

	(19) 대한민국특허청(KR) (12) 공개특허공보(A)	(11) 공개번호 10-2013-0014792 (43) 공개일자 2013년02월12일
(51) 국제특허분류(Int. Cl.) H01B 1/20 (2006.01) H01B 1/02 (2006.01) H01B 1/04 (2006.01) H01L 31/042 (2006.01)	(71) 출원인 충남대학교산학협력단 대전광역시 유성구 대학로 99 (궁동, 충남대학교)	
(21) 출원번호 10-2011-0076462	(72) 발명자 최호석 대전광역시 유성구 어은로 57, 123동 404호 (어은동, 한빛아파트)	
(22) 출원일자 2011년08월01일 심사청구일자 2011년08월01일	다오반 드영 대전광역시 유성구 대학로 99, 화학공학과 공대 1호관 150호 (궁동, 충남대학교)	
	(74) 대리인 특허법인다나	

전체 청구항 수 : 총 11 항

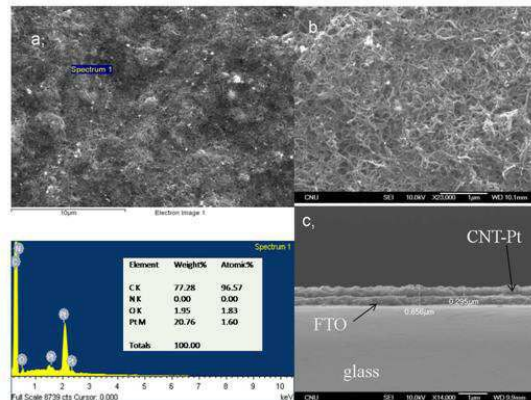
(54) 발명의 명칭 **염료 감응 태양 전지의 상대 전극용 탄소나노튜브/금속 복합 페이스트 조성물**

(57) 요약

본 발명은 염료감응 태양 전지의 상대 전극용 탄소나노튜브/금속 복합 페이스트 조성물, 상기 조성물을 이용하여 기판 상측에 코팅하고 열처리 함으로써 형성되는 염료감응 태양 전지용 탄소나노튜브/금속 복합 상대전극, 및 상기 탄소나노튜브/금속 복합 상대 전극을 포함하는 염료감응 태양전지에 관한 것이다.

본 발명에 따른 탄소나노튜브/금속 복합 페이스트 조성물로부터 제조되는 탄소나노튜브/금속 복합 전극을 염료 감응 태양 전지의 상대 전극으로 사용함으로써 태양전지의 효율을 향상시킬 수 있다.

대표도 - 도1



이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호 2011-1229

부처명 중소기업청

연구사업명 산학연공동기술개발사업

연구과제명 염료감응 태양전지 상대전극용 전도성 나노도료 개발

주관기관 충남대학교 산학협력단

연구기간 2010.06.01 ~ 2012.05.31

특허청구의 범위

청구항 1

페이스트 100 중량부에 대해 80 내지 95 중량부의 용매, 1 내지 20 중량부의 탄소나노튜브/금속 및 0.5 내지 5 중량부의 결합제를 포함하는 염료 감응 태양 전지의 상대전극용 탄소나노튜브/금속 복합체 페이스트 조성물.

청구항 2

제 1항에 있어서, 상기 금속은 백금, 금, 은, 텅스텐 또는 바나듐인 것을 특징으로 하는 염료 감응 태양 전지의 상대전극용 탄소나노튜브/금속 복합체 페이스트 조성물.

청구항 3

제 1항에 있어서, 상기 용매는 테트라하이드로퓨란(tetrahydrofuran: THF), N,N-디메틸포름아미드(N,N-dimethylformamide: DMF), 헥산(hexane), 에탄올, 물(탈이온수), 이소프로필 알코올, 톨루엔, 글리세린, 에틸렌 글리콜, 1,3-부탄디올 및 테르피네올(terpineol)로 이루어진 군에서 선택되는 것임을 특징으로 하는 염료 감응 태양 전지의 상대전극용 탄소나노튜브/금속 복합체 페이스트 조성물.

청구항 4

제 1항에 있어서, 결합제는 에틸 셀룰로오스, 에폭시 수지, 폴리에스테르, 아크릴 수지, 페놀 수지, 폴리에틸렌 글리콜(PEG), 폴리옥시에틸렌 트리데실에테르(POETE), 테플론, 브로모포름, 미네랄오일 및 글래스 프리트로 이루어진 군에서 선택되는 것임을 특징으로 하는 염료 감응 태양 전지의 상대전극용 탄소나노튜브/금속 복합체 페이스트 조성물.

청구항 5

페이스트 100 중량부에 대해 80 내지 95 중량부의 용매, 1 내지 20 중량부의 탄소나노튜브/금속 및 0.5 내지 5 중량부의 결합제를 혼합하여 탄소나노튜브/금속 복합 페이스트 조성물을 수득하는 단계;

상기 탄소나노튜브/금속 복합 페이스트 조성물을 기판 상측에 코팅시키고 열처리하는 단계; 를 포함하는 염료 감응 태양 전지의 탄소나노튜브/금속 복합 상대 전극의 제조방법.

청구항 6

제 5항에 있어서, 상기 금속은 백금, 금, 은, 텅스텐 또는 바나듐인 것을 특징으로 하는 염료 감응 태양 전지의 탄소나노튜브/금속 복합 상대 전극의 제조방법.

청구항 7

제 5항에 있어서, 상기 용매는 테트라하이드로퓨란(tetrahydrofuran: THF), N,N-디메틸포름아미드(N,N-dimethylformamide: DMF), 헥산(hexane), 에탄올, 물(탈이온수), 이소프로필 알코올, 톨루엔, 글리세린, 에틸렌 글리콜, 1,3-부탄디올 및 테르피네올(terpineol)로 이루어진 군에서 선택되는 것임을 특징으로 하는 염료 감응 태양 전지의 탄소나노튜브/금속 복합 상대 전극의 제조방법.

청구항 8

제 5항에 있어서, 결합제는 에틸 셀룰로오스, 에폭시 수지, 폴리에스테르, 아크릴 수지, 페놀 수지, 폴리에틸렌 글리콜(PEG), 폴리옥시에틸렌 트리데실에테르(POETE), 테플론, 브로모포름, 미네랄오일 및 글래스 프리트로 이루어진 군에서 선택되는 것임을 특징으로 하는 염료 감응 태양 전지의 탄소나노튜브/금속 복합 상대 전극의 제조방법.

청구항 9

제 5항에 있어서, 상기 코팅은 닥터블레이드법, 스크린프린팅법, 스프레이법, 스핀코팅법, 페인팅법, 딥핑법 중의 하나에 의해 구현되는 것을 특징으로 하는 염료 감응 태양 전지의 탄소나노튜브/금속 복합 상대 전극의 제조

방법.

청구항 10

제 5항에 있어서, 상기 열처리는 20~50분 동안 200~400 °C에서 열처리하는 것을 특징으로 하는 염료 감응 태양 전지의 탄소나노튜브/금속 복합 상대 전극의 제조방법.

청구항 11

광감응 염료층을 포함하는 광전극, 상기 광전극에 대향하는 제 5항 내지 제 10항 중 어느 한 항의 제조방법에 의해 제조된 염료 감응 태양 전지용 탄소나노튜브/금속 복합 상대 전극, 및 상기 광전극과 상기 상대 전극 사이에 위치하는 전해질을 포함하는 염료 감응 태양전지.

