

# 에피택셜 베이스 Si 태양전지의 광반사 방지막 처리 (Antireflection Layer Coating on the Epitaxial Base Si Solar Cell)

장지근, 임용균, 황용운  
단국대학교 전자컴퓨터학부 전자공학전공

## Abstract

Si 태양전지의 기전력 형성에 이용되는 빛의 파장범위( $0.4\mu\text{m} \leq \lambda \leq 0.97\mu\text{m}$ )에서 AM1 스펙트럼과 Si 굴절율을 수학적으로 모델링하고 광반사 방지막( $\text{SiO}_2$ )의 두께에 따른 Si 태양전지의 유효 광흡수전력을 전산 모사하였다. 전산 모사로부터 얻어진 Si 태양전지의 유효 광흡수전력은  $\text{SiO}_2$ 막의 두께가 500Å과 1000Å일 때 각각  $520 \text{ W/m}^2$ 와  $450 \text{ W/m}^2$ 로 나타났으며,  $d(\text{SiO}_2)=1000\text{Å}$ 에서 최대 광흡수 특성을 보였다. 광반사 방지막의 처리에 따른 유효 광흡수전력의 차이를 알아보기 위해  $\text{SiO}_2$ 막의 두께를 500Å과 1000Å으로 형성한 2종류의 에피택셜 베이스 Si 태양전지[EBS(500Å), EBS(1000Å)]를 제작하고 효율특성을 분석한 결과, AM1  $100 \text{ mW/cm}^2$  입사광 아래 EBS(1000Å) 전지는 EBS(500Å)전지에 비해 효율이 약 15% 높게 나타났다.

## 1. Introduction

태양전지는 광기전력 효과에 의해 외부 부하에 전류를 공급하는 p-n 접합 구조의 반도체 소자이다. 태양전지는 원료의 무한성과 무공해 특성 등으로 인해 미래의 대체 에너지원으로 각광을 받고 있으며, 개발 방향으로는 저비용 생산기술과 높은 전력변환효율을 얻기 위한 연구가 집중되고 있다. Si 태양전지의 이론적 효율은 상온에서 약 28%에 이르고 있으나 상업용 전지의 경우 실제 효율은 10-12%에 불과하게 나타나고 있다. 태양전지의 효율특성을 제한하는 주요 요인의 하나로는 빛이 입사되는 수광면에서 광반사 손실을 들 수 있다. AM(air mass)1 조건의 태양광 스펙트럼은 가시영역에 집중되어 있으며 Si 태양전지의 광생성 전류에 기여할 수 있는 빛의 유효 파장범위는 약  $0.4\text{-}0.97\mu\text{m}$  정도로 나타난다.<sup>1, 2)</sup> 광반사 이론에 의하면  $0.4\mu\text{m} \leq \lambda \leq 0.97\mu\text{m}$ 인 빛이 공기에서 Si으로 수직 입사될 때 표면에서 평균 광반사율은 30% 이상으로 나타난다. 이에 따라 고효율 태양전지를 제작하기 위해서는 수광면을 texturing하거나 광반사 방지막 (antireflection layer: AR막)을 설치하여 표면에서 광반사 손실을 줄여야 한다.<sup>3, 4)</sup> Si 태양전지의 수광면에 광반사 방지막을 설치할 경우 광반사 손실은 AR막의 굴절율과 두께에 따라 변화된다. Si 태양전지는 일반적으로  $\text{SiO}_2$  산화막이나  $\text{Si}_3\text{N}_4$  질화막을 광반사 방지막으로 사용하는데, 이는 Si 표준공정 기술로 이들 막들을 쉽게 형성할 수 있기 때문이다.  $\text{SiO}_2$  막을 Si 태양전지의 광반사 방지막으로 사용할 경우 산화막 형성기술이 용이하고 Si-SiO<sub>2</sub> 계면특성이 우수하다는 장점이 있다.<sup>5)</sup> 본 논문에서는  $\text{SiO}_2$ 막을 광반사 방지막으로 사용하는 Si 태양전지에서  $\text{SiO}_2$  두께에 따른 Si 태양전지의 유효 광흡수전력을 전산 모사하였다. 또한 광반사 방지막의 처리에 따른 유효 광흡수전력의 차이를 알아보기 위해  $\text{SiO}_2$ 막의 두께를 500Å과 1000Å으로 형성한 2종류의 에피택셜 베이스 Si 태양전지[EBS(500Å), EBS(1000Å)]를 제작하고 이들의 효율특성을 비교 분석하였다.

