(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2010-0125064
(43) 공개일자 2010년11월30일

(51) Int. Cl.
B82B 3/00 (2006.01) *H01L 31/04* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2009-0044077
(22) 출원일자 2009년05월20일
심사청구일자 2009년05월20일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울 성북구 안암동5가 1
(72) 발명자
고재중
충청북도 청주시 흥덕구 가경동 효성아파트 101동 1003호
최현봉
충청북도 청주시 흥덕구 복대1동 영조아파트1차 101-1002
김덕현
충청남도 연기군 조치원읍 교리 11-1 계룡아파트 1-1205
(74) 대리인
송경근

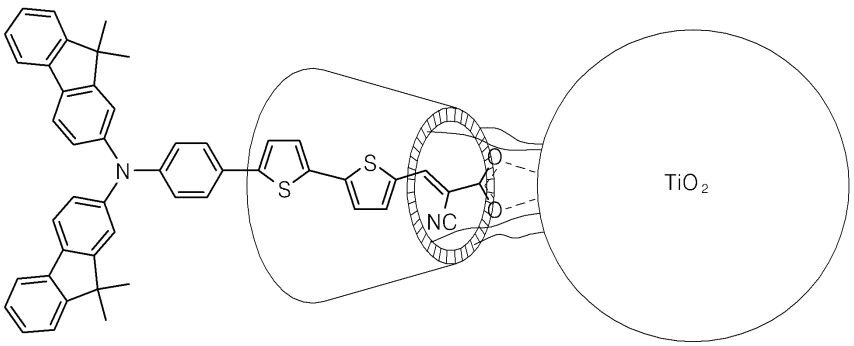
전체 청구항 수 : 총 13 항

(54) 나노입자에 염료를 흡착시키는 방법, 이를 이용한 염료감응 태양전지 제조방법 및 염료감응 태양전지

(57) 요 약

본 발명은 생성된 전자가 재결합되는 것과 염료가 나노입자 표면에서 응집되는 것이 방지되는 나노입자에 염료를 흡착시키는 방법 및 염료감응 태양전지 제조방법, 그리고 이 방법으로 제조된 염료감응 태양전지에 관한 것이다. 본 발명에 따른 나노입자에 염료를 흡착시키는 방법은 나노입자 표면에 고리형 분자구조를 갖는 매크로사이클(macrocycle) 분자를 흡착시킨 후, 염료를 상기 매크로사이클 분자가 흡착되어 있는 나노입자 표면에 흡착시킨다.

대 표 도 - 도2



특허청구의 범위

청구항 1

나노입자 표면에 고리형 분자구조를 갖는 매크로사이클(macrocycle) 분자를 흡착시키는 단계; 및

염료를 상기 매크로사이클 분자가 흡착되어 있는 나노입자 표면에 흡착시키는 단계;를 포함하는 것을 특징으로 하는 나노입자에 염료를 흡착시키는 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

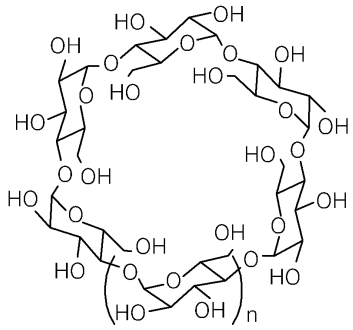
상기 매크로사이클 분자의 고리 내부는 소수성이고, 고리 외부는 친수성인 것을 특징으로 하는 나노입자에 염료를 흡착시키는 방법.

청구항 3

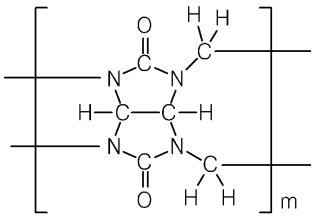
제1항에 있어서,

상기 매크로사이클 분자는 하기 화학식 1의 화합물(사이클로덱스트린, cyclodextrine), 하기 화학식 2의 화합물(커커비투릴, cucurbituril) 및 하기 화학식 3의 화합물로 이루어진 군에서 선택된 1종 이상인 것을 특징으로 하는 나노입자에 염료를 흡착시키는 방법.

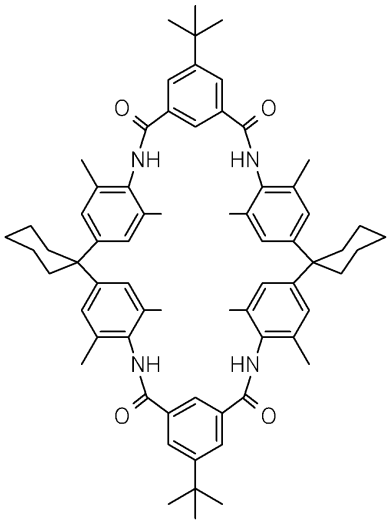
<화학식 1>



<화학식 2>



<화학식 3>



[상기 화학식 1의 n은 1, 2 및 3 중 어느 하나이고, 상기 화학식 2의 m은 5, 6 및 7 중 어느 하나이다.]

청구항 4

제1항에 있어서,

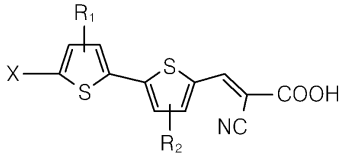
상기 염료는 유기염료(organic dye)인 것을 특징으로 하는 나노입자에 염료를 흡착시키는 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 유기염료는 하기 화학식 4의 화합물인 것을 특징으로 하는 나노입자에 염료를 흡착시키는 방법.

<화학식 4>



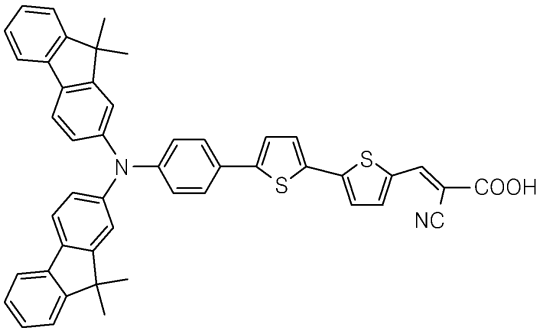
[상기 화학식 4의 X는 전자 주개(electron doner)이고, R_1 및 R_2는 수소 또는 탄소수 1 내지 20의 알킬이다.]

청구항 6

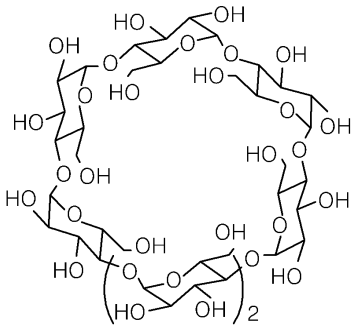
제5항에 있어서,

상기 유기염료는 하기 화학식 5의 화합물이고, 상기 매크로사이클 분자는 하기 화학식 6의 화합물인 것을 특징으로 하는 나노입자에 염료를 흡착시키는 방법.

<화학식 5>



<화학식 6>



청구항 7

제1항 내지 제6항 중 어느 한 항에 기재되어 있는 방법으로 나노입자에 염료를 흡착시키는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 염료감응 태양전지 제조방법.

