

Synthesis of Dye-sensitized Solar Cells with Titanium Mesh Electrode

팽성환* · 김두환** · 박민우*** · 성열문†
 (Sung-Hwan Paeng · Doo-Hwan Kim · Min-Woo Park · Youl-Moon Sung)

Abstract - In this work, TCO-less dye-sensitized solar cells (DSCs) using Ti-mesh layer is fabricated for high-efficient low-cost solar cell application. The Ti-mesh metal can replace TCO in the photo-electrode part of DSCs, thus the cell structure is composed of a glass/dye sensitized TiO₂ particle/ Ti-mesh layer/electrolyte/Pt sputtered counter electrode/glass. The Ti-mesh electrode with high conductivity can collect electrons from the TiO₂ layer and allows the ionic diffusion of I⁻/I₃⁻ through the mesh hole. Thin Ti-mesh (~40μm in thickness) electrode material is processed using rapid prototype method. The efficiency of prepared TCO-less DSCs sample is about 1.45 % ((ff: 0.5, Voc: 0.52V, Jsc: 5.55 mA/cm²).

Key Words : TCO-less, Dye Sensitized Solar Cells, Ti-mesh, Fill factor, Cost-effectiveness

1. 서론

태양광 발전기술은 친환경 에너지 기술로서 “지구온난화”와 “에너지 문제”를 해결할 수 있는 유력한 대안이며, 최근 세계적으로 큰 주목을 받고 있다. 그 중, 염료 태양전지(Dye-sensitized Solar Cells; DSCs)는 발전원리에서, 반도체 pn접합의 광물성적 변환과정을 이용한 실리콘(Si) 방식과는 달리, 식물 광합성의 광유기 전하이동 원리와 유사한 광화학적 변환과정을 이용한다는 점에서 효율증대가 기대되고 있고[1, 2], 제조공정 및 비용이 단순·저렴하다는 장점이 주목받고 있어서, 향후 차세대 태양전지의 가장 유력한 후보이다(표 1 참조). 염료 태양전지 기술은 최근 5년여 간 급속도로 발전하였다. 그동안의 연구는 주로 효율향상을 위해 소자구조의 개선과 새로운 물질개발이라는 두 가지의 큰 틀에서 진행되어 왔고, 2008년 현재 단위 전지효율이 9~11%, 모듈효율이 6~8%정도에 달하고 있다. 해외의 공신력 있는 보고(프랑스 Yole사의 2007년 분석자료)에 근거하면, 염료 태양전지의 기술 수준은 상용화 직전단계까지 도달한 것으로 평가되고 있으나, 본격적인 상용화에 진입하기 위해서는 좀 더 연구를 필요로 하고 있다. 당면 과제로서 효율(Efficiency) 개선, 비용 절감(Cost-effectiveness)과 장기 안정성(Long-term Stability)을 들고 있다[1-3]. 특히, 염료 태양전지의 가장 큰 장점으로서 낮은 제조단가(기존 Si 태양전지의 1/3이하)를 내세우고 있으나, 현재의 방식으로는 획기적

인 개선을 기대하기 어렵다. 가장 큰 이유로서 여전히 고가의 투명전도성 산화물(Transparent conductive oxide; TCO) 전극을 사용하고 있다는 점을 들 수 있다[4]. 염료 태양전지용 TCO로서 주로 Fluorine-doped Tin Oxide(FTO)가 사용되고 있는데, FTO는 비교적 공정이 까다로운 화학기상 증착법(Chemical Vapor Diposition; CVD)으로 제조 가능하여, 양산화에 그다지 적합하지 않다[5]. 그림 1의 자료에서도 알 수 있듯이, 전체 제조비용에서 TCO가 차지하는 비율은 약 25%에 달하며, 재료비만을 고려할 때 전체의 약 60%를 차지하고 있다. 염료 태양전지가 차세대 태양전지 시장에서 확실한 자리매김을 하기 위해서는 상기의 당면과제들이 반드시 해결되어야 하며, 특히 획기적인 코스트 절감을 실현하기 위해서는 고가의 TCO를 대체할 수 있는 새로운 방안에 대한 연구가 요구된다. 본 연구에서는 염료 태양전지의 상업적 응용의 관점에서 제조 코스트의 획기적인 절감을 위해 TCO 층을 사용하지 않는 새로운 타입의 TCO-less 염료 태양전지의 제작에 관하여 기술한다.

