

# 고효율 단결정 실리콘 태양전지의 제작을 위한 PC1D 시뮬레이션 최적화

최영준, 문인용, 이준신  
성균관대학교

## PC1D Simulation for Optimization of High Efficiency Single Crystalline Silicon Solar Cell

Young-Jun Choi, Inyong Moon, Junsin Yi  
Sungkyunkwan Univ.

**Abstract :** 결정질 실리콘 웨이퍼의 두께와 비저항은 태양전지의 효율을 결정하는 매우 중요한 요인이다. 높은 효율을 갖는 태양전지 설계를 위해 태양전지 시뮬레이터인 PC1D 프로그램을 이용하여 태양전지 웨이퍼 두께, 웨이퍼 비저항, 에미터 도핑 농도를 조절하였다. 최적화 결과, 베이스층 두께 100 $\mu$ m, 비저항 0.1 $\Omega$ ·cm, 에미터층 도핑 농도 3 $\cdot$ 10<sup>18</sup>cm<sup>-3</sup> 에서 J<sub>sc</sub>=39(mA/cm<sup>2</sup>), V<sub>oc</sub>=734(mV), P<sub>max</sub>=3.17(W), FF=74, Efficiency=21.3% 의 고효율을 얻을 수 있다. 본 연구를 통하여 태양전지 설계나 제조 시에 연구비를 절감할 수 있고 높은 효율의 태양전지로 접근할 수 있다.

**Key Words :** Solar Cell, PC1D, optimization, high efficiency, thickness, resistivity

표 1. 시뮬레이션 조건.

### 1. 서론

태양전지의 효율은 웨이퍼의 두께, 소수 반송자 수명시간, texture 구조와 균일도 정도, doping 프로파일, 표면농도와 접합 깊이, 표면 passivation(전면과 후면), 전극의 표면적 차광손실 정도등의 여러 가지 요인들이 복합적으로 영향을 끼친다. 따라서 보다 나은 효율을 얻기 위해서는 각 요소들의 영향이 어떠한지를 알고 변수들을 적절히 조절하여 최적의 조합을 찾아야한다. PC1D를 이용하면 각각의 변수들을 쉽게 조정하여 시뮬레이션 해볼 수 있다.

PC1D를 사용하여 단결정 실리콘 태양전지의 베이스층의 두께, 베이스 비저항과 에미터 도핑 농도를 변화시켜 최대의 효율을 얻을 수 있는 조건을 찾기 위해 최적화 과정을 거쳤다.

### 2. 실험

최적화 순서는 다음과 같다. 우선 최대 효율을 내는 베이스 비저항 수치를 찾기 위해 베이스층 두께와 에미터층 도핑 농도를 베이스층 비저항에 따라 각각 변화 시킨다. 그리고 결정된 최적 비저항을 고정 시키고 최적 베이스층의 두께와 에미터층 도핑 농도를 찾기 위해 다시 피드백 과정을 거치면서 실험의 신뢰성을 높였다. 표 1에는 시뮬레이션 조건이 명기되어 있다.

## DEVICE ##	
Device area	148.58cm <sup>2</sup>
Front surface texture depth	3 $\mu$ m
Front surface texture degree	54.74°
Exterior front reflectance	2%
Internal conductor	0.02S
## BASE ##	
Thickness	20 - 600 $\mu$ s
p-type Base Resistivity	0.1 - 10 $\Omega$ ·cm
Emitter peak doping concentration	3e+017 - 5e+020cm <sup>-3</sup>
Front Surface Recombination Velocity	10cm/s
Back Surface Recombination Velocity	10cm/s
Bulk Lifetime	100 $\mu$ s
## EXCITATION ##	
Temperature	300K
Intensity	0.1W/cm <sup>2</sup>

### 3. 결과 및 고찰

에미터층의 도핑 농도를 3 $\cdot$ 10<sup>17</sup>cm<sup>-3</sup> 으로 고정하고 베이스층 두께와 비저항을 변화 시켜 보았다. 베이스층의 비저항은 도핑 농도와 반비례하기 때문에 그림 1 에서 보이는 것처럼 비저항은 커질수록 도핑 농도는 낮아져서 태양전지의 효율은 낮아진다. 그리고 베이스층의 두께가 100 $\mu$ m 에서 최대 효율을 보이고 있다.

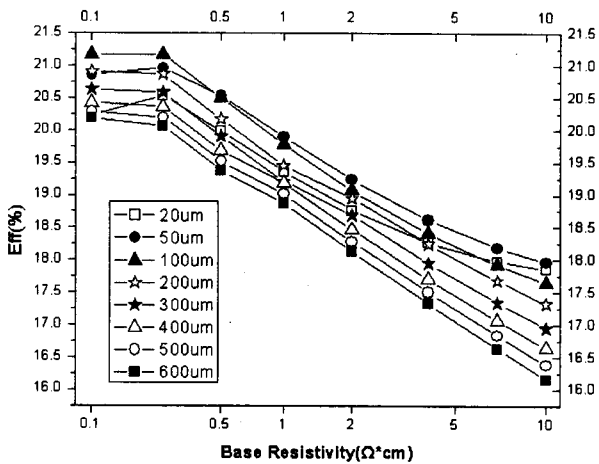


그림 1. 베이스 비저항과 웨이퍼 두께 가변에 따른 태양전지 효율 변화.

