

# 염료감응형 태양전지의 상대전극 Pt 필름 두께와 증착 각도가 효율에 미치는 영향에 관한 연구

논문  
59-3-16

## Effects of the Sputtering Thickness and the Incident Angle of Pt Film Deposition as a Counter Electrode for Dye-sensitized Solar Cells

김희제\* · 여태빈\*\* · 박성준\*\*\* · 김휘영§ · 서현웅\*\* · 손민규§§ · 채원용§§ · 이경준†  
(Hee-Je Kim · Tae-Bin Yeo · Sung-Joon Park · Whi-Young Kim · Hyunwoong Seo · Min-Kyu Son · Won-Yong Chae · Kyoung-Jun Lee)

**Abstract** - Sputter deposition on a Pt counter electrode was studied using radio frequency (RF) plasma as the improvement of incident photon to current conversion efficiency (IPCE) for dye-sensitized solar cells (DSCs). Effects of the sputtering thickness and the incident angle on a Pt counter electrode for DSCs were investigated. Experiments to get the optimal sputtering time for the performance of the DSCs were carried out. And it is found that the optimized sputtering time was 120 seconds, in addition, the incident angles of the substrate was adjusted from 0° to 60°. The maximum efficiency of 5.37% was obtained at the incident angle of 40° with an active cell area of 1cm<sup>2</sup>.

**Key Words** : Pt Counter electrode, Sputtering thickness and incident angle, RF magnetron plasma, Dye-sensitized solar cell

### 1. 서론

원유가격이 사상 최고치를 갈아 치운 고유가 시대, 여러 석유 전문가들이 피크 오일을 경고하고 있고 에너지 위기에 대한 대안으로 세계 각국은 신·재생 에너지 분야에 큰 관심을 두고 많은 연구를 추진하고 있다. 이런 시점에서 낮은 제조 단가, 간편한 제작 공정, 11%에 상응하는 높은 에너지 변환 효율을 기반으로 염료감응형 태양전지(Dye-sensitized Solar Cell : DSC)는 기존의 실리콘 태양전지의 대안인 제 3 세대 태양전지로 떠오르고 있다[1,2]. DSC는 식물의 광합성 원리를 기초로 전기를 생산하고 있으며, 샌드위치 구조로 투명전극(F-doped SnO<sub>2</sub>, FTO), 나노입자의 다공질 TiO<sub>2</sub>, 염료 고분자층으로 구성된 광전극(photo-electrode)과 투명전극 및 백금(Pt) 박막으로 구성된 상대전극(counter-electrode), 그리고 두 전극 사이를 산화환원용 전해질 용액으로 채우고 있는 구조이고 태양광이 전지에 입사되면 에너지를 흡수하여 여기된 염료 고분자가 전자를 방출해 TiO<sub>2</sub>의 전도대로 보냄으로써 발생하는 기전력을 외부 부하에 전달하는 형태로 동작한다[3-5].

최근에는 DSC의 상업화를 위해서 효율 향상 연구가 다각적으로 진행되고 있다. 광전극의 초음파 열처리를 통한 광전

효율 개선 연구[6], 레이저를 이용하여 FTO를 식각하여 대면적화 및 그리드 셀 제조[7], DSC 단위 셀의 최적 가로-세로 비율 도출 연구[8] 등이 시도되었다. 이러한 연구들은 DSC가 상업화 되었을 때, 공정 요소 기술의 토대가 될 수 있다. 이 중 광전변환효율 향상을 위해 기존의 상대전극 제조 과정 또한 좀 더 최적화 할 필요성이 있다. DSC에서 상대전극의 핵심기능은 I<sub>3</sub>에서 I<sup>-</sup>로의 환원이다. 즉, 고성능 DSC의 상대전극은 전자 이동을 쉽게 하기 위하여 전도성이 좋아야 하고 전해질에서 산화·환원 반응을 촉진하는 촉매작용이 우수해야 하는 것은 잘 알려진 사실이다[9,10]. 상대전극의 FTO는 환원 수행 능력이 떨어지기 때문에 전기적인 촉매작용을 수행하는 백금(Pt)이 산화·환원 반응을 촉진시키기 위해 전극에 증착된다. 백금의 두께는 염료감응형 태양전지의 효율에 영향을 거의 미치지 않는다는 발표도 있지만 백금 두께의 증가와 함께 증가하는 광 반사도에 의해 미약하나마 효율 개선에 영향을 준다는 발표도 있다[11]. 하지만 백금 증착 각도변화에 따른 DSC 효율 변화에 관한 연구는 볼 수 없었다. 따라서 본 연구에서는 상대전극의 백금 증착 두께와 증착 각도가 광전변환효율에 미치는 영향에 대해 알아보았다.

