
MicroTec을 이용한 태양전지 전류-전압 특성곡선 분석

정학기* · 한지형*

Analysis of Current-voltage Characteristic Curve for the Solar Cell using MicroTec Tool

Hakkee Jung · Jihyung Han

요 약

본 연구에서는 MicroTec을 이용하여 태양전지의 전류-전압 특성곡선을 분석하였다. 전류-전압 특성곡선은 태양전지의 효율을 나타낸다. 전극이 직접 접촉하는 부분에 고농도 도핑을 하고 전극이 없는 부분에 저농도 도핑으로 전면을 처리한다. 도핑 농도를 10^{14}cm^{-3} 에서 10^{17}cm^{-3} 까지 변화시켜 도핑 농도에 따른 전류전압특성을 조사하였다. 또한 태양전지의 최대효율을 얻을 수 있는 도핑 농도를 결정하여 이의 전류-전압특성곡선을 비교 분석하고자한다.

ABSTRACT

The current-voltage characteristics of solar cell has been analyzed using MicroTec in this paper. The current-voltage characteristics represents a efficiency of solar cell. The part of metal contact is doped highly, but active region is doped lowly. We have investigated the current-voltage characteristics according to variation of doping concentration from 10^{14}cm^{-3} to 10^{17}cm^{-3} . We has also determined the doping concentraion to obtain the maximum efficiency of solar cell, and analyzed this current-voltage characteristics.

키워드

Solar cell, IV characteristic curve, maximum efficiency

I. 서 론

인류가 영원히 사용할 수 있다고 생각했던 화석 에너지는 지금과 같은 양으로 계속해 사용한다면 석유는 40년, 석탄은 210년, 천연가스는 65년, 우라늄은 50년 후면 고갈된다. 현재에도 석유와 석탄에너지원은 이산화탄소를 배출하며 지구환경에 심각한 위협을 가하고 있고, 원자력 발전 역시 안전성과 핵 폐기물 처리 문제로 새로운 설치를 꺼리고 있는 실정이다.

이러한 상황에서 인류가 선택할 방법은 새로운 에너지를 개발하는 일 뿐이다. 에너지 절약도 추구하여야겠지만 장기적으로 볼 때 대체에너지원 개발은 더 이상 미룰 수 없다.

대체에너지로는 태양광(태양전지), 태양열, 바이오매스, 풍력, 조력, 지열, 연료전지, 수소에너지, 폐기물에너지 등이 있다. 다양한 대체에너지원 중에서도 태양광을 전기에너지로 바꾸는 태양전지는 여름철 냉방 부하에 가장 적합하다. 태양전지는 햇빛을 받으면 광-전 변환으로 전기에너지를 직접생산하며, 햇빛이 강할수록 보다 많은 전기를 생산하므로 여름철 냉방 부하를 감당하기에 가장 적합한 발전방식이다. 우리나라의 에너지 해외의존도는 97% 이상이다.

이런 엄청난 에너지 수입국에서 에너지 수출의 신화를 이룩할 수 있는 산업은 태양전지를 기반으로 한 태양광 발전에너지이다. 우리나라는 반도체 제조공정과 생산시설 측면에서 세계의 최고수준이며 이런 기반시설을 이용한다면 다양한 대체에너지원 가운데에서 가장 먼저 국제경쟁력을 갖춘 분야이다.

현재 태양전지를 사용한 전기에너지는 화석에너지에 비해 경제성이 낮아 민간이 개발 투자하기에는 어려움이 있다. 국외에서는 정부가 태양전지 직접개발에 참여하거나 개발자와 수요자에게 세금 혜택을 주고 보조금을 지급하는 등 다양한 방법으로 지원을 하여 태양전지의 수요가 공급을 앞서가고 있다.

우리 인류에게 적어도 앞으로 50억 년 이상은 무료로 에너지를 사용할 수 있게 하는 태양 전기에너지를 수출 품목으로 육성할 수 있는 지혜를 가질 수 있는 정부의 정책이 필요한 시기이다[1].

