

Pt free 염료감응형 태양전지 전극에 대한 연구

황현석*, 박용섭** 정회원

Development of Pt-free counter electrode for dye-sensitized solar cell

Hyun Suk Hwang*, and Yong Seob Park** *Regular Members*

요 약

염료감응형 태양전지는 기존 실리콘 태양전지에 비하여 가격 경쟁력이 우수하고 안정성이 뛰어나다는 장점으로 인하여 다양한 연구가 진행되고 있으며, 특히 국내/외 여러 그룹에서 백금 대체 전극에 대한 연구가 많이 수행되고 있다. 따라서 본 연구에서는 저가형 고효율 염료감응형 태양전지의 구현을 위하여 상대전극의 대표적 물질인 백금을 대체하는 물질로서 그래핀을 선정하여 저가형 상대전극 소재 개발하고 특성을 개량코자 하였다.

그래핀 전극의 특성을 평가하기 위하여 FTO 기판상에 그래핀 전극과 백금 전극을 각각 제작하여 AFM 및 J-V 특성을 평가하였다. 그래핀 0.1 wt%의 경우 전류밀도 11.68 mA/cm², 최대효율 4.34% 등 백금 상대전극에 유사한 특성을 나타냄으로서 합성조건 등을 개선하는 경우, 백금 상대전극에 우수한 특성을 나타낼 수 있는 가능성을 확인하였다.

Key Words : dye-sensitized solar cell(DSSC); counter electrode; graphene; platinum

ABSTRACT

Dye-sensitized solar cell(DSSC) has aroused intense interest owing to its competitive price and stabilized properties than Si based solar cells. Recently, many studies have been reported on the DSSC, especially development of Pt-free counter electrode. In this paper, graphene is chosen counter electrode for low cost material and developed its properties.

To estimate the properties of counter electrode, graphene and Pt thin films have been fabricated on FTO substrates respectively, than the films are tested AFM and J-V evaluation method. A graphene of 0.1 wt% has shown current density of 11.68 mA/cm², maximum efficiency of 4.34% which is similar with that of Pt counter electrode. It confirmed that graphene could be good material for counter electrode if its synthesizing conditions were developed.

I. 서 론

최근 전 세계적인 에너지 및 환경문제에 대한 관심으로 태양에너지, 풍력에너지, 지열에너지 등 대체에너지에 대한 연구가 증가하고 있으며, 특히 태양에너지를 활용한 기술중 태양빛을 전기에너지로 변환하는 태양전지에 관한 연구가 가장 활발히 진행되고 있다[1][2].

일반적으로 태양전지는 구성하는 물질에 따라 반도체 접합 방식으로 실리콘이나 화합물 반도체의 무기물질을 이용하는 무기물 태양전지와 유기물질을 이용한 유기물 태양전지, 그리고 염료의 광전기화학현상을 이용한 염료감응형 태양전지(dye-sensitized solar cell, DSSC)로 분류할 수 있다 [2]. 실리콘계 태양전지는 가장 보편적으로 연구된 분야로 거의 이론적 한계점에 도달하였으며, 현재는 경제적 효과에 의

해 화합물이나 다결정 또는 비정질 실리콘을 이용하여 생산 비용이 적게드는 분야로 연구되는 실정이다. 하지만 오랜 기간동안 많은 연구가 진행되어 성능개선에 정체현상을 보이고 있는 실정이다. 이와 달리 염료감응형 태양전지는 특정 천연염료를 사용하여 화학적으로 흡착된 반도체 산화물 전극에 광을 조사함으로써 염료내에서의 전자의 여기, 전자의 주입 및 확산을 이용하여 전기에너지를 생산하는 기술이다. 1991년 스위스 EPEL의 미카엘 그라첼 교수가 처음 발표한 이후 현재 경제성, 다양한 색상의 구현, 유연하게 제작가능하다는 등의 장점으로 인하여 현재 많은 관심이 집중되고 있다 [2][3].

