

# 전자빔 증착법에 의한 티타늄 전극 구조 염료 태양전지 제작에 관한 연구

논 문

59-4-13

## A Study on the Fabrication of Dye-Sensitized Solar Cells Consisting of Ti Electrodes by Electron-beam Evaporation Method

김 윤 기\* · 심 충 환\*\* · 김 현 규\*\* · 성 열 문\*\*\* · 김 동 현§ · 이 해 준§§ · 박 정 후§§§ · 이 호 준†  
(Yun-Gi Kim · Chung-Hwan Shim · Hyun-Gyu Kim · Youl-Moon Sung · Dong-Hyun Kim ·  
Hae-June Lee · Chung-Hoo Park · Ho-Jun Lee)

**Abstract** - In general, Dye-sensitized Solar Cells(DSCs) consist of the nanocrystalline titanium dioxide( $TiO_2$ ) layer which is fabricated on a transparent conductive oxide(TCO) layer such as F/SnO<sub>2</sub> glass, a dye adhered to the  $TiO_2$ , an electrolyte solution and platinum-coated TCO. Among these components, two TCO substrates are estimated to be about 60% of the total cost of the DSCs. Currently novel TCO-less structures have been investigated in order to reduce the cost. In this study, TCO-less DSCs consisting of titanium electrodes were investigated. The titanium electrode is deposited on top of the porous  $TiO_2$  layer using electron-beam evaporation process. The porosity of the titanium electrode was found out by the SEM analysis and dye adhesion. As a result, when the thickness of the titanium electrode increased, the surface resistance decreased and the conversion efficiency increased relatively.

**Key Words** : Dye-Sensitized Solar Cells, Titanium Electrodes, E-beam Evaporation

### 1. 서 론

염료 태양전지는 간단한 구조와 낮은 가격, 비교적 높은 효율 때문에 차세대 태양전지로서 많은 연구가 진행되고 있다.[1] M.Gratzel의 연구가 보고된 이후 염료 태양전지의 효율 향상에 관한 연구가 많이 이루어졌으며 최근 11.1%의 높은 효율이 보고되었다.[2] 많은 연구소와 기업들이 염료 태양전지의 상업화에 노력을 기울이고 있다. 그러나 아직 염료 태양전지의 유효 면적이 증가함에 따른 효율 저하 및 투명 전도성 기판(TCO glass) 가격 상승 등의 문제를 가지고 있다. 특히 염료 태양전지의 제작에는 2장의 투명 전도성 기판이 필요하며, 이는 전체 재료비 중 60%를 차지한다.[3] 또한 상업화 진행에 따라 제조 공정이 자동화되면 전체 제작 비용 중 투명 전도성 기판이 차지하는 비율이 점차 증가한다.[4] 따라서 투명 전도성 기판 가격 저감이나 이를 대체하는 재료 및 구조의 연구가 필요하며, 이러한 문제를 해결하기 위한 TCO-less 염료 태양전지의 구조가 활발히 연구

중이다.[5]

작업 전극(working electrode)의 투명 전도성 기판을 Ti 금속판(metal plate)으로 대체한 구조가 보고되었다.[6]  $TiO_2$  광전극은 Ti 금속판 위에 형성되었고, 태양광은 일반적인 염료 태양전지와 반대로 상대 전극(counter electrode)을 통해 입사된다. 이때 상대 전극은 백금(Pt)이 스퍼터링된 F/SnO<sub>2</sub>(FTO) glass가 사용되었다. 또 다른 TCO-less 구조는 작업 전극을 cell 내부로 이동시킨 것이다. 입사되는 태양광의 투과 효율을 높이기 위해 FTO의 일부를 제거한 glass 기판 위에  $TiO_2$ 를 형성하고, 스퍼터링에 의해 Ti 금속 전극을 형성한 구조와 FTO가 없는 glass를 사용하며 진공증착법에 의해 Ti 금속 전극을  $TiO_2$ 위에 증착한 구조가 보고되었다.[4, 7] 또한 수직 기공을 갖는 Ti 금속 전극을  $TiO_2$  위에 스퍼터링으로 형성하는 구조가 보고되었다.[8] Ti금속 전극의 수직 기공은 Ti 증착 전  $TiO_2$  위에 침상 또는 테트라포드 형상의 ZnO를 전자 분사법으로 분사하고, Ti 증착 후 HCl solution으로 제거하여 만들었다. 그러나 이러한 구조는 여전히 투명 전도성 기판을 사용하고 있거나 cell 내부의 Ti 금속 전극 형성 방법이 복잡한 단점을 가지고 있다.