청구항 8

전도성 기판;

상기 전도성 기판 상에 형성되며, 나노입자와, 상기 나노입자 표면에 흡착되어 있으며 고리형 분자구조를 갖는 매크로사이클(macrocycle) 분자와, 상기 매크로사이클 분자의 고리 내부를 관통하여 상기 나노입자에 흡착되어 있는 염료를 포함하는 반도체 전극;

대향 전극; 및

상기 반도체 전극과 상기 대향 전극 사이를 채우는 전해질 용액;을 포함하는 것을 특징으로 하는 염료감응 태양전지.

청구항 9

제8항에 있어서,

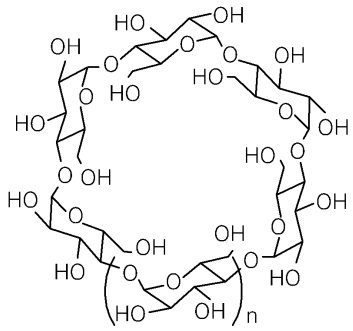
상기 매크로사이클 분자의 고리 내부는 소수성이고, 고리 외부는 친수성인 것을 특징으로 염료감응 태양전지.

청구항 10

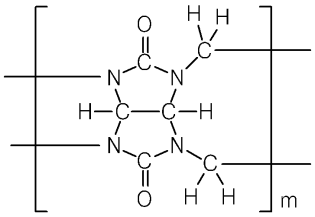
제8항에 있어서,

상기 매크로사이클 분자는 하기 화학식 1의 화합물(사이클로덱스트린, cyclodextrine), 하기 화학식 2의 화합물(커커비투릴, cucurbituril) 및 하기 화학식 3의 화합물로 이루어진 군에서 선택된 1종 이상인 것을 특징으로 하는 염료감응 태양전지.

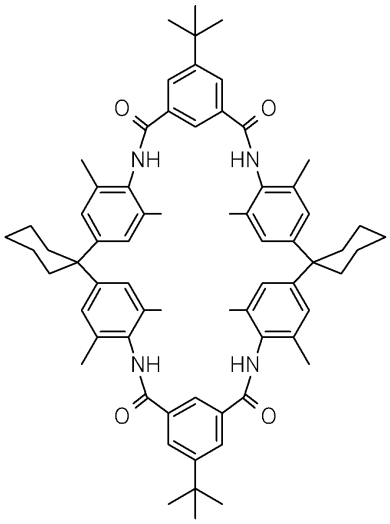
<화학식 1>



<화학식 2>



<화학식 3>



[상기 화학식 1의 n은 1, 2 및 3 중 어느 하나이고, 상기 화학식 2의 m은 5, 6 및 7 중 어느 하나이다.]

청구항 11

제8항에 있어서,

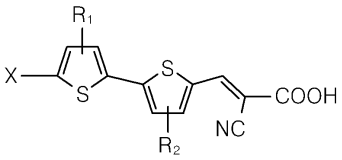
상기 염료는 유기염료(organic dye)인 것을 특징으로 하는 염료감응 태양전지.

청구항 12

제11항에 있어서,

상기 유기염료는 하기 화학식 4의 화합물인 것을 특징으로 하는 염료감응 태양전지.

<화학식 4>



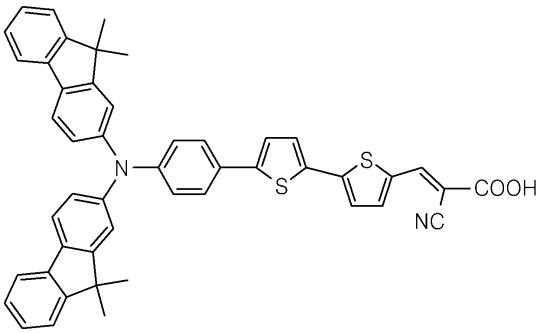
[상기 화학식 4의 X는 전자 주개(electron doner)이고, R_1 및 R_2는 수소 또는 탄소수 1 내지 20의 알킬이다.]

청구항 13

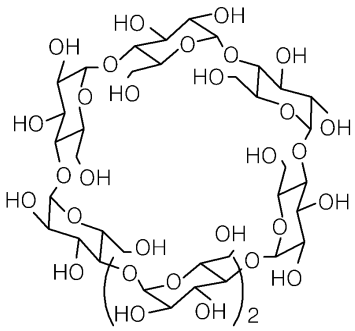
제12항에 있어서,

상기 유기염료는 하기 화학식 5의 화합물이고, 상기 매크로사이클 분자는 하기 화학식 6의 화합물인 것을 특징으로 하는 염료감응 태양전지.

<화학식 5>



<화학식 6>



명 세 서

발명의 상세한 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 나노입자에 염료를 흡착시키는 방법과 이 방법을 이용한 염료감응 태양전지 제조방법 및 이 방법으로 제조된 염료감응 태양전지에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 최근 들어 직면하는 에너지 문제를 해결하기 위하여 기존의 화석 연료를 대체할 수 있는 다양한 연구가 진행되어 오고 있다. 특히 수십 년 이내에 고갈될 석유 자원을 대체하기 위하여 풍력, 원자력, 태양력 등의 자연 에너지를 활용하기 위한 광범위한 연구가 진행되어 오고 있다. 이들 중 태양에너지를 이용한 태양전지는 기타 다른

에너지원과는 달리 자원이 무한하고 환경 친화적이어서, 최근 연구가 가장 활발히 이루어지고 있다.

[0003] 태양전지 중 실리콘 기반의 태양전지가 많은 연구가 이루어지고 있으나, 실리콘 태양전지는 제조비용이 고가라는 단점이 있고, 전지효율을 개선하는데도 많은 어려움이 따르고 있다. 이러한 실리콘 태양전지의 문제를 극복하기 위하여 제조비용이 현저히 저렴한 염료감응 태양전지의 개발이 적극 검토되고 있는 추세이다.

[0004] 염료감응 태양전지는 실리콘 태양전지와는 달리 가시광선을 흡수하여 전자-홀 쌍(electron-hole pair)을 생성할 수 있는 감광성 염료 분자 및 생성된 전자를 전달하는 전이금속 산화물을 주된 구성재료로 하는 광전기 화학적 태양전지이다. 종래의 염료감응 태양전지 중에서 대표적인 것은 1991년도 스위스 국립 로잔 고등기술원(EPEL)의 마이클 그라첼 연구팀이 개발한 나노입자 산화티타늄(아나타제)을 이용한 염료감응 태양전지이다.

[0005] 그라첼 연구팀이 개발한 염료감응 태양전지는 기존의 실리콘 태양전지에 비해 제조 단가가 저렴하고, 투명한 전극으로 인해 건물 외벽 유리창이나 유리 온실 등에 응용이 가능하다는 이점이 있으나, 광전변환 효율이 낮아서 실제 적용에는 제한이 있는 상황이다.

[0006] 염료감응 태양전지의 가장 큰 문제점은 낮은 광전변환 효율이다. 염료감응 태양전지가 낮은 광전변환 효율을 갖는 것에는 여러 이유가 있는데, 그 중 전하의 재결합(recombination)과 염료의 응집(aggregation)도 하나의 이유이다. 염료에서 생성된 전자-홀이 전력 생산에 많이 기여하여야 광전변환 효율이 증가하는데, 일 부 전자는 산화티타늄 계면을 따라 전극으로 이동할 때, 전자가 전해질로 빠져나가서 재결합이 발생하여 전력 생산에 기여하지 못하게 된다. 그리고 염료가 나노입자 표면에 고르게 흡착되어야 광전변환 효율이 증가하게 되는데, 염료가 나노입자 표면에서 자가 응집(self-aggregation)되는 현상이 발생함으로써, 염료감응 태양전지의 광전변환 효율을 저하시키는 한 원인이 되고 있다.