### 2. 실험 방법

#### 2.1 광전극 제작

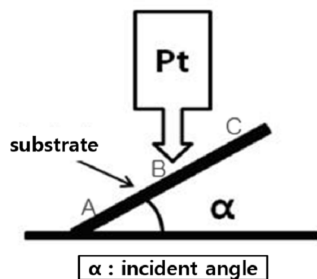
광전극을 제작 하기 위하여 나노 입자의 다공성 TiO<sub>2</sub> paste(Ti-Nanoxide HT/SP, Solaronix 社)를 Doctor-blade 방법을 이용하여 광전극에 TiO<sub>2</sub> 필름을 도포하였다. TiO<sub>2</sub> 층의 단면적을 최대화 하는 다공질 구조를 형성하기 위해 도포된 TiO<sub>2</sub> 필름은 450℃의 온도에서 30분간 소성한 후 실온(25℃)에서 냉각시켰다. 이렇게 소성한 TiO<sub>2</sub>는 다공질 구조를

\* 시니어회원 : 부산대학 전자전기공학과 교수  
\*\* 정 회 원 : 부산대학 전자전기공학과 박사과정  
\*\*\* 정 회 원 : 한국 수력원자력 연구원  
§ 정 회 원 : 동주대학 의료기공학과 부교수  
§§ 준 회 원 : 부산대학 전자전기공학과 석사과정  
† 교신저자, 준회원 : 부산대학 전자전기공학과 석사과정  
E-mail : kyoungjun@pusan.ac.kr  
접수일자 : 2009년 10월 6일  
최종완료 : 2009년 10월 26일

형성하여 전체 표면적이 넓어져 더 많은 염료를 흡착 시킬 수 있게 된다. 소성이 끝난 뒤, 염료 분자층 생성을 위해 광전극을 0.3mM 농도의 염료용액(N719, cis-bis(isothiocyanato) bis(2,2'-bipyridyl-4,4'-dicarboxylato)-ruthenium(II) bis-tetrabutyl-lammonium)에 상온에서 24시간 침착시킨다. 이후 99.9% 에틸알콜(C<sub>2</sub>H<sub>5</sub>OH)에 20여분간 침지시켜 염료 고분자의 단분자층을 형성하였다.

**2.2 상대전극 제작**

상대전극의 제작에 앞서 전해질 주입을 위한 pin-hole 2개를 샌드 블라스트(NORMEK, FG 1-93)를 이용해서 형성하였다. 그런 다음 FTO 투명전극 유리 기판(9.3Ω/cm<sup>2</sup>) 위에 Pt 박막을 증착하기 위해 RF 스퍼터링 방식을 이용하였다. 진공 챔버 내의 스퍼터링이 원활히 발생할 수 있도록 아르곤(Ar) 가스를 매개로 주입하고 2.8×10<sup>-3</sup>Torr, 100℃에서 120W의 RF sputter power를 인가함으로써 FTO 촉매작용을 위한 Pt 박막층을 형성하였다. 이 때 Pt 타겟과 FTO 기판 사이의 거리는 70mm로 하였다. 먼저 Pt 증착 두께에 따른 실험을 수행하기 위해 증착시간을 0에서 150초 사이에서 변화를 주어 DSC 성능을 비교함으로써 최적 증착 시간을 찾았다. Pt 증착 두께 실험을 통해 얻은 최적 증착 시간 120초에서 그림 1와 같이 Pt 증착 각도 실험을 진행하였다.



