

실리콘 태양전지의 효율 최적화를 위한 연구

한지형, 정학기, 정동수, 이종인, 권오신
군산대학교 전자정보공학부

Study on Efficiency Optimization for Silicon Solar Cell

Jihyung Han-Hakkee Jung-Dongsoo Jeong-Jongin Lee-Ohshin Kwon
School of Electronic and Information Eng., Kunsan National University

요 약

본 연구에서는 MicroTec 시뮬레이터를 이용하여 태양전지의 최적화 효율을 얻기 위한 연구를 하고자 한다. 효율은 태양전지의 성능을 나타내는 가장 중요한 인자로서 태양으로부터 입사된 에너지에 대한 출력에너지의 비로 정의된다. 효율은 입사되는 태양광 스펙트럼이나 세기, 그리고 전지의 온도에 영향을 받기도 하므로 태양전지의 변화효율은 정밀하게 조절된 조건에서 측정되어야 한다. 본 연구에서는 온도(200K-300K)와 Trap(트랩) 에너지(0.1eV~1.0eV) 파라미터의 값을 변화하면서 특성을 분석하였다. 그리고 이동도 모델에 따른 전류-전압 특성을 분석하였다. 분석결과에 따른 곡선 인자(Fill factor)를 비교하여 태양전지의 효율을 최적화 할 수 있는 모델을 제시할 것이다.

1. 서 론

우리가 매일 사용하는 전기를 만들기 위해서는 에너지 변환 과정에서 이산화탄소를 배출하는 화석연료를 사용한다. 배출된 이산화탄소는 지구 대기권에 남아 마치 지구 전체가 비닐하우스를 덮어쓰고 있는 것과 같은 온실효과를 가져온다. 18세기 산업혁명 이후 화석연료의 사용으로 이산화탄소의 대기 중 농도가 급속히 증가하여 지구의 온도가 상승하여 빙하 및 북극, 남극에 있는 얼음이 녹고 또 해수의 체적이 팽창하여 해면의 수위가 상승했다. 지구의 온도는 2100년에는 현재보다 2°C 상승할 것이며, 바다의 수위는 약 50cm 올라갈 것으로 예측된다. 결과적으로 지구에 큰 변화가 올 것이며 기상이변으로 지구의 많은 지역이 사막으로 변화게 될 것이고, 사막화 현상은 삼림감소를 초래, 이산화탄소 흡수가 적어져 온실효과는 심각한 상태에 이를 것이다. 이러한 온실 효과 및 지구 온난화 현상이 가속화되는 것을 방지하려면 그 원인이 되고 있는 가스의 배출량을 감소시키는 것이 급선무이

다. 화석에너지의 사용증가에 따른 지구온난화를 막기 위한 기후 변화협약에 따라 세계 각국은 미래에 환경친화적인 기술만이 존속 가능하도록 하는 프로그램을 개발하고 있다. 또한 환경오염이나 환경파괴에 근원이 되는 산업은 환경세, 오염세 등의 막대한 자금을 지출해야만 사용이 가능해질 것이다[1]. 태양전지는 1954년 미국 벨 연구소의 화학자 푸러, 전기 공학자 차핀 및 물리학자 피어슨 등 3명에 의해 처음 개발되었다. 그들은 고순도 결정성 실리콘을 생산할 수 있는 Czochralski 방법을 개발하여 4%의 변환 효율을 갖는 첫 번째 결정성 실리콘 태양 전지를 만들었다. 그리고 1958년에는 미국 뱅가드 1호 인공위성에 탑재되어 통신용 전원으로서 사용되었다. 그 후 산악부의 무선 중계소 등 특수한 용도에 사용되었지만, 가격 때문에 널리 보급되지는 않았다. 그러나, 제1차 오일 쇼크를 계기로 효율이 높고 상업화 가능성이 큰 태양 전지를 석유 대체 에너지로서 개발하기 위한 연구가 본격적으로 시작되어, 1980년대에 이르러서는 새로운 재료의 태양전지, CdTe, CuInSe₂, TiO₂ 등 이 탄

생하게 되었고, 현재에는 보다 높은 효율과 저비용으로 제조할 수 있는 태양 전지를 개발하려는 연구와 이를 다양한 분야에 응용하려는 노력이 활발히 이루어지고 있다[2]. 본 논문에서는 온도, 트랩 에너지, 이동도 모델, 전도대 밀도의 파라미터를 변화시켜 전류-전압 특성 곡선에 따른 곡선인자를 비교할 것이다. 2장에서는 실험 방법을 설명할 것이며 3장에서는 결과 및 고찰하고 4장에서 결론을 맺을 것이다.

