(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0045193
(43) 공개일자 2023년04월04일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H10K 30/80 (2023.01) *H10K 99/00* (2023.01)
(52) CPC특허분류
H10K 30/82 (2023.02)
H10K 71/15 (2023.02)
(21) 출원번호 10-2021-0127746
(22) 출원일자 2021년09월28일
심사청구일자 2021년09월28일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
심재원
서울특별시 성동구 매봉길 15, 103동 601호(옥수동, 래미안 옥수 리버젠)
이정현
서울특별시 성북구 종암로25길 30, 115동 1101호(종암동, 삼성 래미안아파트)
김상현
경기도 의왕시 내손로 14, 215동 2102호(내손동)
(74) 대리인
송인호, 윤형근, 최관락

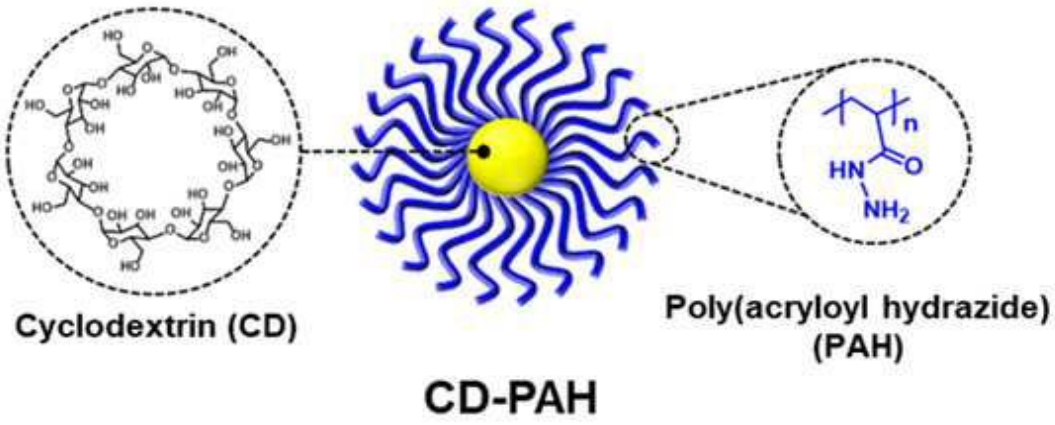
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 발명의 명칭 **별모양 고분자 표면처리를 통한 저 일함수를 갖는 투명 전극소자 및 이의 제조 방법**

(57) 요 약

본 발명은 별모양 고분자 표면처리를 통한 저 일함수를 갖는 투명 전극소자 및 이의 제조 방법을 개시한다. 본 발명에 따르면, 금속 산화물 기반 투명 전극을 세척하는 단계; 상기 세척된 투명 전극을 건조하는 단계; 소정 스핀 코팅 조건에서 상기 건조된 투명 전극에 DI water를 도포한 후 표면을 세척하는 단계; 및 소정 스핀 코팅 조건에서 0.05 내지 0.2 중량 퍼센트 범위를 갖는 별모양 고분자 용액을 상기 금속 산화물 기반 투명 전극에 도포하는 단계를 포함하는 투명 전극소자 제조 방법이 제공된다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
H10K 71/60 (2023.02)
H10K 85/10 (2023.02)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1415173367
과제번호	20011336
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국산업기술평가관리원
연구사업명	소재부품기술개발(R&D)
연구과제명	고신축특성을 가지는 고신뢰성고내구성 점착필름 및 대면적 코팅 공정 기술 개발
기 여 율	1/1
과제수행기관명	고려대학교 산학협력단
연구기간	2021.01.01 ~ 2021.12.31

명 세 서

청구범위

청구항 1

별모양 고분자 표면처리를 통한 저 일함수를 갖는 투명 전극소자 제조 방법으로서,

금속 산화물 기반 투명 전극을 세척하는 단계;

상기 세척된 투명 전극을 건조하는 단계;