표 1 염료 태양전지와 실리콘 태양전지의 비교

Table 1 Comparison between DSCs and Si solar cells

	염료 태양전지	실리콘 태양전지
변환효율	-현재 최고 효율: 11% -이론 한계 변환효율: 33% -개방전압 : 1.07V 이상	-단결정 구조: 24%, 비결정형 구조: 12% -이론한계 변환효율: 29% -개방전압: 최대 0.77V
제조비용 (발전단가)	-740원/W _p (100MW _p /년, η=11%로 미국 NREL의 Gregg계산)	-비결정형 Si 태양전지: 1000원/W _p (2010년) -단결정 Si 태양전지: 3600~1,0000원/W _p
기타	-원료의 자원적 제약 적음. 다양한 색상, 반투명	-원료의 자원적 제약 많음

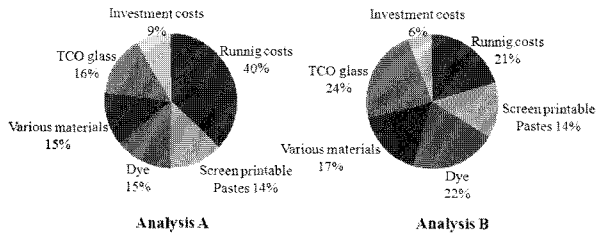
(*Photovoltaic Technology Trends, Display Bank, 2008)

* 준 회원 : 경성대학교 전기전자공학과 석사과정
 ** 정 회원 : 경성대학교 전기전자공학과 특별연구원 · 공박
 *** 정 회원 : 경성대학교 신소재공학과 교수 · 공박
 † 교신저자, 정 회원 : 경성대학교 전기전자공학과 부교수 · 공박

E-mail : ymsung@ks.ac.kr

접수일자 : 2009년 8월 23일

최종완료 : 2009년 9월 7일



Overview of the production cost distributions based on the two cost analyses: analysis A based on a production capacity of 1MW/peak/year, and analysis B based on a production capacity of 4MW/peak/year

그림 1 염료 태양전지의 제조 코스트 (2006 ECN 보고서)

Fig. 1 Cost of DSCs (2006 ECN Report)

2. TCO-less 염료 태양전지의 구조 및 개요

그림 2에 기존 염료 태양전지와 본 연구에서 제안하는 TCO-less 구조의 염료 태양전지의 구조를 비교하고 있다. 종래의 염료 태양전지의 구조는 "유리기판/ TCO/ 염료 흡착 Nanoporous TiO₂층/ 전해질/ 상대전극(Pt-coated TCO)/ 유리기판"으로 구성된다(그림 2(a) 참조). 이에 비하여 본 연구에서 제안한 TCO-less 구조의 염료 태양전지 시료는 "유리기판/ 염료 흡착 TiO₂ 나노입자 층/ Ti-mesh 전극(Photo-anode)/ 전해질/ 상대 전극/ 유리기판"의 구조를 가진다(그림 2(b) 참조). 염료 태양전지의 동작원리는 다음과 같다. 그림 2(a)에서 보는 바와 같이, 염료 분자(Ru계)가 화학적으로 흡착된 나노 입자 다공질 구조의 TiO₂ 산화물 반도체 전극에 태양광이 입사되면, 먼저 염료분자가 여기 되면서 전자-홀을 형성하게 되고, 이때 발생된 전자는 염료로부터 인접한 산화물 반도체(TiO₂)의 전도대로 주입된다. 반도체 산화물 전극으로 주입된 전자는 나노 입자간 계면을 통하여 TCO층으로 전달되어 전류를 발생시키게 된다. 그리고 염료 분자에 생성된 홀은 산화/환원 전해질로부터 전자를 제공받아 기저상태로 복귀하게 되고, 이 때 산화된 전해질은 상대전극으로부터 전자를 공급받아 환원되면서 광전변환의 전 과정이 완성된다. 한편 TCO-less 구조는 동작 원리에 있어서 기존 방식에 비해 약간의 차이가 있으며, 다음과 같이 요약할 수 있다. 태양광이 흡수되면 염료분자가 여기 되면서 나노입자 구조의 TiO₂ 층으로 전자가 주입되기까지의 과정은 동일하다. 그 다음 단계에서 전자는 (TCO를 통하지 않고) TiO₂ 층에서 Photo-anode인 Mesh 구조의 금속(Ti) 전극으로 전달되어 전류를 발생시키게 된다. 그리고 전자를 방출시킨 염료 분자가 기저 상태로 복귀하기까지는 앞서 언급한 일반의 염료 태양전지와 동일한 과정을 거친다. 단, TCO-less 구조에서 Photo-anode로써 사용되는 금속(Ti) 전극은 전해질이 통과할 수 있는 Mesh 구조이어야 한다. 왜냐하면, 광전자를 방출한 염료분자가 기저상태로 복귀하는 과정에서 산화/환원 전해질로부터 전자를 제공받게 되는데, 전해질의 산화/환원 작용이 연속적으로 일어나려면 전자 공급원인 상대전극과의 전기적 채널이 확보되어야 하고, 이를 위해서는 전해질이 금속(Ti) 전극사이를 왕래할 수 있어야 한다. 그러므로 Ti-mesh 전극을 도입하면, 종래의 TCO전극에 비해 상대적으로 높은 전도성을 띠게 되어 TiO₂ 층으로부터 전자를 쉽게 수집할 수 있고, Mesh hole을 통해 전해

