

## SF<sub>6</sub>/O<sub>2</sub> 혼합가스에 의한 실리콘 웨이퍼의 표면 텍스처링 특성

강민석<sup>1</sup>, 주성재<sup>2</sup>, 구상모<sup>1,a</sup>

<sup>1</sup> 광운대학교 전자재료공학과

<sup>2</sup> 한국전기연구원 에너지반도체연구센터

### Characterization of Surface Textured Silicon Substrates by SF<sub>6</sub>/O<sub>2</sub> Gas Mixture

Min-Seok Kang<sup>1</sup>, Sung-Jae Joo<sup>2</sup>, and Sang-Mo Koo<sup>1,a</sup>

<sup>1</sup> Department of Electronic Materials Engineering, Kwangwoon University, Seoul 139-701, Korea

<sup>2</sup> Electrotechnology Research Institute, Power Semiconductor Research Group, Changwon 642-120, Korea

(Received March 23, 2012; Revised April 5, 2012; Accepted April 5, 2012)

**Abstract:** The optical losses associated with the reflectance of incident radiation are among the most important factors limiting the efficiency of a solar cell. Therefore, photovoltaic cells normally require special surface structures or materials, which can reduce reflectance. In this study, nano-scale textured structures with anti-reflection properties were successfully formed on silicon. The surface of silicon wafer was etched by the inductively coupled plasma process using the gaseous mixture of SF<sub>6</sub> + O<sub>2</sub>. We demonstrate that the reflection characteristic has significantly reduced by ~0% compared with the flat surface. As a result, the power efficiency P<sub>max</sub> of the nano-scale textured silicon solar cell were enhanced up to 20%, which can be ascribed primarily to the improved light trapping in the proposed nano-scale texturing.

**Keywords:** Anti-reflection, Texturing, Reflection, ICP

#### 1. 서론

태양전지 (solar cell) 소재로써 일반적으로 사용되는 결정형 재료 중 단결정 (single crystal) 실리콘은 에너지 변환 효율은 높으나 높은 제조 단가로 인하여 전력생산 비용을 낮추는데 한계가 있다. 현재까지의 태양전지의 제조를 위한 기술개발 방향은 단가를 낮추는 방향으로 초점을 맞추어 연구가 진행되어 오고 있으며, 이를 위해서 다결정 (poly crystal) 태양전지의 연구가 활발히 진행되고 있다 [1,2]. 다결정 실리콘 태양전지는 단결정 태양전지에 비해 변환효율이

70~ 80%로 보고되고 있다.

태양전지의 효율을 감소시키는 요인에는 표면에서 빛이 반사되어 생기는 광학적 손실, 전극부분에서의 캐리어의 재결합에 따른 전기적 손실, 저항 성분에 의한 손실 등이 있다. 태양전지의 변환효율을 증가시키기 위한 개선방법으로 표면에서의 빛의 반사에 의한 광학적 손실을 줄이는 것이다. 광학적 손실을 줄이기 위한 방법으로는 반사방지막 (anti-reflective coating), 표면 텍스처링 (texturing), 서로 다른 에너지갭을 가진 다층구조 태양전지 등이 있다 [3,4]. 그 중 표면 텍스처링 공정은 표면을 식각 (etching)하여 표면으로 입사하는 광을 포획 (light trapping)하고 빛

a. Corresponding author; [smkoo@kw.ac.kr](mailto:smkoo@kw.ac.kr)

이 통과하는 경로를 증가시키는 것으로 태양전지의 효율을 향상시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 텍스처링 공정은 습식식각과 건식식각 방식이 존재한다 [5,6]. 기존의 결정질 실리콘 표면은 습식식각을 많이 사용하였다. 하지만 다결정 실리콘에서는 표면의 텍스처링 패턴이 균일도가 많이 떨어지게 된다.

본 연구에서는, 실리콘 웨이퍼를 표면 처리하기 위하여 건식식각의 방법으로서 플라즈마를 이용한 ICP 식각장비를 사용하였으며, (i) 공정가스 비율에 따른 표면구조 최적화와 (ii) 표면 텍스처링 구조에 따른 반사율 변화 및 태양전지 변환 효율에 대하여 연구하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 플라즈마 식각법을 이용한 표면 텍스처링

본 실험에서 사용한 웨이퍼는 (100) 방향의 3인치 P형 단결정 실리콘이며 저항은 1~30  $\Omega \cdot \text{cm}$ 이고 두께는 380  $\mu\text{m}$ 이다. 먼저 웨이퍼의 유기물을 제거하기 위해 아세톤, 에탄올, 증류수를 사용하여 세정한 다음, 자연산화막을 제거하기 위해 식각액 BOE (6:1)에 5분간 담근 후 증류수에 세정하였다.

