

표면 거칠기와 분포 상태에 따른 Si-셀 효율에 관한 연구

오데레사*

청주대학교 반도체설계공학과, 청주 360-764

(2011년 2월 9일 받음, 2011년 4월 15일 수정, 2011년 4월 23일 확정)

실리콘 태양전지는 KOH 에칭 용액을 이용하여 texturing 시간을 다르게 하는 방법으로 표면의 texturing 상태를 다양하게 제작하였다. 그리고 POCl₃ 공정을 이용하여 n형 불순물을 도핑하여 pn접합을 만들었으며, 알루미늄 후면전극과 은 전면전극을 이용하여 Si-cell을 제작하였다. 피라미드 구조가 가장 크고 표면에 고르게 형성된 태양전지 셀에서 F.F. 계수가 높게 나타났으며, 효율도 높게 나타났다. texturing 형성이 잘 이루어진 셀인 경우 빛을 많이 흡수할 수 있고 회로 내부적으로는 직렬 저항성분이 감소하여 단락전류성분이 현저히 증가하게 되어 최종적으로 효율이 증가되는 것을 확인하였다.

주제어 : 곡선인자, 효율, 태양전지, 표면에칭

I. 서 론

이산화탄소에 의한 온실 효과 및 지구 온난화 현상이 가속화되면서 일어나는 지구환경문제를 해결하기 위해서 이산화탄소가스의 배출량을 감소시키기 위한 연구와 노력이 이어지고 있다 [1-4]. 이러한 문제의 해결방안으로 화석연료 대신 친환경적인 고효율 에너지 필요가 우선시되고 있다. 그 해결책으로 많은 종류의 신재생에너지들이 있지만 세계는 그 중 태양전지의 고 효율화에 관심이 집중되고 있다. 실리콘 태양전지의 고효율의 문제는 광 생성에 의한 전자와 정공 쌍을 많이 만들어 내는 방법과 이를 손실 없이 외부로 끌어내는 문제를 해결하는 것에 달려 있다. 광 생성 전하를 많이 만들어내기 위해서는 빛을 많이 받도록 해야 하는데, 이에 대한 장애요소로 표면전극, 표면 반사, 장파장의 투과 또는 열손실 등의 문제를 해결해야 한다 [5-8]. 이를 극복하기 위해서는 빛을 가두는 역할이나 빛의 경로를 늘리는 반사방지막, 표면 texturing, 후면에 모든 전극을 일체화하는 구조, 서로 다른 밴드 갭의 다층화 된 태양전지제조 방법과 미래형 태양전지인 1개의 포톤으로 다수의 전자와 정공 쌍을 많이 만들 수 있는 반송자 다중화 태양전지개발을 들 수 있다. 그 중에서 효율을 높이기 위한 반사손실을 줄이는 방법으로는 여러 가지 방법이 있는데 태양전지 효율에 영향을 주는 다양한 요소들 중 특히 Cell 효율을 높이는 방법으로 texturing 공정은 필수적인 요소

라 할 수 있다. 일반적으로 KOH, NaOH, HNO₃의 산화물과 IPA의 혼합물을 이용한 에칭 용액 내에서 표면을 식각(texturing)하는 방법을 사용한다 [9-10].

본 연구에서는 실리콘 태양전지 Cell의 효율 증가를 위한 표면처리(texturing)에 의한 표면의 거칠기와 에칭형태에 효율의 변화에 대하여 조사하였다.