명세서

기술 분야

[0001] 본 발명은 염료감응 태양 전지의 상대 전극용 탄소나노튜브/금속 복합 페이스트 조성물, 상기 조성물을 이용하여 기판 상층에 코팅하고 열처리 함으로써 형성되는 염료감응 태양 전지용 탄소나노튜브/금속 복합 상대전극, 및 상기 탄소나노튜브/금속 복합 상대 전극을 포함하는 염료감응 태양전지에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 2009년부터 2030년까지 전 세계가 연간 소비하는 에너지량은 70% 이상 증가할 것으로 예상되며, 이에 따른 화석 연료 등의 기존 에너지의 고갈로 인해 전세계적으로 에너지 확보 경쟁이 이어지고 있다.

[0003] 이러한 에너지 확보 경쟁을 바탕으로 지속적인 영구에너지 기술 개발이 수행되어 최근 태양 에너지를 에너지원으로서 사용하는 염료 감응 태양 전지(Dye Sensitized solar cell, DSCs)가 개발되었다.

[0004] 일반적으로, 염료감응형 태양전지는 염료의 태양광 흡수 능력을 이용하여 화학적으로 발전을 일으키는 태양전지의 일종으로, 유리 기판 위에 음극, 염료, 전해질, 상대전극, 투명 도전성 전극 등을 구비하고 있다. 음극은 나노(nano) 다공질막의 형태로 존재하는 TiO_2 , ZnO , SnO_2 와 같은 넓은 밴드갭을 가진 n형 산화물 반도체로 구성되어 있고, 이 표면에 단분자 층의 염료가 흡착되어 있다. 태양광이 태양전지에 입사되면, 염료 속의 페르미 에너지 부근의 전자가 태양에너지를 흡수하여 전자가 채워지지 않은 상위 준위로 여기된다. 이때 전자가 빠져나간 하위 준위의 빈 자리는 전해질 속의 이온이 전자를 제공함으로써 다시 채워진다. 염료에 전자를 제공한 이온은 양극인 상대전극으로 이동하여 전자를 제공받게 된다. 이때 양극부의 상대전극은 전해질 속에 있는 이온의 산화 환원 반응의 촉매로 작용하여 표면에서의 산화환원 반응을 통하여 전해질 속의 이온에 전자를 제공하는 역할을 한다. 이러한 상대전극의 작용을 만족시키기 위하여 종래의 염료감응형 태양전지에서의 상대전극으로는 촉매작용이 우수한 백금박막을 주로 사용하고 있으며, 백금과 특성이 비슷한 팔라듐, 은, 금 등의 귀금속과 카본블랙, 그래파이트와 같은 탄소계 전극을 사용하기도 한다.

[0005] 그런데, 백금전극은 높은 전기 전도도와 우수한 촉매특성을 지니고 있으나 가격이 고가이고, 촉매 작용이 일어나는 표면적을 높이는 데 한계가 있어 전지 전체의 촉매 반응속도를 높이는데 한계가 있다. 탄소계 전극의 경우는 가격이 저가이고, 표면적을 백금보다 높이는 것은 가능하나 백금보다 촉매반응 속도가 나쁘기 때문에 태양전지의 효율을 떨어뜨리는 단점이 있다. 이에 따라 모듈이 대면적화 하면서 가격이 저렴하면서도, 표면적과 전기 전도도가 높은 새로운 촉매 상대전극이 필요하다.

[0006] 또한 기존의 백금 전극의 경우, 기판으로 세라믹과 같은 절연체 기판을 사용하면, 전지가 요구하는 전기전도도를 만족하기 위하여 두꺼운 막으로 제작하여야 하고, 이 경우 고 비용이 들기 때문에, 현실적으로 기판을 절연성 물질로 사용하는 것이 불가능하다.

[0007] 또한, 태양전지의 모듈을 대면적으로 제작 시, 기존의 백금전극의 경우, 대형 스퍼터링 장치와 같은 고가 장비를 사용하거나, 고가의 백금 화합물을 사용하여 스크린 프린팅방법으로 제작하여야 하므로, 제작 경비의 부담이 커서, 경제성이 낮아지게 된다.

[0008] 이러한 문제점을 해결하기 위한 것으로, 상대전극으로써 탄소나노튜브의 사용에 대한 연구가 대두 되고 있으며,

탄소나노튜브의 뛰어난 전기전도도 특성과, 넓은 표면적의 특성에 의해 상대전극의 전해질/전극 계면에서의 전해질의 산화환원 반응에 대한 촉매작용을 향상시키고, 상대전극 표면에서의 전자 전달 속도를 높이는 특징을 가지고 있다.

- [0009] 그러나 종래의 탄소나노튜브 전극에 대한 연구는 단순히 염료감응형 태양전지의 상대전극으로써 탄소나노튜브를 재료로써 사용할 수 있다는 것이며, 이에 대한 구체적인 기술이 나와 있지 않을뿐더러, 이러한 탄소나노튜브를 종래의 투명한 기판 상층에 코팅시켜 실제 사용을 해보면, 투명한 기판과 기판 상층에 형성된 탄소나노튜브층과의 접착력이 그다지 높지 않아, 기판 상에 코팅된 후에도 탄소나노튜브층이 기판으로부터 분리되거나 흐르는 등 상대전극의 수명이 단축되는 현상을 초래하며, 결과적으로 염료감응형 태양전지의 효율을 떨어뜨리는 문제점이 있다.

선행기술문헌

특허문헌

- [0010] (특허문헌 0001) 국내 등록특허 10-0806678

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0011] 이에 본 발명은 염료감응 태양 전지의 상대 전극용 탄소나노튜브/금속 복합 페이스트 조성물, 상기 조성물을 이용하여 기판 상층에 코팅하고 열처리함으로써 형성되는 염료감응 태양 전지용 탄소나노튜브/금속 복합 상대 전극, 및 상기 탄소나노튜브/금속 복합 상대 전극을 포함하는 염료감응 태양전지를 제공하고자 한다.

과제의 해결 수단

- [0012] 본 발명은 페이스트 100 중량부에 대해 80 내지 95 중량부의 용매, 1 내지 20 중량부의 탄소나노튜브/금속 및 0.5 내지 5 중량부의 결합제를 포함하는 염료 감응 태양 전지의 상대전극용 탄소나노튜브/금속 복합체 페이스트 조성물에 관한 것이다.
- [0013] 또한, 본 발명은 페이스트 100 중량부에 대해 80 내지 95 중량부의 용매, 1 내지 20 중량부의 탄소나노튜브/금속 및 0.5 내지 5 중량부의 결합제를 혼합하여 탄소나노튜브/금속 복합 페이스트 조성물을 수득하는 단계;
- [0014] 상기 탄소나노튜브/금속 복합 페이스트 조성물을 기판 상층에 코팅하고 열처리하는 단계;를 포함하는 염료 감응 태양 전지의 탄소나노튜브/금속 복합 상대 전극의 제조방법에 관한 것이다.
- [0015] 또한, 본 발명은 광감응 염료층을 포함하는 광전극, 상기 광전극에 대향하는 상기 염료 감응 태양 전지용 탄소나노튜브/금속 복합 상대 전극, 및 상기 광전극과 상기 상대 전극 사이에 위치하는 전해질을 포함하는 염료 감응 태양전지에 관한 것이다.

발명의 효과

- [0016] 본 발명에 따른 탄소나노튜브/금속 복합 페이스트 조성물로부터 제조되는 탄소나노튜브/금속 복합 전극을 염료 감응 태양 전지의 상대 전극으로 사용함으로써 태양전지의 효율을 향상시킬 수 있다.
- [0017] 또한, 본 발명의 염료 감응 태양 전지의 상대 전극용 탄소나노튜브/금속 복합 상대 전극은 고전기전도도 특성 및 우수한 기판 접착력으로 인해 다른 보조 전극 없이 자체적으로 촉매역할을 하면서도, 전기전달용 전극으로도 사용이 가능하므로, 고가의 투명 전도성막을 지닌 기판을 사용하지 않아도 되므로 비용이 절감될 것이다.