[0007] 따라서 생성된 전자가 재결합되는 것과 염료가 나노입자 표면에서 응집되는 것을 방지할 필요성이 대두되고 있다.

발명의 내용

해결 하고자하는 과제

[0008] 본 발명이 해결하고자 하는 기술적 과제는 생성된 전자가 재결합되는 것과 염료가 나노입자 표면에서 응집되는 것이 방지되는 나노입자에 염료를 흡착시키는 방법 및 염료감응 태양전지 제조방법을 제공하는 것이다.

[0009] 본 발명이 해결하고자 하는 다른 기술적 과제는 생성된 전자가 재결합되는 것과 염료가 나노입자 표면에서 응집되는 것이 방지되는 염료감응 태양전지를 제공하는 것이다.

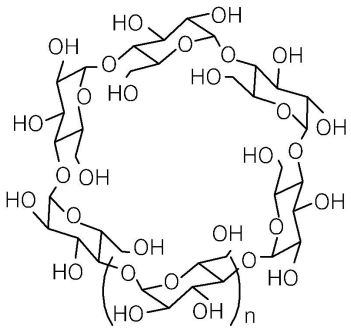
과제 해결수단

[0010] 상기의 기술적 과제를 해결하기 위한, 본 발명에 따른 나노입자에 염료를 흡착시키는 방법은 나노입자 표면에 고리형 분자구조를 갖는 매크로사이클(macrocycle) 분자를 흡착시키는 단계; 및 염료를 상기 매크로사이클 분자가 흡착되어 있는 나노입자 표면에 흡착시키는 단계;를 갖는다.

[0011] 본 발명에 따른 나노입자에 염료를 흡착시키는 방법에 있어서, 상기 매크로사이클 분자의 고리 내부는 소수성이고, 고리 외부는 친수성이고, 상기 염료는 유기염료(organic dye)일 수 있다.

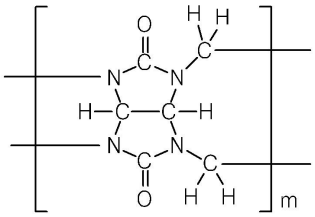
[0012] 상기 매크로사이클 분자는 하기 화학식 1의 화합물(사이클로덱스트린, cyclodextrine), 하기 화학식 2의 화합물(커커비투릴, cucurbituril) 및 하기 화학식 3의 화합물로 이루어진 군에서 선택된 1종 이상일 수 있다.

[0013] <화학식 1>



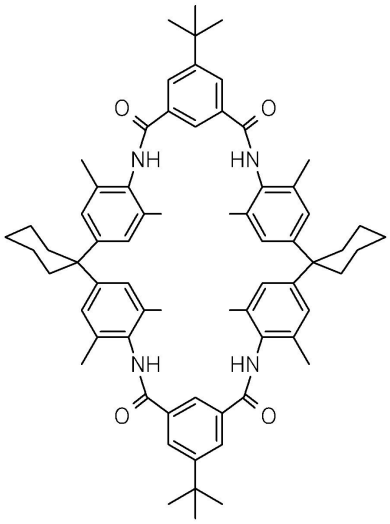
[0014]

[0015] <화학식 2>



[0016]

[0017] <화학식 3>

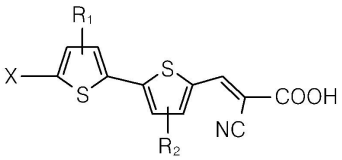


[0018]

[0019] 상기 화학식 1의 n은 1, 2 및 3 중 어느 하나이고, 상기 화학식 2의 m은 5, 6 및 7 중 어느 하나이다.

[0020] 그리고 상기 유기염료는 하기 화학식 4의 화합물일 수 있다.

[0021] <화학식 4>



[0022]

[0023] 상기 화학식 4의 X는 전자 주개(electron doner)이고, R_1 및 R_2는 수소 또는 탄소수 1 내지 20의 알킬이다.

[0024] 상기의 기술적 과제를 해결하기 위한, 본 발명에 따른 염료감응 태양전지 제조방법은 상기의 나노입자에 염료를

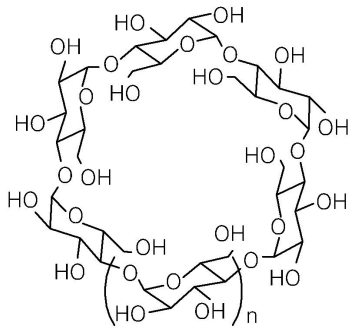
흡착하는 방법을 포함하는 단계를 갖는다.

[0025] 상기의 다른 기술적 과제를 해결하기 위한, 본 발명에 따른 염료감응 태양전지는 전도성 기판; 상기 전도성 기판 상에 형성되며, 나노입자와, 상기 나노입자 표면에 흡착되어 있으며 고리형 분자구조를 갖는 매크로사이클(macrocycle) 분자와, 상기 매크로사이클 분자의 고리 내부를 관통하여 상기 나노입자에 흡착되어 있는 염료를 포함하는 반도체 전극; 대향 전극; 및 상기 반도체 전극과 상기 대향 전극 사이를 채우는 전해질 용액;을 구비한다.

[0026] 본 발명에 따른 염료감응 태양전지에 있어서, 상기 매크로사이클 분자의 고리 내부는 소수성이고, 고리 외부는 친수성이고, 상기 염료는 유기염료일 수 있다.

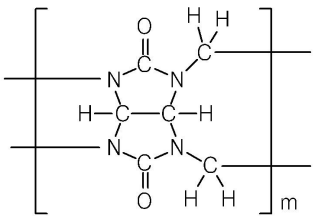
[0027] 그리고 상기 매크로사이클 분자는 하기 화학식 1의 화합물(사이클로덱스트린, cyclodextrine), 하기 화학식 2의 화합물(커커비투릴, cucurbituril) 및 하기 화학식 3의 화합물로 이루어진 군에서 선택된 1종 이상일 수 있다.

[0028] <화학식 1>



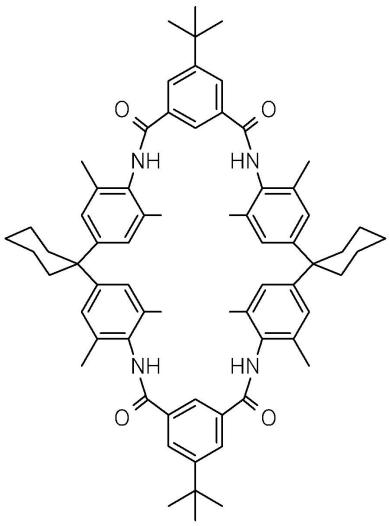
[0029]

[0030] <화학식 2>



[0031]

[0032] <화학식 3>

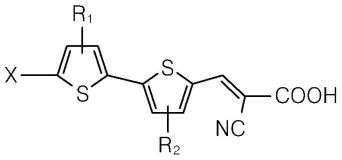


[0033]

[0034] 상기 화학식 1의 n은 1, 2 및 3 중 어느 하나이고, 상기 화학식 2의 m은 5,6 및 7 중 어느 하나이다.

