

Nb₂O₅ 반도체 산화물을 이용한 염료 감응 태양전지 특성 연구

A Study on the Characteristics of Dye-Sensitized Solar Cell Using Nb₂O₅ Semiconductor Oxides

김 해 마 로*, 이 돈 규*

Haemaro Kim*, Don-Kyu Lee*

Abstract

Various studies on dye-sensitized solar cells, which are cheaper to manufacture and have superior stability than silicon solar cells, are continuously conducted. In this study, the properties of dye-sensitized solar cells were studied using semiconductor oxides made by mixing TiO₂ and Nb₂O₅. By adding Nb₂O₅ in different proportions, the solar cell was made, and the surface area and electrical characteristics of this cell were measured. As Nb₂O₅ was added, the contact area of dye and electrolyte increased and the short-circuit current, open voltage, fill factor and conversion efficiency of dye-sensitized solar cells were confirmed to be improved.

요 약

실리콘 태양전지와 비교해 제조비용이 저렴하고 뛰어난 안정성을 가지고 있는 염료 감응 태양전지에 관한 다양한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다. 본 연구에서는 TiO₂와 Nb₂O₅을 혼합하여 만든 반도체 산화물을 사용하여 염료 감응 태양전지의 특성을 연구하였다. Nb₂O₅을 서로 다른 비율로 첨가하여 태양전지를 제작하였고, 이에 따른 표면적, 전기적 특성을 측정하였다. Nb₂O₅가 첨가될수록 염료 및 전해질의 접촉 면적이 증가하게 되었고, 이에 따라 염료 감응 태양전지의 단락 전류, 개방전압, 곡선인자 및 변환 효율이 개선됨을 확인하였다.

Key words : Dye-Sensitized Solar Cell, Semiconductor Oxide, Nb₂O₅, TiO₂ Pastes, Conversion efficiency

1. 서론

현재 전 세계적으로 에너지 소비 증가, 환경문제, 자원 고갈에 따른 대체에너지 개발에 직면해 있다. 그 대체 방안으로 신재생 에너지 개발이 대두되고 있으며, 태양전지가 가장 대체로 주목받고 있다. 태양전지는 무한한 잠재력을 지닌 태양에너지를 이

용하여 친환경적이면서 안정성이 뛰어나다는 장점을 갖고 있다[1]. 다양한 태양전지 중에서 염료 감응 태양전지(DSSC)는 스위스의 M. Grätzel 교수가 식물의 광합성 작용에서 힌트를 얻어 고안한 것으로 실리콘 태양전지와 달리 제조 방법이 간단하여 여러 가지 응용이 가능하다는 장점을 가진다[2]. 현재 태양전지 산업에서 단결정 및 다결정 Si계 태양

* Dept. of Electrical Engineering, Dong-Eui University

★ Corresponding author

E-mail : donkyu@deu.ac.kr Tel : +82-51-890-1666

Manuscript received Mar. 8, 2019; revised Mar. 20, 2019; accepted Mar. 24, 2019.

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

전지가 높은 시장 점유율을 보이지만 실리콘 계열 태양전지는 높은 제조단가, 빛의 입사각에 대한 영향, 디자인 등의 문제를 가지고 있어, 이에 따라 제조단가가 저렴하고, 다양한 색상 구현이 가능하며, Flexible, Transparency, 광의 입사각에 대한 둔감함 등의 이점을 가진 염료 감응 태양전지가 그 대안이 될 수 있다[3-4].

본 논문에서는 TiO₂에 Nb₂O₅을 서로 다른 비율로 첨가하여 DSSC를 제작하고 그 특성을 측정하였다. 반도체산화물에 Nb₂O₅을 혼합한 이유는 기존의 TiO₂의 전도대에 비해 Nb₂O₅의 전도대가 낮아 전자가 반도체 산화물에 주입되고, 통과하는 속도의 차이로 발생 되는 재결합 현상이 Nb₂O₅의 전도대에서 전달되도록 할 수 있고, 이로 인해 전자의 재결합 현상이 줄어들어, 태양전지의 전류가 증가하여 에너지 전환 효율의 개선을 예상하여 사용하였다[5-7].

