

다공성 실리콘 반사방지막을 적용한 단결정 실리콘 태양전지에 대한 연구
 Investigation of porous silicon anti-reflection coatings
 for monocrystalline silicon solar cells

김범호^{a,*}, 최준영^a, 이은주^a, 이수홍^a
 (a) 세종대학교 전략에너지개발사업단

초 록: 본 연구에서는 태양전지 표면에 입사된 빛의 반사율을 최소화하기 위해서 단결정 실리콘 기판 표면에 다공성 실리콘층을 적용하여 반사방지막(Anti-Reflection Coating, ARC)을 형성하는 실험을 하였다. 다공성 실리콘(Porous silicon, PSi)은 실온에서, 기판 성질에 따라 일정 비율로 만든 전해질 용액(HF-C₂H₅OH-H₂O)을 사용하여 실리콘 표면을 양극산화처리 함으로써 단순 공정만으로 실리콘 기판의 반사율을 낮출 수 있다. 본 연구는 일정한 면저항을 가지는 단결정 실리콘 기판에 다공성 실리콘층을 여러 조건으로 형성하여 반사방지막으로써의 특성을 비교 분석하였다.

1. 서 론

태양전지의 효율을 감소시키는 여러 요인 중 에너지 변환 효율 향상을 위해 가장 먼저 개선해야 할 요인은 광학적 손실이다. 이 광학적인 손실은 실리콘 표면에서의 빛의 반사에 의한 손실로, 이를 줄이는 방법으로는 texturing[1]과 반사방지막(anti-reflection coating)[2] 형성이 있다. 반사방지막은 그 재료와 디자인에 따라 반사정도가 달라지며, texturing 구조는 cell 전체에 입사된 빛의 약 10%의 반사 손실을 줄일 수 있다[3,4].

Porous silicon(다공성 실리콘, PSi)은 짧은 공정 시간과 별다른 장비 없이 간단하게 형성할 수 있는 반사방지막으로써 크게 각광받고 있다. PSi는 HF-C₂H₅OH-H₂O로 이루어진 수용액에 실리콘 기판을 담가 기판 조건에 따라 일정한 전류를 흘려줌으로써 기판 표면에 정공(hole)을 주입하는 양극산화(anodization) 식각을 통해 형성된다[5]. 이를 통해 형성된 PSi는 반사방지막 기능 외에도 표면 보호막(surface passivation)의 역할을 하여 태양전지의 효율을 극대화 할 수 있는 장점이 있다[6,7].

본 연구에서는 PSi를 형성하는 공정 및 특성을 이해하고 반사방지막으로써의 역할을 극대화 할 수 있는 방안에 대한 연구 결과를 기술하였다.

2. 본 론

2.1 Preparation

본 실험에 사용된 단결정 실리콘 웨이퍼는 붕소(Boron)가 도핑된 CZ p-type, (100)으로 비저항이 0.4~1.0 Ωcm이고, 3.3 X 3.3 cm의 크기를 가진다. 기판은 RCA I, RCA II 기법으로 세정한 후, HF에 수 초 동안 담가 표면에 생긴 자연산화막(native oxide)을 제거한다.

기판 위에 n⁺ emitter를 형성해주기 위해 phosphorous solid source를 사용하여 conventional furnace에서 920℃, 1시간 동안 diffusion 해주었다. 공정은 N₂ 분위기에서 진행되었으며, 이 공정조건은 면저항이 약 20~22Ω/□(avg.)인 조건이다. PSi는 실리콘 웨이퍼의 면저항에 따라 그 특성이 달라지는데 본 실험에서는 면저항을 일정하게 하여 실험 변수를 최소화 하였다.

전류 공급은 WMPG 1000(WonATech.) Potentiostatic

cycle mode로 하였으며, 수용액을 담기 위한 bath로는 전기화학적으로 안정한 테프론(PTFE) 재질로 자체 제작하여 사용하였다. 또한, 전극으로 음극(cathode)에는 백금(Platinum)을 사용하였고 양극(anode)인 silicon에 Al를 붙여 사용하였다.

