

결정질 태양전지 적용을 위한 다공성 실리콘 반사방지막 특성 분석

이현우, 김도완, 이은주, 이수홍
세종대학교 전자공학과

Investigation of porous silicon AR Coatings for crystalline silicon solar cells

Hyun-Woo Lee, Do-Wan Kim, Eun-Joo Lee, and Soo-Hong Lee
Dept. of Electronic Engineering, Sejong Univ.

Abstract: 본 연구에서는 태양전지 표면에 입사된 광자의 반사손실을 최소화하기 위한 방법으로써 기판 표면에 다공성 실리콘층을 이용한 반사방지막(Anti-Reflection Coating, ARC)을 형성하는 실험을 하였다. 다공성 실리콘(Porous silicon, PSi)은 실온에서 일정 비율로 만든 전해질 용액(HF-C₂H₅OH-H₂O)을 사용하여 실리콘 표면을 양극산화처리 함으로써 단순 공정만으로 실리콘 기판의 반사율을 높일 수 있다. 또한 새로운 레이어(layer)없이 기존 기판을 식각시켜 만들기 때문에 박막형 태양전지를 제작시 적용이 용이하다. 저비용, 단순공정의 이점을 살려 전류밀도에 따른 PSi의 반사방지막으로써의 특성을 비교 분석하였다.

Key word : Anti-reflection coating(ARC), Porous silicon(PSi), solar cell

1. 서론

태양전지의 표면반사를 줄이는 방법으로는 texturing[1]과 반사방지막(anti-reflection coating)[2]이 있다. 그러나 다결정 실리콘 기판의 경우, 그 결정방향(orientation)이 일정하지 않아, 일반 화학적 식각으로는 반사율을 최소로 줄이기가 어렵다[3,4].

이러한 단점을 보완하기 위하여 최근 연구되고 있는 것이 반사방지막으로써의 porous silicon(PSi)이다. PSi는 HF가 포함된 전해질에 실리콘 기판을 담가 전류를 흘려줌으로써 기판 표면에 정공(hole)을 주입하는 양극산화(anodization)[5]식각을 통해 형성된다. 형성 방법으로는 HNO₃를 통한 화학적 에칭과 전류를 흘려주는 전기화학적 에칭이 있다[6]. 이렇게 형성된 PSi는 태양전지에서 반사방지막 이외에 선택적 에미터(selective emitter)[5,7]와 표면보호막(surface passivation)[6,8]의 역할을 함으로써 태양전지 효율의 극대화에 기여한다.

본 논문에서는 PSi를 형성하는 공정을 이해하고 PSi의 특성 및 태양전지와의 적합성에 대해 연구 및 기술하였다.

2. 실험

2.1 Materials

본 실험에서 사용된 단결정 실리콘 웨이퍼는 붕소(Boron)가 도핑된 Cz p-type, (100)으로 저항율이 0.4~1.0 Ω·cm이고, 3.3 × 3.3 cm² 크기를 가진다. 기판은 RCA I, RCA II로 깨끗이 세정해준 후, HF에 수 초 동안 담가 표

면 산화막을 제거한다.

기판 위에 n⁺ 에미터를 형성해주기 위해 conventional furnace에서 920℃에서 1시간 동안 diffusion 해주었다. 공정은 N₂ 분위기에서 진행되었으며 phosphorous solid source를 사용하였다. 공정 후 4 point probe로 면저항을 측정할 결과 약 20-25Ω□ (avg.)로 측정되었다.

2.2 Porous silicon formation

전기 화학 에칭 실험은 HF, EtOH, H₂O의 혼합 용액에 준비된 기판을 담가 전류를 흘려주었다. 전류밀도 공급은 (WMPG 1000, WonATech.) Potentiostatic mode로 공급을 하였다. 이 때 웨이퍼의 표면의 연마작용으로 인한 박리 현상(Peeling off)을 막기 위해 임계전류 밀도 보다 약한 전류 밀도를 공급했다[6]. 각각 5-50 mA/cm²의 전류밀도로 1-35 초 사이에서 시간을 달리하면서 전기화학 에칭을 하였다. 전기화학적으로 안정한 테프론(PTFE) 재질로 자체 제작한 bath를 사용하였으며, 전극은 음극(cathode)에는 백금(Platinum)을 사용하였고 양극(anode)인 silicon에 Al를 붙여 사용하였다. 또한, 다공성 실리콘 형성과정 시 표면의 균일한 에칭과 전기화학적 식각의 부산물인 수소 가스(H₂)의 영향을 최적화하기 위해 magnetic stirring bar를 동작시켰다. 다공이 형성된 실리콘 기판은 SEM(Scanning Electron Microscope)으로 표면 및 단면을 분석하고 reflectance를 측정하였다.