실리콘 웨이퍼의 표면을 텍스처링하기 위하여 플라즈마 식각 장비에서  $\text{SF}_6$ 와  $\text{O}_2$ 를 혼합한 가스를 사용하여 공정을 수행하였다.

그림 1은 본 연구에서 사용한 ICP (inductively coupled plasma) 에칭 장비의 개략도이며, 유도 결합 플라즈마는 2 MHz와 13.56 MHz의 RF주파수 (radio frequency)를 사용하여 RF 전력을 발생시킨다. 식각 공정 조건은  $\text{SF}_6$ 의 유량 (20 sccm), 에칭 시간 (1시간), RF 전력 (30 W), 가스 압력 (30 mTorr)을 고정시키고,  $\text{O}_2$ 의 유량을 공정 변수로 하였고, 텍스처링된 웨이퍼의 표면 반사율 (reflectance) 특성을 조사하였다.  $\text{O}_2$  유량에 따른 에칭 공정조건을 표 1에 나타내었다.

### 2.2 측정

표 1의 표면 식각 조건으로 텍스처링된 웨이퍼는 표면 구조에 따른 광학적 특성을 측정하기 위하여 자외선-가시광선 분광기 (UV/VIS/NIR spectrometer, AvaSpec-3648)를 사용하였으며, 입사된 빛에 대한

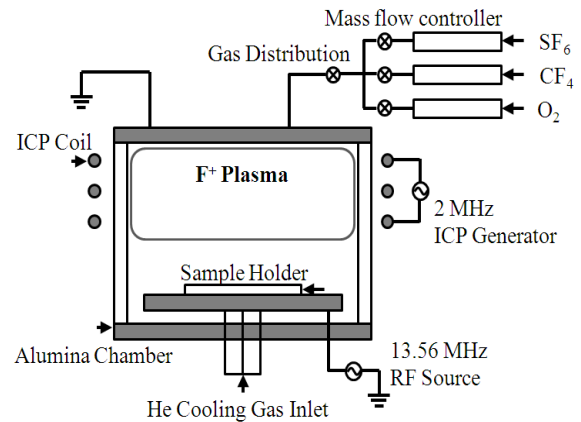


Fig. 1. Schematic of the ICP-etching process system.

Table 1. Condition of the ICP-etching process using the gaseous mixture of  $\text{SF}_6 + \text{O}_2$ .

Condition	$\text{SF}_6$ (sccm)	$\text{O}_2$ (sccm)
a	20	2
b	20	8
c	20	14
d	20	20

반사율은 250 nm ~ 1,000 nm 파장범위에서 측정하였다. 표면의 단면 구조는 주사형전자현미경 (FE-SEM, Hitachi S-4800)을 사용하여 단면을 측정하였다. 표면 텍스처링 효과를 시뮬레이션하기 위해 Silvaco사의 Atlas 2D 모듈을 조합하여 물리적으로 설계된 소자의 특성을 분석하였다.

## 3. 결과 및 고찰

텍스처링 공정은 표면의 반사율을 감소시켜 빛을 최대한 흡수하는 것이 중요하다. 그림 2는 실험을 통해  $\text{SF}_6$ 와  $\text{O}_2$ 를 혼합한 가스 처리를 하여 얻은 샘플의 표면 반사율을 보여주고 있다. 파장에 따른 반사율에서 웨이퍼의 반사율이 단파장에서 감소하고 장파장 영역으로 갈수록 증가하는 경향을 보여준다.  $\text{O}_2$  압력에 따른 반사율을 살펴보면,  $\text{O}_2$ 의 유량이 증가함에 따라 단파장 영역에서부터 반사율이 감소하였다.

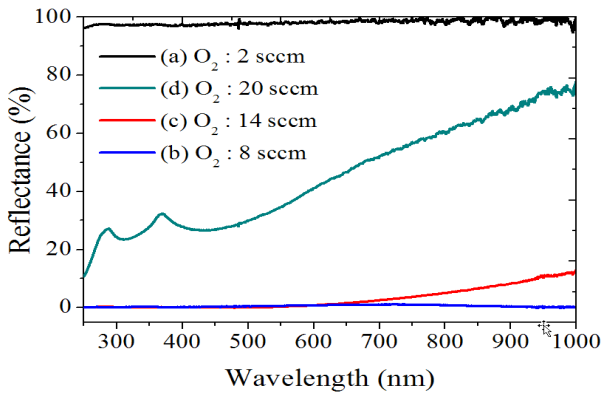


Fig. 2. Comparison of spectral reflectivity from 250 to 1,000 nm for different surface structures.

