

# 결정질 실리콘 태양전지에 적용되는 반사방지막에 관한 연구

이재두\*, 김민정\*\*, 이수홍\*\*\*

\*세종대학교 대학원 전자공학과(ljd@sju.ac.kr),  
\*\*세종대학교 대학원 전자공학과(mjk@sju.ac.kr),  
\*\*\*세종대학교 전자공학과 전략에너지연구소(SERI)(shl@sejong.ac.kr)

## Investigation of Anti-Reflection Coatings for Crystalline Si Solar Cells

Lee, Jae-Doo\*, Kim, Min-Jeong\*\*, Lee, Soo-Hong\*\*\*

\*Dept. of Electronics Engineering, Graduate School, Sejong University(ljd@sju.ac.kr),  
\*\*Dept. of Electronics Engineering, Graduate School, Sejong University(mjk@sju.ac.kr),  
\*\*\*Strategic Energy Research Institute(SERI), Dept. of Electronics Engineering,  
Sejong University(shl@sejong.ac.kr)

### Abstract

---

It is important to reduce a reflection of light as a solar cell is device that directly converts the energy of solar radiation to electrical energy in order to improve efficiency of solar cells. The antireflection coating has proven effective in providing substantial increase in solar cell efficiency. This paper investigates the formation of thin film PSi(porous silicon) layer on the surface of crystalline silicon substrates without other ARC(antireflection coating) layers. On the other hand the formation of  $SO_2/SiN_x$  ARC layers on the surface of crystalline silicon substrates. After that, the structure of PSi and  $SO_2/SiN_x$  ARC was investigated by SEM and reflectance. The formation of PSi layer and  $SO_2/SiN_x$  ARC layers on the textured silicon wafer result about 5% in the wavelength region from 0.4 to  $1.0\mu m$ . It is achieved on the textured crystalline silicon solar cell that each efficiency is 14.43%, 16.01%.

Keywords : 반사방지막(Antireflection coating, ARC), 결정질 실리콘(Crystalline silicon), PSi(Porous silicon)

---

### 기 호 설 명

Fz : Float Zone  
ARC : Anti-Reflection coating  
SEM : Scanning Electron Microscope

## 1. 서 론

태양전지는 빛에너지를 직접 전기에너지로 바꿔주는 소자이므로 전지의 효율을 높이기 위해서는 최대한 빛의 반사를 억제하는 것이 중요하다. 특히 실리콘으로 만들어진 태양전지의 경우 실리콘의 큰 굴절율로 인해 입사된 빛의 20~30%는 전하를 생성시키지 못하고 다시 반사된다.<sup>1)</sup> 빛의 반사를 줄이는 방법으로는 Texturing<sup>2)</sup>과 ARC (Anti-Reflection coating)<sup>3)</sup>이 있다. 반사방지막은 그 재료와 디자인에 따라 반사정도가 달라지며, texturing 구조는 cell 전체에 입사된 빛의 반사 손실을 약 10% 줄일 수 있고<sup>4)</sup> ARC으로 3%정도까지 반사를 줄일 수 있다. 실리콘은 긴 파장(1.1 $\mu$ m)에서 34%, 짧은 파장(0.4 $\mu$ m)에서 54%의 빛이 반사로 손실되나<sup>5)</sup> 단층의 반사방지막을 형성할 경우 이 파장 범위에서 평균 10%로 반사율을 줄일 수 있고, 두 층으로 입힐 경우에는 평균 3~5%까지 반사율을 줄일 수 있다. 반사방지막은 빛의 반사율을 줄이는 기능 외에 전지의 표면을 Passivation하고 대기로부터 전지의 표면의 굴절률이 입사되는 중간 매질, 공기 혹은 Capsulation물질 등의 굴절률과 어울려져야 한다.<sup>6)</sup>

본 연구에서는 ARC 형성하는 방법으로 비교적 간단한 공정으로 짧은 시간에 형성이 가능하며 기판의 반사율 저감 및 효율을 극대화 할 수 있는 방법인 PSi(porous silicon)과 SiO<sub>2</sub>/SiN<sub>x</sub> ARC에 대하여 연구 분석해 보았다.

PSi(porous silicon)은 Electrochemical Etching 법으로 HF용액에 결정질 실리콘 기판과 대면 전극 사이에 전류를 인가하여 양극 산화 반응에 의해 실리콘이 용해되어 실리콘 기판표면에 porous layer가 형성 되는 것이다.<sup>7)</sup>

SiO<sub>2</sub>/SiN<sub>x</sub> ARC은 결정질 실리콘 태양전지의 고 효율화를 위한 반사방지막으로써, SiO<sub>2</sub>는 태양전지에 많이 사용하는 표면 passivation

방법이며, SiN<sub>x</sub>는 뛰어난 passivation 효과로 ARC에 많이 사용되어지고 있다.

