

전극 함몰형 고효율 실리콘 태양전지에서의 texturing 효과
Texturing Effects on High Efficiency Silicon Buried Contact
Solar Cell

지일환*, 조영현, 이수홍
삼성종합기술원 신소재응용연구소 태양전지팀

Il-Hwan Ji, Young-Hyun Cho, Soo-Hong Lee
Photovoltaic Devices Lab., Materials & Devices Research
Center, Samsung Advanced Institute of Technology

ABSTRACT

Schemes to trap weakly absorbed light into the cell have played an important role in improving the efficiency of both amorphous and crystalline silicon solar cells. One class of scheme relies on randomizing the direction of light within the cell by use of Lambertian(diffuse) surfaces. A second class of scheme relies on the use of well defined geometrical features to control the direction of light within the cell. Widely used geometrical features in crystalline silicon solar cells are the square based pyramids and V-shaped grooves formed in (100) orientated surfaces by intersecting (111) crystallographic planes exposed by anisotropic etching.

18.5% conversion efficiency of Buried Contact Solar Cell with pyramidally textured surface has been achieved. 18.5% efficiency of silicon solar cell is one of the highest record

in the world. The efficiency of cell without textured surface was 16.6%. When adapting textured surface to the cell, the efficiency has been improved over 12 %

1. 서론

태양전지의 특성을 저하시키는 요소에는 태양전지 표면에서의 광학적 손실, 재결합에 의한 손실, 캐리어를 수집하는 전극 부분에서의 손실등 많은 것들이 있다[1-3]. 그 중에서도 태양전지 표면에서의 입사광의 반사에 의한 손실은 많은 부분을 차지하고 있다.

태양전지의 광학적 손실을 줄이는 방법에는 전면 전극의 면적을 최대한 작게 하여 전극부분에서의 반사를 줄이는 방법이 있다. 그러나, 전면 전극의 면적을 줄이면 series 저항이 증가하여 태양전지의 특성을 저하시키게 되어 전극의 면적을 줄여 광학적 손실을 줄이는 데는 한계가 있다.

다른 방법에는 반사방지막을 사용하는 것이다. 반사방지막은 거의 모든 종류의 태양전

지에서 채택되고 있다. 또다른 방법은 결정질 실리콘 태양전지에서 주로 사용하는 texturing 방법이며, 이 논문에서 언급하고자 하는 방법이다. 표면에 10 μm 정도 크기의 피라미드를 만들어 거칠은 표면을 형성하여, 입사광이 반사되는 것을 최대한 줄이는 방법이다[4]. 결정질 실리콘의 표면은 결정면에 따라 에칭을 하면 균일한 피라미드 표면을 만들수 있다. 이러한 태양전지 표면에서의 피라미드 구조는 Snell의 법칙에 따라 피라미드 표면에 입사하는 광이 실리콘 내부로 들어가게 되는 부수적인 효과도 따르게 된다. 태양전지의 빛 손실을 막는 구조는 후면전극에서도 설명할 수 있다. 후면전극에서 반사되어 다시 실리콘 내부로 들어가는 빛은 재흡수의 기회를 갖게 된다. 이때 후면전극이 형성되는 표면에 피라미드 구조를 갖게 되면 반사되는 빛들은 광경로가 길어져 재흡수의 기회를 더 많이 갖게 된다.

본 실험에서는 화학적 에칭법으로 실리콘 표면에 피라미드 구조를 형성하여 제작한 고효율 실리콘 전극함몰형 태양전지(Buried Contact Solar Cell)의 특성을 피라미드 구조를 형성하지 않고 제작한 것과 비교 연구하였다[5-7]. 피라미드 구조를 채택하여 제작한 전극함몰형 실리콘 태양전지의 광전 변환효율은 18.5%였으며, 피라미드 구조를 채택하지 않고 제작한 태양전지는 16.6%였다. 이 같은 변환효율은 기존에 시판되고 있는 변환효율 12~14% 정도의 스크린 프린팅 실리콘 태양전지(Screen Printing Solar Cell)에 비하여 매우 뛰어난 특성을 보여 주고 있다.

2. 실험방법

본 실험에서 제작한 전극함몰형 태양전지는 기존의 스크린 프린팅 태양전지의 전면전극 구조를 개량한 것으로, 전면전극을 스크린 프린팅하여 제작하는 대신에 레

이저로 폭 20 μm , 길이 60 μm 정도이 혼유 와후 혼 내부에 나뉘 및 구리노출 방식을 사용하여 전극을 형성된 방법을 사용하였다. 그림1.은 Nd-YAG 레이저로 가공한 전극함몰형 태양전지의 전극 단면도를 촬영한 것이다.