[0035] 그리고 상기 유기염료는 하기 화학식 4의 화합물일 수 있다.

[0036] <화학식 4>

[0037] 

[0038] 상기 화학식 4의 X는 전자 주개(electron doner)이고, R_1 및 R_2는 수소 또는 탄소수 1 내지 20의 알킬이다.

효 과

[0039] 본 발명에 따르면, 나노입자 표면에 고리 형상을 갖는 매크로사이클 분자를 먼저 흡착시킨 후, 염료를 흡착시키므로, 매크로사이클 분자에 의해 염료가 응집되는 것이 방지된다. 그리고 매크로사이클 분자에 의해 나노입자가 전해질과 직접 접촉되는 것을 방해함으로써, 전자의 재결합을 방지한다. 그 결과 이러한 방법으로 염료감응 태양전지를 제조하게 되면, 효율이 증가하게 된다.

발명의 실시를 위한 구체적인 내용

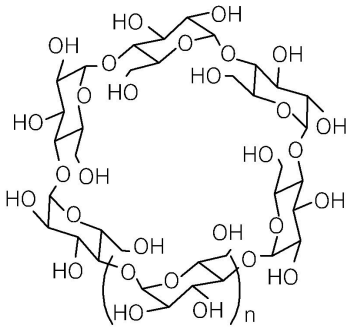
[0040] 이하에서 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명에 따른 나노입자에 염료를 흡착시키는 방법, 이를 이용한 염료감응 태양전지 제조방법 염료감응 태양전지의 바람직한 실시예에 대해 상세하게 설명한다. 그러나 본 발명은 이하에서 개시되는 실시예에 한정되는 것이 아니라 서로 다른 다양한 형태로 구현될 것이며, 단지 본 실시예는 본 발명의 개시가 완전하도록 하며, 통상의 지식을 가진 자에게 발명의 범주를 완전하게 알려주기 위해 제공되는 것이다.

[0041] 도 1은 본 발명에 따른 나노입자에 염료를 흡착시키는 방법을 설명하기 위한 도면이다.

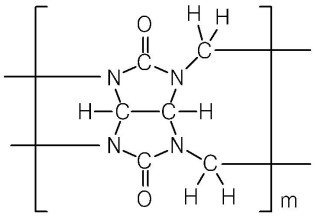
[0042] 본 발명에 따른 나노입자에 염료를 흡착시키는 방법은 우선, 나노입자 표면에 고리형 분자구조를 갖는 매크로사이클(macrocycle) 분자를 흡착시킨 후, 염료를 매크로사이클 분자가 흡착되어 있는 나노입자 표면에 흡착시키는 과정으로 이루어진다. 이와 같이 나노입자 표면에 우선 매크로사이클 분자를 흡착시킨 후, 염료를 나노입자 표면에 흡착시키면, 도 1에 도시된 바와 같이, 염료가 매크로사이클 분자의 고리 내부를 관통하여 나노입자에 흡착된다. 따라서 염료가 매크로사이클 분자에 의해 이동이 제한되므로, 나노입자에 흡착된 염료가 응집(aggregation)되는 것이 방지된다.

[0043] 이때, 매크로사이클 분자의 고리 내부는 소수성이고, 고리 외부는 친수성일 수 있다. 그리고 매크로사이클 분자는 화학식 1의 화합물, 화학식 2의 화합물 및 하기 화학식 3의 화합물로 이루어진 군에서 선택된 1종 이상일 수 있다.

[0044] <화학식 1>

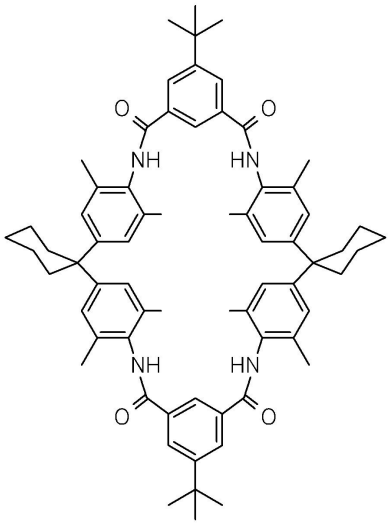
[0045] 

[0046] <화학식 2>



[0047]

[0048] <화학식 3>



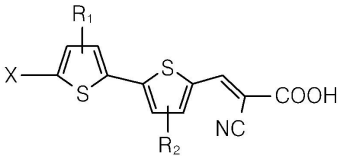
[0049]

[0050] 화학식 1의 n은 1, 2 및 3 중 어느 하나이고, 화학식 2의 m은 5, 6 및 7 중 어느 하나이다.

[0051] 화학식 1의 화합물은 사이클로덱스트린(cyclodextrine, CD)이고, n = 1인 사이클로덱스트린은 α-CD, n = 2인 사이클로덱스트린은 β-CD, n = 3인 사이클로덱스트린은 γ-CD이다. 그리고 화학식 2의 화합물은 커커비투릴(cucurbituril)이다.

[0052] 염료는 도 1에 나타낸 바와 같이 유기염료(organic dye)가 이용될 수 있다. 유기염료는 금속착염과 달리 나노입자에 흡착되는 부분의 분자구조가 선형이어서 매크로사이클 분자의 고리 내부를 관통하여 나노입자에 흡착되기 용이하다. 이러한 유기염료는 화학식 4의 화합물일 수 있다.

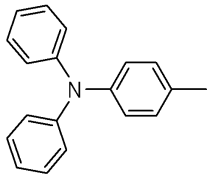
[0053] <화학식 4>



[0054]

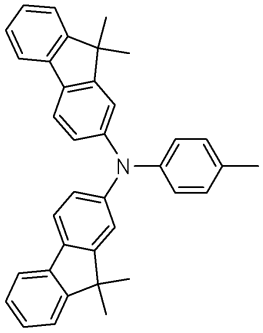
[0055] 화학식 4의 R_1 및 R_2는 수소 또는 탄소수 1 내지 20의 알킬이다. 그리고 화학식 4의 X는 전자 주개(electron doner)로, 전자를 공급하는 역할을 한다. X는 화학식 7, 화학식 8 또는 화학식 9의 구조를 가질 수 있다.

[0056] <화학식 7>



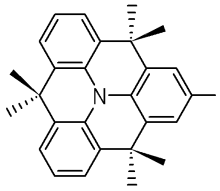
[0057]

[0058] <화학식 8>



[0059]

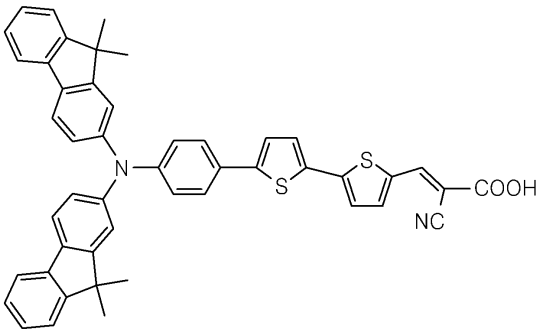
[0060] <화학식 9>



[0061]

[0062] 바람직하게는, 유기염료는 화학식 5의 화합물일 수 있다. 화학식 5의 화합물은 화학식 1에서 X가 화학식 8의 분자구조를 가지고, R_1과 R_2는 수소인 화합물이다.

