

태양전지의 실리콘 표면과 Fill Factor, 개방전압, 단락전류에 관한 연구

오데레사^{1*}

¹청주대학교 반도체설계공학과

Study on the Fill Factor, Open Voltage, Short Current and Si Surface on Si-Solar Cell

Teresa Oh^{1*}

¹Division of Semiconductor Design Engineering

요약 본 실리콘 태양전지 셀을 제작하는데 있어서, 기판 표면에서의 광 흡수를 증가시키기 위한 texturing은 KOH+IPA+DI H₂O를 혼합한 에칭용액의 온도를 80도로 유지하면서 1~40분 동안 에칭시간을 각각 다르게 하고 태양 전지 시료를 제작하였다. 셀의 특성분석은 SEM과 I-V 특성곡선을 이용하였으며, 실리콘 태양전지 셀의 효율과 texturing에 의한 표면 거칠기 사이의 상관성을 조사한 결과, Texturing이 표면 전체적으로 고르게 이루어진 샘플에서 효율이 높게 나타났다. 에칭이 과도하게 일어난 샘플에서는 효율이 오히려 감소하였다.

Abstract To obtain the Si solar cells, the Si-wafers were textured by using the IPA+DI water mixed solution with KOH acids during the various 1~40 minutes at the temperature with 80°C, respectively. The samples were analyzed by the scanning electron microscopy for the surface images and the solar simulation for I-V measurement system. It was researched the correlation between the efficiency of solar cells and the effect of texturing. From the results of the surface images obtained by SEM, the efficiency was increased at the sample textured uniformly, and the efficiency of over etched-samples decreased.

Key Words : Pn junction, Solar cell, Fill Factor, Short Current, Open Voltage, Efficiency, POC13

1. 서론

화석연료를 사용하는 화력발전은 CO₂를 발생시키고 지구온난화의 원인이 되고 있어 이를 대처할 새로운 에너지원으로 태양광발전에 대한 관심이 높아지고 있다 [1-3]. 연료비가 불필요하고, 대기오염이나 폐기물 발생이 없으며, 지구온난화 방지나 안정적인 에너지 공급에 커다란 공헌이 기대되는 태양전지는 무한정·무공해라는 가장 큰 장점을 갖고 있다. 또한 태양전지는 발전 부위가 반도체 소자이고 제어부가 전자 부품이므로 기계적인 진동과 소음이 없으며, 태양 전지의 수명이 최소 20년 이상으

로 길고 발전 시스템을 반자동화 또는 자동화시키기에 용이하며, 운전 및 유지 관리에 따른 비용을 최소화 할 수 있는 장점을 지니고 있다[4-7]. 태양광은 태양복사 에너지 중에서 에너지상호작용이 일어나는 실리콘이나 칼륨비소 등의 반도체 내의 자유전자와 정공의 발생에서부터 시작된다. 태양전지의 발생은 pn접합을 이루는 반도체에 빛을 내리쬐어 불순물에 트랩(trap)되는 전자를 여기하거나, 에너지 대역 사이에서 일어나는 여기과정에 의해 가전자대의 전자가 전도대에 여기되면, 자유캐리어(전자 혹은 정공)가 생기는데, 이렇게 발생하는 자유캐리어들에 의하여 전기전도도가 증가하게 되고, 이러한 자유

충북 지역산업기술개발사업 (2010 자유공모형)의 지원(과제번호:70008468)의 재원으로 을 받아 수행됨.

*교신저자 : 오데레사(teresa@cju.ac.kr)

접수일 11년 04월 07일

수정일 (1차 11년 06월 07일, 2차 11년 06월 08일)

게재확정일 11년 06월 09일

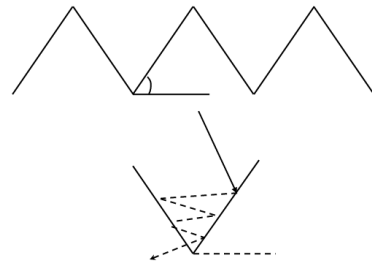
전도자의 흐름이 전류가 되어 외부 회로에 전달하게 된다[8-10].

본 실험에서는 KOH+IPA+DI를 혼합하여 만든 에칭 용액을 사용하여 표면을 texturing 하였으며, 이때 표면의 특성에 따른 효율사이의 상관관계를 조사하였다. 확산공정이나 금속공정은 같은 조건에서 이루어졌으며, texturing 이 끝난 뒤 표면의 거칠기는 SEM (scanning electron microscopy)으로 확인하였고, 솔라 시뮬레이터를 이용하여 전기적인 특성을 측정하였다.