본 연구에서는 cell 내부의 Ti 금속 전극을 보다 간단한 방법으로 형성하기 위해 전자빔 증착법(e-beam evaporation)을 사용하였다. 전자빔 증착법은 널리 상용화되어 있는 방법이며, 특히 Plasma Display Panel과 같은 대형 화면의 디스플레이 디바이스 제작에 사용되고 있다.[9] 따라서 본 연구에서 제안된 구조와 제조 방법은 염료 태양전지의 대형화에 유리하다.

† 교신저자, 정회원 : 부산대학교 전기공학과 부교수

E-mail : hedo@pusan.ac.kr

\* 정 회 원 : 부산대학교 전기공학과 박사과정

\*\* 준 회 원 : 부산대학교 전기공학과 석사과정

\*\*\* 정 회 원 : 경성대학교 전기전자공학과 부교수

§ 정 회 원 : 부산대학교 PDP연구소 연구원

§§ 정 회 원 : 부산대학교 전기공학과 부교수

§§§ 펠로우회원 : 부산대학교 전기공학과 교수

접수일자 : 2010년 2월 24일

최종완료 : 2010년 3월 16일

## 2. 실험 방법

그림 1은 본 연구에서 제안한 염료 태양전지의 구조 및 제작된 단위 cell 이미지를 나타내고 있다. 기존 염료 태양전지와 달리 투명전극이 없는 일반 유리 기판이 적용되었으며, 작업 전극과 상대 전극 모두 Ti 금속 전극으로 구성되었다. 불투명한 Ti 금속 전극으로 인해 TiO<sub>2</sub> 광전극으로의 태양광 흡수가 가능하도록 Ti 금속 전극은 cell 내부에 위치하였다. 작업 전극과 상대 전극은 전해질 주입을 위해 일정 간격을 유지하여 합착한다.

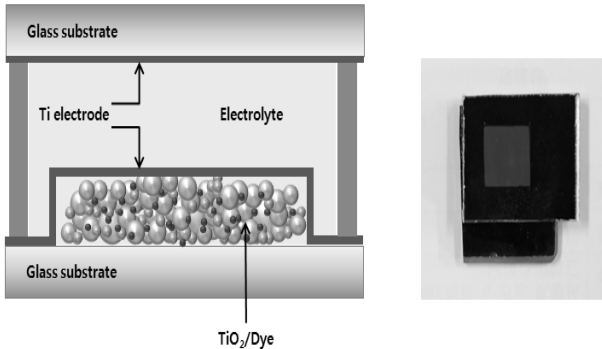


그림 1 TCO-less 염료 태양전지의 구조와 단위 cell 이미지  
Fig. 1 The structure of TCO-less DSCs and the cell image

