한국신·재생에너지학회 2008년도 추계학술대회논문집 pp.131~133

Mesh구조의 상대전극을 갖는 염료감응형태양전지의 특성연구

*장 진주[1], 서 현웅[2], 손 민규[3], 이 경준[4], 홍 지태[5], **김 희제[6]

A study on the characteristic of Dye-sensitized solar cell with mesh structure of counter electrode

*Jinju Jang, Hyunwoong Seo, Minkyu Son, Kyoungjun Lee, Jitae Hong **Heeje Kim

Key words : Dye-Sensitized Solar Cell(염료감응형 태양전지), Counter Electrode(상대전극), Mesh Structure(메쉬 구조), Tandem Cell(탄뎀 셀)

Abstract : A serious problem of the 21st century is the supply of energy resources. Reserves of fossil fuels are facing depletion: renewable energy resources must be developed in this era. Dye sensitized solar cell (DSC) has been very economical and easy method to convert solar energy to electricity. Recently a novel tandem cell structure is proposed to improve photocurrent of DSC. To fabricated a tandem cell, the mesh structure of counter electrode is essential for the improvement in transmittance. In this study, we conducted the experiment to get the characteristic of DSC with mesh counter electrode. Under the standard test condition (AM 1.5, 100mW/㎠), we obtained the maximum efficiency of 3.41% and the transmittance of 72% in the DSC with mesh 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, 독일 등 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.

새로운 형태인 Tandem Cell 또한 효율을 높이기 위한 방법 중의 하나이다. 이는 빛의 흡수 파장이 다른 염료를 사용한 두 개의 셀을 겹쳐서 효율을 증가시키는 방법이다[(2)]. 하지만 일반적으로 제작되는 DSC를 사용하여 Tandem Cell을 제작할 경우 Top Cell은 투과되는 빛의 양이 일반적인 경우와 동일하나 Bottom Cell은 Top Cell의 상대전극의 백금(Pt)층에 의해 빛의 양이 줄어들어 효율에 영향을 미치는 문제가 발생한다.

따라서 본 연구에서는 Mesh 구조를 가지는 상대전극을 제작하여 DSC에 적용한 뒤 그 특성을 파악하여 Mesh 구조를 가지는 상대전극이 위에서

1) 부산대학교 전자전기공학과
E-mail : jinjuj83@pusan.ac.kr
Tel : (051)510-2770 Fax : (051)513-0212
2) 부산대학교 전자전기공학과
E-mail : woong_1980@pusan.ac.kr
Tel : (051)510-2770 Fax : (051)513-0212
3) 부산대학교 전자전기공학과
E-mail : smk82@pusan.ac.kr
Tel : (051)510-2770 Fax : (051)513-0212
4) 부산대학교 전자전기공학과
E-mail : kyoungjun@pusan.ac.kr
Tel : (051)510-2770 Fax : (051)513-0212
5) 부산대학교 전자전기공학과
E-mail : hjt611@yahoo.co.kr
Tel : (051)510-2770 Fax : (051)513-0212
6) 부산대학교 전자전기공학과
E-mail : heeje@pusan.ac.kr
Tel : (051)510-2364 Fax : (051)513-0212

언급한 Tandem Cell의 문제점을 해결할 수 있는 하나의 방법이 될 수 있는지를 연구하였다.

2. Experiment

광전극의 제조를 위해서는 투명 전도성 기판(TCO: Transparent Conducting Oxide)인 FTO(fluorine doped SnO_2: 9.3Ω/㎠)를 1㎠ 면적으로 절단한 후 Alcohol, Ethanol, 증류수로 각 10분씩 초음파 세척하여 준비한다. 그 위에 Doctor Blading 방법으로 Ti-Nanoxide HT/SP를 도포하여 450℃에서 30분간 소성 및 자동 냉각 해 다공질화 시킨 후 Ruthenium 염료(N719)에 상온에서 24시간동안 침지시켜 다공질의 TiO_2에 염료가 잘 흡착할 수 있도록 한다. 단분자층을 만들기 위해 흡착 후 Ethyl Alcohol에 침지시켜 적층되어 있는 여분의 분자를 제거하였고 이를 건조시켜 광전극 제작을 마무리하였다.