2.2 Porous silicon formation

실험은 HF : C₂H₅OH : H₂O = 1 : 2 : 1의 혼합 용액에 준비된 기판을 담가 전류를 흘려주었다. 이 때 웨이퍼의 표면의 연마작용으로 인한 박리 현상(Peeling off)을 막기 위해 임계전류 밀도 보다 약한 전류 밀도를 공급했다[6]. 공정 변수는 표 1.과 같이 각각 5-50 mA/cm²의 전류밀도로 1-35 초 사이에서 시간을 달리하면서 전기화학 에칭을 하였다.

표 1. 공정 변수.

전류밀도	5 mA/cm ²	10 mA/cm ²	20 mA/cm ²	50 mA/cm ²
식각시간	5~35sec 2sec씩 변화	5~35sec 2sec씩 변화	5~35sec 2sec씩 변화	5~35sec 2sec씩 변화

PSi 형성과정 시 표면의 균일한 에칭과 전기화학적 식각의 부산물인 수소 가스(H₂)의 영향을 최적화하기 위해 magnetic stirring bar를 동작 시켰다. 다공(pore)이 형성된 실리콘 기판은 SEM(Scanning Electron Microscope)으로 표면 및 단면을 분석하고 reflectance를 측정하였다.

3. 결 론

3.1 결과 및 고찰

아래의 그림 1.은 단결정 실리콘 기판을 표 1.의 조건과 같이 공정한 결과 중 각각의 전류밀도에서 반사율이 가장 낮은 결과를 SEM으로 촬영한 다공성 실리콘의 표면과 단면의 모습이다. 사진의 분석 결과 두께는 각각 약 100-150nm의 PSi layer가 형성되었고, 다공의 크기는 약 5-10nm 이었다.

다공성 실리콘의 두께와 다공의 크기 외에 다공성도(porosity)는 반사방지막의 특성을 결정하는 주요한 파라미터이다. 특히 다공성 실리콘의 porosity와 두께는 입사하는 빛의 굴절 각도를 변화시키므로 porous layer의 반사도에 크게 영향을 준다.

다공성도를 구하는 식은 아래와 같다.

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

m₁은 공정 전 실리콘 기판의 무게이고, m₂는 공정 후 PSi layer가 형성된 기판의 무게이다. m₃는 알카리 용액으로 PSi layer를 제거한 기판의 무게를 나타낸다[8]. 위 식을 적용한 기판의 porosity는 약 60%로 나타났다.

