

다공성 실리콘 막을 적용한 결정질 실리콘 태양전지 특성 연구

이 은주¹⁾, 이 일형²⁾, 이 수홍³⁾

Investigation of the crystalline silicon solar cells with porous silicon layer

Eunjoo Lee, Ilhyung Lee, Soohong Lee

Key words : Solar cell(태양전지), Porous silicon(다공성 실리콘), Anti-reflection coating(반사방지막), Reflectance(반사율)

Abstract : Reduction of optical losses in crystalline silicon solar cells by surface modification is one of the most important issues of silicon photovoltaics. Porous Si layers on the front surface of textured Si substrates have been investigated with the aim of improving the optical losses of the solar cells, because an anti-reflection coating(ARC) and a surface passivation can be obtained simultaneously in one process. We have demonstrated the feasibility of a very efficient porous Si ARC layer, prepared by a simple, cost effective, electrochemical etching method. Silicon p-type CZ (100) oriented wafers were textured by anisotropic etching in sodium carbonate solution. Then, the porous Si layers were formed by electrochemical etching in HF solutions. After that, the properties of porous Si in terms of morphology, structure and reflectance are summarized. The structure of porous Si layers was investigated with SEM. The formation of a nanoporous Si layer about 100nm thick on the textured silicon wafer result in a reflectance lower than 5% in the wavelength region from 500 to 900nm. Such a surface modification allows improving the Si solar cell characteristics. An efficiency of 13.4% is achieved on a monocrystalline silicon solar cell using the electrochemical technique.

subscript

PSi : Porous Silicon

ARC: Anti-Reflection Coating

1. 서론

최근 결정질 실리콘 태양전지의 반사방지막으로 PSi 막에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. PSi의 경우 microelectronics, photoelectronics 등 응용분야가 다양하고, photovoltaics에도 이미 여러해 전부터 광범위하게 연구되어 적용된 사례가 보고되었다.⁽¹⁻⁵⁾ PSi는 HF(Hydrofluoric) solution에서 electrochemical etching과 chemical etching 이라는 두 가지 방법으로 얻을 수 있다. 두 방법 모두 부분적인 porous selective emitter를 갖는 새로운 type의 photovoltaic cell을 제작하

기 위해 사용된다. chemical etching법은 대량생산에 적용 가능 하지만, PSi 형성 기구가 여러가지 외부 변수(HF solution concentration, temperature, etching time)에 의해 제어되는 결점이 있다. 이에 반해 electrochemical etching법은 PSi의 porosity를 결정하기 위한 주요 parameter가 current density 이므로 막 구조 제어가 용이하고 재현성 있는 결과를 얻을 수 있기 때문에 태양전지 제작 공정에 적용 가능한 방법으로 기대된다. 태양전지에서 PSi layer는 여러

- 1) 세종대학교 전략에너지개발사업단
E-mail : eunjoo@sju.ac.kr
Tel : (02)3408-3879 Fax : (02)3408-4157
- 2) 한국과학기술정보연구원
E-mail : ihlee@kisti.re.kr
Tel : (02)3299-6013 Fax : (02)3299-6020
- 3) 세종대학교 전략에너지개발사업단
E-mail : shl@sejong.ac.kr
Tel : (02)3408-3726 Fax : (02)3408-4157

가지 역할을 할 수 있는데, 일반적으로 ARC로 이용하는 방법이 잘 알려져 있다. 이 밖에도, 표면에 요철 구조를 만들어 light trapping 효과를 증대시키거나, single emitter를 형성한 cell에서 전극부분을 제외하고 P_{Si} layer를 형성하여 selective emitter를 만드는 효과를 얻을 수 있는 등의 다양한 역할을 할 수 있다.

본 연구에서는 단순한 구조의 결정질 실리콘 태양전지 표면에 P_{Si} layer를 적용하여 그 특성을 관찰 및 평가하였다. P_{Si}를 적용함으로써 ARC 역할은 물론 selective emitter 효과를 얻을 수 있을 것으로 기대되었으며, 제작공정 또한 간소화 할 수 있을 것으로 예상되었다.

