

## 고효율 HIT Solar Cell 제작을 위한 AFORS HET 시뮬레이션 실험

조수현, 허종규, 이준신  
성균관대학교

### AFORS HET Simulation for Optimization of High Efficiency HIT Solar Cell

Soo-Hyun Cho, H대 Jong kyu, Junsin Yi  
Sungkyunkwan Univ.

**초 록 :** 비정질 실리콘 태양전지는 n-i-p형 구조가 일반적이며, 각 층의 두께와 도핑농도가 태양전지의 효율을 결정하는 중요한 요인이다. 최대의 효율을 얻을 수 있는 태양전지 설계를 위해 AFORS HET 시뮬레이션을 통하여 n층의 두께와 도핑농도, 그리고 p층의 도핑농도를 변화시켰다. 최적화 결과, a-Si:H(n)층의 두께 1nm, a-Si:H(n)층의 도핑농도  $2 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ , a-Si:H(p+)층의 도핑농도  $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 에서  $V_{oc}=679.5\text{mV}$ ,  $J_{sc}=39.02\text{mA/cm}^2$ ,  $\text{FF}=83.71\%$ ,  $\text{Efficiency}=22.21\%$ 의 고효율을 얻을 수 있다. 본 연구를 통하여 실제의 높은 효율을 갖는 태양전지 설계와 제조 시에 이용할 수 있을 것이다.

**Abstract :** Amorphous silicon Solar cell has n-i-p structure in general, and each layer's thickness and doping concentration are very important factors which are as influential on efficiency of solar cell. Using AFORS HET simulation to get the high efficiency, by adjusting n layer's thickness and doping concentration, p layer's doping concentration. The optimized values are a-Si:H(n)'s thickness of 1nm, a-Si:H(n)'s doping concentration of  $2 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ , a-Si:H(p+)'s doping concentration of  $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ . After optimization, the solar cell shows  $V_{oc}=679.5\text{mV}$ ,  $J_{sc}=39.02\text{mA/cm}^2$ ,  $\text{FF}=83.71\%$ , and a high  $\text{Efficiency}=22.21\%$ . Though this study, we can use this study for planning or manufacturing solar cell which has high efficiency.

**Key Words :** HIT Solar Cell, AFORS HET, high efficiency, layer thickness, doping concentration

a-Si:H(p+)층의 도핑농도에 따라 변화시킨다. 표 1은 시뮬레이션 조건이 명기되어 있다.

### 1. 서론

HIT Solar Cell의 효율은 진성층의 두께, 결합밀도, 계면상태와 결합구조, 도핑정도, 완충층의 존재여부 등의 여러 가지 요인들이 복합적으로 영향을 끼친다. 보다 나은 효율을 얻기 위해서는 이런 복합적인 요소들을 적절히 조절하여 최적의 조건을 찾아야 한다. AFORS HET 시뮬레이션을 통하여 이런 조건들을 가변하고 최적의 조건을 찾을 수 있다.

AFORS HET 시뮬레이션을 사용하여 a-Si:H(n)층의 도핑농도, a-Si:H(n)층의 두께, a-Si:H(p+)층의 도핑농도를 가변하여 최대의 효율을 얻을 수 있는 조건을 찾기 위해 최적화 과정을 거쳤다. 또한 n층과 p층 사이에 완충층이 있을 때와 없을 때의 효율을 비교하여 최대효율을 얻기 위한 조건을 구할 수 있다.

### 2. 실험

최적화 순서는 다음과 같다. 우선 최대 효율을 내는 a-Si:H(n)층의 도핑농도를 찾기 위해 a-Si:H(p+)층의 도핑농도를 고정시키고 a-Si:H(n)층의 두께를 a-Si:H(n)층의 도핑농도에 따라 변화 시킨다. 그리고 결정된 최적 a-Si:H(n)층의 두께를 고정시키고 최적 a-Si:H(p+)층의 도핑농도를 찾기 위해 a-Si:H(n)층의 도핑농도를

표 1. 시뮬레이션 조건

Layer	Thickness(nm)	The doping concentration( $\text{cm}^{-3}$ )
Front TCO	80	-
a-Si:H(n)	1 or above	$2 \times 10^{19}$ or above
a-Si:H(i)	5	-
c-Si(p)	300	$1 \times 10^{16}$
a-Si:H(p+)	5	$1 \times 10^{19}$ or above
Back TCO	80	-

### 3. 결과 및 고찰

a-Si:H(p+)층의 도핑농도를  $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 로 고정하고 a-Si:H(n)층의 도핑농도와 a-Si:H(n)층의 두께를 변화시켜 보았다. 그림 1.에 보이는 것처럼 a-Si:H(n)층의 도핑농도가 증가함에 따라 효율이 증가함을 알 수 있다. AFORS HET시뮬레이션을 통하여 확인한 결과 a-Si:H(n)층의 도핑농도가  $2 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 일 때의 Fermi level이 a-Si:H(n)층과 c-Si(p)층의 전도대보다 0.04eV크기 때문에, a-Si:H(n)

층의 도핑농도가  $2 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$  이후부터는 태양전지의 효율이 급격히 증가하지는 않는다.

