

등방성 에칭과 이방성 에칭이 태양전지 셀의 전기적인 특성에 미치는 효과

오데레사[†]

[†]청주대학교 반도체설계공학과

Variation of Electric Properties Depending on Isotropic and Anisotropic Texturing of Solar Cell

Teresa Oh[†]

[†]Cheongju University, Division of Semiconductor & Design Engineering

ABSTRACT

For high efficiency of Si-cells, Si wafers were textured by the KOH and NaOH etching solution to decrease the reflectance at surfaces of the cells. The textured surfaces were shown various types such as isotropic and anisotropic depending on the etching solution. The reflectance at sample of an anisotropic form with pyramid type was lower than that of isotropic form. The surface with isotropic form of general tiny circles on the surface increased the efficiency, however, the reflectance of it was increased. The efficiency was increased on surface with low roughness.

Key Words : Fill factor, Efficiency, Solar cell, Texturing

1. 서 론

빛 입자가 실리콘 표면에서 광전효과가 일어나 전기를 발생하기 위해서는 실리콘이라는 특수한 소재의 PN 접합면에서 빛이 전자로 변환되는 에너지 상호작용이 일어나야 한다. 빛이 얼마나 전자로 환원되는가 하는 것은 효율로 가늠할 수 있으며, 실리콘 태양전지의 효율을 높이는 다양한 방법들이 있다. 그 중에 대표적인 공정이 표면조직화공정을 들 수 있다. 실리콘 웨이퍼 표면에서 빛이 반사되지 않고 최대한 내부의 PN 접합계면까지 광자가 도달하기 위한 광 포획 공정에 해당한다[1-3]. 표면조직화에 의한 광포획 기술은 표면에서의 반사율을 감소시켜서 태양전지의 단락전류를 증가시키며, 결국 효율을 높이는 중요한 방법에 속한다[4, 5]. 실리콘 태양전지의 표면조직화 공정은 건식법과 습식법이 있으며, 플라즈마를 이용한 비등방

성 식각방법인 RIE(reactive ion etching), laser texturing 등이 건식법에 속하며, 일반적으로 사용되는 alkaline etching과 acid etching이 습식법에 속한다[6]. 습식법으로 웨이퍼 표면을 조직화할 때는 KOH, NaOH와 같은 염기성 용액 혹은 HNO₃의 산성용액을 주로 한다. 습식방법에 의한 표면조직화 공정에 의해서 실리콘 웨이퍼 표면은 등방성 혹은 이방성 특성의 거친 표면이 만들어진다. 대표적인 이방성인 피라미드의 삼각형 유형으로 표면이 형성되는 방법으로는 단결정 웨이퍼의 KOH 염기성 용액에 의해서 가능하며, 산성의 용액과 NaOH 용액에 의하여 조성된 표면조직화는 등방성의 특징을 나타낸다. 반사율과 효율과는 밀접한 상관성이 있으며, 다결정 실리콘의 경우 염기성 용액으로 표면을 조직화할 경우 결정립마다 결정 방향이 다르므로 식각 속도의 차이로 인해 표면 형상이 불균일하게 되므로 효과적으로 표면 반사율을 감소시키기 어렵게 된다.

본 연구에서는 단결정 실리콘 웨이퍼를 염기성 용액과 산성용액으로 표면조직화를 수행하였으며, 반응후 실리콘

[†]E-mail : Teresa@cju.ac.kr

콘 웨이퍼 표면에서 일어나는 변화를 조사하였다. 확산공정이나 금속공정은 같은 조건에서 이루어졌으며, texturing 이 끝난 뒤 표면의 거칠기는 SEM(scanning electron microscopy)으로 확인하였다. 셀효율을 측정하기 위해서 앞면과 뒷면의 전극은 각각 Ag, Al을 각각 사용하였다. 셀의 효율은 솔라 시뮬레이터 LAB50 (Photovoltaic power meter, Polaronix K201)를 이용하였다.