2. 실험

2.1 Porous Si 형성

P_{Si} 형성을 위한 용액은 HF, Ethanol, DI water의 혼합용액을 사용하였으며, 그림1과 같이 특수 제작된 single tank type의 Teflon bath에서 전류를 공급하였다. 실리콘 기판에 전류를 공급하기 위해 Potentiostat(WMPG 1000)을 이용하였으며, 약 5~100mA/cm²의 전류밀도로 수초~수십초 동안 electrochemical etching을 진행하였다. 양극에 Si 기판을, 음극에 Pt plate를 연결하고 용액내에서 전류를 흘려주었다. P_{Si} layer 형성을 위해 3cm x 3cm 크기의 단결정 Si 기판을 준비하였다. 각 기판은 RCA cleaning으로 표면에 오염을 제거하였고 희석된 HF 용액에서 native oxide를 제거하였다.

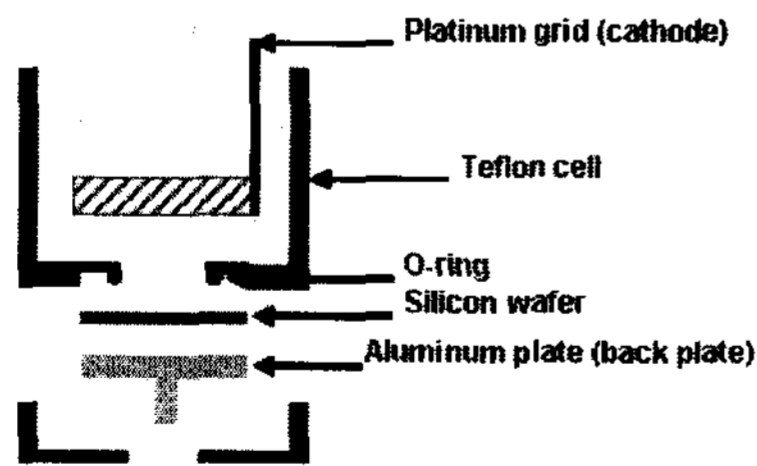


Fig. 1. The schematic of a conventional single tank

2.2 태양전지 제작

3cm x 3cm 크기의 단결정 CZ p-type Si 기판을 이용하여 태양전지를 제작하였다. 기판은 RCA cleaning을 통해 표면의 오염물질을 제거하였다. pn junction을 형성하기 위해 전면에 phosphorous

solid source를 이용하여 diffusion을 하였다. Screen printing 방식으로 전후면에 각각 Ag와 Al 전극을 형성하였다. 전극 형성 후 conventional annealing furnace에서 약 700~800℃, 1~10분 정도 co-firing을 진행하였다. 최종적으로 전면에 P_{Si} layer를 형성하였다. 다음 그림2에 태양전지 제작과정을 간단히 나타내었다.

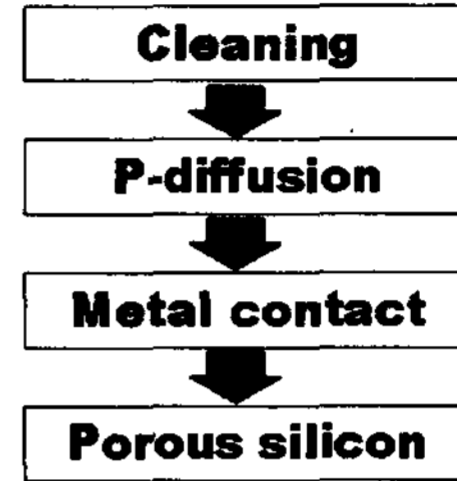


Fig. 2. Fabrication process of solar cell

3. 결과 및 고찰

단결정 실리콘 표면에 광학적 손실을 줄이기 위한 방법으로 AR coating을 위해 표면에 porous Si layer를 형성하였다. 형성 조건에 따른 구조적, 광학적 특성을 분석하고, 태양전지에 적용 가능한 최적의 조건을 선정하여 단순한 구조의 태양전지를 제작하였다.