II. 실험방법

p type 실리콘을 유기클리닝 순서에 맞추어 클리닝을 수행하였다. 0.5~1.7 Ω·cm의 저항을 갖는 p-type(100) Si 기판은 산업 표준 습식 세정인 RCA (SC-1, SC-2) cleaning 방법을 실시하였다. 광흡수를 높게 하기 위해서 Si-표면을 거칠게 texturing하기 위해서 KOH용액을 IPA와 DI water를 혼합한 용액(KOH:IPA:DI=60:2:1)을 80도 상태를 유지하면 각각 5~45분간 표면을 여러 시간대 별로 다르게 처리하였다. KOH 혼합 에칭용액에서 에칭을 한 뒤 10초 동안 10% FH 용액에 클리닝을 실시하여, 표면 불순물을 제거하였다. 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 이용하

* [전자우편] teresa@cju.ac.kr

였다. 확산공정은 890°C에서 12분간 증착이 이루어졌으며, 열처리 온도는 역시 각각 890°C에서 5분 동안 annealing 하여 N⁺층을 형성하는 방법을 택하였다. Metalization은 screen printer를 사용하여 전면 전극은 Ag, 후면전극은 Al을 사용하여 형성하였고, annealing은 3Zone 전기로 방식의 Funace를 이용하였다. 본 연구의 목적은 태양전지의 핵심인 효율 변화의 texturing 시간변화에 있어서 효율 변화를 확인한다. Scanning Electronic Microscopy (Scanning Electron Microscopy, S-4200, Hitachi Ltd.)를 이용하여 표면의 물리적인 특성을 조사하였다. 셀효율을 측정하기 위해서 앞면과 뒷면의 전극은 각각 Ag, Al을 각각 사용하였다.

셀의 효율은 솔라 시뮬레이터 LAB50 (Photovoltaic power meter, Polaronix K201)를 이용하였다. Fig. 1은 texturing을 실시하고 도핑공정을 거쳐서 제작된 Si-셀의 구성도이다.

III. 태양전지 동작이론

태양광에 의해 전자-정공 쌍의 생성이 p-n 접합부에서의 캐리어 확산 거리 내에서 일어나면 전하의 분리가 일어나서 전자는 n형쪽으로 이동하고 정공은 p형쪽으로 이동한다. 태양광에너지가 접합부에서 연속적으로 투입될 때, 광전압이 형성된다. Isc 전류는 광전압이 생성되지 않았을 때, 전지에서 얻을 수 있는 최대 전류밀도이다. 또한 전자-정공 쌍으로 전환되는 광양자의 총수와 같다. Voc는 회로에 큰 저항이 걸려 광전류가 흐르지 않을 때 생성된 광 전압으로 전지에서 얻을 수 있는 자유에너지이다. 높은 Voc를 얻기 위해서는 전하 캐리어의 확산거리가 커야 하고, 도너와

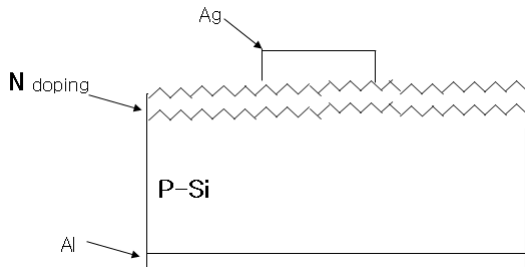


Figure 1. Schematic diagram of Si cell with the effect of texturing by KOH etching solution.

엑셉터의 도핑농도가 커야 한다. 결정질 실리콘 태양전지는 PN 접합에 의하여 다이오드 특성을 가지게 된다. 태양광이 없는 암 상태는 일반적인 다이오드와 같고 식 1.1과 같이 다이오드 방정식으로 나타낼 수 있다. 암 상태 I₀와 광 상태 I_L의 전류-전압 곡선은 다르며 V_m은 최적 동작 전압, I_m은 최적 동작전류를 나타낸다.

$$I = I_0(e^{qV/nkT} - 1) \tag{1.1}$$

이 식에서 I는 전체전류, I₀는 확산전류, k는 볼츠만 상수, T는 절대온도이다. 태양광이 입사하는 광 상태는 입사된 광에 의한 전류 I_L을 암 상태의 전류-전압 곡선에 포함시켜주면 되고 이 때의 식은 식 1.2와 같이 나타낼 수 있다.

