

실리콘 웨이퍼 표면의 saw mark 밀도에 따른 피라미드 구조의 영향

이민지¹⁾ · 박정은²⁾ · 이영민¹⁾ · 강상묵¹⁾ · 임동건^{1,2)*}

¹⁾정보기술융합학과 나노전자소재연구실, 한국교통대학교, 충주시, 27469

²⁾전자공학과 나노전자소재연구실, 한국교통대학교, 충주시, 27469

Effect on the Pyramid Structure with Saw Mark Density of Silicon Wafer Surface

Min Ji Lee¹⁾ · Jeong Eun Park²⁾ · Young Min Lee¹⁾ · Sang Muk Kang¹⁾ · Donggun Lim^{1,2)*}

¹⁾Department of IT Convergence, Korea National University of Transportation, Chungju, 27469, Korea

²⁾Department of Electronic Engineering, Korea National University of Transportation, Chungju, 27469, Korea

ABSTRACT: Surface texturing is affected the uniformity and size of pyramid with saw mark defect density. To analysis the influence of the saw mark defect density, we textured various si wafer. When the texturing process proceeds without the saw mark removal, silicon wafer of low-saw mark defect density showed small pyramid size of $3.5\mu\text{m}$ with the lowest average value of the reflectance of 10.6%. When texturing carried out after removal of the saw mark using the TMAH solution, we obtained a reflectance of about 11% and the large pyramid size of $5\mu\text{m}$. As a result, saw mark wafers showed a better pyramid structure than saw mark-free wafer. This result showed that saw mark can take place more smooth etching by the KOH solution and saw mark-free wafer is determined to be a factor that have a higher reflectance and a large pyramid.

Key words: c-Si solar cell, Saw mark, Texturing, TMAH, Pyramid structure

subscript

KOH : potassium hydroxide

TMAH : tetramethyl ammonium hydroxide

IPA : isopropyl alcohol

SDR : saw damage removal

SEM : scanning electron microscopy

1. 서론

현재 인류는 화석 연료를 주 에너지원으로 사용하고 있다. 하지만 화석 연료의 고갈과 지구 온난화 현상으로 인해 온실효과에 의한 지구 전체의 기온상승이라는 부작용으로 친환경적이면서 이를 대체 할 수 있는 신재생 에너지 개발에 주력하고 있다. 신재생에너지로는 태양광, 태양열, 풍력, 바이오매스, 지열, 태양 에너지 등의 많은 에너지원이 있다. 신재생 에너지 중에서 태양광 발전은 이산화탄소 배출과 같은 환경오염이 없으며 태양이

존재하는 한 고갈 되지 않는 영구적인 자원이다. 태양광 발전은 설치지역에 제한을 적게 받으며 발전 과정에서 소음 및 진동이 없다. 한번 설치하면 유지비용이 매우 적고 수명이 30년 이상으로 다른 에너지원에 비해 오랫동안 이용할 수 있다는 장점이 있다. 하지만 다른 에너지원에 비해 높은 발전단가는 태양전지가 극복해야 할 가장 중요한 문제가 되고 있다. 이를 해결하기 위해서는 저가화, 고효율 기술 개발이 필수적이다¹⁾. 저가화 방법으로는 저가 소재를 사용하고 조밀한 모듈구조로 제조하여, 양산성을 높여 수요의 확대에 따라 제조 공정 최적화에 의해 가능하다. 고효율 태양전지의 제작은 새로운 기술의 개발도 중요하지만 태양전지의 효율이 이론상 수치보다 낮게 나오는 원인을 파악하고 에너지 변환에서 손실되는 부분을 파악하여 손실되지 않게 보완해주는 것이 가장 효과적인 방법이다²⁾. 태양전지 표면에서 반사에 의한 광학적 손실은 태양전지의 변환 효율을 증가시키기 위해 개선해야 할 부분 중 하나이다. 그 중 가장 일반적으로 사용하는 방법이 표면조각화를 통해 웨이퍼 표면에서의 반사율을 감소시키는 것이다³⁾. 표면조각화에 의한 광 포획 기술(light trapping)은 표면에서의 반사율을 감소시키고, 태양전지 내에서 빛의 통과길이를 길게 하여 흡수된 빛의 양을 증가시키는 것으로 태양전지의 단락전류를 향상시킬 수 있는 장점이 있

*Corresponding author: dglim@ut.ac.kr

Received February 18, 2017; Revised March 23, 2017;

Accepted April 3, 2017

다⁴⁻⁶). 본 연구에서는 saw mark defect density에 따른 피라미드 구조의 영향을 분석하기 위해 다양한 웨이퍼를 사용하여 SDR (Saw Damage Removal), 표면조직화 공정을 진행하였다.

