

단결정 실리콘 태양전지에 형성한 다공성실리콘 반사방지막의 선택적 에미터 특성 연구

이현우, 김도원, 이은주, 이수홍
세종대학교 전자공학과

Selective Emitter Effect of porous silicon AR Coatings formed on single crystalline silicon solar cells

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

Abstract: We investigated selective emitter effect of Porous Silicon (PSi) as antireflection coatings (ARC). The thin PSi layer, less than 100nm, was electrochemically formed by electrochemical method in about $3\mu\text{m}$ thick n^+ emitter on single crystalline silicon wafer (sc-Si). The appropriate PSi formations for selective emitter effect were carried out a two steps. A first set of samples allowed to be etched after metal-contact processing and a second one to evaporate Ag front-side metallization on PSi layer, by evaluating the I-V features. The PSi has reflectance less than 20% in wavelength for 450-1000nm and porosity is about 60%. The cell made after front-contact has improved cell efficiency of about in comparison with the one made after PSi. The observed increase of efficiency for samples with PSi coating could be explained not only by the reduction of the reflection loss and surface recombination but also by the increased short-circuit current (I_{sc}) within selective emitter. The assumption was confirmed by numerical modeling. The obtained results point out that it would be possible to prepare a solar cell over 15% efficiency by the proposed simple technology.

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

1. 서론

일반적인 결정질 실리콘 태양전지(solar cells)는 p-n 접합의 내부 전위차를 가진 diode에 광 조사시 발생한 전자-정공 쌍에 의한 광기전력 효과(photovoltaic effect)에 의해 조사된 포톤 속 밀도(photon flux density)에 비례한 전류를 생성한다. 따라서 태양전지의 고효율화를 위해서는 표면에 조사되는 빛의 흡수가 매우 중요하다[1,2]. 이와 같이 반사 손실을 감소시키는 태양전지의 구조를 광 가둠 구조(Light Trapping)라 한다.

광 가둠 구조에는 표면 텍스처링(texturing)[3]과 반사방지막(anti-reflection coating)[4]이 있다. 반사방지막으로써의 porous silicon(PSi)은 매우 효율적인 구조로써 반사방지막의 역할 뿐 아니라 표면 보호막(surface passivation)[5,6]의 역할을 함으로써 태양전지 효율의 극대화에 기여한다. PSi는 HF가 포함된 전해질에 실리콘 기판을 담가 전류를 흘려줌으로써 기판 표면에 정공(hole)을 주입하는 양극산화(anodization)[7] 식각을 통해 형성된다. 이외에도 PSi는 전극과의 형성 순서에 따라 선택적 에미터(selective emitter)[7,8]의 역할을 수행한다. 선택적 에미터는 태양전지의 효율을 감소시키는 요인 중 전극에 의한 저항 손실

을 최소화 시키는 구조로써, 저항 손실은 도핑된 에미터에서 금속전극 방향으로 캐리어의 흐름에 의한 저항, 기판과 금속전극 및 접촉저항과 관련된 직렬저항에 의한 것으로 구분된다. 특히 전면전극은 표면에서의 빛의 반사 및 직렬저항 성분에 큰 영향을 주므로 빛에 의해 생성된 광전류를 흐를 수 있도록 충분한 면적을 가지면서 수광 면적을 최대화하는 방향으로 설계되어야 하고, 또한 전극과 태양전지의 접촉성(adhesion)이 좋아야 한다.

본 논문에서는 PSi를 형성하는 공정을 이해하고 PSi의 선택적 에미터의 특성 및 태양전지와와의 적합성에 대해 연구 및 기술하였다.

2. 실험

2.1 Materials

본 실험에서는 붕소(Boron)가 도핑된 Cz p-type, (100)으로 저항율이 0.4~1.0 Ωcm 이고, $3.3 \times 3.3 \text{ cm}^2$ 크기를 가진 단결정 실리콘 웨이퍼를 사용하였다. 기판 위에 n^+ 에미터를 형성해주기 위해 conventional furnace에서 920 $^{\circ}\text{C}$ 에서 1시간 동안 diffusion 해주었다. 공정 후 4 point probe로 면저항을 측정한 결과 약 20-25 Ω (avg.)로 측정되었다.

