

차단막 코팅을 이용한 광전기화학셀 효율 개선

문병호\*, 곽동주\*, 박차수\*\*, 성열문\*  
 경성대 전기공학과\*, 동의과학대 전기공학과\*\*

Improvement of Efficiency of Photoelectrochemical Cells by Blocking Layer Coatings

Byung-Ho Moon\*, Dong-Joo Kwak\*, Cha-Soo Park\*\*, Youl-Moon Sung\*  
 Dept. of Electrical Engineering, KyungSung University\*  
 Dept. of Electrical Engineering, DongEui Institute of Technology\*\*

**Abstract** - A layer of TiO<sub>2</sub> thin film less than ~500nm in thickness, as a blocking layer, was coated by sol-gel method directly onto the anode electrode to be isolated from the electrolyte in dye-sensitized solar cells (DSCs). This is to prevent the electrons from back-transferring from the electrode to the electrolyte (I-/I3-). The effects of heat treatment conditions of the gel and as-coated film on the thickness and consolidation to substrate were studied. The flexible DSCs were fabricated with working electrode of Ti thin foil coated with blocking TiO<sub>2</sub> layer, dye-attached mesoporous TiO<sub>2</sub>film, gel electrolyte and counter electrode of Pt-deposited indium doped tin oxide/polyethylene naphthalate (ITO/PEN). The photo-current conversion efficiency of the cell was 5.3% (V<sub>oc</sub>=0.678V, J<sub>sc</sub>=12.181mA/cm<sup>2</sup>, ff=0.634) under AM1.5, 100 mW/cm<sup>2</sup> illumination.

1. 서 론

현재 가장 많이 사용되고 있는 화석연료는 재생이 불가하여 매장량의 한계를 보이고 있고, 이산화탄소, 아황산가스 등의 발생물질은 심각한 환경오염을 유발하고 있다. 이산화탄소에 의한 온실효과는 지구 온난화의 원인이므로, 탄소배출이 필요 없는 신재생 에너지 기술에 대한 국가적 차원의 연구개발이 활발히 진행 중에 있다.[1] 일반적으로 결정계 실리콘 태양전지는 약 16% 대 이상의 높은 효율(모듈 기준)을 가지는 장점이 있으나, 원료인 폴리 실리콘의 수급 불안정과 고 순도화에 필요한 고온, 고비용의 공정방식 문제로 점차 경쟁력의 한계를 보일 것으로 예상되고 있다. 이에 비해 염료 태양전지(Dye-sensitized solar cells: DSCs)는 원료의 자원 적 제한이 거의 없으며, 저온 및 비진공 공정으로 인해 모듈제조 원가에 큰 비중을 차지하는 초기 투자비 부담이 적고, 기술개발에 따른 원가 혁신이 가능한 미래 가치가 높은 저가의 태양전지로서 크게 주목받고 있다[2,3].

본 연구에서는 염료 태양전지의 셀 내 전하의 불필요한 전하 반응과 소모를 줄이는 방법으로써 셀의 동작 전극에 차단막을 형성하여 역 전자전달 반응에 의한 셀 효율 저하를 방지하고, 전자전달 및 반응 효율을 극대화할 수 있는 최적의 전극구조에 대한 지침을 제시하고자 한다. 차단막 재료로써 TiO<sub>2</sub>를 사용하였고, 염료 분자(Ru계)가 화학적으로 흡착된 나노 입자 다공질 구조의 TiO<sub>2</sub> 산화물 반도체를 동작전극으로 하여 염료 태양전지를 제작하였고, 임피던스 및 광전변환 특성을 중심으로 차단막 형성에 의한 셀 효율 개선 효과를 고찰하였다.