상대전극 제작에 필요한 FTO에 sand-blast를 이용해 전해질 주입을 위한 pin-hole을 2개 만든 후 Alcohol, Ethanol, 증류수로 각 10분씩 초음파 세척하고 건조하여 준비한다. 그리고 Pt의 유효면적이 100%인 상대전극과 양파망을 이용하여 Pt의 유효면적이 50%인 Mesh 구조의 상대 전극을 준비한 후 2.8×10^{-3}Torr, 100℃의 조건에서 150W의 RF sputter power를 100초간 인가함으로써 Pt 박막층을 형성했다.

광전극과 상대전극의 제작이 완료되면 sealing sheet를 크기에 맞게 자른 후 hot-melting을 이용하여 접합하였다. 접합 후 요오드 계열의 휘발성 액체 전해질인 AN-50을 진공 상태인 Glove box 내에서 pin-hole을 통해 주입하였다. 이렇게 하여 Pin-hole sealing과 soldering 작업을 마지막으로 실험용 염료감응형 태양전지가 완성되었다.

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

3. 결과 및 토의

DSC를 전기적인 등가회로로 표현을 하면 내부저항 성분이 있음을 알 수가 있다. 이들 DSC의 내부 저항 성분은 광전극에서의 전하 이동과 관련된 성분, 투명전극 면저항, 상대전극과 관련된 성분 등으로 구성되어 있다[(3)(4)]. DSC의 효율은 이와 밀접한 관계가 있으며 내부 저항 성분을 줄일 수 있으면 효율을 상승시킬 수 있다. 상대전극과 관련된 저항 성분은 Pt 층의 거칠기 인자(Roughness Factor, RF)와 관련이 있으며 이 값이 증가할수록 내부 저항은 늘어나는 경향을 보인다[(5)]. RF는 식(1)과 같이 표현 되며 이것은 Actual 표면이 커질수록 증가함을 알 수 있다.

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

Pt층을 양파망을 이용하여 Mesh 구조로 구성할 경우 균일하게 Pt층이 생성되지 않아 Actual 표면이 커지게 되고 이로 인해 RF가 증가하며 내부저항이 작아져 DSC의 효율이 상승할 수 있는 요인이 될 수 있다.

표 1은 일반적인 DSC와 상대전극에 Mesh 구조를 적용한 DSC의 단락전류(Isc), 개방전압(Vdc), 충진률(Fill Factor, FF), 효율을 나타낸 특성표이다.

Table 1 The characteristics of each DSCs

	Voc (V)	Isc (mA)	Fill Factor	Eff (%)
일반셀	0.76	7.29	0.60	3.35
Mesh	0.76	7.21	0.63	3.41

일반적인 DSC와 Mesh 구조를 적용한 상대전극을 가지는 DSC는 Isc, Vdc, FF, 효율 측면에서 거의 비슷함을 알 수 있다. 이것은 I-V 특성 커브를 그려보면 확실히 확인할 수 있으며 I-V 특성 커브는 그림 1과 같다.

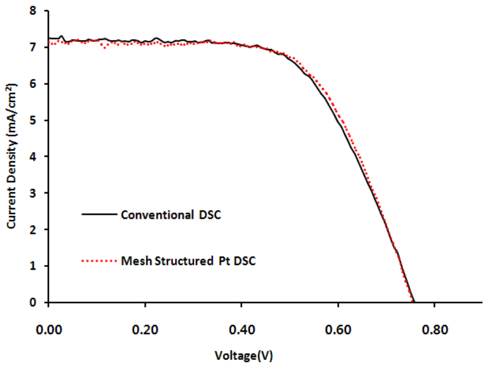

Fig. 1 I-V characteristic curves

이러한 결과는 Mesh 구조를 가지는 Pt 상대전극이 RF가 증가하여 내부저항이 감소하여 효율이 증가하게 될 것이라는 사실에 맞지 않는다. 이는 상대전극에 도포되어 있는 Pt의 양과 영역에서 그 이유를 찾을 수 있다. 일반적인 DSC의 경우 상대전극에 모든 영역에서 100% Pt가 존재하지만 Mesh 구조의 상대전극은 그의 절반인 50%의 Pt만 존재하며 양파망에 의해서 일부 영역에만 Pt가 존재하게 된다.

