

RIE 표면 텍스처링 모양에 따른 결정질 실리콘 태양전지의 영향

박인규^b · 윤명수^b · 현덕환^a · 진법중^a · 최종용^a · 김정식^a · 강형동^a · 권기철^{b*}

^a주성엔지니어링(주) 박막태양전지팀, 광주 464-892

^b광운대학교 전자물리학과, 서울 139-701

(2010년 3월 8일 받음, 2010년 6월 29일 수정, 2010년 7월 1일 확정)

다결정 실리콘 웨이퍼 표면에 대면적 reactive ion etching (RIE) 장비로 표면 텍스처를 형성한 뒤 태양전지를 제작하였다. 웨이퍼 표면에 텍스처를 형성하는 것은 광학적 손실을 줄이기 위해 일반적으로 사용되는 방법으로 alkaline etching이 사용된다. 그러나 다결정 실리콘 태양전지의 경우 재료의 결정 방향에 따라 식각되는 alkaline etching은 텍스처링의 모양을 제어할 수 없어 효과적이지 못하다. 이와 달리 플라즈마 식각방법을 사용하면 표면 텍스처의 모양을 효과적으로 제어하여 조금 더 낮은 반사율을 얻을 수 있다. 하지만 텍스처 모양 조절로 얻은 낮은 반사율이 항상 높은 변환효율을 얻을 수 있는 것은 아니다. 본 연구에서는 대면적 RIE 공정 조건별로 얻은 태양전지 표면 텍스처의 모양에 따라 각각의 반사율과 양자효율 및 변환효율이 미치는 영향을 살펴보았다.

주제어 : RIE, 양자효율, 텍스처링, 표면 반사율

I. 서 론

태양전지 표면에서의 반사에 의한 광학적 손실은 태양전지의 변환 효율을 증가시키기 위해 개선해야 할 부분 중 하나이다. 그 중 가장 일반적으로 사용하는 방법이 텍스처링(texturing)을 통해 웨이퍼 표면에서의 반사율을 감소시키는 것이다 [1]. 텍스처링에 의한 광 포획 기술(light trapping)은 표면에서의 반사율을 감소시키고, 태양전지 내에서 빛의 통과 길이를 길게 하여 흡수된 빛의 양을 증가시키는 것으로 태양전지의 단락전류(short circuit current)를 향상시킬 수 있는 장점이 있다 [2-4].

보통 태양전지 표면 텍스처를 형성하는 공정은 alkaline etching을 통해 이루어진다. 그러나 alkaline etching은 태양전지 재료의 결정 성장 방향에 따라 식각되는 것으로서 다결정 실리콘 웨이퍼에 적용시 표면 텍스처의 모양을 제어할 수 없다. Alkaline etching의 대안으로 mechanical grooving, laser texturing, reactive ion etching, acid texturing 등 많은 방법이 연구되어 왔다. 이 중 플라즈마를 이용하는 방법은 비등방성 식각으로 표면 텍스처의 모양을 보다 효과적으로 제어할 수 있다 [1]. RIE는 플라즈마 식각

에서 DC self-bias를 사용하여 높은 이온 에너지를 사용해 보다 나은 모양으로 표면 텍스처 모양을 만들 수 있다 [4].

본 연구에서는, 대면적 RIE 공정 가스의 변화로 여러 모양의 다결정 실리콘 태양전지 표면 텍스처 모양을 얻었으며, 각 텍스처 구조별 반사율 변화와 태양전지의 변환효율 및 양자효율에 미치는 영향을 알아보았다.

II. 실험방법

Fig. 1은 태양전지 제작공정 순서를 보여주고 있다. 텍스처링 공정은 saw damage removal 공정 후 진행되며, 이때 텍스처링 공정은 RIE 시스템을 사용하였다. 텍스처링 공정 후 p-n junction formation 공정을 거친 후 edge isolation 공정을 거치게 된다. PSG removal 공정 후에 AR coating을 하게 되는데, 이 공정을 통해 태양전지 반사율을 최적화된 값으로 낮출 수 있게 된다. AR coating 공정을 하고 electrode formation을 통해 전극을 형성한 뒤 sintering of contact 공정을 통해 안착시켜 태양전지(solar cell)가 제작된다. 텍스처링 공정을 위해 사용된

