

염료감응형 태양전지의 상대전극 Roughness Factor 조절을 통한 셀 특성 연구

손 민규¹⁾, 서 현웅, 이 경준, 김 정훈, 김 희제²⁾

A Study on the Characteristic of Dye-sensitized Solar Cell by Controlling the Roughness Factor of Counter Electrode

*Minkyu Son, Hyunwoong Seo, Kyoungjun Lee, Jeonghoon Kim, **Heeje Kim

Key words : Dye-sensitized Solar Cell(염료감응형 태양전지), Internal Resistance(내부저항), Counter Electrode(상대전극), Roughness Factor(거칠기 인자), Light Reflection(빛 반사도)

Abstract : Dye-sensitized solar cell has many internal resistant components such as Pt counter electrode, TiO₂/dye/electrolyte, charge diffusion, sheet resistance of TCO. Among these, the resistance about the counter electrode can be reduced by increasing the roughness factor of Pt counter electrode. This causes the increase of fill factor and improvement of efficiency. And the amount of light reflection on the counter electrode also increases as the roughness factor goes up. In our experiment, we suggest a new deposition structure of Pt thin film that is a stepped-type structure. The more step lines are in the counter electrode, the more roughness factor is. As a result, we get the improvement of fill factor and efficiency by controlling the roughness factor of counter electrode.

1. 서 론

요즘 계속되는 지구 온난화와 연일 최고 기록을 갱신하며 오르고 있는 화석 연료의 가격으로 인해 화석 에너지의 새로운 대안으로서 태양전지가 주요 관심사로 떠오르고 있다. 특히 미국, 일본, 독일등 선진국을 필두로 다양한 태양전지 개발에 앞장서고 있는 가운데 차세대 태양전지로 염료감응형 태양전지(Dye-sensitized Solar Cell : DSC)가 주목을 받고 있다. 간단한 제조 방법과 구조, 낮은 제조단가의 장점을 지니고 기존의 값비싼 실리콘 태양전지를 대체할 유력한 후보로 떠오르고 있는 실정이다.

1991년 스위스 Gratzel 연구팀이 개발한 염료감응형 태양전지⁽¹⁾는 현재 에너지 변환 효율이 약 11%를 기록하고 있다. 이것은 아직 실리콘 태양전지의 절반 정도 밖에 되지 않는 에너지 변환 효율이지만 이론적인 에너지 변환 효율은 실리콘 태양전지에 결코 뒤지지 않는다. 이에 세계 각처의 많은 연구팀들이 효율을 높이기 위한 연구를 계속 해오고 있다.

염료감응형 태양전지 효율을 저하시키는 요인

은 여러 가지 원인이 있는 것으로 알려져 있으며 태양전지 내부 저항 성분 또한 그 중 하나이다. 태양전지 내부 저항은 전기적 등가 회로로 분석했을 때 상대전극 저항 성분, TiO₂/염료/전해질 등의 재료 저항 성분, 전자 확산과 관련된 저항 성분, 투명전극의 표면저항(sheet resistance)으로 나누어진다.⁽²⁾

본 연구에서는 이러한 염료감응형 태양전지의 내부 저항 성분 중 상대전극 저항 성분을 결정하는 중요 인자가 Roughness Factor라는 사실에 주목을 하였다. 상대전극 표면 처리를 통해 해당 파라미터를 조절하고 이를 통해 염료감응형 태양전지의 효율 향상을 도모하였다.

1) 부산대학교 전자전기공학과
E-mail : smk82@pusan.ac.kr
Tel : (051)510-2770 Fax : (051)513-0212
2) 부산대학교 전자전기공학과
E-mail : heeje@pusan.ac.kr
Tel : (051)510-2364 Fax : (051)513-0212

2. Experiment

광전극을 제조하기 위해 전도성을 가지고 있는 투명 전극(FTO)위에 균일 입자의 TiO₂ paste를 doctor blade법으로 도포하였다. 이때 도포된 TiO₂는 Solarlonix사에서 제조된 콜로이드 형태로 입자의 크기는 약 9nm이며 도포된 층의 두께는 약 50 μ m정도 이다. 균일한 층으로 도포된 TiO₂층은 450 $^{\circ}$ C에 30분간의 소성 및 자연 냉각을 통해 다공질화 된다. 이후 20mM 농도의 N719(Ruthenium 535 bis-TBA) 염료에 상온에서 24시간 담궈 TiO₂층에 염료를 흡착시키고 단분자층을 만들기 위해 흡착 후 에틸 알콜에 침지시켜 적층되어 있는 여분의 분자를 제거하여 광전극 제작을 마무리 하였다.