샘플 b의 O<sub>2</sub> 유량이 8 sccm 조건에서 가장 낮은 반사율을 보였고, 모든 파장에서 반사율이 0에 가깝게 측정되었다. O<sub>2</sub> 유량이 8 sccm을 기준으로 증가할수록 장파장 영역으로부터 다시 반사율이 증가함을 보이고 있다. SF<sub>6</sub>와 O<sub>2</sub>를 혼합한 가스에 의한 ICP 플라즈마 텍스처링 공정은 250 nm ~ 1,000 nm 파장범위에서 O<sub>2</sub>의 유량을 조정하여 표면 반사율을 제어 가능함을 알 수 있다. 이는 ICP 식각 장비에 의해서 형성된 표면 구조는 가스 압력, RF 전력, 가스 비율, 공정 시간과 같은 공정 변수에 의해 변화하는 것을 알 수 있다.

식각 공정 조건에서 O<sub>2</sub>압이 광학적 특성에 미치는 영향을 샘플의 단면을 관측하여 분석하였다. 그림 3 (a), (b)는 각각 샘플 b, d의 표면 텍스처링 형상을 보여주는 SEM 단면도이다. 샘플 d는 이빨 모양, 샘플 b는 바늘 모양 형태를 보여주고 있다. SEM (scanning electron microscope) 사진의 단면도와 같이 텍스처링 모양에 따라 반사율이 변하는 것을 알 수 있다. 샘플 b의 텍스처링의 높이는 0.8 ~ 1.0 μm, 폭은 5~10 nm이고, 텍스처링의 모양은 표면의 기울기가 급한 바늘 형태를 보여주고 있다. 텍스처링의 높이가 높고 기울기가 급격할수록 반사율이 감소하는 것을 알 수 있으며, 텍스처링 간격이 조밀할수록 반사율은 거의 0에 가까이 가는 것을 알 수 있다. 표면 텍스처링 공정을 이용하여 실리콘 솔라셀의 전기적 특성 및 효율 추정을 2차원 시뮬레이션을 통하여 비교 분석을 수행하였다.

표면 나노구조는 에칭패턴의 높이는 1 μm이고, 폭은 100 nm이다.

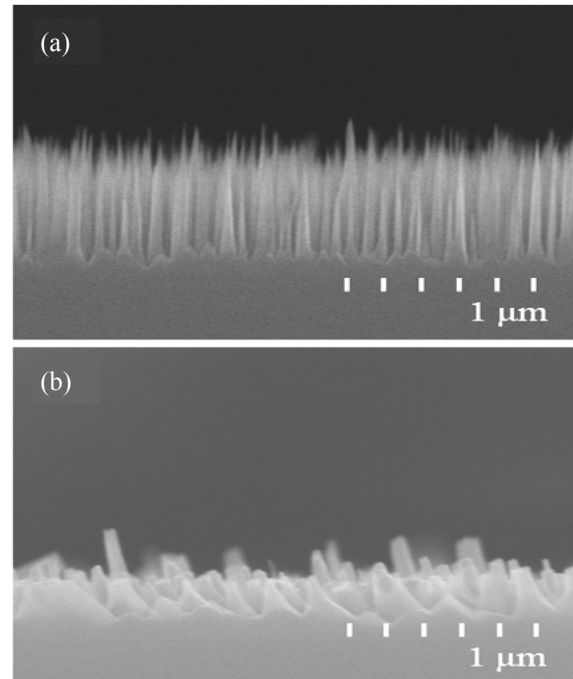


Fig. 3. The surface morphology of representative “as-manufactured” structures. (a) sample b and (b) sample d.

