, 단면 표면조직화의 경우 16.75 %를 나타냈다.

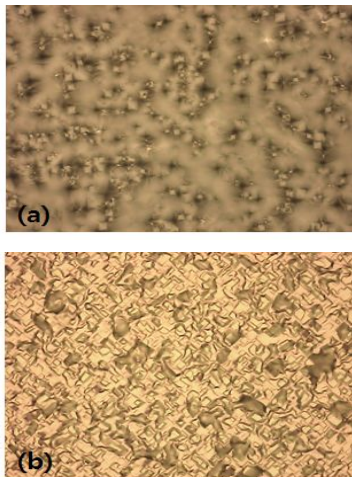


그림 2. 알칼리용액을 통한 표면조직화 후 후면의 OM 이미지 (a)양면 표면조직화 후면(x500), (b) 절연막 제거 후 단면 표면조직화 후면(x500)

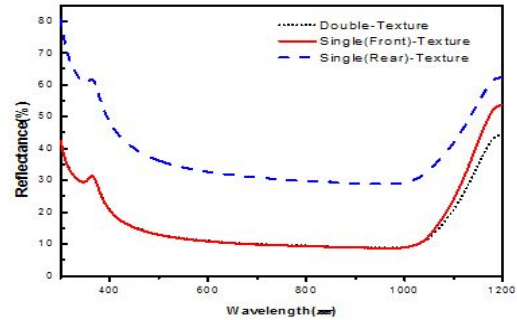


그림 3. 양면, 단면 표면조직화에 대한 반사도 특성비교

그림 4는 다른 표면조직화의 웨이퍼에 대한 투과도 그래프를 보여주고 있으며 900-1200 nm의 장파장영역에서 양면 표면조직화 0.43%, 단면 표면조직화 0.05%의 평균 투과율을 나타냈다. 장파장영역에서 단면 표면조직화의 반사도가 양면 표면조직화보다 높게 나타난 반면 투과도의 경우 양면 표면조직화가 단면 표면조직화보다 더 높은 값을 보이고 있다. 태양전지에 입사된 파장대역 중 단파장영역은 주로 표면에서 흡수되고 장파장 영역은 웨이퍼 후면까지 도달하게 된다. 그 중 후면에 입사된 장파장 영역의 빛은 후면의 반사로 인하여 기판 표면에 다시 도달하게 되고, 이 중 일부는 내부로 반사되고 일부는 표면 밖으로 나가게 된다. 이 때 표면에서 밖으로 나간 빛의 반사를 escape reflectance라고 하며 이로 인하여 장파장 영역에서의 반사도가 높게 나타난다. 본 실험의 결과 표면조직화 된 후면보다 planar한 후면에서의 반사가 더 높게 나타난다는 것을 알 수 있었고 이는 빛의 경로를 증가시켜 흡수를 증가시키는데 기여할 수 있을 것이다.

표 1은 lifetime을 측정한 결과로 면저항 50 Ω/□의 확산 공정과 PSG 제거 후 Sinton사의 WCT-120를 이용하여 측정하였고, MCD (Minority carrier density)는 $3.0 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$ 로 고정하였다. 양면 표면조직화의 반송자 수명은 18.3 μs, 단면 표면조직화는 28.0 μs을 나타내었다. 이는 그림 3에서와 같이 장파장 영역의 후면반사가 빛의 흡수를 증가시켜 반송자 수명의 상승에 기여하는 것으로 보인다.

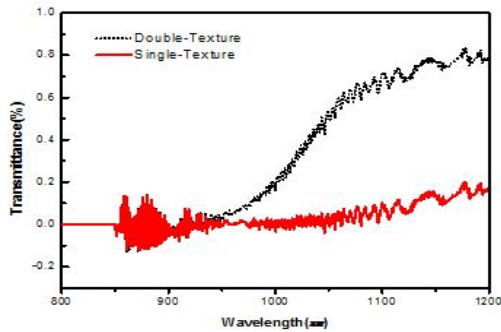


그림 4. 양면, 단면 표면조직화에 대한 투과도 특성비교

표 1. 양면, 단면 표면조직화에 대한 실리콘 웨이퍼의 lifetime 특성비교 (MCD : $3.0 \times 10^{15} \text{ cm}^{-3}$)

Texturing condition	Lifetime(μs)
양면 표면조직화	18.3
단면 표면조직화	28.0

표 2은 light current-voltage 측정을 통해 얻은 전기적 특성을 보여준다. 단락전류 (Short-circuit current)의 측정값에서 양면 표면조직화의 경우 34.94 mA/cm^2 , 단면 표면조직화는 35.33 mA/cm^2 로서 단면 표면조직화에서 단락전류의 상승을 확인할 수 있었다. 이는 단면 표면조직화에서 후면반사 증가가 단락전류의 상승 및 효율 향상에 기여하고 있음을 알 수 있다.

표 2. 후면구조에 따른 태양전지의 전기적 특성 비교

	양면 표면조직화	단면 표면조직화
$J_{sc}(\text{mA/cm}^2)$	34.94	35.33
$V_{oc}(\text{mV})$	623.5	622.5
FF(%)	79.4	78.9
Efficiency(%)	17.3	17.4

4. 결 론

본 연구에서는 실리콘 태양전지의 후면구조 차이에 의한 후면반사 효과에 대해 연구하였다. 단락전류 밀도(J_{sc})는 양면 표면조직화의 경우 34.94 mA/cm^2 , 단면 표면조직화는 35.33 mA

cm^2 의 값으로 단면 표면조직화 된 태양전지의 단락전류 밀도가 0.39 mA/cm^2 높게 나타났다. 이는 반사도와 투과도의 비교를 통하여 그 원인을 분석하였다. 반사도의 경우 장파장영역 (900-1200 nm)에서 양면 표면조직화보다 단면 표면조직화가 0.39 % 높게 나타났으며, 투과도의 경우 양면 표면조직화가 0.38% 높게 나타났다. 이는 planar한 구조의 단면 표면조직화 된 웨이퍼의 후면에서 반사가 더 활발하게 일어난다는 것을 보여주고 있다. 단면 표면조직화 태양전지는 양면 표면조직화 태양전지에 비해 단락전류가 0.39% 상승하였으며, 반송자 수명 측정결과 단면 표면조직화 구조의 수명이 양면 표면조직화보다 $9.7 \mu\text{s}$ 높게 나타났다. 태양전지 변환효율은 양면 표면조직화 17.3%, 단면 표면조직화 17.4%를 보였다.

본 실험에서는 단면표면조직화 구조를 통한 후면반사 효과 및 이로 인한 태양전지 효율 향상의 가능성을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

1. Youngkuk Kim, Sungwook Jung, Minkyu Ju, Kyungyul Ryu, Jinjoo Park, Hyoungkee Choi, Doohwan Yang, Yongwoo Lee, Junsin Yi, The Effect of Rear Surface Polishing to the Performance of Thin Crystalline Silicon Solar Cells, Solar Energy, Vol. 85, pp. 1085-1090, 2011
2. LIANG ZongCun, CHEN DaMing, ZHU YanBin, SHEN Hui, Study on the SiNx/Al Rear Reflectance Performance of Crystalline Silicon Solar cells, SCIENCE CHINA Technological Sciences, Vol. 53, pp. 3209-3213, 2010
3. M. Tucci, Laser Fired Back Contact for Silicon Solar Cells, Thin Solid Film, Vol. 516, pp. 6767-6770, 2008