지금까지 전 세계 태양전지의 기술 개발은 변환효율의 향상과 발전단가를 낮추는 연구가 병행해서 진행되어왔다. 발전단가는 시장의 규모나 생산 기술에 의

존하는 경향이 크고, 변환 효율은 새로운 구조, 재료, 공정, 이론 등의 발전에 의존하는 경향이 크다, 한편, 최근의 태양전지 연구 개발 동향은 전지의 효율 향상보다는 공정의 단순화 등을 통한 제조 가격 절감 및 대면적화에 초점이 맞추어져 있다. 그 이유는 태양전지의 효율이 거의 한계점에 도달했으며, 기존의 방법으로는 더 이상 전지 효율을 크게 향상시키기 어렵기 때문이다. 따라서 변환 효율을 획기적으로 향상시킬 수 있는 새로운 태양전지 구조 및 재료 개발이 절실히 필요한 실정이다[2].

본 논문에서는 태양전지의 최대효율을 얻을 수 있는 도핑 농도를 결정하여 이의 전류-전압 특성곡선을 비교 분석하고자한다. 2장에서는 이론적 배경에 대하여 설명할 것이며 3장에서는 시뮬레이션 방법 및 결과를 고찰하고 4장에서 결론을 맺을 것이다.

II. 태양전지의 변환효율 이론

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 측정되어야 한다. 지상에서 사용되는 태양전지의 효율은 25℃, AM1.5 조건에서 측정되며, 우주용인 경우 AM1.0 조건에서 측정된다. 태양전지에 연결된 부하저항의 크기를 조정함으로써 어떤 최적 동작점에서 최대의 출력 P_{max}가 얻어지게 된다.

$$P_{\max} = V_m \cdot I_m \quad (1)$$

최대 출력 조건을 구하기 위해 먼저 부하저항에서 소비되는 에너지를 P_{out}이라 하면

$$\begin{aligned} P_{out} &= V \cdot I \\ &= V \cdot \left\{ I_{sc} - I_0 \left[\exp\left(\frac{qV}{nkT}\right) - 1 \right] \right\} \end{aligned} \quad (2)$$

최적부하 조건에서

$$\frac{d\phi_{out}}{dV} = I_{sc} + I_0 - \exp\left(\frac{qV_m}{nkT}\right) \times \left(I_0 + V \cdot I_0 \cdot \frac{q}{nkT}\right) = 0 \quad (3)$$

식 3에서 최적 동작전압 V_m 은

$$\exp\left(\frac{qV_m}{nkT}\right) \left(1 + \frac{qV_m}{nkT}\right) = \left(\frac{I_{sc}}{I_0}\right) + 1 \quad (4)$$

또는

$$V_m = V_{oc} - \frac{nkT}{a} \ln\left(\frac{V_m}{nkT/q} + 1\right) \quad (5)$$

을 만족한다. 또한 이때의 최적 동작전류 I_m 은

$$I_m = \frac{(I_{ph} + I_0) \cdot (qV_m/nkT)}{1 + (qV_m/nkT)} A \quad (6)$$

가 된다. P_m 이 커지기 위해서는 특성곡선에서 I_m 과 V_m 이 I_{sc} 와 V_{oc} 에 가까워야 한다. 한편 태양전지의 변환효율은 입사전력에 대해 출력에 나타나는 최대 전력에너지의 비로서 정의한다[3].

즉,

$$\eta = \frac{P_m}{P_{input}} = \frac{I_m \cdot V_m}{P_{input}} = \frac{V_{oc} \cdot J_{sc}}{P_{input}} \cdot FF \quad (7)$$

이다.

III. 시뮬레이션 방법 및 결과

MicroTec은 실리콘 공정 디바이스 시뮬레이션을 위해 네 개의 프로그램들로 구성되어 있으며, 이는 Sidif, MergIC, SemSim, SibGraf이다.

SibGraf는 시뮬레이션 결과를 출력하는 프로그램으

로 2D와 3D로 나타내며, Sidif는 공정 시뮬레이션, SemSim은 소자 시뮬레이션, MergIC은 디바이스 시뮬레이션으로써 입력 바이어스에 의해 공정 시뮬레이션인 Sidif와 디바이스 조립인 MergIC에 의해 소자를 시뮬레이션 한다[4].