[0063] <화학식 5>



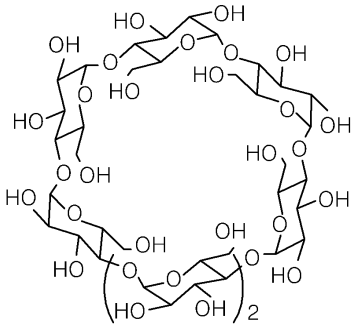
[0064]

[0065] 이러한 화학식 5의 화합물을 JK-2로 명명한다.

[0066] TiO_2 나노입자에 JK-2 염료가 흡착된 것을 도 2에 나타내었다.

[0067] 도 2에 도시된 바와 같이, TiO_2 나노입자에 우선, 매크로사이클 분자를 흡착시킨 후, JK-2 염료를 흡착시키면, JK-2의 -COOH 부분이 매크로사이클 분자의 고리 내부를 관통하여 TiO_2 나노입자에 흡착된다. 도 2에 도시된 바와 같이 JK-2 염료는 나노입자에 흡착되는 부분의 분자구조가 선형이어서 매크로사이클 분자의 고리 내부를 관통하여 나노입자에 흡착되기 용이하다. JK-2 염료가 이용된 경우, 매크로사이클 분자는 화학식 6의 화합물일 수 있다.

[0068] <화학식 6>



[0069]

[0070] 화학식 6의 화합물은 β-CD(n = 2인 사이클로덱스트린)이다.

[0071] 본 발명은 염료감응 태양전지 제조방법을 포함한다.

[0072] 본 발명에 따른 염료감응 태양전지 제조방법은 우선, 유리(glass) 기판 위에 ITO(indium tin oxide), FTO(fluorine-doped tin oxide)를 코팅하여 제1기판을 형성한다. 그리고 제1기판 상에 나노입자를 코팅한다. 나노입자는 이산화티탄(TiO_2), 이산화주석(SnO_2) 또는 산화아연(ZnO)과 같은 전이금속 산화물이 이용된다.

[0073] 그리고 나노입자 표면에 상술한 방법으로 염료를 흡착시켜 반도체 전극을 형성한다. 나노입자 표면에 염료를 흡착시키는 단계는 먼저 나노입자 표면에 매크로사이클 분자를 흡착시킨 후, 염료를 매크로사이클 분자가 흡착되어 있는 나노입자 표면에 흡착시키는 과정으로 이루어진다. 이와 같이 염료를 흡착시키면, 염료는 매크로사이클 분자의 고리 내부를 관통하여 나노입자 표면에 흡착된다. 매크로사이클 분자의 고리 내부는 소수성이고, 고리 외부는 친수성일 수 있다. 그리고 매크로사이클 분자는 화학식 1의 화합물, 화학식 2의 화합물 및 하기 화학식 3의 화합물로 이루어진 군에서 선택된 1종 이상일 수 있다. 그리고 염료는 유기염료(organic dye)가 이용될 수 있으며, 유기염료는 화학식 4의 화합물일 수 있다. 바람직하게는 유기염료는 JK-2이고, 매크로사이클 분자는 β-CD일 수 있다.

[0074] 그리고 제2기판 상에 대향 전극(counter electrode)을 설치하고 대향 전극과 반도체 전극 사이에 전해질 용액을 채운다.

[0075] 이와 같이, 매크로사이클 분자를 먼저 나노입자 표면에 흡착시킨 후, 염료를 나노입자 표면에 흡착시키면, 염료는 매크로사이클 분자의 고리 내부를 관통하는 형태를 가지므로, 염료가 나노입자 표면에서 응집되는 현상을 방지할 수 있다. 또한, 매크로사이클 분자가 나노입자와 전해질이 직접 접촉하는 것을 방지하므로, 나노입자의 계면을 따라 전극으로 이동하는 전자가 전해질로 빠져나가서 손실되는 재결합을 감소시킬 수 있게 되어 V_{oc} 값이 상승되는 효과를 얻을 수 있다.

[0076] 도 3은 본 발명에 따른 염료감응 태양전지의 개략적인 구조를 나타내는 도면이다.

[0077] 도 3을 참조하면, 본 발명에 따른 염료감응 태양전지(100)는 제1기판(110), 반도체 전극(120), 대향 전극(130), 제2기판(140), 전해질 용액(150) 및 고분자층(160)을 구비한다.

[0078] 제1기판(110)은 전도성 유리로 이루어질 수 있다. 바람직하게는 유리(glass) 기판 위에 ITO, FTO가 코팅되어 있다. 그리고 제1기판(110)과 반도체 전극(120) 사이에는 $TiCl_4$층(미도시)이 형성될 수 있다.

[0079] 반도체 전극(120)은 제1기판(110) 상에 형성되며, 나노입자와, 상기 나노입자 표면에 흡착되어 있으며 고리형 분자구조를 갖는 매크로사이클(macrocycle) 분자와, 상기 매크로사이클 분자의 고리 내부를 관통하여 상기 나노입자에 흡착되어 있는 염료로 이루어진다. 반도체 전극(120)은 5 ~ 15 ㎛ 정도의 두께로 형성될 수 있다. 나노입자는 이산화티탄(TiO_2), 이산화주석(SnO_2) 또는 산화아연(ZnO)으로 이루어지며, 약 5 ~ 30 ㎚ 정도의 크기를 가질 수 있다. 매크로사이클 분자의 고리 내부는 소수성이고, 고리 외부는 친수성일 수 있다. 그리고 매크로사이클 분자는 화학식 1의 화합물, 화학식 2의 화합물 및 하기 화학식 3의 화합물로 이루어진 군에서 선택된 1종 이상일 수 있다. 그리고 염료는 유기염료(organic dye)가 이용될 수 있으며, 유기염료는 화학식 4의 화합물일 수 있다. 바람직하게는 유기염료는 JK-2이고, 매크로사이클 분자는 β-CD일 수 있다.

[0080] 제2기판(140)은 제1기판(110)과 마찬가지로 전도성 유리, 즉 ITO 또는 FTO가 코팅되어 있는 유리 기판일 수 있

다.

[0081] 대향 전극(130)은 제2기판(140) 상에 형성되며, 백금(Pt)으로 이루어질 수 있다. 그리고 대향 전극(130)은 반도체 전극(120)과 대향되도록 배치된다.

[0082] 전해질 용액(150)은 반도체 전극(120)과 대향 전극(130) 사이의 공간을 채우는 용액으로서, I_3^-/I^-의 전해질 용액일 수 있다. 이를 위해 전해질 용액(150)은 이온성 액체 전해질 용액(ionic liquid electrolyte)이나 의사 고체상태 전해질 용액(quasi-solid-state electrolyte)이 이용될 수 있다. 이온성 액체 전해질 용액은 PMMI/EMINCS 용액에 0.2 M I_2, 0.5 M NMBI 및 0.1M GuNCS이 혼합된 용액일 수 있다. 그리고 의사 고체상태 전해질 용액은 MPN 용액에 0.1 M I_2, 0.5 M NMBI, 0.6 M DMPII 및 5 wt% PVDF-HFP가 혼합된 용액일 수 있다.

[0083] 도 3에 도시된 본 발명의 바람직한 실시예에 따른 염료감응 태양전지의 작동을 설명하면 다음과 같다.