질이 통과하면서 I⁻/I₃⁻의 산화환원 반응을 효과적으로 지속시킨다. 그리고 그림 2(b)에 나타난 바와 같이, 본 연구에서는 Photo-anode 부분만 TCO-less 구조이고, 상대전극은 종래와 같이 TCO전극을 그대로 사용하였다. 이는 TCO-less 구조의 효율성을 Photo-anode 부분에 주안점을 두어 종래의 방식과 비교하기 위함 때문이며, 실제로는 상대전극에도 TCO 대신에 Ti 혹은 Pt 금속만으로써 사용할 수 있으므로, TCO-less 구조는 모든 전극재료의 금속화가 가능하여 도전성의 향상을 통한 효율개선의 측면도 기대된다[6].

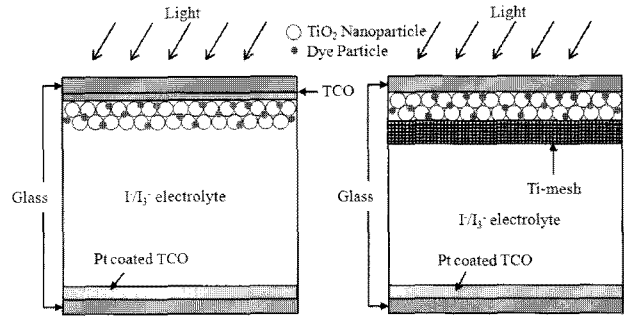


그림 2 기존 염료 태양전지(a)와 TCO-less 염료 태양전지(b)
Fig. 2 DSCs(a) and TCO-less DSCs(b)

본 연구에서는 TCO-less 염료 태양전지의 Photo-anode로써 3차원적 다공성 구조를 지니는 직물 형태의 Ti-mesh 전극 구조를 도입하였다. Photo-anode와 상대전극 사이의 간격은 약 ~200 μ m이고, 서브 마이크론(~ μ m) 이하의 매우 얇은 두께의 Mesh-type Ti metal은 제작 공정이 까다롭고 제조비용 또한 비싸다. 본 연구에서는 Ti-mesh의 제작법으로써 Robotic deposition device를 사용한 Ti-powder/polymer 혼합 Paste의 직접 분사방식에 의해 3차원적 골격을 지니는 Ti-mesh가 제작되었다[7].