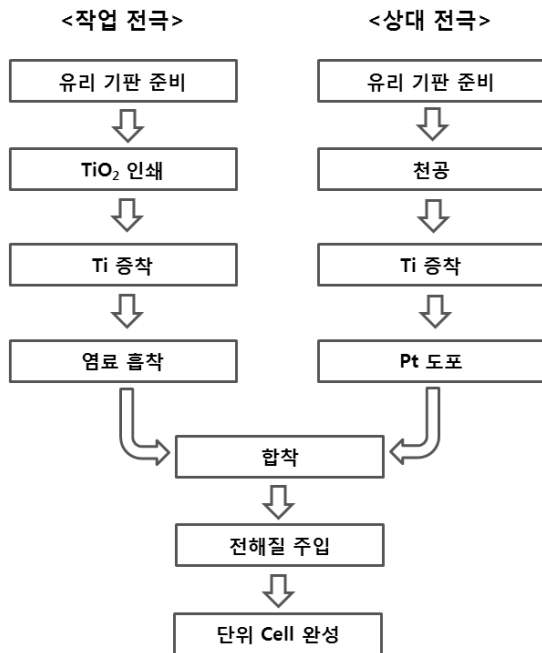


그림 2 TCO-less 염료 태양전지 제작 개략도  
Fig. 2 The fabrication flowchart of TCO-less DSCs

제안된 구조의 태양전지 제작 과정은 그림 2와 같다. 먼저 투명전극이 없는 유리 기판 위에 나노다공성 TiO<sub>2</sub>를 doctor blade법으로 인쇄한다. 본 연구에서는 TiO<sub>2</sub> 광전극을 5×5[mm] 면적으로 형성하여 사용하였다. TiO<sub>2</sub>가 형성된 기판은 450℃, 30분간 소성 후 전자빔 증착법을 이용하여

Ti 금속 전극을 TiO<sub>2</sub> 층 위에 증착하였다. 전자빔 증착 장치는 그림 3과 같다. 증착 장치는 고진공 펌프와 진공조, 고전압 및 전류 인가 전원부로 구성된다. Ti 증착 시 진공조 내의 진공도는 크라이오 펌프를 이용하여 1×10<sup>-6</sup>Torr 이하를 유지하도록 하였다. 본 연구에서는 전자빔 출력은 전압 4kV, 전류 24mA로 일정하게 유지하여 Ti 전극을 제작하였으며, 증착 시간을 변경하여 두께를 조절하였다.

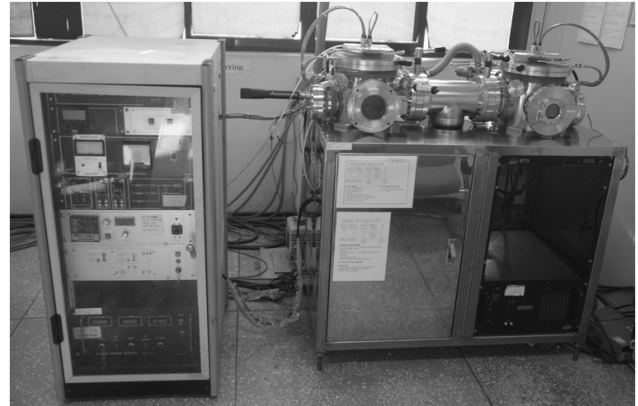


그림 3 전자빔 증착 장치  
Fig. 3 The E-beam evaporator

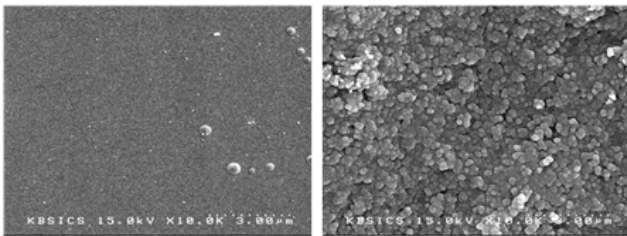
N719 염료 (Ruthenium 535-bisTBA, Acetonitrile, tert-Butanol 혼합용액)는 다공성의 Ti 금속 전극을 통과하여 TiO<sub>2</sub> 광전극에 흡착시킨다. 상대 전극의 제작을 위해 먼저 유리 기판에 전해질 주입을 위한 구멍을 형성한다. Ti 금속 전극을 전자빔 증착한 후 전해질의 산화/환원 과정의 촉매 역할을 담당하는 백금(H<sub>2</sub>PtCl<sub>6</sub>·6H<sub>2</sub>O, 2-Propanol Dyhydntate 혼합용액)을 도포하여 완성한다. 작업 전극 기판과 상대 전극 기판이 단락되지 않도록 60μm두께의 sealing sheet를 사용하여 합착한 후, 상대 전극 기판에 형성된 구멍으로 전해질(Acetonitrile, Iodine, Lithium Iodide, 4-tert-Butylpyridine 혼합용액)을 주입한다.[10]