[0084] 먼저, 제1기판(110)을 투과한 태양 빛이 반도체 전극(120)의 나노입자에 흡착된 염료 분자에 의하여 흡수되면, 여기 상태로 들뜨게 된 염료 분자는 전자를 나노입자 금속산화물의 전도대로 주입하게 된다. 나노입자 금속산화물로 주입된 전자는 입자간 계면을 통하여 제1기판(110)에 전달되고 외부 전선을 통하여 대향 전극(120)으로 이동된다.

[0085] 전자 전이의 결과로 산화된 염료 분자는 전해질 용액(150) 내의 요오드 이온의 산화 환원 작용($3I^- \rightarrow I_3^- + 2e^-$)에 의하여 제공되는 전자를 받아 다시 환원되며, 산화된 요오드 이온(I_3^-)은 대향 전극(130)에 도달한 전자에 의해 다시 환원되어 염료감응 태양전지의 작동과정이 완성된다.

[0086] 본 발명에 따른 염료감응 태양전지의 특성을 살펴보기 위해, TiO_2 나노입자에 사이클로덱스트린(α-CD, β-CD, γ-CD)을 흡착시킨 후, JK-2 염료를 TiO_2 나노입자에 흡착시키는 방법으로 제조된 염료감응 태양전지를 제작하였다. 그리고 본 발명에 따른 염료감응 태양전지의 비교예로서, TiO_2 나노입자에 JK-2 염료만이 흡착된 염료감응 태양전지를 제작하였다. 그리고 각 염료감응 태양전지의 특성을 살펴보았다. 이를 도 4 내지 도 9에 나타내었다.

[0087] 도 4는 본 발명에 따른 염료감응 태양전지에 있어서, 파장(λ)- IPCE(incident photon-to-current conversion efficiency) 그래프를 나타내는 도면이다.

[0088] 도 4를 살펴보면, TiO_2 나노입자에 먼저 α-CD를 흡착시키고 JK-2를 흡착시킨 경우(-●-, α-CD/JK-2)나 TiO_2 나노입자에 먼저 γ-CD를 흡착시키고 JK-2를 흡착시킨 경우(-▼-, γ-CD/JK-2)는 TiO_2 나노입자에 JK-2 염료만을 흡착시킨 경우(-○-, JK-2)에 비해 IPCE 값이 작았다. 그러나 TiO_2 나노입자에 먼저 β-CD를 흡착시키고 JK-2를 흡착시킨 경우(-◆-, β-CD/JK-2)는 TiO_2 나노입자에 JK-2 염료만을 흡착시킨 경우(-○-, JK-2)에 비해 IPCE 값이 큼을 알 수 있다. 즉, TiO_2 나노입자에 먼저 β-CD를 흡착시키고 JK-2를 흡착시키면, TiO_2 나노입자에 JK-2 염료만을 흡착시킨 경우에 비해 빛이 전류로 전환되는 효율이 우수하게 됨을 알 수 있다.

[0089] 도 5는 본 발명에 따른 염료감응 태양전지에 있어서, 전압(V)-전류밀도(J) 그래프를 나타내는 도면이다.

[0090] 도 5를 살펴보면, TiO_2 나노입자에 먼저 CD를 흡착시키고 JK-2를 흡착시킨 경우에는 CD의 종류에 관계없이 TiO_2 나노입자에 JK-2 염료만을 흡착시킨 경우에 비해 V_{oc}(open circuit voltage) 값이 증가됨을 알 수 있다. 이는 CD가 TiO_2 나노입자의 표면을 덮어서 TiO_2 나노입자와 전해질이 직접 접촉하는 것을 방해하여 재결합이 일어나는 것을 감소시키기 때문이다. 그러나 J_{sc}(short circuit current)는 V_{oc}와 비교할 때 그 경향이 상이하다. TiO_2 나노입자에 먼저 α-CD를 흡착시키고 JK-2를 흡착시킨 경우(α-CD/JK-2)나 TiO_2 나노입자에 먼저 γ-CD를 흡착시키고 JK-2를 흡착시킨 경우(γ-CD/JK-2)는 TiO_2 나노입자에 JK-2 염료만을 흡착시킨 경우(JK-2)에 비해 J_{sc} 값이 작음을 알 수 있다. 이에 반해, TiO_2 나노입자에 먼저 β-CD를 흡착시키고 JK-2를 흡착시킨 경우(β-CD/JK-2)는 TiO_2 나노입자에 JK-2 염료만을 흡착시킨 경우(JK-2)에 비해 J_{sc} 값이 큼을 알 수 있다.

[0091] 도 4 및 도 5의 결과를 포함해서 염료감응 태양전지의 종합적인 특성을 표 1에 나타내었다.

표 1

염료	흡착된 JK-2의양 (mol/mg of TiO_2)	J_{SC} (mA/cm^{-2})	V_{OC} (V)	FF	η(%)
JK-2	-	14.51	0.70	0.73	7.42
α-CD/JK-2	7.98×10^{-8}	14.26	0.71	0.73	7.41
β-CD/JK-2	9.78×10^{-8}	15.34	0.76	0.74	8.65
γ-CD/JK-2	6.97×10^{-8}	13.68	0.74	0.73	7.42

[0092]

[0093] 표 1에 나타낸 바와 같이 TiO_2에 흡착된 JK-2 염료의 양은 TiO_2 나노입자에 먼저 β-CD를 흡착시키고 JK-2를 흡착시킨 경우(β-CD/JK-2)가 가장 크다는 것을 알 수 있다. 그리고 J_{sc}, V_{oc}, fill factor(FF), 효율(η) 모두 TiO_2 나노입자에 먼저 β-CD를 흡착시키고 JK-2를 흡착시킨 경우(β-CD/JK-2)가 가장 우수하다는 것을 알 수 있다. 특히, 효율은 β-CD를 흡착시키지 않은 경우(JK-2)에 비해 7.42에서 8.65로 현저히 증가했음을 알 수 있다. 이 결과는 β-CD를 먼저 흡착시킴으로써, JK-2의 응집이 방지되고, 전자의 재결합이 감소되었음을 의미한다.

[0094] 도 6은 본 발명에 따른 염료감응 태양전지에 있어서, 시간의 경과에 따른, J_{sc}, V_{oc}, Fill Factor 및 효율의 변화를 나타내는 도면이다.

[0095] 도 6에서 -■-로 표시된 그래프는 의사 고체상태 전해질 용액이 이용된 경우이고, -▲-로 표시된 그래프는 이온성 액체 전해질 용액이 이용된 경우이다. 그리고 두 경우 모두(-■-, -▲-) TiO_2 나노입자에 먼저 β-CD를 흡착시키고 JK-2를 흡착시킨 경우를 나타낸 그래프이다. 어떠한 전해질 용액을 이용하더라도 TiO_2 나노입자에 먼저 β-CD를 흡착시키고 JK-2를 흡착시킨 염료감응 태양전지는 1000 시간까지 J_{sc}, V_{oc}, Fill Factor 및 효율이 거의 일정하여, 우수한 열적 안정성을 나타낸다.

[0096] 도 7은 본 발명에 따른 염료감응 태양전지에 있어서, V_{oc}(open circuit voltage)-τ_e(전자 라이프타임) 그래프를 나타내는 도면이다.

[0097] 도 7에 도시된 바와 같이 전자의 라이프 타임(electron lifetime)이 JK-2 만을 흡착시킨 경우(-■-)에 비해, 먼저 β-CD를 흡착시키고 JK-2를 흡착시킨 경우(-●-)가 현저히 큼을 알 수 있다.

