

다결정 실리콘 태양전지의 광학적 손실 감소를 위한 표면 텍스처링에 관한 연구

김 지선¹⁾, 김 범호²⁾, 이 수홍³⁾

Investigation of surface texturing to reduce optical losses for multicrystalline silicon solar cells

Jisun Kim, Bumho Kim, Soohong Lee

Key words : Surface texturing(표면 텍스처링), Reflectance(반사율), Multicrystalline Silicon(다결정 실리콘), Solar Cells(태양전지)

Abstract : It is important to reduce optical losses from front surface reflection to improve the efficiency of crystalline silicon solar cells. Surface texturing by isotropic etching with acid solution based on HF and HNO₃ is one of the promising methods that can reduce surface reflectance. Anisotropic texturing with alkali solution is not suitable for multicrystalline silicon wafers because of its various grain orientations. In this paper, we textured multicrystalline silicon wafers by simple wet chemical etching using acid solution to reduce front surface reflectance. After that, surface morphology of textured wafer was observed by Scanning Electron Microscope (SEM) and Atomic Force Microscope(AFM), surface reflectance was measured in wavelength from 400nm to 1000nm. We obtained 29.29% surface reflectance by isotropic texturing with acid solution in wavelength from 400nm to 1000nm for fabrication of multicrystalline silicon solar cells.

subscript

SEM : Scanning Electron Microscope

AFM : Atomic Force Microscope

SDR : saw damage removal

1. 서론

태양전지 표면에서의 반사에 의한 광학적 손실은 태양전지의 변환 효율을 증가시키기 위해서 가장 먼저 개선해야 할 부분 중 하나이다. 결정질 실리콘 태양전지의 광학적 손실을 줄일 수 있는 방법에는 여러 가지가 있는데, 그중 가장 일반적으로 적용되는 방법이 텍스처링(texturing)을 통해 표면에서의 반사율을 감소시키는 것이다.⁽¹⁾

Texturing에 의한 광 가둠(light trapping)구조는 표면에서의 반사율을 감소시키고, 태양전지 내에서 빛의 통과 길이를 길게 하며, 후면으로부터의

내부반사를 이용하여 흡수된 빛의 양을 증가시켜 태양전지의 단락전류(short circuit current)를 향상시킬 수 있는 장점이 있다.⁽²⁾

Alkali solution을 이용한 단결정 실리콘의 이방성(anisotropic) texturing은 표면에서의 반사율을 효과적으로 줄이기 위한 방법으로 잘 알려져 있다⁽³⁾. 하지만 alkali solution을 이용한 texturing은 결정방향(grain orientation)에 따라 texturing 정도가 달라지기 때문에 다양한 grain orientation을 가지는 다결정 실리콘의 반사율을 줄이는 데에는 적합하지 않다⁽⁴⁾. 게다가 alkali solution은 grain 사이

1) 세종대학교 전략에너지개발사업단

E-mail : jisun@sju.ac.kr

Tel : (02)3408-3879 Fax : (02)3408-4157

2) 세종대학교 전략에너지개발사업단

E-mail : pdengann@sju.ac.kr

Tel : (02)3408-3879 Fax : (02)3408-4157

3) 세종대학교 전략에너지개발사업단

E-mail : shl@sejong.ac.kr

Tel : (02)3408-3329 Fax : (02)3408-4157

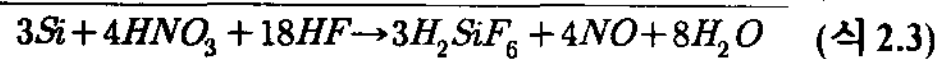
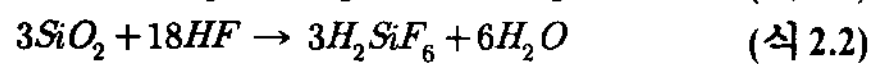
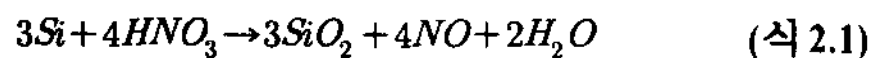
에서 예상치 못한 균열을 생기게 한다.(5)

그리하여 다결정 실리콘의 texturing을 위해 기계적으로 형성하는 V형 구조(mechanical grooving)(6), laser texturing(7), 반응성 이온 에칭(Reactive Ion Etching, RIE)(8), acid texturing 등 많은 방법이 연구되어 왔다. 그중 acid texturing은 다결정 실리콘의 다양한 grain orientation에 상관없이 등방성(isotropic)으로 texturing하고, 비교적 공정이 간단하며, 저렴한 비용으로 alkali texturing의 문제를 해결할 수 있는 장점이 있다.(9)

본 연구에서는 다결정 실리콘 태양전지의 광학적 손실을 감소하기 위해 acid solution으로 isotropic texturing하여 표면 구조와 roughness, 반사율의 변화를 살펴봄으로써 태양전지의 성능 향상에 기여할 수 있도록 하였다.

