

# PC1D를 이용한 실리콘 태양전지의 도핑농도에 따른 IV 특성곡선 및 효율 분석

이병로·한지형·정학기·정동수·이종인·권오신  
군산대학교 전자정보공학부

## Analysis of the Silicon Solar cell According to the doping concentration IV characteristic curve and efficiency process using PC1D Tool

Byungro Lee·Jihyung Han·Hakkee Jung·Dongssoo Jeong·Jongin Lee·Ohshin Kwon  
School of Electronic and Information Eng. Kunsan National University

### 요 약

본 연구는 PC1D를 이용하여 태양전지 전류전압 특성곡선 및 효율을 분석한 연구이다. 태양전지 전류전압 특성곡선에서 제4상한부분의 면적은 태양전지의 효율을 나타낸다. 곡선인자(Fill Factor)는 개방전압과 단락 전류의 곱에 대한 최대 출력전압과 최대 출력전류의 곱한 값의 비율이다. 본 논문은 태양전지의 최대 효율을 얻기 위해서 도핑 농도를  $1 \times 10^{14} \text{cm}^{-3}$ 부터  $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 까지 변화시키면서 태양전지의 전류전압 특성곡선 및 최대효율을 분석하였다.

### I. 서 론

최근 들어 지구의 기후변화와 에너지 자원 고갈이라는 에너지 위기의 두 측면은 인류문명의 심각한 위협 요소로 부각되었다. 20세기가 지구의 에너지를 소비하는 시기였다면, 21세기는 지구환경의 제약하에서 성장하는 시대라고 할 정도로 환경문제를 병행하여 생각할 수 없는 시대라고 할 수 있다. 지구의 온난화 문제는 현재 전 세계적으로 가장 심각한 문제로 손꼽히고 있다, 석유와 석탄등 화석연료가 사용됨에 따라 이산화탄소의 배출이 온난화의 주범임에도 불구하고 이산화탄소의 배출량은 해마다 늘고있다. 또한 1, 2차 석유과동 이후 세계적으로 대체에너지의 중요성을 깨닫고 각 나라의정부차원에서 대체에너지산업을 더욱더 성장 시키고 있다. 다양한 대체에너지원 중에서도 태양광을 직접 전기로 바꾸어 에너지로 사용할 수 있는 태양전지는 햇빛

이 비치는 곳이면 어디서나 전기를 얻을 수 있는 무한 에너지이다. 또 설치 및 시공이 어렵지 않고, 장거리 수송이 불필요하다. 최근의 기술은 앞으로 30년 이상의 장기 신뢰성을 보장하고 있고, 관련 산업 또한 지속적인 성장을 하고 있는 상태이다. 태양전지는 기본적으로 n-형 실리콘 반도체와 p-형 실리콘 반도체를 접합한 반도체이다. 태양전지의 원가 경쟁력은 기판재료비와 효율, 그리고 제조공정의 원가에 의해 좌우된다. 최근의 태양전지 연구는 효율향상보다는 발전단가를 낮추는데 집중 되고 있다. 현재의 기술로는 태양전지의 효율이 거의 한계에 도달 했다고 볼 수 있기 때문이다. 따라서 현재는 태양전지의 효율을 향상시킬 수 있는 또 다른 태양전지의 재료개발 및 구조의 연구가 필요한 상황이다. 본 논문에서는 태양전지의 효율을 향상시킬 수 있는 방법 중의 하나인 도핑농도의 변화에 따른 태양전지의 효율을 분석하고 또 이의 전류-전압특성곡선을 분석하고자 한다. 2장에서는 이론

적 배경을 3장에서는 시뮬레이션 방법과 결과를 고찰하고 4장에서는 결론을 맺을 것이다.

## II. 이론적 배경

태양전지의 변환효율(efficiency)은 태양전지의 성능을 나타내는 가장 중요한 인자로서 태양으로부터 입사된 에너지에 대한 출력에너지의 비로서 정의된다. 효율은 입사되는 태양광 스펙트럼이나 세기, 그리고 전지의 온도에 영향을 받기도 하므로 태양전지의 변환효율은 정밀하게 조절된 조건에서 측정되어야만 한다. 최대 출력 조건을 구하기 위해 먼저 부하저항에서 소비되는 에너지를  $P_{out}$ 이라 하면

$$P_{out} = V \cdot I$$

$$= V \cdot I_{sc} - I_0 \left[ \exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) - 1 \right] \quad (1)$$

최적부하 조건에서

$$\frac{dP_{out}}{dV} = I_{sc} + I_0 - \exp\left(\frac{qV_m}{nkT}\right) \left( I_0 + V \cdot I_0 \cdot \frac{q}{nkT} \right) = 0 \quad (2)$$

식(2)에서 최적 동작전압  $V_m$ 은

$$V_m = V_{oc} - \frac{nkT}{q} \ln \frac{V_m}{nkT/q} + 1 \quad (3)$$

을 만족한다. 또한 이때의 최적 동작전류  $I_m$ 은

$$I_m = \frac{(I_{ph} + I_0) \cdot (qV_m/nkT)}{1 + (qV_m/nkT)} \quad (4)$$

가된다.  $P_m$ 가 커지기 위해서는 특성곡선에서  $I_m$ 과  $V_m$ 이  $I_{sc}$ 와  $V_{oc}$ 에 가까워야 한다. 태양전지의 효율은 입사전력에 대해 출력이 나타나는 최대 전력 에너지의 비로 정의한다.