* [전자우편] gckwon@kw.ac.kr

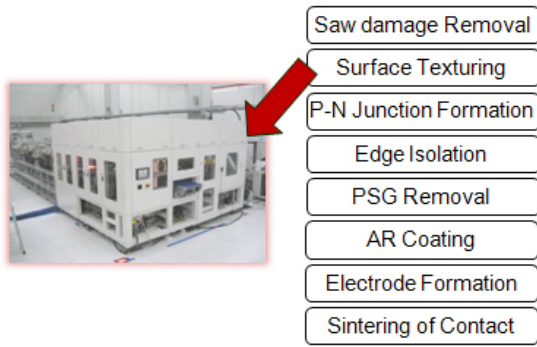


Figure 1. RIE system and process sequence.

RIE 시스템은 대면적에 적용이 가능한 시스템으로서 웨이퍼 로딩, 로드락 챔버, 공정 챔버, 언로드락 챔버, 웨이퍼 이동기로 구성되어 있다.

실험에 사용된 RIE 시스템은 1,800 mm×1,800 mm 의 트레이 사이즈를 갖고 있으며, 여기에는 125 mm×125 mm 사이즈의 웨이퍼 144장 또는 156 mm×156 mm 사이즈의 웨이퍼 100장을 동시에 식각할 수 있다. 실리콘의 식각 비율은 약 2,000 Å/min이고 공정속도는 5인치 웨이퍼를 한 시간에 1,400여개 할 수 있는 분량이다. 플라즈마 생성에 사용된 소스는 capacitively coupled plasma (CCP) 타입이며, 13.56 MHz 의 RF 주파수를 지닌 10~15 kW의 RF전력에 의해 발생한다 [5,6].

RIE 시스템의 공정 가스배합을 조절하여 다결정 실리콘 웨이퍼에 각기 다른 모양의 표면 텍스처를 형성하였다. 샘플 I은 SF₆와 O₂를 혼합한 가스를 사용한 뒤 Cl₂와 O₂와 SF₆를 혼합한 가스를 사용하였다. 샘플 II는 SF₆와 O₂를 혼합한 가스를 사용하여 제작하였고, 샘플 III는 Cl₂과 O₂와 SF₆를 혼합한 가스를 사용하여 각각 제작하였다.

표면 텍스처의 모양을 확인하기 위하여 SEM (scanning electron microscopy)을 사용하였다. 반사율과 양자효율은 photovoltaic device characterization system (원우시스템-PVE300)로 측정하였다. PVE300 시스템에 포함된 적분구를 사용하여 반사율 측정을 하였고, DC광원을 chopping하여 SR (spectral response) 및 QE (quantum efficiency)를 측정하였다.

III. 실험결과 및 고찰

Fig. 2는 실험을 통해 얻은 샘플들의 표면 텍스처 형상

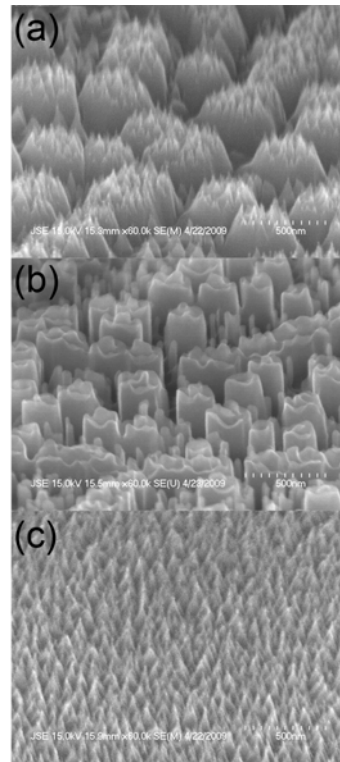


Figure 2. The surface texturing shape of wafers as a function of gas chemistry with SF₆ and Cl₂ gas mixture by 2 step on the sample I (a), SF₆ gas mixture on the sample II (b) and SF₆ and Cl₂ gas mixture on the sample III (c), respectively.