**그림 1** Pt 경사 코팅 개략도  
**Fig. 1** Deposition geometry of pt counter electrode different incident

증착 각도는 0°에서 60°사이에서 20°씩 변화를 주었다. 증착된 Pt 표면과 단면은 전자 주사 현미경(SEM: scanning electron microscope, Hitachi S-4200)으로 관찰하였다. 그리고 증착 각도에 따른 Pt 박막의 표면 거칠기(Roughness factor)를 AFM(Atomic Force Microscopy, XE-100, Park Systems)이용하여 측정하였다.

**2.3 DSC의 제작 및 I-V 특성 측정**

위 방식을 통하여 제작된 광전극과 상대전극을 60μm 두께의 Surlyn film (SX1170-60)를 사용해 5초간 110℃로 열과 압력을 가해 실링하고 pin-hole을 통해 전해질(0.5M LiI, 0.05M I<sub>2</sub>, 0.5M 4-tertbutylpyridine in acetonitrile)을 주입한 후, pin-hole을 실링하였다. 그리고 초음파 납땀기(USS-9200, MBR Electronics)를 이용하여 외부 셀과 연결을 위한 전극을 만들어 염료감응형 태양전지를 완성하였다. 태양전지 특성을 나타내는 단락 전류(I<sub>sc</sub>)와 개방 전압(V<sub>oc</sub>)은 1 sun(100mW/cm<sup>2</sup>) 조건의 Xenon 램프 아래에서 Keithley 2400 source meter를 이용하여 측정하였다.

**3. 실험결과 및 분석**

**3.1 Pt 증착 두께가 효율에 미치는 영향**

상대전극에 Pt 증착 두께에 따른 표면 저항은 네 개의 프로브를 가지는 SRM(Surface Resistivity Meter)을 이용하여 측정하였고 투과도 변화는 조도계(NIST Traceable Light measurement system)를 이용하여 측정하였다. 표 1에서 보는 것과 같이 Pt 증착 두께가 증가함에 따라 표면 저항은 감소하고 산란되는 빛의 양은 증가한다.

**표 1** Pt 필름 두께에 따른 상대전극의 표면 저항과 투과도  
**Table 1** Sheet resistance and transmittance of counter electrodes with different Pt film thickness

	Rs (Ω/cm <sup>2</sup> )	Transmittance (%)
FTO	9.30	97.32
FTO + Pt(30s)	7.91	71.27
FTO + Pt(60s)	6.74	53.14
FTO + Pt(90s)	4.13	45.44
FTO + Pt(120s)	3.05	32.57
FTO + Pt(150s)	2.88	25.31

이에 따라 광 여기 상태에서 전해질 내부에서 발생하는 환원반응이 더 잘 일어난다. 이때의 환원 반응식은 다음과 같다.



백금이 증착되지 않은 FTO 투명전극을 DSC의 상대전극으로 사용할 경우, 상대전극의 촉매 작용이 우수하지 않기 때문에 DSC의 성능이 떨어지게 된다. 하지만, 표 2의 결과에 따르면 Pt 필름 두께가 200nm를 넘어갈 경우에는 효율이 오히려 감소하는 경향을 보이고 있으며, Pt 필름 두께에 따른 I-V 곡선은 그림 2에 나타내었다.