2. 실험방법

실리콘 태양전지 셀을 만드는 순서는, 광흡수를 높게 하기 위해서 Si-표면을 거칠게 texturing하기 위해서 KOH용액을 IPA와 DI water (KOH:IPA:DI=4ml:8ml:240ml)를 혼합한 용액을 핫플레이트 위에서 80도로 온도를 높여 온도를 유지하였으며, 각각 1분-40분간 표면을 여러 시간대 별로 다르게 에칭하였다. 실리콘 태양전지 셀을 만들기 위해서, 태양전지의 p-n 접합은 POCl₃ 프리커서와 산화의 혼합기체를 사용한 전기로에서 이루어졌다. 기체 라인에서 응축을 방지하기 위해서 기체라인은 항상 25 °C를 유지하였으며, POCl₃ 프리커서는 N₂ 기체를 사용한 버블 시스템을 이용하였다. 0.5~1.7Ω·cm의 저항을 갖는 p-type(100) Si 기판은 산업 표준 습식 세정인 RCA (SC-1, SC-2) Cleaning 방법을 실시하였으며, 확산공정은 890 °C에서 12분간 증착이 이루어졌으며, 열처리 온도는 역시 각각 890 °C에서 5분동안 Annealing 하여 N⁺ 층을 형성하는 방법을 택하였다. 셀 효율을 측정하기 위하여 Screen Printer를 사용하여 전면 전극은 Ag, 후면전극은 Al을 사용하여 금속공정을 수행하였다. Annealing은 3-Zone 전기로 방식의 Funace를 이용하였다. Scanning Electronic Microscopy (Scanning Electron Microscopy, S-4200, Hitachi Ltd.)를 이용하여 표면의 물리적인 특성을 조사하였으며, 셀의 효율은 솔라시뮬레이터 LAB50 (Photovoltaic power meter, Polaronix K201)를 이용하였다.

그림 1은 실리콘 표면적을 늘이고 표면에서 난반사가 일어나게 함으로써 빛을 많이 흡수할 수 있도록 표면을 texturing 하는 원리를 설명하고 있다. texturing을 통하여 손실되는 빛의 40%를 활용할 수 있다.



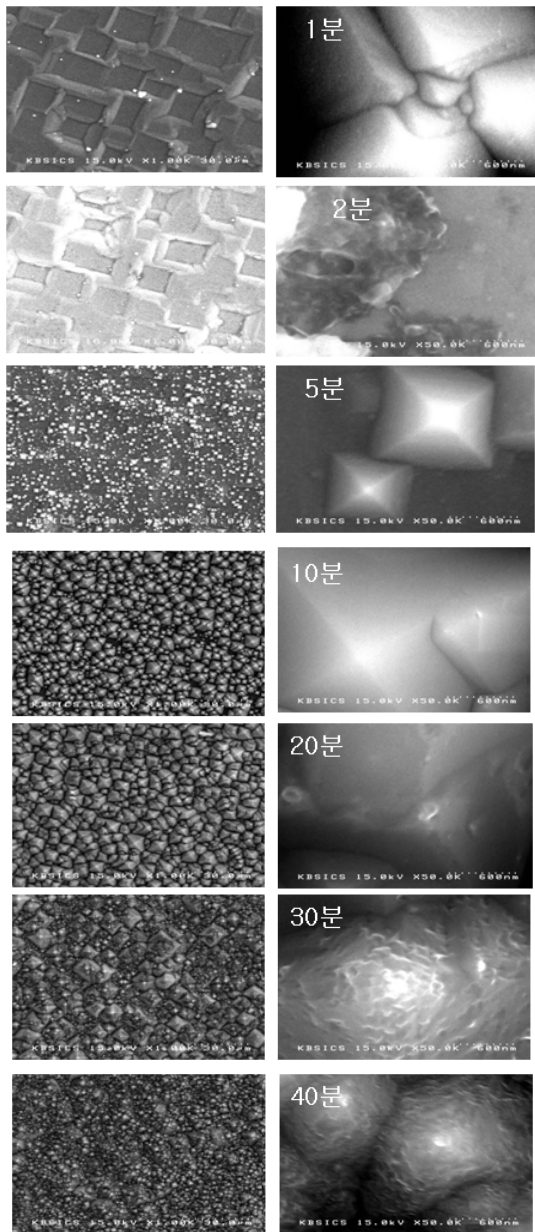
[그림 1] Texturing을 한 셀의 표면에서 빛의 흡수.

[Fig. 1] Absorbance of lights at the textured surface of cells.

