

# DRE 공정이 태양전지용 재생웨이퍼 특성에 미치는 영향

정동건<sup>a</sup> · 공대영<sup>a</sup> · 윤성호<sup>b</sup> · 서창택<sup>a</sup> · 이윤호<sup>a</sup> · 조찬섭<sup>c\*</sup> · 김봉환<sup>d</sup> · 배영호<sup>e</sup> · 이종현<sup>a</sup>

<sup>a</sup>경북대학교 전자공학과, 대구 702-701

<sup>b</sup>(주)올텍, 대구 704-240

<sup>c</sup>경북대학교 산업전자전기공학부, 상주 742-711

<sup>d</sup>대구가톨릭대학교 전자공학과, 경산 712-702

<sup>e</sup>위덕대학교 전자공학과, 경주 780-713

(2011년 3월 10일 받음, 2011년 4월 29일 수정, 2011년 4월 29일 확정)

최근, 결정질 실리콘 태양전지 분야에서 저가격화와 공정의 단순화가 가장 중요한 부분으로 대두되고 있다. 특히 태양전지 가격의 대부분을 차지하고 있는 웨이퍼의 저가격화가 가장 큰 이슈로 떠오르면서, 웨이퍼의 저가격화를 실현하기 위한 최선의 방안으로 마이크로 블라스터를 이용한 재생웨이퍼 제작 방법이 대두되고 있다. 마이크로 블라스터를 이용하여 재생웨이퍼를 제작 할 경우, 표면의 요철이 형성되어 반사율이 감소되어 태양전지 내부로 입사하는 빛의 양을 증가시키는 긍정적인 효과가 있다. 또한, 공정비용이 저렴하여 태양전지 저가격화를 실현할 수 있다. 그러나, 마이크로 블라스터를 이용한 공정은 웨이퍼에 물리적인 충격을 주기 때문에 표면에 크랙이 형성되며 식각 잔여물들이 표면에 재흡착되는 단점이 있다. 본 연구에서는 이러한 단점들을 보완하기 위하여 DRE (Damage Remove Etching)를 수행하였다. DRE 공정 후 반사율과 소수 반송자 수명을 측정하여 미세 파티클과 마이크로 크랙의 제거를 확인하였고, 태양전지를 제작하여 효율에 미치는 영향을 분석하였다. 마이크로 블라스터 공정 후 웨이퍼의 소수 반송자 수명은 Bare 웨이퍼에 비해 80% 정도 감소하였으나, DRE 공정 수행 후에는 50% 까지 증가하였음을 확인할 수 있었다. 태양전지 효율을 비교해보면, DRE 공정을 수행한 웨이퍼의 경우 Bare 웨이퍼보다 약 1~2%, DRE 공정을 수행하지 않은 웨이퍼보다 약 3~5% 증가했음을 확인하였다.

주제어 : 마이크로 블라스터, 태양전지, 손상막 제거

## I. 서 론

최근 결정질 실리콘 태양전지 연구에 있어서 가장 중요한 부분은 저가의 고효율 태양전지의 개발이다. 저가의 고효율 태양전지를 제작하기 위해서, 저가격의 웨이퍼 개발 및 공정 개선에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 특히 태양전지 제작비용의 많은 부분을 차지하고 있는 웨이퍼의 저가격화를 위해서 많은 노력이 필요하다. 웨이퍼의 저가격화를 실현하는 방법으로는 재생 웨이퍼의 개발, 잉곳 기술개발 등이 있다 [1,2]. 재생 웨이퍼의 개발에 관한 연구 중 폐 실리콘 웨이퍼를 재생하는 방법으로 폐 실리콘 웨이퍼의 표면을 물리 화학적으로 식각하여 평탄화하는 CMP (Chemical Mechanical Polishing) 방법과 폐 실리콘 웨이퍼를 다시 녹여 캐스팅하는 재용융 방법, 그리고 마이크로 블라스터(microblaster)를 이용하여 표면을 식각하는 방법이 있다 [3-6]. CMP방법과

캐스팅방법은 가격이 비싸고, 공정이 복잡하다는 단점이 있다. 반면, 마이크로 블라스터를 이용한 방법은 다른 재생 방법에 비하여 재처리 비용이 싸고, 공정이 단순하며 표면에 요철이 형성되어 텍스처링 효과를 나타내어 광 흡수량을 증가시키고 도핑 공정 후, 크랙을 따라 형성된 n+층의 면적이 증가되어 태양전지의 효율을 증가시키는 장점이 있다 [7]. 그러나 표면을 식각할 때 크랙이 형성되어 소수 반송자 수명(minority carrier lifetime)이 감소하며, 표면에 식각된 미세 파티클의 재흡착이 일어나는 단점이 있다 [8]. 미세 파티클을 제거하기 위하여 DRE (Damage Remove Etching)공정이 필요하게 된다.