**표 2** Pt 필름 두께에 따른 DSC의 성능

**Table 2** Performance parameters of DSCs with Pt films of different thickness (The measurement conditions are AM 1.5, 100mW/cm<sup>2</sup>)

Sputtering time(s)	Pt film thickness (nm)	Voc(V)	Jsc (mA/cm <sup>2</sup> )	Fill factor	η (%)
0	0	0.51	1.44	0.05	0.05
30	50	0.81	8.91	0.61	4.40
60	100	0.82	9.76	0.58	4.65
90	150	0.78	10.58	0.58	4.83
120	200	0.79	10.24	0.62	5.02
150	250	0.80	9.29	0.60	4.52

이 결과는 Pt 필름 두께의 증가에 따른 전해질과 상대전극 계면에 존재하는 전하 전달 저항의 감소가 DSC 성능에 미치는 영향이 크지 않다는 것을 의미한다. 또한 Pt 필름 두께 변화에 따른 반사 능력의 변화가 DSC의 성능에 영향을 미치는 중요한 인자가 아니다[11].

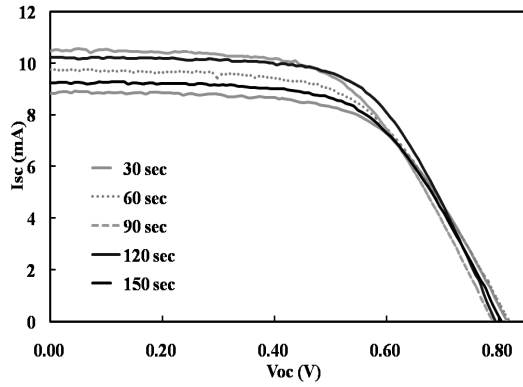


그림 2 Pt 스퍼터링 시간에 따른 DSC 셀의 I-V 특성 곡선  
Fig. 2 I-V curves of DSCs with Pt films at different deposition times

3.2 Pt 증착 각도가 효율에 미치는 영향

Pt 증착 각도가 효율에 미치는 영향에 대해 알아보기 위하여 Pt 스퍼터링 시간을 120초로 고정하였다. Pt 증착 각도에 따라 Pt 표면의 구조는 경사질 것으로 예상된다. 경사 각도가 0°일때 균일한 박막을 얻을 수 있으며, 전체적으로 표면 저항이 일정하다. 경사 각도가 증가하게 되면 RF 스퍼터링시에 기관과 Pt 타겟 사이의 거리가 전체적으로 차이가 나게된다. 결과적으로 Pt박막의 표면저항의 구배가 생긴다. DSC 구조에서 외부의 전기장은 존재하지 않으며, 염료분자에 의해 생성된 광전자는 나노입자 반도체로 주입되고, 반도체 계면을 통하여 확산되고 전도성 전극으로 수 집된다. 전자의 확산 측면에서 볼 때, 표면 저항이 균일한 표면 보다 표면 저항의 구배가 형성되어있는 표면에서 전자의 이동이 원활하다. 전자 수송의 메커니즘은 1855년 Fick's First Law를 통해 설명할 수 있으며 이는 물질에 있는 불순물의 흐름을 정의한 방정식(2)인데 주어진 공간에 걸쳐 물질의 flux는 밀도 기울기에 비례함을 보여준다.

$$J = -D \frac{\partial C(x,t)}{\partial x} \quad (2)$$

여기서 J는 flux, D는 확산계수, C는 용질의 밀도 그리고 x는 기관까지의 거리를 나타낸다.

게다가 경사 코팅을 할 경우 Pt 박막의 표면적이 경사각의 시컨트(sec θ)에 비례하여 증가할 것으로 예상되며, 이로 인해 상대전극 표면에서의 산화·환원 반응이 활발하게 일어난다. 그림 3의 (a)와 (b)는 상대 전극의 표면 SEM 이미지이다. Pt 박막 입자의 크기는 25nm에서 100nm정도로 경사 코팅에 따른 표면 구조의 차이는 없었다. 그러나 Pt 박막의 두께는 그림 1 Pt 경사 코팅 개략도의 (A)에서 (C)로 갈수록 증가한다. Pt 타겟과 기관과의 거리가 가까울수록 더 많은 Pt 입자가 증착되기 때문이다. 그림 3의 (d)에서 Pt 박막 두께가 왼쪽에서 오른쪽으로 갈수록 122nm에서 192nm로 증가하는 경향을 명확히 볼 수 있다.

