

메쉬전극을 이용한 TCO-less 염료태양전지제작

(Using the mesh electrode for TCO-less dye-sensitized solar cells application)

정기영* · 주인숙* · 성일문* · 곽동주* · 박차수**

(Ki-Young Jung* · In-Suk Ju* · Youl-Moon Sung* · Dong-Joo Kwak* · Cha-Soo Park**)

Abstract

본 연구에서는 염료태양전지의 제작 시 고가의 TCO전극을 사용하지 않고 간단히 광전극을 대체할 수 있는 방법으로 메쉬전극을 이용하는 TCO-less 염료태양전지를 제작하였다. 메쉬전극을 이용한 TCO-less 염료태양전지의 구조는 "Glass / 메쉬전극(TiO₂를 담코팅 한 후 염료를 흡착시킴) / 전해질 / 멤브레인 필터 / 상대전극(Pt-coated TCO) / Glass" 로 구성된다. 제작된 샘플의 광전변환 효율은 약 1.5%였으며 fill factor는 0.55로 나타났다. 향후 계획으로 효율을 향상시킬 수 있는 방법을 도입하여 광전류밀도와 fill factor를 개선하는 연구를 진행할 예정이다.

1. 서론

현대사회는 급속한 산업발전으로 인해 화석연료의 사용이 급증하였고 그로인한 연료의 고갈 및 환경오염 문제가 심각하게 대두되고 있다. 이러한 연료 고갈 및 환경오염 문제를 극복할 수 있는 방안으로 신재생에너지 및 대체에너지들이 각광 받고 있다. 이러한 신에너지 중에서도 태양전지 분야는 가장 주목받고 있는 분야로서 본 연구에서는 기존의 실리콘형 태양전지와 차별화된 염료 태양전지(DSCs)에 대해 소개하고자 한다. 염료 태양전지(Dye-sensitized Solar Cells; DSCs)는 발전원리에서, 반도체 pn접합의 광물성적 변환과정을 이용한 실리콘(Si) 방식과는 달리, 식물 광합성의 광유기 전자이동 원리와 유사한 광화학적 변환과정을 이용한다는 점에서 효율증대가 기대되고 있고, 제조 공정 및 비용이 단순·저렴하다는 장점이 개대되고 있어서, 향후 차세대 태양전지의 가장 유력한 후보로서 주목받고 있다. 이러한 염료태양전지가 본격적인 상용화에 진입하기 위해서는 좀 더 연구를 필요로 하고 있다.[1] 그 핵심 과제로서 효율(Efficiency) 향상, 코스트 절감(Cost-effective ness)과 장기 안정성(Long-term Stability)을 들 수 있다. 특히, 염료 태양전지의 가장 큰 장점으로 낮은 제조단가(기존 Si 태양전지의 1/3이하)를 내세우고 있으나, 현재의 방식으로는 획기적인 개선을 기대하기 어렵다. 가장 큰 이유는 염료 태양전지(DSCs)의 광전극 소재에서 고가의 투명전도성 산화물(Transparent conductive oxide; TCO)

전극을 사용하고 있다는 점을 들 수 있다. TCO film은 낮은 면저항과 표면 광 투과능, 그리고 높은 광전용도로 인해 중요한 부분을 차지한다. TCO 소재 중에서 DSCs에 보편적으로 사용되는 것은 fluorine-doped tin-oxide(FTO) 이다. FTO film은 physical vapor deposition(PVD) 혹은 chemical vapor deposition(CVD) 방법으로 제작이 가능하나, 양쪽 방법 모두 제작비용이 높고 대량제작의 응용이 복잡하다. 게다가, FTO 층은 적외선 영역의 전달과 투명 전도체의 열저항에 있어 그 한계가 있다. 그리고 DSCs의 제작에 두장의 TCO-glass를 사용하는 것은 비용-효율적 측면에서 적절하지 못하다. 그러므로 DSCs의 상업적 응용에서 이문제의 해결이 매우 중요하다. 본 연구에서는 높은 효율과 낮은 비용을 위해 TCO층을 사용하지 않는 새로운 타입의 DSCs 제작에 대해 기술한다.[1,2]

2. 본론

2.1. 메쉬전극을 사용한 DSCs의 구조 및 개요

그림. 1은 기존의 염료 태양전지(DSCs)와 본 연구에서 제안하는 메쉬 전극을 사용한 염료 태양전지의 구조를 나타낸다. 기존의 염료 태양전지의 구조는 "Glass / TCO / 염료가 흡착된 Nanoporous TiO₂층 / 전해질 / 상대전극(Pt-coated TCO) / Glass"로 구성 된다. 이에 반해 본 연구에서 제안하는 메쉬 전극을 사용한 염료 태양전지의