3.1 P_{Si} layer 특성

Porosity는 반사방지막의 특성을 결정하는 중요한 파라미터이다. 특히 다공성 실리콘 막의 porosity와 두께는 입사하는 빛의 굴절 각도를 변화시키기 때문에 P_{Si} layer의 반사도에 크게 영향을 준다.

Porosity를 구하는 식은 다음과 같다.

$$porosity(\%) = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_3} \quad \text{식(1)}$$

식(1)에서 m₁은 초기 실리콘 기판의 무게이고, m₂는 P_{Si} layer 형성 후 기판의 무게이다. m₃는 P_{Si} layer를 기판으로부터 제거한 후의 무게를 나타낸다. 그림3에 전류밀도에 따라 측정된 porosity를 그래프로 나타내었다.

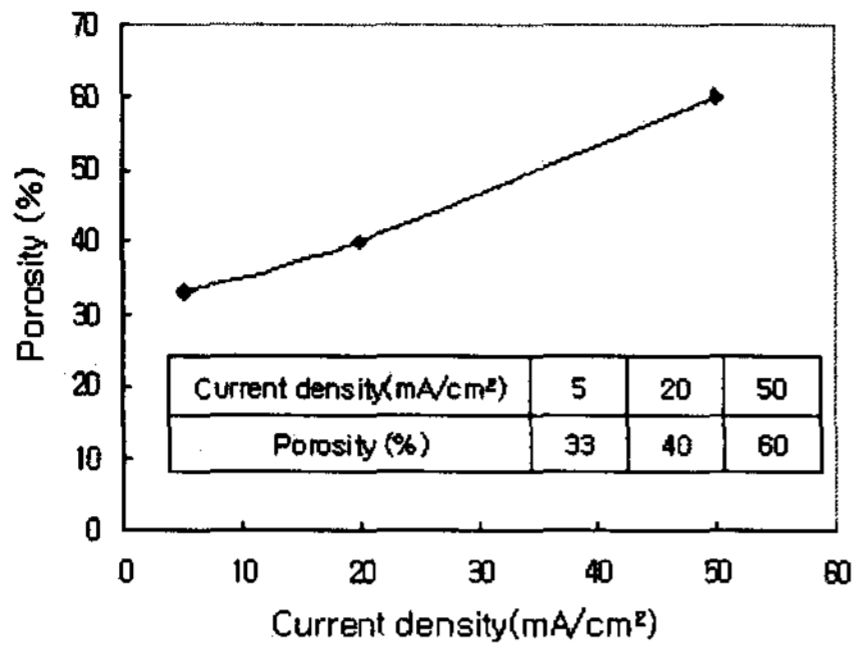


Fig. 3. Porosity as a function of current density

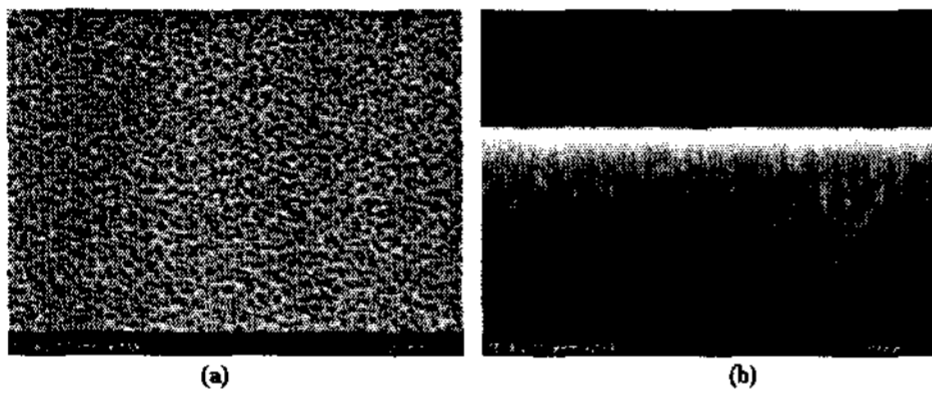


Fig. 4. SEM image of a PSi layer (a) surface and (b) cross section

그림 4에 형성된 PSi layer의 표면 및 단면 특성을 SEM으로 관찰하여 나타내었다. 관찰한 Layer는 그림2에서 얻은 결과를 토대로 porosity가 60%로 예상되며, 막의 두께는 약 100nm로 평가되었다. 기공의 분포는 PSi이 형성된 전 영역에서 고르게 관찰되었고, 형성 두께 또한 기판의 대부분 영역에서 일정하게 나타남을 알 수 있었다.