을 보여주는 SEM 사진이다. SF₆와 O₂를 혼합한 가스 처리를 통해 제작된 샘플 II는 이빨 모양, Cl₂, O₂와 SF₆를 혼합한 가스 처리를 통해 제작된 샘플 III는 바늘 모양으로 텍스처 모양이 형성되어 있고, SF₆와 O₂를 혼합한 가스를 사용한 뒤 Cl₂, O₂와 SF₆를 혼합한 가스를 사용하여 제작된 샘플 I의 표면 텍스처 모양은 바늘과 이빨 모양이 섞인 혼합한 형태를 보여 주고 있다.

Fig. 3(a)에서 텍스처링 공정 후의 웨이퍼의 텍스처 구조별 반사율을 보여주고 있다. 샘플 모양별 반사율을 살펴보면 바늘 모양의 표면 텍스처를 갖고 있는 샘플 III는 단과장영역에서는 낮은 반사율을 보이나 장과장영역으로 갈수록 반사율이 높아지는 것을 볼 수 있다. 반면에 이빨 모양의 표면 텍스처를 갖고 있는 샘플 II는 샘플 III과 달리 단과장영역에서는 높은 반사율을 보이나 장과장영역으로 갈수록 반사율이 감소하는 것을 볼 수 있다. Fig. 3에서 보듯이 샘플 II와 샘플 III의 텍스처 모양이 혼합되어 있었던 샘플 I의 반사율은 단과장과 장과장영역에 걸쳐 전반적으로

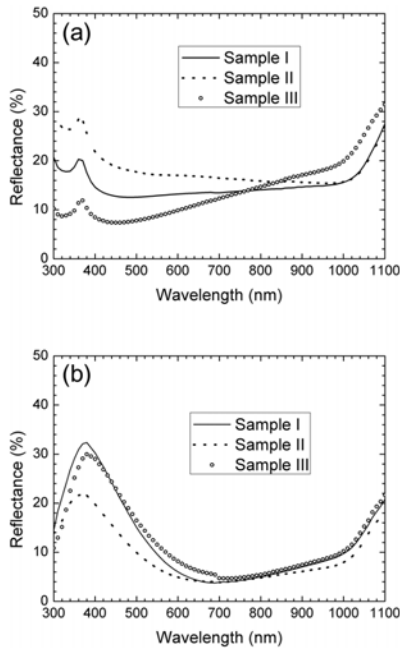


Figure 3. Weighted average reflectance of (a) after surface texturing – (wafer), (b) after sintering of contact process – (solar cell).

Table 1. Current density loss.

Sample	Wafer (mA/cm ²)	Solar cell (mA/cm ²)	Variation (mA/cm ²)
I	6.28	4.30	1.98
II	7.48	3.38	4.10
III	5.97	4.68	1.29

고르게 반사율이 감소하였다.

Fig. 3(b)는 sintering of contact 공정까지 모두 마친 태양전지의 텍스처 구조별 반사율을 보여 주고 있다. 웨이퍼에서의 결과와는 반대로 상대적으로 가장 높은 반사율을 보였던 샘플 II가 가장 낮은 반사율을 보여 주었으며, 샘플 I과 샘플 III는 상대적으로 높은 반사율을 보여 주었다. 또한, 샘플 I과 샘플 III의 이전 반사율에서 볼 수 있었던 장파장과 단파장 영역에서의 차이가 줄어들어 비슷한 반사율을 보였다. 이는 텍스처 표면에 반사방지막 코팅(AR coating) 공정으로 인해 광경로가 길어짐으로 생기는 차이에 의한 것으로 추정된다.

Table 1은 실제 반사율 저감에 의한 광학적 효과로부터 기인하는 태양전지 변환효율에 대한 기여도를 확인하기 위하여 태양광의 표준 테스트 조건 STC (standard test conditions, AM 1.5 G)의 광원에 대한 태양전지 표면 반사율

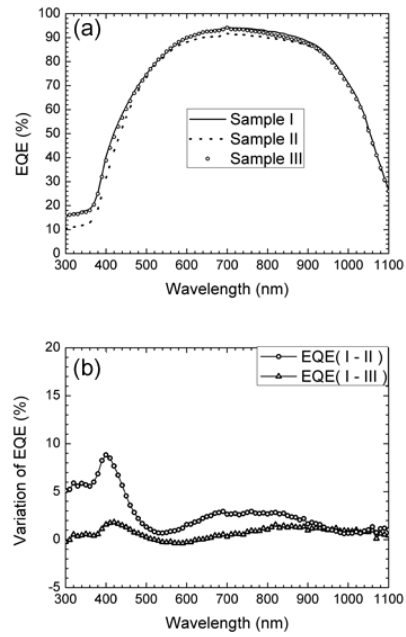


Figure 4. (a) EQE (external quantum efficiency) of samples, (b) Variation of EQE based on sample I.

