

고효율 염료감응 태양전지 모듈

손 정호¹⁾, 강 만구²⁾, 류 광선³⁾, 장 순호⁴⁾, 박 남규⁵⁾

High Efficiency Dye-Sensitized Solar Cell Module

Jung-Ho Son, Man-Gu Kang, Kwang Sun Ryu, Soon Ho Chang, Nam-Gyu Park*

Key words : dye-sensitized solar cell(염료감응 태양전지), solar cell (태양전지), photovoltaics (광전변환), TiO₂ (이산화티탄), module(모듈), 나노결정 (nanocrystalline)

Abstract : Synthesis of TiO₂ nanoparticle paste is one of the important technologies in dye-sensitized solar cells (DSSC). Performances of the DSSCs from synthesized TiO₂ nanoparticle paste was similar or better than those from commercial sources. In addition, cell efficiency was further improved by using large scattering TiO₂ particles. Those results was utilized in manufacturing high efficiency DSSC modules.

Nomenclature

J_{sc} : short circuit photocurrent, mA/cm²

V_{oc} : open circuit photovoltage, V

subscript

Ti(iPrOH)₄ : titanium isopropoxide

N₃ : Ru^{II}(4,4'-dicarboxylic acid-2,2'-bipyridine)₂(NCS)₂

FF : fill factor

1. 서론

고효율의 염료감응 태양전지가 Grätzel에 의해 처음으로 제작된 이후, 많은 연구가 행하여져 왔다.¹⁾ 광전기화학형 염료감응 박막태양전지의 작동 원리 및 셀 구조는 표면에 염료 분자가 화학적으로 흡착된 n-형 나노입자 반도체 산화물 전극에 태양 빛 (가시광선)이 흡수되면 염료분자는 전자-홀 쌍을 생성하며, 전자는 반도체 산화물의 전도 띠로 주입된다. 반도체 산화물 전극으로 주입된 전자는 나노입자간 계면을 통하여 투명 전도성막으로 전달되어 전류를 발생 시키게 된다. 염료 분자에 생성된 홀은 산화-환원 전해질에 의해 전자를 받아 다시 환원되어 염료감응 태양전지 작동 과정이 완성 된다. 반도체 산화물 전극으로는 TiO₂가 주로 사용되어 왔는데 anatase형이 rutile 형에 비해서 좋은 특성을 보인다고 보고되어 있으며,²⁾ 그 외에 SnO₂, ZnO 등의 산화물 전극도 활발히 연구되고 있다.³⁻⁴⁾ 또한, 전해질의 휘발 문제

를 해결하기 위한 고분자형 전해질 또한 중요한 연구 과제가 되고 있다.⁵⁾ 광전기화학 태양전지의 상용화 및 다양한 응용 기술 확보를 위해서는 대면적 고효율 모듈제작이 필수적으로 요구된다.⁶⁻⁷⁾ 고효율 대면적 모듈을 제작하기 위해서는 나노입자 전극 스크린 코팅기술, 스크린 인쇄용 나노 산화물 및 나노 금속 입자 잉크 제조 기술, 전극 설계-패터닝-배선 기술, 고순도 염료분자 정제기술, 대면적화에 따른 충밀계수 (FF) 저감 방지기술 등이 핵심적인 요소기술에 해당된다.

나노 산화물 TiO₂ 박막을 만들기 위한 수용성 TiO₂ 페이스트는 소형 태양전지 제작에 사용되어 왔으나 용매 휘발로 인해 장기 보관성이 좋지 않은 문제점을 갖고 있다. 태양전지 모듈 제작에 필

1) 책임 저자의 소속

E-mail : sonchem@etri.re.kr

Tel : (042)860-1550 Fax : (042)860-6836

2) 저자2의 소속

E-mail : 10009kang@etri.re.kr

Tel : (042)860-6817 Fax : (042)860-6836

3) 저자3의 소속

E-mail : ryuks@etri.re.kr

Tel : (042)860-5517 Fax : (042)860-6836

4) 저자4의 소속

E-mail : shochang@etri.re.kr

Tel : (042)860-5503 Fax : (042)860-6836

5) 저자5의 소속

E-mail : npark@etri.re.kr

Tel : (042)860-5680 Fax : (042)860-6836

요한 대면적 셀을 구성하는 TiO₂ 박막을 만들기 위해서 스크린 인쇄법이 필수적이며, 스크린 인쇄를 위해서는 장기 보관이 가능한 비수용성 페이스트가 사용된다.⁸⁾ 상용 TiO₂ 페이스트는 높은 가격으로 인해 대면적 셀을 대량 생산하기에 적합하지 않다. 자체적으로 합성한 TiO₂ 나노입자나 상용 TiO₂ 나노입자를 사용하여 비수용성 페이스트를 제조하고 이를 이용한 태양전지 또는 모듈을 구성하여 성능을 시험하였다.

