

SUS 기판을 이용한 염료감응형 태양전지용 백금 상대전극의 전기화학적 특성

박경희^{1,a}, 김태영¹, 백형렬², 구활본², 김승재^{3,4}, 조성용^{3,5}

¹전남대학교 공업기술연구소, ²전기공학과, ³환경공학과, ⁴환경연구소, ⁵바이오하우징연구소사업단

Electrochemical Properties of Platinized Counter Electrode on based Stainless Steel Sheet for Dye-Sensitized Solar Cells

¹Kyung-Hee Park, ¹Tae-Young Kim, ²Hyung-Ryul Back, ²Hal-Bon Gu, ^{3,4}Seung-Jai Kim, and ^{3,5}Sung-Yong Cho,

¹Engineering Research Institute, ²Department of Electrical Eng., ³Department of Environmental Eng.,

⁴Environment Research Institute, and ⁵Biohousing Research Institute, Chonnam Univ.

Abstract : Pt counter electrode based on flexible metal for dye-sensitized solar cells(DSCs) has been investigated. Photovoltaic structures on lightweight substrates have several advantages over the heavy glass-based structures in both terrestrial and space applications. Cyclic voltammetry and impedance spectroscopy were used to investigate electrochemical properties of Pt counter electrode both FTO glass and SUS sheet substrate. The DSCs composed of the counter electrode based on a stainless steel substrate has obtained conversion efficiencies comparable to that based on the conducting glass. The counter electrode based on the stainless steel substrate has the merit of improving the fill factor and conversion efficiency of the DSCs by reducing its internal resistance.

Key Words : Dye-sensitized solar cell, stainless steel substrate, Counter electrode, Pt

1. 서 론

고비용의 실리콘 반도체 태양전지에 대한 새로운 대안으로 제시된 염료감응형 태양전지(dye-sensitized solar cell, DSC)는 1990년대 초 스위스의 그라첼(M. Gratzel) 그룹에 의해 처음 개발되었다[1]. DSC는 기존의 반도체의 p-n 접합형식에서 벗어나, 넓은 표면적과 밴드갭(band gap) 특성을 가진 나노 TiO₂ 산화물 입자, 빛을 흡수하여 전자를 생성할 수 있는 염료, 그리고 산화/환원쌍(I/I₃⁺)을 포함하는 전해질, 그리고 백금 상대전극으로 구성되어 있다.

염료감응형 태양전지의 상대전극으로는 촉매 특성이 뛰어난 백금을 전도성 유리 기판위에 코팅되어 사용되어왔다. 그러나 FTO와 같은 전도성유리는 염료 감응형 태양전지의 60%를 차지할 만큼 고가이며 또한 유리는 깨지거나 모양을 조절하는데 있어 한계점이 있다. 따라서 비용을 절감하고 응용 범위를 넓힐 수 있는 새로운 기판으로 구성된 상대전극의 개발이 필요하다. 새로운 기판으로 열 방사 특성이 좋은 스테인레스 스틸이나 니켈 금속과 같은 저가형 금속 물질을 이용한 경우 전지의 제조단가를 낮출 수 있을 뿐 아니라 그들의 내부저항을 줄일 수 있는 장점을 가지고 있다[2].

최근 유리를 대신해서 전도성 물질이 입혀진 플라스틱 기판(ITO-PET)을 이용한 휘는 염료감응형 태양전지가 관심을 끌고 있다. 플라스틱 기판위에 나노구조의 TiO₂ 층을 증착함으로써 휘는 광산화물을 제조하는 시도가 있었다. 그러나 상대전극 기판으로 플라스틱을 이용하는 경우 열적 특성 때문에 백금 전극의 증착 온도에 많은 제약이 따르게 된다.

본 논문에서는 상대전극의 기판 재료로 SUS를 이용하여 백금 전극을 제작하고, 전도성 유리기판인 FTO를 이용한 백금 전극과의 전기화학적 특성을 비교하여 염료감응형 태양전지의 에너지 변환 효율을 향상시키고자 하였다.