본 논문에서는 마이크로 블라스터 장비를 이용하여 저가격의 재생웨이퍼를 제작한 후, 미세 파티클 제거를 위한 가장 효율적인 DRE 공정에 대하여 연구하였다 [9,10]. DRE 공정으로 등방성 식각은 RIE 식각으로, 이방성 식각은

\* [전자우편] chocs@knu.ac.kr

TMAH (TetraMethylAmmonium Hydroxid) 식각을 이용하였다 [11-13]. DRE 공정의 효과를 알아보기 위해, 마이크로 블라스터 공정 후 표면 반사율과 SEM 사진을 이용한 표면 요철 구조를 확인 하였고, 각각의 수 반송자 수명을 측정하여 표면 식각으로 생성된 결함들을 분석하고 태양전지를 제작하여 효율을 비교하였다. 이 결과를 통해, 가장 적합한 DRE 공정방법을 확인하였다.

## II. 실험방법

Fig. 1은 본 연구의 공정 순서도이다. DRE 공정 전후의 효과를 비교하기 위하여 p형 (100), 비저항 1-10 Ω·cm, 소수 반송자 수명이 9.51 μs로 일정한 실리콘 기판을 사용하였다. 실리콘 웨이퍼를 마이크로 블라스터를 이용하여 태양전지용 재생웨이퍼를 만든 후, 미세 파티클 및 크랙을 제거하기 위하여 DRE 공정을 수행하였다. Bare 실리콘 웨이퍼와 DRE 공정을 수행한 웨이퍼로 2×2 cm 크기의 태양전지를 제작하여 DRE 공정이 재생웨이퍼의 특성개선에 어떠한 영향을 미치는지에 대해 알아보았다.

### 1. 마이크로 블라스터 공정

Fig. 2는 마이크로블라스터를 이용해 식각하는 공정을 나타낸 그림이다. 재료를 받침대에 고정시키고, 제어부에서 설정한 공정조건에 맞게 노즐이 장착된 노즐암으로 노즐의 이동거리, 이동속도, 반복 횟수를 제어하면서 파우더를 분사시킨다. 본 연구에서는 웨이퍼와 충돌하는 입자수의 변수

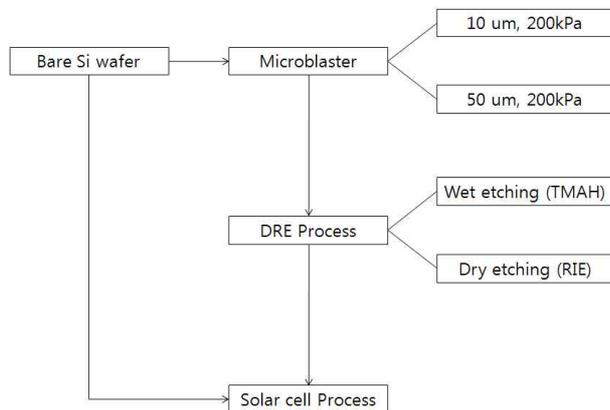


Figure 1. Flowchart of fabrication process.

를 제거하기위해 노즐과 웨이퍼의 간극을 1 cm, 노즐의 이동속도를 30 cm/s, 공정 압력은 200 kPa으로 고정하고 공정오차를 최소화하기위해 1회 식각하였다. 공정에 사용된 파우더(제조사: COMCO INC)는 날카로운 팁 형태를 가진 직경 10 μm, 50 μm의 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 파우더를 사용하였다.

### 2. DRE 공정

마이크로 블라스터 공정 후, 표면에 파티클 및 미세한 크랙을 제거하기 위한 DRE 공정을 수행하였다. DRE 공정은 건식 등방성 식각, 습식 이방성 식각 두 가지 방법으로 수행하였다.

이방성 식각은 5 wt% TMAH 용액을 90°C TMAH bath에 넣어 3분간 식각하였으며, 사전 실험으로 측정한 Si의 식각률은 0.4 μm/min이었다. 공정시 마그네틱 바를 회전시켜 식각시킴으로써, 식각할 때 발생하는 수소 기체를 제거하여 균일하게 식각되도록 하였다. 등방성 식각 공정은 RIE (Reactive Ion Etching) 장비(제조사: (주)Ultech)을 이용하여 수행하였으며, TMAH 식각과 유사한 깊이로 식각을 위해 SF<sub>6</sub> 가스량 50 sccm, 공정압력 90 mTorr, RF Power 100 W, 식각시간 3분의 공정조건으로 식각 공정을 수행하였다. 이때 식각률은 0.45 μm/min이었다.