$$I = I_0(e^{qV/nkT} - 1) - I_L \tag{1.2}$$

하지만 실제의 태양전지는 전극자체의 저항, 기판자체의 저항, 전극과 기판의 접촉 저항인 직렬저항 R_s와 접합 결함에 의해 생기는 병렬저항 R_{sh}를 포함하여

$$I = I_L - I_0 \left[e^{\frac{q(V + IR_s)}{nkT}} - 1 \right] - \frac{V + IR_s}{R_{sh}} \tag{1.3}$$

가 된다. 역시 n은 다이오드의 ideal한 factor이다. 광 상태에서 태양전지 양단을 개방하여 측정되는 개방전압 V_{oc}는 식 1.3에서

$$V_{oc} = \frac{nkT}{q} \ln \left[\frac{\left(I_{sc} + \frac{V_{oc}}{R_{sh}} \right)}{I_0} + 1 \right] \tag{1.4}$$

와 같이 식을 얻을 수 있다. 그리고 양단을 단락시켜 측정되는 단락전류 I_{sc}는 식 1.3에서

$$I_{sc} = \frac{R_{sh} \left[I_{sc} - I_0 \left(e^{\left(\frac{I_{sc} R_o}{nkT} \right)} - 1 \right) \right]}{(R_{sh} + R_s)} \tag{1.5}$$

가 된다. 식 1.3과 1.4에서 알 수 있듯이 직렬저항과 병렬저항은 I_{sc}와 V_{oc}의 감소 원인이 된다. 태양전지의 곡선 인자(fill factor)는 최적 동작전류 I_{max}와 동작전압 V_{max}에

가까운 정도를 나타내며, 단락전류와 개방전압과 더불어 전지의 효율에 직접적인 영향을 미치는 중요한 파라미터이다. FF인자의 관계식은 다음과 같다.

$$FF = \frac{I_{max} \times V_{max}}{I_{sc} \times V_{oc}} \quad (1.6)$$

곡선인자는 개방전압과 단락전류의 곱에 대한 출력의 비로 정의되며, 전류-전압 곡선에서 채울 수 있는 최대 직사각형의 면적에 해당한다. Fig. 2는 KOH를 사용하여 에칭하였을 때 실리콘 웨이퍼 표면이 피라미드 형으로 54.7도의 각도에서 texturing되는 모양을 도시하고 있다.

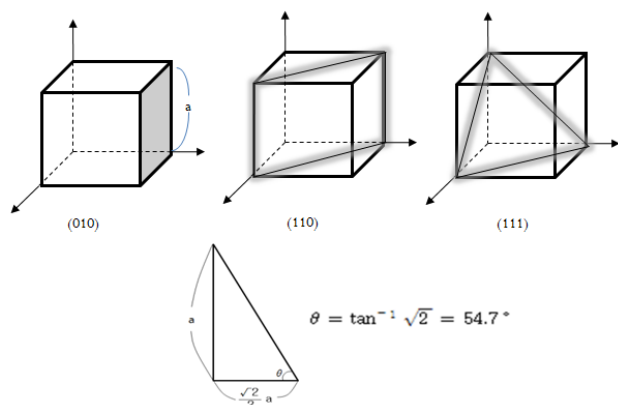


Figure 2. Textured angle and surfaces of Si cell.

IV. 결과 및 고찰

Fig. 3은 Si 실리콘 웨이퍼를 KOH 에칭용액에 5분에서 45분까지 시간대 별로 처리를 한 뒤 반사도를 측정하였다. 에칭시간이 길어지면 표면이 에칭되는율이 높아지면서 거칠게 되어 빛의 반사가 감소하기 때문에 반사도가 감소하는 것을 알 수 있다.