PSi layer의 표면 반사율 특성을 평가하기 위하여 그림 5와 같이 reflectance를 측정하였다. 표면 반사율 측정결과 Bare Si 표면의 경우 그림5(a)와 같고, PSi 형성 후 표면 반사율 측정 결과는 b, c, d와 같다. PSi 형성 조건에 따라 표면 반사율은 400-1000nm 파장 영역에서 차이를 나타내고 있으며, Bare Si 기판에 비교해서는 표면 반사가 현저히 낮아지는 것을 확인할 수 있다.

그림 6에는 단결정 실리콘 기판 표면에 random pyramid만 형성한 경우, PSi만 형성한 경우, pyramid와 PSi를 함께 형성한 경우 각각의 반사율을 나타내었다. 표면에 pyramid를 형성한 경우 최소 반사율이 약 12%로 낮아졌으며, PSi를 형성한 경우 최소 약 5%까지 반사율을 낮출 수 있었다.

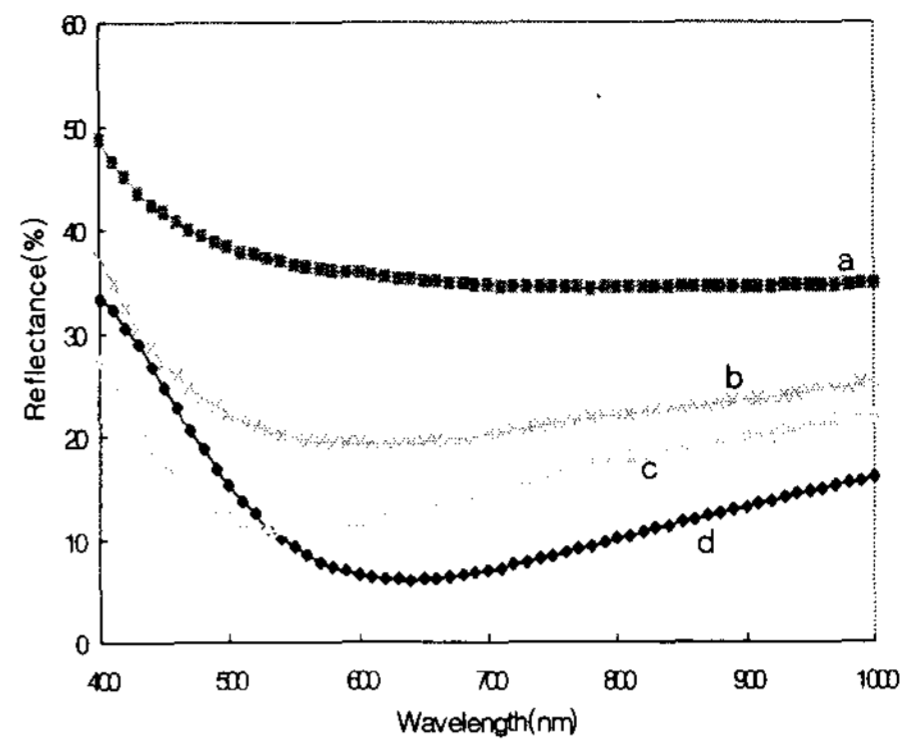


Fig. 5. The reflectance of mono-crystalline silicon with and without the PSi layer