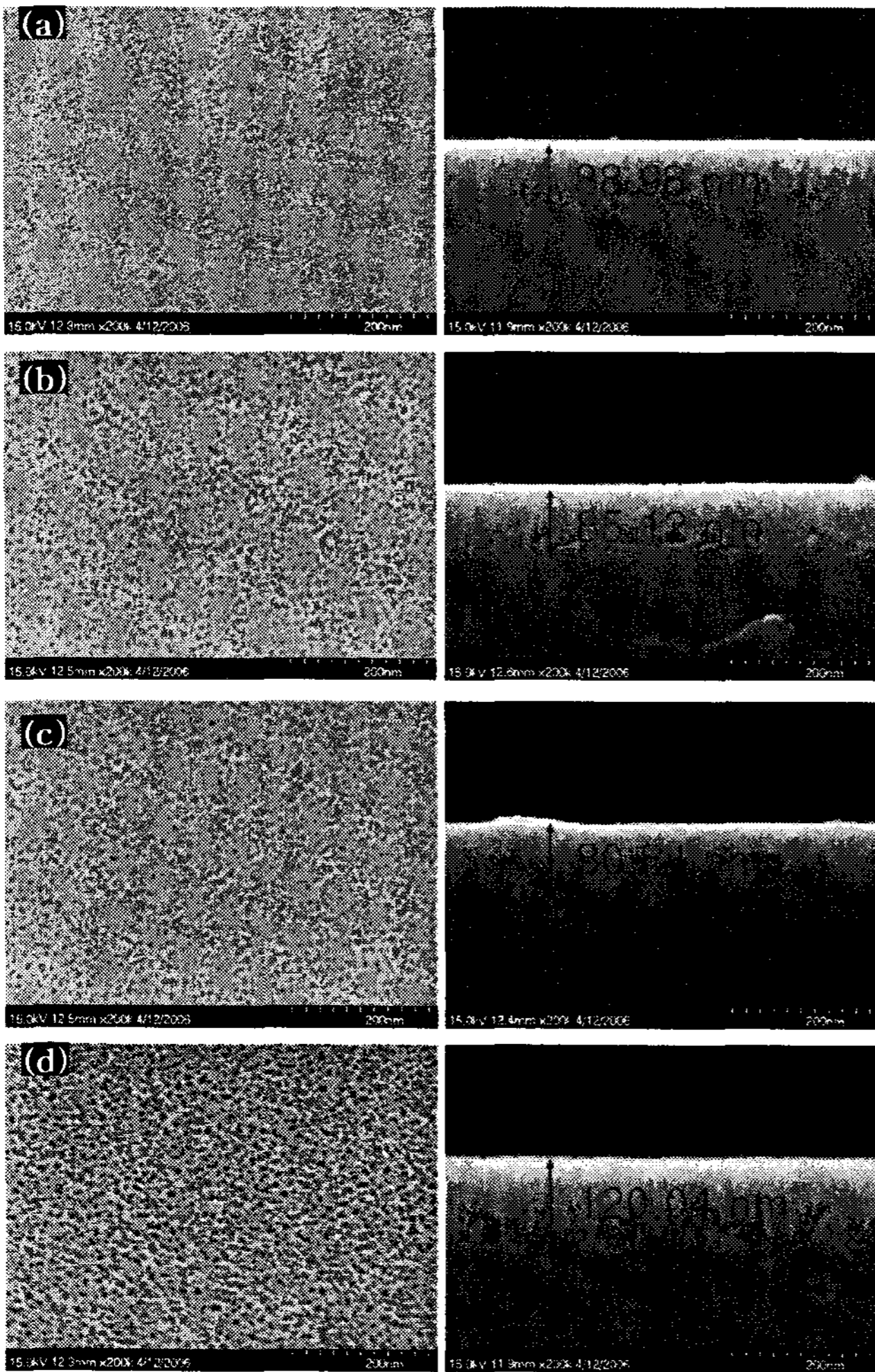


그림 1. (a) 5 mA/cm², 25 sec, (b) 10 mA/cm², 13 sec, (c) 20 mA/cm², 7 sec, (d) 50 mA/cm², 5 sec 의 조건으로 양극산화식각하여 형성한 다공성 실리콘의 표면과 단면 SEM 촬영사진(×200,000).

