

# InGaP/InAlGaP 이중 접합구조 태양전지 시뮬레이션 연구

김정환\*

세종대학교 에너지자원공학과, 서울 143-747

(2012년 11월 12일 받음, 2013년 4월 12일 수정, 2013년 4월 30일 확정)

이중 p-InGaP/N-InAlGaP 접합 화합물 반도체 태양전지의 에피 구조를 제안하였다. 제안된 이중접합구조와 p-InGaP/p-GaAs/N-InAlGaP와 동종 p-InGaP/n-InGaP 접합구조 태양전지의 전류-전압 특성곡선을 시뮬레이션하고 결과를 비교분석하였다. 이중 p-InGaP/N-InAlGaP 접합구조에서 가장 높은 최대출력과 곡선인자(fill factor)를 나타내는 시뮬레이션 결과를 얻었으며 이를 바탕으로 제안된 이중접합 에피구조를 최적화하였다.

주제어 : 태양전지, 이중접합, Pn 접합, 화합물 반도체

## I. 서 론

현재 시장의 대부분을 차지하고 있는 1세대 결정질 실리콘 태양전지는 이미 셀효율 24%를 달성했으며 [1] Schoc-kley-Queisser의 단일 p-n 접합태양전지의 이론적 한계 효율 33.7% [2]에 근접하고 있다. 최근에는 세계 경제침체와 공급 과잉에 의해 결정질 실리콘 태양전지의 kW당 발전 단가가 낮아지기는 했으나 아직도 화석연료에 비해서는 경제성이 떨어지기 때문에 전체 에너지원에서 차지하는 비중이 낮다. 보다 광범위한 태양광 전력의 보급을 위해서 태양전지의 광흡수 효율을 획기적으로 증가시켜 발전 단가를 낮추고 grid parity를 달성하려는 연구가 활발히 진행되고 있다. 단일 접합 태양전지의 이론적 한계를 돌파하기 위해 서로 다른 흡수 파장대를 가진 두 개 이상의 반도체 p-n 접합으로 이루어진 서브셀(subcell)들을 터널 정션(tunnel junction)을 이용해 적층시킨 다중 접합 태양전지에 대한 연구가 전개되어 왔다. III-V 화합물 반도체의 삼중접합 태양 전지의 경우 41%의 광변환 효율이 집광 조건에서 보고되었다 [3,4]. 양자점 등을 이용해 광흡수층 중간에 밴드갭이 작은 Intermediate band (IB)을 생성시켜 다른 파장대의 빛에 의한 흡수율을 증가시킨 IB 태양전지에 대한 연구도 진행되고 있다 [5-7]. 이러한 태양전지 연구의 공통점은 서로 다른 파장대의 광흡수층을

가진 태양전지를 만들어 전체 태양스펙트럼을 보다 효과적으로 이용하여 에너지 변환 효율 개선하려한다는 점이다.

탠덤형(tandem) 또는 다중접합 태양전지의 경우 발생하는 총 전류가 가장 작은 전류를 발생시키는 서브셀에 의해 제한되기 때문에 각각의 서브셀 층에서 발생하는 전류가 일치하도록 설계되어야 한다. 다중접합 태양전지의 경우 높은 효율을 달성할 수는 있지만 서로 다른 밴드갭의 반도체 층을 높은 도핑농도의 p-n 접합으로 된 터널 정션을 각 서브셀 사이에 넣어 적층해야 할 뿐 아니라 화합물 반도체 간의 격자 상수의 차이에서 오는 문제를 고려해야 하는 등 박막 성장과정이 복잡하다. 이처럼 다중 접합 태양전지의 경우 에피구조 설계에 있어 고려해야 할 것들이 많다는 단점이 있다.

이 논문에서는 p-InGaP/N-InAlGaP의 이중접합 태양전지를 2차원 silvaco<sup>®</sup> 프로그램을 이용하여 시뮬레이션을 수행하고 이를 분석하였다. 화합물 반도체를 터널 정션을 이용해 적층하거나 양자점을 형성시키는 대신에 단일셀로 이루어진 이중 접합구조를 제안하고 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과를 통해 다중 접합 태양전지보다 단순한 에피 구조를 갖는 단일셀 이중접합 화합물 태양전지에서의 광변환 효율 개선의 가능성을 살펴 보았다.