[0098] 도 8은 본 발명에 따른 염료감응 태양전지에 있어서, 외부광이 조사될 때의 임피던스 변화를 나타내는 도면이고, 도 9는 본 발명에 따른 염료감응 태양전지에 있어서, 외부광이 조사되지 않을 때의 임피던스 변화를 나타내는 도면이다.

[0099] 도 8 및 도 9에서 -■-로 표시된 그래프는 JK-2만을 흡착시킨 경우이고, -●-로 표시된 그래프는 먼저 β-CD를 흡착시키고 JK-2를 흡착시킨 경우이다. 외부광이 조사된 경우(도 8)에서, 먼저 β-CD를 흡착시키고 JK-2를 흡착시킨 경우(-●-)가 JK-2만을 흡착시킨 경우(-■-)에 비해 임피던스가 작아 상대적으로 전류의 흐름이 원활하게 됨을 알 수 있다. 이와는 반대로, 외부광이 조사되지 않는 경우(도 9)에서는 먼저 β-CD를 흡착시키고 JK-2를 흡착시킨 경우(-●-)가 JK-2만을 흡착시킨 경우(-■-)에 비해 임피던스가 현저히 커 외부광이 조사되지 않을 때 방전이 용이치 않음을 알 수 있다.

[0100] 이상의 결과로부터, TiO_2 나노입자에 먼저 β-CD를 흡착시키고 JK-2를 흡착시킨 경우가 TiO_2 나노입자에 JK-2만을 흡착시킨 경우에 비해 거의 대부분의 특성이 우수하고, 특히 효율, 전자의 라이프타임 및 외부광이 조사되지 않을 때의 임피던스 값은 그 특성이 현저히 우수함을 알 수 있다.

[0101] 이상에서 본 발명의 바람직한 실시예에 대해 도시하고 설명하였으나, 본 발명은 상술한 특정의 바람직한 실시예에 한정되지 아니하며, 청구범위에서 청구하는 본 발명의 요지를 벗어남이 없이 당해 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자라면 누구든지 다양한 변형 실시가 가능한 것은 물론이고, 그와 같은 변경은 청구범위 기재의 범위 내에 있게 된다.

도면의 간단한 설명

[0102] 도 1은 본 발명에 따른 나노입자에 염료를 흡착시키는 방법을 설명하기 위한 도면이다.

[0103] 도 2는 본 발명의 바람직한 일 실시예로, TiO_2 나노입자에 JK-2 염료를 흡착시키는 방법을 설명하기 위한 도면이다.

[0104] 도 3은 본 발명에 따른 염료감응 태양전지의 개략적인 구조를 나타내는 도면이다.

[0105] 도 4는 본 발명에 따른 염료감응 태양전지에 있어서, 파장(λ)- IPCE(incident photon-to-current conversion efficiency) 그래프를 나타내는 도면이다.

[0106] 도 5는 본 발명에 따른 염료감응 태양전지에 있어서, 전압(V)-전류밀도(J) 그래프를 나타내는 도면이다.

[0107] 도 6은 본 발명에 따른 염료감응 태양전지에 있어서, 시간의 경과에 따른, J_{sc}, V_{oc}, Fill Factor 및 효율의 변화를 나타내는 도면이다.

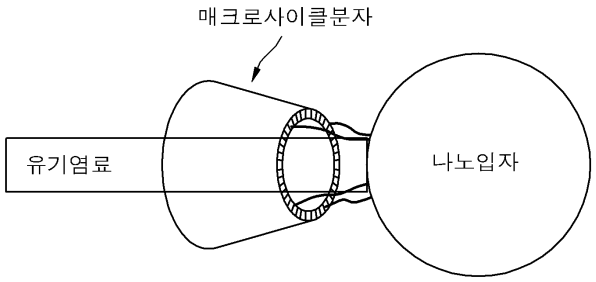
[0108] 도 7은 본 발명에 따른 염료감응 태양전지에 있어서, V_{oc}(open circuit voltage)-τ_e(전자 라이프타임) 그래프를 나타내는 도면이다.

[0109] 도 8은 본 발명에 따른 염료감응 태양전지에 있어서, 외부광이 조사될 때의 임피던스 변화를 나타내는 도면이다.

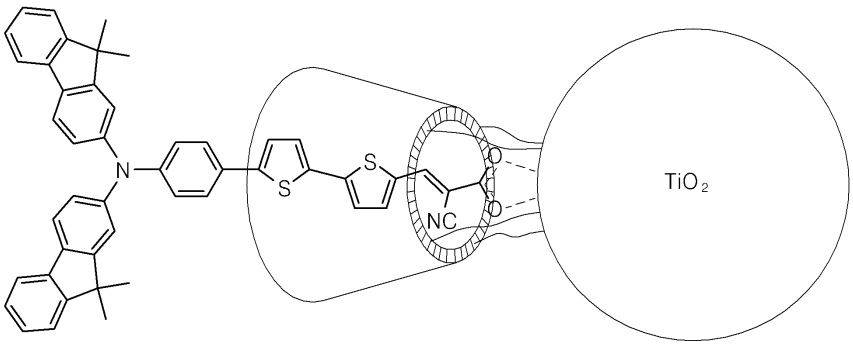
[0110] 도 9는 본 발명에 따른 염료감응 태양전지에 있어서, 외부광이 조사되지 않을 때의 임피던스 변화를 나타내는 도면이다.