3. 결과 및 고찰

아래의 그림1은 단결정 실리콘 기판을 50mA/cm²의 전류밀도로 약 4-5초간 양극산화공정을 한 사진으로 SEM으로 촬영한 다공성 실리콘의 표면과 단면의 모습이다. 사

진의 분석 결과 두께는 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.

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

m_1 은 공정 전의 실리콘의 무게이고, m_2 는 공정 후 다공이 형성된 기판의 무게이다. m_3 는 알카리 용액으로 다공층을 제거한 기판의 무게를 나타낸다[9]. 위 식을 적용한 기판의 porosity는 약 60%로 나타났다.

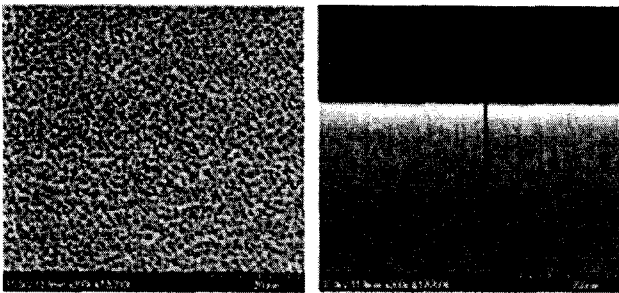


그림 1. 전기화학적 방법으로 형성한 다공성 실리콘의 표면과 단면 SEM 촬영사진($\times 200,000$).

그림 2는 400-1000nm 파장 영역에서 측정한 reflectance spectra를 나타낸 것이다. 산화 이전의 실리콘 기판의 반사율이 30% 이상[10]인 것에 비해 다공성 실리콘은 400nm 이상의 영역에서 30% 이하의 반사율을 보였고, 특히 500-780nm 파장 영역에서는 10% 미만의 반사율이 측정되었다.

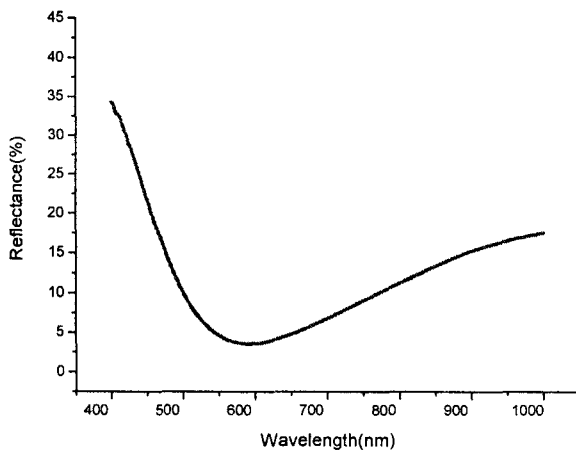


그림 2. 다공성 실리콘의 표면 반사도.

4. 결론

본 실험은 수십 초 동안 전기화학적 양극산화 과정으로 다공성 실리콘층을 형성하여 반사율을 줄였으며, 상용화 되고 있는 반사 방지막 층과 비교하여 넓은 파장 대역에서 평균 반사율을 얻는데 성공하였다. 본 연구를 통해 규명된 반사방지막으로써의 다공성 실리콘에 대한 이점은 다음과 같다. 먼저 기존 반사방지막인 MgF_2 나 $SiO_2(n \sim 1.5)$ [10]에 비해 비교적 낮은 반사도를 가지며 보다 빠르고 간편해진 공정으로 형성이 가능하다. 또한 일반 염기성 액체에 의한 식각공정과 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 형성될 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 서울시 산학연 협력사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

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] M. A. Green, Trans Tech. Publications, PO Box 10, 4711 Aedermannsdorf, Switzerland, 1987.
- [4] P. Menna, G. Di Francia, V. LA Ferrara, Sol. Energy Mater. Sol. Cells 37, 13, 1995.
- [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] R.R. Bilyalov, H. Lautenschetter, F. Schomann, U. Schubert, R. Schindler, Proceedings of the 14th EPSEC Conference, Barcelona, Spain, H. S. Stephens and Associate Publishers, Bedford, UK, 788, 1997.
- [8] A. Krotkus, K. Grigoras, V. Pacebutas, Sol. Energy Mater, Sol. Cells 45, 267, 1997.
- [9] Leigh Canham, IEE, INSPEC, 18, 1997.
- [10] M. A. Green, University of New South Wales, P.O.Box 1, Kensington, N.S.W. 2033, February, 163-164, 1992.