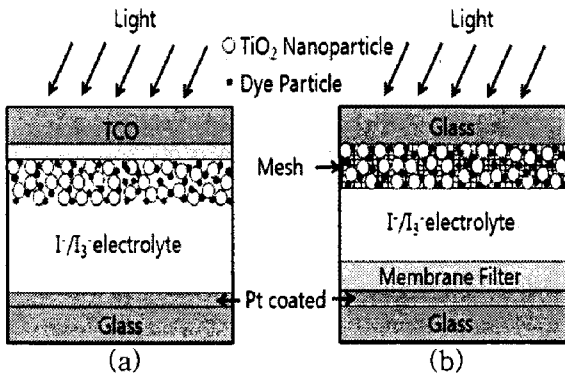


그림. 1. 메쉬 전극을 사용한 DSCs 개략도

구조는 “Glass / 메쉬전극(TiO₂를 딥코팅 한 후 염료를 흡착시킴) / 전해질 / 멤브레인 필터 / 상대전극(Pt-coated TCO) / Glass”로 구성된다. 기존의 염료 태양전지의 동작원리는 다음과 같다. 그림. 1(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.[1.2] 그림. 1(b)의 메쉬 전극을 이용한 TCO-less 구조는 동작 원리에 있어서 기존 방식과 약간의 차이가 있다. 우선 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 금속전극으로 전달되어 전류를 발생시키게 된다. 그리고 전자를 방출시킨 염료 분자가 기저 상태로 복귀하기까지는 앞서 언급한 기존의 염료 태양전지와 동일한 과정을 거친다. 단, TCO-less구조에서 Photo-anode로써 사용되는 금속전극은 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 채널

이 확보되어야 하고, 이를 위해서는 전해질이 금속 전극사이를 왕래할 수 있어야 한다. 그러므로 mesh 전극을 도입하면, 종래의 TCO전극에 비해 상대적으로 높은 전도성을 띄게 되어 TiO₂ 층으로부터 전자를 쉽게 수집할 수 있고, Mesh hole을 통해 전해질이 통과하면서 I⁻/I₃⁻의 산화환원 반응을 효과적으로 지속시킨다.[1.2]

그리고 그림. 1(b)에 나타낸 바와 같이, 본 연구에서는 Photo-anode 부분만 TCO-less 구조이고, 상대전극은 종래와 같이 TCO전극을 그대로 사용하였다.

2.2. 실험재료

작업전극	써스메쉬(50 μ m), Glass
상대전극	Pt coated glass
염료	N719
전해질	A4
TiO ₂ paste	저온 소성용
기타	멤브레인 필터, 딥코터, 프레싱용 바이스, 쉘린(60 μ m)

표. 1. 실험에 사용된 재료

코팅횟수	1	2	3	4	5
프레싱 전 두께(메쉬 두께 포함, μ m)	51	52	54	60	70
프레싱 후 두께(메쉬 두께 포함, μ m)	50	52	53	56	60

표. 2. 코팅 횟수에 따른 작업전극의 두께

본 연구에서 제안하는 메쉬 전극을 이용한 TCO-less 염료 태양전지를 제작하기 위해 셀 제작에 앞서 실험에 사용할 재료들을 간단한 표. 1로서 나타내었다. 먼저 작업 전극으로 사용될 메쉬 전극의 규격은 50 μ m로서 메쉬 위에 저온 소성용 TiO₂ 페이스트를 딥코팅 방식으로 코팅 한 후 100 $^{\circ}$ C에서 30분간 건조하여 프레싱 한 후 염료용액(N719)에 24시간 동안 흡착시켰다. 위 과정에서 사용된 저온 소성용 TiO₂ 페이스트는 P25(1g), ethanol(10ml), TTIP (0.053M)을 혼합하여 교반시켜 제작하였다. 상대전극은 백금용액을 코팅하여 450 $^{\circ}$ C에서 30분간 열처리 하였다. 열처리가 끝나게 되면 상대전극에는 전해질 주입을 위한 구멍을 뚫고, 후에 글라스프릿으로 봉합하게 된다.[1.2]

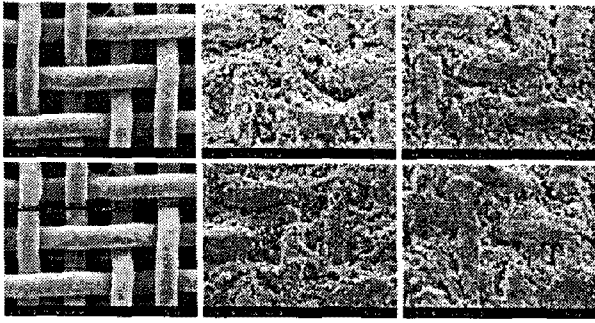


그림. 2. 실험에 사용된 메쉬전극 (TiO₂ 코팅 전/후 표면 SEM 사진)