완성된 태양전지의 전류-전압 특성곡선, 변환효율 등의 광전변환 특성은 AM 1.5, 2400 sourcemeter(KEITHLEY Co. Ltd)조건 하에서 측정하였다. Ti 금속 전극의 표면 저항은 4 point probe(CMT-ST1000, CHANG MIN CO. LTD.)를 사용하여 측정하였다.

## 3. 실험 결과 및 고찰

본 연구에서 제안한 TCO-less 염료 태양전지의 구조는 그림 1과 같다. TiO<sub>2</sub> 광전극에서 발생된 전자를 수집하는 금속 전극이 cell 내부에 위치하고 있으며, 이 금속 전극은 형성 후 TiO<sub>2</sub>의 염료 흡착 및 전해질의 이동이 가능하도록 다공성의 특성이 요구된다. 이전에 발표된 연구에서는 스퍼터링법을 이용하여 금속 전극을 형성하였으며, 특히 인위적인 기공 형성을 위해 ZnO를 Ti 증착 전 TiO<sub>2</sub>위에 분사한 뒤 전극 형성 후 제거하는 방법이 소개되었다.[8] 그러나 이러한 방법은 제조 과정이 복잡할 뿐만 아니라 ZnO를 제거하는 중에 TiO<sub>2</sub>층과 Ti층이 분리되는 문제가 발생할 수 있다.

본 연구에서는 다공성 특성을 갖는 금속 전극을 간단하게 제작하기 위해 전자빔 증착법을 이용하였다. 일반적으로 전자빔 증착법을 포함한 진공증착법에 의해 형성된 박막은 증착 입자의 에너지가 0.01~0.1[eV] 정도로 매우 작기 때문에 기판 위에서 증착 입자의 이동도가 낮아 자유롭게 이동하지 못하고 빈 공간을 포함하는 다공성의 기동 미세구조를 형성한다고 알려져 있다.[11] 또한 전자빔 증착에 의해 기판에 입사되는 입자는 직진성이 좋아서 기판의 형상에 따라 증착되는 박막의 형상이 달라진다. 그림 4는 서로 다른 기판에 증착된 Ti의 표면 SEM(Scanning Electron Microscope) 분석 이미지이다. 그림 4.(a)는 유리 기판 위에 증착된 Ti 전극의 표면이며, 그림 4.(b)는 다공성을 지닌 TiO<sub>2</sub> 위에 증착된 Ti 전극의 표면이다. 나노 입자로 구성된 TiO<sub>2</sub> 위에 입사된 Ti 입자는 TiO<sub>2</sub>와 유사한 형상으로 다공성을 지니며 형성되었다.



(a) Ti on the general glass (b) Ti on the nanoporous TiO<sub>2</sub>

그림 4 기판 형상에 따른 e-beam 증착된 Ti 금속 전극 표면 SEM 이미지

Fig. 4 SEM images of Ti surface as different substrates

Ti 금속 전극 증착 후 TiO<sub>2</sub>에 염료 흡착이 가능한지를 살펴보기 위하여 그림 5와 같이 기판을 염료에 24시간 흡착시킨 후 확인하였다. 투명 전도성 기판을 사용한 기존 구조와 마찬가지로 TiO<sub>2</sub>에 염료가 흡착되어 TiO<sub>2</sub>의 색이 흰색에서 보라색으로 변한 것을 알 수 있었다. 이는 TiO<sub>2</sub> 위에 덮고 있는 Ti 금속 전극이 많은 다공성을 가지고 있기 때문에 염료가 금속 전극을 통과하여 TiO<sub>2</sub>에 흡착될 수 있었다.