염료감응형 태양전지에 대한 연구분야는 크게 에너지를 저장하고 전자의 여기를 생성하는 염료, 여기된 전자의 효과적 이동을 위한 나노구조물의 금속 산화물, 그리고 전자의

* 본 논문은 2012년도 서일대학 학술연구비에 의해 연구되었음.

*서일대학교 전기과 (konae@seoil.ac.kr), **조선이공대학교 광전자과 (yongspark@cst.ac.kr)

접수일자 : 2014년 5월 25일, 수정완료일자 : 2014년 6월 3일, 최종재확정일자 : 2014년 6월 10일

이동과 관련된 최적화된 전극 등에 대한 연구가 대표적으로 이루어지고 있다[2-8].

본 연구에서는 저가형 고효율 염료감응형 태양전지의 구현을 위하여 기존에 상대전극으로 사용하는 대표적 물질인 백금을 대체하는 물질로서 흑연의 단원자층으로 이루어진 그래핀을 선정하였다. 그래핀은 얇고 넓은 면적, 높은 전도성, 투명성 등의 장점으로 인하여 투명전극으로도 관심이 집중된 물질로서[4-8], 최근 대면적에서의 그래핀 전사기술이 개발됨에 따라 불과 2~3점으로 이루어진 대면적의 그래핀 쉬트의 제작이 가능해졌다. 따라서 본 연구에서는 그래핀을 저가형 상대전극 소재로 선정하여 이를 합성하고 상대전극으로서의 특성을 개량코자 하였다.

II. 실험

본 연구에서는 DSSC의 상대전극으로서 그래핀의 특성을 고찰하기 위하여 그래핀을 열분해 방법에 의하여 합성하고 백금 상대전극과의 특성을 비교하기 위하여 그림 1의 구조로 DSSC를 제작하였다.

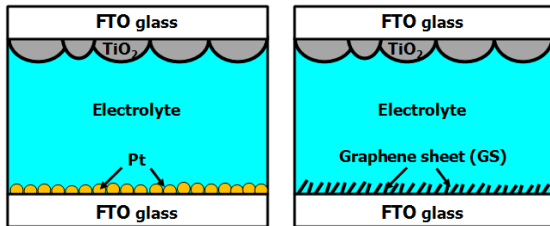


그림 1. 제작한 DSSC의 구조

제작방법은 그림 2와 같으며, 제작순서는 (1) FTO 유리 (FTO 두께 : 200nm, 면저항 : 8Ω/□, FTO glass transmittance : 65%)에 TiO₂ 페이스트를 닥터블레이드 방법으로 코팅한 후 (2) 열처리장비를 이용하여 전건조(100℃, 10분), 후열처리(400, 500, 600, 700℃, 70분)을 실시하였다. (3) 염료흡착 공정은 24시간 실시하였으며, 이후 에탄올을 사용하여 린스하였다. (4) 그래핀 및 백금 상대전극의 열분해공정을 위하여 홀을 제작하였으며 두 종류의 상대전극을 제작하였다. 그래핀 쉬트의 경우는 대표적 합성방법인 PECVD 방법을 사용하여 제작하였으며, 백금전극의 경우는 PtCl₄ : H₂PtCl₆를 이소프로필 알코올을 사용하여 450℃에서 50분간 열분해하여 제작하였다. (5) 그림 1에서 보이듯이 TiO₂전극과 상대전극은 샌드위치 형태로 조립되어지므로 실란트(SX 1170 hot melt)에 의해 실링되었다. (6) 마지막으로 실링된 셀의 상대전극 홀로 전해액을 투입함으로써 DSSC를 제작하였다.