표 1은 본 논문에서 사용된 파라미터 값들이다.

표 1. 파라미터값의 이름과 설명
Table. 1 The name and description of the parameter values

이름	초기설정	Units	설 명
NX	41	none	X방향의 Mesh의 노드
NY	100	none	Y방향의 Mesh의 노드
XX	1000	μm	X방향의 Domain 길이
YY	100	μm	Y방향의 Domain 길이
ZZ	1	μm	Z방향의 Domain 길이
N ⁺ contact	10 ¹⁸	cm ⁻³	N ⁺ contact의 도핑농도
P-body	10 ¹⁴	cm ⁻³	P-body의 도핑농도
P ⁺ contact	10 ¹⁹	cm ⁻³	P ⁺ contact의 도핑농도
Eg	1.12	eV	밴드갭의 에너지

그림 1은 본 논문에서 사용한 PN접합의 단면구조이다. 도너와 억셉터는 PN 접합 생성 시 평행상태를 유지하는 과정에서 N형에서 전자, P형에서 정공이 각각 제거됨으로써 상쇄되지 않은 상태로 이온화되었다. 여기서 전자는 N형에서 P형으로 P형의 정공과 재결합하기 위해 이동한다. 또한 정공은 전자와 재결합하기 위해 N형으로 이동한다. 이와 같은 전자-정공 이동 현상에 의해 PN접합면은 공핍층을 형성하게 된다[5]. 공핍층 부분인 P-body 부분의 도핑농도를 조절하여 도핑농도에 따른 전류-전압 특성곡선을 분석하였다. P-body의 길이는 100 μm 이고, 도핑 농도는 10¹⁴cm⁻³ 부터 10¹⁷cm⁻³ 까지 변화를 주었다. N+ 부분의 도핑 농도는 10¹⁸cm⁻³이고, P+ 부분의 도핑 농도는 10¹⁹cm⁻³이다.

그림 2는 도핑농도에 따른 SibGraf 2D를 나타내는 그림이다. SibGraf는 MicroTec 프로그램 중 시뮬레이션 결과를 3D와 2D로 출력하는 기능을 가지고 있다. 도핑 농도를 10¹⁴cm⁻³에서 10¹⁷cm⁻³ 까지 증가시켰을 경우 전체 도핑농도가 증가함을 알 수 있다.

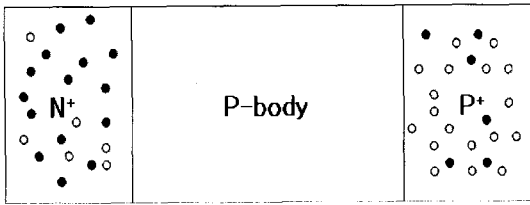


그림 1. PN 접합의 단면도
Fig. 1 Cross Sections of PN junction

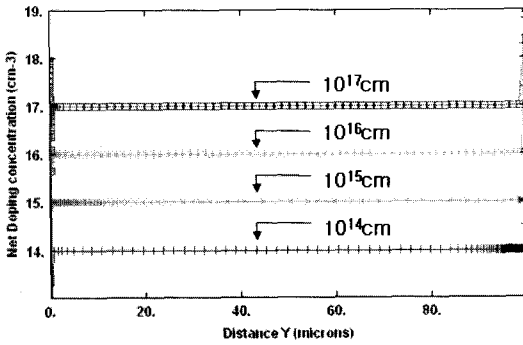


그림 2. SibGraf 2D로부터 유도된 도핑농도 분포
Fig. 2 Doping concentration distribution derived from SibGraf 2D

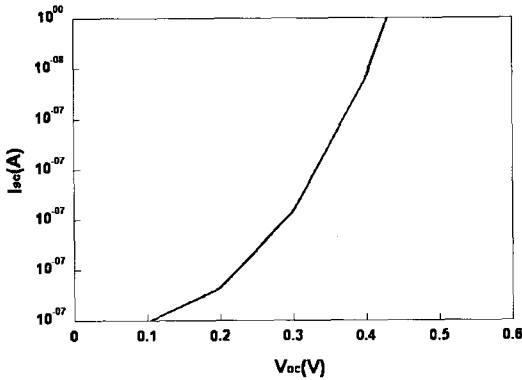


그림 3. 도핑농도가 10^{14}cm^{-3} 일 때 전류-전압 특성곡선
Fig. 3 Current-voltage characteristic curve for doping concentration of 10^{14}cm^{-3}

태양전지의 최대효율을 얻을 수 있는 도핑 농도를 결정하고 전류-전압 특성곡선을 비교 분석 하기 위해 P-body의 도핑 농도를 변화시켜 결과를 얻고자 하였다.

