2009년도 대한전기학회 전기기기 및 에너지변환시스템부문회 춘계학술대회 논문집 (2009. 4. 23 ~ 25)

p-layer 최적화를 통한 고효율 비정질 실리콘 박막태양전지 설계 simulation 실험

박승만[1], 이영석[1], 이범상[3], 이돈희[3], 이준신[2]
[1]성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 [2]성균관대학교 에너지과학학과 [3](주)테스

The simulation of high efficiency amorphous silicon thin film solar cells by p-layer optimizations

S.M. Park[1], Y.S. Lee[1], B.S. Lee[3], D.H. Lee[3], J.S. Yi[2]
[1][2]Sungkyunkwan University [3]TES CO.,LTD

Abstract - 현재 상용화되어 있는 결정질 태양전지의 경우 높은 실리콘 가격으로 인해 저가격화에 어려움을 겪고 있다. 따라서 태양전지 저가화의 한 방법으로 박막태양전지가 주목을 받고 있다. P-I-N 구조의 박막태양전지에서 각 층의 thickness, activation energy, energy bandgap은 고효율 달성을 위한 중요한 요소이다. 본 논문에서는 박막태양전지 p-layer의 가변을 통하여 고효율을 달성하기 위한 simulation을 수행하였다. 가변 조건으로는 thickness 5~25nm, activation energy 0.3~0.6 eV 그리고 energy bandgap 1.6~1.8 eV까지 단계별로 변화시켰다. 최종 simulation 결과 p-layer의 thickness 5nm, activation energy 0.3 eV 그리고 energy bandgap 1.8 eV에서 최고 효율 11.08%를 달성하였다.

1. 서 론

18세기 산업혁명 이 후 다량의 화석연료 사용으로 지구의 온난화는 가속되어왔다. 이러한 화석 연료로부터 나오는 CO_2로 인한 지구온난화 문제, 한정되어있는 화석연료의 매장량에 따른 자원 수급 문제 등의 이유로 대체에너지에 대한 다양한 연구가 진행 되고 있다. 이 중에서도 무공해의 자원이면서 자원 고갈 없이 무한대의 에너지를 얻을 수 있는 태양광 에너지를 이용한 연구가 활발하게 진행되고 있다.

현재 태양광 에너지를 이용한 연구의 핵심이라 할 수 있는 태양전지 분야는 결정질 실리콘 태양전지, 실리콘 박막 태양전지, 이종접합 태양전지, 화합물 반도체 태양전지 그리고 기타 태양전지로 나눌 수 있다. 현재 결정질 실리콘 태양전지가 시장의 80%이상을 차지하며 상용화 되어있으나 제조단가의 50%이상을 차지하는 실리콘 기판의 높은 가격으로 인하여 저가격화, 대면적화에 어려움을 겪고 있다. 이러한 문제점들의 해결방안으로 실리콘 박막 태양전지가 새롭게 주목을 받고 있다. 그 이유로는 결정질 실리콘 태양전지의 1/100 수준의 실리콘 사용량과 이에 따른 저가격화, 대면적화가 용이 하기 때문이다. 그러나 아직까지 성능의 재현성 문제 및 결정형 실리콘 태양전지에 비하여 낮은 효율 등의 문제는 극복해야 될 과제로 남겨져있다. [1]

P-I-N 구조의 실리콘 박막 태양전지에서 각 층의 thickness, activation energy, energy bandgap은 고효율 달성을 위한 중요한 요소이다. 특히 p-i-n 구조에서 가장 먼저 빛을 받는 p-layer의 조건에 따라 태양전지의 특성이 민감하게 반응한다. 따라서 본 논문에서는 박막태양전지 p-layer의 가변을 통하여 고효율을 달성하기 위한 simulation을 수행하였다. simulation 조건으로는 p-layer thickness를 5nm ~ 25nm까지 5nm간격으로 가변하였고 activation energy을 0.3eV ~ 0.6eV 까지 0.05eV씩 변화시켰다. 또한 energy bandgap을 1.6eV ~ 1.8eV까지 0.05eV씩 변화시켜 최적화 된 결과에서 single cell에서 최고 효율 11.08%를 달성하였다.