2. 실 험

스테인레스 스틸 판 (SUS304H, 0.1t, 대한금속)과 전도성 유리기판 FTO(fluorine-doped tin dioxide, Asahi Glass, 20Ω/cm²)위에 백금졸을 이용하여 스퀴즈 프린팅한 후 450℃에서 30분 동안 열처리하여 제조된 백금 상대전극의 표면을 FE-SEM (Scanning Electron Microscope, S-4700, Hitachi Co.)로 관찰하였다.

계면저항측정은 개방전압(open circuit voltage)에서 AC impedance spectroscopy로 주파수를 100 kHz에서 0.01 Hz까지 변화시키면서 임피던스 거동을 기록하여 측정하였으며 전압 증폭은 50 mV를 유지하였다.

태양전지의 특성을 조사하기 위하여 염료감응형 태양전지를 제작하였다. 광전극은 기존에 알려진 제조 방식[2]에 따라 Degussa P25 TiO₂ 분말을 Polyethylene glycol(6000), 아세틸 아세톤, triton X-100을 이용하여 ITO 전도성 기판위에 10 μm 두께로 제조하였다. 이렇게 제조된 나노 다공성 TiO₂ 전극막을 에탄올에 용해되어 있는 Ru(II)계 (Ruthenium 535, Solaronix) 광감응형 염료에 실온에서 24시간 침지시켜 염료를 흡착하였다. 샌드위치 방식으로 염료 흡착된 광전극과 상대전극을 놓고 hat melt(surlyn)을 이용하여 봉입하고 전해질을 주입후 입구는 에폭시로 밀봉하여 단위 셀 염료감응형 태양전지를 만들었다.

태양전지의 특성은 1000 Watt 제논 광 소스와 AM 1.5 filter, Thermo-Oriol solar simulator system(USA)을 이용하여 전압-전류 곡선으로부터 개방전압(open-circuit voltage, Voc), 단락전류(short-circuit current, Jsc), 그리고 fill factor (FF) 값을 얻어 상대전극 제조시 기판의 변화에 따른 에너지 변환효율을 비교하였다.

3. 결과 및 검토

그림 1은 FTO와 SUS의 기판에 백금이 코팅된 상대전극의 표면을 관찰하기 위한 FE-SEM 사진이다. 그림 1의 (a)에는 굴곡이 있는 FTO 기판위에 백금이 증착된 경우로 수 나노 크기의 백금입자가 고르게 퍼져 있는 것을 볼 수 있다. 반면 그림 1(b)에는 평평한 SUS기판위에 백금이 밀집되어 증착되어있고 그 위로 열처리 과정에서 백금입자가 핵 성장 과정을 거쳐 둥근 입자로 형태로 올라와 있는 것을 볼 수 있다. 이것은 염료감응형 셀 제작시 전해질의 접촉 표면에 큰 영향을 미치고 또한 증착된 면이 전해질에 직접 노출 되는 것을 피할 수 있어 효율과 필팩터(FF)의 향상을 기대 할 수 있다.

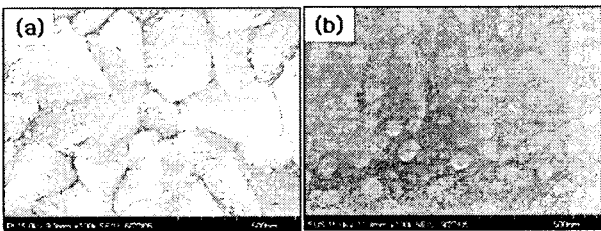


그림 1. FTO유리와 SUS 기판위에 백금이 코팅된 상대전극의 FE-SEM 사진.

전해질과 상대전극 사이의 계면에서의 저항은 전자가 전기 이중층을 넘어 전해질로 전자가 전달되면서 발생하는 임피던스를 측정함으로써 전극의 특성을 비교해 볼 수 있다. 그림 2의 Nyquist 도시로부터 작업전극과 전해질 용액의 계면특성을 비교해 보면 높은 주파수 쪽에서 나타나는 반원은 전극표면에서의 전자이동과 관계된 저항(charge transfer resistance, R_{ct})과 두상이 접촉하는 곳에서의 전하축적으로 표현되는 커패시터(double layer capacitance, C_{dl}) 값을 알 수 있다. FTO 유리 기판을 이용한 경우 R_{ct} 는 11k Ω 인 반면 SUS기판을 이용한 경우 8 k Ω 으로 전극 계면에서의 저항값이 적음을 알 수 있으며 이것은 전해질에 전자를 전달하는 속도가 빨라질 수 있음을 의미한다.