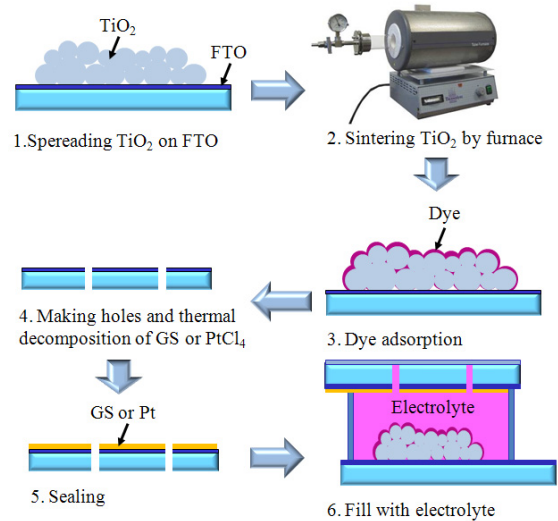


그림 2. DSSC의 제작 순서

III. 결과 및 고찰

제작된 그래핀 쉬트와 백금전극의 표면상태를 측정하기 위하여 AFM을 사용하여 측정한 결과 그림 3의 결과를 얻었으며, 두 물질 모두 결함없이 비교적 우수하게 합성이 되었음을 확인할 수 있었다.

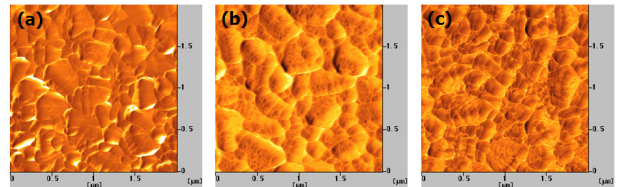


그림 3. AFM 사진, (a) FTO 유리, (b) Pt/FTO, (c) Graphene/ FTO

또한 상대전극으로서 그래핀 쉬트와 백금전극을 사용하여 각각 제작된 DSSC 셀의 특성을 측정하기 위하여 300W 제논 램프를 이용하여 AM-1.5 조건(100mW/cm²)의 빛을 조사함으로써 전류밀도-전압(current density-voltage, J-V) 특성을 관찰하였으며, 그 결과를 그림 4에 나타내었다. 태양전지의 특성은 소자의 개방전압(open circuit voltage, Voc), 단락전류(short circuit current, Jsc), fill factor(FF)와 전환효율(power conversion efficiency, PCE) 등으로 나타내어질 수 있으며, 표 1은 그림 4의 결과로부터 계산되어진 각 셀의 특성을 나타내었다. 여기서 FF, PCE는 아래의 계산식에 의하여 계산되었다.

$$FF(\%) = \frac{V_{max} \cdot J_{max}}{V_{oc} \cdot J_{sc}} \times 100 \quad (식 1)$$

$$PCE(\%) = \frac{V_{max} \cdot J_{max}}{P_i} \times 100 \quad (\text{식 2})$$

여기서, V_{max} 와 J_{max} 는 J-V 곡선에서 최대출력에서의 전압과 전류밀도를 의미하며, P_i 는 조사된 빛의 세기, 즉 본 실험에서는 $100\text{mW}/\text{cm}^2$ 이다.

그림 3과 표 1에 나타난 바와 같이 그래핀 쉬트는 백금 상대전극에 비하여 다소 특성이 낮은 것으로 나타났으나 최대 전환효율은 그래핀 0.1wt%에서 4.34%로 기존 문헌의 결과와는 동등한 수준의 결과를 나타내었으며, 그래핀 쉬트의 합성방법이나 두께 등의 제작조건을 개선한다면 성능의 향상은 가능할 것으로 판단된다.

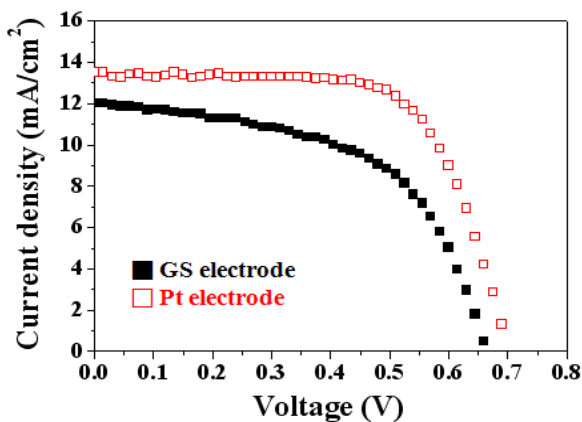


그림 3. 상대전극에 따른 J-V 특성

표 1. 상대전극에 따른 DSSC 특성 결과

| | Pt electrode | GS electrode |
|---------------------------|--------------|--------------|
| PCE [%] | 6.05 | 4.34 |
| Voc [V] | 0.708 | 0.668 |
| Jsc [mA/cm ²] | 13.53 | 11.68 |
| FF [%] | 63.54 | 55.65 |