소정 스핀 코팅 조건에서 상기 건조된 투명 전극에 DI water를 도포한 후 표면을 세척하는 단계; 및

소정 스핀 코팅 조건에서 0.05 내지 0.2 중량 퍼센트 범위를 갖는 별모양 고분자 용액을 상기 금속 산화물 기반 투명 전극에 도포하는 단계를 포함하는 투명 전극소자 제조 방법.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 별모양 고분자 용액의 농도는 0.075 내지 0.2 중량 퍼센트 범위를 갖는 투명 전극소자 제조 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 별모양 고분자는 중심부가 β-cyclodextrin(CD)이며, 외각에 (Poly(acryloyl hydrazide), PAH)가 배치되는 CD-PAH인 투명 전극소자 제조 방법.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 별모양 고분자 용액의 농도에 따라 상기 금속 산화물 기반 투명 전극의 표면에 존재하는 상기 PAH의 길이 및 상기 PAH에 존재하는 아민 그룹의 밀도가 조절되는 투명 전극소자 제조 방법.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 아민 그룹의 전자 인출(electron withdrawing) 특성에 의해 상기 금속 산화물 기반 투명 전극의 진공 준위(vaccum level)의 변화가 유도되고 일함수가 감소하는 투명 전극소자 제조 방법.

청구항 6

제1항에 따른 방법으로 제조되는 광학소자용 금속 산화물 기반 투명 전극소자.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 별모양 고분자 표면처리를 통한 저 일함수를 갖는 투명 전극소자 및 이의 제조 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 투명 전극의 일함수 조절을 위한 표면처리는 유기 태양전지, 디스플레이 등을 포함하는 광학소자의 동작 특성에 있어 핵심 기술이다.

[0003] 일반적으로 투명 전극의 일함수 조절에 사용되는 표면처리는 광학적 투과성이 우수한 동시에 전하 이동도에 큰

영향을 주지 않아야 하며, 효율적으로 자유전하를 원하는 방향으로 이동시킬 수 있어야 한다.

[0004] 뿐만 아니라, 투명 전극의 계면에 존재하는 결함은 자유전하 이동 과정에서 발생하는 재결합을 야기하고 광학소자의 성능을 저해하는 요인으로 작용할 수 있기 때문에 이를 최소화할 수 있는 표면처리가 필요하다.

[0005] 효율적으로 전자 친화도에 변화를 유도하고 표면에 존재하는 결함을 줄이기 위한 방법으로 고분자, 양쪽성 이온, 금속 산화물 등의 표면처리 기술이 연구되고 있다. 이러한 표면처리 기술은 계면에 기능층을 삽입하여 물질의 분극에 의해 진공 준위를 이동시킨다.

[0006] 고분자 및 양쪽성 이온 기반의 표면처리는 일반적으로 전도도가 떨어짐에 따라 특정한 농도 및 두께에 대한 최적화 과정이 필수적이며, 이는 고분자 내 전도도가 떨어지는 특성에 의해 발생하고 기능성 알킬기에 지배적인 특성을 보인다.

[0007] 금속 산화물 기반의 표면처리의 경우, 일반적으로 고온의 공정을 필요로 하거나 공정에 소요되는 시간이 상대적으로 길지만 높은 투과율을 보인다.

[0008] 일반적으로 태양전지의 동작 원리는 다음과 같다.

[0009] (1) 빛 흡수, (2) 여기자 (exciton) 생성, (3) 여기자 이동, (4) 여기자 양전하 및 음전하 분리, (5) 전극의 전하 흡수.

[0010] 특히 유기 태양전지에서, 빛에 의해 발생한 전하의 흡수는 인접한 전극의 일함수에 따라 이동한다.

[0011] 일반적으로 유기 태양전지의 투명 전극으로 사용되는 인듐-주석 산화물 전극에 표면처리가 없을 경우, 광활성층에서 생성된 전자의 이동 과정에서 상대전하의 유입, 표면 거칠기에 의해 발생한 트랩 등에 의해 생성 전하의 재결합이 활발히 발생하며, 에너지 준위의 일치성이 낮아 재결합 누설 전류가 크게 발생한다.

[0012] 따라서 투명 전극의 결함을 최소화하고 재결합으로 인한 광 전류 손실을 방지 및 효율적인 전하 수송을 위한 표면처리 방법이 필요하다.