도면의 간단한 설명

- [0018] 도 1은 FTO 유리 기판 위에 코팅된 CNT-Pt의 FESEM 이미지를 나타낸다. (a) SEM 및 EDS, (b) 고 배율의 SEM 이미지, (c) 코팅된 층의 횡단면 뷰를 나타낸다.

도 2는 CNT-Pt 층으로 제조된 At0, At1, At2, At3 formulas 및 Pt 기반의 상대전극의 DSCs의 광전류-전압의 특징을 나타낸다.

도 3은 상대 전극으로 (a) At0, At1, At2, At3 페이스트로 코팅된 FTO-유리 기판 (b) 종래 Pt-코팅된 FTO-유리를 갖춘 DSCs의 Nyquist plots이다. 상단 삽입 이미지는 관찰된 임피던스 스펙트럼에 적합하게 사용된 등가 회로 다이어그램을 보여준다(Rs: 직렬 저항, Rct1: 상대 전극의 전하 이동 저항, CPE1: 상대 전극의 일정한 위상 요소, Rct2: 작업 전극의 전하 이동 저항, CPE2: 작업 전극의 일정한 위상 요소 및 Ws: 와버그 임피던스).

도 4는 CNT-Pt 층으로 제조된 Bt0, At1, Bt1 formulas 및 종래 Pt 기반의 상대전극의 DSCs의 광전류-전압의 특징을 나타낸다.

도 5는 상대 전극으로 (a) Bt0, At1, Bt1 페이스트로 코팅된 FTO-유리 기판 (b) 종래 Pt-코팅된 FTO-유리를 갖춘 DSCs의 Nyquist plots이다. 상단 삽입 이미지는 관찰된 임피던스 스펙트럼에 적합하게 사용된 등가 회로 다이어그램을 보여준다(Rs: 직렬 저항, Rct1: 상대 전극의 전하 이동 저항, CPE1: 상대 전극의 일정한 위상 요소, Rct2: 작업 전극의 전하 이동 저항, CPE2: 작업 전극의 일정한 위상 요소 및 Ws: 와버그 임피던스).

도 6은 CNT-Pt 층으로 제조된 Ct0, At1, Ct1, Ct2 formulas 및 종래 Pt 기반의 상대전극의 DSCs의 광전류-전압의 특징을 나타낸다.

도 7은 상대 전극으로 (a) Ct0, At1, Ct1, Ct2 페이스트로 코팅된 FTO-유리 기판 (b) 종래 Pt-코팅된 FTO-유리를 갖춘 DSCs의 Nyquist plots이다. 상단 삽입 이미지는 관찰된 임피던스 스펙트럼에 적합하게 사용된 등가 회로 다이어그램을 보여준다(Rs: 직렬 저항, Rct1: 상대 전극의 전하 이동 저항, CPE1: 상대 전극의 일정한 위상 요소, Rct2: 작업 전극의 전하 이동 저항, CPE2: 작업 전극의 일정한 위상 요소 및 Ws: 와버그 임피던스).

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0019] 본 발명은 염료 감응 태양 전지의 상대전극용 탄소나노튜브/금속 복합체 페이스트 조성물에 관한 것이다. 보다 구체적으로,
- [0020] 페이스트 100 중량부에 대해 80 내지 95 중량부의 용매, 1 내지 20 중량부의 탄소나노튜브/금속 및 0.5 내지 5 중량부의 결합제를 포함하는 염료 감응 태양 전지의 상대전극용 탄소나노튜브/금속 복합체 페이스트 조성물에 관한 것이다.
- [0021] 상기 탄소나노튜브는 활성 탄소나 흑연, 다이아몬드와 같은 다른 탄소계 물질과는 달리 전기 전도성이 매우 우수하고 전계 방출 특성이 양호한 특징을 지니고 있다. 이러한 특징은 구조에 따라 탄소의 전자구조가 다르기 때문인데, 즉 전기 전도성이 우수한 흑연 속의 탄소는 sp² 결합구조를 지니고 있고, 절연체인 다이아몬드는 sp³ 결합구조를 지니고 있다, 그런데, 탄소나노튜브는 sp²~sp³의 중간 상태의 결합을 하고 있기 때문에, 흑연과 같이 금속과 유사한 만큼의 높은 전기 전도도에서 반도체에 해당하는 보다 낮은 전기 전도도까지 다양한 전기전도도 특성을 지닌다.
- [0022] 일반적으로 탄소나노튜브를 대량 생산하게 되면 반도체 탄소나노튜브와 금속성 탄소나노튜브가 섞이게 된다. 필요에 따라 이들 다른 탄소나노튜브를 분리하는 공정이 필요하지만, 본 발명에서는 두 종류가 혼합된 상태의 탄소나노튜브를 사용하여도 무방하므로 분리 정제의 공정이 필요가 없이, 저가의 탄소나노튜브를 사용할 수 있다. 또한 상기 탄소나노튜브는 벌크에 비해 1000 배 이상의 높은 표면적을 가지는 다공질 상태를 이루므로, 전기화학적 장치에 있어서 산화환원 반응을 위한 표면적이 극대화되어 촉매의 총 반응량을 크게 상승시켜 전기화학적 장치의 효율을 향상시킬 수 있다.
- [0023] 본 발명의 탄소나노튜브/금속이란 탄소나노튜브위에 도입된 기능성관능기와 금속나노입자들이 화학적으로 결합하여 일체화된 물질을 말하는 것으로서, 고분자물질을 사용하여 탄소나노튜브와 금속나노입자들을 각각 혼합한 기존의 특허에 비하여 전기전도도 및 촉매활성이 우수한 장점을 가지고 있다.
- [0024] 상기 용매는 테트라하이드로퓨란(tetrahydrofuran: THF), N,N-디메틸포름아미드(N,N-dimethylformamide: DMF), 헥산(hexane), 에탄올, 물(탈이온수), 이소프로필 알코올, 톨루엔, 글리세린, 에틸렌글리콜, 1,3-부탄디올 및 테르피네올(terpineol)로 이루어진 군에서 선택될 수 있으며, 상기 용매는 비교적 저렴하며 탄소나노튜브와 분산성이 우수한 테르피네올(terpineol)을 사용할 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0025] 상기 금속은 백금, 금, 은, 텅스텐, 바나듐 중 하나 이상 일 수 있으며, 상기 결합제는 상기 용매에 용해되어 탄소나노튜브의 결합력을 향상시키기 위한 재료를 사용할 수 있으며, 구체적으로, 에틸 셀룰로오스, 에폭시 수지, 폴리에스테르, 아크릴 수지, 페놀 수지, 폴리에틸렌글리콜(PEG), 폴리옥시에틸렌 트리데실에테르(POETE), 테플론, 브로모포름, 미네랄오일 및 글래스 프리트로 이루어진 군에서 선택될 수 있으며, 본 발명에서는 에틸

셀룰로오스일 수 있다.