## 2. Experimental Procedure

광학이론에 의하면 Si 태양전지가 단일 광반사 방지막을 가질 경우 수직입사광에 대한 반사율은

$$R = \frac{r_1^2 + r_2^2 + 2r_1r_2\cos(4\pi n_1 d_1/\lambda)}{1 + r_1^2 + r_2^2 + 2r_1r_2\cos(4\pi n_1 d_1/\lambda)}$$

로 나타난다.<sup>6,7)</sup> 여기서  $n_1$ 과  $d_1$ 은 광반사 방지막의 굴절율과 두께이고  $r_1=(n_0-n_1)/(n_0+n_1)$ ,  $r_2=(n_1-n_s)/(n_1+n_s)$ 이며,  $n_0$ 와  $n_s$ 는 각각 공기와 Si의 굴절율이다. Si 태양전지가 태양광으로부터 흡수할 수 있는 유효 광전력은 입사광의 전력밀도 스펙트럼을  $I(\lambda)$ , 표면 광반사율을  $R(d,\lambda)$ 라고 할 때

$$P(d) = \int_{0.4\mu m}^{0.97\mu m} I(\lambda)[1 - R(d,\lambda)]d\lambda$$

로 표현된다. 따라서 Si 태양전지의 효율특성을 개선하기 위해서는 일차적으로 광반사 방지막의 적절한 처리를 통해  $R(d,\lambda)$ 을 줄이고 Si이 흡수할 수 있는 유효 광전력을 높여야 한다.  $0.4\mu m \leq \lambda \leq 0.97\mu m$ 인 입사광에 대해  $SiO_2$ 막의 굴절율은 1.46으로 거의 일정하게 나타나고, Si의 굴절율은 Fig. 1과 같이 빛의 파장에 따라 달라진다.<sup>8)</sup> 따라서  $SiO_2$ 막을 광반사 방지막으로 사용하는 Si 태양전지에서 입사광의 스펙트럼과 Si의 굴절율이 수학적으로 모델링되면 AR막의 두께에 따른 유효 광흡수전력의 변화를 구할 수 있다. 유효 광흡수전력의 계산에서 입사광의 스펙트럼과 Si 굴절율의 변화에 따라 적분구간을 Table 1에서와 같이 구분하고 구간별 적분의 합으로 Si 태양전지의 유효 광흡수전력을 계산하였다. 적분구간에 따른 입사광의 스펙트럼과 Si 굴절율의 수학적 표현을 Table 1에 수록하였다.

Table 1. Expressions of incident spectrum and Si refractive index used in the calculation of effective absorption power.

$\Delta\lambda$ [ $\mu m$ ]	expressions	
	power spectrum density, $I(\lambda)$ [ $W/m^2\mu m$ ]	Si refractive index, $n_s$
0.4~0.44	$\frac{7.54 \times 10^4}{9} (\lambda - 0.3)$	$-\frac{41}{2} (\lambda - 0.4) + 5.57$
0.44~0.48	$\frac{7.54 \times 10^4}{9} (\lambda - 0.3)$	$-\frac{35}{4} (\lambda - 0.44) + 4.75$
0.48~0.57	$\frac{5.85 \times 10^4}{9} (\lambda - 0.48) + 1508$	$-\frac{40}{9} (\lambda - 0.48) + 4.40$
0.57~0.7	$\frac{5.85 \times 10^4}{9} (\lambda - 0.48) + 1508$	$-\frac{30}{13} (\lambda - 0.57) + 4.00$
0.7~0.85	$\frac{5.85 \times 10^4}{9} (\lambda - 0.48) + 1508$	$-\frac{5}{11} (\lambda - 0.7) + 3.7$
0.85~0.92	486	$-\frac{5}{11} (\lambda - 0.7) + 3.7$
0.92~0.97	308	$-\frac{1}{5} (\lambda - 0.92) + 3.6$

Fig. 2는  $SiO_2$ 막을 광반사 방지막으로 사용한 경우,  $SiO_2$ 막의 두께에 따른 Si 태양전지의 유효 광흡수전력을 보여주고 있다. Fig. 2로부터 Si 태양전지의 유효 광흡수전력은  $SiO_2$ 막의 두께가 500 Å과 1000 Å일 때 각각 520  $W/m^2$ 와 450  $W/m^2$ 로 나타나며,  $d(SiO_2)=1000$  Å에서 광흡수가 최대로 나타남을 볼 수 있다. 에피택셜 베이스 Si 태양전지를 제작하는 과정에서는 p(111) 구조( $\rho \approx 0.01$  Ω-cm) 상에 약 16 $\mu m$  두께의 p 에피층( $\rho \approx 100$  Ω-cm)을 갖는 Si 웨이퍼를 기판으로 사용하였다. 공

정 순서로는 먼저 기판의 표면을 등방성으로 식각하여 texturing한 후 약 5000Å의 field oxide를 형성하였다. 이후 소자간의 격리영역에 붕소(boron)를 확산하고 캐리어의 효율적인 수집을 위해 반도체-금속 접합부에 n' buried contact 영역을 형성하였다. 다음으로 전지의 이미터 영역을 개방하여 인(phosphorous)을 고농도로 얇게 확산한 후 전지를 구별[EBS(500Å)와 EBS(1000Å)]하여 각각 500Å과 1000Å 두께의 SiO<sub>2</sub>-광반사 방지막을 형성하였다. 공정의 마지막 단계로 금속-반도체 접촉 창구를 개방하여 Al 전극을 형성하고 금속-반도체간의 오옴성 접촉을 위한 alloy 공정을 실시하였다. Fig. 3은 제작된 소자의 단면도이다.