## III. 실험결과 및 고찰

### 1. 표면 분석

마이크로 블라스터를 이용하여 표면 식각 공정을 하면,

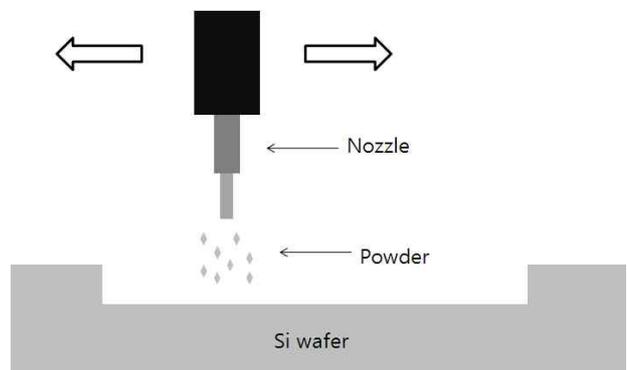
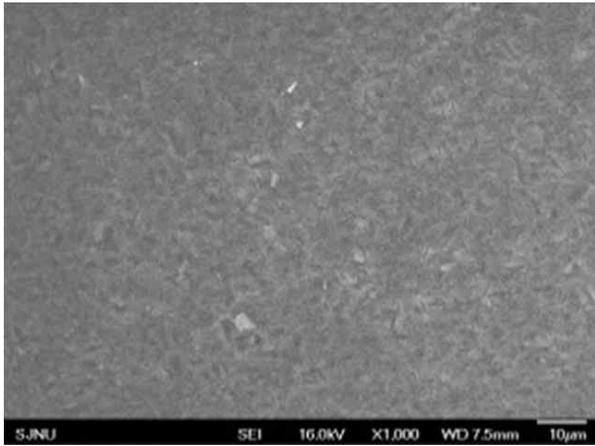


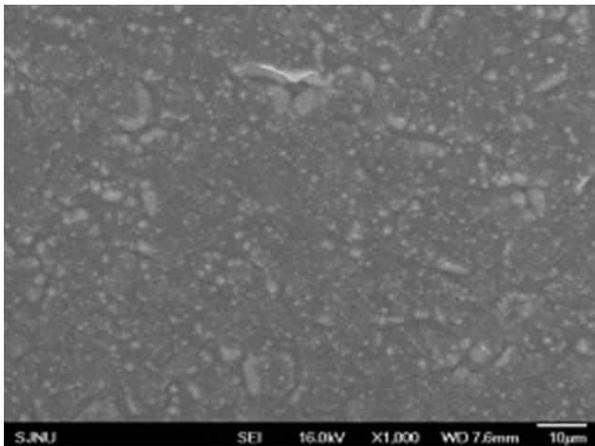
Figure 2. Etching method of microblaster.

표면에 요철이 형성되어 반사율이 감소한다. 반사율이 감소하게 되면 태양전지에 입사하는 광량이 증가하여 EHP (electron hole pair) 생성이 늘어나게 되어 태양전지의 효

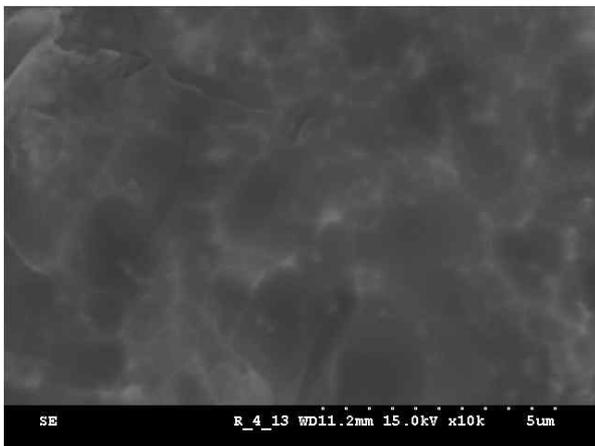
율에 긍정적인 영향을 주지만, 표면에 미세 파티클과 크랙이 생성되어 태양전지 효율에 부정적인 영향도 주게 된다. 따라서, 마이크로 블라스터 공정을 진행한 후, DRE 공정을



(a)

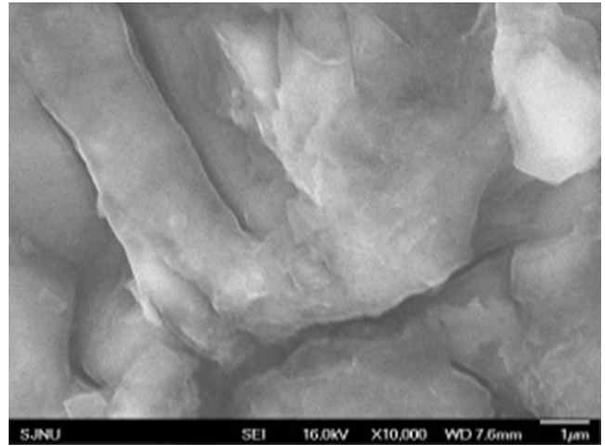


(b)



(c)