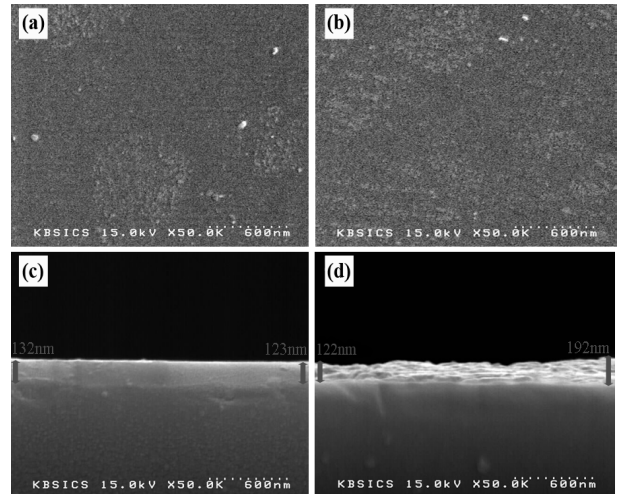


그림 3 Pt 상대전극의 SEM 이미지  
Fig. 3 SEM image of the sputtered Pt film:

(a) Top-down image sputtered at the incident angle of 0°, (b) Top-down image sputtered at the incident angle of 40°, (c) Cross sectional image sputtered at the incident angle of 0°, (d) Cross sectional image sputtered at the incident angle of 40°.

표 3 Pt 필름 증착각도에 따른 DSC의 성능  
Table 3 Performance parameters of DSCs with Pt films sputtered at different incident angles  
(The measurement conditions are AM 1.5, 100mW/cm²)

Sputtering angle (degree)	Voc(V)	Jsc (mA/cm²)	Fill factor	η (%)
0	0.77	10.20	0.61	4.88
20	0.77	10.51	0.60	4.89
40	0.79	11.62	0.59	5.37
60	0.79	10.04	0.57	4.59

표 3에서는 증착 각도가 40°일 때, Jsc(전류 밀도)와 효율이 가장 높게 나타남을 알 수 있다. 하지만 충전률은 전류밀도의 증가에 따라 다소 감소하는 경향을 보이고 있다. 두께 실험과 유사하게 경사 각도가 너무 커지게 돼서 박막 표면의 일부가 200nm 이상이 되면 그 부분에 전해질이 충전될 공간이 부족하게 되어 Pt 박막의 구배에 따른 효율 증가분의 효과를 볼 수 없게 된다. 또한 Pt 스퍼터링시에 경사각이 커지면 Pt 박막이 증착이 되지 않고 튕겨 나가게 될 확률이 높아져서 불리하다고 할 수 있다. 따라서 최적 경사 코팅각이 존재하며, Pt 경사 코팅 방법에 의해 DSC의 광전 변환 효율 향상에 기여한다고 하겠다.

상대전극의 표면과 전해질 사이에 일어나는 전기 화학적 표면 반응을 분석하기 위하여 Cyclic-voltammetry를 측정하였다. Cyclic-voltammetry는 상대전극에서의 산화·환원 반응 정도를 알 수 있는 그래프로 음의 피크값은 식(3)의 반응과 관련된 산화·환원 반응 정도를, 양의 피크값은 식(4)와 관련된 산화·환원반응 정도를 나타낸다. 피크값이 클수록 I<sub>3</sub><sup>-</sup>/I<sup>-</sup>의 산화, 환원 반응이 활발함을 의미한다[12-13].

$$I_3^- + 2e^- = 3I^- \quad (3)$$

$$3I_2 + 2e^- = 2I_3^- \quad (4)$$

그림 4에서 보면 증착각도가 0°와 40° 일 때 각각 11.74 mA/cm<sup>2</sup> 와 10.65 mA/cm<sup>2</sup> 로 높은 양의 피크 값을 보이고 있으며, 식(3)에 관련된 산화·환원 반응정도가 0° 일 때가 10.3% 더 우수하다고 할 수 있다. 반대로 음의 피크 값은 각각 -10.26 mA/cm<sup>2</sup> 와 -12.38 mA/cm<sup>2</sup> 을 보이고 있으며, 식(4)에 관련된 산화·환원 반응정도가 40° 일 때가 20.7% 더 우수하다고 할 수 있다. 결과적으로 증착각도가 40°일 때 I<sub>3</sub><sup>-</sup>/I 산화·환원 반응 능력이 가장 우수하다고 할 수 있다.