2. 실험방법

실리콘 태양전지 셀을 만드는 순서는, 광흡수를 높게 하기 위해서 Si-표면을 거칠게 texturing하기 위해서 KOH용액을 IPA와 DI water (KOH:IPA : DI = 4ml : 8 ml : 240 ml)를 혼합한 용액을 핫플레이트 위에서 80도로 온도를 높여 온도를 유지하면서 45분간 에칭하였다. NaOH 용액은 NaOH:IPA:DI = 50 ml : 50 ml : 50 ml의 비율로 혼합한 용액을 핫플레이트 위에서 80도로 온도를 높여 온도를 유지하면서 25분간 에칭하였다. 실리콘 태양전지 셀을 만들기 위해서, 태양전지의 p-n 접합은 POCl_3 프리커서와 산소의 혼합기체를 사용한 전기로에서 이루어졌다. 기체 라인에서 응축을 방지하기 위해서 기체라인은 항상 25°C 를 유지하였으며, POCl_3 프리커서는 N_2 기체를 사용한 버블 시스템을 이용하였다. $0.5\sim 1.7\Omega\cdot\text{cm}$ 의 저항을 갖는 p-type(100) Si 기판은 산업 표준 습식 세정인 RCA (SC-1, SC-2) Cleaning 방법을 실시하였으며, 확산공정은 890°C 에서 12분간 증착이 이루어졌으며, 열처리 온도는 역시 각각 890°C 에서 5분 동안 Annealing 하여 N층을 형성하는 방법을 택하였다. 셀효율을 측정하기 위하여 Screen Printer를 사용하여 전면 전극은 Ag, 후면전극은 Al을 사용하여 금속공정을 수행하였다. Annealing은 3-Zone 전기로 방식의 Furnace를 이용하였다. Scanning Electronic Microscopy (Scanning Electron Microscopy, S-4200, Hitachi Ltd.)를 이용하여 표면의 물리적인 특성 40 ml을 조사하였으며, 샘플의 반사도는 Spectrophotometer (Likaku,)를 이용하였다.

3. 결과 및 고찰

그림 1은 Si 실리콘 웨이퍼와 염기성용액과 산성용액에 의해서 표면조직화를 수행한 샘플에 대한 반사도를 나타낸다. KOH 에칭 용액에서 표면조직화를 수행한 박막에서 반사도는 더 낮았다.

표 1은 단결정 실리콘 웨이퍼를 이용하여 각각 2개씩 KOH 와 NaOH 에칭용액을 이용하여 표면조직화를 실시한 결과를 나타낸다. KOH 에칭용액으로 표면조직화를 수행한 샘플에서 효율은 낮았다. 그림1의 반사도는 KOH 에칭용액에 의해서 표면조직화가 이루어진 샘플에서 더 낮게 나타났다. KOH 에칭용액에서 반사도가 더 낮았음에도 불구하고 효율이 낮게 나타났다는 것은 고효율 태양전지를 위한 낮은 반사도 이외에 효율을 증가시키는 원인에 대하여 또 다른 원인을 찾아볼 필요가 있다는 것을 의미한다.

그림 2는 KOH 에칭용액으로 표면조직화한 샘플의 표면을 3000배 확대한 SEM 사진이다. 실리콘 웨이퍼의 결정방향에 따라서 에칭 속도가 달라짐에 따라서 표면에 이방성의 삼각형 피라미드 모양이 형성되었다.

그림 3은 NaOH 에칭용액으로 표면조직화한 샘플의 표면을 50000배 확대한 SEM 사진이다. 표면 전체적으로 미세하게 등방성의 동그란 모양이 나타났다. 표면조

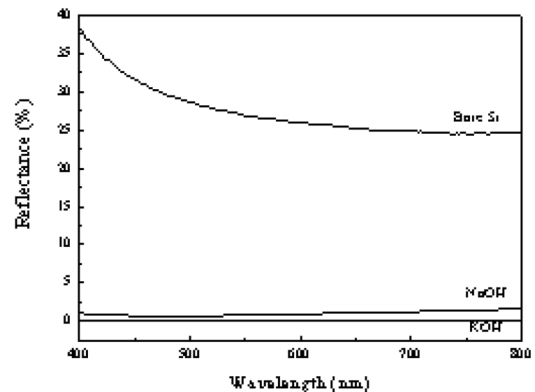


Fig. 1. Reflectance of sc-Si wafers textured by using of KOH and NaOH etching solutions.