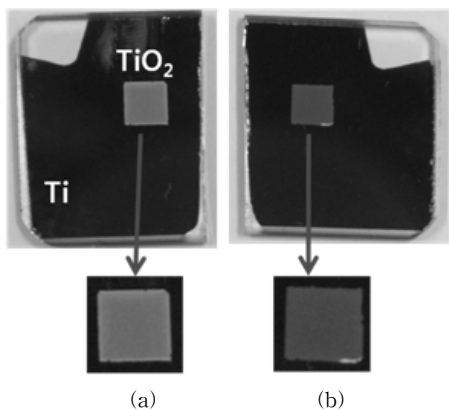


그림 5 염료 흡착 전 (a) / 후(b)의 TiO<sub>2</sub> 이미지  
Fig. 5 Images of TiO<sub>2</sub> before and after dye adhesion

기존 염료 태양전지 구조의 투명 전도성 기판과 제안된 구조에서 cell 내부로 이동한 Ti 전극은 모두 TiO<sub>2</sub>광전극에서 발생한 전자의 효율적인 수집이 주된 역할이다. 효과적으로 전자를 수집하기 위해서는 낮은 저항 특성을 가져야만 한다. 일반적으로 금속 박막의 표면 저항은 비저항에 비례하고 박막 두께에 반비례한다. 따라서 전자빔 증착에 의한 Ti 금속 박막의 저항을 낮추기 위해서는 증착 두께를 증가시킬 필요가 있다.

Ti 증착 두께는 증착 시간을 변화하여 조절하였다. 이때 전자빔의 출력(4kV, 24mA)은 일정하게 유지하였다. 표면 저항 측정을 위해 4-point probe를 이용할 경우 다공성의 나노 입자로 구성된 TiO<sub>2</sub>위에 증착된 Ti 금속 박막은 쉽게 파손되어 측정이 어렵다. 따라서 유리 기판 위에 증착된 Ti의 표면 저항을 측정하였으며, 10point를 측정하여 평균하였다. 그림 6과 같이 증착 시간이 증가함에 따라 Ti의 표면 저항은 감소하였다. 또한 증착 시간이 증가함에 따라 표면 저항의 감소율이 줄어드는 경향을 보였다. 주어진 조건에서는 120분 증착하였을 때 기존 염료 태양전지의 투명 전도성 기판으로 사용되고 있는 FTO(약 8Ω/sq)와 동일 수준의 표면 저항을 확보할 수 있었다.

Ti 증착 시간 증가에 의해 박막 두께 증가로 인하여 염료 흡착 및 전해질의 이동이 방해 받을 것으로 예상하였으나, 주어진 조건에서는 모두 염료 흡착 및 cell 구동에 이상이 없었다.

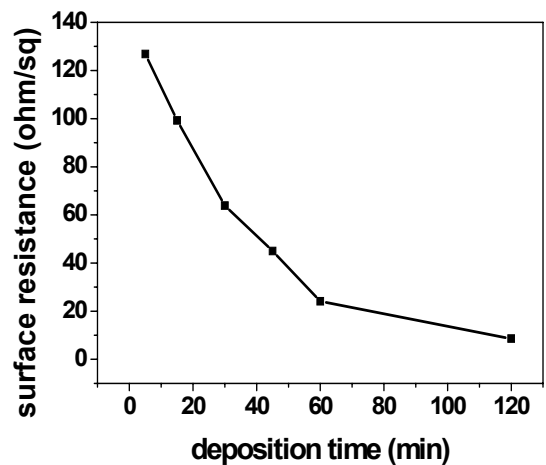


그림 6 Ti 증착 시간에 따른 표면 저항 특성  
Fig. 6 The sheet resistance of Ti as a function of deposition time

Ti 금속 전극의 표면 저항과 태양전지 성능과의 관계 고찰을 위해 Ti 증착 시간 변화에 따른 개방전압(V<sub>oc</sub>), 단락전류밀도(J<sub>sc</sub>), 곡선인자(FF) 및 효율(η)을 측정하여 표 1에 정리하였다. Ti 금속 전극의 표면 저항 감소에 따라 효율과 곡선인자가 증가하는 경향을 보였다.