2. 실험

Acid texturing에는 대개 HF와 HNO₃를 기본으로 한 용액에 H₂O나 다른 additive를 추가한 용액이 사용된다. HNO₃는 실리콘 표면을 산화시켜 SiO₂ 산화물을 만들고(식 2.1), SiO₂는 HF에 의해 etching되어 H₂O와 H₂SiF₆을 생성(식 2.2)한다. 화학반응식은 (식 2.3)과 같다[6].



실험을 위해 boron이 doping된 p-type, 비저항 1Ωcm, 두께 약 300μm인 약 40×40mm² 크기의 다결정 실리콘 기판을 사용하였다.

Saw damage removal 여부에 따른 변화를 관찰하고자 먼저 KOH(45%) solution에서 80℃에서 4분간 SDR 한 후, SDR된 기판과 표면처리 되지 않은 bare wafer를 HF(49%)와 HNO₃(60%)를 기본으로 한 acid solution에서 wet chemical etching 방법으로 수십 초 동안 texturing 하였다.

Texturing은 수용액의 온도 변화에 따라라도 민감하게 반응하는데, acid solution과 실리콘 기판의 반응은 강한 발열반응이므로 수용액의 온도가 상승하여 공정의 또 다른 변수로 작용할 수 있다. 온도의 영향을 최소화하고자 열음 수조에서 실험하여 실험 전후 용액의 온도를 일정하게 유지(평균 13℃)하였다. 기판은 기포의 영향을 없애기 위해 모두 수직으로 실험하였다.

Texturing된 표면은 전자현미경(SEM)으로 관찰하였고, roughness는 원자현미경(AFM)으로 관찰하였으며, 400~1000nm의 파장(wavelength) 영역에서 반사율(reflectance)을 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

아래 그림 1의 (a)는 SDR만 된 기판의 SEM 사진이다. KOH로 anisotropic etching되었기 때문에 규칙적이지 않은 표면 조직을 확인할 수 있다. Grain orientation을 따라 etching된 표면이 grain boundary가 더욱 선명하게 드러나게 되었음을 알 수 있다.