## 2. 실 험

본 실험에서는 Boron(붕소)로 도핑된 비저항 0.25~0.5 $\Omega$ ·cm를 가진 Fz p-type 웨이퍼를 사용하였다. 우선 표면의 반사율을 낮추기 위해서 100 $^{\circ}$ C 온도에서 Di : Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> : NaHCO<sub>3</sub>의 적당한 용액 비율로 Random Pyramid를 형성하였다. 잔류 solution 및 불순물을 제거하기 위해 RCA I·II Cleaning을 하고 Diluted HF 용액으로 자연 산화막을 제거하였다. Phosphorous 도핑은 Conventional Furnace에서 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> Solid Source로 각 조건에 맞게 diffusion 하였다.

### 2.1 Porous silicon

Phosphorous solid source로 도핑된 면저항 20 $\Omega$ /sq, 기판 3.3 $\times$ 3.3cm 크기의 웨이퍼로 진행하였다. 전류 공급은 WMPG 1000(WonAtech)의 Potentiostatic cycle mode로 하였고, 수용액 Bath는 전기 화학적으로 안정한 테프론 재질의 Bath를 자체 제작하여 사용하였다. Di : HF : C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH = 1 : 1 : 2의 혼합 용액에 5~100mA/cm<sup>2</sup>의 전류밀도로 수초~수십초 동안 기판을 담가 전류를 흘려 주었다.

### 2.1 SiO<sub>2</sub>/SiN<sub>x</sub> ARC

Phosphorous solid source로 도핑된 면저항 40 $\Omega$ /cm, 2.5 $\times$ 2.5cm 크기의 웨이퍼로 진행하였다. Conventional furnace를 이용하여 약 1100 $\text{\AA}$ 의 SiO<sub>2</sub>를 형성 시킨 후 PECVD장비를 이용하여 730 $\text{\AA}$ 의 SiN<sub>x</sub>를 증착 시켰다. Conventional Annealing furnace를 이용하여 400 $^{\circ}$ C의 온도에서 Forming Gas(Ar 96%, H<sub>2</sub> 4%)분위기에서 30분간 열처리를 하였다.

## 3. 실 험

결정질 실리콘 웨이퍼 위에 광학적 손실을

줄이기 위한 방법으로 PSi(porous silicon) layer층을 형성한 태양전지와 SiO<sub>2</sub>/SiN<sub>x</sub>를 증착한 태양전지를 제작해 보았다.

### 2.1 PSi layer와 SiO<sub>2</sub>/SiN<sub>x</sub> ARC

아래의 그림 1은 PSi의 표면과 단면을 SEM(Scanning Electron Microscope)으로 촬영한 모습이다. Texturing이 된 기판에 아주 미세한 pore가 형성되었음을 알 수 있고, pore의 크기는 약 5~10nm로 예측할 수 있다.

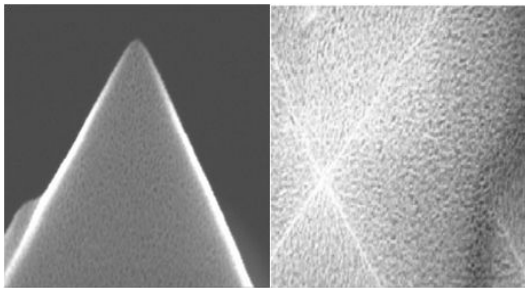


그림 1. PSi 단면과 표면 SEM image

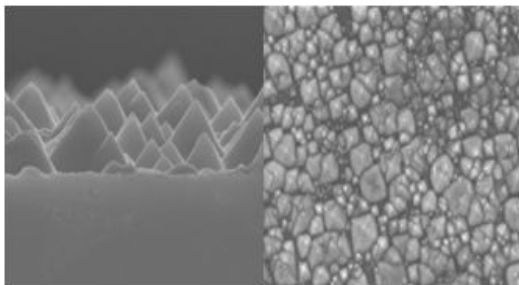


그림 2. SiO<sub>2</sub>/SiN<sub>x</sub> ARC 단면과 표면 SEM image

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

Porosity를 구하는 식은 아래와 같다.

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

식(1)의 m<sub>1</sub>은 공정 전 실리콘의 무게, m<sub>2</sub> 공정 후 PSi layer가 형성된 기판의 무게, m<sub>3</sub>

알카리 용액으로 PSi layer를 제거한 무게를 나타낸다. 위 식을 적용한 기판의 porosity는 약 60%로 나타났다.

그림 2는 SiO<sub>2</sub>/SiN<sub>x</sub> ARC를 형성한 표면과 단면을 SEM으로 촬영한 모습이다. SEM 이미지로 박막의 Adhesion이나 균일도를 알아볼 수 없었다.