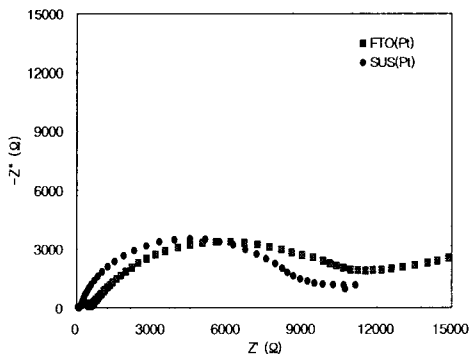


그림 2. FTO와 SUS 기판을 이용한 백금 상대전극의 전기화학적 임피던스 스펙트럼.

염료감응형 태양전지용 상대전극의 기판 변화에 따른 에너지 변환 효율을 비교하기 위해 염료감응형 태양전지로 제작하여 전압-전류 곡선을 그림 3에 나타내었다. Voc나 Jsc값을

크게 하기 위해서는 밴드갭이 큰 재료를 사용하거나 태양전지 표면에서의 태양 빛의 반사를 최대한으로 감소시키면 크게 할 수 있다. FF는 최대전력점에서의 전류밀도와 전압값의 곱($V_{max} \times J_{max}$)을 Voc와 Jsc의 곱으로 나눈 값이다. 태양전지의 효율은 η 은 전지에 의해 생산된 최대전력과 입사광 에너지($P_{inj}, 45 \text{ mW/cm}^2$) 사이의 비율로 나타낸다.

FTO 유리 기판을 사용한 백금 상대전극의 경우 개방전압은 0.69 V, 단락전류는 7.7 mA/cm²를 보이는 반면 SUS 기판의 경우 개방전압은 0.71 V, 단락 전류밀도는 9.9 mA/cm²로 개방전압과 단락전류밀도 모두 크게 나타난 것을 확인할 수 있으며, FF 또한 향상되어 에너지 변환효율은 3.8 %에서 6.2 %로 약 2.4 % 높게 나타났다. 이것은 그림 1과 그림 2에서 확인된 바와 같이 백금이 기판 표면에 증착된 형태나 전해질과의 계면 저항의 감소가 에너지 변화효율을 향상 시킨 것으로 판단된다.

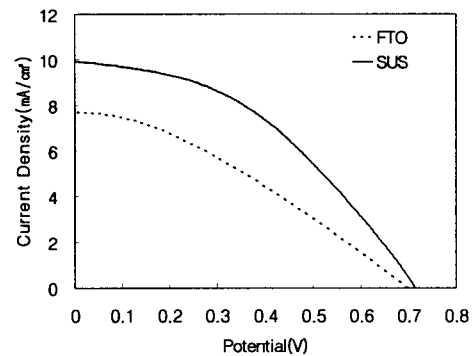


그림 3. FTO와 SUS기판을 이용한 백금상대전극의 I-V곡선.

4. 결론

FTO유리와 SUS 기판을 사용하여 백금전극이 코팅된 상대전극을 제작하여 염료 감응형 태양전지의 에너지 변화 효율을 비교해 보았다. SUS 기판을 이용한 백금 상대전극은 자체 내부저항을 줄임으로써 Fill factor가 향상되고 에너지 변화 효율 FTO 유리 기판을 사용한 경우와 비교해 볼 때 3.8%에서 6.2%로 크게 향상됨을 확인할 수 있었다. 또한 구부림이 가능한 SUS 기판은 염료 감응형 태양전지의 단가를 줄일 수 있고 크기 조절이 자유로우며 대량생산이 가능하여 FTO유리 기판을 대체할 상대전극 기판으로의 가능성을 확인할 수 있었다.

감사의 글

본 연구는 전남대학교 광소재부품연구센터와 2005년도 교육인적자원부 지방연구중심대학 육성사업의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- [1] B. O' Regan, M. Grätzel, "A Low-cost, high efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films", Nature, Vol. 353, p. 737, 1991.
- [2] X. Fang, T. Ma, M. Akiyama, G. Guan, S. Tsunematsu, E. Abe, Thin Solid Films, Vol. 472, p 242, 2005.