\* [전자우편] junghwan@sejong.ac.kr

## II. InGaP/InAlGaP 이중접합소자의 시뮬레이션과 에피 구조

Silvaco<sup>®</sup> 시뮬레이션 프로그램은 전하 분포, 재결합, mobility에 따른 물리적 모델을 제공한다. 이 논문에서 사용된 시뮬레이션에서 전하 분포는 Fermi-Dirac 통계를 따른다고 가정하고 재결합의 모델로는 Shockley-Read-Hall, Auger 재결합과 radiative (band to band) 재결합을 가정하였다. 또한 Mobility는 도핑 농도에 의존하는 값을 가진다고 가정하였으며 300 K에서의 값을 사용하였다.

Shockley-Read-Hall 재결합은 금지된 에너지갭(forbidden gap)에 존재하는 trap에 의해 일어난다. Shockley-Read-Hall 재결합은 [8]

$$R_{SRH} = \frac{pn - n_i^2}{\tau_{SRH,n}(p + n_i e^{(E_i - E_F)/kT}) + \tau_{SRH,p}(n + n_i e^{(E_F - E_i)/kT})} \quad (1)$$

로 주어진다. 여기서  $\tau_{SRH,n}$ ,  $\tau_{SRH,p}$ 는 각각 전자와 양공의 lifetime으로 다음으로 주어진다.

$$\tau_{SRH} = \frac{1}{\sigma v_{th} N_T} \quad (2)$$

여기서  $\sigma$ 는 capture 단면적,  $v_{th}$ 는 전하의 속도,  $N_T$ 는 trap의 농도이다. 빛의 세기가 센 경우, 즉  $p \approx n \gg p_0, n_0$ 인 경우 위의 식은

$$R_{SHR} \approx \frac{n}{\tau_{SHR,p} + \tau_{SHR,n}} \approx \frac{p}{\tau_{SHR,p} + \tau_{SHR,n}} \quad (3)$$

로 간단한 형태로 표현된다.

Radiative 재결합은 실리콘과 같은 간접 천이형 반도체에서 보다 화합물 반도체와 같은 직접 천이형 반도체에서 보다 큰 영향을 주고 다음과 같이 표현된다.

$$R_\lambda = C^{opt}(np - n_i^2) \quad (4)$$

여기서  $C^{opt}$ 는 capture rate이다.

Auger재결합은 다음의 식으로 표현된다.

$$R_{Auger} = A_n(pn^2 - nn_i^2) + A_p(np^2 - pn_i^2) \quad (5)$$

여기서  $A_n$ 과  $A_p$ 은 계산에 사용되는 모델 계수로 여기서는  $2.8 \times 10^{-31} \text{ cm}^6/\text{s}$ ,  $9.9 \times 10^{-32} \text{ cm}^6/\text{s}$ 가 사용되었다.

Fig. 1은 이 연구에서 시뮬레이션에 사용된 태양전지의 에피 구조이다. 맨 위 50 nm 두께의 p-InAlP ( $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ ) 층과 아래의 30 nm n-InAlP ( $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )와 200 nm n-GaAs ( $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )층 사이에 세 종류의 서로 다른 베이스 층과 이미터 층을 삽입하여 태양전지 박막구조의 차이에 따른 특성을 비교하였다. Fig. 1(a)에 나타난 첫 번째 에피구조는 p-InGaP 300 nm ( $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )와 p-GaAs 500 nm ( $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )의 두 물질층 베이스 층으로 1  $\mu\text{m}$  n-InAlGaP ( $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ )를 이미터 층으로 가진 경우이다. 두 번째 구조는 단일 InGaP pn 접합으로 800