2. 실험 방법

Fig. 1은 본 연구의 공정 순서도이다. 본 연구에서는 서로 다른 diamond wire로 절삭한 wafer 3종류와 슬러리를 사용하여 절삭한 웨이퍼를 이용하여 실험을 진행하였다. 단결정 실리콘 웨이퍼의 불순물 제거를 위한 세정공정은 아세톤, 메틸 알콜, 초순수의 순서로 10분씩 초음파 세척기를 이용하여 세정을 하였고, HCl 10% 용액으로 금속 불순물 제거와 HF 10% 용액으로 자연 산화막을 제거한 후 초순수로 충분히 헹군 뒤 질소로 완전히 건조시켰다.

2.1 표면조직화

표면조직화 공정은 실리콘 표면을 식각하는 것으로 전면에서의 반사율을 감소시키고, 태양전지 내에서 빛의 통과 길이를 길게 하며 후면으로부터의 내부반사를 이용하여 흡수된 빛의 양을 증가시킨다. KOH를 기반으로 한 표면조직화는 수용액이 대부분 초순수 물이므로 실리콘 표면장력이 커서, 표면장력을 낮게 하는 표면적심 개선용으로 IPA를 사용한다. 또한 IPA의 OH⁻ 이온이 웨이퍼 표면에 Si와 반응하여 SiO₂를 형성하고자 하므로 H₂ 버블 형성을 막아준다. 식각 온도 70 ~ 80°C 사이에서 IPA가 빠르게 휘발하므로 주기적으로 보충하지 않으면 표면조직화에 균일성이 떨어지고 단락전류의 저하를 가져온다. 본 연구에서는 KOH, IPA, DIW의 혼합 용액을 이용하여 표면조직화 공정을 진행하였다. 공정 온도와 공정 시간은 각각 80°C와 30분으로 고정하였다(Table 1).

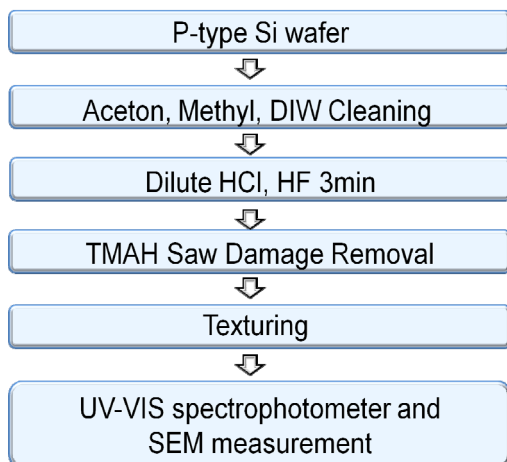


Fig. 1. Process sequence

2.2 SDR (Saw Damage Removal)

표면 절삭 결함 제거공정은 전처리 세정공정과 마찬가지로 태양전지의 성능과 신뢰성 및 생산 수율에 많은 영향을 준다. 절삭결함이라 하는 것은 웨이퍼의 제조 공정 상 잉곳을 절단하여 웨이퍼로 만들 때 웨이퍼 표면에 형성되는 미세균열과 물리적 충격에 의한 결함 등을 의미한다.

본 연구에서는 웨이퍼 표면의 saw mark defect density에 따라 피라미드 구조에 미치는 영향을 알아보기 위해 TMAH 용액을 사용하여 표면 절삭 결함을 제거하였으며, Table 2에 세부적인 공정 조건을 나타내었다.