### 3. Results and Discussion

Spectral Energy Corp.의 ss 1000× solar 장치와 HP 4145B semiconductor parameter analyzer를 이용하여 제작된 소자들의 전기광학적 특성을 조사하였다. ss 1000× solar 장치의 스펙트럼은 AM-1(airmass-1)이며 입사광의 세기를 100mW/cm<sup>2</sup>으로 조절하였다. Fig. 4는 제작된 전지들의 광전류-전압 특성곡선이다. Fig. 4에서 EBS(500Å) 전지[Fig. 4(a)]의 개방전압(V<sub>OC</sub>)은 0.58V로, 단락전류(I<sub>SC</sub>)는 21mA로, 충실도(FF)는 0.65로 나타나고 있으며, EBS(1000Å) 전지[Fig. 4(b)]의 경우 개방전압(V<sub>OC</sub>)은 0.58V로, 단락전류(I<sub>SC</sub>)는 24mA로, 충실도(FF)는 0.65로 나타나고 있다. EBS(500Å) 전지에 대한 EBS(1000Å) 전지의 광전류(또는 효율) 개선은 24mA/21mA=1.14로 나타나고 있는데, 이는 SiO<sub>2</sub>-광반사 방지막의 처리에 따른 유효 광흡수전력의 개선[520(W/m<sup>2</sup>) / 450(W/m<sup>2</sup>) =1.15]에서 비롯되는 것으로 판단된다.

### 4. Conclusion

0.4μm ≤ λ ≤ 0.97μm의 파장 범위에서 광반사 방지막(SiO<sub>2</sub>)의 두께에 따른 Si 태양전지의 유효 광흡수전력을 전산 모사하였다. 전산 모사로부터 얻어진 Si 태양전지의 유효 광흡수전력은 SiO<sub>2</sub>막의 두께가 500Å과 1000Å일 때 각각 520 W/m<sup>2</sup>와 450 W/m<sup>2</sup>로 나타났으며, d(SiO<sub>2</sub>)=1000Å에서 최대 광흡수 특성을 보였다. SiO<sub>2</sub>막의 두께를 500Å과 1000Å으로 형성한 2종류의 에피텍셜 베이스 Si 태양전지[EBS(500Å), EBS(1000Å)]를 제작하고 효율특성을 분석한 결과, AM1 100 mW/cm<sup>2</sup> 입사광 아래 EBS(1000Å)전지는 EBS(500Å)전지에 비해 효율이 약 15% 높게 나타났다. EBS(500Å) 전지에 대한 EBS(1000Å) 전지의 효율 개선은 1.14로 나타나고 있는데, 이는 SiO<sub>2</sub>-광반사 방지막의 적절한 처리에 따른 유효 광흡수전력의 개선에 기인하는 것으로 판단된다.

### References

1. S.M. Sze, Physics of Semiconductor Devices, John Wiley & Sons, Inc., p.798 (1981).
2. E.S. Yang, Microelectronic Devices, Mc Graw-Hill Book Company, p.359 (1988).
3. R.A. Arndt, J.F. Allison, J.G. Haynos, and A.Meulenberg Jr., Conf. Rec. 11th IEEE Photovoltaic Spec. Conf., IEEE, New York, p.40 (1975).
4. P.A. Iles, J. Vac. Sci. Technol., Vol.14, No.5, pp. 1100-1105 (1977).
5. Richard Williams, J. Vac. Sci. Technol., Vol.14, No.5, pp. 1106-1111 (1977).
6. H.J. Hovel, Semiconductors and Semimetals, Vol.11: Solar Cells, Academic Press, p.203 (1975).
7. L.F. Drummeter, Jr. and G. Hass, Physics of Thin Films Advanced in Research and Development, Academic Press, Vol.2, pp.242-250 (1964).
8. D. E. Aspnes, Properties of Silicon, INSPEC, The Institution of Electrical Engineers, London and New York, pp.72-79 (1988).