선행기술문헌

특허문헌

[0013] (특허문헌 0001) KR 등록특허 10-1787539

발명의 내용

해결하려는 과제

[0014] 상기한 종래기술의 문제점을 해결하기 위해, 본 발명은 효과적인 전하 수송이 가능하며 광 전류 손실을 방지할 수 있는 별모양 고분자 표면처리를 통한 저 일함수를 갖는 투명 전극소자 및 이의 제조 방법을 제안하고자 한다.

과제의 해결 수단

[0015] 상기한 바와 같은 목적을 달성하기 위하여, 본 발명의 일 실시예에 따르면, 별모양 고분자 표면처리를 통한 저 일함수를 갖는 투명 전극소자 제조 방법으로서, 금속 산화물 기반 투명 전극을 세척하는 단계; 상기 세척된 투명 전극을 건조하는 단계; 소정 스핀 코팅 조건에서 상기 건조된 투명 전극에 DI water를 도포한 후 표면을 세척하는 단계; 및 소정 스핀 코팅 조건에서 0.05 내지 0.2 중량 퍼센트 범위를 갖는 별모양 고분자 용액을 상기 금속 산화물 기반 투명 전극에 도포하는 단계를 포함하는 투명 전극소자 제조 방법이 제공된다.

[0016] 상기 별모양 고분자 용액의 농도는 0.075 내지 0.2 중량 퍼센트 범위를 가질 수 있다.

[0017] 상기 별모양 고분자는 중심부가 β-cyclodextrin(CD)이며, 외각에 (Poly(acryloyl hydrazide), PAH)가 배치되는 CD-PAH일 수 있다.

[0018] 상기 별모양 고분자 용액의 농도에 따라 상기 금속 산화물 기반 투명 전극의 표면에 존재하는 상기 PAH의 길이 및 상기 PAH에 존재하는 아민 그룹의 밀도가 조절될 수 있다.

[0019] 상기 아민 그룹의 전자 인출(electron withdrawing) 특성에 의해 상기 금속 산화물 기반 투명 전극의 진공 준위(vaccum level)의 변화가 유도되고 일함수가 감소할 수 있다.

[0020] 본 발명의 다른 측면에 따르면, 상기한 방법으로 제조되는 광학소자용 금속 산화물 기반 투명 전극소자이 제공된다.

발명의 효과

[0021] 본 발명에 따르면, 별모양 고분자 표면처리를 통해 특히 유기 태양전지와 같은 광학소자의 광전 효율을 높일 수 있는 장점이 있다.

도면의 간단한 설명

[0022] 도 1은 본 실시예에 따른 별모양 고분자의 구조를 도시한 도면이다.

도 2는 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 CD-PAH 농도에 따른 인듐-주석 산화물 전극의 원자현미경 표면 사진을 나타낸 것이다.

도 3은 투명 전극에 코팅된 CD-PAH 농도 변화에 따른 X선 광전자 분광법 (XPS, X-ray photoelectron spectroscopy)을 나타낸 것이다.

도 4는 본 실시예에 따른 CD-PAH 농도 증가에 따른 투과도 변화를 나타낸 것이다.

도 5는 자외선 광전자 분광법 (Ultraviolet photoelectron spectroscopy, UPS)으로 관찰한 CD-PAH 코팅 전후 일함수 변화를 나타낸 것이다.

도 6은 본 실시예에 따른 CD-PAH 표면처리 농도 변화에 따른 유기 태양전지의 태양광 조사 환경에서의 전류-전압 특성을 나타낸 것이다.

도 7은 본 실시예에 따른 CD-PAH 표면처리 농도 변화에 따른 LED 1000lux 조사 환경에서의 전류-전압 특성을 나타낸 것이다.

도 8은 IPCE (Incident-photon-to-electron conversion efficiency) 측정법으로 분석한 외부 양자효율 (External quantum efficiency, EQE) 변화를 나타낸 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0023] 본 발명은 다양한 변경을 가할 수 있고 여러 가지 실시예를 가질 수 있는 바, 특정 실시예들을 도면에 예시하고 상세하게 설명하고자 한다.

[0024] 그러나, 이는 본 발명을 특정한 실시 형태에 대해 한정하려는 것이 아니며, 본 발명의 사상 및 기술 범위에 포함되는 모든 변경, 균등물 내지 대체물을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.