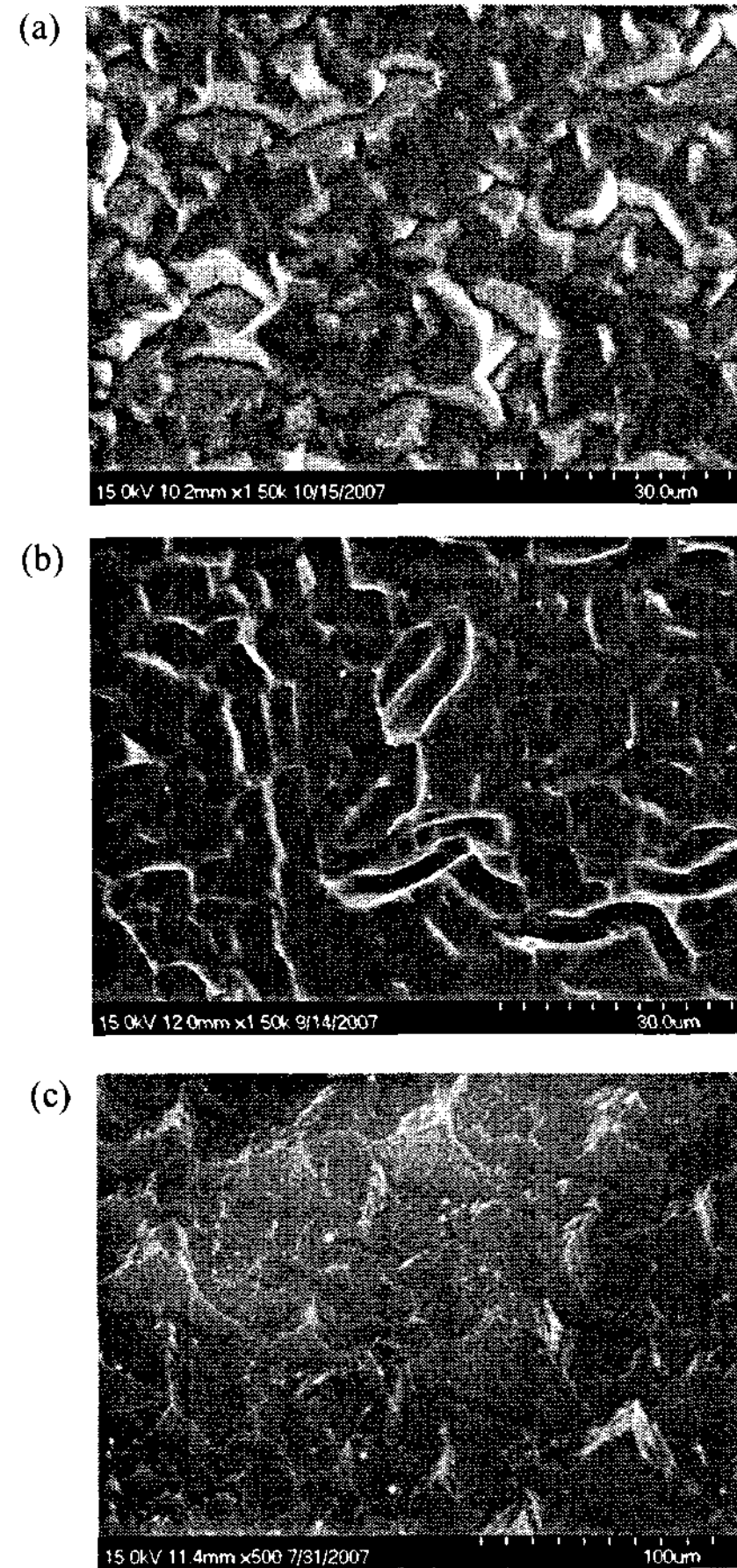


그림 1. Solution 변화에 따른 SEM 사진 (×1,500)

- (a) KOH SDR
- (b) acid texturing
- (c) SDR + acid texturing

그림 1의 (b)는 acid texturing만 했을 때의 SEM 사진이다. HNO₃가 실리콘과 반응하여 SiO₂를 생성하며 기판에 다공(pore)을 형성한다. Isotropic texturing 되었기 때문에 grain orientation에 무관하게 약 10μm 정도 크기의 pore가 균일하게 형성된 것을 볼 수 있다.

그림 1의 (c)는 SDR 후 texturing한 기판의 SEM 사진이다. HF와 HNO₃에 의해 실리콘이 etching 되면서 SDR된 면을 따라 pore가 형성된 것을 볼 수 있다.