- [0026] 이상과 같이, 본 발명에 따른 염료 감응 태양 전지의 상대 전극용 탄소나노튜브/금속 복합 페이스트 조성물은 탄소나노튜브/금속 복합체의 우수한 전기적, 열적 및 기계적 특성 등의 물리적 특성을 구현할 수 있으며, 이를 통해 탄소나노튜브/금속 복합체를 산업 소재 중 하나인 전극으로서 응용할 수 있도록 한다.
- [0027] 또한, 본 발명은 상기 탄소나노튜브/금속 복합체 페이스트 조성물을 기판 상측에 코팅하고 열처리함으로써 형성되는 염료 감응 태양 전지용 탄소나노튜브/금속 복합 상대 전극에 관한 것이다.
- [0028] 여기에서 기판은 종래의 도전성 기판, 고가의 투명 전도막이 코팅되어 있는 전도성 유리기판(FTO, ITO)이나 전도성 플라스틱, 저가의 도전성이 없는 유리기판, 알루미늄기판, 세라믹기판을 포함하는 절연성 기판 등 종래의 모든 기판이 이에 해당될 수 있다.
- [0029] 또한, 본 발명은 페이스트 100 중량부에 대해 80 내지 95 중량부의 용매, 1 내지 20 중량부의 탄소나노튜브/금속 및 0.5 내지 5 중량부의 결합제를 혼합하여 탄소나노튜브/금속 복합 페이스트 조성물을 수득하는 단계;
- [0030] 상기 탄소나노튜브/금속 복합 페이스트 조성물을 기판 상측에 코팅하고 열처리하는 단계;를 포함하는 염료 감응 태양 전지의 상대 전극용 탄소나노튜브/금속 복합 상대 전극의 제조방법에 관한 것이다.
- [0031] 상기 탄소나노튜브/금속 복합 페이스트 조성물의 형성 방법은 종래의 볼밀링법(ball milling) 그라인딩법(grinding), 3롤밀링법(3 roll milling), 고에너지볼밀링법(high ball milling) 중에 사용목적에 따라 적어도 하나를 선택하여 사용할 수 있다.
- [0032] 상기 탄소나노튜브/금속 복합 페이스트 조성물을 기판 상측에 코팅 방법은, 닥터블레이드법(doctor blade), 스크린프린팅법(screen printing), 스프레이법(spray), 스핀코팅법(spin coating), 페인팅법(painting), 딥핑법(dipping) 중의 하나에 의해 구현되며, 사용목적에 따라 선택하여 사용할 수 있으며, 상기 열처리는 20~50분 동안 200~400 °C에서, 25~35분 동안 250~350°C에서 열처리 할 수 있다.
- [0033] 또한, 본 발명은 광감응 염료층을 포함하는 광전극, 상기 광전극에 대향하는 상기 염료 감응 태양 전지용 탄소나노튜브/금속 복합 상대 전극, 및 상기 광전극과 상기 상대 전극 사이에 위치하는 전해질을 포함하는 염료 감응 태양전지에 관한 것이다.
- [0034] 상기 염료 감응 태양전지는 본 발명에 따른 탄소나노튜브/금속 복합 페이스트 조성물로부터 제조되는 탄소나노튜브/금속 복합 전극을 염료 감응 태양 전지의 상대 전극으로 사용함으로써 태양전지의 효율을 향상시킬 수 있다.

- [0035] 이하, 본 발명의 이해를 돕기 위하여 실시예를 들어 상세하게 설명하기로 한다. 다만 하기의 실시예는 본 발명의 내용을 예시하는 것일 뿐 본 발명의 범위가 하기 실시예에 한정되는 것은 아니다. 본 발명의 실시예는 당업계에서 평균적인 지식을 가진 자에게 본 발명을 보다 완전하게 설명하기 위해 제공되는 것이다.

[0036] <실시예>

- [0037] 탄소나노튜브/백금 페이스트는 테르피네올(terpineol) 용액에 탄소나노튜브/백금을 혼합함으로써 제조하였고, 결합제(binder)로서 에틸 셀룰로오스(ethyl cellulose, EC)를 첨가하였다. 모든 시약은 시그마사에서 구입하였다. 탄소나노튜브/백금을 모두 혼합한 후에, 3롤 밀링(three roll milling)안에 첨가되었고, 검은색 탄소나노튜브/백금 페이스트를 얻었다. 탄소나노튜브/백금 페이스트를 위한 모든 formulas는 DSCs의 상대전극을 위해 준비되었다. 하기 표 1, 2, 3에는 탄소나노튜브/백금 페이스트를 위한 에틸 셀룰로오스 결합제, 테르피네올, 탄소나노튜브/백금의 위한 최적의 양을 나타낸다.

표 1

Formula	CNT-Pt (mg)	terpineol (mg)	EC (mg)
At0	100	900	5
At1	100	900	10
At2	100	900	20
At3	100	900	50

[0038]

표 2

Formula	CNT-Pt (mg)	terpineol (mg)	EC (mg)
Bt0	100	500	10
At1	100	900	10
Bt1	100	1900	10

[0039]

표 3

Formula	CNT-Pt (mg)	terpineol (mg)	EC (mg)
Ct0	200	900	10
At1	100	900	10
Ct1	50	900	10
Ct2	10	900	10

[0040]

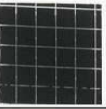
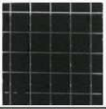
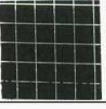
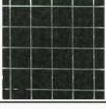
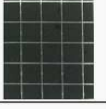
[0041] Brookfield viscometer DV- II pro를 가진 S#34 spindle을 사용함으로써 측정된 페이스트의 점도는 1,800cp보다 높았고, 코팅된 FTO-유리 기판을 닥터블레이드(doctor blade)에 의해 쉽게 얻었다. 점도의 결과는 표 4 내지 표 6에 나타내었다.

[0042] 탄소나노튜브/백금(CNT-Pt) 필름은 닥터블레이드(doctor blade)에 의해 FTO-유리 기판 위에서 CNT-Pt 페이스트를 코팅함으로써 제조되었고, 결합제를 제거할 뿐만 아니라 공기 중에서 30분 동안 300 °C로 열을 가함으로써 소성하였다. FTO-유리는 전해질을 주입하기 위한 두 개의 작은 구멍을 가지고 있다. 탄소나노튜브/백금 층의 두께는 FESEM (JEOL JSM-7000F)를 통해서 층의 횡단면 뷰를 통해서 측정하였다.

[0043] 탄소나노튜브/백금층의 부착성 시험은 Scotch tape (Elcometer 107)를 사용함으로써, ASTM D3359-B에 의해 실행되었다. 모든 formula에서 5B를 얻었고, 이는 cuts의 가장자리는 완전히 매끄럽고, 사각형의 격자(lattice of squares)가 여전히 붙어 있음을 의미하였다. 따라서, 탄소나노튜브/백금이 코팅된 상대전극은 좋은 기계적 안정

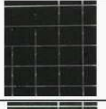
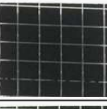
성을 보였다. 부착성 테스트 결과는 표 4 내지 표 6에 나타내었다. 하기 표 4 내지 표 6은 각각 결합제의 양, thinner 의 양, CNT-Pt 양에 따른 CNT-Pt 페이스트 특성을 나타낸다.

표 4

Formula	At0	At1	At2	At3
Before testing				
After testing				
Estimated ASTM D3359-B	5B	5B	5B	5B
Viscosity, cP	>160E3	>160E3	>160E3	>160E3

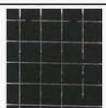
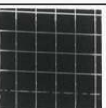
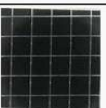
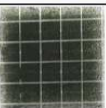
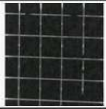
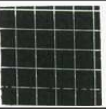
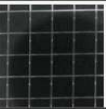
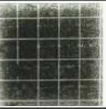
[0044]

표 5

Formula	Bt0	At1	Bt1
Before testing			
After testing			
Estimated ASTM D3359-B	5B	5B	5B
Viscosity, cP	>160E3	>160E3	>160E3

[0045]

표 6

Formula	Ct0	At1	Ct1	Ct2
Before testing				
After testing				
Estimated ASTM D3359-B	5B	5B	5B	5B
Viscosity, cP	>160E3	>160E3	>1.800	1.800

[0046]