산화·환원 반응의 촉매 역할을 하는 Pt는 그 두께에 관계없이 상대전극의 전 영역에 존재하면 DSC는 성능 저하 없이 동작하게 된다[(6)]. 따라서 Mesh 구조의 상대전극은 일부 영역에만 Pt가 존재하므로 RF 증가로 인한 내부저항 감소에 따른 효율 상승 요소가 이로 인해 감쇄되어 일반적인 DSC와 성능이 비슷하게 된다.

표 2는 Pt 양에 따른 상대전극의 투과도 및 그에 따른 DSC셀의 효율을 나타내는 표이다. Pt 유효면적이 100% 경우의 효율은 3.35%, 50%인 경우(Mesh 구조)는 3.41%로 효율의 변화는 거의 없었지만 빛 투과도는 31%, 72%로 확연한 차이를 보였다.

Table 2 The characteristics of each DSCs

	효율 (%)	투과도 (%)
일반셀	3.35	31
Mesh	3.41	72

일반적인 상대전극을 적용한 DSC와 Mesh 구조의 상대전극을 적용한 DSC의 효율은 거의 비슷한데 반해 투과도에서 Mesh 구조를 적용한 상대전극의 경우가 일반적인 상대전극의 경우보다 높은 투과도를 보인다. 따라서 Mesh 구조의 상대전극을 Tandem 셀에 적용할 경우 Bottom Cell의 빛 이용률을 높여 효율을 상승시킬 수 있을 것으로 예상된다.

4. 결 론

본 연구에서는 Mesh 구조의 Pt층을 가지는 상대전극을 사용하는 DSC의 특성을 파악함으로써 DSC의 효율을 높이기 위한 새로운 구조인 Tandem Cell에의 적용 가능성을 연구하였다. Mesh 구조의 Pt 층을 가지는 상대전극을 이용할 경우 DSC의 내부 저항을 줄이는 효과를 기대할 수 있지만 전체 영역에 Pt가 존재하지 않아 촉매 능력이 떨어져 전체적인 효율은 일반적인 상대전극을 사용한 DSC와 비슷하게 됨을 확인 할 수 있었다. 그에 비해 빛의 투과도는 Mesh 구조를 사용한 상대전극이 우수하였으므로 이를 Tandem Cell에 적용할 경우 빛의 투과도를 향상 시켜 Bottom Cell의 빛의 이용률을 높여 Tandem Cell의 전체적인 효율을 상승시킬 수 있을 것으로 기대된다.

후 기

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

References

[1] Brian O'Regan, Michael Grätzel, 1991, “A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO_2 films”, Nature, Vol. 353, pp.737-740

[2] Wataru Kubo, Ayumi Sakamoto, Takayuki Kitamura, Yuji Wada, Shozo Yanagida, 2004, "Dye-sensitized solar cells : improvement of spectral response by tandem structure", Journal of Photochemistry and Photobiology A : Chemistry, Vol. 164, pp. 33-39

[3] Liyuan Han, Naoki Koide, Yasuo Chiba, and Takehito Mitate, 2004, "Modeling of an equivalent circuit for dye-sensitized solar cells", Applied Physics Letters, Vol. 84, No. 13

[4] Liyuan Han, Naoki Koide, Yasuo Chiba, Ashraful 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 Letters, Vol. 86, No 213501

[5] Naoki Koide, Ashraful Islam, Yasuo Chiba, Liyuan Han, 2006, "Improvement of efficiency of dye-sensitized solar cells based on analysus of equivalent circuit", Journal of Photochemistry and Photobiology A : Chemistry, Vol. 182, pp.296-305

[6] Xiaoming Fang, Tingli Ma, Guoquing Guan, Morimoto Akiyama, Eiichi Abe, 2004, Journal of Photochemistry and Photobiology A : Chemistry, Vol. 164, pp. 179-182