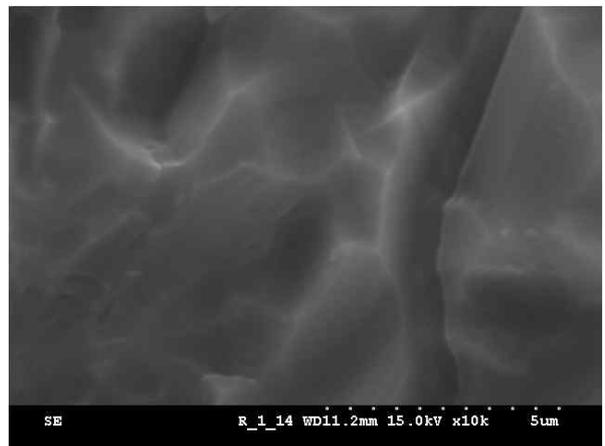
Figure 3. Surface SEM images of the blasted sample with DRE processes(10 μm / 200 kPa). (a) None, (b) Wet etching, and (c) Dry etching.



(a)



(b)



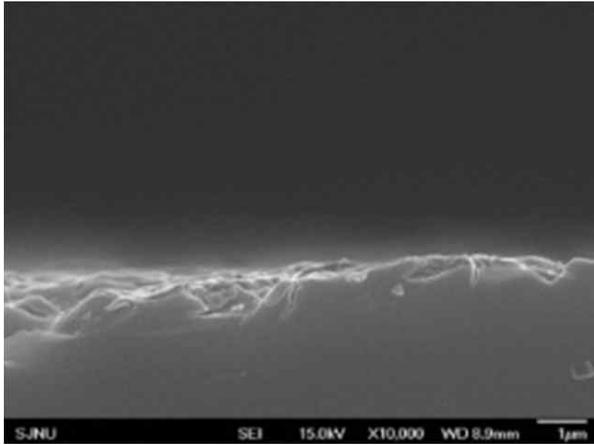
(c)

Figure 4. Surface SEM images of the blasted sample with DRE processes (50 μm / 200 kPa). (a) None, (b) Wet etching, and (c) Dry etching.

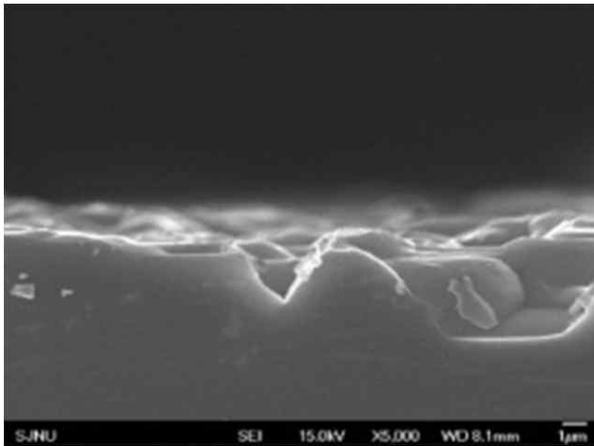
수행하여 표면에 형성된 미세 파티클을 제거하여, 표면 요철 형태와 반사율을 측정하였다.

Fig. 3과 Fig. 4는 200 kPa의 압력에 파우더 입자의 크

기는 각각 10  $\mu\text{m}$ , 50  $\mu\text{m}$ 일 때, 마이크로 블라스터를 이용하여 만든 재생웨이퍼 표면과, DRE 공정을 수행한 웨이퍼 표면 SEM 사진들이다. 이 결과로부터, 파우더 입자의 크



(a)

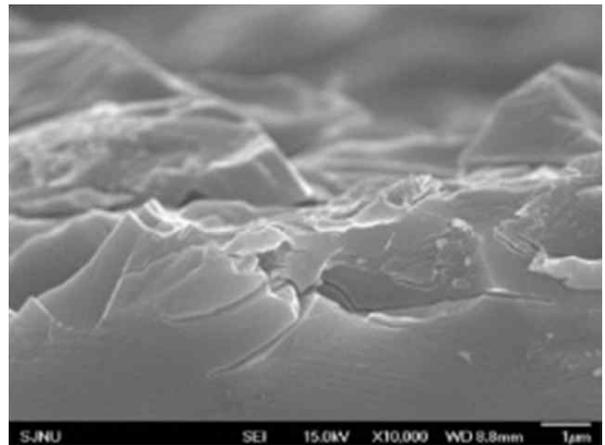


(b)

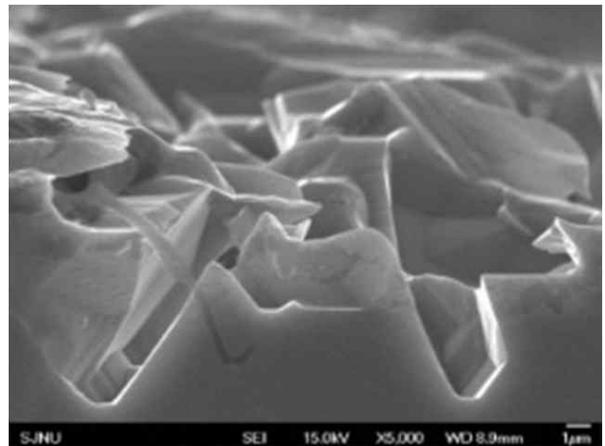


(c)