IV. 결론

본 연구에서는 저가형 고효율 염료감응형 태양전지를 구현하기 위하여 상대전극으로서 대표적 물질인 백금을 대체할 수 있는 물질인 그래핀을 선정하여 저가형 상대전극을 개발하고 특성을 개량코자 하였다. 두 물질을 이용하여 셀을 제작한 결과 Voc, Jsc, FF, 그리고 PCE 특성에서 백금에 비하여 다소 낮은 것으로 나타났으나, 이는 합성조건 및 두께 등 제작조건을 개선하는 경우 상당부분 개선이 가능할 것으로 판단된다. 따라서 그래핀을 상대전극으로 적용하는 경우 기존의 태양전지의 저가격화 이외에도 전사기술을 이용하여 대면적 태양전지, 플렉시블한 특성을 이용한 태양전지 등 다양한 응용분야에 적용할 수 있을 것으로 사료된다.

참고 문헌

- [1] 이준신, “실리콘 태양전지 기술 및 산업현황”, 물리학과첨단기술, July/August, pp. 8-14, 2008.
- [2] 박남규, “염료감응 태양전지”, J. Korean Ind. Eng. Chem, vol. 15, no. 3, pp. 265-277, 2004.
- [3] 이상욱, 정현석, “염료감응태양전지에서의 졸겔공정 응용”, 세라미스트, vol. 14, no. 3, pp. 76-82, 2011.
- [4] T-H Tsai, S-C Chiou, S-M Chen, “Enhancement of Dye-Sensitized Solar Cells by using Graphene-TiO₂ Composites as Photoelectrochemical Working Electrode”, Int. J. Electrochem, Sci., 6, pp. 3333-3343, 2011.
- [5] 바트무르, 양우승, 암바테, 이수형, “TiO₂와 Graphene 혼합물을 전극으로 사용한 염료감응형 태양전지특성 연구”, Korean Chem. Eng. Res., vol. 50, no. 1, pp. 177-181, 2012.
- [6] R. Ramachandran, V. Mani, S-M Chen, R. Saraswathi, B-S Lou, “Recent Trends in Graphene based Electrode Materials for Energy Storage Devices and Sensors Applications”, Int. J. Electrochem, Sci., 8, pp. 11680-11694, 2013.
- [7] J D, Roy-Mayhew, D. J. Bozym, C. Punckt, I. A. Aksay, “Functionalized Graphene as a Catalytic Counter Electrode in Dye-Sensitized Solar Cells”, American Chemical Society Nano, vol. 4, no. 10, pp. 6203-6211, 2010.
- [8] G. Moula, M. A. Mumin, P. A. Charpentier, “Enhancement of Photocurrent in Dye-Sensitized Solar Cells Using Bismuth Doped TiO₂-Graphene as a Hot Carrier Transport”, J Nanomater Mol Nonotechnol., S1-002, 2013.

저자

황 현 석 (Hyun Suk Hwang)

정회원



- 2007년 8월 : 성균관대학교 전기전자 및컴퓨터공학과 박사
- 2009년 3월~현재 : 서일대학 전기과 조교수

<관심분야> : 통신부품, USN

박 용 섭 (Yong Soeb Park)

정회원



- 2008년 8월 : 성균관대학교 전자전기공학 학과 박사
- 2012년 3월~현재 : 조선이공대학교 광전자과 조교수

<관심분야> : 통신부품, USN