(a)

p-In <sub>0.5</sub> Al <sub>0.5</sub> P	50nm	( $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )
p-In <sub>0.51</sub> Ga <sub>0.49</sub> P	300nm	( $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )
p-GaAs	500nm	( $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )
n-In <sub>0.5</sub> (Al <sub>0.7</sub> Ga <sub>0.3</sub> ) <sub>0.5</sub> P	1 $\mu\text{m}$	( $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ )
n-In <sub>0.5</sub> Al <sub>0.5</sub> P	30nm	( $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )
n-GaAs	200nm	( $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )

(b)

p-In <sub>0.5</sub> Al <sub>0.5</sub> P	50nm	( $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )
p-In <sub>0.51</sub> Ga <sub>0.49</sub> P	800nm	( $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )
n-In <sub>0.51</sub> Ga <sub>0.49</sub> P	1 $\mu\text{m}$	( $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ )
n-In <sub>0.5</sub> Al <sub>0.5</sub> P	30nm	( $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )
n-GaAs	200nm	( $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )

(c)

p-In <sub>0.5</sub> Al <sub>0.5</sub> P	50nm	( $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )
p-In <sub>0.51</sub> Ga <sub>0.49</sub> P	800nm	( $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )
n-In <sub>0.5</sub> (Al <sub>0.7</sub> Ga <sub>0.3</sub> ) <sub>0.5</sub> P	1 $\mu\text{m}$	( $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ )
n-In <sub>0.5</sub> Al <sub>0.5</sub> P	30nm	( $2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )
n-GaAs	200nm	( $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )

Figure 1. Epitaxial layer structures: (a) p-InGaP/p-GaAs/n-InAlGaP (b) p-InGaP/n-InGaP (c) p-InGaP/n-InAlGaP.

nm의 p-InGaP ( $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )와  $1 \mu\text{m}$  n-InGaP ( $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ )를, 세 번째는 800 nm p-InGaP ( $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ )와  $1 \mu\text{m}$  N-InAlGaP ( $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ )의 이종접합으로 이루어진 경우로 Fig. 1(b)와 (c)에 각각 고려된 구조를 나타내었다. 위로부터 p-InAlP (2.36 eV), p-InGaP (1.85 eV) base 층, N-InAlGaP (2.3 eV) emitter 층, n+-GaAs (1.42 eV)으로 이루어져 있다.

$\text{In}_{0.5}(\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y})_{0.5}\text{P}$ 는 Al의 비율  $0 < y < 0.7$ 에서는 1.9 eV에서 2.3 eV에 이르는 직접천이형(direct) 밴드갭을 가진다. 또한 AlP와 GaP의 격자상수가 같아서 y의 조성 비율에 관계없이 GaAs의 격자상수 5,653 Å에 일치되는 lattice matched 박막의 성장이 가능하다. 따라서 이 연구에서 제안된 세 종류의 박막구조는 모두 GaAs에 격자 상수를 일치시켜 성장시킬 수 있는 구조이다. 밴드갭 설계와 격자상수에 대한 유연성 때문에  $\text{In}_{0.5}(\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y})_{0.5}\text{P}$ 는 반도체 레이저, LED (light emitting diode) 등에 널리 사용되어져 왔으며 III-V 다중접합 태양전지의 윈도우 층으로도 사용되어왔다. 이 연구에서는 매우 얇은 p층에서만 광흡수가 일어나고 빛에 의해 발생된 전자-양공중 전자만이 보다 넓은 밴드갭을 가진 n층을 통과하여 반대편 전극으로 흘러가 전류로 변환되는 uni-traveling 광다이오드가 강한 입사조건에서 더 높은 포화전류를 나타낸다는 점에 착안하였다 [9]. 이 특성을 이용하여 집광형 시스템에 응용될 수 있는 화합물 반도체 태양전지의 박막구조를 제안하고 시뮬레이션을 수행하였다. p-InGaP/n-InGaP 동종 접합대신 p-InGaP/N- $\text{In}_{0.5}(\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y})_{0.5}\text{P}$ 의 이종접합을 이용하여 p-InGaP층에서 광흡수에 의해 발생된 전자-양공 중에 전자가 N-InAlGaP 층으로 확산되고 이종접합의 내부 전위차(built-in voltage)에 의한 이동으로 반대편 전극으로 흘러 전류로 변환되는 구조이다. n-InGaP 대신에 N- $\text{In}_{0.5}(\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y})_{0.5}\text{P}$  이종접합을 사용하여 태양 전지의 에너지 변환 효율을 감소시키는 주된 요인 중의 하나인 재결합 loss를 줄이기 위한 구조이다. Uni-traveling 광다이오드와 다른 점은 태양광은 상당히 넓은 스펙트럼에서 빛의 흡수가 일어나므로 N-InAlGaP 층에서도 높은 에너지의 빛에 의한 다소의 빛의 흡수가 있다고 볼 수는 있으나 이물질이 다중접합 태양전지에서 window층으로 사용되는 물질로 태양광에 의한 전자-양공의 생성 비율이 낮다고 볼 수 있다. 집광형 태양광의 경우처럼 입사광의 세기가 큰 경우 단일 p-n 접합에서는 태양광에 의해 생성된 전자-양공들에 의한 space-charge screen