[0026] 본 실시예에는 별모양 고분자 표면처리를 통한 저 일함수를 갖는 투명 전극소자를 제안한다.

[0027] 도 1은 본 실시예에 따른 별모양 고분자의 구조를 도시한 도면이다.

[0028] 도 1에 도시된 바와 같이, 본 실시예에 따른 별모양 고분자는 중심부가 β-cyclodextrin(CD)이며, 외각에 (Poly(acryloyl hydrazide), PAH)가 배치되는 CD-PAH이다.

[0029] CD-PAH는 원래 역삼투 박막 개발을 위해 제안되었으나, PAH의 길이를 조절하여 PAH간 얽힘을 조절할 수 있고, PAH에 존재하는 아민 그룹은 전자 인출(electron withdrawing) 특성을 가지고 있으며, 이러한 특성은 금속 산화물 전극과 결합하여 진공 준위(vaccum level)의 변화를 유도하고 일함수를 감소시키는 것을 확인하였다.

[0030] 이는 유기 태양전지와 같은 광학소자 내에서 발생한 전자의 효율적인 인출을 돕고, 태양전지의 성능 파라미터 중 개방전압, 단락 밀도전류 및 충진률 모두를 크게 향상시킬 수 있다.

[0031] 또한, 풍부한 아민 그룹은 물에 대한 용해도를 증가시켜 균일한 코팅이 가능하게 한다.

[0032] 광학소자에 사용되는 금속 산화물 기반 투명 전극을 미리 설정된 농도의 CD-PAH로 표면처리하여 진공 준위(vaccum level)의 변화를 유도하고 일함수를 감소시킨다.

[0033] 바람직하게, 투명 전극의 표면처리를 위한 CD-PAH의 농도는 0.05 내지 0.1 wt%인 것이 바람직하다.

[0034] 이하에서는 CD-PAH의 별모양 고분자를 이용하여 인듐-주석 산화물 전극의 표면처리한 경우에 대해 설명한다.

[0036] **실시예: 인듐-주석 산화물 전극의 CD-PAH를 이용한 표면처리 및 이를 이용한 유기 태양전지 제조**

[0037] 1. 인듐-주석 산화물 전극이 형성된 기판에 대한 초음파 세척 (Sonication)을 아래의 재료를 사용하여 20분간 순서대로 진행하였다.

[0038] 1) Deionized water + detergent

[0039] 2) Deionized water (DI water)

[0040] 3) Acetone

[0041] 4) Isopropyl alcohol

[0043] 2. 세척이 끝난 기판을 질소 에어건을 활용하여 고압 질소 건조한 후, 진공에서 15분간 보관하였다. 이는 표면에 남아있는 세척 용액 및 휘발성 불순물을 제거하기 위함이다.

[0045] 3. 스핀 코터를 활용하여, 아래 조건으로 표면에 DI water를 도포한 후 표면을 세척하였다.

[0046] - Step 1. Acceleration time 10 sec, Spin speed 500 rpm, time 30 sec

[0047] - Step 2. Acceleration time 10 sec, Spin speed 1000 rpm, time 30 sec

[0048] 상기한 3의 과정은 인듐-주석 산화물 전극 표면에 물 분자를 형성하여 일부 친수성 표면으로 전환하기 위한 과정이다.

[0050] 4. 아래의 조건으로 DI water를 용매로 한 CD-PAH 용액(농도 0.05 ~ 0.2 wt%, 4℃ 정도의 저온 보관)을 인듐-주석 산화물 전극에 스핀 코팅하였다.

[0051] - Step 1. Acceleration time 1 sec, Spin speed 1000 rpm, time 30 sec

[0053] 이하에서는 상기한 방법으로 표면처리된 투명 전극을 이용하여 유기 태양전지를 제조하는 과정을 설명한다.

[0055] 5. 열처리 (Hot plate를 활용한 thermal annealing)

[0056] 열처리는 110℃에서 10분간 수행되며, 이는 박막의 형성도를 높이고, 표면에 잔류하는 물 분자 제거를 목적으로 하는 후처리이다.