태양전지 내부의 직렬 저항은 전해질의 저항, 다공성 TiO<sub>2</sub> 광전극의 저항, 작업전극 및 상대전극의 저항으로 구성되며, 이 직렬 저항은 태양전지의 전류-전압 곡선의 곡선인자에 직접적인 영향을 준다.[12-13] 또한 태양전지의 효율

은 개방전압, 단락전류밀도, 곡선인자에 비례한다.[2] 따라서 Ti 금속 전극의 표면 저항 감소는 태양전지 직렬 저항을 감소시키고, 그림 7과 같이 곡선인자를 증가시켜 효율을 향상시킨다.

FTO glass로 제작된 기존 구조의 표면 저항은  $8[\Omega/\text{sq}]$  이었으며,  $0.718[\text{V}]$ 의 개방전압,  $9.72[\text{mA}/\text{cm}^2]$ 의 단락전류밀도,  $61[\%]$ 의 곡선인자,  $4.24[\%]$ 의 효율 특성을 나타내었다. 표 1에서와 같이 Ti 금속 전극의 표면 저항이 기존 구조의 FTO와 동등 수준일 경우(120min 이상) 약간 낮은 수준의 효율 특성을 보였다. 향후 전자빔의 출력을 증가시켜 FTO 보다 낮은 표면 저항의 금속 전극을 얻을 경우 동등 수준 이상의 효율 특성을 기대할 수 있다.

표 1 Ti 증착 시간에 따른 태양전지 성능 특성 및 표면 저항

Table 1 The properties of DSCs based on the deposition time of the Ti electrode

증착시간 (분)	$V_{oc}$ (V)	$J_{sc}$ ( $\text{mA}/\text{cm}^2$ )	FF (%)	$\eta$ (%)	표면저항 ( $\Omega/\text{sq}$ )
5	0.584	6.21	44	2.17	127
15	0.602	6.64	46	2.29	99
30	0.607	7.03	47	2.44	64
45	0.661	7.72	50	2.69	56
60	0.795	8.29	54	3.01	24
120	0.842	8.98	59	3.45	9

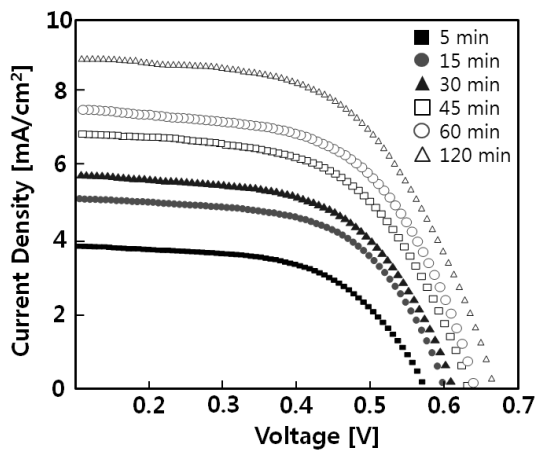


그림 7 Ti 증착 시간에 따른 태양전지 전류-전압 특성 곡선  
Fig. 7 The photovoltaic properties of TCO-less DSCs as a function of the Ti deposition time

#### 4. 결 론

본 연구에서는 TCO-less 염료 태양전지를 제작하기 위하여 전자빔 증착법을 이용하여 cell 내부에 Ti 전극을 형성하였다. 다공성의  $\text{TiO}_2$  광전극 위에 Ti 금속 박막을 증착하여 염료 및 전해질의 통과가 가능한지에 대해 고찰하였다. 또