2.3 반사도 측정 및 SEM image 분석

SDR, 표면조직화 공정에 의해 형성된 표면의 피라미드 구조에 따른 반사율 측정을 위해 UV-Vis Spectrophotometer (S-3100)을 사용하여 파장 400 ~ 1000 nm 범위에서 시료의 반사도 특성을 측정하였다. 각 시료의 반사도는 여러 포인트를 측정하여 평균값으로 분석하였다. 또한 피라미드 형성 관찰을 위해 SEM (scanning electron microscopy)을 사용하여 단면과 표면 구조를 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 표면조직화 공정 결과

웨이퍼의 saw mark defect density에 따른 피라미드 구조를 분석하기 위해 다양한 웨이퍼를 사용하여 최적화되어진 KOH 2 wt%, IPA 7.5 vol%, 80°C, 30분 표면조직화 공정을 진행하였다. Saw mark 제거를 진행하지 않고, 표면조직화 공정을 진행하였을 때, Fig. 2(a)~(c)의 경우 saw mark가 생긴 부분에 더 집중적으로 피라미드 구조가 생기는 것을 관찰할 수 있었으며, 이 현상이 뚜렷하지 않은 것을 확인할 수 있었다. 이는 단차로 인해 표면조직화 공정이 불규칙하게 일어나기 때문으로 예상되어진다. 그 결과 Fig. 2(a)에서 10.6%의 낮은 반사도를 보였으며, SEM image 분석 결과 3.5 μm의 작은 피라미드 크기를 알 수 있었다.

Table 1. Texturing process conditions

	Conditions
Solution rate	KOH 2 wt% + IPA 7.5 vol% + DIW
Temperature	80°C
Time	30 min

Table 2. SDR process conditions

	Conditions
Solution rate	25 wt% TMAH solution
Temperature	70°C
Time	10~80 min (5 min)

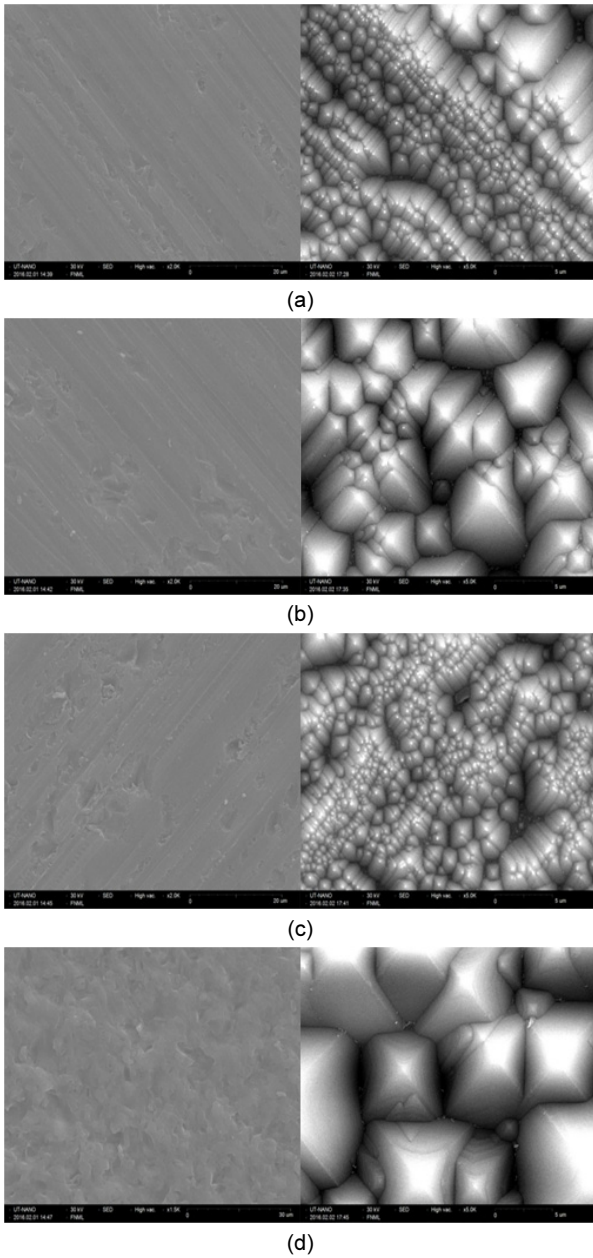


Fig. 2. SEM image with before and after texturing process
(a)~(c) Cut-wafer using different diamond wire
(d) Cut-wafer using slurry

또한 슬러리를 사용하여 절삭한 wafer의 경우 11.5%의 반사도와 5 μm 의 큰 피라미드 크기를 알 수 있었다.