Table 1. Electrical Properties of sc-Si solar cells

Etching solution	Voc(V)	Isc(mA)	Jsc(mA/cm ²)	Pmax(mW)	F.F(%)	Efficiency(%)
KOH	0.543	159.654	29.044	29.574	34.1	5.38
KOH	0.543	155.676	28.32	27.822	32.9	5.06
NaOH	0.537	129.879	23.627	34.804	49.86	6.33
NaOH	0.537	129.427	20.708	34.261	49.27	5.48

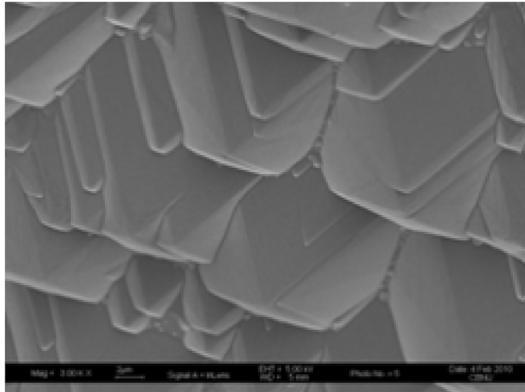


Fig. 2. SEM image of surface textured by KOH etching solution (3,000 times magnify).

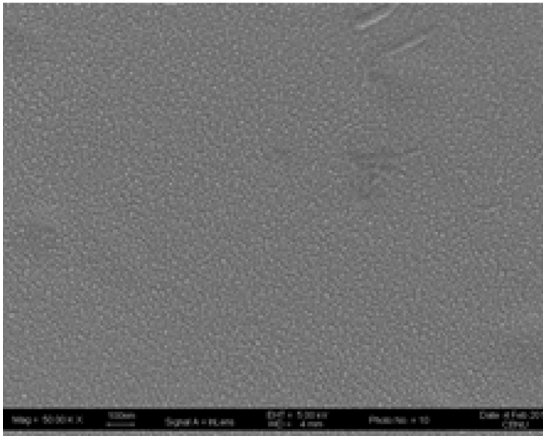


Fig. 3. SEM image of surface textured by NaOH etching solution (50,000 times magnify)

직화가 끝난 샘플의 평탄도를 비교해 보면, KOH 에칭에 의한 그림 2와 비교할 때 차이가 크게 나타나는 것을 알 수 있다. 등방성 에칭이 일어난 NaOH 용액에 의한 샘플의 평탄도가 훨씬 우수한 것을 확인할 수 있다. 표 1에서 효율과의 상관성을 살펴보면, NaOH 용액을 이용한 샘플이 효율이 더 높았다.

이상의 결과로부터 반사도와 셀 표면의 평탄도를 살펴보면, 반사도는 표면의 평탄도와 관계가 있으며, 표면이 거칠 샘플에서 반사도는 낮아진다. 반면에 표면이 고른 등방성 에칭 샘플에서는 상대적으로 반사도가 높았다. 이러한 반사도의 특성이 태양전지 셀에서 전자를 얼마나 많이 생산할 수 있는 지에 대하여 살펴보기 위해서 $POCl_3$ 도핑공정을 수행하고 스크린 프린터를 이용하여 전극을 만들고 전기적인 특성을 측정하였다.

그림 4와 5는 표면 조직화가 완성된 샘플에 대하여

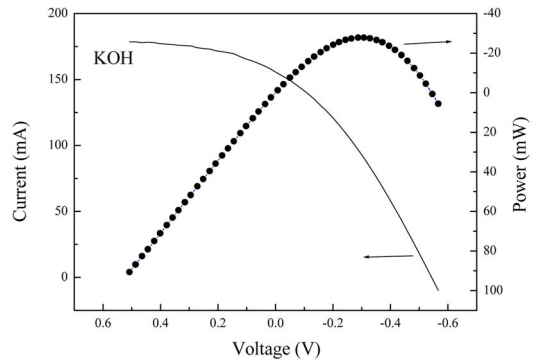


Fig. 4. I-V characteristic of sc-Si cell (KOH) textured by KOH etching solution.