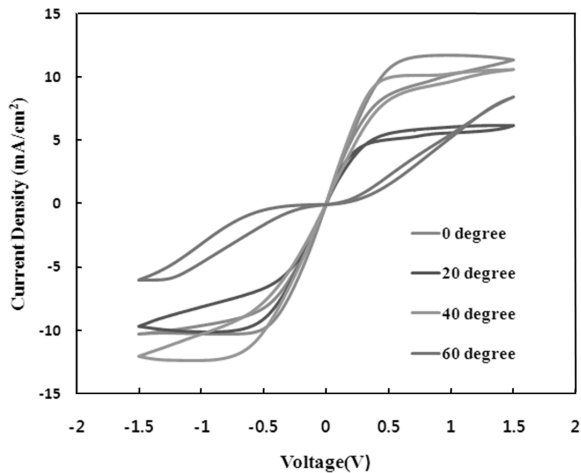


그림 4 상대전극의 Cyclic Voltammogram (스캔율 : 100mV/s)  
 Fig. 4 The cyclic-voltammogram of Pt electrode prepared at different incident angles. (sweep rate is 100 mV/s.)

그림 5는 AFM을 비접촉 실리콘 팁(NSC 15, Mikromasch) 이용하여 Pt 상대 전극의 3-D 표면 구조를 나타낸 것이다. 그리고 표면의 거칠기(RF : roughness factor)를 수치로 보여주고 있으며 이 값은 DSC의 전자 전달 과정과 밀접한 관련이 있다[14]. 표면 거칠기의 RMS(root mean square)값이 40° 일 때가 0° 일 때 보다 2% 정도 높은 값을 보여주고 있다. 따라서 40°의 경우가 0°의 경우보다 상대 전극의 표면 거칠기가 커서 전해질과 반응할 수 있는 표면적이 넓어 산화·환원 반응이 활발히 일어난다. 이는 Cyclic voltammogram 으로 분석했을 때 40°의 경우가 0°의 경우보다 산화·환원 반응 능력이 우수하다는 사실과 일치함을 의미한다.

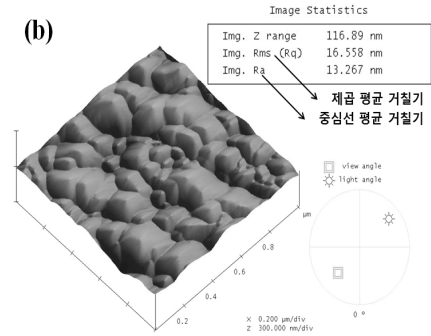
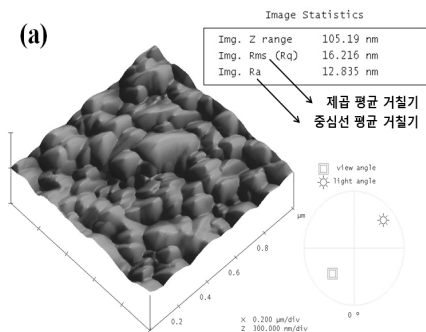


그림 5 상대 전극의 3-D 표면 구조 및 표면 거칠기  
 Fig. 5 The surface morphology of Pt electrode deposited at different incident angles measured by AFM.  
 (a) sputtered at the incident angle of 0°, (b) sputtered at the incident angle of 40°

그림 6은 최종적으로 Pt 증착 각도에 따른 I-V 곡선 나타나고 있다. 본 연구를 통해 증착각도에 따른 전류 밀도 변화가 DSC의 효율 향상에 기여함을 알았다.

