

무정형규소(a-Si)태양전지의 구조모의

최원주, 김룡운

위대한 령도자 김정일동지께서는 다음과 같이 지적하시였다.

《모든 과학자, 기술자들이 과학기술발전의 추세에 맞게 첨단과학과 기초과학발전에 힘을 넣어 나라의 과학기술을 세계적수준에 올려세우도록 하여야 합니다.》(《김정일선집》 제20권 증보판 62페이지)

리론적분석으로부터 a-Si태양전지의 변환효율을 높이기 위하여 AMPS -1D소자모의 프로그램을 리용하여 a-SiC:H/a-Si:H/a-Si:H구조를 모의하고 고유층의 두께와 금지띠너비, 혼입물의 첨가농도 등의 인자들이 태양전지성능에 주는 영향을 분석비교하였다.

1. a-Si태양전지구조모형 및 파라메터

AMPS-1D모의프로그램에서는 두가지 반도체전자모형 즉 상태밀도함수모형과 나르개수명모형을 리용하여 태양전지의 모의를 진행한다. 상태밀도함수모형은 a-Si와 같이 결합밀도가 큰 재료를 취급하는데서 우월[1, 2]하므로 우리는 상태밀도모형(DOS)을 리용하여 모의하였다.

모의에 리용한 a-Si태양전지구조는 그림 1, 리용된 재료들의 파라메터들은 표와 같다.

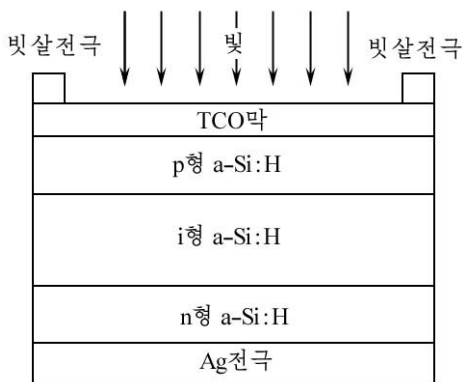


그림 1. 모의에서 리용된
a-Si태양전지구조

표 1. 모의에 리용된 a-Si태양전지파라메터들

파라메터	a-SiC:H	a-Si:H	a-Si:H
두께/nm	8	250	15
전자친화력/eV	4.0	3.9	3.9
이동도금지띠/eV	1.92	1.80	1.80
광학적금지띠/eV	1.85	1.85	1.85
상대유전률 ϵ	11.90	11.90	11.90
유효상태밀도 $N_C / (\text{cm}^{-3} \cdot \text{eV})$	$2.5 \cdot 10^{20}$	$2.5 \cdot 10^{20}$	$2.5 \cdot 10^{20}$
유효상태밀도 $N_V / (\text{cm}^{-3} \cdot \text{eV})$	$2.5 \cdot 10^{20}$	$2.5 \cdot 10^{20}$	$2.5 \cdot 10^{20}$
전자이동도 $\mu_n / (\text{cm}^{-3} \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1})$	1	10	1
구멍이동도 $\mu_p / (\text{cm}^{-3} \cdot \text{V}^{-1} \cdot \text{s}^{-1})$	0.1	1	0.1
혼입물첨가농도 N_D / cm^{-3}	0	0	$5 \cdot 10^{18}$
혼입물첨가농도 N_A / cm^{-3}	$5 \cdot 10^{18}$	0	0

모의에서는 또한 TCO/p층계면과 n/금속층계면에서의 전자와 구멍결면재결합속도를 $1 \cdot 10^7 \text{cm/s}$ 로, 앞면반사계수를 0.1로, 뒤면반사계수를 0.6으로 설정하였으며 광원으로서는 태양모의기 AM1.5, 1000W/m^2 를 선택하였다. 그리고 모의온도는 300K으로 설정하였다.

2. 결과 및 분석

고유흡수층의 최적두께와 금지띠너비(E_g)의 결정 일반적으로 a-Si태양전지는 p, i, n형의 구조로 구성하는데 p, n층들은 i흡수층에 비하여 상대적으로 얇으며 따라서 기본적으로 i층에서 빛양자들이 흡수되어 빛발생나르개들이 생기고 빛전류를 형성한다.

매 층들의 파라미터들을 설정한 후 고유층의 두께를 변화시킬 때 두께에 따르는 태양전지의 특성변화를 보면 그림 2와 같다.

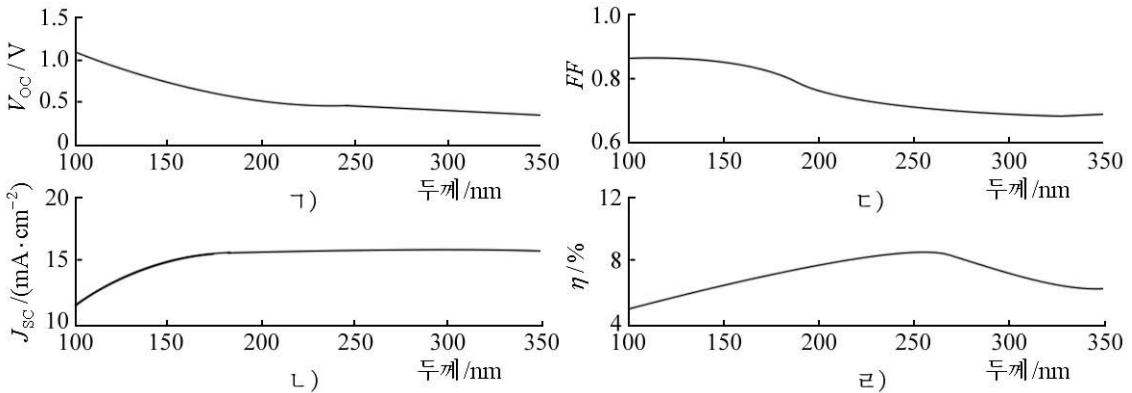


그림 2. 고유층두께에 따르는 전지의 특성

ㄱ) 개방전압(V_{oc}), ㄴ) 단락전류(J_{sc}), ㄷ) 충전인자(FF), ㄹ) 빛변환효율(η)

그림 2로부터 고유층두께변화과정에 변환효율이 최대인 최적점이 존재하는데 위의 모의결과에 의하면 고유층의 최적두께는 250nm이고 이때 대응하는 변환효율은 9.1%이다. 이때 이 값은 E_g 를 고정시키고 고찰한 값이다. 그런데 만일 고유층의 E_g 를 변화시킨다면 태양전지의 변환효율값이 최대로 되는 고유층의 두께가 변화될수 있다.