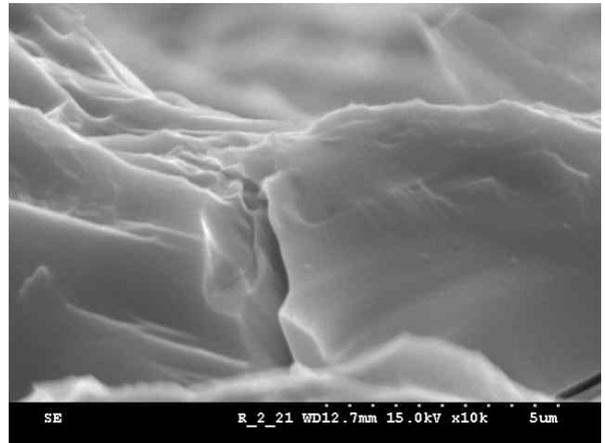
Figure 5. Cross-sectional SEM images of the blasted sample with DRE processes (10  $\mu\text{m}$ , 200 kPa). (a) None, (b) Wet etching, and (c) Dry etching.



(a)



(b)



(c)

Figure 6. Cross-sectional SEM images of the blasted sample with DRE processes (50  $\mu\text{m}$ , 200 kPa). (a) None, (b) Wet etching, and (c) Dry etching.

기가 클수록 표면의 요철과 미세 파티클 입자의 크기가 커짐을 알 수 있었다. 파우더 크기와는 상관없이 DRE 공정을 수행하지 않은 웨이퍼 표면의 요철은 날카로운 형태를 가지며, 표면에 파티클이 존재함을 확인할 수 있었다. 습식 식각 공정을 한 웨이퍼에는 표면 파티클이 제거되었음을 확인할 수 있었고, TMAH 식각의 특성으로부터 표면의 요철이 이방성으로 식각되면서 피라미드 형태의 요철이 형성되었다. 건식식각 공정을 한 웨이퍼 역시 표면 파티클이 제거되었음을 확인할 수 있었고, SF<sub>6</sub> 식각의 특성으로부터 웨이퍼의 표면은 요철의 형태가 곡선화되었다.

## 2. 단면 분석

마이크로 블라스터를 이용한 표면 식각은 파우더가 웨이퍼와 충돌하면서 발생하는 물리적인 식각이기 때문에 미세 크랙과 재흡착된 미세 파우더를 표면에 형성하게 된다. 이러한 미세 크랙과 파우더들은 소수 반송자가 포획되는 재결합 사이트로 동작하여 태양전지 효율을 저하시킬 수 있다.

Fig. 5와 Fig. 6은 200 kPa 압력에 파우더 입자 크기는 각각 10 μm, 50 μm일 때, 마이크로 블라스터를 이용하여 만든 재생웨이퍼 단면과, DRE 공정을 수행한 웨이퍼 단면 SEM 사진들이다. 마이크로 블라스터에서 분사되는 파우더의 크기에 따라 요철의 크기와 수평방향 및 수직방향의 크랙이 변하는 것을 확인할 수 있는데 이는, 분사되는 파우더의 크기가 커지면 충돌하는 면적이 증가하고, 입사되는 파우더의 충격량이 커지면서 수평방향 및 수직방향으로 힘이 전달되어 크랙의 길이가 길어지기 때문이다.

증가된 크랙은 소수 반송자의 재결합을 증대하는 요인으로 작용할 수 있으며, 마이크로 블라스터 공정과 DRE 공정 조건에 따른 소수 반송자 수명을 Table 1에 나타내었다. 소수 반송자 수명은 u-PCD (Microwave-Photo Conductance Decay) 방식으로 측정하였고, 측정장비는 WT-2000 (모델

Table 1. Minority carrier lifetime according to micro-blaster processes with wet etching and dry etching.

Powder size [μm] / Pressure [kPa]	None	Wet etching	Dry etching	Bare
10 / 200	2.22 μs	5.78 μs	5.65 μs	
50 / 200	1.66 μs	4.44 μs	4.33 μs	
Bare				9.51 μs