Fig. 4는 Si 실리콘 웨이퍼를 KOH 에칭용액에 5분에서 45분까지 시간대별로 처리를 한 뒤 SEM 분석을 통하여 살펴본 texturing된 표면 상태를 나타내고 있다. 사진은 3,000배 확대해서 본 SEM 결과이다. Fig. 4(a)-(c)는 식

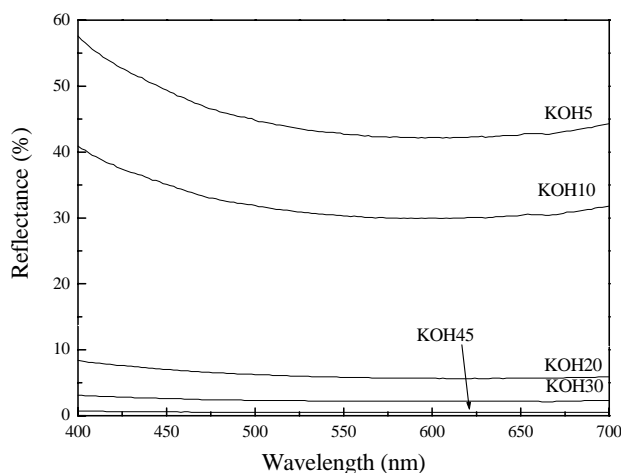


Figure 3. Reflectance of Si-cell with various etching times, (a) 5 min, (b) 10 min, (c) 20 min, (d) 30 min, (e) 40 min, (f) 45 min.

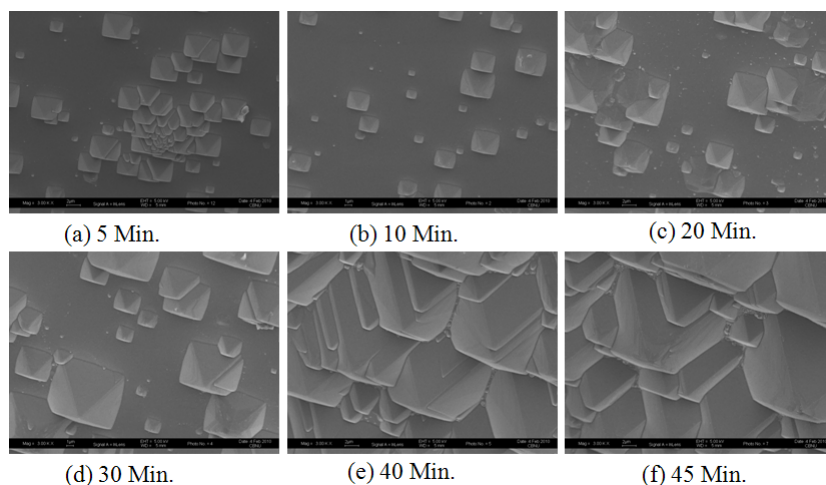


Figure 4. Textured surfaces of Si-cell with various etching times, (a) 5 min, (b) 10 min, (c) 20 min, (d) 30 min, (e) 40 min, (f) 45 min.

각되는 시간이 짧아 아직 피라미드 형의 모양의 크기가 작고 표면에 드물게 형성된 것을 알 수 있다. 보이지 않고 있다. Fig. 4(d)~(f)에서는 피라미드 모양의 크기가 커지고, Fig. 4(f)에서는 45분 정도 지나서 표면 전체적으로 고르게 식각이 된 모습을 확인할 수 있다. 특히 Fig. 4(a)와 Fig. 4(b)는 5분과 10분 동안 에칭한 표면사진인데 5분동안 에칭한 것은 10분 동안 에칭한 것보다 피라미드가 국부적으로 많이 형성된 모습이다. 그러나 표면 전체적으로 고르게 에칭되지는 않았다. 이에 비하면 10분 동안 에칭한 사진은 표면 전체적으로 고르게 피라미드가 분포되어 있다. Fig. 3의 반사도를 비교해 보았을 경우 10분동안 에칭한 샘플에서 반사도는 감소된 것으로부터 실리콘 태양전지의 표면 texturing 공정은 표면 전체적으로 고르게 에칭하는 것이 효율을 높이는데 기여도가 큰 것을 알 수 있다.