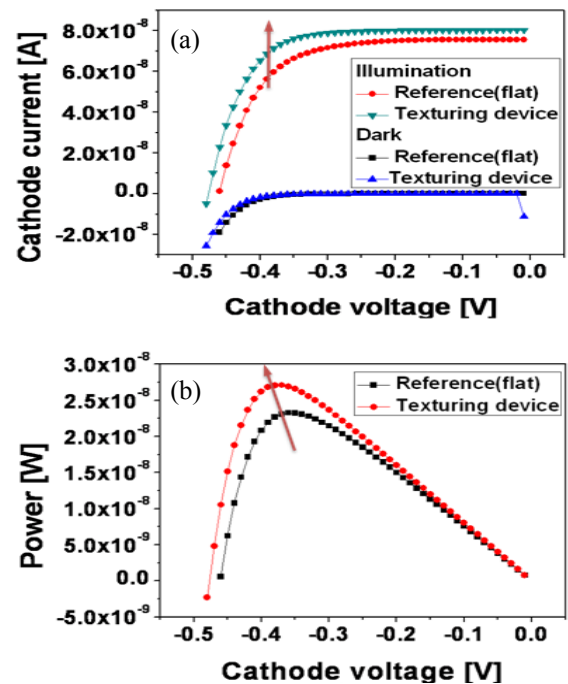


Fig. 4. Nano-scale textured silicon solar cell of (a) the I-V characteristics and (b) power characteristics.

그림 4는 표면에  $1 \text{ W/cm}^2$ 의 빛을 조사한 전기적 특성 그래프이며, 표면이 평평한 구조의  $P_{\text{max}}$ 는  $2.3 \times 10^{-8} \text{ W}$ 이고 표면 미세구조를 가진 구조의  $P_{\text{max}}$ 는  $2.7 \times 10^{-8} \text{ W}$ 를 얻을 수 있었다.

이는 평평한 구조를 기준으로 텍스처링 구조에서 소자효율차이가 20% 향상됨을 확인할 수 있었다. 부피대비 표면적을 따져보면 표면 미세구조가 평평한 구조보다 높은 것을 알 수 있으며, 빛을 흡수량이 증가함에 따라서 높은 광자의 생성으로 전류는 증가하는 것으로 판단된다. 텍스처링 공정을 통하여 실리콘 솔라셀의 높은 power 효율을 얻을 수 있었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 ICP 플라즈마 식각 장비의  $\text{SF}_6$ 와  $\text{O}_2$  혼합한 가스를 이용하여 실리콘 기판의 표면을 텍스처링하였다.  $\text{SF}_6$ 의 유량 20 sccm에서  $\text{O}_2$ 의 유량을 공정 변수로 하였고, 텍스처링된 웨이퍼의 표면 형상과 반사율 특성을 조사하였다.  $\text{O}_2$  유량이 8 sccm 조건으로 250 nm ~ 1,000 nm 파장 영역에서 가장 낮은 반사율을 얻을 수 있었으며, 텍스처링의 높이는 0.8 ~ 1.0  $\mu\text{m}$ , 폭은 5 ~ 10 nm이고, 표면의 기울기가 급한 바늘 형태로 나타내었다.

또한 표면 텍스처링 공정을 이용하여 실리콘 솔라셀의 전기적 특성 및 효율 추정을 2차원 시뮬레이션을 통하여 비교 분석을 수행하였다. 표면이 평평한 구조의  $P_{\text{max}}$ 는  $2.3 \times 10^{-8} \text{ W}$ 이고, 표면 미세구조를 가진 구조의  $P_{\text{max}}$ 는  $2.7 \times 10^{-8} \text{ W}$ 를 얻을 수 있었다.

이는 평평한 구조를 기준으로 텍스처링 구조에서 소자효율차이가 20% 향상됨을 확인하였다.

본 연구를 통하여 실리콘 웨이퍼의 ICP 공정을 이용한 표면 텍스처링으로 태양전지의 에너지 변환효율을 향상시킬 수 있다고 판단된다.

#### 감사의 글

본 연구는 2012년 정부 (교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원 (2011-0017942 및 2011-0003298) 및 광운대학교의 지원을 통해 개발된 결과임을 밝힙니다.

#### REFERENCES

- [1] P. Berdahl, H. Akbaria, J. Jacobsb, and F. Klinkb, *Sol. Energ. Mater. Sol. Cells*, **92**, 482 (2008).
- [2] E. Manea, E. Budianu, M. Purika, D. Cristea, I. Cernica, R. Muller, and V. M. Poladian, *Sol. Energ. Mater. Sol. Cells*, **87**, 423 (2005).
- [3] C. L. Lin, P. H. Chen, C. H. Chan, C. C. Lee, C. C. Chen, J. Y. Chang, and C. Y. Liu, *Appl. Phys. Lett.*, **90**, 242106 (2007).
- [4] J. I. Larruquert and RAM Keski-Kuha, *Appl. Opt.*, **39**, 2772 (2000).
- [5] S. J. Joo, M. S. Kang, W. Bahng, and S. M. Koo, *Thin Solid Films*, **519**, 3728 (2011).
- [6] S. Koynov, M. S. Brandt, and M. Stutzmann, *Appl. Phys. Lett.*, **88**, 203107 (2006).