명: WT-2000PV, 제조사: SEMILAB)를 이용하였다. 마이크로 블라스터를 이용한 식각에서 형성 되는 크랙이 소수 반송자 수명을 Bare 웨이퍼에 비해 80% 감소시켰으나, 습식 식각 방법의 DRE를 수행하였을 때, 소수 반송자 수명이 Bare 웨이퍼의 50%까지 증가하는 것을 확인할 수 있었다. DRE 공정을 하면 마이크로 블라스터에 의해 형성된 미세한 크랙과 재흡착된 미세 파우더가 식각되면서 소수 반송자 수명이 증가함을 확인할 수 있었다. 두 가지 DRE 공정의 결과로 보아, 습식 식각을 이용한 DRE 공정이 건식 식각을 이용한 DRE 공정보다 웨이퍼에 형성된 미세 크랙과 재흡착된 미세 파우더의 제거에 더욱 효과적인 방법임을 확인할 수 있었다. 이어서, 마이크로 블라스터를 이용하여 만든 재생웨이퍼와 DRE 공정을 수행한 웨이퍼 표면의 반사율을 측정하여, DRE 공정이 웨이퍼 표면의 반사율에 어떠한 영향을 주는지 알아보았다.

Fig. 7은 200 kPa 압력에 파우더 입자 크기는 10 μm, 50 μm 일 때, 마이크로 블라스터를 이용하여 만든 재생웨이퍼와 DRE 공정을 수행한 웨이퍼의 반사율 그래프이다. 마이크로 블라스터 공정만 수행한 웨이퍼는 미세 크랙과 재흡착된 미세 파티클로 인해서 가장 낮은 반사율을 나타내며, DRE 공정을 수행한 웨이퍼는 미세 크랙과 재흡착된 미세 파티클이 제거되면서 반사율이 증가함을 알 수 있었다.

## 3. 태양전지 효율 분석

습식 식각 방법 DRE 및 건식 식각 방법의 DRE 공정이 태양전지 효율에 어떠한 영향을 미치는 가에 대해 알아보

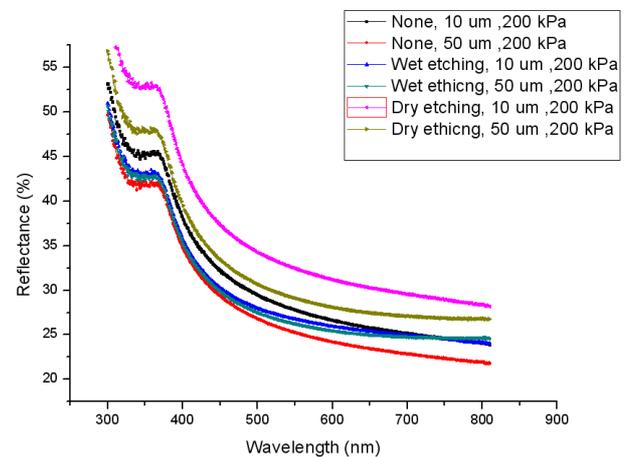


Figure 7. Reflectance variations of blasted samples with DRE processes.

기 위해, 각각의 조건으로 제작된 웨이퍼로 2×2 cm 크기의 태양전지를 제작하여 단락전류, 개방전압, 효율을 측정하였다. Fig. 8-10은 Bare 웨이퍼 및 각각의 DRE 공정에 따른 태양전지의 단락전류, 개방전압, 효율을 측정한 그래프이다.

DRE 공정을 하지 않은 웨이퍼는 표면 요철과 미세 파티클에 의해 낮은 반사율을 나타내었지만, 미세한 크랙과 재흡착된 미세 파우더가 제거되지 않아 생성된 EHP가 포획되면서 단락전류가 감소하였다. DRE 공정을 한 웨이퍼는 미세한 크랙의 폭이 넓어지고, 낮은 반사율을 보임으로 단락전류가 증가하였다. 건식 식각 방법의 DRE 공정을 한 웨이퍼는 반사율이 습식 식각 방법의 DRE 공정보다 증가하였으나, 미세한 크랙의 폭이 넓어져 단락전류가 증가하였다. 반면 마이크로 블라스터 공정과 DRE 공정을 한 후 개방전압의 변화는 크게 나타나지 않았다. 마이크로 블라스터 공정 후 형성된 미세한 크랙이 완전 제거되지 않아 Bare 실리콘 웨이퍼에 비하여 개방전압이 감소한 것을 확인하였다.

습식 식각 방법의 DRE 공정을 한 웨이퍼는 소수 반송자 수명의 감소에 의한 단락전류의 감소가 적고, 표면에 형성된 피라미드 구조의 요철과 폭이 넓어진 크랙에 의해 반사율이 낮아 흡수되는 태양광이 증가하여 단락전류가 크게 나타났고, 효율이 Bare 웨이퍼에 비하여 1.5배 증가하였다. 전반적으로 모든 셀의 효율이 10% 미만이 나올 수 있다. 이는, 태양전지 제조공정 중 전극형성 단계에서 소성조건이 불안정하여 낮게 나오는 것이라 예측할 수 있다. 그러나, 폐 실리콘 웨이퍼를 마이크로 블라스터를 이

용하여 재생하고 습식 식각 방법의 DRE 공정을 수행하면 태양전지로 제작할 수 있는 가능성을 확인하였다.