3. 실험 방법

Ti-mesh의 전극을 만들기 위해 도입한 Robotic deposition device에 의한 Rapid Prototype(RP) 기법을 요약하면 다음과 같다. Ti/binder 혼합 슬러리를 만들기 위한 입자크기 45 μ m 이상인 상용의 순수 Ti-powder (CP-Ti, Sigma-Aldrich, USA)와 유기 폴리머 바인더 혼합물 시료를 주사기 모양의 분사장치에 주입한다. RP Machine에서 Robotic deposition device를 사용하여 주사기 노즐을 통해 Stage에 Ti/binder를 섬유조직처럼 흘려보낸다. Ti-mesh 골격은 빠르게 건조시켜 고체화 하며, 골격은 섬유조직 패턴의 겹침 구조로 제작된다. 다공성과 Mesh hole의 크기는 섬유조직 공간의 제어 및 층의 두께, 겹침 방법에 의해 제어 가능하다. 이렇게 제작된 Ti-mesh는 600 $^{\circ}$ C 이상의 진공(5.0 $\times 10^{-6}$ Torr) 조건 하에서 열처리 된다. 그림 3에 Robotic deposition device에 의한 Ti-mesh 골격의 제작과정을 나타내었다. 한편, 3차원 골격 형태를 유지하는데 있어서 Paste 용매를 신속하게 제거할 필요가 있다. 이는 미처 제거하지 못한 Paste 용매의 잔존물이 골격 구조의 형성에 영향을 미

치기 때문이다. Polymer binder paste에 있는 Chloroform은 Ethanol 매질에 쉽게 제거되지 않아서, 3차원 골격 구조가 흐트러지는 현상이 발생하는데, 이러한 문제를 해결하기 위해 본 연구에서는 Heat-controlled blowing system과 냉각된 기판을 사용하였다.

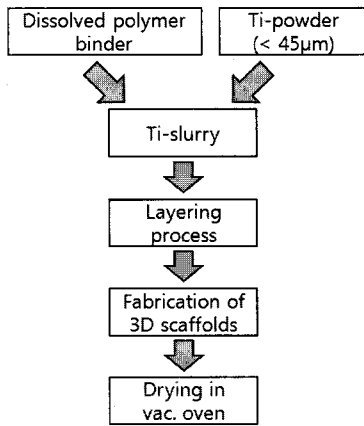


그림 3 Robotic deposition device를 이용한 Ti-mesh 제작 과정
Fig. 3 Fabrication process of Ti-mesh using Robotic deposition method.

그림 4에 Robotic deposition device에 의해 3차원적 구조로 제작된 Ti-mesh 골격의 SEM 사진을 나타내었다. Ti-mesh의 다공성은 Wire의 직경과 Wire 간 거리로 제어 가능하였다. 제작된 Ti-mesh의 두께는 대략 400µm 정도인 것으로 확인되었으며, 이 수치는 염료 태양전지에 적용하기에는 너무 두껍다. 그리하여 다음 과정으로 기계적 처리 및 HF와 HNO₃의 화학적 식각 처리를 통해 두께를 ~40µm로 감소시킬 수 있었다. 이상의 제작 공정을 통해 Ti-mesh 전극이 완성되었고, 그 다음 단계로서 염료 태양전지 셀을 제작하였다. 셀 제작 과정은 다음과 같이 요약할 수 있다. 먼저 TiO₂ 층을 제작하기 위해 시판의 TiO₂ Paste(D-paste, Solaronix Inc.)를 두께 10µm로 하여 스크린 프린터로써 유리기판 위에 도포하였다. 그리고 앞서 제작된 Ti-mesh를 TiO₂ Paste 위에 올려놓고 450°C에서 60분간 열처리 하면 TiO₂/Ti-mesh 구조의 Photo-anode 전극이 완성된다. 상대 전극은 TCO 유리기판에 H₂PtCl·6H₂O 와 2-Propanol 수화물을 450°C에서 30분간 소결시켜 코팅하여 제작하였다. 전극 사이의 간격은 60µm 두께의 Surlyn film spacer를 사용하여 유지시켰다. 염료 태양전지에 사용된 전해질은 0.5mM Iodide, 0.005M LiI, 0.0058M 4-tert-butylpyridine, 그리고 5 ml Acetonitrile이 포함되었다. 제작된 TCO-less 구조의 염료 태양전지 샘플을 그림 5에 나타내었다.



그림 4 Ti-mesh 골격 구조의 SEM 사진
Fig. 4 SEM photo. of Ti-mesh structure.

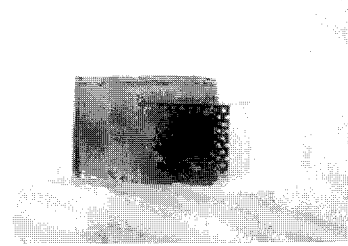


그림 5 제작된 TCO-less 구조 염료 태양전지의 샘플
Fig. 5 Prepared TCO-less DSCs sample.