한 증착 시간을 변화에 따른 Ti 전극의 표면 저항 변화를 확인하였고, 그에 따른 태양전지 성능 특성 변화를 고찰하였다. 실험 결과 120분간 Ti를 증착한 경우  $0.842[\text{V}]$ 의 개방전압,  $8.98[\text{mA}/\text{cm}^2]$ 의 단락전류밀도,  $59[\%]$ 의 곡선인자,  $3.45[\%]$ 의 효율 특성을 나타내었다. 특히 간단한 전자빔 증착법만으로 Ti 금속 전극의 다공성을 확보하여 염료 및 전해질의 통과가 가능하게 하였으며, 제조 공정이 다른 연구의 결과에 비해 간단하여 향후 염료 태양전지의 상업화 및 대형화 제작에 유리하다고 할 수 있다.

#### 감사의 글

이 논문은 부산대학교 자유과제 학술연구비(2년)에 의하여 연구되었음.

#### 참 고 문 헌

- [1] B. O'Regan and M. Grätzel, "A low-cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal  $\text{TiO}_2$  films", *Nature*, Vol 353, pp. 737-740, Oct. 1991.
- [2] Y. Chiba, A. Islam, Y. Watanabe, R. Komiya, N. Koide and L. Han, "Dye-Sensitized Solar Cells with Conversion Efficiency of 11.1%", *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. 45, No. 25, pp. L638-L640, 2006.
- [3] H. Greijer, L. Karlson, S.-T. Lindquist, A. Hagfeldt, "Environmental aspects of electricity generation from a nanocrystalline dye sensitized solar cell system", *Renewable Energy*, Vol. 23, pp. 27-39, 2001.
- [4] J. M. Kroon, N. J. Bakker, H. J. P. Smit, P. Liska, K. R. Thampi, P. Wang, S. M. Zakeeruddin, M. Graetzel, A. Hinsch, S. Hore, U. Wurfel, R. Sastrawan, J. R. Durrant, E. Palomares, H. Pettersson, T. Gruszecki, J. Walter, K. Skupien, and G. E. Tulloch, "Nanocrystalline Dye-sensitized Solar Cells Having Maximum Performance", *Progress In Photovoltaics: Research And Applications*, Vol 15, pp. 1-18, 2007.
- [5] 팽성환, 김두환, 박민우, 성열문, "티타늄 메쉬 전극구조를 이용한 염료 태양전지 제작", 대한 전기학회 논문지, 12호, 제 58권, pp. 2436-2440, 2009. 12.
- [6] K. Onoda, S. Ngamsinlapasathian, T. Fujieda, and S. Yoshikawa, "The superiority of Ti plate as the substrate of dye-sensitized solar cells", *Solar Energy Materials & Solar Cells*, Vol. 91, pp. 1176-1181, 2007.
- [7] N. Fuke, A. Fukui, Y. Chiba, R. Komiya, R. Hamanaka, and L. Han, "Back Contact Dye-Sensitized Solar Cells", *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol. 46, No. 18, pp. L420-L422, 2007.
- [8] Y. Kashiwa, Y. Yoshida and S. Hayase, "All-metal-electrode-type dye sensitized solar cells (transparent conductive oxide-less dye sensitized solar cell) consisting of thick and porous Ti electrode with straight pores", *Applied Physics Letters*, Vol. 92,

033308, 2008.