II. 본론

광 전극에 사용되는 TiO₂-Nb₂O₅ Pastes 제조는 다음과 같다. TiO₂(anatase, 98.5%, junsei) 1g 기준으로 Nb₂O₅를 혼합하고, 아세트산 0.5ml를 10분간 혼합하였다. 추가로 증류수 0.35ml를 5분간, 에탄올을 0.5ml씩 첨가하여 각각 20분간, 10분간 혼합하였다. 혼합물의 화학적 결합과 점도를 개선하기 위해 추가로 Triton X-100 1ml를 첨가하여 40분간 혼합함으로써 TiO₂-Nb₂O₅ Pastes 제조하였다. 광 전극 제작은 FTO 유리기판을 1cm×1.5cm 크기로 자른 다음 2-Propanol, Acetonitrile, 에탄올, 증류수 순서로 초음파 세척기를 통해 각각 10분씩 세척을 진행하였다. 세척이 끝난 후 Drying Oven에 유리기판을 건조하였고, 만들어 둔 Pastes를 Doctor Blade method를 이용하여 0.25cm²의 크기로 도포 하였다. 도포 후 소성로를 이용하여 450℃의 온도로 30분간 소성을 진행하였다. 세척이 끝난 후 TiO₂와 결합력이 뛰어난 Ruthenium 계 N719 염료에 24시간 동안 염료흡착을 진행 후, Drying Oven에 건조 시켜 광 전극을 완성하였다. 상대 전극은 광 전극과 같이 유리기판에 전해액을 주입하기 위한 0.7mm 크기의 구멍을 2개 뚫은 뒤 광 전극과 같은 방법으로 세척과 건조를 시켰다. 건조를 마친 유리기판에 촉매 역할을 하는 백금(H₂PtCl₆)

을 코팅한 후 소성로에 450℃ 온도로 30분간 소결시켜 상대 전극을 제작하였다. 완성된 광 전극과 상대 전극 접촉면 사이에 60μm 두께의 Hot Melt Sealing Sheet(SX 1170-60) 필름을 두고 Drying Oven에서 120℃의 온도로 30분간 열처리를 통해 양전극을 접합시켰다. 접합이 끝난 전극에 미리 뚫어놓은 구멍을 통해서 전해질(0.5M LiI, 0.05M I₂, 0.5M 4-tertbutylpyridine in acetonitrile)을 주입시킨 후, 전해액 누수 방지를 위해 cover glass를 전극의 구멍에 봉합하여 염료 감응 태양전지를 완성하였다.

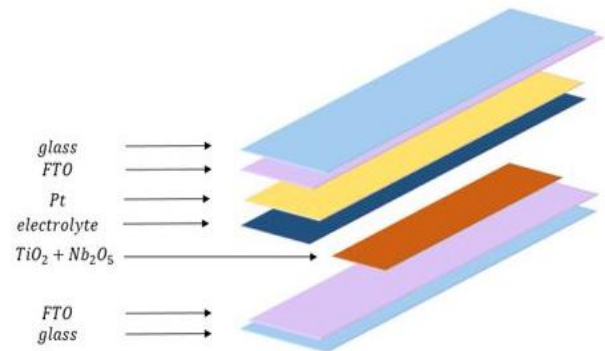


Fig. 1. TiO₂-Nb₂O₅ Dye-Sensitized Solar Cell (DSSC).
그림 1. TiO₂-Nb₂O₅ 염료 감응 태양전지(DSSC)

DSSC는 AM 1.5 one-sun 100mW/cm² 조건의 Xenon lamp 빛을 셀에 조사하여 Solar Simulator에 연결된 디지털 소스미터(Keithley Instruments Inc, Model 2400) 장비를 이용해 I-V 특성곡선을 측정하였다. 변환 효율은 태양광에서 얻어지는 단위면적당 태양광 강도에 대한 최대출력의 비율로 단락 전류, 개방전압, 곡선인자(FF)로 결정하였다.

III. 실험결과 및 고찰

그림 2는 TiO₂-Nb₂O₅ 혼합물의 입자 크기 변화를 확인할 수 있는 SEM 이미지이다. 그림(a)은 TiO₂만으로 제작된 광 전극의 표면 형태를 나타내고, (b), (c), (d)는 Nb₂O₅ 첨가 비율에 따른 광 전극의 표면을 나타낸다. 그림(a)보다 (b), (c), (d) 순으로 Nb₂O₅의 첨가 비율이 증가할수록 입자 사이의 간격이 커짐을 확인할 수 있고, 이는 TiO₂에 Nb₂O₅가 첨가될수록 염료 및 전해질의 접촉 면적의 증가로 효율이 개선되는 원인이 될 수 있다.

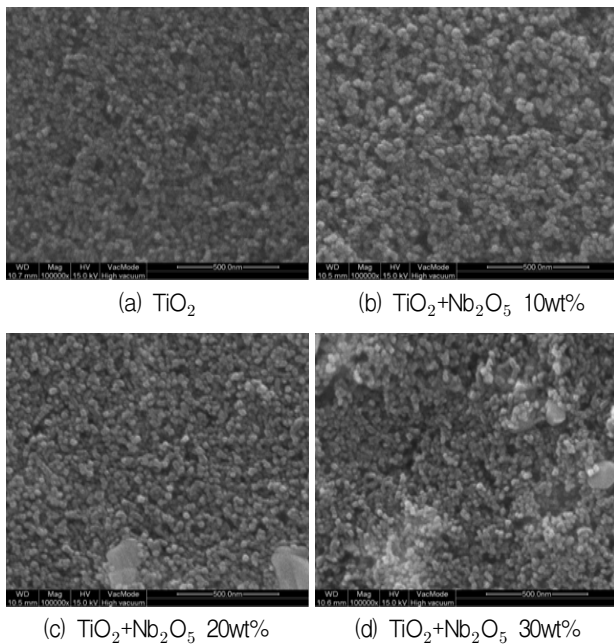


Fig. 2. SEM image depending on addition of Nb_2O_5 .
 그림 2. Nb_2O_5 첨가에 따른 SEM 이미지