Table 1은 5분~45분 KOH 혼합용액에서 에칭한 샘플에 대하여 도핑공정과 은과 알루미늄을 이용하여 스크린 프린팅 방법으로 전극을 올린 후 Solar simulator를 이용하여 효율을 측정된 결과를 나타내고 있다. 45분 texturing 공정을 한 샘플에서 효율이 5.3%를 얻을 수 있었다. 표면 texturing 공정을 어떻게 하느냐에 따라서 효율이 0.12~5.3 %까지 차이가 크게 나는 것을 확인할 수 있다. Table 1로부터 효율이 증가하는 요인을 보면 전류밀도와 최대전류의 파라미터가 급격히 증가하는 것을 알 수 있고 texturing 공정이 실리콘 태양전지 셀의 직류저항의 값을 감소시키는데 크게 기여하고 있음을 알 수 있다. 전류의 값이 크게 변하는 것에 비하여 전압의 변화는 크지 않는 것을 확인할 수 있다.

Fig. 5는 20분, 40분, 45분 texturing한 샘플의 효율을 얻기 위하여 측정된 I-V 특성곡선을 보여준다. F.F 파라미터를 얻어내기 위한 곡선의 특성이 확연히 차이가 나는 것

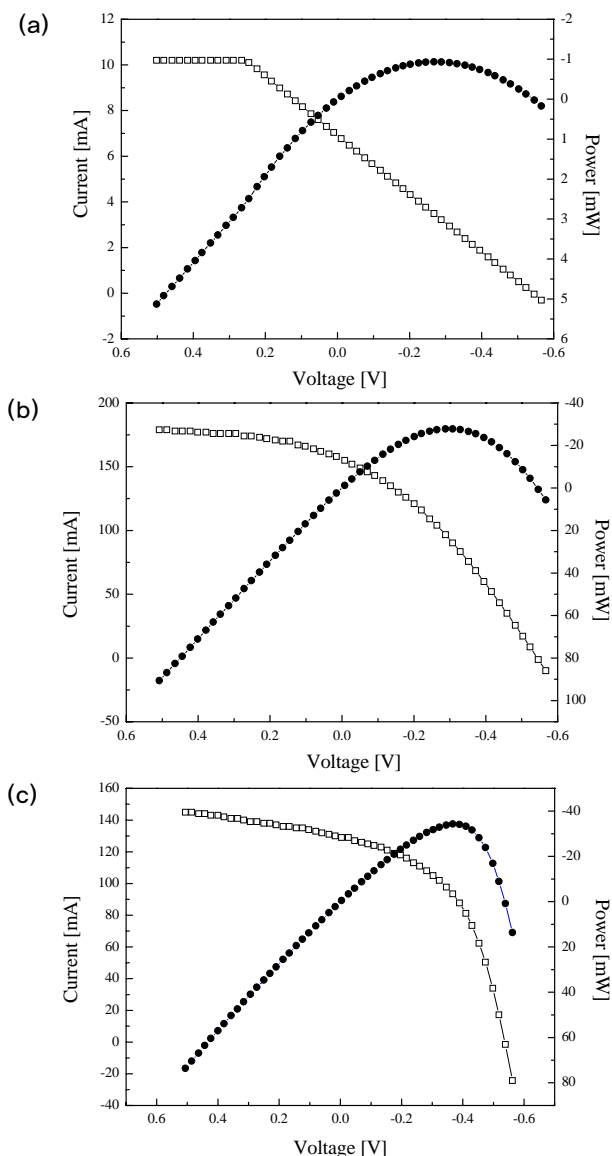


Figure 5. (a) I-V curve of textured samples with (a) 20 min, (b) 40 min, (c). 45 min.