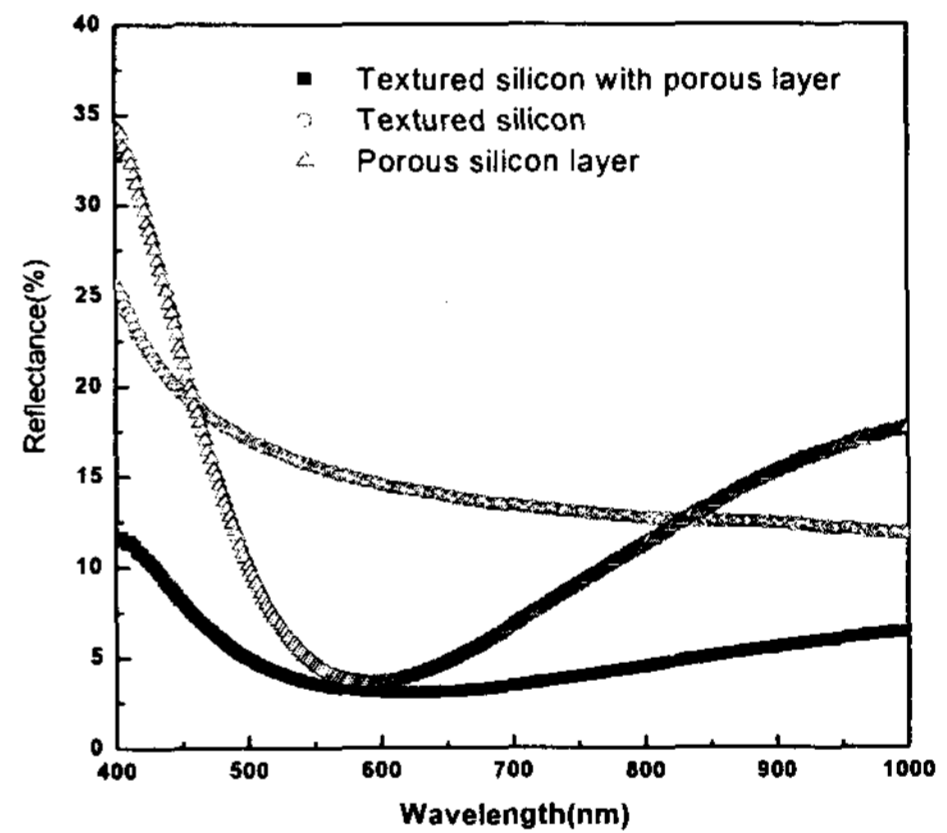


Fig. 6. The reflectance of textured mono-crystalline silicon with and without the PSi layer

표면에 pyramid와 PSi를 함께 적용한 경우에는 400nm-1000nm의 파장 영역에서 전체적으로 현저히 낮은 반사율을 나타냄으로써, 최소 반사율 약 4%까지 도달하였다. 이것은 단결정 실리콘 기판 표면에 KOH etching으로 texturing을 하고, SiO₂ 또는 MgF₂나 ZnS 등으로 ARC를 형성한 경우의 표면 반사율 측정 결과에 비해 매우 우수한 결과임을 알 수 있다.^(1,6) 또한 일반적인 ARC 형성 공정에 비해 PSi의 경우 제작이 용이하고 비용이 저렴한 장점도 있다. 따라서, 작은 크기의 pyramid를 형성하고, 그 위에 PSi layer를 제작한 표면 처리는 태양전지의 short circuit current density 증가는

물론 제작 공정비용 감소에도 큰 역할을 할 수 있을 것으로 기대된다.

3.2 태양전지 특성 평가

PSi layer를 적용한 screen printing 태양전지가 제작되었다. 면적 4cm² 크기의 태양전지를 제작하여 I-V 특성을 평가한 결과 그림 7과 같은 곡선을 얻을 수 있었으며, 주요 parameter는 Voc(Open circuit voltage) = 584mV, Isc(Short circuit current)= 0.13A, FF(Fill factor)= 76.8%, Efficiency= 13.4% 로 평가되었다. PSi layer를 적용하지 않은 경우에 비해 약 20% 이상의 성능 향상을 나타내었다.