4. 실험결과 및 고찰

Ti-mesh에 배열된 TiO₂-나노입자들은 염료분자가 흡착되어 있는 전자 수집 층에 해당된다. 그림 4에서 알 수 있듯이, Photo-anode의 Ti-mesh층은 직경 ~40µm인 Ti wire로 구성되며 약 50%의 다공성을 가지는 것으로 확인되었다. 이러한 Ti-mesh 전극의 기공은 산화환원 작용에 의한 I⁻/I₃⁻ 전해질에서 염료 분자로의 전자의 흐름을 가능하게 하여 TCO-less 구조 하에서의 광전변환 과정이 이루어짐을 알 수 있다.

염료 태양전지의 광전변환 효율을 산출하기 위한 전류-전압(I-V) 특성곡선은 활성 영역 0.2cm²를 가지는 Ti-mesh에서 150-W Solar simulator로 AM 1.5의 조건 하에서 측정되었다. 이때 얻어진 I-V특성 그래프는 그림 6에 나타내었다. 본 연구에서 제작된 TCO-less 구조의 염료 태양전지는 그림 6에서 알 수 있듯이 광전변환 기능을 성공적으로 수행하는 것으로 나타났다. 그러나 약 1.45%로 산출된 낮은 효율(FF: 0.5, Voc: 0.52V, Jsc: 5.55 mA/cm²)은 앞으로 많은 개선의 여지를 남겨두고 있다. 여기에는 크게 두 가지 요인으로 분석할 수 있다. 첫째, 광전류 밀도가 1.5AM 조건 하에서 5.55mA/cm²로 얻어졌는데, 이는 제작된 Mesh Hole의 직경이 너무 크기 때문에 전류밀도가 낮은 것으로 보인다. TCO-less 구조 하에서 전자는 TiO₂ 나노입자 간의 계면 network를 통해 확산되어 Ti-mesh 전극으로 전송되는데, 이 때 TiO₂ 층내에서의 전자의 평균자유행정은 약 10~20µm인 것으로 알려져 있다[3]. 즉, 전자의 이동거리가 평균자유행정보다 훨씬 길어지면 전자는 Ti-mesh 전극에 도달하지 못하고 도중에 TiO₂층의 홀 영역(hole ca. 40µm)에 갇혀 확산이 방해되거나, 전해질에 흡수되어 결과적으로 전극에 도달하는 전자의 수가 감소되고 전류밀도는 그만큼 저하하게 된다. 그러므로 Ti-mesh의 Mesh hole 크기는 이론상 전자의 평균자유행정의 2배 정도인 20~30µm 정도가 가장 적합하다. 그 이상 커지게 되면 Ti-mesh 전극에 도달하기까지 TiO₂ 입자의 network 길이가 더 길어지게 되고, 그로 인해 Ti-mesh에 도달하는 전자 수를 감소시키므로 그만큼 광전변환 효율의 저하를 초래하게 된다. 그러므로 Ti-mesh의 hole 크기와 wire 직경을 제어하는 것은 TCO-less 구조의 태양전지 성능을 향상시키는데 매우 중요한 역할을 하게 될 수 있다. 두 번째로, 그림 6에서 알 수 있듯이, 샘플의 fill factor(FF)는 0.504으로 나타났다. FF의 산출은 아래의 식(1)에 나타내었다.