- [9] C. H. Park, J. Y. Choi, M. S. Choi, Y. K. Kim and H. J. Lee, "Effects of MgO thin film thickness and deposition rate on the lifetime of ac plasma display panel", *Surface & Coatings Technology*, Vol. 197, pp. 223-228, 2005.
- [10] 허종현, 성열문, "나노 다공질 구조의 이산화티타늄 박막 제작과 광전변환 특성 고찰", *대한 전기학회 논문지*, 2호, 제 58권, pp. 322-326, 2009. 2.
- [11] N. Martin, C. Rousselot, D. Rondot, F. Palmino and R. Mercier, "Microstructure modification of amorphous titanium oxide thin films during annealing treatment", *Thin Solid Films*, Vol. 300, pp. 113-121, 1997.
- [12] M. Matsumoto, Y. Wada, T. Kitamura, K. Shigaki, T. Inoue, M. Ikeda and S. Yanagida, "Fabrication of Solid-State Dye-Sensitized TiO<sub>2</sub> Solar Cell Using Polymer Electrolyte", *Bulletin of the Chemical Society of Japan*, Vol. 74, pp. 387-393, 2001.
- [13] T. Ma, X. Fang, M. Akiyama, K. Inoue, H. Noma and E. Abe, "Properties of several types of novel counter electrodes for dye-sensitized solar cells", *Journal of Electroanalytical Chemistry*, Vol. 574, pp. 77-83, 2004.

저 자 소 개



**김 윤 기 (金允基)**

1978년 2월 18일생. 2000년 부산대 공대 전기공학과 졸업. 2002년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전자전기공학과 박사과정  
 Tel : 051-510-1544  
 Fax : 051-510-1498  
 E-mail : yungi@pusan.ac.kr



**심 충 환 (沈忠煥)**

1980년 8월 4일생. 2009년 부산대 공대 전자전기공학과 졸업. 현재 동 대학원 전자전기공학과 석사과정  
 Tel : 051-510-1544  
 Fax : 051-510-1498  
 E-mail : yasi123a@naver.com



**김 현 규 (金炫圭)**

1980년 9월 23일생. 2006년 동서대 공대 정보통신공학과 졸업. 현재 부산대 대학원 전자전기공학과 석사과정  
 Tel : 051-510-1544  
 Fax : 051-510-1498  
 E-mail : hgkim1980@gmail.com



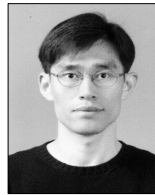
**성 열 문 (成烈汶)**

1966년 11월 2일생. 1992년 부산대 공대 전기공학과 졸업. 1994년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1999년 큐슈대학교 조교수. 2006년 미야자키대학 전기전자공학과 조교수. 현 경성대 공대 전기전자공학과 부교수  
 Tel : 051-663-4777  
 E-mail : ymsung@ks.ac.kr



**김 동 현 (金東鉉)**

1961년 1월 9일생. 1984년 부산대 공대 전기공학과 졸업. 1998년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2001년 동 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 현재 부산대 PDP 연구소 연구원  
 Tel : 051-510-1544  
 Fax : 051-510-1498  
 E-mail : dhkim11@pusan.ac.kr



**이 해 준 (李海準)**

1972년 2월 25일생. 1994년 서울대 공대 원자핵공학과 졸업. 1996년 포항공대 대학원 물리학과 졸업(석사). 1998년 포항공대 대학원 물리학과 졸업(이박). 현재 부산대 공대 전자전기공학부 부교수  
 Tel : 051-510-3516  
 Fax : 051-513-0212  
 E-mail : haejune@pusan.ac.kr



**박 정 후 (朴正后)**

1945년 4월8일생. 1968년 부산대 공대 전기공학과 졸업. 1974년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1980~1983년 일본 구주대학 대학원 졸업(공학박). 현재 부산대 공대 전자전기공학부 교수.  
 Tel : 051-510-2369  
 Fax : 051-513-0212  
 E-mail : parkch@pusan.ac.kr



**이 호 준 (李晔駿)**

1966년 10월 14일생. 1989년 서울대 공대 전기공학과 졸업. 1991년 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1996년 동 대학원 전기공학부 졸업(공학박). 현 부산대 공대 전자전기공학부 부교수  
 Tel : 051-510-2301  
 Fax : 051-513-0212  
 E-mail : hedo@pusan.ac.kr