[0058] 6. 유기 광활성층 스핀 코팅

[0059] P3HT (Poly(3-hexylthiophene-2,5-diyl))와 ICBA (Indene-C60 bisadduct)의 혼합 비율을 1:1 (Donor: Acceptor = 1:1)로 맞추고, 클로로벤젠 (Chlorobenzene)에 40mg/ml 농도로 녹인 용액을 1시간 동안 45℃에서 저어주고(Stirring), 이후 상온에서 20분간 저어주면서 냉각하였다.

[0060] CD-PAH 표면처리가 된 기판의 표면에 용액을 도포하였으며, 이때 PTFE filter 0.45um를 이용하여 불순물과 용해가 덜된 입자를 걸러내었다.

[0061] 그리고 스핀 코팅 조건은 다음과 같다.

[0062] - Step 1. Acceleration time 1 sec, Spin speed 800 rpm, time 30 sec

[0064] 7. 광활성층 박막 형성도 증진을 위해 150℃에서 10분간 열처리를 진행하였다.

[0066] 8. 열증착 장치(Thermal evaporator)를 이용한 금속 전극 제작

[0067] - 고진공 (약 1.2 E-7 hPa)에서 Molybdenum oxide (MoO_x)와 Silver (Ag)를 각각 10nm, 150nm 만큼 증착하였으며, 이때, Crystal sensor를 활용하여, 각각 증착 속도를 0.6 A/sec, 1.0 A/sec로 일정하게 유지하였다.

[0069] 도 2는 본 발명의 바람직한 일 실시예에 따른 CD-PAH 농도에 따른 인듐-주석 산화물 전극의 원자현미경 표면 사진을 나타낸 것이다.

[0070] 도 2에서 CD-PAH의 농도는 각각 (a) 0 wt%, (b) 0.2wt%, (c) 0.1 wt%, (d) 0.075 wt%, (e) 0.05 wt%이다.

[0071] 도 2를 참조하면, CD-PAH 농도가 0 wt%에서 0.2 wt%로 증가함에 따라, 표면 거칠기가 감소하는 경향을 보이며, 더 적은 수의 핀홀이 관찰되는 것을 확인할 수 있다.

[0072] 도 3은 투명 전극에 코팅된 CD-PAH 농도 변화에 따른 X선 광전자 분광법 (XPS, X-ray photoelectron spectroscopy)을 나타낸 것이다.

[0073] 도 3을 참조하면, X선 광전자 분광법으로 표면에 존재하는 아민 그룹의 밀도를 확인할 수 있고, CD-PAH 농도가 증가함에 따라 표면에 존재하는 N1s의 첨두치가 증가하는 것을 확인할 수 있다.

[0074] CD-PAH 코팅에 따른 표면 거칠기의 감소는 광활성층에서 인듐-주석 산화물 전극으로의 전하 이동에 트랩을 감소시키는 역할을 하고, 누설 전류를 최소화한다.

[0075] 반대로, 높은 농도의 표면 처리는 별모양 고분자의 낮은 전도성으로 인해 부도체적 특성을 보이며 광전류를 감소시킨다.

[0076] 도 4는 본 실시예에 따른 CD-PAH 농도 증가에 따른 투과도 변화를 나타낸 것이고, 도 5는 자외선 광전자 분광법 (Ultraviolet photoelectron spectroscopy, UPS)으로 관찰한 CD-PAH 코팅 전후 일함수 변화를 나타낸 것이다.

[0077] 도 4를 참조하면, CD-PAH를 이용한 표면처리 후 광학적 특성의 변화는 거의 일어나지 않으며, 특히 태양전지의 성능에 크게 영향을 미칠 수 있는 가시광 영역(300~700㎚)의 범위에서 흡광이 거의 일어나지 않는다.

[0078] 특히, CD-PAH의 농도 변화에 따른 광학적 특성의 변화는 거의 일어나지 않으며, 유기 태양전지의 광활성층으로 광전달 특성이 우수함을 확인할 수 있다.

[0079] 또한, 도 5를 통해 CD-PAH를 이용한 표면처리 이후 인듐-주석 산화물 전극의 일함수가 4.5eV에서 4.1eV까지 줄어드는 것을 확인할 수 있다.