$$FF = \frac{V_{op} \times I_{op}}{V_{oc} \times I_{sc}} \quad (1)$$

여기서, V_{oc} 는 개방전압, I_{sc} 는 단락전류, V_{op} 와 I_{op} 는 그림 6의 I-V 특성곡선에서 최대전력 포인트에서의 전압과 전류치를 각각 나타낸다. FF는 광전변환의 다양한 물리적 의미를 내포하고 있는데, 특히 셀 내의 저항이 증가하면 감소하게 된다. 저항의 증가는 Ti-mesh층과 TiO_2 입자와의 견고하지 못한 결합상태로부터 기인되는 것으로 보이며, 이러한 전기적 Necking의 불완전성이 FF가 크게 개선되지 못한 주 원인으로 판단된다. 앞으로 Ti-mesh 전극의 전기 전도성을 최대로 하는 최적의 Mesh 구조(두께, 간격) 조건을 명확히 하는 연구가 진행되어야 하며, 이를 위해 화학적 혹은 기계적 방법, 그리고 Wire를 사용하여 두께를 제어하는 방법 등이 검토되어야 할 것이다. 그리고 TiO_2 입자 산화물과 Ti-mesh 간의 결합은 열처리 방법을 주로 사용하고 있지만, 높은 온도에서 장시간의 열처리는 유리 와 염료 분자가 열에 취약함을 보이므로 이에 대한 개선책이 강구되어야 할 것이다. 그 중에서 전기화학적 양극 산화에 의해 낮은 온도 조건 하에서의 산화물과 금속의 결합뿐만 아니라, Ti-mesh에 TiO_2 나노 층의 직접 형성도 가능한 것으로 알려져 있다. 그 외에도 스퍼터링이나 전자 빔 증착법을 이용하여 TiO_2 나노입자 층에 직접 Ti 층을 형성하는 방안 등 다양한 관점에서 연구가 진행되고 있다[8-10]. 향후 이러한 방법들을 도입한 TCO-less 구조의 제작과 효율개선에 관한 연구는 관련기술의 상용화를 앞당기는 중요한 계기가 될 것이다.

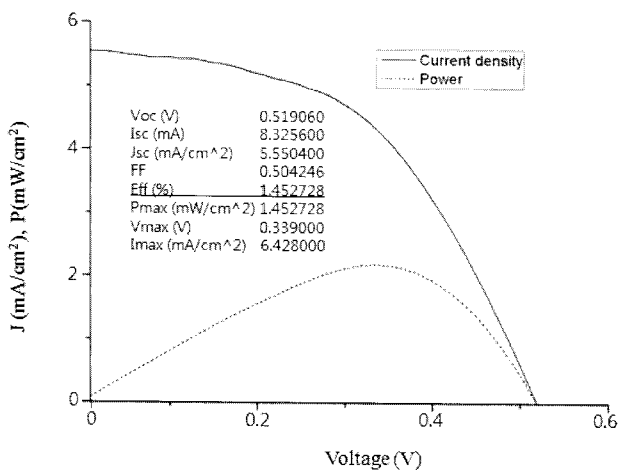


그림 6 본 실험에서 제작된 TCO-less 구조 염료태양 전지의 전류-전압 특성곡선과 변환효율.

Fig. 6 I-V characteristics curve and energy efficiency of TCO-less DSCs

5. 결 론

본 연구에서는 저비용 고효율의 염료 태양전지의 개발을 위해 종래 사용되어온 고가의 TCO층을 금속의 Ti-mesh 전극으로 대체한 새로운 구조의 TCO-less 염료 태양전지를

제작하였다. TCO-less 구조는 "유리기판/ 염료 흡착 TiO_2 층/ Ti-mesh 전극/ 전해질/ 상대 전극/ 유리기판"으로 구성되며, Ti-mesh 전극은 종래의 TCO를 대신하여 염료 태양전지의 Photo-anode로서의 기능을 수행한다. 먼저 Robotic deposition device에 의한 RP 기법에 의해 제작된 Ti-mesh 전극은 두께 약 $40\mu m$ 와 50%의 다공성을 가지는 것으로 확인되었다. Ti-mesh 전극을 베이스로 하는 TCO-less 염료 태양전지를 제작하여 광전류-전압 특성을 측정한 결과, 약 1.45%(ff: 0.5, V_{oc} : 0.52V, J_{sc} : 5.55 mA/cm^2)의 변환효율을 얻을 수 있었다. 일반의 염료 태양전지와 비교할 때, 광전류와 FF가 낮은 수치를 나타내었는데, 이는 본 실험에서 제작된 Ti-mesh 전극의 hole 사이즈가 이론적인 최적 값($20\sim 30\mu m$)에 비해 너무 커서 Photo-anode로서의 전자 포집능력이 그만큼 저하되기 때문이며, hole 사이즈를 최소화함으로써 광전류가 증대될 것으로 기대된다. 그리고 FF를 개선하기 위해서는 TiO_2 나노입자 층과 Ti-mesh 간의 계면 결합상태를 최적화할 필요가 있음을 알 수 있었다.