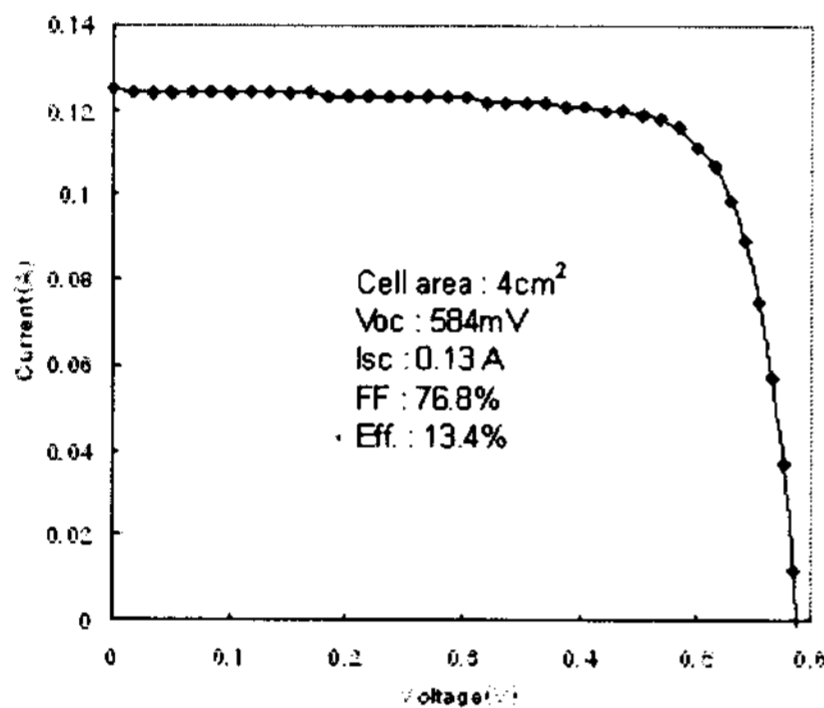


Fig. 7. The I-V curve for the solar cell with porous silicon layer

4. 결론

본 연구에서는 Porous Si layer를 적용하여 결정질 실리콘 태양전지를 제작하고 그 특성을 평가하였다. PSi layer는 반사방지막의 역할은 물론 단순한 구조의 screen printing 태양전지에서 selective emitter 효과 또한 얻을 수 있는 효율적인 방법으로 논의되고 있으며, 단결정 및 다결정 실리콘 기판에 모두 적용 가능한 장점이 있다. 특히 texturing이 어렵고, 공정비용을 감소시켜야하는 다결정에서는 더욱 효과적인 방법이 될 수 있다. Screen printing 방식으로 전극을 형성한 태양전지 표면에 PSi을 형성한 경우 면적 4cm²에서 13.4%의 변환효율을 얻을 수 있었다. 향후 기본 공정의 최적화와 표면 texturing을 적용하면 태양전지 변환효율을 크게 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

본 연구는 서울시 전략산업 혁신클러스터 육성 지원사업의 지원으로 수행되었습니다.

References

- [1] Y.S.Tsuo et al., Proc. 23rd IEEE Photovoltaic Specialists Conf., Louisville, Kentucky, May 1993, p.287
- [2] Z.N.Adamian et al., "Investigations of solar cells with porous silicon as antireflection layer", Solar Energy Materials & Solar Cells 64, pp. 347-351, 2000
- [3] R.R.Bilyalov et al., "Multicrystalline silicon solar cells with porous silicon emitter", Solar energy materials & Solar cells, 60 (2000) pp.391-420
- [4] Leigh Canham, "Properties of porous silicon", UK, INSPEC, 1997, p.405
- [5] P.Menna, G.Di Francia, V.La Ferrara, "Porous silicon in solar cells: A review and a description of its application as an AR coating", Solar Energy Materials & Solar Cells, 37 (1997) 13
- [6] C. Palsule et al., "Electrical and optical characterization of crystalline silicon/porous silicon heterojunctions", Solar Energy Materials & Solar Cells, 46 (1997) 261