반도체 산화물은 광전류 생성과 직접적인 관련이 있다. 이러한 TiO_2 는 입자 크기와 결정 구조에 따라 태양전지 효율에 밀접한 영향을 미치게 된다. Nb_2O_5 가 첨가되는 TiO_2 의 결정 구조 및 입자 크기는 XRD 패턴 분석을 통하여 그림 4에 나타내었다. $TiO_2-Nb_2O_5$ 혼합물의 XRD 패턴 분석 결과, 전형적인 TiO_2 Peak 값과 함께 Nb_2O_5 Peak 값을 확인함으로써 TiO_2 와 Nb_2O_5 가 혼합이 잘 되어있음을 확인할 수 있다.

그림 4는 Nb_2O_5 의 비율에 따른 I-V 특성곡선을 나타낸 그래프이다. 측정 결과 개방전압의 경우, TiO_2 만 존재했을 경우 0.80[V], Nb_2O_5 첨가에 따라서 각각 0.83[V], 0.84[V], 0.81[V]로 Nb_2O_5 을 혼합했음에도 불구하고 큰 변화를 보이지 않았다. 단락 전류의 경우에는 TiO_2 만 존재 하였을 때, 6.92[mA/cm²]가 흘렀고, Nb_2O_5 첨가비에 따라서 9.12[mA/cm²], 8.65[mA/cm²], 8.28[mA/cm²]가 측정되었다. 단락 전류가 개방전압과 비교해 확연히 증가 되는 이유는 Nb_2O_5 가 화학 집진성이 강하고 전기 전도성이 뛰어나 TiO_2 에 첨가될수록 전자의 이동도가 증가하기 때문이다. 그러나 Nb_2O_5 가 첨가되는 비율이 증가 될수록 단락 전류가 줄어드는 경향을 볼 수 있는데, 이는 염료에서 생성되는 전자가 TiO_2 전도대가 아닌 Nb_2O_5 전도대로 이동하게 되면서 단락 전류가 줄어들게 되는 것이다. 곡선인자의 경우 TiO_2

만 존재할 때 0.59, Nb_2O_5 혼합비에 따라 0.72, 0.70, 0.70으로 10wt% 일 때 가장 높은 수치가 나왔고, 효율 역시 3.26%에서 비율에 따라 각각 5.45%, 5.09%, 4.69%로 Nb_2O_5 가 혼합될수록 개선되는 경향을 보였다. 10wt% 비율로 혼합했을 경우가 TiO_2 만 존재했을 때 보다 약 37% 증가하여 혼합비 중 가장 우수한 성능을 가졌음을 확인하였다.

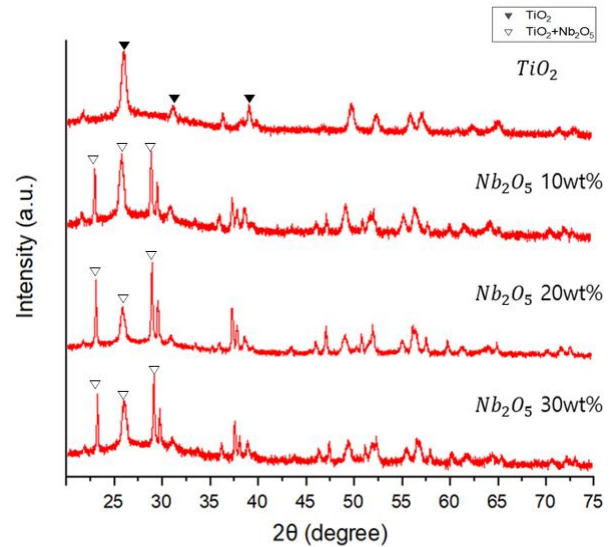


Fig. 3. XRD image depending on addition of Nb_2O_5 .
 그림 3. Nb_2O_5 첨가에 따른 XRD 이미지