효과가 훨씬 커지므로 보다 전자의 이동이 느려지고 재결합의 확률이 커지므로 전류 변환 효율이 낮아진다. 전자가 N층을 통과하는 동안에 N층에서 태양광에 의해 전자-양공이 생성되지 않는다면 전자의 재결합 확률을 줄여 전류 변환 비율을 증가시킬 수 있다.

태양전지의 경우 빛에 의해 전자-양공이 발생되더라도 이들이 pn 정션에서 멀리 떨어져 있는 경우 전하가 전극으로 흘러가지 못해 전류로 변환되지 못하므로 p와 n 층의 두께에 따른 변화를 전류-전압 특성곡선 시뮬레이션을 수행하여 에피 구조를 최적화를 시도하였다. 시뮬레이션은 태양광 스펙트럼 AM 1.5의 조건과 집광형 100 sun ( $10.47 \text{ W/cm}^2$ ) 조건하에서 수행되었다.

### III. 결과 및 분석

Fig. 2는 세가지 형태의 에피 구조에 따른 전류-전압 특성 곡선 시뮬레이션의 결과를 나타낸 것이다: i) p-InGaP와 p-GaAs의 두개의 베이스 층으로 사용한 경우, ii) 단일 InGaP p-n 접합의 경우 iii) 이종 p-InGaP/N- $\text{In}_{0.5}(\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y})_{0.5}\text{P}$  접합의 전류-전압 특성을 비교하였다. p-InGaP와 p-GaAs의 두개의 베이스 층을 사용한 경우 에너지 갭이 다른 두 반도체 흡수층에 의해 보다 효과적인 태양광 스펙트럼의 사용이 가능하여 가장 큰 단락전류 밀도  $J_{sc}=3.13 \text{ A/cm}^2$ 를 나타냈으나 개방전압  $V_{oc}$ 는 넓은 InGaP

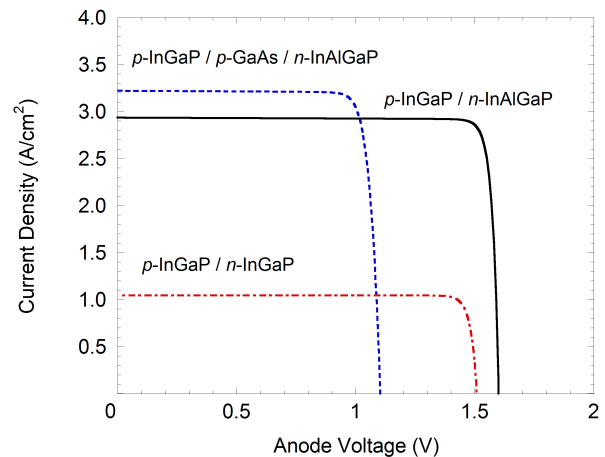


Figure 2. Comparison of solar cells of current density-voltage characteristics under AM 1.5 and concentrated 100 sun condition.