로부터 계산된 전류밀도 손실($J_{sc} \cdot \text{LOSS}$)을 나타낸다. 실제 태양전지 사용환경에서의 변화를 보기 위해 AM 1.5 G 스펙트럼의 입사광을 100% 흡수로 가정하여 표면 반사율로 인한 손실률을 전류밀도 손실로 계산하였다 [7].

$$J_{sc} \cdot \text{loss} = \int_{\lambda_1}^{\lambda_2} R(\lambda) \cdot \frac{q\lambda}{hc} \cdot E_{AM1.5G}(\lambda) d\lambda \quad (1)$$

(1) 식에서 λ_1 은 처음파장, λ_2 는 마지막파장, q 는 전하량, h 는 플랑크상수, c 는 진공상태에서의 빛의 속도, $E_{AM1.5G}$ 는 AM1.5G 광의 방사조도($\text{Wm}^{-2}\text{nm}^{-1}$)이다.

텍스처링 공정 후 웨이퍼의 전류밀도 손실은 샘플 II가 7.48 mA/cm²로 가장 높은 손실을 보여 주었다. 반면에 모든 공정을 마친 태양전지 전류밀도 손실은 샘플 II가 3.38 mA/cm²로 가장 낮은 전류밀도 손실을 보여 주었다. 샘플 I과 III의 웨이퍼 상태일 때와 태양전지 상태일 때 전류밀도 손실을 비교해보면 각각 1.98 mA/cm² 과 1.29 mA/cm²의 상대적으로 적은 변화를 보인데 반해 샘플 II는 4.10 mA/cm²의 큰 변화폭을 보였다. 샘플 II는 샘플 I과 III와 달리 전류밀도 손실 변화가 큰 것으로 보아 반사방지막 코팅 공정 중 굴절률 변화에 의한 광 경로 및 광 포획 증가로 인해 광학적 손실이 감소한 것으로 보인다.

실제 각각의 태양전지 성능비교를 위해 Fig. 4에 샘플 모양별 양자효율을 나타내었다. 각 샘플의 양자효율 측정 결과는 텍스처의 광학적 효과에 의한 태양전지 효율 예상과는 다른 양상을 보인다. 이빨 모양과 바늘 모양의 텍스처가 혼합된 형태를 갖고 있는 샘플 I이 상대적으로 가장 높은 양자효율을 보여 주었으며, 이빨 모양의 텍스처를 갖는 샘플 II에서 가장 낮은 양자효율을 확인할 수 있었다. 이빨 모양의 텍스처가 형성된 샘플 II는 광학적인 측면에서는 가장 유리했었지만 그 외의 다른 영향에 의하여 태양전지 성능저하가 발생했음을 양자효율 결과를 통하여 알 수 있다. 이것은 반사율로 인한 광 손실을 포함시키지 않은 internal quantum efficiency (IQE) 결과를 보면 확실히 알 수 있다. Fig. 5의 IQE 결과를 보면 샘플 II의 결과가 가장 낮았으며, 이것은 J_{sc} 감소 외에도 V_{oc} 가 감소될 것이라 예측할 수 있다. 인공 태양광 조사장치를 이용한 태양전지 성능평가 결과를 Table 2에 나타내었다. 가장 좋은 광학적 특성을 보였던 샘플 II의 J_{sc} 가 가장 낮았으며, V_{oc} 역시 예상대로 가장 낮았다. 이는 이빨 모양의 텍스처가 p-n접합을 잘 형성하는데 부적합함을 할 수 있다. 반사율의 감소가 태양전지 효율을 향상시키는 중요한 변수임은 사실이나 전기적인 특성변화가 동시에 발생하므로 광 포획 기술 적용 시에는 전기적인 특성 변화를 함께 고려해야 한다.