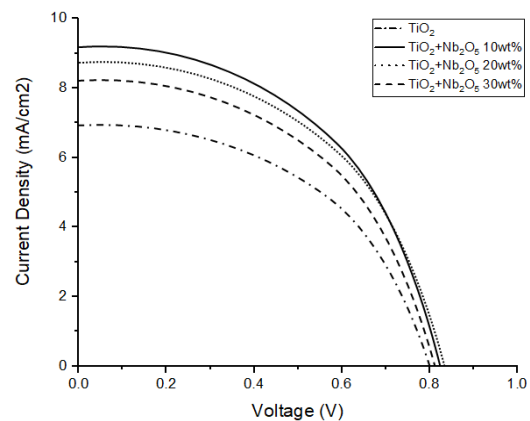


Fig. 4. I-V Characteristics curve depending on addition of Nb_2O_5 .
 그림 4. Nb_2O_5 첨가에 I-V 특성곡선

IV. 결론

본 논문에서는 DSSC의 효율 상승의 특성 분석을 위해 TiO_2 에 화학 집진성이 강하고, 전기 전도성이 뛰어난 Nb_2O_5 을 서로 다른 비율로 혼합하여

단위 Cell을 제작하였다. SEM 이미지와 XRD 패턴 분석을 통하여 Nb₂O₅ 첨가 비율에 따른 TiO₂의 입자 크기 변화와 구조적 특성을 평가하였다. 이를 바탕으로 Nb₂O₅의 혼합비에 따른 I-V 특성곡선을 측정하였고, 개방전압, 단락 전류, 곡선인자 그리고 효율 등의 특성을 확인하였다. 그중에서 일정량의 혼합 비율의 경우 전해질과의 접촉을 통한 재결합보다는 전도성이 더욱 강화되어 에너지 전환 효율을 개선시킬 수 있었다. 결과적으로 TiO₂에 Nb₂O₅ 10wt% 혼합비로 첨가하여 제작한 DSSC의 효율이 3.26%에서 5.45%로 약 37% 향상되었다. 그러나 Nb₂O₅를 더 첨가할수록 염료에서 생성되는 전자가 TiO₂ 전도대가 아닌 Nb₂O 전도대로 이동하게 되어 단락 전류가 줄어들게 되고, 효율 역시 낮아지게 되었다.

References

- [1] Jae Hyeong Lee, "Current Status and Future Prospects of Solar Cells," *Journal of the Korean Society for Precision Engineering*, Vol. 25 No. 10, pp. 7-22.
- [2] M. Grätzel, "Solar Energy Conversion by Dye-Sensitized Photovoltaic Cells," *Inorg, Chem*, 44(20), pp. 6841-6851, 2005. DOI: 10.1021/ic0508371
- [3] D. Zhang, T. Yoshida, T. Oekermann, K. Furuta, H. Minoura, "Room-Temperature Synthesis of Porous Nanoparticulate TiO₂ Films for Flexible Dye-Sensitized Solar Cells," *Adv. Funct Mater*, Vol. 16, pp. 1228, 2006. DOI: 10.1002/adfm.200500700
- [4] Hyunwoong Seo, Minkyu Son, Kyoungjun Lee, Jinju Jang, Jitae Hong, Heeje Kim, "The Characteristic Analysis of the Dye-sensitized Solar Cells as the Change of Incident Angle," *Journal of KSNRE*, pp. 124-127, 2008.
- [5] J. Xia, N. Masaki, K. Jiang, and S. Yangida, "Sputtered Nb₂O₅ as a Novel Blocking Layer at Conducting Glass/TiO₂ Interfaces in Dye-Sensitized Ionic Liquid Solar Cells," *J.Phys. Chem. C*, Vol. 111, pp. 8092-8097, 2007. DOI: 10.1021/jp0707384
- [6] B. Kos'cielska, "Electrical conductivity of NbN - SiO₂ films obtained by ammonolysis of Nb₂O₅ -

SiO₂ sol - gel derived coatings," *Journal of Non-Crystalline Solids*, Vol. 354, pp. 1549-1552, 2008.
 [7] Don-Kyu Lee, "A Study on the Characteristics of Semiconductor Oxides with V₂O₅," *j.inst.Korean.electr.electron.eng*, Vol. 22, No. 4, pp. 965-969, 2018. DOI: 10.7471/ikeee.2018.22.4.965

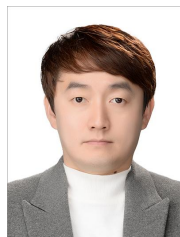
BIOGRAPHY

Haemaro Kim (Member)



2016 : BS degree in Electrical Engineering, Dong-Eui University.
 2018 : MS course in Electrical Engineering, Dong-Eui University.

Don-Kyu Lee (Member)



2002 : BS degree in Electrical Engineering, Pusan National University.
 2004 : MS degree in Electrical Engineering, Pusan National University.
 2007 : PhD degree in Electrical Engineering, Pusan National University.
 2008~ : Professor in Electrical Engineering, Dong-Eui University.