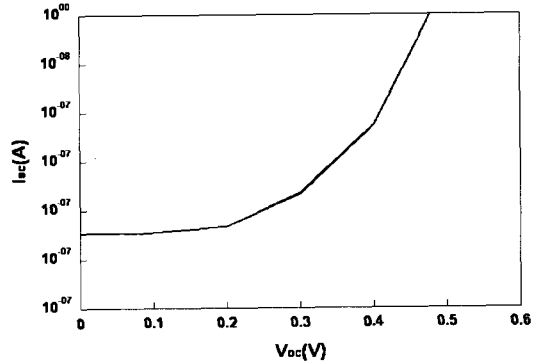


그림 4. 도핑농도가 10^{15}cm^{-3} 일 때 전류-전압 특성곡선
Fig. 4 Current-voltage characteristic curve for doping concentration of 10^{15}cm^{-3}

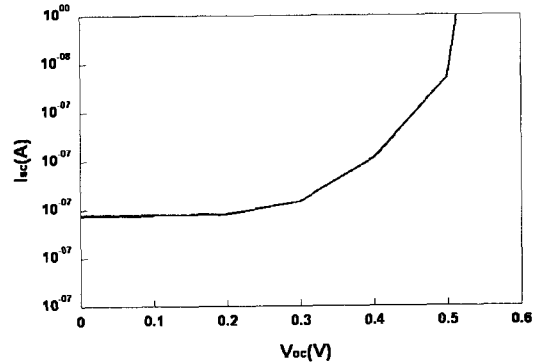


그림 5. 도핑농도가 10^{16}cm^{-3} 일 때 전류-전압 특성곡선
Fig. 5 Current-voltage characteristic curve for doping concentration of 10^{16}cm^{-3}

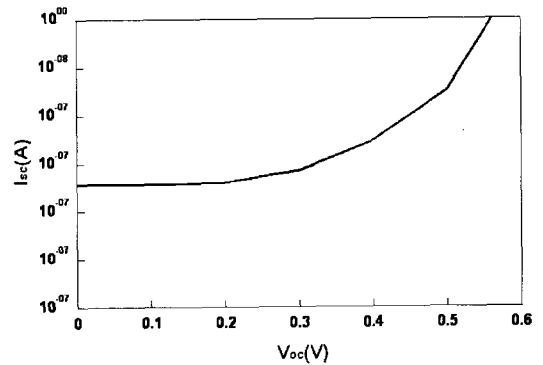


그림 6. 도핑농도가 10^{17}cm^{-3} 일 때 전류-전압 특성곡선
Fig. 6 Current-voltage characteristic curve for doping concentration of 10^{17}cm^{-3}

도핑 농도를 10^{14}cm^{-3} 이하 또는 10^{17}cm^{-3} 이상으로 지정하게 되면 전류-전압 특성곡선에서 효율을 구할 수가 없기 때문에 P-body의 도핑 농도를 10^{14}cm^{-3} , 10^{15}cm^{-3} , 10^{16}cm^{-3} , 10^{17}cm^{-3} 로 비교하였다. 그림 3부터 그림 6은 도핑농도가 10^{14}cm^{-3} , 10^{15}cm^{-3} , 10^{16}cm^{-3} , 10^{17}cm^{-3} 일때 전류-전압 특성곡선이다. 전압은 0.1V에서 0.6V까지 0.1V 증가시켰다. 표 2는 도핑농도에 따른 각각의 전압에 걸리는 전류를 나타내었다. 도핑 농도의 변화에 따른 전류를 비교하면 도핑 농도가 증가하면서 전류가 높아지는 폭이 작아짐을 알 수 있다. 태양전지의 곡선인자는 개방 전압과 단락전류의 곱에 대한 출력의 비로 정의되며, 전류-전압 곡선에서 채울 수 있는 최대 직사각형의 면적에 해당한다. 전류가 높아지는 폭이 작아지면 채울 수 있는 최대직사각형의 면적이 넓어짐으로 효율이 더 커짐을 알 수 있다.