밴드갭이 아니라 GaAs의 밴드갭에 의해 결정되므로 1.1 eV를 나타내었다. 이 경우 곡선인자(fill factor, FF)는 88%, 최대 출력  $P_m=3.13 \text{ W/cm}^2$ 이었다. 단일 InGaP pn 접합을 사용한 경우는 InGaP에 의한 태양광의 흡수가 주로 일어나 단락전류 밀도가 p-InGaP와 p-GaAs의 경우에 비해 약 3분의 1정도로 감소되어  $1.05 \text{ A/cm}^2$ 로 나타났다. 반면 개방전압  $V_{oc}$ 는 GaAs보다 넓은 InGaP의 밴드갭에 의해 결정되어 1.5 eV로 증가되었다. 이때 FF는 89%, 최대 출력  $P_m=1.40 \text{ W/cm}^2$ 이었다. 세 번째 구조인 p-InGaP와 n-InAlGaP의 경우 단락전류 밀도는 p-InGaP/p-GaAs보다 10% 정도 감소한  $2.93 \text{ A/cm}^2$ 로 되었고 개방전압은 1.6 eV로 단일 InGaP pn 접합의 경우보다도 증가되었는데 이는 InGaP의 밴드갭이 InGaP에 비해 넓기 때문에 개방전압  $V_{oc}$ 도 소폭 증가되었다. FF는 91%, 최대 출력  $P_m=4.26 \text{ W/cm}^2$ 이었다. 약 40%에 해당하는 광변환 효율의 이론값은 삼중접합 태양전지의 광변환 효율에 해당하는 값으로 이러한 높은 광변환 효율이 단일 셀로 달성될 수 있을 가능성을 이론적으로 보인 것이다. 이중 p-InGaP/n-InAlGaP의 경우 단락전류의 값은 동종 pn InGaP 접합의 경우에 비해서 3배에 가까운 값을 나타냈다. 두 번째 에피구조의 n-InGaP 층 대신에 밴드갭이 좀 더 넓은 N-InAlGaP로 대체하였을 때 더 높은 단락전류값을 얻었다는 사실은 앞 절에서 예상한 바와 같이 재결합 loss를 줄이기 위해 태양광에 의한 전자-양공의 생성이 매우

적은 N-InAlGaP층을 사용하면 전류변환 효율을 증가시킬 수 있다는 가정을 확인시켜주는 시뮬레이션 결과를 얻었다.

에피 구조의 최적화를 위해 가장 높은 최대 출력을 나타낸 세 번째 에피구조에서 n-In<sub>0.5</sub>(Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>)<sub>0.5</sub>P 층의 두께 변화에 따른 전류-전압 특성을 계산한 결과를 Fig. 3에 보였다. 계산에서 p-InGaP 층의 두께는  $0.8 \mu\text{m}$ 로 유지시키고 n-InAlGaP의 두께를  $0.5 \mu\text{m}$ 에서  $3 \mu\text{m}$ 까지 변화시켜가면서 전류-전압 특성곡선을 시뮬레이션을 수행하였다. n-InAlGaP 층 두께의 증가에 따라 단락전류밀도  $J_{sc}$ 가 증가되었으나 전류의 증가가 선형적으로 증가되지는 않고 두께가  $0.8 \mu\text{m}$  이상에서는 그 증가율이 다소 감소되었다 하지만 N-In<sub>0.5</sub>(Al<sub>y</sub>Ga<sub>1-y</sub>)<sub>0.5</sub>P의 두께가 증가함에 따라 단락전류는  $3 \mu\text{m}$  두께까지 지속적으로 증가되었다. 반면 단락전압은 1.6 V로 변화가 없었다.

