

## Gas flow rate에 따른 p-layer의 특성변화가 태양전지 DIV 곡선에 미치는 영향 분석

박승민<sup>[1]</sup>, 이영석<sup>[1]</sup>, 이범상<sup>[3]</sup>, 이돈희<sup>[3]</sup>, 이준신<sup>[2]</sup>

<sup>[1]</sup>성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과 <sup>[2]</sup>성균관대학교 에너지과학학과 <sup>[3]</sup>(주)테스

### Effect of p-layer in Solar cells DIV characteristics using defferent gas flow rate

S.M. Park<sup>[1]</sup>, Y.S. Lee<sup>[1]</sup>, B.S. Lee<sup>[3]</sup>, D.H. Lee<sup>[3]</sup>, J.S. Yi<sup>[2]</sup>

<sup>[1][2]</sup>Sungkyunkwan University <sup>[3]</sup>TES CO.,LTD

**Abstract** - 박막태양전지에서 빛을 처음 받아들이는 p-layer는 전체적인 태양전지 특성에 큰 영향을 준다. 본 논문에서는 p-layer의 gas flow rate를 가변하여 증착한 P-I-N cell을 통해 DIV를 측정하고 분석하였다. 더불어 gas flow rate에 따른 p-layer의 특성변화를 토대로 시뮬레이션을 진행하여 실제 소자와 비교하여 보았다. simulation data와 experimental data를 비교해보면 전체적으로 유사한 경향성을 보이며 saturation current는 큰 차이를 보이지 않았으나 ideality factor와 series resistance에서 real device가 비교적 큰 값을 나타내는 것을 볼 수 있었다. 본 연구는 simulation data를 기반으로 real device를 제작하는데 큰 도움이 될 것이다.

### 1. 서 론

전 세계적인 기후 변화는 에너지 자원 사용량과 밀접한 관계가 있다. 오늘날 가장 널리 사용되고 있는 에너지원으로 석유, 석탄, 천연가스를 꼽을 수 있다. 이러한 에너지원들은 막대한 양의 이산화탄소를 배출하여 지구 온난화를 가속 시킨다. 지구 온난화는 북극의 빙하를 녹여 해수면을 상승시키고 강우 및 강수의 패턴을 변화시켜 지구 곳곳에 자연 재해를 불러오고 있다. 더욱 문제가 되는 것은 2030년에도 이러한 에너지원은 전체 에너지 사용량의 80%이상을 차지할 것이라는 전망이다. 이는 광범위하게 적용되는 신재생 에너지원의 개발을 통한 이산화탄소 발생량의 감소가 절실하다는 것을 뜻한다. 이 중에서도 태양전지는 무한한 태양광 에너지를 직접 전기로 바꾸주는 무공해 에너지원으로 각광 받고 있다.

태양전지는 크게 실리콘 태양전지와 화합물 반도체 태양전지 그 외에 유기태양전지와 같은 기타 태양전지로 나눌 수 있다. 여기서 다시 실리콘 태양전지는 벌크형 태양전지와 박막형 태양전지로 나눌 수 있는데 현재 벌크형 태양전지가 시장의 80% 정도를 차지하며 상용화되어 있다. 그러나 실리콘 웨이퍼 기반 위에 제작되는 벌크형 태양전지는 실리콘 웨이퍼의 높은 가격과 많은 실리콘의 사용량으로 저가격화와 대면적화에 많은 어려움을

겪고 있다. 이런 문제점들을 보완 할 수 있는 태양전지가 바로 박막형 태양전지이다.

박막형 태양전지는 비정질 실리콘의 높은 광흡수 성질을 이용하여 벌크형 태양전지의 1/100 수준의 실리콘 양으로도 많은 태양광을 흡수하여 저가격화가 가능하다. 또한 열화 현상에 의한 효율의 감소가 적고, 유기기판 위에 제작하여 대면적화가 가능하다. 미세결정질 실리콘 등의 박막을 적층시켜서 보다 높은 변환효율을 달성할 수 있다.