그림. 2와 표.2는 실험에 사용된 메쉬전극의 SEM 사진과 고팅 횟수에 따른 작업전극의 두께를 나타낸다. TiO₂ 코팅 후 100℃에서 30분간 열처리 한 후 프레싱 하여 염료용액에 흡착 한 결과 염료 흡착 상태는 비교적 양호하였지만, 메쉬의 두께가 50 μ m이므로 프레싱 이후 코팅되는 TiO₂ 층만의 두께 측정이 불가능 했으며, 메쉬 내부에 코팅되어 있는 TiO₂ 층의 경우 프레싱이 되지 않아 구조가 형성하여 전류밀도가 낮은 것으로 생각되었다. 메쉬전극의 TiO₂코팅 횟수를 3회 이하로 조절하여 메쉬전극을 제작하였다.

2.3. 셀 제작

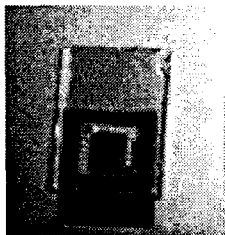


그림. 3. 메쉬전극을 이용한 염료태양전지 샘플

그림. 3은 제작된 샘플의 사진으로서 셀 제작 시의 전체적인 과정은 작업전극과 상대전극 사이에 멤브레인 필터를 삽입한 후 작업전극 위에 글라스를 올려 60 μ m 쉘린을 이용하여 접합하였다. 이후 A4 전해질을 주입한 후 커버글라스와 쉘린을 이용하여 염료감응 태양전지 셀을 완성하였다. 셀 제작시 작업전극과 상대전극 사이에 멤브레인 필터를 삽입하는 이유는 전극간의 스페이서 역할 및 쇼트 방지를 위한 목적이다.

3. 실험결과 및 고찰

제작한 셀의 광전변환 효율을 분석하기 위한 I-V 특성곡선은 150-W Solar simulator로 AM 1.5의 조건 하에서 측정되었고, 셀의 활성면적은 1 cm²이다.

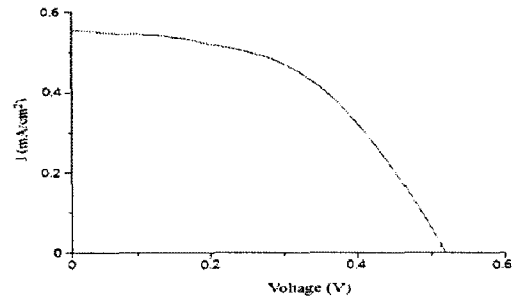


그림. 4. 제작된 샘플의 I-V 특성곡선

그림. 4는 메쉬전극을 사용한 염료 태양전지 셀의 I-V 특성곡선을 나타낸다. 결과적으로 약 15%의 낮은 효율이 측정되었다. 이렇게 낮은 효율이 측정된 이유는 크게 두 가지 요인으로 분석 할 수 있다. 첫 번째는 제작된 Mesh Hole의 직경이 너무 크기 때문에 평균자유행정이 약 10~20 μ m인 전자가 제면을 통해 확산되지 못하고 전자의 이동거리가 평균자유행정보다 훨씬 길어져 전자는 메쉬 전극에 도달하지 못하고 도중에 TiO₂층의 홀 영역 (hole capture)에 갇혀 확산이 방해되거나, 전해질 내에 흡수되어 결과적으로 전류밀도가 감소하게 되는 것이다. 두 번째로는 두 전극간 스페이서 역할을 위해 삽입한 멤브레인 필터가 작업전극의 후면에 위치해 활성 영역이 제한되어 전류밀도가 감소하게 되는 것이다. 이 두 가지 문제를 해결하기 위해서는 앞으로 메쉬전극의 전기 전도성을 최대한 하는 최적의 Mesh 두께 조건을 명확히 하는 연구가 진행되어야 하며, 이를 위해 화학적 혹은 기계적 방법, 그리고 wire를 사용하여 두께를 제어하는 방법 등이 검토되어야 할 것이다. 그리고 멤브레인 필터를 삽입 시 활성면적을 고려해 가운데 부분을 제거 하고 두 전극간 스페이서 역할만을 할 수 있도록 제작하여 전류밀도를 높일 수 있도록 해야 할 것이다. 그 외에도 효율을 향상시킬 수 있는 방법을 도입하여 광전류밀도와 fill factor를 개선하는 연구를 진행할 예정이다.

REFERENCES

- [1] B. O. Regan, M. Gratzel, "A low cost, high-efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO₂ films", Nature, vol. 353, p. 737-740, October 1991.
- [2] T. Kato and S. Hayase, "Quasi-Solid Dye Sensitized Solar Cell with Straight Ion Paths", J. Electrochem. Soc., Vol.154, Issue.1, pp.B117-B121, 2007