#### IV. 결 론

본 연구에서는 마이크로 블라스터를 이용하여 폐 실리콘 웨이퍼를 재생할 때, 실리콘 웨이퍼에 형성되는 요철과 크랙이 DRE 공정 조건의 변화에 반사율과 소수 반송자 수명을 비교하여 태양전지 효율에 미치는 영향을 확인하였다. 마이크로 블라스터 공정 시 형성된 요철과 크랙은 DRE 공정을 하지 않은 경우 표면의 요철이 날카로운 형태를 가지며, 표면에 미세 파티클이 잔존하여 낮은 반사율을 보였으

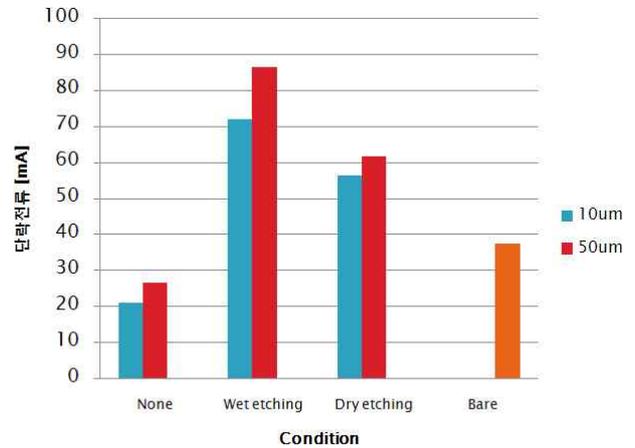


Figure 9. Short circuit current variations of solar cell according to DRE process.

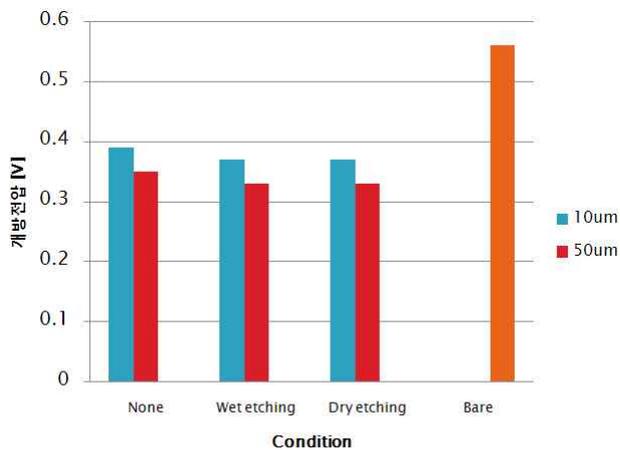


Figure 8. Open Circuit voltage variations of solar cell according to DRE process.

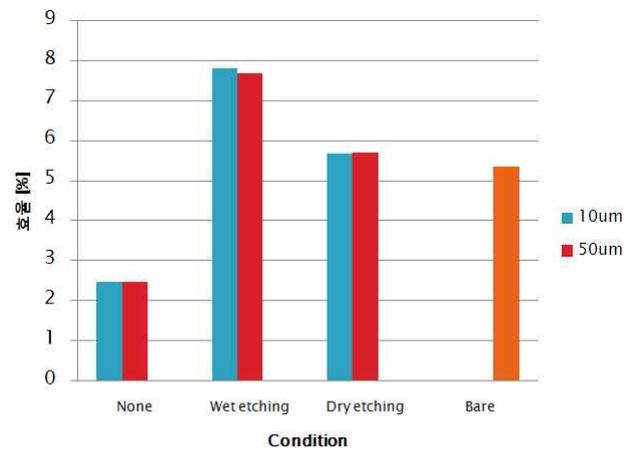


Figure 10. Efficiency variations of solar cell according to DRE process.

나 크랙에 의해 소수 반송자 수명이 Bare 웨이퍼에 비해 80% 정도 감소하였음을 확인할 수 있었다. 습식 식각 방법의 DRE 공정을 한 웨이퍼는 표면 파티클이 제거되었고, 표면 요철이 이방성 식각되면서 피라미드 형태의 요철이 형성되어 반사율이 약간 증가하였으며, 크랙이 식각되어 제거되면서 소수 반송자 수명이 Bare 웨이퍼의 50%까지 증가하였음을 확인할 수 있었다. 건식 식각 방법의 DRE 공정을 한 웨이퍼 역시 표면 파티클이 제거되었고, 표면 요철의 형태가 곡선화되면서 반사율이 증가하였으며, 크랙이 식각되면서 소수 반송자 수명이 증가하였다.