II. 실험방법

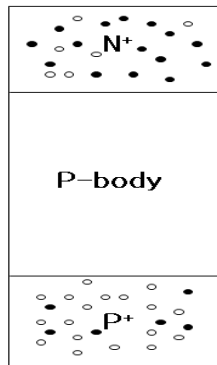


그림 1. PN 접합의 단면도

그림 1은 본 논문에서 사용한 PN접합의 단면 구조이다. 도너와 억셉터는 PN 접합 생성 시 평형상태를 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[1]. P-body의 길이는 100 μ m이고, 도핑 농도는 10¹⁵cm⁻³이고, N+ 부분의 도핑 농도는 10¹⁸cm⁻³이고, P+ 부분의 도핑 농도는 10¹⁹cm⁻³이다. 전압은 0V에서 6V까지 0.3V씩 증가를 시켰다. 스펙트럼 데이터는 AM1.5 조건에서 측정을 하였다. 전류 전압 특성은 태양전지를 평가하는 중요한 특성이다. 개방 전압(Voc)는 태양 전지의 양단을 개방했을 때의 양단 전압이고, 단락 전류(Isc)는 태양 전지의 양단을 단락했을 때의 양단간을 흐르는 전류이다. 태양전지에 연결된 부하저항의 크기를 조정함으로써 어떤 최적 동작 점에서 최대의 출력 P_{max}가 얻어지게 된다.

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

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

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

최적부하 조건에서

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

식 3에서 최적 동작전압 V_m은

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

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_m은

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

가 된다. P_m이 커지기 위해서는 특성곡선에서 I_m과 V_m이 I_{sc}와 V_{oc}에 가까워야 한다. 한편 태양전지의 변환효율은 입사전력에 대해 출력에 나타나는 최대 전력에너지의 비로서 정의한다[4]. 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. 결과 및 고찰

1. 온도에 따른 전류-전압 특성

본 연구에서 사용한 실리콘 태양전지의 전류-

전압 특성을 200K-300K의 온도범위에서 측정하여 그림 2에 나타내었다. 온도에 따라 거의 유사한 곡선 형태를 나타내지만 온도가 감소함에 따라 동일 인가전압에서 접합을 흐르는 전류 값이 작아짐을 볼 수 있다. 온도에 따른 곡선인자는 표1에 나타내었다. 온도가 210K일때 가장 높은 값을 나타내었고, 300K일때 가장 낮은 값을 나타내었다.

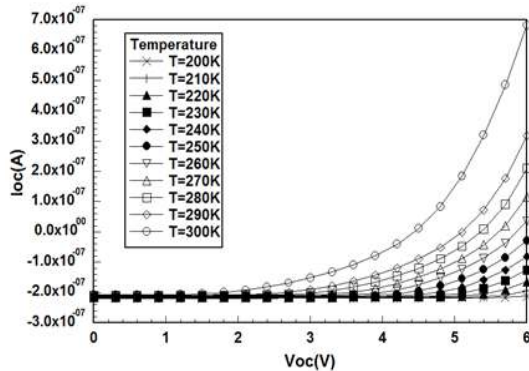


그림 2. 온도에 따른 전류-전압 특성 곡선

표 1. 온도에 따른 곡선인자

온도(K)	곡선인자	온도(K)	곡선인자
200	0.963578	260	0.644271
210	0.908761	270	0.615026
220	0.852781	280	0.580495
230	0.795681	290	0.551124
240	0.740114	300	0.492957
250	0.684284		

2. 트랩 에너지에 따른 전류-전압 특성

금지 대역 내에 발생한 에너지 상태들은 트랩이라고 불리며, 전자와 정공을 동일한 확률로 포획하는 재결합 센터로 작용한다. 동일한 확률로 반송자를 포획한다는 것은 전자와 정공의 포획 단면적이 거의 동일하다는 것을 의미한다. 본 논문에서 사용한 SRH(Shockley-Read-Hall)의 재결합 이론은 단일한 재결합 센터나 트랩이 밴드갭 내의 E_t 에 위치한다고 가정한다[4]. 그림 3은 트랩의 에너지 크기에 따른 전류-전압 특성 곡선을 나타낸 그림이다. 트랩의 크기가 커지면 접합면의 흐르는 전류가 작아짐을 알 수 있다. 트랩의