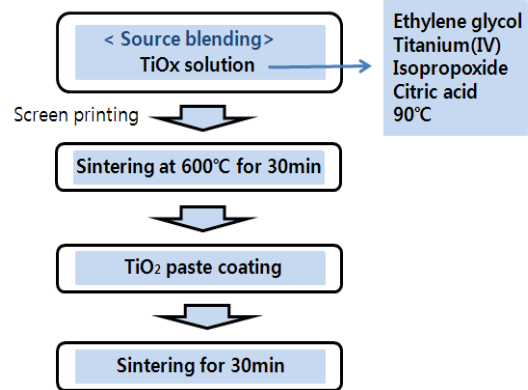
2. 본 론

2.1 광전기 화학셀의 원리와 차단막 코팅

광전기화학 셀의 경우 태양광으로부터 광자를 받아 여기된 염료의 전자가 TiO<sub>2</sub>의 전도대를 지나 투명전도성 전극으로 이동한 후 회로를 통해서 일을 해야 광전변환효율을 얻는데, 투명전도성 전극으로 이동한 전자가 외부 회로로 가기 전에 전해질에 있는 산화환원쌍인 I<sub>3</sub><sup>-</sup>와 만나 이를 환원시켜 3I<sup>-</sup>를 형성하는 반응을 할 수도 있는데, 이 반응을 역 전자전달 반응 (back electron transfer reaction)이라고 한다. 역 전자전달 반응은 전기화학셀의 전류밀도 및 전압을 강하시켜 효율저하의 원인이 되기 때문에 이를 방지하기 위해서 투명전도성 전극 표면에 고밀도층의 차단막을 형성하면 효율을 향상시킬 수 있다.

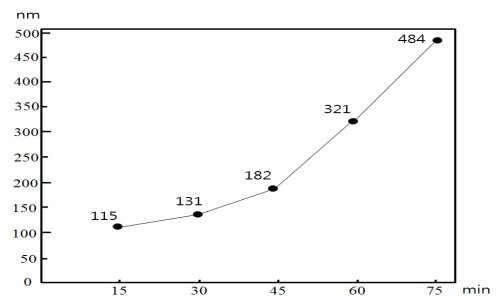
2.2 차단막 형성 과정

본 연구에서는 졸겔법을 이용하여 투명전도성 필름 표면에 TiO<sub>2</sub>를 고밀도 층으로 코팅한 후 셀을 제조하여 효율을 향상시키는 방법에 대한 연구를 진행하였다. 그림 1에 졸겔법에 의한 고밀도층 형성 공정을 나타내었다. 졸겔법에 의한 코팅은 screen printing법을 이용하기 때문에 공정이 단순하다는 장점을 가진다. 또한 젤 반응 시간을 조절하면 점도를 조절할 수 있으므로 점도에 따라 코팅되는 두께의 조절이 가능하기 때문에 매우 유용한 방법이다.



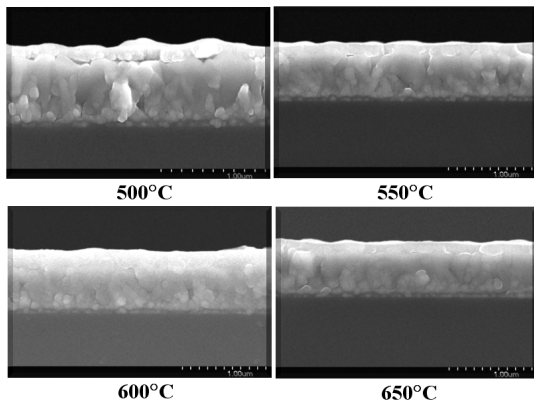
<그림 1> 고밀도층 TiO<sub>2</sub> 차단막 형성 공정

그림 2에는 젤 반응 시간에 따른 코팅막 두께 변화의 실험결과를 나타내었다. 15분씩 시간에 변화를 주어 차단막 두께의 변화를 살펴보았을 때 그림에서 보듯이 젤 반응 시간을 증가시키면 따라 코팅막의 두께는 점점 두꺼워지는 것을 알 수 있다. 두께는 15분을 주었을 경우인 115nm를 시작으로 75분을 주었을 경우인 484nm까지 얻을 수 있었다. 하지만 60분 이상으로 시간을 주었을 경우 두께가 너무 두꺼워지기 때문에, 두께가 200nm정도로 형성되어지는 45분의 반응시간을 주는 것이 가장 좋을 것으로 판단된다.



<그림 2> 젤 반응시간 변화에 따른 차단막 두께 변화

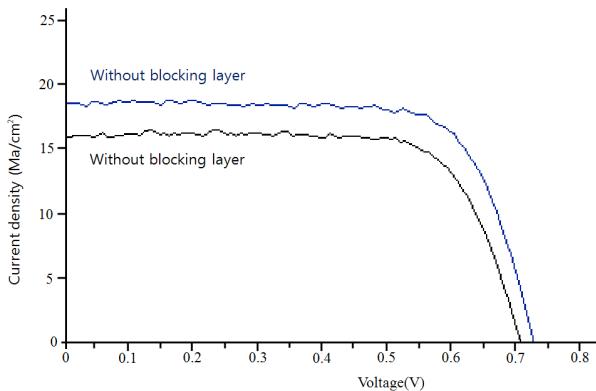
그림 3에 열처리 온도에 따른 차단막과 투명전도성 기관간의 접촉 특성 변화 실험 결과를 나타내었다. 차단막과 투명전도성 기관간의 접촉특성을 알아보기 위해 500℃에서 650℃까지 50℃의 변화를 주면서 열처리를 하였고 그 결과 그림과 같이 600℃에서 열처리를 하였을 때의 접촉 특성이 가장 좋은 것을 알 수 있었다.