2. 실험 방법

2.1 스크린 인쇄용 TiO₂ 페이스트 합성

스크린 인쇄용 TiO₂ 페이스트는 TiO₂ 나노입자와 terpineol, ethyl cellulose를 혼합하여 합성하였다. TiO₂ 파우더로는 상용으로 시판되고 있는 F-6 (Showa Denko, 10-15 nm) 또는 수열반응기를 사용하여 Ti(iPrOH)₄로부터 합성한 TiO₂ 나노입자 (15-20 nm)를 사용하였다.⁹⁾

2.2 염료감응 태양전지 셀 구성

합성한 TiO₂ 페이스트를 사용해서 TiO₂ 나노입자층을 스크린 인쇄법으로 형성하였다. 건조 및 소결과정을 거친 후 TiO₂ 박막을 N₂ 염료 0.65 mM 용액에서 흡착시켰다. 전해질로는 C₆DMII (1-hexyl 2,3-dimethyl imidazolium iodide), LiI, I₂ 로 구성된 nitrile계 용액을 사용하였다. 상대전극은 10 mM H₂PtCl₆ 용액을 코팅한 유리기판을 450°C에서 30분 소성하여 사용하였다.

3. 결과 및 토의

3.1 스크린 인쇄용 TiO₂ 페이스트 특성 평가

상용 분말 (F-6) 혹은 합성한 TiO₂ 용액으로 만든 페이스트를 이용하여 태양전지를 구성하고 전지 특성을 비교하였다. F-6를 사용한 페이스트에 비해서 합성한 TiO₂ 용액을 이용한 페이스트가 좋은 단락전류밀도 및 효율을 보여주고 있다.

Table 1 여러 가지 종류의 TiO₂ 페이스트를 이용한 태양전지 특성 평가

	V _{oc}	J _{sc}	FF	η (%)	막두께 (μ m)
F-6	0.639	8.79	0.71	3.96	10.8
Synthesized TiO ₂	0.664	9.93	0.66	4.37	8.5

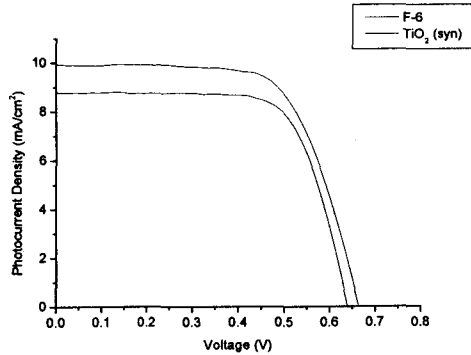


Fig. 1 여러 가지 종류의 TiO₂ 페이스트를 이용한 태양전지의 전류-전압 곡선

3.2 산란입자 TiO₂ 층의 추가에 의한 태양전지 특성 평가

고효율 염료감응 태양전지 모듈의 제조를 위해서는 높은 전류 밀도가 요구된다. TiO₂ 나노입자 박막은 빛의 투과율이 좋기 때문에 효율적으로 빛을 흡수하지 못한다. TiO₂ 나노입자층위에 TiO₂ 산란 입자층을 코팅하면 더 높은 광전변환 효율을 보인다는 연구결과들이 발표되어 왔다.¹⁰⁾ TiO₂ 산란 입자층이 광전변환 효율에 미치는 영향을 조사하였다.

스크린 인쇄법으로 만든 나노 입자의 이중층이나 나노입자 + 나노산란입자의 이중층 TiO₂ 박막의 두께는 약 15-20 μ m 정도로 두꺼운 편이었다. 박막이 두꺼울수록 전하 운반자의 저항이 커지기 때문에 FF가 감소한다고 알려져 있으나 본 실험에서는 FF의 감소 영향이 크지 않았다. 오히려 박막의 두께 증가로 인한 단락 전류 증가로 인해 효율이 단층 나노입자에 비해 증가했음을 볼 수 있었다. 개방 전압 또한 다소 증가했음을 볼 수 있었다.

산란입자를 사용했을 경우가 사용하지 않았을 경우에 비해 높은 효율을 보였고 산란입자 비율이 낮은 페이스트를 사용했을 경우보다 산란입자 비율이 높은 페이스트를 사용했을 경우 효율이 다소 높게 측정되었다 (Table 2). 산란입자의 유무가 빛의 흡수에 중요한 영향을 미침을 알 수 있다.

Table 2 TiO₂ 나노입자 층과 TiO₂ 산란입자층을 이용한 네 쌍의 태양전지 특성 평가

	TiO ₂ 나노입자층 + 낮은 비율의 산란입자층				TiO ₂ 나노입자층 + 높은 비율의 산란입자층			
	V _{oc}	J _{sc}	FF	η (%)	V _{oc}	J _{sc}	FF	η (%)
1	0.79	10.09	70.0	5.57	0.77	11.94	69.9	6.43
2	0.74	11.61	67.4	5.79	0.77	11.91	69.8	6.42
3	0.77	11.04	70.2	5.92	0.77	10.98	71.3	6.01
4	0.76	11.34	70.8	6.07	0.76	10.95	70.0	5.85

3.3 TiO₂ 페이스트를 사용한 염료감응 태양전지 모듈 특성 평가

합성한 TiO₂ 페이스트를 이용하여 염료감응 태양전지 모듈을 만들고 특성을 평가하였다. 50 mm x 60 mm 소형 모듈에서 100 mW (0.1 W) 크기의 출력과 5 V 이상의 단락전압을 얻을 수 있었으며, 모듈 효율은 5.766%로 평가되었다.