본 논문에서는 박막형 태양전지에서 빛을 가장 먼저 받아들이는 p-layer의 gas flow rate를 가변하며 증착한 P-I-N cell을 통해 DIV를 측정하고 분석하였다. 더불어 gas flow rate의 변화에 따른 p-layer의 특성변화를 바탕으로 simulation을 진행하여 실제 소자와 비교하여 보았다. simulation data와 experimental data를 비교해보면 전체적으로 유사한 경향성을 보이면 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 ideality factor와 series resistance에서 real device가 상대적으로 큰 값을 나타내는 것을 확인할 수 있었다.

### 2. 본 론

#### 2.1 이론적 배경

태양전지의 DIV 특성은 다음 식에 의해서 정의 된다.

$$J_d = J_0 [\exp(qV/nkT) - 1]$$

여기에서 n은 다이오드 이상계수이고  $J_0$ 는 포화전류다.  $V_d$ 는 공간 전하 영역(scr)을 가로지르는 어떠한 전압 강하도 없다고 가정한다.  $J_0$ 와 n이 둘 다 상수이면,  $\log(I) - V_d$  그래프는  $V_d > nkT/q$ 에 대해 직선으로 표현된다. DIV 곡선에서 전류( $I$ )는 두 가지 요소의 영향을 받는다. 바로 공간전하영역(scr)과 준중성 영역(qnr)의 재결합/생성 이다. 다음 식으로 정의 될 수 있다.

$$I = I_{0,scr} (e^{q(V - I_r)/nkT} - 1) + I_{0,qnr} (e^{q(V - I_r)/nkT} - 1)$$

식에서 살펴보면  $I_{rs} \ll V \ll nkT/q$  일 때, 중심은 전압 ( $e^{qV/nkT} - 1 \approx qV/nkT$ )에 선형적으로 의존한다. 또한  $V \gg nkT/q$ 일 때, 낮은 전류 부분에서는 공간 전하 영역(scr) 재결합에 의해서 높은 전류 부분에서는 준중성 영역(qnr)재결합에 의해서 영향을 받게 된다. 또한 직렬 저항 ( $r_s$ )는 높은 전류 부분에서 DIV 곡선이 선형특성에 벗어나도록 한다.[1]

DIV 곡선에서는 이외에도 이상계수(ideality factor, n)을 알아 볼 수 있는데, 다음 식으로 표현된다.

$$n = \frac{q}{\ln(10)mkT} = \frac{q}{2.3mkT}$$

## 2.2 Simulation Data

p-layer의 gas flow rate를 변화 시키면서 태양전지의 DIV 특성 곡선을 ASA를 이용하여 simulation 하였다. 세부 simulation 조건은 표 1에서 나타내고 있다. 표 2와 그림 1의 simulation 결과를 살펴보면 gas flow rate에 따른 p-layer의 ideality factor는 점점 증가하다가 1%에서 다시 떨어지는 경향을 보였으나 그 차이가 굉장히 작아 큰 변화로 보이지는 않는다. 또한 직렬저항이나 saturation current 같은 factor 들도 simulation 상에서 큰 차이를 보이지 않았다.

표 1. p-layer의 gas flow rate 변화에 따른 simulation 및 실험 조건

p-layer	B <sub>2</sub> H <sub>6</sub> 농도(%)	Ea(eV)	Eg(eV)
	0.05	0.55	1.81
0.1	0.50	1.79	
0.3	0.48	1.76	
0.5	0.46	1.72	
1	0.44	1.68	

표 2. p-layer의 gas flow rate 변화에 따른 DIV simulation 측정 결과

B <sub>2</sub> H <sub>6</sub> 농도(%)	0.05	0.1	0.3	0.5	1
n	1.52	1.79	1.89	1.97	1.37
Rs	0.79	0.12	0.08	0.19	0.82
n qnr	1.21	1.20	1.14	1.1	1.16
J qnr	2.88x10 <sup>-13</sup>	1.42x10 <sup>-13</sup>	7.55x10 <sup>-14</sup>	7.05x10 <sup>-14</sup>	4.57x10 <sup>-13</sup>
n scr	1.44	1.46	1.45	1.43	1.16
J scr	2.55x10 <sup>-12</sup>	2.66x10 <sup>-12</sup>	2.61x10 <sup>-12</sup>	2.46x10 <sup>-12</sup>	4.57x10 <sup>-13</sup>