- [0047] 도 1은 FTO 유리 기판 위에 코팅된 CNT-Pt의 FESEM 이미지를 나타낸다. 페이스트에 사용된 CNT-Pt는 EDS spectrum (도.1 (a))에 의해 확인할 수 있었다. Pt 피크는 EDS spectrum에서 명확하게 나타났고, EDS spectrum 내에서 삽입 테이블(inset table)은 상대 전극 층의 세부 구성을 나타내었으며, 이는 21 wt% Pt-함유한 CNT로부터 획득하였다. CNT-Pt는 비틀어졌고 도 1b 및 도 1c에 나타났듯이 ~300nm의 두께를 갖는 3D 네트워크 구조를 형성하기 위해 각각 연결이 되었다. CNT-Pt의 기공 구조는 I_3^- 에 좋고, 기공 안으로 쉽게 확산이 되며, 축소되었고 이는 CNT-Pt 상대 전극은 높은 전기적 활성 표면을 공급하는 것으로 나타났다.
- [0048] DSCs의 성능을 테스트하기 위해서 모든 CNT-Pt 페이스트는 FTO-유리 기판 위에서 닥터블레이드(doctor blade)에 의해 코팅되었고, 상기와 같이 30분 동안 300 °C에서 어닐링 되었다. 작업 전극은 TiO_2 페이스트에서 준비되었다: TiO_2 페이스트는 Solaronix, Switzerland에서 구매했다. 먼저, 20nm-사이즈의 TiO_2 입자의 10 μm 두께의 투명 필름을 닥터블레이드(doctor blade)를 사용하여 FTO-유리 기판 위에서 코팅하였다. 15분 동안 450°C 및 15분 동안 500°C에서 건조 공기에서 소결시켰다. 닥터블레이드 전에 FTO 유리를 30분 동안 70°C에서, 40Mm의 $TiCl_4$ 수용액에 침지하였고, TiO_2 층의 소결 이후에 동일하게 처리하였다. 염료 흡착을 위해서, 30분 동안 500°C에서 층을 재가열한 이후에 층을 상온에서 24시간 동안 지시약에 침지하였다.
- [0049] 백금 상대전극은, 대조구조로서, 이소프로판올 안의 10mM H_2PtCl_6 로부터 제조되었다: 백금 촉매는 15분 동안 400 °C에서 열처리로 H_2PtCl_6 용액을 코팅함으로써 FTO 유리 위에 침적되었다. 염료 및 전해질은 다음의 과정으로 준비되었다. 루테늄 그룹의 염료는 Solaronix, Switzerland로부터 구매하였다. N-719 염료는 아세토니트릴(Sigma-Aldrich) 및 tert-부틸 알코올(Aldrich)의 1:1 부피로 혼합된 0.3 mM 용액으로부터 흡수되었다. 전해질은 85: 15의 부피비를 한 아세토니트릴(Sigma-Aldrich) 및 발레로니트릴(valeronitrile) 용액 내에서 0.60 M의 1-메틸-3-부틸 이미다졸리움 요오드화물(Sigma-Aldrich), 0.03 M의 I_2 (Sigma-Aldrich), 0.10 M의 구아니디늄 티오시안산염 (Sigma-Aldrich) 및 0.50 M의 4-tert-부틸피리딘(Aldrich)의 용액이었다.
- [0050] DSCs의 어셈블리는 다음과 같다. 광전극 및 상대전극을 열적 결합 중합체(Surllyn, DuPont)의 60 μm 의 두꺼운 스페이서에 끼어 넣고, 봉인을 위해 열이 가해졌다. 봉인 이후에, 전해질은 상대전극 안의 구멍을 통해서 두 개의 전극 사이에 주입되었고, 그리고 나서 구멍은 쉘린(Surllyn) 및 커버 유리로 봉인 되었다.
- [0051] 광전류-전압(I-V) 곡선의 측정 및 임피던스 스펙트럼은 다음과 같다. 광전류-전압 특성은 IVIUMSTAT로 조명 아래에서 1000 W 수은 기반 Xe 아크 램프 및 AM 1.5 G filters로 구성된 Sun 3000 solar simulator로 측정되었다. 빛의 강도는 실리콘 포토다이오드로 조정하였다. 임피던스 스펙트럼은 컴퓨터로 제어된 일정 전위 IVIUMSTAT로 얻었다. 측정된 주파수 범위는 10 mHz에서 100 kHz였다. 획득한 스펙트럼은 도 3, 도 5 및 도 7의 제안된 등가 회로의 관점에서 Z-View software v3.2c (Scribner Associate, Inc)로 맞추어졌다.
- [0052] 도 2는 페이스트 내에서 다른 양의 에틸 셀룰로오스를 가진 CNT-Pt 페이스트를 사용함으로써 준비된 DSCs을 위한 광전류 밀도 및 전압 사이에서의 곡선을 나타낸다. 짧은 회로 광전류(J_{sc})는 CNT-Pt 페이스트 안의 에틸 셀룰로오스의 양을 0.5 에서 5 wt%로 변화시킴으로써 영향을 받았고, 광전류 밀도 값은 $11.06 \pm 0.13 \text{ mAcm}^{-2}$ 에서 $12.13 \pm 0.16 \text{ mAcm}^{-2}$ 로 변화였다. 개방 회로 전압(V_{oc})은 상대 전극 위의 CNT-Pt 페이스트 층 안에서 에틸 셀룰로오스의 양을 증가시킴으로써 약하게 감소하였다. 충전 인자(fill factor, FF)는 CNT-Pt 페이스트 내에서 에틸 셀룰로오스의 양이 70.07 에서 71.54 %로 증가함에 따라 약하게 증가하였다. 각 각의 formula 에서 I-V 곡선은 CNT-Pt 페이스트 내에서 에틸 셀룰로오스의 양의 증가에 따라 도 2에 나타내었고 해당 셀의 실행은 표 7에 나타내었다. 가장 높은 효율은 At2 formula에서 $7.06 \pm 0.09\%$ 였고, 가장 낮은 효율은 At3 formula에서 $6.30 \pm 0.14\%$ 였고, 반면에 기존의 상대 전극의 경우 $5.58 \pm 0.10\%$ 였다. 하기 표 7은 도 2에서의 DSCs의 Photoelectric performances이다.

표 7

Formula	Jsc (mAcm ⁻²)	Voc(V)	FF	η(%)
At0	11.06 ± 0.13	0.84 ± 0.01	70.07±2.29	6.47±0.13
At1	11.30±0.56	0.82±0.02	70.31±1.38	6.52±0.10
At2	12.13±0.16	0.82±0.01	71.28±0.41	7.06±0.09
At3	10.68±0.29	0.83±0.01	71.54±1.49	6.30±0.14
Pt	10.01±0.13	0.78±0.02	71.81±1.12	5.58±0.10

[0053]

[0054]

Nyquist plots은 페이스트 내에서 다른 양의 에틸 셀룰로오스의 CNT-Pt 층을 갖는 DSCs를 위해서 도 3a 및 3b에 나타냈다. 스펙트라는 도 3a의 삽입 이미지 내에 등가 회로와 일치하였다. 회로 요소들은 전하이동과 관련된 저항(Rct), 일정한 위상 요소(CPE), 와버그 임피던스 (Warburg impedance(W), 및 직렬 저항 (series resistance, Rs)으로 구성되어 있다. Rct는 경계면에서 전자 전달 저항이다. CPE는 계면 정전 용량을 반영하고, Nyquist plot 내에서 전극의 조도를 고려할 때, ellipse로 반원의 감소의 원인(causing a depression of the semicircle to an ellipse)이 된다. CPE의 임피던스는 $Z_{CPE} = A(j\omega)^{-\alpha}$ 로 묘사된다. A ($A=(CPE1-T)^{-1}$) 및 α ($\alpha=CPE1-P$)는 CPE의 주파수 독립적인 매개변수다. Semicycle이 감소한다면 α 는 0에 가깝게 된다. exact semicircle은 $\alpha = 1$ 이 되어야 하고, CPE behaving은 간단한 커패시터와 비슷하다. α 는 CPE의 전기용량을 나타내고 semicircle로 부터의 탈선은 아마도 전극 표면의 다공성에 기인한다. W는 전해질 내에서 유한 확산 길이를 의미하고 Rs은 FTO 층, TiO₂ 층, 반대 전극 층, 및 전해질의 옴 저항을 의미한다.