Fig. 4는 베이스층의 두께에 따른 단락전류 밀도의 계산 결과를 보여주는 그래프이다. 베이스 층의 두께를  $0.3 \mu\text{m}$ 부터  $1.0 \mu\text{m}$ 까지 변화시켜 계산된 단락 전류는  $2.9 \text{ A/cm}^2$ 로 거의 일정했으며 개방전압도 1.6 eV로 변화가 없었다. InGaP의 흡수계수는 얻은 InP와 GaP의 광흡수계수 결과로부터 입사광의 에너지가  $1.8 \sim 2.2 \text{ eV}$ 인 영역에서  $10^4 \sim 10^5 \text{ cm}^{-1}$ 의 값을 가지는 것으로 예측된다 [10]. 이로부터 얻어진 빛의 penetration depth는  $0.1 \sim 1 \mu\text{m}$ 의 값을 가진다. Fig. 4에서  $0.4 \mu\text{m}$  두께에서 가장 큰 광전류를 얻었고 이로부터 대부분의 빛이  $0.4 \mu\text{m}$  이내에서 흡수되기 때문이라고 보여진다.

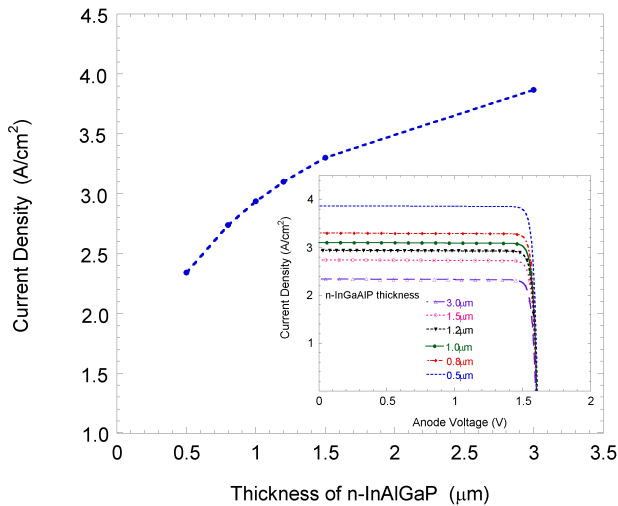


Figure 3. Short current density versus thickness of n-InAlGaP under AM 1.5 and concentrated 100 sun condition (Inset: current density-voltage characteristics on varying n-InAlGaP thickness).

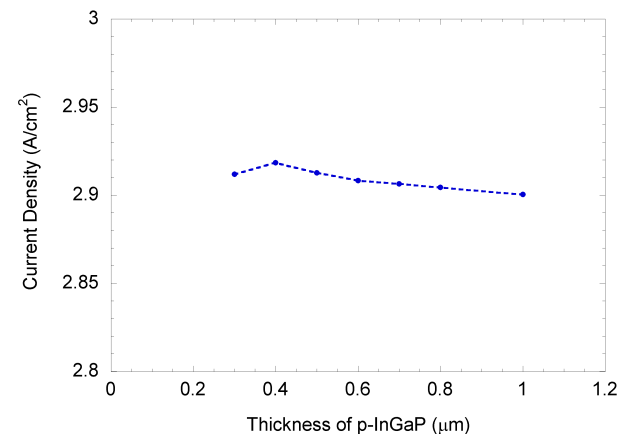


Figure 4. Short current density versus thickness of p-InGaP in p-InGaP/n-InAlGaP epilayer structure under AM 1.5 and concentrated 100 sun condition.

p-InGaP와 N-InAlGaP의 이중 접합 구조의 단일셀로 이루어진 태양전지의 에피구조를 제안하고 이 구조에서 기존의 단일 pn 접합으로 이루어진 구조에 비해 우수한 특성을 나타낼 수 있음을 시뮬레이션을 통해 살펴보았다. 시뮬레이션에서 얻어진 바로는 p-InGaP층의 두께는 약 0.4~0.8  $\mu\text{m}$  내에서 n-InAlGaP층의 두께는 0.8~1.0  $\mu\text{m}$ 의 영역에서 박막 성장에 있어 비용대비 효과가 우수한 두께를 선택하여 성장시킬 수 있을 것이다.