도면

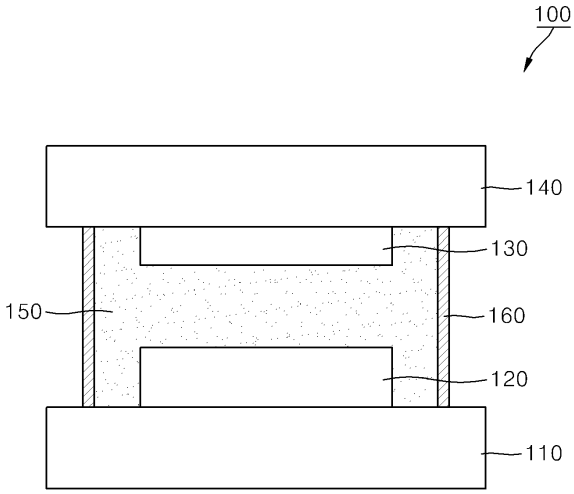
도면1



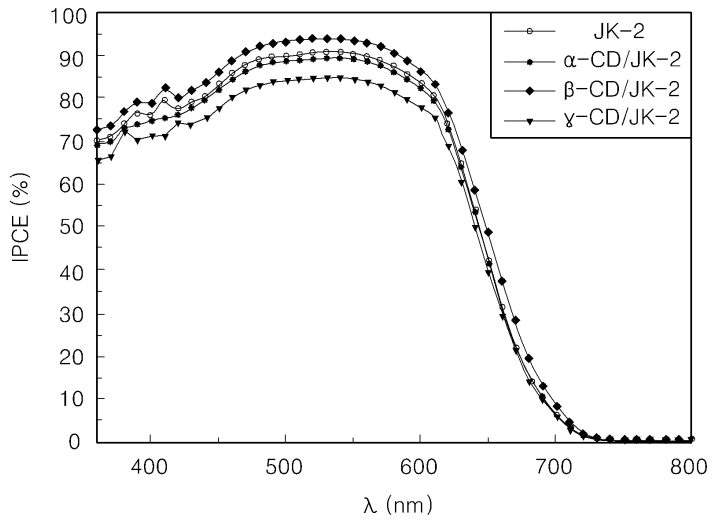
도면2



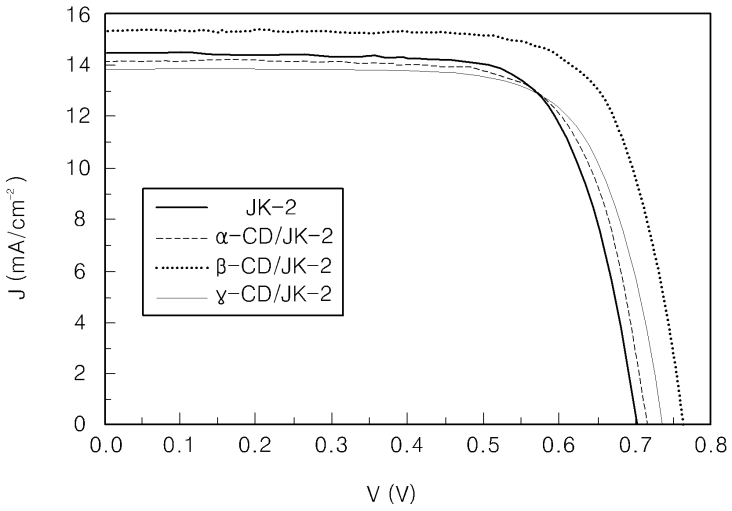
도면3


100
140
130
150
160
120
110

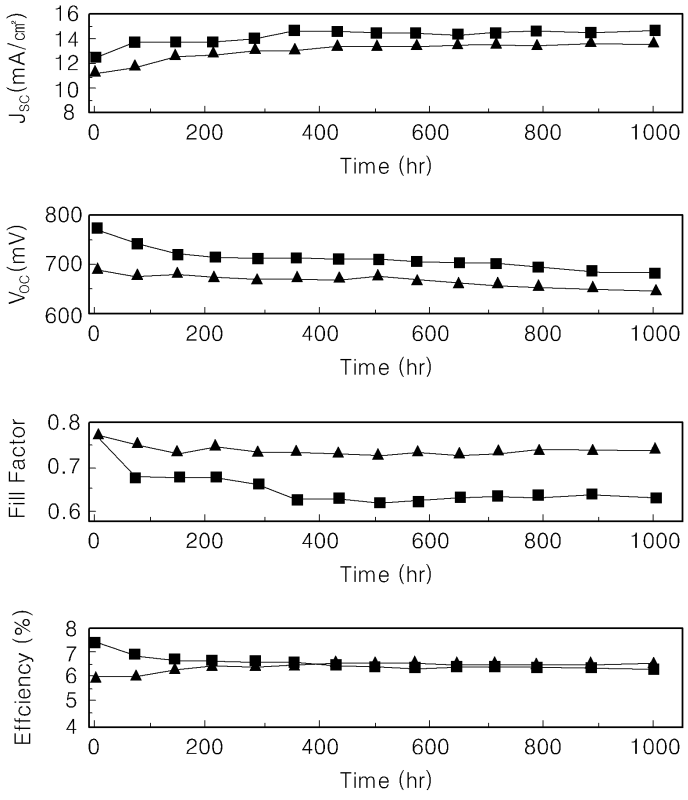
도면4


JK-2
α-CD/JK-2
β-CD/JK-2
γ-CD/JK-2
IPCE (%)
λ (nm)
0
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
400
500
600
700
800

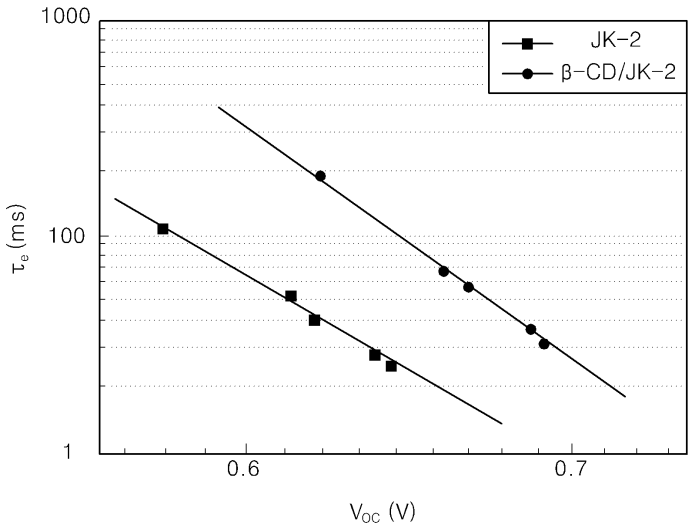
도면5


J (mA/cm^{-2})
V (V)
JK-2
α-CD/JK-2
β-CD/JK-2
γ-CD/JK-2

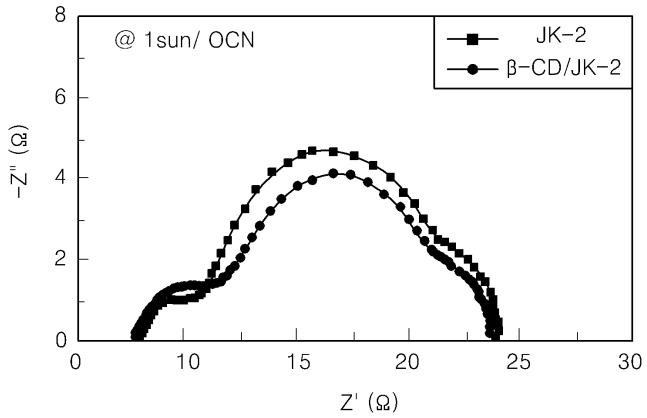
도면6


J_{SC}(mA/cm^2)
V_{OC}(mV)
Fill Factor
Effciency (%)
Time (hr)

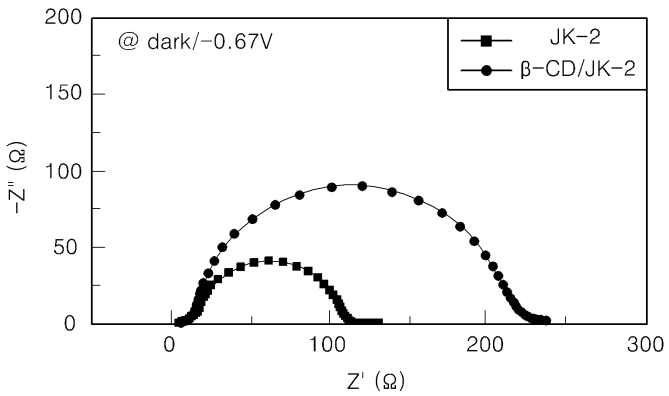
도면7


1000
100
1
0.6
0.7
τ_e (ms)
V_{OC} (V)
JK-2
β-CD/JK-2

도면8


@ 1sun/ OCN
JK-2
β-CD/JK-2
-Z'' (Ω)
Z' (Ω)
0
2
4
6
8
10
15
20
25
30

도면9


@ dark/-0.67V
JK-2
β-CD/JK-2
-Z'' (Ω)
Z' (Ω)
0
50
100
150
200
300