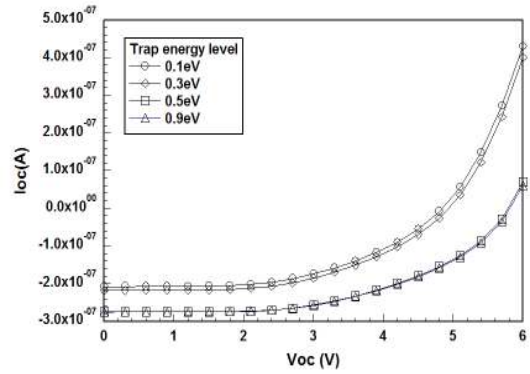


그림 3. 트랩 에너지에 따른 전류-전압 특성 곡선

표 2. 트랩 에너지에 따른 곡선인자

트랩 에너지(eV)	곡선인자	트랩 에너지(eV)	곡선인자
0.1	0.519516	0.6	0.534666
0.2	0.520166	0.7	0.534718
0.3	0.520393	0.8	0.534719
0.4	0.525654	0.9	0.534719
0.5	0.53234	1.0	0.534719

크기가 0.5eV 이상이 되면 전류의 변화가 거의 없음을 알 수 있다. 표 2는 트랩에너지에 따른 곡선인자를 나타내었다. 트랩 에너지가 0.1일때 가장 낮은 곡선인자를 나타내었고 트랩 에너지가 0.8eV 이상 일 때 부터 곡선인자의 변화가 없음을 알 수 있다.

3. 이동도 모델에 따른 전류-전압 특성

전계에 의한 전자와 정공의 드리프트는 드리프트 전류를 생산하며, 이것은 이동하는 전자와 정공의 농도 함수 이고 또한 이러한 전하 캐리어의 순 드리프트 속도의 함수이다. 캐리어의 평균 드리프트 속도는 이동도(Mobility)라고 부르는 파라미터를 통하여 전계와 관계된다. 전자와 정공은 완전히 방해받지 않고 반도체를 통과하는 것은 아니고, 반도체 원자 그리고 이온화된 불순물 원자와의 충돌에 관여한다. 이동도는 캐리어가 얼마나 잘 반도체에서 이동하는지를 나타내는 표시이다. 그림 4는 4가지 이동도 모델에 대하여 전류-전압 특성 곡선을 비교한 그림이다. Constant 모델의 경우 다른 이동도 모델보다 전압에 변화에 따른 전류 변화가 큰 폭으로 변화함을 알 수 있다. 또한 곡선인자 역시 Const-

ant 모델에서 가장 높음을 표 3을 통해서 알 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 이준신, 김경해, “태양전지공학”, 그린, pp2-44, 2007.
- [2] 서인선, 박창걸, 김강희, 권영일, 박영서, “태양전지”, 한국과학기술정보연구원 pp3-46, 2002.
- [3] 윤한섭, 박계달, 김철주, 박상식, 엄기홍, 장의구, 정학기, “반도체소자원리”, 진셈미디어 pp202-204, 2008.
- [4] 이진구, 이상렬, 이승기, 정원채, 황호정, “반도체 소자 공학”, McGraw-Hill, pp373-376, 2006

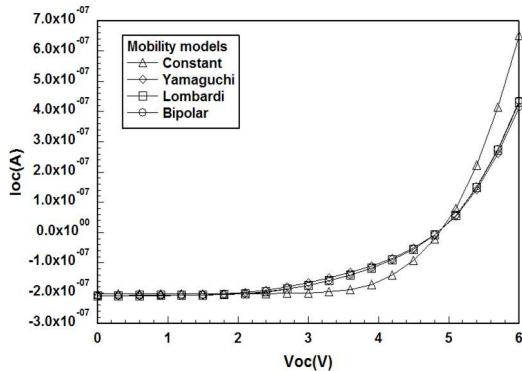


그림 4. 이동도 모델에 따른 전류-전압 특성 곡선

표 3. 이동도 모델에 따른 곡선인자

이동도 모델	곡선인자
Constant	0.685093
Yamaguchi	0.493986
Lombardi	0.518661
Bipolar	0.518661

IV. 결 론

본 논문에서는 온도를 200K에서 300K까지 10K씩 변화시키고, 트랩 에너지는 0.1eV에서 1.0eV까지 변화시켰을 때의 전류-전압 특성곡선과 곡선인자를 분석하였다. 그리고 4가지 이동도 모델의 파라미터를 변화하면서 곡선인자를 비교 분석하였다. 온도가 감소하면서 접합에 흐르는 전류가 작아짐을 알 수 있었고 곡선인자는 증가함을 알 수 있었다. 그리고 트랩 에너지에 따른 전류-전압특성 및 곡선인자에서는 트랩 에너지의 크기가 증가하면서 전류가 커졌고 곡선인자의 크기는 작아졌다. 에너지의 크기가 0.8eV 이상에서는 곡선인자의 크기의 변화가 없음을 알았다. 이동도 모델에 따른 전류-전압 특성 및 곡선인자에서는 Constant 모델이 다른 3가지 모델에 비하여 전류의 변화 폭이 컸고, 곡선인자의 값이 가장 높은 값을 나타내었다.