2. 본 론

2.1 이론적 배경

태양전지의 성능을 평가하는 중요한 파라미터로 단락전류(Short-circuit current, Isc), 개방전압(Open-circuit voltage, Voc), 곡선인자(Fill Factor, FF), 변환효율(Efficiency,) 등이 주로 사용되고 있다. 이러한 파라미터들은 전류-전압 특성 곡선을 통하여 알아볼 수 있는데 그 방법은 암 상태에서 태양전지의 전류-전압 특성 곡선을 아래쪽으로 광생성 전류만큼 이동시켜서 얻을 수 있다.[2]

단락 전류는 태양전지 양단의 전압이 0일 때 흐르는 전류를 의미한다. 단락전류는 광에 의해 발생된 캐리어의 생성과 수집에 기인하므로 이상적인 태양전지의 경우 단락전류와 광생성 전류는 동일하다. 단락전류는 다음과 같은 식으로 나타내어진다.

$$I_{sc} = \int_0^{\infty} J_{sc}(\lambda)d\lambda \simeq \int_{0.3\mu m}^{\infty} J_{sc}(\lambda)d\lambda = \int_{0.3\mu m}^{\infty} (1-R(\lambda))qF(\lambda)\eta_{coll}(\lambda)d\lambda$$

λ : 입사광의 파장
$R(\lambda)$: 표면에서의 반사율
$F(\lambda)$: 태양 스펙트럼 내에서 파장이 $\lambda \sim \lambda + d\lambda$범위의 광자 수

개방전압은 전류가 0일 때 태양전지 양단에 나타나는 전압으로 태양전지로부터 얻을 수 있는 최대 전압에 해당한다. I=0이고 $I_l = I_{sc}$ 일 때, 개방전압은 다음 식으로 표현된다.

$$V_{oc} = \frac{nkT}{q} ln[(\frac{I_{sc}}{I_0}) + 1]$$

태양전지의 곡선인자는 단락전류와 개방전압의 곱에 대한 출력의 비로써 전류-전압 곡선에서 채울 수 있는 최대 직사각형의 면적에 해당한다. 곡선인자는 다음 식에 나타나듯이 I_m과 V_m이 단락전류와 개방전압에 가까운 정도를 나타내며 태양전지의 성능을 나타내는 중요한 파라미터 중 하나이다.

$$FF = \frac{I_m \cdot V_m}{I_{sc} \cdot V_{oc}}$$

$$= \frac{V_m}{V_{oc}}[1 - \frac{\exp(\frac{qV_m}{nkT}) - 1}{\exp(\frac{qV_{oc}}{nkT}) - 1}]$$

변환 효율은 태양으로부터 입사 된 에너지에 대한 출력 에너지의 비를 나타낸다. 그러므로 태양전지의 성능을 나타내는 가장 중요한 파라미터이다. 변환 효율은 조사되는 태양광의 세기나 온도 등의 영향을 받으므로 AM1.5, 25 ℃의 일정한 조건에서 측정된다. 태양전지의 효율은 다음 식으로 나타내진다. [1]

$$\eta = \frac{P_m}{P_{input}} = \frac{I_m \cdot V_m}{P_{input}} = \frac{V_{oc} \cdot J_{sc}}{P_{input}} FF$$

2.2 Simulation 및 결과

p-layer 가변을 통한 고효율의 실리콘 박막 태양전지를 만들기 위하여 PIN구조의 태양전지에서 i-layer thickness는 400nm로, n-layer의 thickness, activation energy, energy bandgap을 각각 30nm, 0.2eV, 1.73eV로 고정하고, p-layer의 thickness, activation energy 그리고 energy bandgap을 변화시켜 ASA를 이용하여 simulation을 진행시켰다.

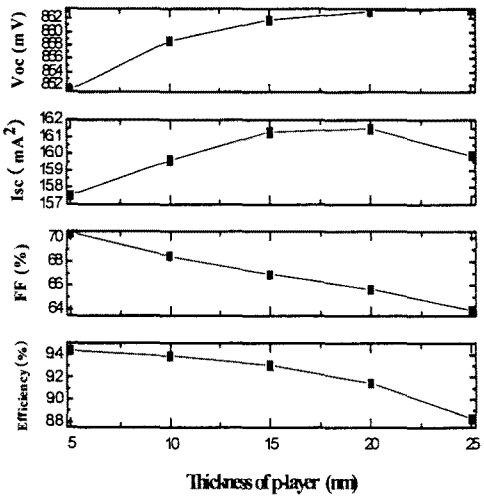

그림 1. p-layer의 thickness에 따른 특성 변화

그림 1 은 초기 상태에서 p-layer의 thickness를 가변하며 simulation한 결과를 보여준다. 두께가 증가하면서 Voc와 Isc가 점점 증가하지만 fill factor의 감소로 인하여 낮은 효율을 나타내는 것을 볼 수 있다. 특히 thickness가 25nm가 되자 Isc의 급격한 감소로 효율이 크게 떨어지는 것을 볼 수 있다. 따라서 p-layer의 두께가 적정수준의 두께를 넘어버리면 태양전지 효율 감소로 나타나게 되는 것을 확인할 수 있었다.