또한 그림1.에서 a-Si:H(n)층의 두께가 1nm에서 최대 효율을 보이고 있다. 이는 a-Si:H(n)층의 두께가 얇으면 공핍층이 되어 충분한 확산전위를 얻을 수 없어 개방전압이 되고, 두께가 두꺼우면 빛 흡수는 증가하나 내부 전기장이 약해져서 변환효율이 감소하기 때문이다.

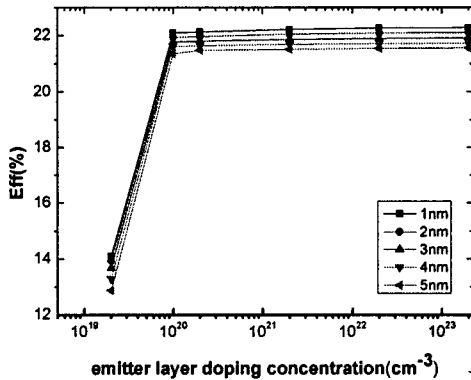


그림 1. 에미터 층 도핑농도 변화에 따른 태양전지 효율 변화

그림2.에서 역시 에미터 층의 도핑농도가 커짐에 따라 효율이 증가함을 확인할 수 있다. 그러나 그림1.에서와 같이 a-Si:H(n)층의 도핑농도가  $2 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 일 때는 효율이 작다가  $2 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$  이상에서 효율이 급격히 증가하고 그 이후로는 서서히 증가한다.

또한 a-Si:H(p+)층의 도핑농도가 클수록 효율이 증가하지만 그 증가정도가 매우 작다. a-Si:H(n)층의 도핑농도보다 태양전지의 효율에 적은 영향을 끼치는 것을 확인할 수 있다.

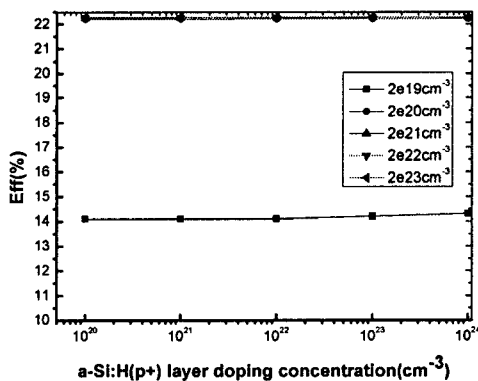


그림 2. a-Si:H(p+)층의 도핑농도 변화에 따른 태양전지 효율 변화

이상의 과정에서 최적화된 a-Si:H(n)층의 도핑농도  $2 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ , a-Si:H(p+)층의 도핑농도  $1 \times 10^{19}$ , a-Si:H(n)층의 두께 1nm로 Efficiency=22.21%를 구할 수

있다. 이와 같이 완충층이 존재할 때의 효율은 22.21%였는데 반해, 완충층이 존재하지 않을 때의 최대효율은 21.71%이다. 이는 태양전지에서 완충층이 광을 효과적으로 포획하기 때문이다.

최적화된 a-Si:H(n)층의 도핑농도  $2 \times 10^{20} \text{cm}^{-3}$ , a-Si:H(p+)층의 도핑농도  $1 \times 10^{19}$ , a-Si:H(n)층의 두께 1nm, n층과 p층 사이의 완충층의 존재로  $V_{oc}=679.5\text{mV}$ ,  $J_{sc}=39.02\text{mA/cm}^2$ , FF=83.71%, Efficiency=22.21%의 고효율을 얻을 수 있다. 그림 3.은 최적화된 HIT Solar Cell I-V 곡선을 나타낸 것이다.

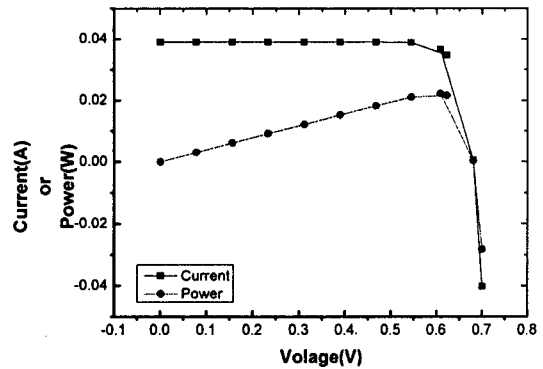


그림 3. I-V, Power-V곡선

#### 4. 결론

AFORS HET 시뮬레이션을 통하여 얻어진 결과는 실제 태양전지 설계나 제조 시에 이용할 수 있을 것이며, 최대 효율을 얻을 수 있는 최적의 조건을 찾기위한 시행착오를 줄일 수 있을 것이다.

#### 감사의 글

실험을 도와주신 성균관대 정보통신소재연구실원들에게 감사드립니다.

#### 참고 문헌

- [1] 이준신, "태양전지공학", 그린
- [2] 남시도, "태양전지기술", 한국과학기술정보연구원
- [3] 이재형, "태양전지원론", 홍릉과학