[0055]

표 8은 CNT-Pt 층, Pt 층 및 TiO₂에서의 전하 이동 저항을 위한 예상 값이고, 또한 모든 경계면을 위한 CPE 매개변수를 나타낸다. 상대 전극을 위한 페이스트 내에서 다른 양의 E.C로 제작된 DSCs은 동일한 작업 전극으로 갖추어 졌다(동일한 과정에 따른 FTO-유리 및 TiO₂로부터 제작). Rs 값 및 TiO₂ 인터페이스를 위한 모든 파라미터들 모두는 표 8에서 보이는 바와 같이 매우 유사하다. 페이스트 내에서의 E.C의 양은 0.30 (At0)에서 0.28 Ωcm² (At2)로 변화 및 최대 0.58 Ωcm² (At3)상대 전극의 전하 이동 전하를 증가 시켰다. 그러나, CNT-Pt 페이스트로부터 만들어진 상대 전극의 전하 이동 전하는 기존의 Pt 상대 전극(2.92 Ωcm²)보다 높다. Rct1의 더 높은 값은 높은 내부 저항을 이끌었고, 낮은 충전 인자 및 셀의 적은 에너지 변환 효율의 결과를 나타냈다(도 2 및 표 7). 높은 Rct1 값은 전기화학적 특성 또는 CNT-Pt 페이스트의 촉매 효율은 Pt 상대 전극 값보다 높았다. 활성 표면적(A)의 증가는 큰 CPE1-T에 의해 획득될 수 있었다. 표 8은 CNT-Pt 전극의 최소 CPE1-T 값은 $2.86 \times 10^{-3} \text{ Fcm}^{-2}$ (At2)을 나타내고, CPE1-T 값의 최대는 $1.14 \times 10^{-1} \text{ Fcm}^{-2}$ (At3)이고, 이는 기존의 Pt 상대 전극으로부터 얻은 $4.35 \times 10^{-5} \text{ Fcm}^{-2}$ 의 값보다 훨씬 크다. 고 다공성 CNT-Pt 층은 또한 Nyquist plot 내에서 depressed semicircle 및 또한 CPE의 낮은 α 수, At1에서 0.62, At2에서 0.59, At0에서 0.39 및 At3에서 0.37 및 Pt 층에서 0.88을 의미한다. 표 4 내지 6에서의 CNT-Pt의 직렬 저항(Rs) 값은 $2.57 \text{ } \Omega\text{cm}^2$ 같은 Pt 값보다 낮다. 이런 결과들은 이번 실험에 대한 해석의 타당성을 입증하면서, 임피던스 특성을 위한 관찰된 트렌드를 확인할 수 있다. 하기 표 8은 상대 전극으로서 기존의 Pt-코팅된 FTO-유리를 가진 DSC의 임피던스 파라미터들 및 도 3 내의 임피던스 스펙트라로부터 측정된 다양한 formula를 위한 CNT-Pt 상대전극 및 도 3a 내에 삽입된 등가 회로를 나타낸다.

표 8

Counter electrode	Rs (Ωcm^2)	Rct1 (Ωcm^2)	CPE1-T (Fcm^{-2})	CPE1-P	Rct2 (Ωcm^2)	Ws1-R	Ws1-T	Ws1-P	CPE2-T (Fcm^{-2})	CPE2-P
At0	2.65	0.56	9.33E-02	0.39	4.45	1.64	0.39	0.5	3.04E-03	0.96
At1	2.53	0.31	2.86E-03	0.62	6.68	1.59	0.38	0.53	2.73E-03	0.92
At2	2.40	0.28	4.90E-03	0.59	4.92	1.89	0.36	0.5	3.16E-03	0.92
At3	2.53	0.58	1.14E-01	0.37	5.04	2.08	0.32	0.48	3.33E-03	0.94
Pt	2.57	2.92	4.35E-05	0.88	4.77	3.08	0.49	0.46	1.43E-03	0.95

[0056]

[0057]

도 8은 페이스트 내에 다른 양의 thinner을 가진 CNT-Pt 페이스트를 사용함으로써 준비된 DSCs를 위한 광전류 밀도 및 전압(I-V) 사이의 곡선을 나타낸다. 짧은 회로 광전류(J_{sc})는 CNT-Pt 페이스트 내의 thinner의 양을 80에서 95 wt%로, 광전류 밀도 값의 범위를 $11.67 \pm 0.11 \text{ mAcm}^{-2}$ 에서 $10.76 \pm 0.31 \text{ mAcm}^{-2}$ 로 변화시킴으로써 약하게 감소하였다. 개방 회로 전압(V_{oc})은 상대 전극 위의 CNT-Pt 페이스트 층 내의 thinner의 양의 증가에 따라 분명하게 증가하였다. 가장 현저한 변화는 충전 인자(FF) 내에서 관찰되었고, 이는 CNT-Pt 페이스트 내 thinner의 양이 66.05에서 71.10%로 증가함에 따라 증가하였다. CNT-Pt 페이스트 내 thinner의 양의 증가를 갖는 각각의 formula에 있어서 I-V 곡선은 도 4에 나타내었고, 이런 셀의 수행은 표 9에 나타냈다. 가장 높은 효율은 At1 formula에서 $6.52 \pm 0.10\%$ 였고, 가장 낮은 효율은 Bt0 formula에서 $6.03 \pm 0.16\%$ 였다. 반면에, Pt 상대 전극으로부터 만들어진 셀에서는 $5.58 \pm 0.10\%$ 였다. 하기 표 9는 도 4의 DSCs의 Photoelectric performances이다.

표 9

Formula	$J_{sc} (\text{mAcm}^{-2})$	$V_{oc} (\text{V})$	FF	$\eta (\%)$
Bt0	11.67 ± 0.11	0.78 ± 0.01	66.05 ± 1.26	6.03 ± 0.16
At1	11.29 ± 0.56	0.82 ± 0.02	70.31 ± 1.38	6.52 ± 0.10
Bt1	10.76 ± 0.31	0.83 ± 0.01	71.10 ± 0.69	6.34 ± 0.08
Pt	10.01 ± 0.13	0.78 ± 0.02	71.81 ± 1.12	5.58 ± 0.10

[0058]

[0059]

Nyquist plots은 페이스트 내에서 다른 양의 thinner의 CNT-Pt 층을 갖는 DSCs를 위해서 도 5a 및 5b에 나타냈다. 스펙트럼은 도 5a에 삽입된 등가 회로에 일치되었다. Rs 값 및 TiO_2 인터페이스를 위한 모든 파라미터들은 표 10에서 보여진 것처럼 매우 유사하였다. 페이스트 내의 thinner의 양이 증가함에 따라 상대 전극의 전하 이동 저항도 0.28 (Bt0)에서 $1.24 \Omega\text{cm}^2$ (Bt1)로 증가하였다. 그러나, CNT-Pt 페이스트로 만들어진 상대 전극의 전하 이동 전하도는 Pt 상대 전극($2.92 \Omega\text{cm}^2$)의 값보다 높았다. Rct1의 높은 값은 높은 내부 저항을 이끌었고, 낮은 충전 인자 및 셀의 적은 에너지 변환 효율의 결과를 얻게 했다(도 4 및 표 9). Rct1의 더 높은 값은 또한 전기 화학적 특성 또는 CNT-Pt 페이스트의 촉매 효율은 Pt 상대 전극 보다 높음을 의미한다. CNT-Pt 페이스트 내의 thinner의 변화와 함께 관찰된 표면적의 증가(CPE1-A index) 및 CPE에 있어서, CPE- α 파라미터의 감소는 명확하게 Pt 상대 전극의 다공성을 반영한다. 페이스트 내의 thinner의 양은 층의 다공성(CPE1- α)에 영향을 준다(표 10). 이런 결과는 임피던스 특성을 위한 관찰된 트렌드에 확증을 해준다. 이하 표 10은 상대 전극으로서 기존의 Pt-코팅된 FTO-유리의 DSSC의 임피던스 파라미터 및 도 5의 임피던스 스펙트라로부터 추정된 다양한 formula를 위한 CNT-Pt 상대전극 및 도 5a에 삽입된 등가회로를 나타낸다.