E_g 에 따르는 태양전지의 변환효율의 변화값을 측정한 결과는 그림 3과 같다.

Si재료의 E_g 는 대략 1.5~2.1eV의 범위에서 변화된다.

그림 3에서 보면 E_g 가 증가할수록 태양전지의 변환효율은 처음에는 커지다가 E_g 의 어떤 값에서부터는 다시 작아지는데 약 1.8eV에서 가장 큰 값을 가진다.

또한 E_g 의 변화는 고유층의 최적두께를 변화시키는데 계산에 의하면 $E_g = 1.5\text{eV}$ 에서는 255nm, $E_g = 1.8\text{eV}$ 에서는 265nm, $E_g = 2.0\text{eV}$ 에서는 240nm로 되었다.

우에서 본 두가지 경우 즉 E_g 가 1.8eV, 고유층이 약 265nm의 두께를 가질 때 변환효율은 9.7%까지 도달할수 있다는것을 보여준다.

혼입물첨가농도의 최적값결정 혼입물첨가농도 역시 태양전지의 변환효율에 영향을 준다. 혼입물첨가농도에 따르는 변환효율의 변화를 모의한 결과는 그림 4와 같다.

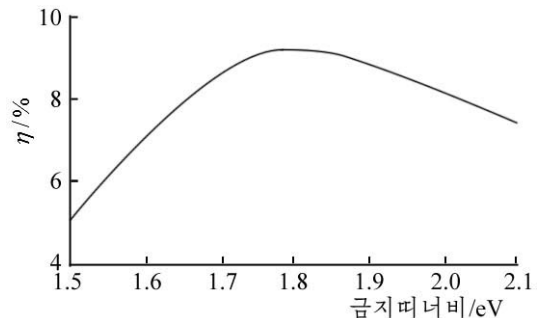


그림 3. 고유층의 금지띠너비에 따르는 변환효율의 변화

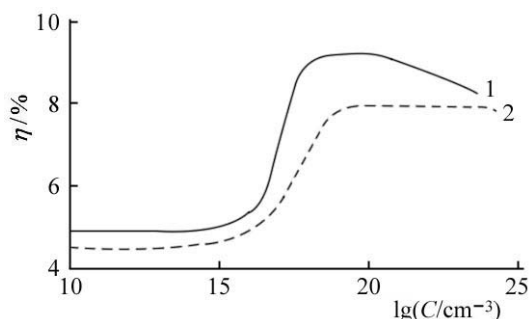


그림 4. 혼입물첨가농도에 따르는
변환효율의 변화

1-발개농도, 2-주개농도

그림 4에서 보는바와 같이 혼입물첨가농도(발개농도와 주개농도)를 증가시킬 때 변환효율은 처음에는 커지다가 어떤 값이상부터는 작아진다. 그것은 처음에 혼입물농도가 증가하면 빛발생나르개밀도가 커지고 이에 따라 빛전류가 증가한다. 그러므로 전지의 변환효율이 높아진다. 그러나 혼입물의 농도가 지나치게 높아지면 혼입물띠와 재료의 기본띠가 에너지적으로 중첩되어 E_g 가 작아지게 되는데 이것이 결국 결함상태밀도에 영향을 주어 전지의 변환효율을 떨어뜨리게 된다. 이로부터 혼입물의 첨가농도를

$10^{18} \sim 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 사이의 값을 취할 때 만족할만 한 변환효율을 얻을수 있다. 모의에서 계산된 a-Si 태양전지의 최대변환효율은 9.85%였다.

맺 는 말

프로그램모의를 통하여 E_g 가 1.8eV, 고유흡수층의 두께가 265nm, 혼입물첨가농도가 $10^{18} \sim 10^{20} \text{cm}^{-3}$ 의 값을 가질 때 a-Si태양전지의 변환효율이 9.85%로서 제일 높았다.

참 고 문 헌

- [1]. M. I. Kabir et al.; Solar Energy Materials and Solar Cells, **94**, 1542, 2010.
- [2]. Yu. Vygranenko et al.; Thin Solid Films, **354**, 403, 2002.

주체103(2014)년 5월 5일 원고접수

The Structural Simulation of a-Si Solar Cell

Choe Won Ju, Kim Ryoung Un

From the theoretical analysis, in order to improve conversional efficiency of solar cell, we carried out simulation of solar cell with a-SiC:H/a-Si:H/a-Si:H structure by using one-dimensional simulator AMPS-1D(analysis of microelectronic and photonic structures) program.

Effects of the factors such as thickness, band-gap and doping concentration of intrinsic layer on solar cell performance have been analyzed and compared.

The simulation results showed that a-Si solar cell has the highest conversional efficiencies 9.85% at band-gap of 1.8eV, thickness of intrinsic layer of 265nm and doping concentration of $10^{18} \sim 10^{20} \text{cm}^{-3}$.

Key words: amorphous Si(a-Si), solar cell, structure simulation