### 2.1 PSi 와 SiO<sub>2</sub>/SiN<sub>x</sub> ARC 비교

그림 3는 Textured silicon, Textured silicon+porous layer, Textured silicon+SiO<sub>2</sub>/SiN<sub>x</sub> ARC의 반사율을 측정된 결과이다. Texturing된 기판에 PSi를 함께 적용한 경우와 texturing된 기판에 SiO<sub>2</sub>/SiN<sub>x</sub> ARC를 적용한 경우에는 0.4μm~1.0μm의 파장 영역에서 전체적인 반사율 감소를 나타내었으며, 최소 반사율은 3~4%까지 도달하였다. 특히 SiO<sub>2</sub>/SiN<sub>x</sub> ARC를 형성하였을 경우 평균 반사율이 3.95%를 나타내었으며 이는 PSi의 평균 반사율 4.97%보다 낮은 수치이다. 이는 단파장 영역에서는 비슷하게 낮은 반사율을 가지고 있지만 장파장영역으로 갈수록 PSi 형성한 기판의 반사율의 증가 폭이 커져서 SiO<sub>2</sub>/SiN<sub>x</sub> ARC보다 높은 평균 값을 가지는 것을 알 수 있다.

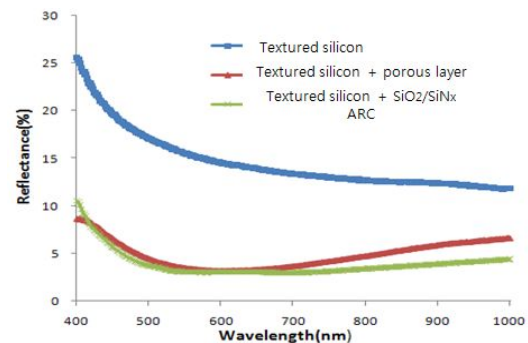


그림 3. Textured silicon, Textured silicon + porous layer, Textured silicon + SiO<sub>2</sub>/SiN<sub>x</sub> ARC의 반사율

각각 PSi layer 와 SiO<sub>2</sub>/SiN<sub>x</sub>를 적용한 Screen Printing태양전지가 제작 되었다. 그림 4는 각각의 태양전지의 I-V 특성을 평가한 결

파이다. PSi를 적용한 태양전지는 Voc(Open circuit voltage) = 0.616V, Isc(Short circuit current) = 0.032A, FF(Fill factor) = 72.5%, Efficiency = 14.43%을 나타내었으며, SiO<sub>2</sub>/SiN<sub>x</sub> ARC를 적용한 태양전지는 Voc(Open circuit voltage) = 0.632V, Isc(Short circuit current) = 0.032A, FF(Fill factor) = 79.1%, Efficiency = 16.01%

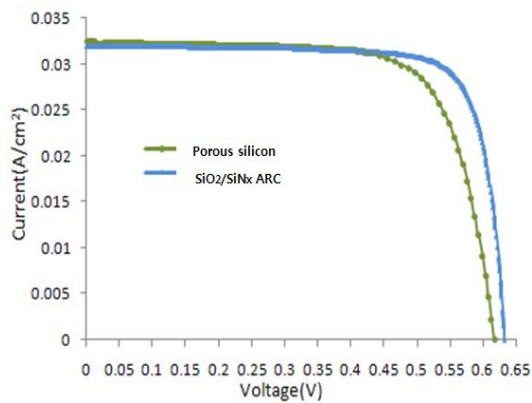


그림 4. PSi와 SiO<sub>2</sub>/SiN<sub>x</sub> ARC I-V 특성

#### 4. 결 론

본 연구에서는 결정질 실리콘 태양전지에 PSi 와 SiO<sub>2</sub>/SiN<sub>x</sub> ARC를 각각 적용하여 제작하였고 반사율과 에너지 변환효율을 측정하여 평가하였을 때 각각 4.97%와 3.95%,14.43%와 16.01%가 측정되었다. 반사율의 측면에서 PSi는 SiO<sub>2</sub>/SiN<sub>x</sub> ARC와 비교해 보았을 때 단파장 영역에서는 둘 다 낮은 반사율을 나타 내었으며, 장파장 영역에서 PSi가 근소하게 높은 반사율을 나타 내었다. 하지만 공정 시간에서는 PSi가 SiO<sub>2</sub>/SiN<sub>x</sub> ARC보다 현저히 단축시킬 수 있었다. 저가화에 적용하기 위해서는 SiO<sub>2</sub>/SiN<sub>x</sub> ARC보다는 PSi가 공정 시간을 보았을 때 유리하고 수용액의 조성비를 일정하게 유지 할 수 있다면 저가화와 효율을 크게 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

#### 후 기

본 연구는 에너지관리공단의 지원으로 수행한 신재생에너지기술개발사업의 연구 결과물입니다.

#### 참 고 문 헌

1. K.L. Chopra and S.R. Das, Thin Film Solar Cell Plenum Press, New York, 1983), p.515.
2. P. Campbell, M. A. Green, J. Appl. Phys. 243-246, 62, 1987.
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, 1969, p.40
5. H.J. Hovel, Semiconductors and Semimetals(Academic Pree, New York, 1975), p.203
6. B. Gandham, R. Hill, H.H. MacLeod and M. Bowden, Solar Cells 1, 1979,3.
7. 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 Material & Solar Cells, 37 (1997) 13