표 10

Counter electrode	R_s (Ωcm^2)	R_{ct1} (Ωcm^2)	$CPE1-T$ ($F\text{cm}^{-2}$)	$CPE1-P$	R_{ct2} (Ωcm^2)	W_{s1-R}	W_{s1-T}	W_{s1-P}	$CPE2-T$ ($F\text{cm}^{-2}$)	$CPE2-P$
Bt0	2.41	0.28	5.51E-03	0.61	4.56	1.09	0.33	0.54	4.29E-03	0.9
At1	2.53	0.31	2.86E-03	0.62	6.68	1.59	0.38	0.53	2.73E-03	0.92
Bt1	2.63	1.24	8.98E-03	0.39	4.42	1.62	0.5	0.51	3.82E-03	0.93
Pt	2.57	2.92	4.35E-05	0.88	4.77	3.08	0.49	0.46	1.43E-03	0.95

도 6은 CNT-Pt 페이스트를 사용함으로써 페이스트 내의 CNT-Pt 의 다른 양에 갖는 준비된 DSCs를 위한 광전류 밀도 및 전압 (I-V)사이의 곡선을 나타낸다. short-circuit 광전류(J_{sc})는 CNT-Pt 페이스트 내의 CNT-Pt의 양을 1 에서 20 wt%로 광전류 밀도의 값을 $11.29 \pm 0.56 \text{ mAcm}^{-2}$ 에서 $10.39 \pm 0.28 \text{ mAcm}^{-2}$ 로 변화시킴에 의해서 영향을 받지 않았다. CNT-Pt 페이스트 내의 thinner 양의 증가에 따라 개방 회로 전압(V_{oc})은 약하게 증가하였다. 충전 인자(FF)는 CNT-Pt 페이스트 내의 CNT-Pt 양이 70.94 에서 71.46 %로 증가함에 따라 약하게 증가하였다. CNT-Pt 페이스트 내의 thinner 양의 증가에 따른 각 각의 formula 를 위한 I-V 곡선은 도 6에 나타냈고 이런 셀의 수행은 표 11에 열거하였다. 가장 높은 효율은 Ct1 formula에서 $6.58 \pm 0.03\%$ 였고, 가장 낮은 효율은 Ct2 formula에서 $6.19 \pm 0.20\%$ 였으나, 기존의 Pt 상대 전극에서 $5.58 \pm 0.10\%$ 였다. 하기 표 11은 도 6에의 DSCs의 Photoelectric performances이다.

표 11

Formula	$J_{sc} (\text{mAcm}^{-2})$	$V_{oc}(\text{V})$	FF	$\eta(\%)$
Ct0	11.07 ± 0.08	0.81 ± 0.01	70.94 ± 0.68	6.32 ± 0.06
At1	11.29 ± 0.56	0.82 ± 0.02	70.31 ± 1.38	6.52 ± 0.10
Ct1	11.09 ± 0.16	0.82 ± 0.01	72.13 ± 1.01	6.58 ± 0.03
Ct2	10.39 ± 0.28	0.82 ± 0.01	71.46 ± 0.56	6.19 ± 0.20
Pt	10.01 ± 0.13	0.78 ± 0.02	71.81 ± 1.12	5.58 ± 0.10

하기 표 12는 상대 전극으로서 기존의 Pt-코팅된 FTO-유리의 DSSC의 임피던스 파라미터 및 도 7의 임피던스 스펙트럼으로부터 추정된 다양한 formula를 위한 CNT-Pt 상대전극 및 도 7a에 삽입된 등가회로를 나타낸다.

표 12

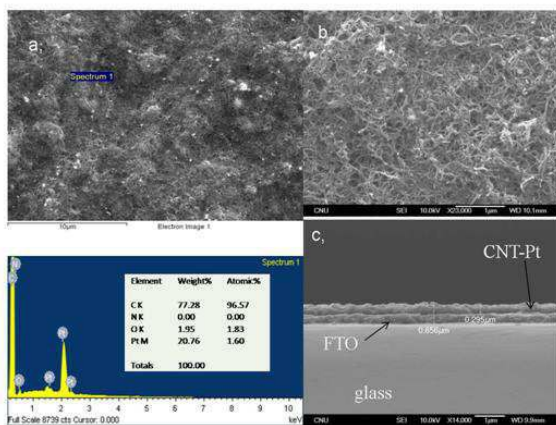
Counter electrode	R_s (Ωcm^2)	R_{ct1} (Ωcm^2)	$CPE1-T$ ($F\text{cm}^{-2}$)	$CPE1-P$	R_{ct2} (Ωcm^2)	W_{s1-R}	W_{s1-T}	W_{s1-P}	$CPE2-T$ ($F\text{cm}^{-2}$)	$CPE2-P$
Ct0	2.54	0.25	1.84E-02	0.56	4.89	1.58	0.32	0.53	3.88E-03	0.92
At1	2.53	0.31	2.86E-03	0.62	6.68	1.59	0.38	0.53	2.73E-03	0.92
Ct1	2.55	0.62	4.29E-02	0.46	4.02	1.67	0.31	0.5	3.47E-03	0.94
Ct2	2.64	1.35	1.24E-03	0.86	4.51	1.79	0.36	0.44	3.27E-03	0.91
Pt	2.57	2.92	4.35E-05	0.88	4.77	3.08	0.49	0.46	1.43E-03	0.95

Nyquist plots은 페이스트 내에서 다른 양의 CNT-Pt을 갖는 CNT-Pt 층의 DSCs를 위해서 도 7a 및 7b에 나타냈다. 스펙트럼은 도 7a에 삽입된 등가 회로에 일치되었다. R_s 값 및 TiO_2 인터페이스를 위한 모든 파라미터들은 표 12에서 보여진 것처럼 매우 유사하였다. 페이스트 내의 CNT-Pt 양이 증가함에 따라 상대 전극의 전하 이동