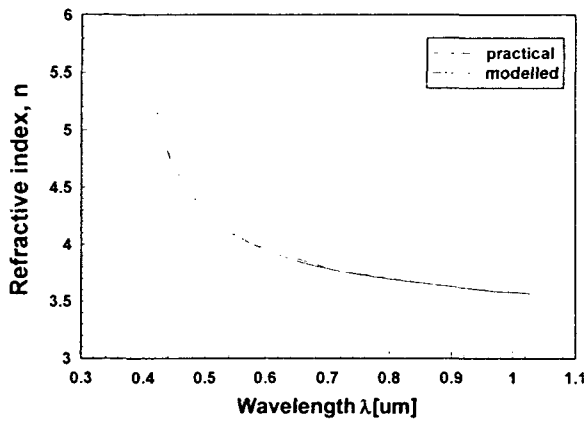


Fig. 1 Refractive index of Si as a function of wavelength

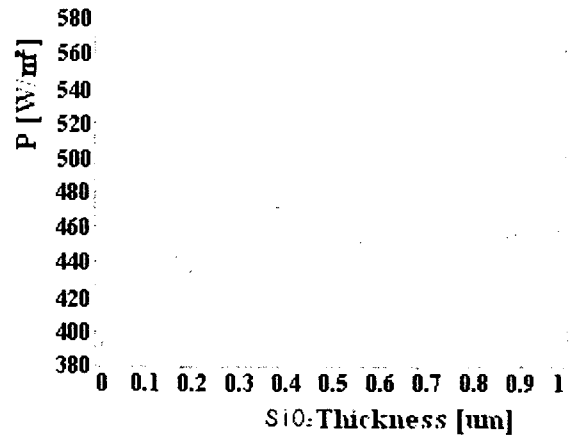


Fig. 2 Effective absorption power in the SiO<sub>2</sub>-Si system as a function of SiO<sub>2</sub> thickness

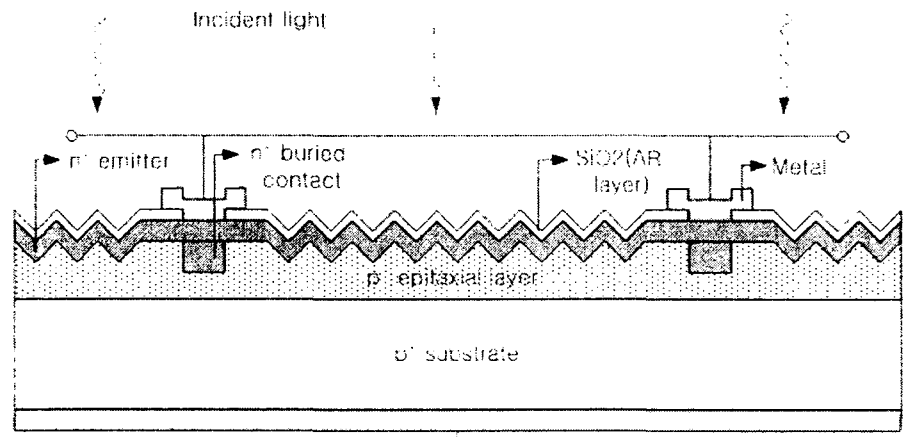
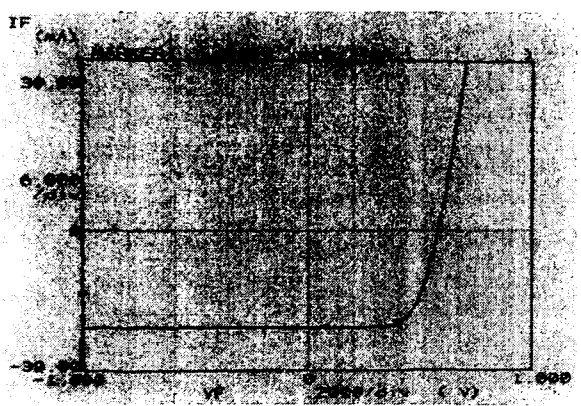
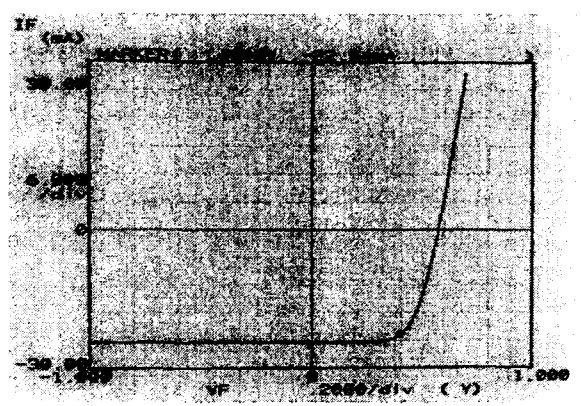


Fig. 3 Cross-sectional structure of Si solar cell



(a)



(b)

Fig. 4 Photocurrent voltage characteristics: (a)EBS(500) cell (b)EBS(1000) cell