표 2. 도핑농도에 따른 전류- 전압 특성
Table 2. Current-voltage characteristic according to doping concentration

전압[V]	전류[A]	
	도핑농도 10^{14}cm^{-3}	도핑농도 10^{15}cm^{-3}
0.1	-3.0516×10^{-7}	-2.228×10^{-7}
0.2	-2.6821×10^{-7}	-2.1664×10^{-7}
0.3	-1.9143×10^{-7}	-1.8335×10^{-7}
0.4	-5.8636×10^{-8}	-1.1435×10^{-7}
0.5	1.4035×10^{-8}	3.2002×10^{-8}
0.6	3.8302×10^{-8}	4.3057×10^{-8}

전압[V]	전류[A]	
	도핑농도 10^{16}cm^{-3}	도핑농도 10^{17}cm^{-3}
0.1	-2.0557×10^{-7}	-1.7176×10^{-7}
0.2	-2.0438×10^{-7}	-1.6979×10^{-7}
0.3	-1.9154×10^{-7}	-1.5774×10^{-7}
0.4	-1.47×10^{-7}	-1.2647×10^{-7}
0.5	-6.398×10^{-8}	-7.4288×10^{-8}
0.6	1.797×10^{-8}	4.8302×10^{-8}

IV. 결 론

본 연구에서는 태양전지의 최대효율을 얻을 수 있는 방법 중 하나인 도핑 농도를 결정하여 전류-전압 특성곡선을 비교 분석 하였다.

P-body의 도핑 농도를 10^{14}cm^{-3} , 10^{15}cm^{-3} , 10^{16}cm^{-3} , 10^{17}cm^{-3} 로 증가시키면서 비교하였다. 도핑농도가 증가할수록 전류가 높아지는 폭이 작아짐을 알 수 있었다. 표 2의 결과 값에서 도핑농도가 10^{16}cm^{-3} 와 10^{17}cm^{-3} 을 비교해보면 전류가 0.4V에서 0.6V까지 증가할 경우 도핑농도가 10^{17}cm^{-3} 일 때 전류가 도핑농도가 10^{16}cm^{-3} 일 때 보다 큰 폭으로 증가함을 알 수 있다. 전류가 급격히 증가하면 최대면적이 좁아지므로 본 논문에서는 P-body 부분의 도핑농도가 10^{16}cm^{-3} 일 때 가장 큰 효율을 얻을 수 있다고 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] 이준신, 김경해, “태양전지공학”, pp2-3, 2007.
- [2] 이재형, “나노 태양전지”, 한국해양정보통신학회 지 Vol.9, No.1, pp50-51, 2008.
- [3] 이준신, 김경해, “태양전지공학”, pp42-44, 2007.
- [4] “MicroTec Semiconductor Process and Device Simulator, Version 4.0 for windows”, Siborg Systems Inc, pp63-95, 2003.
- [5] 윤합섭, 광계달, 김철주, 박상식, 엄기홍, 장의구, 정학기, “반도체소자원리”, pp202-204, 2008.

저자소개

정학기(Hak Kee Jung)



1983. 아주대학교 전자공학과(BS)
1985. 연세대학교 전자공학과(MS)
1990. 연세대학교 전자공학과(Ph.D)
1995. 일본 오사카대학 객원연구원

2004. 호주 그리피스대학 객원연구원
2006. 한국해양정보통신학회 편집이사
2007. 한국해양정보통신학회 상임이사

※ 관심분야: 반도체소자 시뮬레이션, 몬테칼로 시뮬레이션, 회로 및 시스템 해석 등



한지형(Ji Hyung Han)

2008. 2월 군산대학교
전자정보공학부 (BS)
2008. 3월 군산대학교 대학원
전기전자제어공학부
석사과정

※ 관심분야: 반도체소자설계 및 시뮬레이션