상대전극을 제작하기 위하여 준비된 FTO에 sand-blast를 이용해 전해질 주입을 위한 pin-hole을 만든 후 RF Sputtering 방법으로 전해질의 촉매 작용을 하는 백금 박막을 증착시켰다. 상대전극은 Roughness Factor를 변화시키기 위하여 계단형 백금 박막 형성을 하도록 하였다. 이를 위하여 기본적으로 40초간 기존의 방법으로 백금을 증착 시키고 진공 테이프를 이용하여 일부분을 가린 후 추가적으로 40초간 동일 방법으로 백금을 증착시켜 주었다. RF 스퍼터링은 아르곤 가스를 매개체로 기압 2.8 $\times 10^{-3}$ Torr, 150W RF Sputtering power의 조건에서 동일하게 진행 되었다.

광전극과 상대전극 제작이 완료된 후 hot-melting sealing sheet를 이용하여 접합하였다. 접합이 완료된 후 요오드 계열의 휘발성 액체 전해질인 AN-50을 pin-hole을 통해 주입하였다. 마지막으로 Pin-hole sealing과 soldering 작업을 해줌으로써 실험용 염료감응형 태양전지가 완성되었다.

이렇게 완성된 염료감응형 태양전지는 Solar Simulator를 AM(Air Mass) 1.5의 조건(1 sun, 100mW/cm²)으로 만든 후 Keithley 2400 source meter를 이용하여 셀의 특성을 측정하였다.

3. 결과 및 토의

태양전지의 성능을 판단하는 인자는 개방전압(Voc), 단락전류(Isc), Fill Factor, 효율 등 여러 가지가 있다. 이것은 염료감응형 태양전지도 마찬가지이다. 이 중에서 Fill Factor는 개방전압과 단락 전류의 곱에 대한 최대 출력의 비율로써 주로 태양전지의 내부 직, 병렬 저항 성분에 의해 결정된다. 그렇기 때문에 염료감응형 태양전지의 내부 저항 성분을 조절함으로써 Fill Factor를 조절할 수 있다.

전기적인 등가 회로 분석법으로 염료감응형 태양전지의 내부 저항 성분 중 상대전극에 관련된 저항 성분은 상대전극과 전해질 사이의 전하의 움직임과 관련된 성분이다. 특히 이 저항 성분은 상대전극의 거칠기가 거칠어질수록 줄어드는 경향을 보인다.⁽³⁾ 상대전극의 거칠기는 Roughness Factor라는 인자로 표현이 된다. Roughness Factor는 식(1)과 같이 구해지며 이 파라미터는 actual 표면이 거칠수록 증가함을 알

수 있으며 이것은 표면이 거칠수록 Roughness Factor가 증가함을 의미한다.

$$Roughness\ Factor = \frac{Actual\ Area}{Projected\ Area} \quad (1)$$

Roughness Factor의 증가는 Actual Area의 증가를 의미하기 때문에 본 실험에서는 그림1처럼 상대전극의 백금 박막을 계단형으로 증착시켜 Actual Area를 증가시켰으며 이로 인해 Roughness Factor의 값이 증가됨을 알 수 있다.

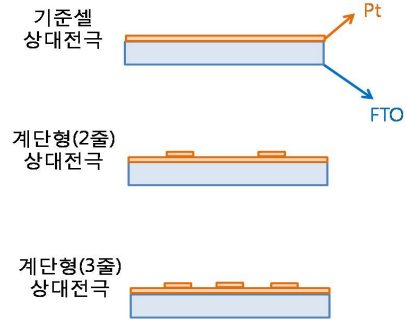


Fig. 1 상대전극 Roughness Factor 증가 개념도

이렇게 제작된 염료감응형 태양전지의 측정값은 표1에 잘 나타나 있다. 기준셀에서 계단형 줄무늬가 2개 들어가서 Fill Factor가 0.58에서 0.61로 5.1% 증가했으며 계단형 줄무늬가 하나가 더 추가됨으로써 0.61에서 0.62로 1.64% 증가하였다. 즉, 계단형 줄의 개수가 증가하여 거칠기가 증가함에 따라 전체적으로 Fill Factor가 증가하는 추세를 보인다. Fill Factor가 증가한 사실은 그림 2의 I-V characteristics Curve를 보면 역시 Fill Factor가 증가했음을 확인할 수 있다. 전체적으로 기준셀보다 계단형으로 제작한 셀의 효율이 향상되는 경향성을 보였다.