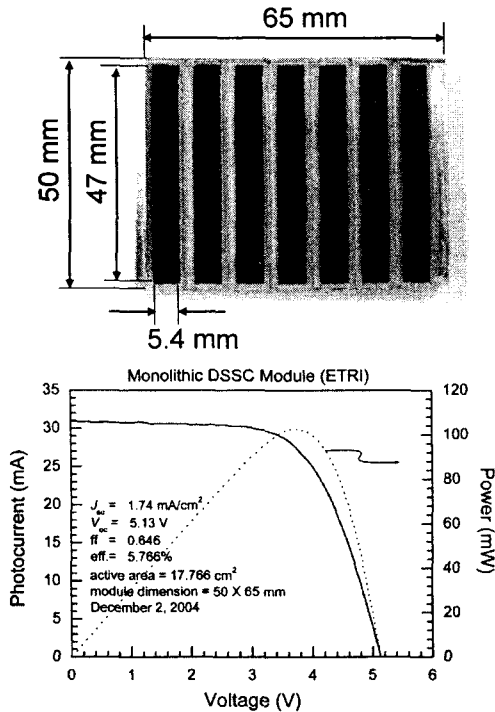


Fig. 2 완성된 염료감응 태양전지 모듈 및 모듈의 광전류-전압 특성 곡선

4. 결론

여러 가지 나노 입자를 이용하여 스크린 인쇄용 비수용성 TiO₂ 페이스트를 만들고 태양전지를 구성하여 특성을 조사하였다. 합성한 TiO₂를 이용하여 만든 페이스트가 상용 페이스트와 비슷하거나 더 좋은 특성을 보였다. 또한 나노입자 층위에 산란입자를 코팅하여 태양전지의 성능이 향상됨을 확인하였다. 합성된 TiO₂ 페이스트를 이용하여 고효율의 염료감응 태양전지 모듈 제작에 응용하였다.

References

[1] O'Regan, B., Grätzel, M. "Low-cost, high-efficiency solar cell based on

dye-sensitized colloidal TiO₂ films" *Nature* 1991, 353, 6346.

- [2] Park, N. G., Van De Lagemaat, J., Frank, A. J. "Comparison of dye-sensitized rutile- and anatase-based TiO₂ solar cells. *Journal of Physical Chemistry B* 2000, 104, 38, 8994.
- [3] Park, N. G., Kang, M. G., Kim, K. M., Ryu, K. S., Chang, S. H., Kim, D. K., Van de Lagemaat, J., Benkstein, K. D., Frank, A. J. "Morphological and photoelectrochemical characterization of core-shell nanoparticle films for dye-sensitized solar cells: Zn-O type shell on SnO₂ and TiO₂ cores." *Langmuir* 2004, 20, 10, 4253.
- [4] Doh, J. G., Hong, J. S., Kim, K. J., Vittal, R., Kang, M. G., Park, N. G. "Enhancement of Photocurrent and Photovoltage of Dye-Sensitized Solar Cells with TiO₂ Film Deposited on Indium Zinc Oxide Substrate." *Chemistry of Materials* 2004, 16, 3, 497.
- [5] Kang, M. S., Kim, J. H., Kim, Y. J., Kang, Y. S., Won, J., Park, N. G. "Dye-sensitized solar cells based on composite solid polymer electrolytes." *Chemical Communications* 2005, 7, 891.
- [6] Okada K., Matsui H., Kawashima T., Ezure T., Tanabe N. "100 mm x 100 mm large-sized dye sensitized solar cells" *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, 2004, 164, 1-3, 193-198.
- [7] Dai S., Wang K., Weng J., Sui Y., Huang Y., Xiao S., Chen S., Hu, L., Kong, F., Pan, X., Shi, C., Guo L. "Design of DSC panel with efficiency more than 6%" *Solar Energy Materials and Solar Cells* 2005, 85, 3, 447-455.
- [8] Nazeeruddin M. K., Péchy P., Renouard T., Zakeeruddin S. M., Humphry-Baker R., Comte P., Liska P., Cevey L., Costa E., Shklover V., Spiccia L., Deacon G. B., Bignozzi C. A., Grätzel M. "Engineering of Efficient Panchromatic Sensitizers for Nanocrystalline TiO₂-Based Solar Cells" *J. Am. Chem. Soc.* 2001, 123, 8, 1613-1624.
- [9] Zaban, A., Ferrere, S., Sprague, J., Gregg, B. A. "pH-dependent redox potential induced in a sensitizing dye by adsorption onto TiO₂." *Journal of Physical Chemistry B* 1997, 101, 1, 57.
- [10] Wang Z.-S., Kawauchi H., Kashima T., Arakawa H. "Significant influence of TiO₂ photoelectrode morphology on the energy conversion efficiency of N719 dye-sensitized solar cell" *Coordination Chemistry Reviews* 2004, 248, 13-14, 1381-1389.