실리콘 표면에 피라미드를 만들기 위한 에칭방법으로 2% NaOH 용액을 사용하였으며, 20l bath에 용액 16l 사용하였다. NaOH는 물보다 매우 무거우므로 bath 바닥에 가라앉지 않도록 주의하여야 한다. 잘 희석된 2% NaOH용액을 90 $^{\circ}\text{C}$ 로 가열한다. 이 용액에 propanol을 200ml 첨가한다. Propanol은 실리콘 표면에 부착하여 피라미드의 꼭지점을 형성하므로 피라미드의 밀도에 큰 영향을 미치는 요소이다. 용액 내의 propanol의 량은 표면에 형성되는 피라미드의 밀도에 따라 첨가하는 량을 조절하여야 한다. 용액에 propanol을 첨가할 때는 bath내에 설치한 N₂라인에 N₂를 약 1-2분간 불어주는 방법으로 잘 희석하여야 한다. 시료를 18분간 texturing한다.

3. 관찰및 측정

2% NaOH 용액으로 texturing 한 시료는 500배 배율로 현미경 관찰및 1000배 배율로 SEM관찰을 하였다. Texturing한 시료및 texturing 하지 않은 시료로 제작한 태양전지는 본 실험실에서 제작한 solar simulator로 I-V 특성을 측정하여 비교하였다. I-V측정은 미국의 NREL(National Renewable Energy Laboratory)에서 측정한 표준시료 측정법을 사용하였다.

4. 결과및 고찰

피라미드의 크기와 밀도는 시료의 표면상태, NaOH의 농도, Bath의 온도 및 온도 uniformity, propanol의 농도, 용액내 sodium silicate의 농도, wetstation 배기

정도, texturing하는 시료의 수중에 영향을 받는것을 알 수 있었다.

그림2.는 4" 실리콘 웨이퍼의 polished처리된 면과 lapping etched처리된 표면을 propanol 200ml를 첨가한 동일한 2% NaOH 용액에서 18분간 90 °C에서 texturing한 후 피라미드 상태를 비교한 것이다. 이 그림에서 polished된 표면은 lapping etched처리된 표면보다 피라미드의 밀도가 낮은것을 알 수 있다. 이는 피라미드의 꼭지점을 형성하는 역할을 하는 sodium silicate나 propanol이 lapping etched표면보다 매끄러운 polished 표면에 잘 붙지 못하기 때문이다.

그림3.은 2% NaOH와 3% NaOH 용액에서 각각 18분간 texturing한후 피라미드의 크기를 관찰한 것이다. NaOH의 농도가 2% 이상으로 짊어지면 anisotropic etching은 적어지고 isotropic etching이 진행되어 제대로 피라미드를 형성할 수 없음을 알 수 있다. 2% NaOH용액에서 18분간 texturing하면 태양전지 특성에 가장 적합한 바닥의 길이가 8~10 μ m인 피라미드가 형성되는 것을 알 수 있었다.

그림4.는 propanol의 량을 100ml와 200ml에서 각각 18분간 texturing한후 피라미드의 밀도를 관찰한 것이다. 이 그림에 따르면 propanol의 량은 전체 용액의 1.3% 정도인 200ml가 최적이었다. 또한 propanol의 량이 너무 많아지면 시료표면에 많은 얼룩이 형성되고, 이러한 얼룩은 표면반사를 줄이기 위한 산화막 공정에서 산화막 형성을 방해하는 역할을 하므로 주의하여야 한다.

그림5.는 propanol 200ml를 첨가한 2% NaOH 용액에서 18분간 90 °C에서 texturing한 시료를 1000배 배율로 30 ° 기울여 SEM분석한 것을 나타낸 것이며, 이 시료 조건에서 최적의 태양전지 특성이 나오는 것을 확인하였다.

표1.은 크기가 8~10 μ m인 피라미드를 갖는 시료와 texturing 하지 않은 시료로

제작한 전극함몰형 실리콘 태양전지의 특성을 나타낸 것이다. 표1에서 개방전압은 두 시료 모두 650mV정도로 비슷하며, 단락전류 및 단락전류밀도는 textured surface를 갖는 태양전지에서 약 15.6% 향상되었다. 이러한 현상은 textured surface가 태양전지로 입사하는 태양광을 textured surface를 갖지 않는 태양전지 보다 월등히 많은 태양광을 이용할 수 있다는 것을 보여 주고 있다. 충실도는 textured surface를 갖지 않는 태양전지에서 76%로 textured surface를 갖는 태양전지의 74% 보다 높게 측정되었다. 이는 화학적 에칭을 통한 표면 처리 과정 및 구조적인 영향에 따라 전극과 실리콘간의 series저항이 다소 발생하고 있음을 알 수 있다. 결과적으로, textured surface를 갖는 태양전지는 변환효율이 18.5%로 그렇지 않은 시료에 비하여 약 12% 이상 특성이 개선되었음을 알 수 있다.