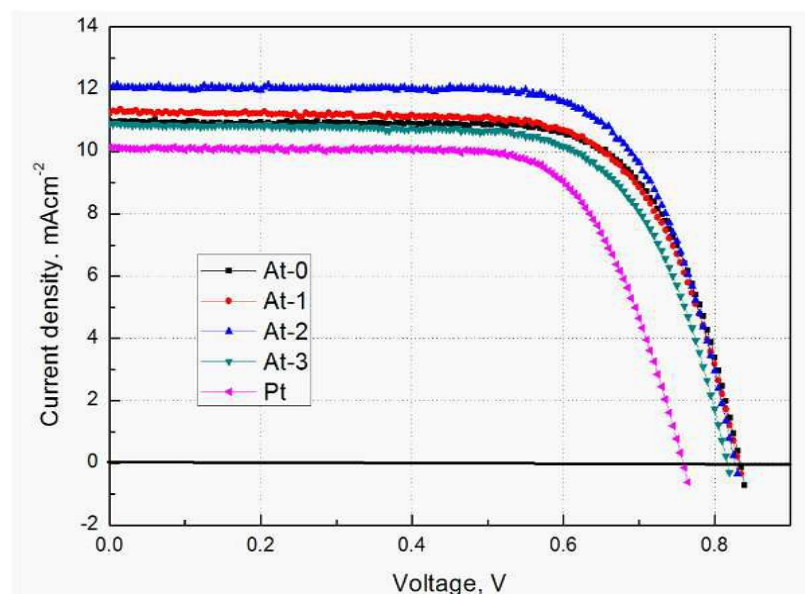
저항도 0.25 (Ct0) 에서 $1.35 \Omega \text{cm}^2$ (Ct2)로 증가하였다. 그러나, CNT-Pt 페이스트로 만들어진 상대 전극의 전하 이동 저항은 Pt 상대 전극($2.92 \Omega \text{cm}^2$)의 값보다 높았다. Rct1 의 높은 값은 높은 내부 저항을 이끌었고, 낮은 충전 인자 및 셀의 적은 에너지 변환 효율의 결과를 얻게 했다(도 6 및 표 11). Rct1 의 더 높은 값은 또한 전기 화학적 특성 또는 CNT-Pt 페이스트의 촉매 효율은 Pt 상대 전극 보다 높음을 의미한다. CNT-Pt 페이스트 내의 CNT-Pt의 변화와 함께 관찰된 표면적의 증가(CPE1-A index) 및 CPE에 있어서, CPE- α 파라미터의 감소는 명확하게 Pt 상대 전극의 다공성을 반영한다. 페이스트 내의 CNT-Pt 양은 층의 다공성(CPE1- α)에 영향을 준다(표 12). 가장 높은 CPE1-A index 및 가장 낮은 CPE1- α index 때문에 활성 표면적의 최적은 페이스트 내의 5 wt%의 CNT-Pt을 가진 Ct1 formula 내에서 획득할 수 있었다.

도면

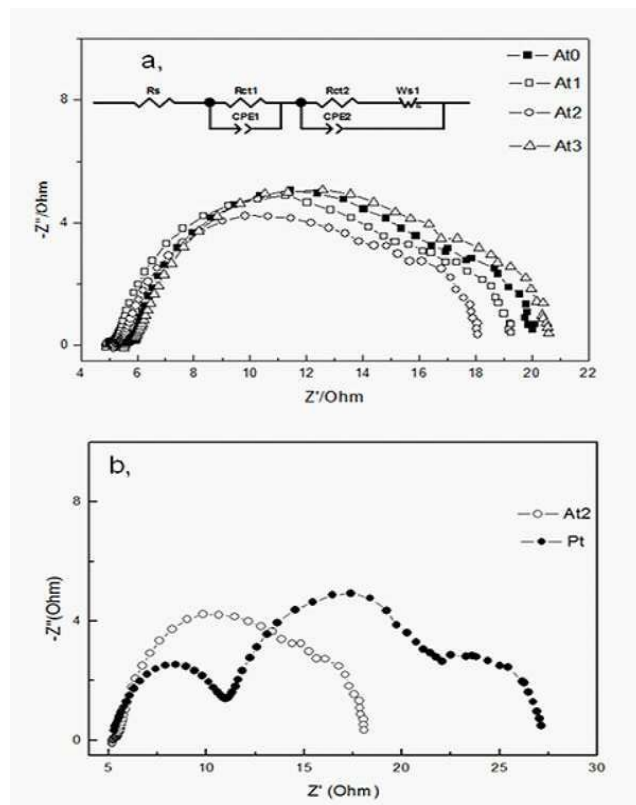
도면1



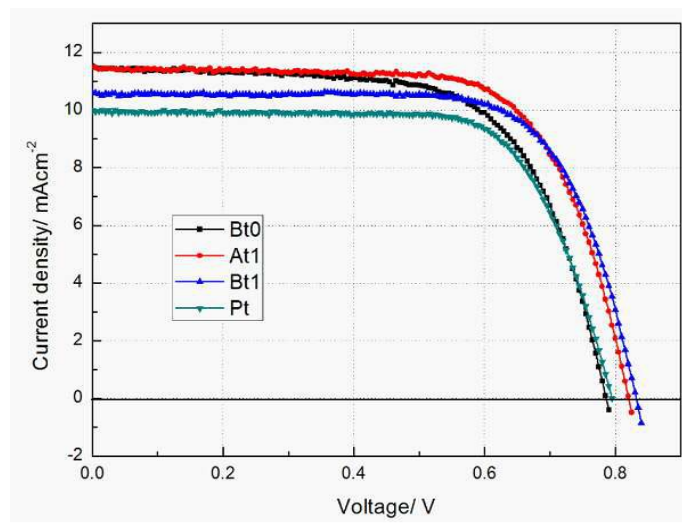
도면2



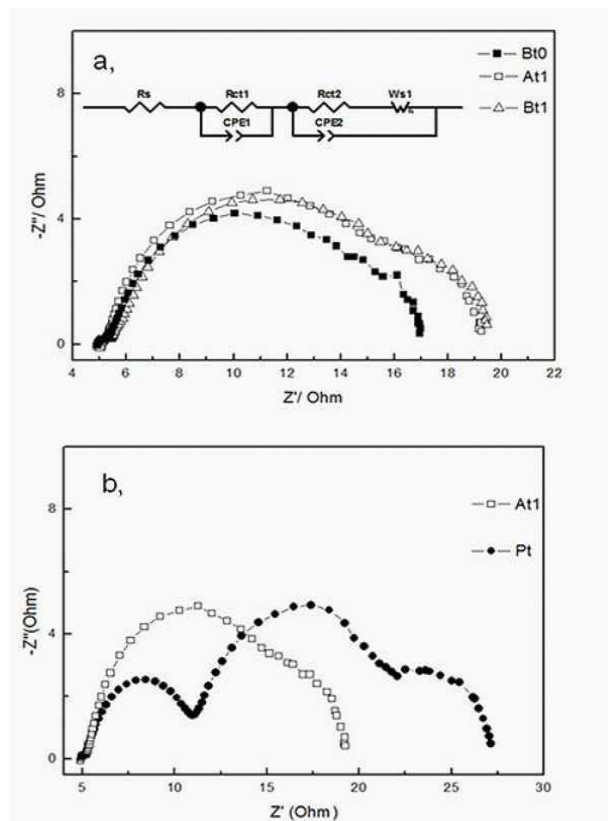
도면3



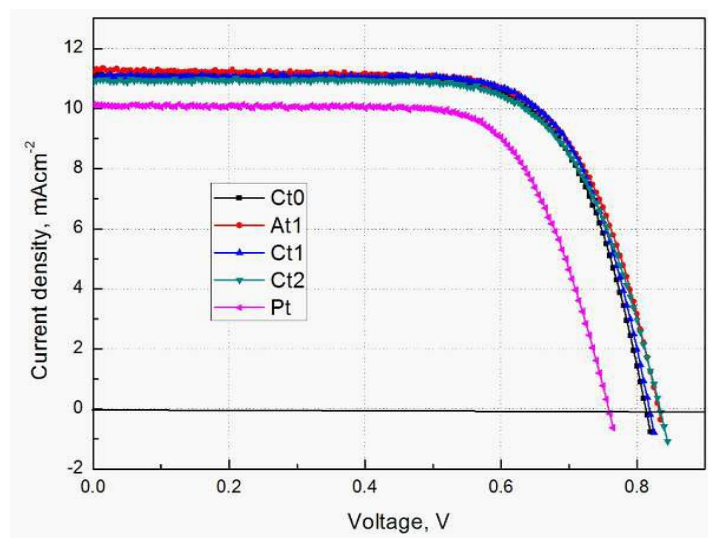
도면4



도면5



도면6



도면7

