

TiO₂ 입자 크기에 따른 염료감응태양전지의 성능 변화

김바울, 박미주, 이성욱, 최원석*, 홍병유**

성균관대학교 정보통신공학부, 한밭대학교*, 플라즈마응용 표면기술 연구센터**

TiO₂ Particle Size Effect on the Performance of Dye-Sensitized Solar Cell

Ba-Wool Kim, Mi-Ju Park, Sung-Uk Lee, Won-Seok Choi*, Byungyou Hong**

School of Information and Communication Engineering, Sungkyunkwan University

Hanbat national University*

Center for Advanced Plasma Surface Technology (CAPST), Sungkyunkwan University**

Abstract : Dye-Sensitized Solar Cell solar cells(DSSC) were appeared for overcoming global environmental problems and lack of fossil fuel problems. And it is one of study field that is getting into the spotlight lately because manufacturing method is more simple and inexpensive than existing silicon solar cells. Oxide semiconductor is used for adsorption of dye and electron transfer in DSSC study, and TiO₂ is used most usually. Overall light conversion efficiency is changed by several elements such as TiO₂ particle size and structure, pore size and shape. In this study, we report the solar cell performance of titania(TiO₂) film electrodes with various particle sizes. TiO₂ particle size was 16 nm, 25 nm, and mixture of 16nm and 25 nm, and manufactured using Doctor blade method. When applied each TiO₂ film to DSSC, the best efficiency was found at 16nm of TiO₂ particle. 16nm of TiO₂ particle has the highest efficiency compared to the others, because particles with smaller diameters would adsorb more dye due to larger surface area. And in case of the mixture of 16nm and 25 nm, the surface area was smaller than expected. It is estimated that double layer is adsorbed a large amount of chemisorbed dye and improved light scattering leading due to efficiency concentration light than mono layer.

Key Words : TiO₂, particle size, Dye-Sensitized Solar Cell, efficiency

1. 서 론

염료감응형 태양전지(Dye-Sensitized Solar Cell)는 나노 다공질 TiO₂ 반도체 전극, 광감응형 염료, 전해질, 상대전극으로 구성된 태양전지이다. 이 전지는 기존의 p-n 접합 태양전지들이 빛의 흡수에 의해 형성된 전자-정공 쌍의 분리에 의해 발전을 일으키는 것과 달리, 전기 화학적인 원리에 의해 발전을 일으킨다. 태양광이 전지에 조사되면, 산화물 반도체인 다공질 TiO₂ 전극막에 흡착되어 있는 광감응형 염료가 빛을 흡수하여 여기된 전자를 방출한다. 이 여기 전자들은 TiO₂의 전도대로 이동되어 TiO₂와 접합하고 있는 투명전극을 통해 외부회로로 전달된다. 그리고 염료에서 전자가 빠져나간 hole은 전해질 속의 요오드 이온에 의해 채워지며, 요오드 이온은 상대전극 표면에서의 산화환원 반응에 의해 전자를 획득한다. 이 때 TiO₂전극은 태양광의 흡수량을 증가시키기 위해 가능한 많은 양의 염료를 표면에 흡착시켜야 하고, 이를 위해 비표면적이 높은 나노다공질 형상으로 제조된 TiO₂ 산화물 반도체를 사용하게 된다[1].

입자 크기 변화에 따라 몇 가지 장단점이 있으며, 이는 전지 효율로 연결이 된다. 큰 입자의 경우는 계면에서 큰 접촉점을 가지므로 염료 흡착이 잘 되지만 표면적이 넓지 못해, 많은 양의 염료가 흡착되지는 못한다. 반면, 작은 입자의 경우는 표면적이 넓어져 많은 양의 염료를

흡착시킬 수 있지만 많은 grain boundary로 인해 charge trapping이 발생할 수 있는 단점이 있다[2]. 본 연구에서는 나노 다공성 TiO₂ 입자의 크기 변화에 따른 효율 변화에 대한 연구를 하였다. 입자크기에 따라 각각 장단점을 가지고 있기 때문에 3가지 다른 크기의 TiO₂ 입자로 실험을 진행하였으며 실험순서는 그림1과 같다.

2. 실험

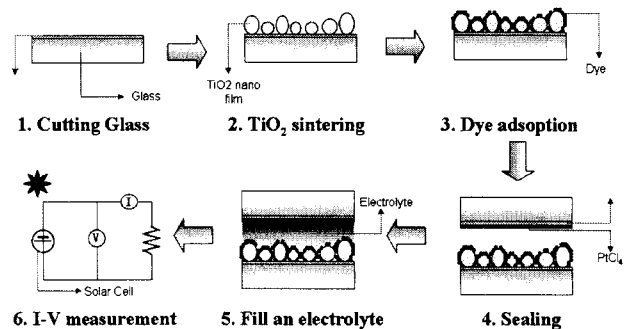


그림 1. 실험 진행 과정.