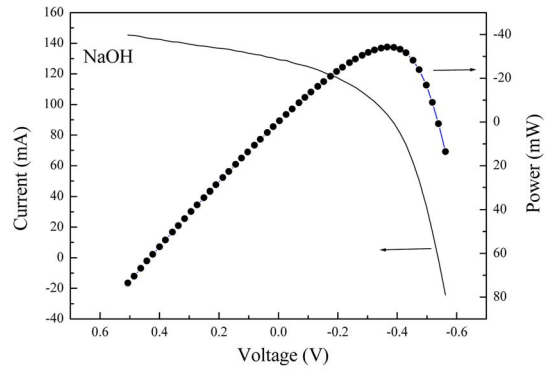


Fig. 5. I-V characteristic of sc-Si cell (NaOH) textured by NaOH etching solution.

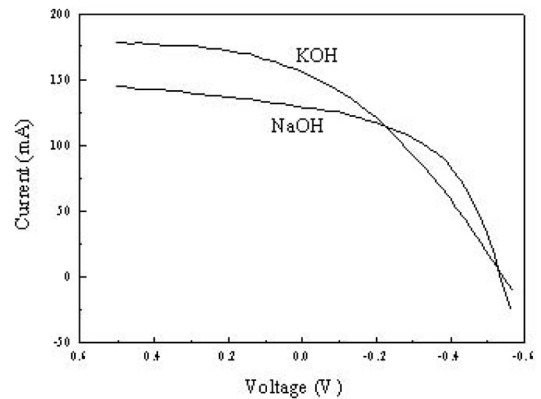


Fig. 6. Comparison of short-currents between sc-Si cell textured by KOH and sc-Si cell textured NaOH etching solution.

PN 접합을 만들고 태양전지를 완성하여 측정한 전기적인 특성에 대한 결과를 보여준다. 표 1에서도 알 수 있듯이 NaOH 에칭 용액에 의하여 표면조직화를 수행한 샘플에서 효율이 높게 나타났다. 하지만 단락전류나

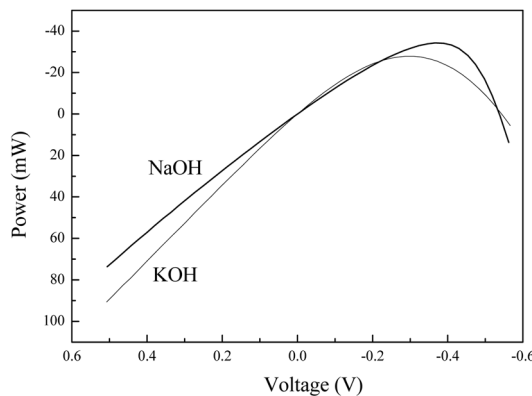


Fig. 7. Comparison of power between sc-Si cell textured by KOH and sc-Si cell textured NaOH etching solution.

개방전압은 KOH 에칭 용액을 이용한 샘플에서 더 높게 나타났다.

그림 6은 KOH와 NaOH 에칭용액으로 표면조직화한 실리콘 전지 셀의 전류특성을 비교하였다. KOH에서 단락전류가 훨씬 높게 나타났으며, 또한 표1에서 개방전압 역시 높은 것을 알 수 있다.

그림 7은 최대전력을 나타내는데 최대전력은 NaOH 에칭용액에서 만든 셀에서 높게 나타났다. 최대전력은 FF와 밀접한 관계가 있으며, 표면 전체적으로 고르게 표면 조직화가 일어나고 있는 등방성의 에칭효과를 나타내는 NaOH에 의한 실리콘 셀에서 효율은 높게 나타나는 것을 알 수 있었다. 일반적으로 단락전류나 개방전류가 높은 경우 효율이 증가한다. 하지만 이상의 결과로부터 단락전류의 증가나 개방전류의 증가가 효율에 영향을 주기도 하지만 FF 요소가 효율에 직접적인 영향을 미치며, FF 요소는 단락전류 혹은 개방전압에 영향을 주기보다는 표면의 평탄도와 관련이 있으며, 태양전지 셀 전체적인 표면의 균일도에 의한 효과임을 알 수 있게 한다. 일반적으로 실리콘 태양전지의 표면 조직화는 피라미드 모양으로 표면을 조직화할 수 있는 KOH를 많이 사용하는데[6,7] NaOH 유기용매에 의해서 표면이 미세하게 조직화할 수 있는 방법에 의해서도 효율을 높일 수 있다는 것을 확인할 수 있다. 실리콘 태양전지를 만드는 공정이 클리닝, 표면조직화, 도핑공정, 스크린 프린팅 및 열처리 공정 등 최소 5단계를 거쳐야 되는 것을 감안한다면 공정마다 이루어지는 성분에 대한 효율과의 상관성을 직접적으로 찾아서 구분해 내기는 어려움이 있다. 그러나 이상의 결과를 종합하여보면, KOH에 의한 이방성에칭으로 1차 에칭에 의하여 단락전류와 개방전압을 개선시키고 이차적으로 NaOH에 의