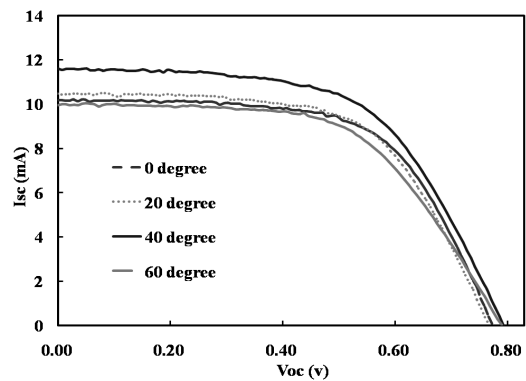


그림 6 Pt 스퍼터링 각도에 따른 DSC 셀의 I-V 특성 곡선  
 Fig. 6 I-V curves of DSCs with Pt sputtered at different incident angles

#### 4. 결 론

Pt는 우수한 촉매 능력, 높은 전도성의 성질 때문에 상대 전극의 재료로써 많이 사용된다. 본 연구에서는 DSC의 상대전극 제조 과정 중 Pt 박막의 두께와 경사 코팅이 효율에 미치는 영향에 관하여 분석해보았다. 그 결과 Pt 박막의 두께는 200nm까지는 효율 향상에 효과가 있었으며, 그 이상 증착이 되었을 때는 효과가 없었다. Pt 스퍼터링 시간을 120 초로 고정한 후 경사 코팅 실험을 하여서 최적의 경사 코팅 각 40°를 얻었으며, 그 때의 광전변환 효율은 유효면적 1 cm<sup>2</sup>에서 5.37%를 얻었다.

#### 참 고 문 헌

[1] B. O'Regan, M. Grätzel, "Optical electrochemistry I: steady-state spectroscopy of conduction band electrons in a metal oxide semiconductor electrode",