[0080] · 이는 광활성층의 전자 받개의 LUMO (Lowest unoccupied molecular orbital) 준위와 정렬되어 효율적인 전자 수송을 가능하게 하며, 일함수의 변화는 표면처리 후, 투명 전극 표면에 존재하는 아민 그룹이 활성화되어 전자 인출이 활발히 발생하고, 이에 따라 진공 준위의 변화가 유도되어 발생하는 것이다.

[0081] 도 6은 본 실시예에 따른 CD-PAH 표면처리 농도 변화에 따른 유기 태양전지의 태양광 조사 환경에서의 전류-전압 특성을 나타낸 것이고, 도 7은 본 실시예에 따른 CD-PAH 표면처리 농도 변화에 따른 LED 1000lux 조사 환경에서의 전류-전압 특성을 나타낸 것이다.

[0082] 도 6 내지 도 7에서와 같이, CD-PAH 표면처리에 따른 효과를 정량적으로 분석하기 위해, 유기 태양전지를 구성하고 그 성능을 각각 태양광 환경 (I_L=100mw/cm^2), LED 1000lux (I_L=0.17mw/cm^2)에서 확인한다.

[0083] 도 6을 참조하면, 태양광 환경에서, 표면처리가 없는 소자는 개방전압(V_{OC})이 478±7mV, 단락 전류밀도(J_{SC})가 6.9±0.3mA/cm^2, 충진율 (Fill factor) 35.5±1.6%를 보이며 가장 낮은 광전효율 1.2±0.1%를 보인다.

[0084] 이는 투명 전극과 광활성층의 계면에서 발생하는 재결합으로 인한 누설 전류의 영향이 지배적이며, 이로 인해

모든 성능 파라미터가 저해되는 것을 의미한다.

[0085] CD-PAH의 농도가 0.05wt%일 때, 개방전압이 575±6mV, 단락 전류밀도가 8.8±0.1mA/cm^2, 충진율 45.4±0.4%로 표면처리 이후 개선된 2.3±0.1%의 광전효율을 달성하고, 이후 0.075wt%에서 개방전압 679±1mV, 단락 전류밀도 10.2±0.1mA/cm^2, 충진율 50.6±2.0%로 최대 효율인 3.5±0.1%를 달성한다.

[0086] · CD-PAH 농도 0.1wt% 이상으로 증가함에 따라 개방전압은 유사한 수치를 보이나 단락 전류밀도가 8.6±0.1 mA/cm^2, 8.5±0.1mA/cm^2 수준으로 감소하며 광전효율이 2.9±0.1%, 2.7±0.1%까지 감소한다.

[0087] 이는 별모양 고분자의 고유적 특성인 부도체적 특성으로부터 기인한 것으로, 이를 통해 본 실시예에 따른 별모양 고분자의 농도가 0.05 내지 0.2 중량 퍼센트 범위인 것이 바람직하다는 것을 확인할 수 있다.

[0088] 특히, 별모양 고분자의 농도가 0.075 중량 퍼센트인 경우 가장 바람직한 성능을 나타내며, 0.05보다는 0.1에서 광전효율 등이 개선되는 점을 고려할 때, 투명 전극의 표면처리에 필요한 최소한의 농도가 존재하는 것을 유추할 수 있다.

[0089] · 도 7을 참조하면, LED 조사(실내광) 환경에서는 빛의 강도가 태양광 조사환경에 비해 크게 낮으며, 스펙트럼의 분포가 달라 태양전지의 재결합 전류를 최소화하는 동시에 광전달이 최대로 이루어졌을 때 최적화되는 것을 확인할 수 있다.

[0090] · LED 조사 환경에서의 전류-전압 특성으로 태양광 조사환경과 동일한 경향으로 표면처리가 되지 않은 소자에서 가장 낮은 광전효율 2.4±0.2%의 효율을 보였으며, 모든 성능 파라미터에서 가장 저조한 결과를 보인다.

[0091] · 가장 높은 효율을 달성한 소자는 0.075wt%로 표면처리 된 소자로, 개방전압 442±8mV, 단락 전류밀도 82.7±2.5μA/cm^2, 충진율 62.0±0.1%를 보이며 가장 높은 광전효율 8.1±0.4%를 달성한다.