한 등방성에칭을 수행하여 FF 지수를 개선하게 되면 효율이 높아질 수 있다는 것을 예측할 수 있다.

4. 결 론

실리콘 태양전지의 고효율을 위한 요소는 여러 가지 방법이 있으며, 는 고효율을 위한 중요한 요소 중에 하나로써 다양한 표면조직화의 방법들이 제시되고 있다. 본 연구에서는 그 중에 습식법에 의한 표면조직화 방법으로 산성용액에 의한 등방성 에칭과 알칼리용액에 의한 이방성 에칭의 경우, 효율과의 상관성을 조사하였다. 등방성에칭보다는 이방성에칭인 경우 단락전류와 개방전류가 더 증가하였다. FF 요소의 증가는 이방성에칭보다는 등방성에칭인 경우 증가하였다. FF 요소는 표면조직화가 얼마나 고르고 균일하게 이루어졌는가에 따라서 달라지고 있는 것을 확인하였다. 단락전류 증가나 개방전압의 증가에 의한 고효율화 보다는 표면전체적인 균일성에 따른 FF 요소를 증가시킴으로 인한 고효율화를 추구하는 쪽이 효율을 높게 할 수 있을 가능성이 크다는 것을 확인하였다. 최종적으로도 단락전류의 값이 낮았지만, FF 지수가 높은 등방성 에칭에 의한 샘플에서 전력량이 높게 나타났으며, 효율도 높았다.

참고문헌

1. Y. K. Moon, D. Y. Moon, S. Lee and J. W. Park, "Effects of high dose proton Irradiation on ZnO thin film transistors," J. Korean Phys. Soc. Vol. 54, pp. 1059-1063, 2009.
2. M. S. Jeon, S. Yoshida and Koichi Kamisako, "Intrinsic amorphous silicon (a-Si:H) thin film prepared by using remote plasma chemical vapor deposition method and used as a passivation layer for a hetero-junction solar cell," J. Korean Phys. Soc. Vol. 54, pp. 194-199, 2009.
3. C. Ornaghi, M. Stoger, G. Beaucarne, J. Poortmans and P. Schattschneider, "Thin film polycrystalline silicon solar cell on ceramics with a seeding layer formed via aluminium induced crystallisation of amorphous silicon," IEE Proc-Circuits Devices Syst., Vol. 150, pp. 287-291, 2003.
4. A. Bolonkin, "New concept of high speed AB solar cell," IEEE. Transactions on Aerospace and Electronic Systems, Vol. 44, pp. 1538-1542, 2008.
5. Michael Y. Levy and Christiana Hongserg, "Nanostructured absorbers for multiple transition solar cells," IEEE, transactions on Electron Devices, Vol. 55(3),

-
- pp. 706-711, 2008.
6. K. C. Lee, I. S. Kim, H. J. Nam and C. Park "Fabrication of Low cost, High Efficiency Single Crystal Silicon Solar Cells" The Magazine of the IEEK. Vol. 31(7), 950-955, 1994.
7. L. A. Dobrzanski, A. Drygata, "Surface texturing of multicrystalline silicon solar cells," J. AMME, Vol. 31, 77-82, 2008.
-
- 접수일: 2011년 10월 25일, 심사일: 2011년 11월 23일,
게재확정일: 2011년 12월 15일