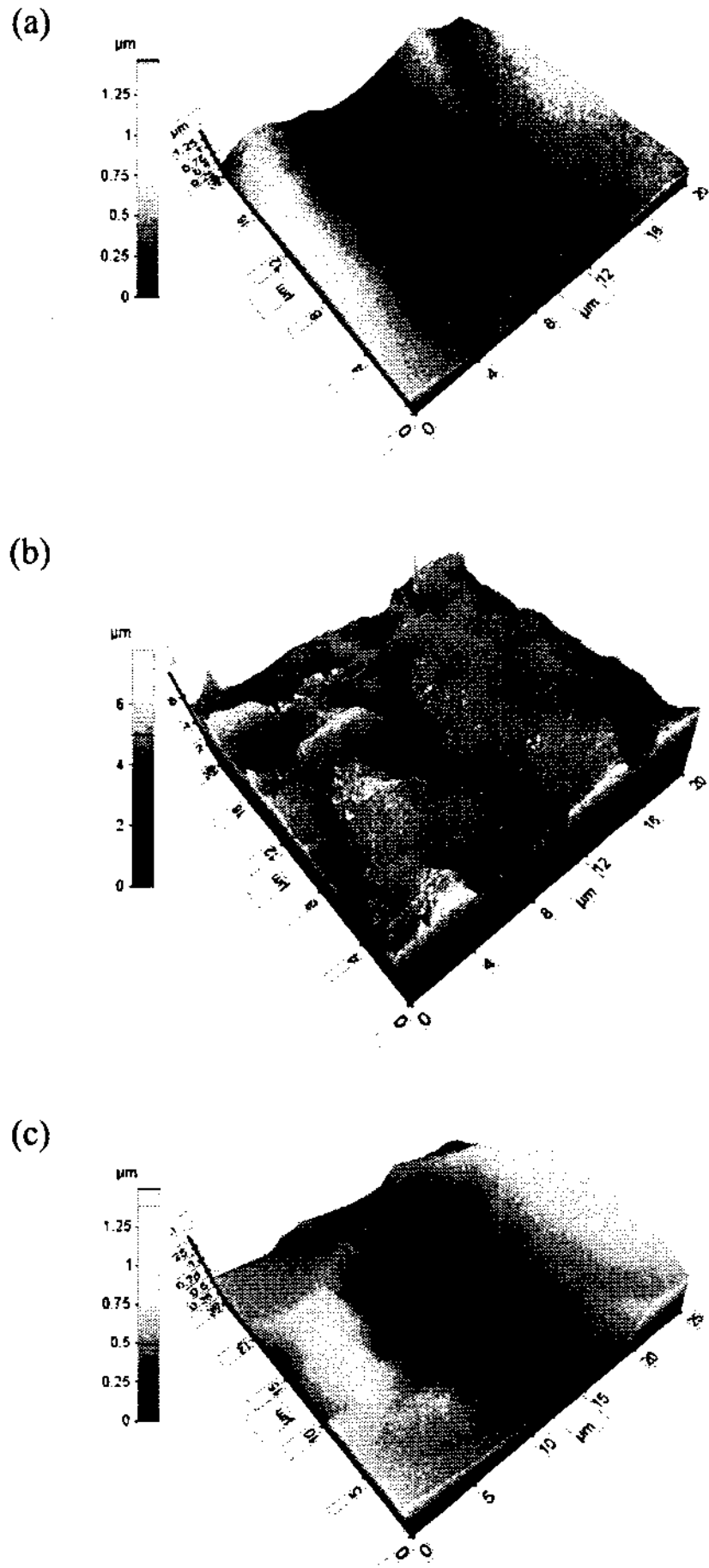


그림 2. Solution 변화에 따른 AFM 사진
 (a) KOH SDR
 (b) acid texturing
 (c) SDR + acid texturing

그림 2의 (a)는 SDR된 표면의 AFM 사진이다. SEM 사진에서와 같이 불규칙적으로 etching된 모습을 볼 수 있다.

그림 2의 (b)는 acid texturing된 표면의 AFM 사진이다. SEM 사진에서 볼 수 있었던 pore가 광을 수집(light trapping)하기 좋은 구조로 형성되어 있음을 확인할 수 있다.

그림 2의 (c)는 SDR 후 texturing한 표면의 AFM 사진이다. SDR된 면을 따라서 pore가 형성

되어 SDR만 했을 때보다 roughness가 심해졌음을 알 수 있다.

Solution	SDR	Texturing	SDR+Texturing
Roughness (μm)	0.316	0.284	0.347
Reflectance(%)	36.85	29.29	31.58

표 1. Solution 변화에 따른 roughness와 평균 반사율 (wavelength 400~1000nm)

표 1은 texturing 조건 변화에 따른 roughness와 400~1000nm 파장에서의 평균 반사율이다. SEM과 AFM의 관찰 결과와 비교해보면, SDR만 된 기판은 anisotropic etching되어 grain boundary가 나타나 반사율이 높고, 그 후 acid texturing 했을 때에는 isotropic etching되어 roughness가 심해져 SDR 전보다 반사율 절감 효과가 있는 것으로 보인다. SDR후 texturing을 하면 texturing 전보다 약 5.27%의 반사율 절감 효과가 있었다. Texturing만 된 기판은 균일하게 잘 etching되어 SDR 후 texturing한 기판보다 낮은 반사율을 갖는 것으로 보인다.

반사율과 표면 구조를 모두 고려해볼 때 SDR을 하지 않고 texturing한 기판이 태양전지의 제작에 적당한 조건임을 알 수 있다. SDR을 했을 때보다 반사율이 2.29% 낮았으며, 균일하게 형성된 pore가 태양빛을 잘 가둘 수 있는(light trapping) 구조를 형성하여 태양전지의 광학적 손실을 줄이게 될 것이다. 아래 그림 3에 SDR한 기판과 태양전지에 적용하기 알맞게 acid texturing된 기판의 표면 반사율을 나타내었다.