3. 결과 및 고찰

그림 2는 Si 실리콘 웨이퍼를 KOH 에칭용액에 1분에서 40분까지 시간대 별로 처리를 한 뒤 SEM 분석을 통하여 살펴본 texturing 된 표면 상태를 나타내고 있다. 왼쪽은 1000배, 오른쪽은 50000배 확대해서 본 SEM 결과이다. 그림 2(a)-(b)는 식각되는 시간이 짧아 아직 피라미드 형의 모양이 보이지 않고 있다. 그림 2(c)에서 보여지듯이 5분정도 지나면서 피라미드 형의 texturing된 모습이 나타나고 있다. 그림 2(e)는 20분이 지난 모습인데, Si 표면 전체적으로 고르게 피라미드 형으로 texturing 된 모습을 알 수 있고 피라미드 각각의 크기도 가장 큰 것을 알 수 있다. 그림 2(f)-(g)에서 보듯이 시간이 지나면서 피라미드형의 구조물은 점점 모양이 허물어지면서 40분이 지나면서는 피라미드 형체를 찾아보기 힘들 정도로 texturing 상태가 좋지 않은 것을 볼 수 있다.

그림 2는 여러 가지 형태로 texturing된 샘플들에 대하여 효율을 측정하였으며, texturing효과와 효율과의 상관성에 대하여 조사하였다. 그림 2(e)에서 보여주었듯이 피라미드 형의 크기가 가장 크게 형성되면서 표면의 깨끗한 셀에서 효율이 6.73%으로 가장 큰 것을 알 수 있다. 최대전력, 곡선인자(FF), 최대전류, 최대전압 및 개방전압 역시 가장 크게 측정되었다. 20분 이상 에칭하게 되면 실리콘 표면에서의 에칭이 끝나고 피라미드 모양의 표면에서 다시 식각이 일어나 상대적으로 피라미드 형성이 어렵게 되면서 효율은 감소하는 것을 알 수 있다. 이러한 결과들은 Texturing 하는데 있어서 중요한 파라미터는 에칭온도 (80 °C)와 에칭시간이 중요하게 작용하게 되는 것을 알 수 있게 한다.

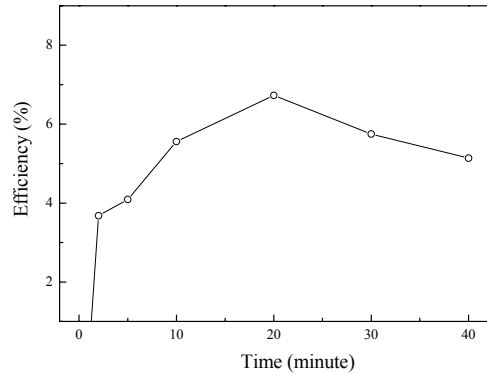


[그림 2] 에칭시간을 다르게 하여 만든 태양전지셀 표면의 모습, (a) 1분, (b) 2분, (c) 5분, (d) 10분, (e) 20분, (f) 30분, (g) 40분.

[Fig. 2] SEM images of cells with various texturing times, (a) 1분, (b) 2분, (c) 5분, (d) 10분, (e) 20분, (f) 30분, (g) 40분.

그림 3은 에칭시간에 따른 효율을 나타내고 있다. 효율이 가장 높은 샘플에서 단락전류의 값이 조금 떨어지는 것으로 나타났다. 단락전류의 값이 떨어지고 개방전압이 증가하게 되면 상대적으로 곡선인자(FF) 값이 증가하는 효과에 의해

서 효율이 증가하게 되는 것을 알 수 있다. 직렬저항성분과 병렬저항성분의 감소가 단락전류와 개방전압의 증가에 직접적인 원인이 되었다고 할 수 있으며, 표면처리에 의한 texturing 효과에 의하여 Si-cell 소자가 보다 더 많은 빛을 흡수하게 되는 효과를 가져왔다고 할 수 있다.

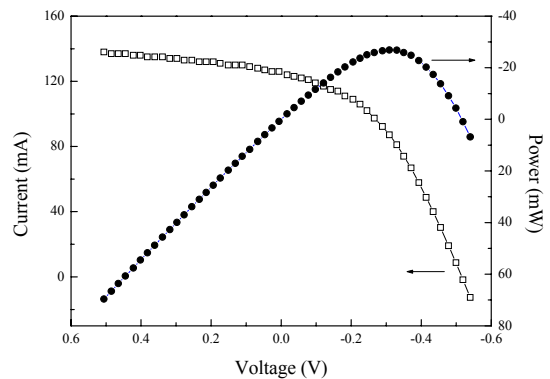


[그림 3] Texturing 공정을 위하여 KOH 혼합용액을 이용하여 만든 태양전지의 에칭시간에 따른 효율측정.

[Fig. 3] Efficiency of cells with various textured times using KOH etching solution.