그림 2 에서는 p-layer의 activation energy에 따른 실리콘 박막 태양전지의 효율에 대한 simulation 결과를 볼 수 있다. activation energy가 0.3 ~ 0.45 eV에서는 효율이 크게 변화 하지 않으나 0.5eV이상 증가하게 되면 크게 감소된 Voc의 영향으로 낮아진 fill factor에 의해서 효율이 크게 떨어지는 것을 알 수 있다.

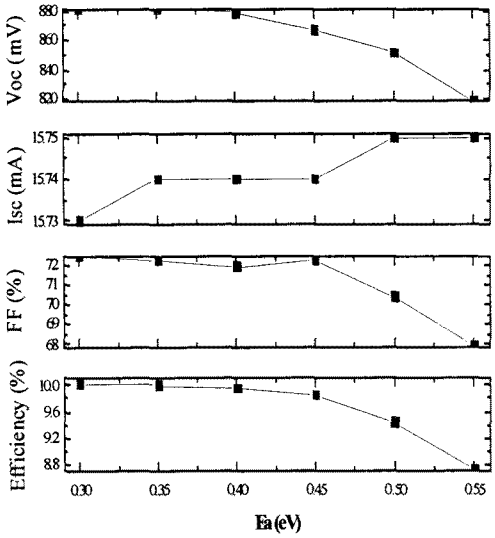

그림 2. p-layer의 activation energy에 따른 특성변화

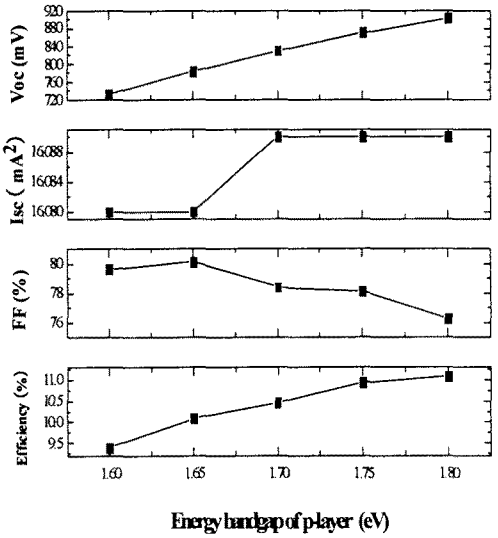

그림 3. p-layer의 energy bandgap에 따른 특성 변화

그림 3 에서는 p-layer의 bandgap 변화가 효율에 미치는 영향을 알아볼 수 있다. 증가하는 energy bandgap에 따라 Isc의 증가는 크지 않으나 Voc의 증가가 급격하게 일어난다. 이것은 p-i-n 구조에서 수광부인 p층의 bandgap이 증가함으로 인해서 p층에서 흡수하는 빛의 양이 감소하게 되고 i-layer에서 흡수하는 양이 증가하기 때문이다. 이런 맥락으로 p-layer의 bandgap 을 증가시키려는 많은 노력이 진행되고 있다.

3. 결 론

지금까지 태양전지 특성의 이론적 내용과 p-layer의 가변을 통하여 고효율 달성을 위한 simulation에 대해서 이야기 해보았다. simulation 결과 최종적으로 p-layer의 thickness 5nm. activation energy 0.3eV, energy bandgap 1.8eV에서 최고 변환 효율 11.08%를 달성하였다. 추후 real 태양전지의 제작 시 simulation 결과를 적용하여 고효율의 태양전지를 제작할 수 있을 것으로 기대된다.

[참 고 문 헌]

[1] 이준신, 김경해, "태양전지공학", 그린, p36, 2007

[2] K.Takahashi and M.Konagai,, "Amorphous silicon solar cells", North Oxford Academic, p138, 1983