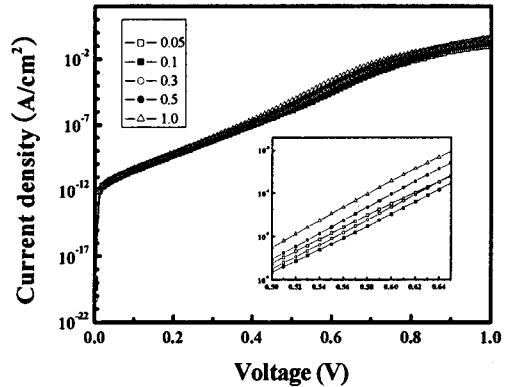


그림 1. p-layer의 gas flow rate 변화에 따른 DIV simulation 특성 곡선

## 2.3 Experimental Data

simulation data와 같은 표 1의 조건으로 real device를 제작하여 DIV 특성 곡선을 측정해 비교 해보았다. 표 3과 그림 2의 결과에서 살펴보면 전체적인 경향성은 simulation data와 experimental data 사이에서 유사하게 나타나는 것을 볼 수 있다. 그러나 scr 영역에서의 saturation current와 ideality factor가 experimental data에서 더 크게 나타났다. 공간 전하가 생성되는 interface 영역 특성의 향상이 필요한 것으로 생각되어진다.

표 3. p-layer의 gas flow rate 변화에 따른 real device DIV 측정 결과

B <sub>2</sub> H <sub>6</sub> 농도(%)	0.05	0.1	0.3	0.5	1
n	1.28	1.5	1.19	1.05	1.25
Rs	16.24	7.24	13.39	12.8	17.28
n qnr	1.17	1.97	1.72	1.68	1.84
J qnr	8.29x10 <sup>-12</sup>	4.69x10 <sup>-11</sup>	1.14x10 <sup>-11</sup>	1.65x10 <sup>-11</sup>	7.03x10 <sup>-11</sup>
n scr	6.94	7.46	8.24	7.35	7.23
J scr	3.2x10 <sup>-7</sup>	1.27x10 <sup>-6</sup>	1.49x10 <sup>-6</sup>	3.2x10 <sup>-7</sup>	2.58x10 <sup>-6</sup>

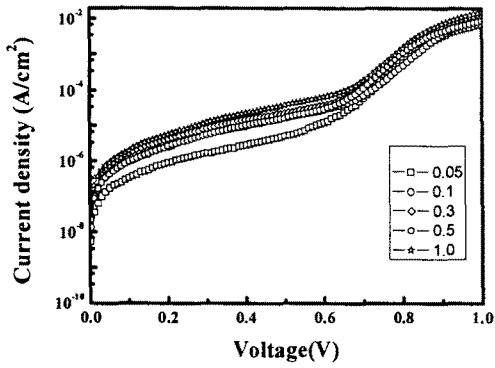


그림 2. p-layer의 gas flow rate 변화에 따른 real device의 DIV 특성 곡선

### 3. 결 론

지금까지 태양전지 DIV 특성의 이론적 내용과 p-layer의 gas flow ratio 가변을 통한 simulation과 real device 측정에 대해서 이야기 해보았다. 측정 결과 simulation DIV data와 real device의 DIV data 사이에 유사한 경향성을 보였다. 전체적으로 saturation current의 값은 큰 차이를 보이지 않았으나 공간 전하 영역 (scr)에서 saturation current, ideality factor의 값이 큰 것으로 보아 scr영역의 interface 향상이 필요한 것으로 생각되어진다.

#### [참 고 문 헌]

- [1] K.Schroder, "Semiconductor material and device Characterization", John Wiley & Sons, pp191 ~ 196, 2006
- [2] H.Sakai, T.Yoshida, S.Fujikake, Hama and Y.Ichikawa, "Effect of p/i interface layer on dark J-V characteristics and Voc in p-i-n a-si solar cells", J. Appl. Phys, 67, 7, 1990