3.2 SDR 공정 결과

TMAH 용액을 사용하여 10분~80분 조건에서 5분씩 증가시켜 SDR 공정을 진행하였다. 슬러리를 사용하여 절삭한 wafer에 육안상 데미지가 보이지 않아 좋은 결과를 기대했으나 다른 웨이퍼와 비교하였을 때 차이점이 뚜렷하지 않았다.

Fig. 3을 통해 깨끗한 형상을 얻을 수 있는 각각의 웨이퍼의 최적화 시간을 알 수 있었으며, 이를 적용하여 표면조직화 공정을

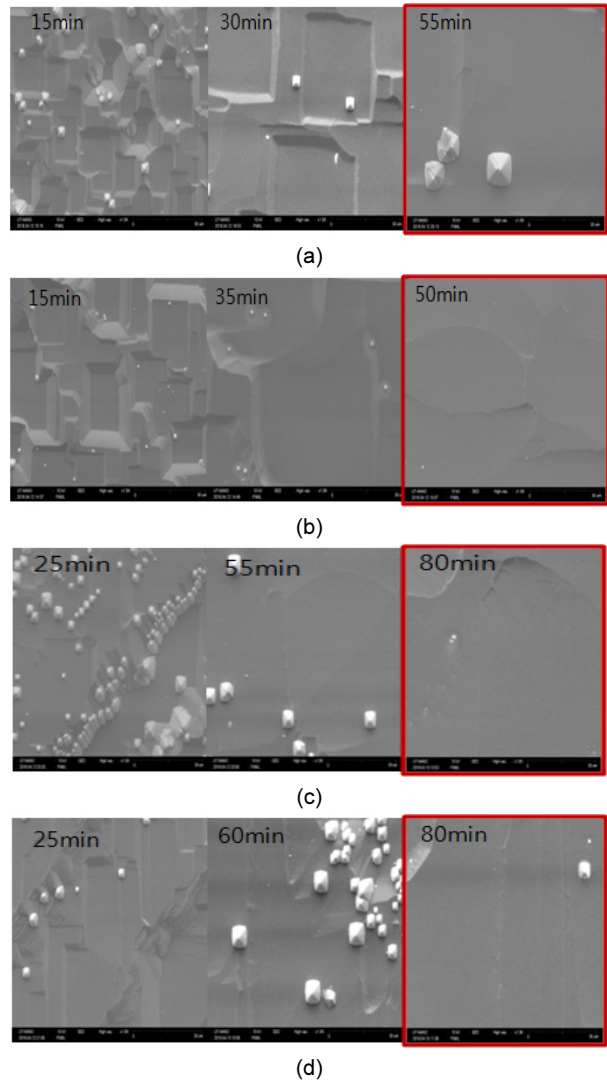


Fig. 3. SEM image with SDR process time
(a)~(c) Cut-wafer using different diamond wire
(d) Cut-wafer using slurry

을 진행하였다.

3.3 SDR 이후 표면조직화 공정 결과

SDR 공정에 관한 영향을 분석하기 위해 SDR 공정 이후 표면조직화 공정을 진행하였다. Fig. 4 분석 결과, 이전의 표면조직화 공정만을 진행하였을 때 image와 다르게 상대적으로 피라미드 크기가 작으며 조밀함을 알 수 있었다. 이는 SDR 공정으로 인해 평탄해진 표면 때문으로 예상되어진다.

SDR 공정을 하지 않고 표면조직화 공정을 진행하였을 경우와 SDR 공정 이후 표면조직화 공정을 진행하였을 때 반사도 측정결과를 그래프로 나타내었다. 기존 표면조직화 공정 결과 diamond wire를 사용하여 절삭한 wafer의 경우 평균 10.6%, 슬러리를 사용하여 절삭한 wafer의 경우 11.5%의 반사율을 보였으며, SDR 공정 이후 표면조직화 공정결과 diamond wire를 사