그림2 에서 역시 비저항이 커질수록 효율이 낮아지는 것을 볼 수 있다. 에미터층 도핑 농도는  $3 \cdot 10^{15} \text{cm}^{-3}$  부근에서 최대 효율을 보이고 있다.

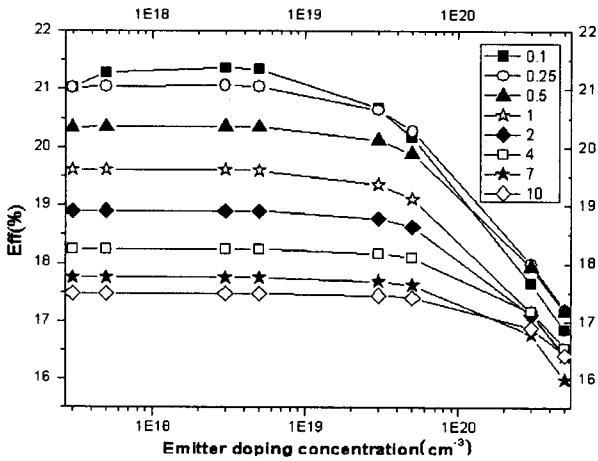


그림 2. 에미터층 도핑 농도와 베이스 비저항에 따른 효율 변화.

그림1 과 그림2 에서 나타난 공통의 결과를 통해 비저항을  $0.1 \Omega \cdot \text{cm}$ 로 결정하고 베이스층 두께와 에미터층 도핑 농도를 변화 시켜 가며 피드백 과정을 거친 결과, 그림3 에서 볼 수 있는 것처럼  $50 \mu\text{m}$  이상에서는 베이스층 두께가 두꺼울수록 직렬저항이 증가하여 효율이 떨어지는 것을 볼 수 있다. 하지만 두께가  $50 \mu\text{m}$  이하에서는 베이스층의 두께가 얇아지면 오히려 효율이 감소하는 것을 볼 수 있는데 이는 장파장 영역에서의 빛이 기판을 투과할 확률이 증가하여 빛의 양적 손실이 많아지기 때문에 나타나는 현상이다. 에미터층 도핑 농도가  $5 \cdot 10^{15} \text{cm}^{-3}$  이상이 되면 효율이 급격히 낮아지는 것을 볼 수 있는데 에미터층 도핑 농도가 일정 이상( $5 \cdot 10^{15} \text{cm}^{-3}$ )이 되면 전자-정공쌍 재결합 확률이 높아지기 때문이다.

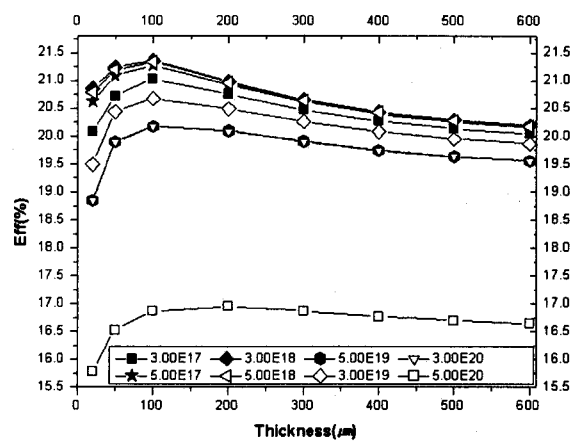


그림 3. 베이스 층 두께와 Peak 도핑 값 가변에 따른 태양전지 효율 변화.

이상의 과정을 통해서 최적화된 값은 베이스층 두께  $100 \mu\text{m}$ , 비저항  $0.1 \Omega \cdot \text{cm}$ , 에미터층의 도핑 농도  $3 \cdot 10^{15} \text{cm}^{-3}$ 로  $J_{sc}=39(\text{mA}/\text{cm}^2)$ ,  $V_{oc}=734(\text{mV})$ ,  $P_{max}=3.17(\text{W})$ ,  $FF=74$ ,  $\text{Efficiency}=21.3\%$ 의 고효율을 얻을 수 있다. 그림4는 최적화된 단결정 실리콘 태양전지의 I-V and Power 곡선이다.

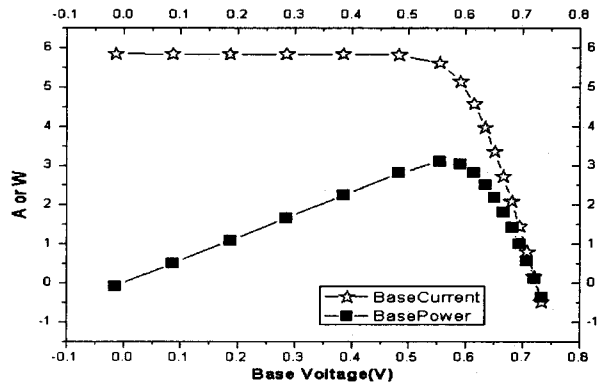


그림 4. I-V and Power곡선.

#### 4. 결론

위에서 얻어진 결과는 실제의 태양전지 설계나 제조 시에 변수 결정이나 목표 효율을 결정하는데 도움을 줄 수 있고 여러 시행착오를 줄이는데 활용할 수 있다.

#### 감사의 글

본 결과물은 산업자원부의 출연금으로 수행한 특성화대학원사업의 연구결과입니다.

#### 참고 문헌

- [1] 이준신, "태양전지공학", 그린
- [2] 이재형, "태양전지 원론", 홍릉과학
- [3] 구와노 유끼노리, "태양전지란 무엇인가?", 아카데미서적