Table 1 각 셀의 characteristics

	Voc (V)	Isc (mA)	Fill Factor	Efficiency (%)
기준셀	0.72	12.05	0.58	2.53
계단형 (2줄)	0.72	11.99	0.61	2.60
계단형 (3줄)	0.74	11.90	0.62	2.72

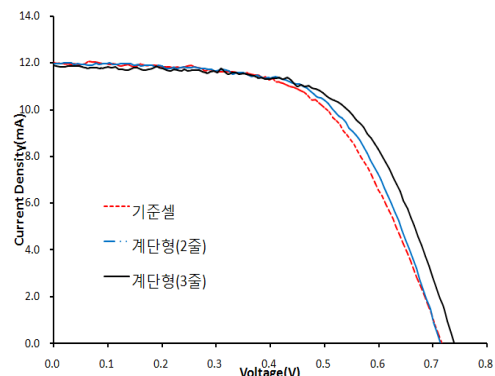


Fig. 2 I-V Characteristics Curve

계단형 백금 박막 증착은 상대전극의 거칠기 향상 및 Roughness Factor 증가를 통해 Fill Factor를 증가시키는 효과를 보이는 뿐만이 아니라 빛의 반사도를 높임으로써 효율을 상승 시키는데 기여한다. 이것은 각 상대전극의 반사도를 측정할 표2를 보면 잘 알 수 있다. 각 상대전극의 반사도는 $26.6\text{mW}/\text{cm}^2$ 의 세기의 광원에 제작된 상대전극을 놓고 투과된 빛의 양을 International Light 사의 Photometer로 측정하여 계산하였다.

Table 2 각 상대전극의 반사도

	빛투과량 (mW/cm^2)	반사도 (%)
기준셀	18.08	32.03
계단형 (2줄)	15.36	42.26
계단형 (3줄)	13.61	48.83

그 결과 계단형 줄의 개수가 증가할수록 반사도가 증가하였음을 확인할 수 있었다. 이것은 반사도가 증가됨으로써 염료에 흡수되지 않았던 빛이 한번 더 광전극으로 반사되기 때문에 효율의 증가에 도움을 주기 때문이다.

그림 3은 유효면적 2.0cm^2 로 실제 제작된 상대전극과 그 것으로 만든 염료감응형 태양전지의 모습이다.

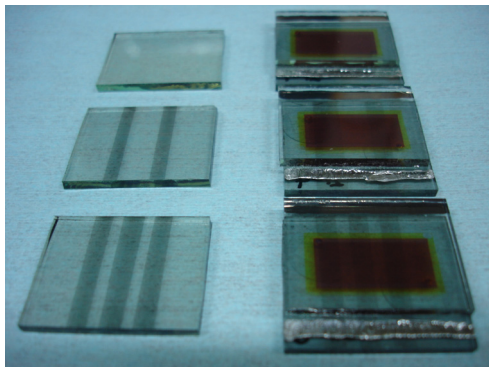


Fig. 3 실제 제작된 상대전극과 셀

4. 결론

본 연구에서는 염료감응형 태양전지의 효율에 영향을 미치는 내부 저항 요소 중에 상대전극과 관련된 저항 요소를 조절해 봄으로써 태양전지의 효율 향상을 도모하였다. 상대전극의 거칠기와 상대전극의 저항 요소는 밀접한 관계에 있으며 거칠기가 증가 할수록 그것의 척도인 Roughness Factor가 증가하며 내부 저항값은 줄어들게 된다. 이러한 결과로 Fill Factor가 증가하여 빛의 반사도 증가와 함께 전반적인 효율의 향상을 가져왔다. 결국 이번 연구에서 제안한 계단형 상대전극 백금 증착법이 상대전극의 거칠기와 빛의 반사도 증가로 염료감응형 태양전지의 Fill Factor 및 효율 상승에 긍정적인 역할을 한다는 결과를 얻었다.

후 기

본 연구는 기초연구지원기초과학-단독연구(과제번호 : D00283) 염료감응형 태양전지 연구의 일환으로 수행되었습니다.

References

- [1] B. O'Regan, M. Gratzel, 1991, "A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO_2 films", Nature, 353, 737.
- [2] Liyuan Han, Naoki Koide, Yasuo Chiba, and Takehito Mitate, 2004, "Modeling of an equivalent circuit for dye-sensitized solar cells", Applied Physics Letter, 84,13, pp 2433- 2435.
- [3] Liyuan Han, Naoki Koide, Yasuo Chiba, Ashrafal Islam, Ryoichi Komiya, Nobuhiro Fuke, Atsushi Fukui, and Ryohsuke Yamanaka, 2005, "Improvement of efficiency of dye-sensitized solar cells by reduction of internal resistance", Applied Physics Letter, 86,213501