그림 2(e)에서 보듯이 피라미드 형이 가장 크게 잘 형성이 된 샘플의 셀에서 효율이 가장 높게 나타나는 이유도 texturing 효과에 의해서 표면적이 넓어지고 거칠어진 표면에서 빛의 난반사로 인하여 광을 가장 많이 흡수할 수 있었기 때문이다.

그림 4는 효율이 가장 높았던 20분 texturing한 샘플에 대한 전류와 전력곡선 그래프이다.



[그림 4] 20분 동안 에칭한 샘플의 I-V 특성곡선, (●)전력, (□)전류.

[Fig. 2] I-V characteristic properties of cell with a etching time of 20 minute.

[표 1] KOH 혼합용액을 사용하여 에칭시간에 따른 태양전지의 전기적인 특성분석.

[Table 1] I-V characteristic properties of cells with varous textured times using KOH etching solution.

변수	시간 단위	(a)1min	(b)2min	(c)5min	(d)10min	(e)20min	(f)30min	(g)40min
		V_{oc}	V	0.155	0.494	0.515	0.492	0.516
J_{sc}	mA/cm^2	2.823	27.109	27.959	32.152	31.347	32.579	27.949
I_{max}	mA	5.363	58.400	60.752	82.796	87.160	83.363	68.629
V_{max}	V	0.082	0.252	0.269	0.269	0.309	0.276	0.299
I_{sc}	mA	11.293	108.436	111.837	128.608	125.388	130.315	111.796
FF	%	25.1	27.46	28.41	35.17	41.63	35.11	34.78
P_{max}	mW	0.439	14.708	16.358	22.242	26.935	22.990	20.547
E_{effect}	%	0.11	3.68	4.09	5.56	6.73	5.75	5.14

그래프에서 보듯이 단락전류는 $I_{sc}=125.388$ mA 이며, 최대전력은 $P_{max}=26.935$ W 임을 알 수 있다. 효율은 6.73으로 나타났으며, 표 1에 의하면, 다른 샘플들에 비하여 상대적으로 효율이 높고 최대전력치도 높은 것을 알 수 있다.

4. 결론

고효율 태양전지의 구현은 texturing 공정에서부터 시작된다. 실리콘 태양전지의 texturing 효과에 대하여 알아보기 위하여 KOH 에칭용액을 사용하여 에칭시간을 다양하게 하여 조건에 따라서 실리콘 표면의 에칭 상태를 SEM을 이용하여 분석하였다. 에칭시간이 20분이었을 때 피라미드 형의 구조가 전체적으로 표면에 골고루 형성 되어있는 것을 확인하였다. 또한 표면 전체적으로 고르게 분포되어 있는 경우에 효율도 높게 나타났다. 실리콘 표면의 에칭이 끝나 뒤에도 계속 에칭이 이루어져 과잉에칭이 된 경우 효율이 떨어지는 것을 확인하였다.

References

[1] M. S. Jeon, S. Yoshiba and Koichi Kamisako : J. Korean Phys. Soc. 54, 194-199 (2009).
 [2] S. Strehlke, S. Bastide, J. Guillet and C. Levy-Clement : Mater. Sci. Eng. B69-70, 81 (2000)
 [3] Peter Woditsch et al : Solar Energy Materials & Solar Cells, 72, 1-26 (2002).
 [4] C. Li, G. Fang, Y. Ren, Q. Fu and X. Zhao : J. Nanoscience and Nanotechnology, 6, 1467-1473 (2006).
 [5] B. Postels, A. Kasprzak, T. Buerger, A. Bakin, E. Schlenker, H. H. Wehmann and A. Waag : J. Korean Phys. Soc. 53, 115-118 (2008).

[6] H. Jin, S. K. Oh, H. J. Kang and J. C. Lee : J. Korean Phys. Soc. 51, 1042-1045 (2007).
 [7] Jeong Kim : J. Korean Phys. Soc. 50, 1168-1171 (2007).
 [8] C. Ornaghi, M. Stoger, G. Beaucarne, J. Poortmans and P. Schattschneider : IEE Proc-Circuits Devices Syst., 150, 287-291 (2003)
 [9] H. Y. Park, J. S. Lee, H. J. Lim and D. H. Kim : J. Korean Phys. Soc. 55, 1767-1771 (2009).
 [10] Li Ding Yu, Sun Lei, Zhang Sheng Dong, Wang Yi, Liu Xiao Yan and Han Ru Qi : Chin. Phys. Soc. 16, 240-245 (2007).

오 데레사(Teresa Oh)

[정회원]



• 2005년 9월 ~ 현재 : 청주대학교 반도체설계공학과 교수

<관심분야>

반도체재료, 반도체 소자, 유기물반도체