Table 1. Efficiency of Si cell textured by KOH etching solution with various etching times.

| Parameter | Unit | Time | | | |
|------------------|--------------------|------------|------------|------------|------------|
| | | (a) 10 min | (d) 20 min | (b) 40 min | (c) 45 min |
| Voc | V | 0.543 | 0.543 | 0.543 | 0.543 |
| Jsc | mA/cm ² | 0.892 | 1,256 | 28,320 | 29,044 |
| I _{max} | mA | 2,463 | 3,485 | 90,305 | 96,085 |
| V _{max} | V | 0.268 | 0,268 | 0,308 | 0,308 |
| I _{sc} | mA | 4,906 | 6,904 | 155,676 | 159,654 |
| FF | % | 24,77 | 24,9 | 27,90 | 34,10 |
| P _{max} | mW | 0,659 | 0,933 | 27,822 | 29,574 |
| Eff. | % | 0,12 | 0,17 | 5,06 | 5,38 |

을 확인할 수 있고 전력을 나타내는 곡선이 많이 개선된 것을 알 수 있다.

V. 결 론

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 SEM 분석을 이용하여 살펴보았다.

Texturing된 표면의 상태에 따른 효율을 조사해 보면 피라미드형의 구조가 전체적으로 고르게 발달되어 있는 샘플에서 효율이 가장 높게 나타났다. 표면에 texturing 상태가 양호하게 되면 태양 빛의 흡수율이 높아지면서 전류 밀도를 증가시키고 전류의 양을 증가시켰으며, 직렬저항 성분이 줄어든 것을 확인하였다. 곡선인자는 효율에 직접적인 영향을 미치는 파라미터로써 태양전지 성능평가의 척도가 되는 요소인데, 직렬저항 성분의 감소는 곡선인자 (FF)를 높였으며 효율이 증가되는 요인으로 작용하였다.

감사의 글

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No.

한국연구재단에서 부여한 과제번호 : 20100003374).

참고문헌

- [1] M. H. Ahn, E. S. Cho, and S. J. Kwon, J. Korean Vacuum Soc. **18**, 440-446 (2009).
- [2] M. Y. Levy and C. Hongserg, IEEE, transactions on Electron Devices, **55**, 706-711 (2008).
- [3] J. Kim, J. Korean Phys. Soc. **50**, 1168-1171 (2007).
- [4] B. Postels, A. Kasprzak, T. Buergerl, A. Bakin, E. Schlenker, H. H. Wehmann, and A. Waag, J. Korean Phys. Soc. **53**, 115-118 (2008).
- [5] A. Bolonkin, IEEE, Transactions on Aerospace and Electronic Systems **44**, 1538-1542, (2008).
- [6] V. M. Aroutiounian, K. R. Maroutyan, A. L. Zatikyan, and K. J. Touryan, Thin Solid Films **517**, 4403-4404 (2002).
- [7] M. S. Jeon, S. Yoshiba, and K. Kamisako, J. Korean Phys. Soc. **54**, 194-199 (2009).
- [8] H. Jin, S. K. Oh, H. J. Kang, and J. C. Lee, J. Korean Phys. Soc. **51**, 1042-1045 (2007).
- [9] C. Ornaghi, M. Stoger, G. Beaucarne, J. Poortmans and P. Schattschneider, IEE Proc-Circuits Devices Syst. **150**, 287-291 (2003)
- [10] J. J. Lee, B. H. Sung, J. D. Lee, C. Y. Park, and K. H. Kim, J. Korean Vacuum Soc. **18**, 459-467 (2009).

Study on the Efficiency of Si-cell Depending on the Texturing

Teresa Oh*

School of Electronic and Information Engineering, Cheongju University, Cheongju 360-764

(Received February 9, 2011, Revised April 15, 2011, Accepted April 23, 2011)

Si-cell was prepared with various types owing to the etching times textured by the KOH etching solution. The pn junction for solar cell was prepared on p-type Si wafer by the furnace using the POCl_3 and oxygen mixed precursor, and the metalization was done using by the Al back electrode and Ag front electrode. Textured Si surface was etched by the pyramid formation. The efficiency and the fill factor was increased in the Si-cell with a large size of pyramids, because of the series resistances decrease depending on the increasing of the photon absorbance. Increasing of the absorbance occurred the induction of the short current and open voltage, and then the efficiency was increased.

Keywords : Fill factor, Efficiency, Solar cell, Texturing

* [E-mail] teresa@cju.ac.kr