마이크로 블라스터 공정을 이용하여 폐 실리콘 웨이퍼를 재생한 후, 습식 식각 방법의 DRE 및 건식 식각 방법의 DRE 공정을 한 웨이퍼를 태양전지로 제작하여 개방전압, 단락전류의 변화와 그에 따른 효율의 변화를 확인하였다. 마이크로 블라스터 공정을 하지 않은 Bare 웨이퍼는 소수 반송자 수명 감소에 의한 단락전류의 감소는 없으나, 반사율이 높아 흡수되는 태양광이 적어 단락전류가 낮게 나타났다. 습식 식각 방법의 DRE 공정을 한 웨이퍼는 소수 반송자 수명의 감소에 의한 단락전류의 감소가 적고, 표면에 형성된 피라미드 구조의 요철과 폭이 넓어진 크랙에 의해 반사율이 낮아 흡수되는 태양광이 증가하여 단락전류가 크게 나타났고, 효율이 Bare 웨이퍼에 비하여 1.5배 증가하였다. 폐 실리콘 웨이퍼를 마이크로 블라스터를 이용하여 재생하고 습식 식각 방법의 DRE 공정을 수행하면 태양전지로 제작할 수 있는 가능성을 확인하였다.

### 감사의 글

본 논문은 중소기업청에서 지원하는 2009년도 산학연공동기술개발사업(No.00035845)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

### 참고문헌

- [1] 최성호, 정광진, 구경완, 조동율, 천희근, *센서학회지* **9**, 70-76 (2000).
- [2] 이준신, *물리학과 첨단기술* **17**, 8-14 (2008).
- [3] 이윤호, 조영우, 김상원, 공대영, 서창택, 조찬섭, 이종현, *센서학회지* **19**, 291-297 (2010).
- [4] 이재형, 임동건, 이준신, *태양전지 원론*, (홍릉과학출판사, 서울, 2005) pp.104-116.
- [5] 최중순, 박경호, 박동삼, *한국정밀공학회지* **18**, 178-183 (2001).
- [6] 유우식, 김권흡, 정영배, *Journal of the Society of Korea Industrial and System Engineering* **30**, 8-14 (2007).
- [7] 류인식, 설정훈, 신장규, 심준환, 이종현, *센서학회지* **4**, 64-71 (1995).
- [8] C. -Y. Choi and S. -H. Cho, *Journal of KIEEME* **12**, 27-34 (1999).
- [9] 장종민, “마이크로 블라스터를 이용한 태양전지용 표면 텍스처링”, 경북대학교 석사학위 논문, (2008).
- [10] 정상훈, “Micro blaster를 이용하여 표면 텍스처링한 Air bridge 전극구조의 실리콘 태양전지”, 경북대학교 석사 학위논문, (2010).
- [11] M. Kramkowska and I. Zubel, *Procedia Chemistry* **1**, 774-777 (2009).
- [12] I. G. Park, M. S. Yun, D. H. Hyun, B. J. Jin, J. Y. Choi, J. S. Kim, H. D. Kang, and G. C. Kwon, *J. Korean Vacuum Soc.* **19**, 314-318 (2010).
- [13] M. S. Yun, D. H. Hyun, B. J. Jin, J. Y. Choi, J. S. Kim, H. D. Kang, J. Yi, and G. C. Kwon, *J. Korean Vacuum Soc.* **19**, 114-120 (2010).

## Characteristics of Recycled Wafer for Solar Cell According to DRE Process

D. G. Jung<sup>a</sup>, D. Y. Kong<sup>a</sup>, S. H. Yun<sup>b</sup>, C. T. Seo<sup>a</sup>, Y. H. Lee<sup>a</sup>,  
C. S. Cho<sup>c\*</sup>, B. H. Kim<sup>d</sup>, Y. H. Bae<sup>e</sup>, and J. H. Lee<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*School of Electronics Engineering, Kyungpook National University, Daegu 702-701*

<sup>b</sup>*UI-tech, Daegu 704-240*

<sup>c</sup>*School of Electrical Engineering, Kyungpook National University, Sangju 742-711*

<sup>d</sup>*Electronics Engineering, Catholic University of Daegu, Gyeongsan 712-702*

<sup>e</sup>*School of Electrical Engineering, Uiduk University, Gyeongju 780-713*

(Received March 10, 2011, Revised April 29, 2011, Accepted April 29, 2011)

Recently, in crystalline silicon solar cell study, the most important section is low cost of materials and simplification of process. Micro-blasting is one of the promising method for recycling of waste wafer due to their simple and low cost process. Therefore, in this paper, we make recycling wafer through the micro-blaster. A surface etched by micro-blaster forms particles, cracks and pyramid structure. A pyramid structure formed by micro-blaster has a advantage of reflectivity decrease. However, lifetime of minority carrier is decreased by particles and cracks. In order to solve this problems, we carried out the DRE(Damage Romove Etching). There are two ways to DRE process ; wet etching, dry etching. After the DRE process, we measured reflectivity and lifetime of minority carrier. Through these results, we confirmed that a wafer recycled can be used in solar cell.

Keywords : Microblaster, Solar cell, Damage remove etching

\* [E-mail] chocs@knu.ac.kr