#### IV. 결 론

p-InGaP/N-InAlGaP의 이중 pN 접합을 이용한 태양전지의 에피구조를 제안하고 단일 InGaP pn 접합구조와 p-InGaP/p-GaAs/n-InAlGaP 구조의 태양전지에 비해서 우수한 전류-전압특성, FF, 최대 출력을 갖는 것을 시뮬레이션을 통해 보였다. 제안된 p-InGaP/N-InAlGaP 박막구조는 격자정합(lattice matched)구조로 GaAs 기판에 성장이 가능하기 때문에 격자 부정합으로 인한 박막성장의 어려움을 피할 수 있다. 이 계산 결과는 단일 접합 pn 구조보다 이중 pN 접합 구조에서 더 높은 에너지 변환 효율을 얻을 수 있음을 보였다. 이 구조를 바탕으로 각각의 태양광 흡수층의 두께에 따른 전류-전압 특성 시뮬레이션을 통해 에피구조의 최적화를 실행하였다. 이 연구에서 제안된 태양전지 에피 구조를 바탕으로 실제 박막구조를 성장하고 태양전지를 만들어 이론에 의한 계산을 실험적으로 확인하는 과정이 앞으로의 연구 과제로 남겨져 있다.

#### 감사의 글

본 연구는 2010년 세종대학교 교내 연구비에 의하여 수행되었음.

#### 참고문헌

- [1] J. Zhao, A. Wang, S. Wenham, and M. Green, *Solar Energy Material and Solar Cells* **41/42**, 87 (1996).
- [2] W. Shockley and H. J. Queisser, *J. Appl. Phys.* **32**, 510 (1961).
- [3] R. R. King, D. C. Law, K. M. Edmondson, C. M. Fetzer, G. S. Kinsey, H. Yoon, R. A. Sherif, and N. H. Karam, *Appl. Phys. Lett.* **90**, 183516 (2007).
- [4] W. Guter, J. Schone, S. P. Philipps, M. Steiner, G. Siefer, A. Wekkeli, E. Welser, E. Oliva, A. W. Bett, and F. Dimroth, *Appl. Phys. Lett.* **94**, 223504 (2009).
- [5] A. Marti, L. Cuadra, and A. Luque, *IEEE Trans. Electron Dev.* **48**, 2394 (2001).
- [6] J. Cho, S. Kim, S. Hwangboe, J. Jang, H. Choi, and M. Jeon, *J. Korean Vac. Soc.* **18**, 352 (2009).
- [7] H. J. Baek, J. H. Park, T. W. Kim, and K. J. Kim, *Proceedings of the 43rd Conference of Korean Vac. Soc.* 354 (2012).
- [8] S. M. Sze, *Physics of Semiconductor Devices*, (John Wiley & Sons, New York, 1981), pp. 35-38.
- [9] H. Ito, S. Kodama, Y. Muramoto, T. Furuta, T. Nagatsuma, and T. Ishibashi, *IEEE J. Sel. Topic. Quant. Elect.* **10**, 709 (2004).
- [10] S. Adachi, *J. Appl. Phys.* **66**, 6030 (1989).

## **Simulation Study on Heterojunction InGaP/InAlGaP Solar Cell**

Junghwan Kim\*

*Department of Energy and Mineral Resources Engineering, Sejong University, Seoul 143-747*

(Received November 12, 2012, Revised April 12, 2013, Accepted April 30, 2013)

An epitaxial layer structure for heterojunction p-InGaP/N-InAlGaP solar cell has proposed. Simulation for current density-voltage characteristics has been performed on p-InGaP/N-InAlGaP structure and the simulation results were compared with p-InGaP/p-GaAs/N-InAlGaP structure and homogeneous InGaP pn junction structure. The simulation result showed that the maximum output power and fill factor have greatly increased by replacing n-InGaP with N-InAlGaP. The thicknesses of p-InGaP and n-InAlGaP were optimized for the epitaxial layer structure of p-InGaP/N-InAlGaP.

Keywords : Solar cells, Heterojunction, Pn junction, Compound semiconductors

\* [E-mail] [junghwan@sejong.ac.kr](mailto:junghwan@sejong.ac.kr)