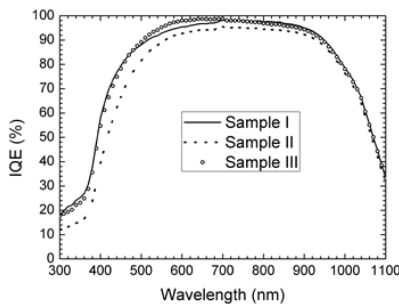


Figure 5. IQE (internal quantum efficiency).

Table 2. Parameters of samples by solar simulator and quantum efficiency measurement.

Sample	V_{oc} (mV)	J_{sc} (mA/cm^2)	FF	Eff. (%)
I	608	31.9	77.37	15.0
II	606	31.7	77.03	14.8
III	607	31.7	77.34	14.9

IV. 결 론

태양전지 표면의 텍스처로 인한 광학적 효과는 태양전지의 전기적 특성 변화를 수반한다. 표면 텍스처 모양에 따라서 도핑의 균일도, 표면의 전극과의 접촉문제 등으로 인해 생기는 손실 등의 문제가 달라진다. 이와 같은 손실문제를 최적화하기 위한 조건을 찾는 것이 중요하다는 것을 확인하였다.

본 연구에서는 태양전지의 텍스처 구조 중 이빨 모양의 텍스처는 광학적 특성이 좋으나 다른 텍스처 모양에 비해 전기적 특성에 좋지 않은 영향을 끼침을 알 수 있었다. 이빨 모양과 바늘 모양의 혼합된 형태가 실제 태양전지에서 얻을 수 있는 효율이 실험에 사용된 샘플들 중 가장 높다는 것을 확인하였다. 보다 효과적인 태양전지 효율 향상을 위한 표면 텍스처 형성을 위해서는 광학적 특성 변화와 전기적 특성 변화가 함께 고려되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 한국 지식경제부 신재생에너지 기술개발 사업과 중소기업청 산학 공동기술개발지원사업 지원에 의해 수행됨.

참고문헌

- [1] J. S. Kim, B. H. Kim, and S. H. Lee, 22th EUPVSEC pp.1499-1502 (2007).
- [2] D. S. Ruby, S. H. Zaihi, and S. Narayanan, 28th IEEE pp.75-78 (2000).
- [3] E. Yablonovitch, J. Opt. Soc. Am. **72**, 899-847 (1982).
- [4] D. S. Ruby, S. H. Zaidi, S. Narayanan, B. M. Damiani, and A. Rohatgi, 28th PVSC pp.75-78 (2000).
- [5] J. S. Kim, D. H. Hyun, B. J. Jin, J. Y. Choi, G. C. Kwon, and J. Hong, 23th EUPVSEC pp.1499-1502 (2008).
- [6] M. S. Yun, D. H. Hyun, B. J. Jin, J. Y. Choi, J. S. Kim, H. D. Kang, J. S. Yi, and G. C. Kwon, J. Korean Vac. Society **19**, 114-120 (2010).
- [7] M. Schädel, J. Isenberg, J. Suthues, C. Ballif, and G. Gobsch, 21st EUPVSEC pp.336-339 (2006).

Influence of Crystalline Si Solar Cell by Rie Surface Texturing

In Gyu Park^b, Myoung Soo Yun^b, Deoc Hwan Hyun^a, Beop Jong Jin^a, Jong Yong Choi^a,
Joung Sik Kim^a, Hyoung Dong Kang^a, and Gi Chung Kwon^{b*}

^a*Thin Film Solar Cell Team, Jusung Engineering Co. Ltd., Gwangju 464-892*

^b*Department of Electrophysics, Kwangwoon University, Seoul 139-701*

(Received March 8, 2010, Revised June 29, 2010, Accepted July 1, 2010)

We fabricated a plasma texturing for multi-crystalline silicon cells using reactive ion etching (RIE). Multi-crystalline Si cells have not benefited from the cost-effective wet-chemical texturing processes that reduce front surface reflectance on single-crystal wafers. Elimination of plasma damage has been achieved while keeping front reflectance to extremely low levels. We will discuss reflectance, quantum efficiency and conversion efficiency for multi-crystalline Si solar cell by each RIE process conditions.

Keywords : RIE, Quantum efficiency, Texturing, Reflectance

* [E-mail] gckwon@kw.ac.kr