- Chemical Physics Letters, Vol.353, pp.737-739, 1991
- [2] A. Hagfeldt and M. Grätzel, "Molecular Photovoltaics", Acc. Chem. Res. 33, pp. 269-277, 2000
- [3] John B. Asbury, Encai Hao, Yongqiang Wang, Hirendra N. Ghosh, and Tianquan Lian, "Ultrafast electron transfer dynamics from molecular adsorbates to semiconductor nanocrystalline thin films", Journal of Physical Chemistry B, Vol. 105, Iss. 20, pp. 4545-4557, 2001
- [4] Joachim Schnadt, Paul A. Brühwiler, Luc Patthey, James N. O'Shea, Sven Södergren, Michael Odelius, Rajeev Ahuja, Olof Karis, Margit Bässler, Petter Persson, Hans Siegbahn, S. Lunell and Nils Mårtensson, "Experimental evidence for sub-3-fs charge transfer from an aromatic adsorbate to a semiconductor", Nature, Vol. 418, pp. 620-623, AUG, 2002
- [5] Michael Grätzel, "Perspectives for dye-sensitized nanocrystalline solar cells", Progress in Photovoltaics : Research and Applications, Vol. 8, Iss. 1, pp. 171-185, FEB, 2000
- [6] Hee-Je Kim, Yong-Chul Kim, Jin-Young Choi, Ho-Sung Kim, Dong-Gil Lee, Ji-Tae Hong, "A Study of Photo-electric Efficiency Improvement using Ultrasonic and Thermal Treatment on Photo-electrode of DSC", Trans. KIEE. Vol. 57, No. 5, pp. 803-807, MAY, 2008
- [7] Hee-Je Kim, Sung-Joon Park, Min-Kyu Son, Dong-Kil Lee, Kyoung-Jun Lee, "A Study on the Scribing of FTO using Pulsed Nd:YAG Laser", Trans. KIEE. Vol. 57, No. 8, pp. 1407-1411, AUG, 2008
- [8] Hee-Je Kim, Sung-Joon Park, Jin-Young Choi, Hyun-Woong Seo, Mi-Jeong Kim, Kyoung-Jun Lee, Min-Kyu Son, "The Deduction of the Optimal Length to Width Ratio of Dye-sensitized Solar Cell and the Fabrication of a Module", Trans. KIEE. Vol. 58, No. 1, pp. 100-106, JAN, 2009
- [9] N. Papageorgiou, W. F. Maier, and M. Grätzel, "An iodine/triiodide reduction electrocatalyst for aqueous and organic media", Journal of the Electrochemical Society, Vol. 144, Iss. 3, pp. 876-884, MAR, 1997
- [10] Kazuharu Suzuki, Makoto Yamaguchi, Mikio Kumagai and Shozo Yanagida, "Application of carbon nanotubes to counter electrodes of dye-sensitized solar cells", Chemistry Letters, Vol. 32, No. 1, pp. 28-29, 2003.
- [11] X.Fang et al., "Effect of the thickness of the Pt film coated on a counter electrode on the performance of a dye-sensitized solar cell", Journal of Electroanalytical Chemistry 570, pp. 257-263, 2004
- [12] A.I. Popov, D.H. Geske, "Studies on the Chemistry of Halogen and of Polyhalides. XIII. Voltammetry of Iodine Species in Acetonitrile", J. Am. Chem. Soc. 80, pp.1340-1352, 1958
- [13] Choi, J. Hong, J. Seo, H. Kim, M. Son, M. Lee, K. Lee, D. Kim, H., "Optimal series-parallel connection method of dye-sensitized solar cell for Pt thin film deposition using a radio frequency sputter system", Thin Solid Films, vol. 517, issue 2, pp. 963-966, 2008
- [14] L. Han, N. Koide, Y. Chiba, A. Islam, R. Komiya, N. Fuke, A. Fukui, R. Yamanaka, "Improvement of efficiency of dye-sensitized solar cells by reduction of internal resistance", Appl. Phys. Lett. 86, pp. 213501, 2005

## 저 자 소 개



### 김희제 (金熙濟)

1955년 10월 23일생. 1980년 부산대학교 공대 전기공학과 졸업. 1982년 부산대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1990년 규슈대학교 대학원 에너지공학과 졸업(박사). 현재 부산대학교 전기공학과 교수 재직 중.



### 여태빈 (余泰彬)

2007년 부산대학교 산업대학원 전기공학과 졸업(석사). 부산대학교 메카트로닉스 협동화과정 박사과정. 현재 알티솔라(주) 재직 중.



### 박성준 (朴盛駿)

2000년 동의대학교 공대 전기공학과 졸업. 2002년 부산대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 2009년 부산대학교 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 한국 수력 원자력 발전소(고리) 근무 중.



### 김휘영 (金輝榮)

1991년 동아대학교 전자공학과 (공학석사). 2001년 2월 부산대학교 전기공학과 (공학박사). 현재 동주대학 의료기공학과 부교수 재직 중.



**서현웅 (徐鉉雄)**

1980년 10월 25일생. 2006년 부산대학교 전자전기정보컴퓨터공학부 졸업. 2008년 부산대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 현재 동 대학원 전자전기공학과 박사과정 재학 중.



**손민규 (孫珉圭)**

1982년 6월 7일생. 2008년 부산대학교 공대 전자전기통신공학부 졸업. 현재 동 대학원 전자전기공학과 석사과정 재학 중.



**채원웅 (蔡元龍)**

1982년 1월 21일생. 2009년 울산대학교 공대 전기전자제어공학부 졸업. 현재 부산대학교 공과 대학원 전자전기공학과 석사 과정 재학 중.



**이경준 (李庚俊)**

1983년 2월 23일생. 2008년 부산대학교 공대 전자전기통신공학부 졸업. 현재 동 대학원 전자전기공학과 석사과정 재학 중.