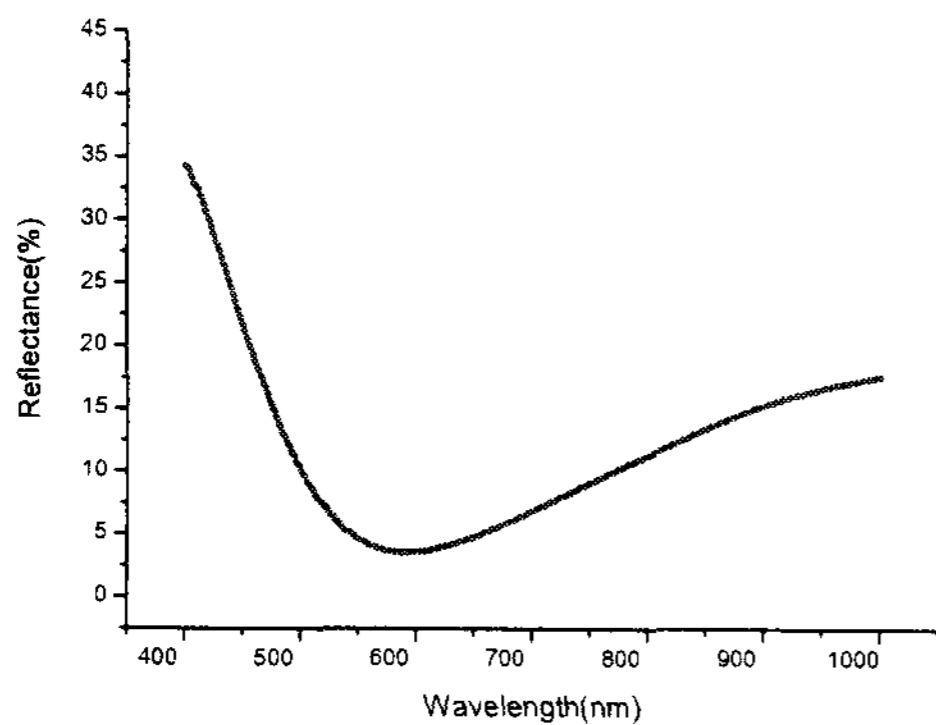


그림 2. 20 mA/cm², 7 sec의 조건으로 P₃Si를 형성한 실리콘기판의 표면반사율

그림 2는 20 mA/cm²의 전류밀도로 7 sec동안 형성한 P₃Si layer가 있는 기판을 400-1000nm 파장 영역에서 측정한 reflectance spectra를 나타낸 것이다. 산화 이전의 실리콘 기판의 반사율이 30% 이상[9]인 것에 비해 다공성 실리콘은 400nm 이상의 영역에서 30% 이하의 반사율을 보였고, 특히 500-780nm 파장 영역에서는 10% 미만의 반사율이

측정되었다.

3.2 결론

본 실험은 수십 초 동안 전기화학적 양극산화 과정으로 P₃Si layer를 형성하여 반사율을 줄였으며, 상용화 되고 있는 반사방지막 층과 비교하여 넓은 파장 대역에서 평균 반사율을 얻는데 성공하였다. 본 연구를 통해 규명된 반사방지막으로써의 다공성 실리콘에 대한 이점은 다음과 같다. 먼저 기존 반사방지막인 MgF₂나 SiO₂(n:~1.5)[9]에 비해 비교적 낮은 반사도를 가지며 보다 빠르고 간편해진 공정으로 형성이 가능하다. 또한 일반 염기성 액체에 의한 식각 공정과 달리 결정방향에 의한 제약 없이 원하는 형태로 제작할 수 있다. 무엇보다 태양전지에 적용시 선택적 에미터 효과로 인한 태양전지의 전반적인 효율향상을 기대할 수 있다. 이는 기존의 진공 장비로 장시간동안 공정을 거치지 않고 실온에서 수십 초 안에 형성 될 수 있어 태양전지 산업에 큰 파급 효과를 가져 올 것으로 기대가 된다.

따라서 위 결과를 통해 다공 형성 요인들에 대한 연구를 지속적으로 진행함으로써 screen-printed solar cell을 포함한 다른 결정질 태양전지에 적합한 반사방지막 특성을 얻고자 한다.

감사의 글

본 연구는 산자부 국책연구개발사업의 지원으로 이루어 졌습니다.

참고 문헌

- [1] P. Campbell, M. A. Green, J. Appl. Phys. 243-246, 62, 1987.
- [2] H. Saha, S. K. Datta, K. Mukhopadhyay, S. Banerjee, M. K. Mukherjee, Electron Devices, IEEE Transactions on 39, 1100, 1992.
- [3] H. Saha, S.K. Datta, K. Mukhopadhyay, S. Banerjee, M. K. Mukherjee, Electron Devices, IEEE Transactions on 39, 1100, 1992.
- [4] O.B. Lee, J. Appl. Phys, p.40, 1969.
- [5] S. Strehlke, D. Starti, A. Krotkus, K. Grigoras, C. Lévy-Clément, Thin Solid Films 297, 291, 1997.
- [6] L. Stalmans, J. Poortmans, H. Bender, M. Caymax, K. Said, E. Vazsonyi, J. Nijs, R. Mertens, Prog. Photovolt. Res. Appl. 6, 233-246, 1998
- [7] A. Krotkus, K. Grigoras, V. Pacebutas, Sol. Energy Mater, Sol. Cells 45, 267, 1997.
- [8] Leigh Canham, IEE, INSPEC,, 18, 1997.
- [9] M. A. Green, University of New South Wales, P.O.Box 1, Kensington, N.S.W. 2033, February, 163-164, 1992.