〈그림 3〉 열처리 온도에 따른 차단막과 투명전도성 기관간의 접촉특성 변화

### 2.3 광전변환 효율 향상 결과

이러한 실험을 통하여 제조한 차단막이 형성된 투명전도성 기관을 적용하여 전기화학셀을 제조하고, 광전변환 특성을 확인하였으며, 그 결과를 그림 4에 나타내었다.



〈그림 4〉 차단막 형성에 의한 광전변환 효율 향상 결과

그림에서 알 수 있는 바와 같이 일반적인 셀의 Voc는 0.71V이고 차단막을 적용한 셀은 0.73V, 일반적인 셀의 Jsc는 16mA이고 차단막을 적용한 셀은 18mA로 차이를 나타내었다. 두 셀의 광전변환 효율의 경우 일반적 셀은 7.56%, 차단막을 적용한 셀은 8.73%로 차단막을 적용할 때 약 1.2%의 효율 향상을 보였다. 즉, 염료분자에 여기된 전자가 다공질 TiO<sub>2</sub>에서 TCO로 전달될 때의 역 전자전달 반응이 차단막에 의해 완화되면서 광전변환효율이 향상되는 효과를 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다.

## 3. 결 론

본 연구에서는 전자가 TiO<sub>2</sub>에서 TCO로 이동할 때 발생하는 역 전자 전달 반응을 해결하기 위해 TCO층에 TiO<sub>2</sub> 차단막을 형성하여 효율을 개선하는 방안을 제안하였다. 차단막은 졸겔법을 이용하여 형성하였다. 실험결과 젤 반응 시간은 45분하였을 경우 두께가 약 200nm로 형성되어 가장 좋을 것으로 판단되었으며, 열처리온도는 600도에서 하는 것이 투명전도성 기관과 차단막간의 접촉 특성이 가장 좋아, 최적조건으로 판단되었다. 그리고 광전변환 특성을 고찰한 결과, 일반 셀의 효율이 7.56%인데 비해, 차단막을 형성한 셀의 경우 8.73%로 약 1.2%의 효율이 개선되었음을 확인 하였다. 이상의 결과로부터 TCO층에 형성된 차단막은 역 전자전달 반응을 완화시켜 셀의 효율을 개선시키는 역할을 하는 것을 알 수 있다.

## [참 고 문 헌]

- [1] Lee, D. H., Shin, M.K., Kim, E. M., Son, S.Y., Park,B.S., Han, G. Y., Yoon, K. J., "Hydrodynamic Characteristics of Fine Powders in the Conical Powder-Particle Fluidized Beds", Korean Society for New and renewable Energy, pp. 310-313, 2005
- [2] A Rohatgi, JW Jeong, "High-efficiency screen-printed silicon ribbon solar cells by effective defect passivation and rapid thermal processing", Appl. Phys. Lett, Vol. 82, No 2, pp.224-226, 2003
- [3] B. O'Regan, M. Grätzel, "A low cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO<sub>2</sub> films", Nature, Vol.353, pp.737-740, 1991
- [4] Mats Leijon et al., "On the physics of power, energy and economics of renewable electric energy sources-Part I," Renewable Energy, Vol. 35, pp.1729-1734, 2010.
- [5] Claes G. Granqvist, "Transparent conductors as solar energy materials: A panoramic review," Solar Energy Materials and Solar Cells, Vol. 91, pp.1529-1598,2007.
- [6] Peter Würfel, physics of solar cell: From Principles to New Concepts, Willy-VCH, 2005.
- [7] Y. M. Sung et al., "Fabrication and Characterization of Dye-Sensitized Solar Cell Using TiO<sub>2</sub>-Nanotube Particles by Anodic Oxidation", Japanese Journal of Applied Physics, Vol.48, No.8, pp.1110-1113, 2009