실험은 그림 1과 같은 순서로 진행하였다. 실험에 사용

한 nanocrystalline TiO₂ paste는 각각 16 nm 크기(Solaronix, 16nm)와 25nm 크기의 P25 (Degussa, 25nm)를 사용하였으며, TiO₂ 입자 크기는 각각 16 nm, 25 nm, 그리고 각각 1 : 1 비율로 두 종류를 혼합한 3가지 TiO₂를 사용하였다. 세척된 FTO Glass 기판 위에 TiO₂ nanoporous paste를 떨어뜨린 후 doctor blade법을 통해 10 μm 두께로 모두 코팅하였다. 소결은 100℃에서 시작하여 10분당 100℃ 승온, 450℃에서 40분 열처리한 후 다시 10분당 100℃ 강온 처리 하였다. Sintering 후 TiO₂ 반도체 전극막은 FE-SEM (Field Emission Scanning Electron Microscopy)을 이용하여 미세 구조를 관찰하였다. 이렇게 제조되어진 나노다공성 TiO₂ 전극막을 Ru계 광감응형 염료 (2,2-bipyridine-4,4'-dicarboxylic acid: (N3), Solaronix)에 24시간 동안 침착시켜 염료를 흡착시켰다. 백금 나노입자 상대전극은 FTO glass, (FTO, Pilkington TEC Glass™, sheet resistance 8 Ω/square, transmittance 77% in the visible range) 전극 위에 PtCl₄ (5 mM hexachloroplatinic acid (Fluka) in isopropyl alcohol (IPA))용액을 올려 TiO₂ 소결과 같은 방식으로 100 nm의 전극을 제조하였다. 이렇게 제조되어진 두개의 기판을 샌드위치 형으로 60 μm thick Surlyn (Solaronix, SX 1170 Hot Melt)을 이용하여 합착시킨 후, 두 기판 사이에 요오드 이온을 함유하는 electrolyte (Solaronix, AN-50)을 주입하여 cover glass로 sealing하여 unit cell 염료 감응 태양전지를 만들었다. 광 변환 효율을 측정하기 위해 solar simulator (300 W Xe lamp (ILC technology Inc.) 장비를 이용하여 각각의 unit cell의 효율을 측정하였다.

3. 결과 및 검토

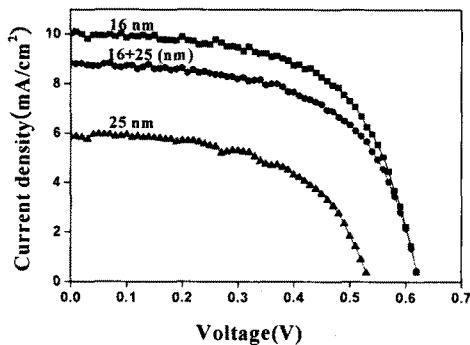


그림 2. TiO₂ 입자 크기 변화에 따른 V-I 특성 곡선

그림 2는 TiO₂ 입자 크기 변화에 따른 전압과 전류 특성 곡선이다. 16 nm의 TiO₂ 입자를 사용한 태양 전지 cell이 25 nm 입자의 태양전지 cell뿐만 아니라 16 nm와 25 nm 혼합 입자의 태양전지 cell보다 높은 광 변환 효율을 갖는다는 것을 확인할 수 있다. 이는 16 nm TiO₂ 입자로 만들어진 cell이 25 nm나 두 입자의 혼합 cell보다 더 많은 양의 염료를 흡착하여 그에 따라 더 많은 여기 전자를 방출하여 전류의 세기가 커짐을 의미한다. 하지만, 서로 다른

입자를 가진 TiO₂를 double-layer로 제작하였을 경우는 가장 높은 효율을 보이게 된다[3]. 표 1은 TiO₂의 입자크기에 따른 여러 가지 태양전지의 특성들을 나타내었으며, 그림 3으로부터 표면적이 각각 입자들에 따라 다른 것을 확인할 수 있다.

표 1. TiO₂ 입자 크기에 따른 여러 가지 특성

TiO ₂ particle size	V _{oc} (V)	J _{sc} (mA/cm ²)	FF (%)	Efficiency (%)
16nm	0.62	10.13	60	3.75
16nm+25nm	0.62	8.84	59	3.23
25nm	0.53	5.87	57	1.76

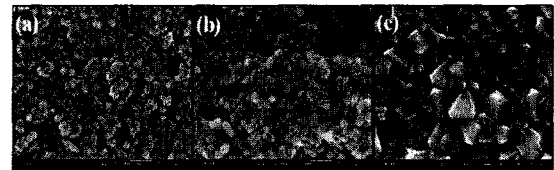


그림 3. SEM으로 관찰한 TiO₂ 다공질 나노 입자 형태와 PtCl₄ 전극형태.

(a) 25 nm (b) 16 nm + 25 nm (c) PtCl₄

4. 결론

본 연구에서는 TiO₂ 입자크기에 따른 염료감응형 태양 전지의 효율변화에 대한 실험을 하였다. 16nm의 particle size를 갖는 cell은 10.13 mA/cm²의 J_{sc}와 3.75%의 광 변환 효율을 얻었고, 25nm의 particle size를 갖는 cell은 5.87 mA/cm²의 J_{sc}와 1.76%의 광 변환 효율을 얻었다. 마지막으로 16 nm + 25 nm의 particle size를 갖는 cell은 8.84 mA/cm²의 J_{sc}와 3.23%의 광 변환 효율을 얻었다. 즉, 표 1에서 보는바와 같이 16nm의 particle size의 nanocrystalline TiO₂ paste로 제작한 DSSC가 가장 높은 광 변환 효율을 나타내었다.

참고 문헌

- [1] D. Menziest, Q. Dai, Y-B. Cheng, G.P. Simon, L. Spiccia, Materials Forum Volume 29, p.323-326, 2005
- [2] Tammy P. Chou, Qifeng Zhang, Bryan Russo, Glen E. Fryxell, and Guozhong Cao, J. Phys. Chem. C, 111, pp. 6296-6302, 2007
- [3] S.Ngarmsinlapasathian, T.Sreethawong, Yoshikazu Suzuki, Susumu Yoshikawa, Solar Energy Materials & Solar Cells 86, pp.269-282, 2006