$$\eta = \frac{P_m}{P_{input}} = \frac{I_m \cdot V_m}{P_{input}} = \frac{V_{oc} \cdot J_{sc}}{P_{input}} \cdot FF \quad (5)$$

[1] [2]

## III. 시뮬레이션 방법 및 결과

PC1D프로그램은 IBM PC용으로 호주의 뉴사

우스웨일즈대학교에서 개발된 PC1D(version5)로 손쉽게 Parameter를 변환 시킬 수 있으며, 태양전지의 전류-전압 특성 뿐만 아니라 IQE (Inter Quantum Efficiency)까지 조사가 가능한 프로그램이다. 도핑농도의 변화에 따라 효율 변화를 확인하기 위한 실험이므로 도핑농도를  $1 \times 10^{14} \text{cm}^{-3}$ 부터  $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$  변화 시켰고 나머지 조건들은 고정값을 사용하였다.

표1은 본 논문에 사용한 시뮬레이션 조건이다.

표 1. 시뮬레이션 조건

#DEVICE	
Device area	243.34Cm
Front surface texture depth	3 $\mu$ m
Exterior front reflectance	7%
#REGION	
Thickness	250 $\mu$ m
P-type background doping	$1 \times 10^{13} \text{cm}^{-3}$
first frontdiff N-type	$1 \times 10^{14} \text{cm}^{-3}$ , $1 \times 10^{15} \text{cm}^{-3}$ , $1 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ , $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$
Front-sr, Rear-sr	1000cm/s
#EXCITATION	
Temperature	25 $^{\circ}$ C
Intensity	0.1W/cm $^2$

그림 1에서는 표 1의 조건들을 사용하여 시뮬레이션결과를 그림으로 나타내었다. 그림 1은 도핑농도의 변화에 따른 전류-전압특성곡선을 그래프로 나타낸 것이다.

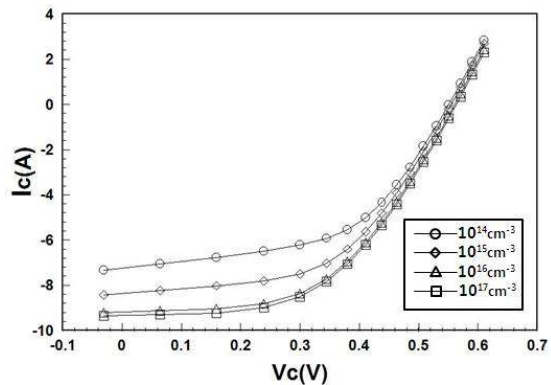


그림 1. 도핑농도에 따른 전류-전압특성곡선

그림2는 도핑농도의 변화에 따른 효율변화를 그래프로 나타낸 것이다. 도핑 농도의 변화에 따른 전류를 비교하면, 도핑의 농도가 감소하면서 전류가 높아지는 폭이 작아짐을 알 수 있다. 태양전지의 곡선인자는 개방전압과 단락전류의 곱에 대한 출력의 비로 정의된다. 전류가 높아지는 폭이 작아지면 채울 수 있는 최대 직사각형의 면적이 넓어지므로 더 큰 효율을 얻을 수 있다.[3]

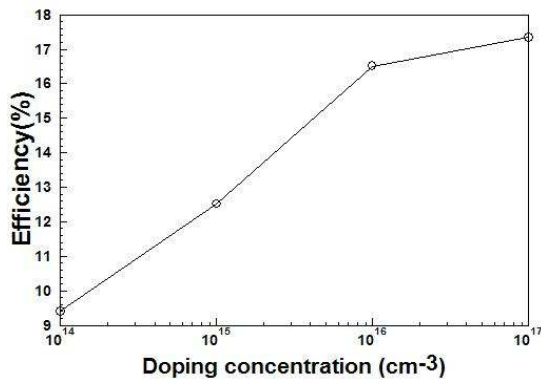


그림 2. 도핑농도변화에 따른 효율 변화

## 참 고 문 헌

- [1] 이준신의, “태양전지공학”, pp42-44, 2007
- [2] 이재형의, “태양전지원론”, pp109-110, 2005
- [3] 한지형의, “MicroTec을 이용한 태양전지의 IV특성곡선 분석”, 한국해양정보통신학회지 Vol. 13 No. 1 pp667-670, 2009

## IV. 결 론

본 논문에서는 실리콘태양전지 효율을 높이기 위한 방법으로 실리콘태양전지의 도핑농도를 결정하여 태양전지의 최대효율 변화와 도핑농도에 따른 전류-전압특성곡선 및 효율을 비교분석하였다. 도핑농도가  $1 \times 10^{14} \text{cm}^{-3}$ 일때의 효율이 가장 낮고,  $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 일때 효율이 가장 높음을 알 수 있다. 연구결과 태양전지의 높은 효율을 얻기 위해서는 전극이 직접적으로 접촉되는 부분은 고농도 도핑처리하고, 나머지는 저농도의 도핑처리를 함으로써 태양전지의 고효율을 얻을 수 있다. 위 실험을 통해 얻어진 결과를 바탕으로 실제 태양전지의 설계나 제조시에 도핑농도 결정이나 목표 효율을 결정하는데 도움이 될 수 있으며, 또한 도핑농도에 따른 큰 효율을 얻는 태양전지에 대한 연구가 더 진행되어야 할 것이다.