5.결론

태양전지의 특성을 저하시키는 요소중 큰 부분을 차지하는 태양전지 표면에서의 광학적 손실을 줄이기 위한 방법의 하나로 채택한 실리콘 표면 texturing의 최적 조건은,

- 1) 2% NaOH에 1.3% propanol을 첨가하여 90 °C에서 18분간 에칭한다. 이때 전극함몰형 실리콘 태양전지에 가장 적합한 8~10 μ m 크기의 피라미드를 형성할 수 있었다.
- 2) 1)의 조건으로 texturing한 실리콘 웨이퍼를 사용한 전극함몰형 태양전지의 광전 변환효율은 18.5%로 textured surface를 갖지 않는 전극함몰형 태양전지의 변환효율 16.6% 보다 월등히 높게 나왔다.
- 3) Textured surface를 갖는 전극함몰형 태양전지의 광전 변환효율이 높게 나오는 이유는 피라미드 구조에서 입사광의 반사가 그렇지 않은 시료에 비하여 월등히 적어 많은 전류가 발생하는 것에 기인하는 것을 알 수 있다.

참고문헌

1. A.Goetzberger. Confer.Record. 15th IEEE Photovoltaic Specialist Conf., Orlando, 1981, pp.867-370.
2. E. Yablonovitch and G.D. Cody. IEEE Trans. Electron Devices, Vol. ED-29, pp.300-305, 1982
3. P.Sheng, IEEE Trans. Electron Devices, Vol. ED-31, pp.634-636, 1984.
4. M.A.Green. 19th IEEE Photovoltaic Specialist Conf.,pp.411-414,1987.
5. M.A.Green. "High Efficiency Silicon Solar Cell", Trans.Tech.Publications, Aedermansdorf,1987.
6. S.R.Wenham and M.A.Green. Australian Patent Applic. PH/1783.
7. P.Campbell, S.R.Wenham and M.A.Green. Conf.Record, 20th IEEE Photovoltaic Specialists Conf., Las Vegas, September,1988.

Table1. I-V characteristics of buried contact solar cell with pyramidally textured surface and cell without textured surface(cell area 45cm²)

	Eff. (%)	Voc (mV)	Isc (mA)	Jsc (mA/cm ²)	FF (%)
sample-1	18.5	651	1.74	38.6	74
sample-2	16.6	652	1.50	33.4	76

*sample-1:cell with textured surface
 *sample-2:cell without textured surface

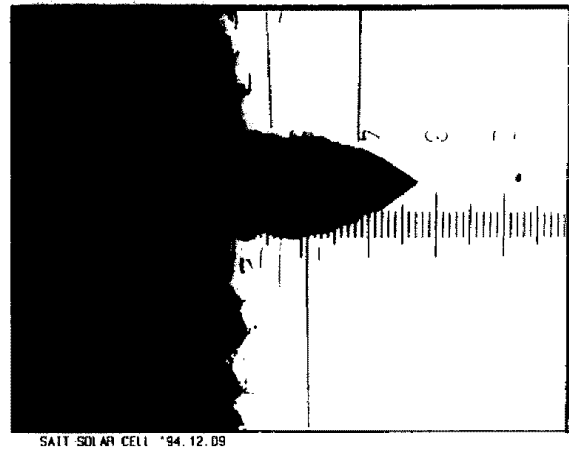


Fig.1. Cross Section of Nd-YAG Laser Grooving in Buried Contact Solar Cell(x500 photographed by microscope)



Fig.2. Pyramidally textured surfaces of polished and lapping etched silicon substrates. (2% NaOH, IPA 200ml,90 °C,18min)

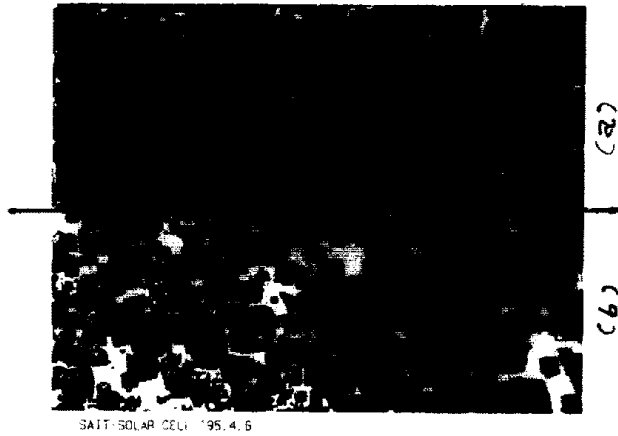


Fig.3. Pyramidally textured surfaces
 (a) 2% NaOH, IPA 200ml, 90 °C, 18min
 (b) 3% NaOH, IPA 200ml, 90 °C, 18min



Fig.5. Pyramidally textured surface
 photographed by SEM
 (x1000, 30 ° tilted)



Fig.4. Pyramidally textured surfaces
 (a) 2% NaOH, IPA 100ml, 90 °C, 18min
 (b) 2% NaOH, IPA 200ml, 90 °C, 18min