감사의 글

이 논문은 2008년도 정부(교육과학기술부) 재원의 국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구(No. R01-2007-000-20932-0)로서, 관계부처에 감사드립니다.

참 고 문 헌

- [1] B. O'Regan, M. Graetzel, "A low cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO_2 films", Nature, Vol.353, pp.737-740, 1991.
- [2] M. Graetzel, "Photoelectrochemical cells", Nature, Vol.414, pp.338-344, 2001.
- [3] A. Kay, M. Gratzel, "Dye-Sensitized Core/Shell Nanocrystals: Improved Efficiency of Mesoporous Tin Oxide Electrodes Coated with a Thin Layer of an Insulating Oxide", Chem. Mater., Vol.14, No.7, pp.2930-2935, 2002.
- [4] Alan E. Delahoy et al., "New technologies from CIGS photovoltaics", Solar Energy, Vol.77, pp.785-793, 2004
- [5] J. M. Kroon et al., "Nanocrystalline dye-sensitized solar cells having maximum performance", Prog. Photovolt: Res. Appl., Vol.15, Issue.1, pp.1-18, 2007
- [6] 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," Appl. Phys. Lett., 92, 033308, 2008.
- [7] Hui-suk Yun, Seung-eon Kim, Yong-taek Hyun, Su-jin Heo, and Jung-wook Shin, "Three-Dimensional Mesoporous-Giantporous Inorganic/Organic Composite Scaffolds for Tissue Engineering", Chemistry of Materials, Vol.19, No.26, pp.6363-6366, 2007.

- [8] 한치환, 성열문, "졸겔 연소법을 이용한 염료감응 태양 전지용 나노 다공질 구조 TiO₂ 제작," 대한전기학회 논문지, 58권, 2호, pp.327-331, 2008.
- [9] Duck-Woo Han et al., "Texture, Morphology and Photovoltaic Characteristics of Nanoporous F:SnO₂ Films," Journal of Electrical Engineering & Technology, Vol.4, No.1, pp.93-97, 2008.
- [10] Jong-Hyun Heo et al., "Fabrication of Titanium-Doped Indium Oxide Films for Dye-Sensitized Solar Cells Application Using Reactive RF Magnetron Sputter Method, IEEE Trans. Plasma Sci., Vol. 37, No. 8, pp. 1586-1592, 2009.

저 자 소 개



팽 성 환 (彭 盛 煥)

1983년 7월 29일생. 2009년 경성대학교 전기전자공학과 졸업(학사). 현재 동대학교 대학원 전기전자공학과 재학. 관심분야: 광전변환 및 발광소자
 Tel & Fax : 051-624-5980
 E-mail : paengsh@ks.ac.kr



김 두 환 (金 斗 煥)

1961년 4월 13일생. 1988. 2 부산대학교 전기공학과 졸업(학사). 1993. 2 부산대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1998.2 부산대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박). 1998~2002년 남해대학교 전기공학과 조교수. 2002~2004년 (주)펄스텍 펄스 파워시스템 개발팀장. 현재 경성대학교 전기공학과 에너지 재료응용 연구실 특별연구원.
 E-mail : kdh4066@paran.com



박 민 우 (朴 民 雨)

1957년 9월 14 일생. 1984. 2. 인하대학교 금속공학과 졸업(학사). 1987. 12. Polytechnic Institute of New York University (석사). 1993.5 Arizona State University (박사). 1995. 2 현대전자 반도체연구소(선임연구원). 현재 경성대학교 신소재공학과 교수. 관심분야: 에너지 재료 및 응용.
 Tel : 051-663-4765
 E-mail : mwpark@ks.ac.kr



성 열 문 (成 烈 汶)

1966년 11월 2 일생. 1992. 2 부산대학교 전기공학과 졸업(학사). 1994. 2 동대학교 대학원 졸업(석사). 1996.8 동대학교 대학원 졸업(공학박). 1998. 7 큐슈대학 Post-doc.(한국과학재단지원). 1999.7 큐슈대학 조수. 2006. 2 미야자키대학 전기전자공학과 조교수. 현재 경성대학교 전기전자공학과 부교수. 관심분야: 에너지 재료 및 응용
 Tel : 051-620-4777
 E-mail : ymsung@ks.ac.kr