2.2 Porous silicon solar cell

HF, EtOH, H₂O의 혼합 용액에 준비된 기판을 담가 전류를 흘려주었다. 전류는 Potentiostatic mode(WMPG 1000, WonATech.)로 공급을 하였고 각각 5-50 mA/cm²의 전류밀도로 1-35 초 범위에서 진행되었다. 또한, 다공성 실리콘 형성과정 시 표면의 균일한 에칭과 전기화학적 식각의 부산물인 수소 가스(H₂)의 영향을 최소화하기 위해 magnetic stirring bar를 동작 시켰다. Cell의 전극은 screen-printing으로 제작하여 conventional furnace에서 co-firing 하였다. 선택적 에미터의 cell 특성을 확인하기 위해 실험을 두 단계로 나누어 실험하였다. 첫 번째 단계의 실험은 PSi 형성 후 전극을 형성하였고, 두 번째 단계에는 먼저 전극을 제작한 후 PSi를 형성하였다. 측정은 SEM(Scanning Electron Microscope)으로 PSi의 표면을 관찰하고 Solar Simulator로 cell 특성을 확인하였다.

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. 사진의 분석 결과 두께는 약 100-150nm의 PSi layer가 형성되었다. 다공성 실리콘의 두께 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. 제작된 PSi의 porosity는 약 60%로 측정되었다.

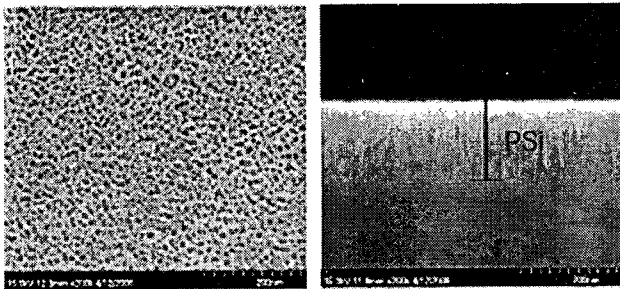


그림1. 전기화학적 방법으로 형성한 다공성 실리콘의 표면과 단면 SEM 촬영사진(×200,000).

산화 이전의 단결정 실리콘 기판의 반사율이 30% 이상[1]인 것에 비해 다공성 실리콘은 400nm 이상의 영역에서 20% 이하의 반사율을 보였고, 특히 500-780nm 파장 영역에서는 10% 미만의 반사율이 측정되었다.

	Voc(V)	Isc(mA)	FF(%)	eff(%)
(a)	0.5	0.09	32.6	3.7
(b)	0.6	0.13	60.1	11.2

표 1. Solar simulator(PASAN)로 측정한 선택적 에미터(selective emitter) (b)를 가진 cell의 전기적 특성.

위의 표1은 보유하고 있는 Solar Simulator로 측정한 결과이다. (a)은 전극 형성 후 PSi를 형성한 샘플이고 (b)는 PSi를 먼저 형성하여 선택적 에미터를 형성한 샘플이다. 선택적 에미터의 형성으로 인해 Isc이 증가함에 따라 Fill Factor와 효율이 각각 27.5%, 6.5%로 증가함을 알 수 있다.

4. 결론

본 실험은 수십 초 동안 전기화학적 양극산화 과정으로 다공성 실리콘층을 형성하여 반사율을 줄였으며, 선택적 에미터의 형성으로 인해 전기적 특성을 개선함으로써 태양전지의 효율을 증가시켰다. 본 연구를 통해 규명된 반사방지막으로써의 다공성 실리콘에 대한 이점은 다음과 같다. 먼저 기존 반사방지막인 MgF₂나 SiO₂(n:~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.

따라서 위 결과를 통해 다공 형성 요인들에 대한 연구를 지속적으로 진행함으로써 개선된 전극 형태를 포함한 다른 결정질 태양전지에 적합한 반사방지막 특성을 얻고자 한다.

감사의 글

본 연구는 서울시 산학연 협력사업의 지원을 받아 수행되었습니다.

참고 문헌

- [1] M. A. Green, University of New South Wales, P.O.Box 1, Kensington, N.S.W. 2033, February, 163-164, 1992.
- [2] M. A. Green, Trans Tech. Publications, PO Box 10, 4711 Aedermannsdorf, Switzerland, 1987.
- [3] P. Campbell, M. A. Green, J. Appl. Phys. 243-246, 62, 1987
- [4] H. Saha, S. K. Datta, K. Mukhopadhyay, S. Banerjee, M. K. Mukherjee, Electron Devices, IEEE Transactions on 39, 1100, 1992.
- [5] L. Stalmans, J. Poortmans, H. Bender, M. Caymax, K. Said, E. Vazsonyi, J. Nijs, R. Mertens, Prog. Photovolt. Res. Appl. 6, 233-246, 1998
- [6] A. Krotkus, K. Grigoras, V. Pacebutas, Sol. Energy Mater, Sol. Cells 45, 267, 1997.
- [7] S. Strehlike, D. Starti, A. Krotkus, K. Grigoras, C. Lévy-Clément, Thin Solid Films 297, 291, 1997.
- [8] 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.