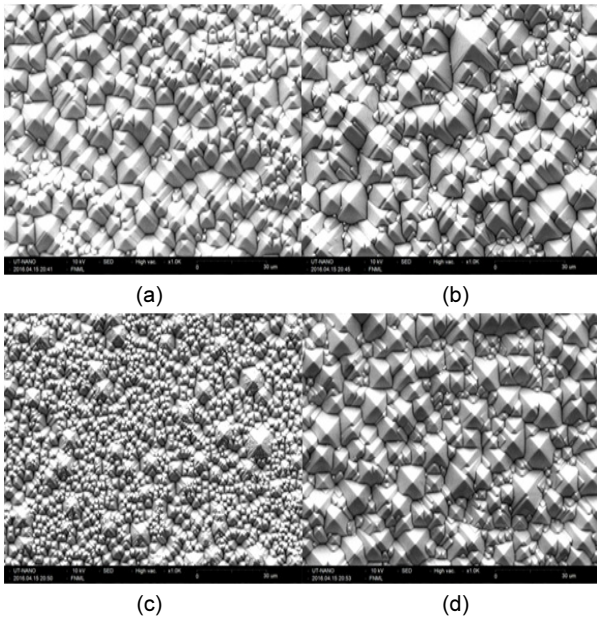


Fig. 4. SEM image after SDR, texturing
(a)~(c) Cut-wafer using different diamond wire
(d) Cut-wafer using slurry

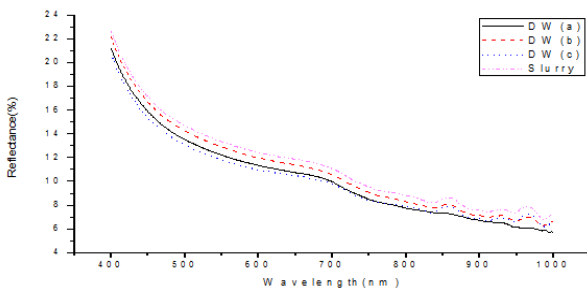


Fig. 5. Reflectance after texturing process

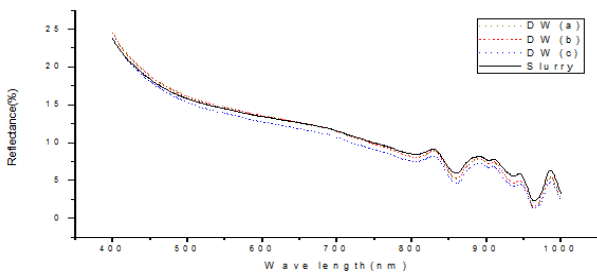


Fig. 6. Reflectance after SDR, texturing

용하여 절삭한 wafer 11.2%, 슬러리를 사용하여 절삭한 wafer 11.5%의 반사율을 보였다(Fig. 5, Fig. 6).

4. 결론

본 연구에서는 실리콘 웨이퍼 표면의 saw mark defect density에 따른 영향을 확인하기 위해 SDR, 표면조직화 공정을 진행하였다. diamond wire를 사용하여 절삭한 wafer의 saw mark를 제거한 후 표면조직화 공정을 진행하였을 때 평균 11%의 반사도를 보였으며, 슬러리를 사용하여 절삭한 wafer의 경우 11.5%의 반사도와 더 큰 피라미드 형상이 발견되었다. 이러한 결과는 표면의 saw mark가 오히려 KOH 용액에 의한 식각이 원활하게 진행될 수 있도록 작용하며, 슬러리를 사용하여 절삭한 wafer의 경우 오히려 크기가 큰 피라미드 형성과 높은 반사도를 갖게 하는 요인으로 판단된다.

후 기

본 연구는 2015년도 산업통상부의 재원으로 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원과(No. 20153030013200) 또한 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술연구원(KETEP) (No. 20163010012140)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다.

References

1. H.A. Aulich et al., "Large Scale Crystallisation and Wafer Production - The Way to 2020", 25th European Photovoltaic Solar Energy Conference Exhibition/5th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion, pp.1066-1072, 2010.
2. MARTIN A. Green et al., "High-Efficiency Silicon Solar Cells", IEEE, NO.5, pp. 679-683, 1984.
3. J. S. Kim et al., "Low reflectance in crystalline si solar cell using RIE texturing", 23th EUPVSEC, pp. 1499-1502, 2008.
4. D. S. Ruby, S. H. Zaihi, and S. Narayanan, "Plasma-texturization for multicrystalline silicon solar cells", 28th IEEE, pp. 75-78, 2000.
5. E. Yablonovitch, "Statistical ray optics", Journal of the Optical Society of America, Vol. 72, No. 7, pp.899-907, 1982.
6. B. M. Damiani, and A. Rohatgi, "Development of RIE-Textured silicon solar cells", IEEE, pp. 371-374, 2000.