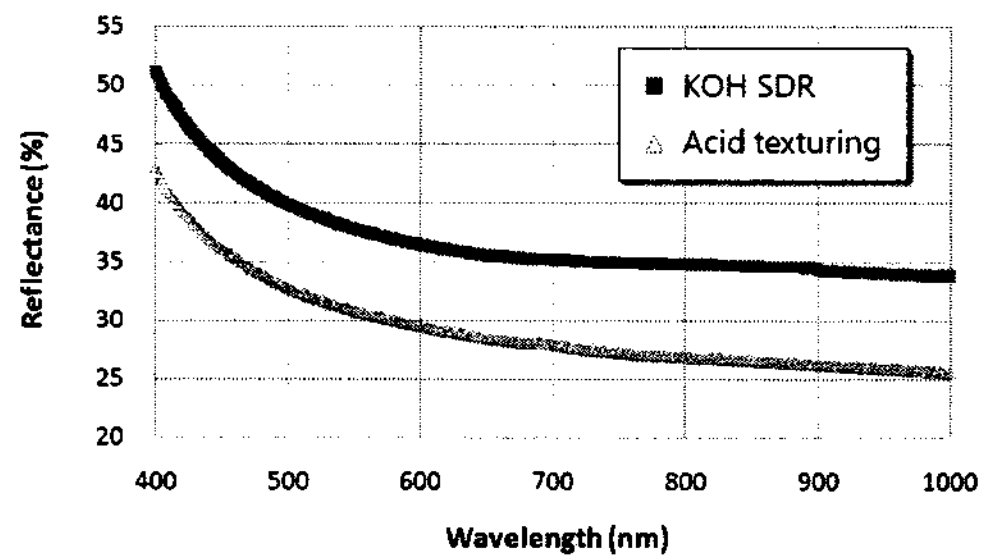


그림 3. 태양전지에 적용하기 알맞게 texturing된 다결정 실리콘 기판의 표면 반사율 (wavelength 400~1000nm)

4. 결론

본 연구에서는 다결정 실리콘 태양전지의 광학적 손실을 줄이기 위해 단순히 SDR한 기판, texturing만 한 기판, SDR과 texturing을 함께 형성한 경우의 표면 구조와 반사율의 변화를 살펴보

았다. SEM과 AFM, 반사율을 비교했을 때 SDR을 하지 않고 acid texturing한 기판이 제일 우수한 특성을 보였으며, 29.29%의 반사율을 얻었다. SDR 후 texturing 했을 때에도 SDR만 했을 때보다 5.27% 낮은 반사율을 보였다. 이는 acid solution의 isotropic texturing이 SDR의 효과까지도 있는 것임을 보여주는 것이다. 추후 다결정 실리콘 태양전지의 제작에 적용한다면 굳이 SDR을 하지 않아도 되므로 공정 시간도 단축되고, 표면에서의 반사율을 줄임으로써 성능 향상에 기여할 수 있을 것으로 보인다.

후 기

본 연구는 서울시 기술기반 구축 사업의 지원에 의해 수행되었습니다.

References

- [1] P.Campbell and M.A.Green, "Light trapping properties of pyramidally textured surfaces", J. Appl. Phys. Vol. 62, pp.243, 1987
- [2] H.Saha, S.K. Datta, K.Mukhopadhyay, S.Banerjee, M.K.Mukherjee, "Influence of Surface Texturization on the Light Trapping and Spectral Response of Silicon Solar Cells", IEEE Transactions on electron devices, Vol. 39, No. 5, pp.1100-1107, 1992
- [3] Erik Stensrud Marstein, Hans Jørgen Solheim, Daniel Nilsen Wright and Arve Holt, "Acidic texturing of multicrystalline silicon wafers", Proceedings of the 31th IEEE PVSC, pp.1309-1312, 2005
- [4] R.Einhaus, E.Vazsonyi, J.Szlufcik, J.Nijs, R.Mertens, "Isotropic texturing of multicrystalline silicon wafers with acidic texturing solutions", Proceedings of the 26th IEEE PVSC, pp.167-170, 1997
- [5] D.H.Macdonald, A.Cuevas, M.J.Kerr, C.Samundsett, D.Ruby, S.Winderbaum, A.Leo, "Texturing industrial multicrystalline silicon solar cells", Solar Energy, Vol. 76, pp.277-283, 2004
- [6] G. Willeke and P. Fath, "Mechanical wafer engineering for semitransparent polycrystalline silicon solar cells". Applied Physics Letters, Vol. 64, Issue. 10, pp. 1274-1276, 1994
- [7] M. Abbott, L. Mai and J. Cotter, "Laser Texturing of Multicrystalline Silicon Solar Cells", 14th PVSEC, 2004
- [8] G.Kumaravelu, M.Malkaiii, A.Bittar, "Surface texturing for silicon solar cells using reactive ion etching technique", 29th IEEE PVSC, pp. 258-261, 2002
- [9] R.Einhaus, E.Vazsonyi, J.Szlufcik, J.Nijs, R.Mertens, "Isotropic texturing of multicrystalline silicon wafers with acidic texturing solutions", Proceedings of the 26th IEEE PVSC, pp.167-170, 1997