[0092] · 마찬가지로 농도의 증가에 따라 점차 단락 전류밀도가 감소하여 각각 효율 7.4±0.6%, 6.3±0.3%를 달성한다.

[0093] 아래 표는 태양전지 성능 변화를 정리하여 나타낸 것이다.

[0094] 표 1은 외부광 (AM 1.5 G, light intensity: 100mW/cm^2) 조명에서 측정된 유기 태양전지 장치의 성능 결과를 나타낸 것이다.

표 1

[0095]

Light sources	CD-PAH concentration (wt%)	VOC (mV)	JSC (mA/cm2)	FF (%)	PCE (%)
1-sun (P_{in}=100 mW/cm^2)	0	478 ± 7	6.9 ± 0.3	35.5 ± 1.6	1.2 ± 0.1
	0.2	655 ± 1	8.5 ± 0.1	48.9 ± 0.5	2.7 ± 0.1
	0.1	680 ± 6	8.6 ± 0.1	49.2 ± 0.2	2.9 ± 0.1
	0.075	679 ± 1	10.2 ± 0.1	50.6 ± 2.0	3.5 ± 0.1
	0.050	575 ± 6	8.8 ± 0.1	45.4 ± 0.4	2.3 ± 0.1

[0097] 표 2는 실내광 (LED, light intensity: 0.28mW/cm^2) 조명에서 측정된 유기 태양전지 장치의 성능 결과를 나타낸 것이다.

표 2

[0098]

Light sources	CD-PAH concentration (wt%)	VOC (mV)	JSC (mA/cm2)	FF (%)	PCE (%)

LED 1000 lux (P_{in}=0.28 mW/cm^2)	0	253 ± 8	61.5 ± 2.7	44.1 ± 1.8	2.4 ± 0.2
	0.2	424 ± 7	68.6 ± 3.4	60.5 ± 1.1	6.3 ± 0.3
	0.1	447 ± 20	80.0 ± 6.2	57.7 ± 2.2	7.4 ± 0.6
	0.075	442 ± 8	82.7 ± 2.5	62.0 ± 0.1	8.1 ± 0.4
	0.050	293 ± 13	76.5 ± 1.3	49.1 ± 0.1	3.9 ± 0.1

[0099] 도 8은 IPCE (Incident-photon-to-electron conversion efficiency) 측정법으로 분석한 외부 양자효율 (External quantum efficiency, EQE) 변화를 나타낸 것이다.

[0100] 도 8은 외부 양자효율 분석으로 흡수된 광자의 전류 기여 효율을 관찰하기 위해 분석한 결과를 나타낸 것이며, 본 실시예에 따른 표면처리 이후, 300~700nm의 전반적인 영역에서 양자효율 변화가 발생하였으며, 이는 태양광 환경에서의 성능 변화를 검증하는 것이다.

[0101] 표면처리가 되지 않은 소자에서는 최대 43.8%의 양자효율을 보이는 반면, 표면처리가 된 소자에서는 최대 66.9%, 최소 61.4%로 전자의 인출 성능이 증가한다.

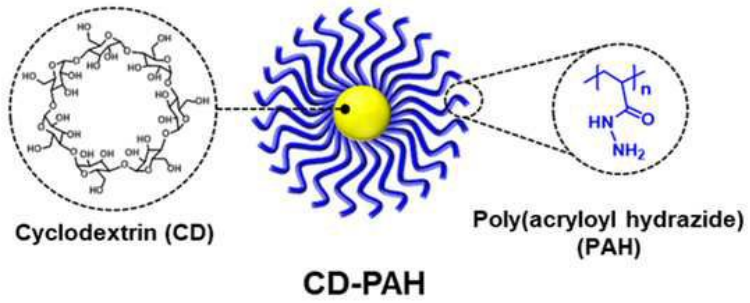
[0102] 가장 높은 양자효율을 달성한 소자는 0.075wt%의 농도로 표면처리를 한 소자였으며 이는 태양광 조사환경에서의 성능 경향과 동일하다.

[0103] 따라서 CD-PAH 기반의 별모양 고분자 표면처리는 광학 소자에 적용 잠재성을 보이며, 우수한 전자 인출 특성을 가지는 것을 알 수 있다.

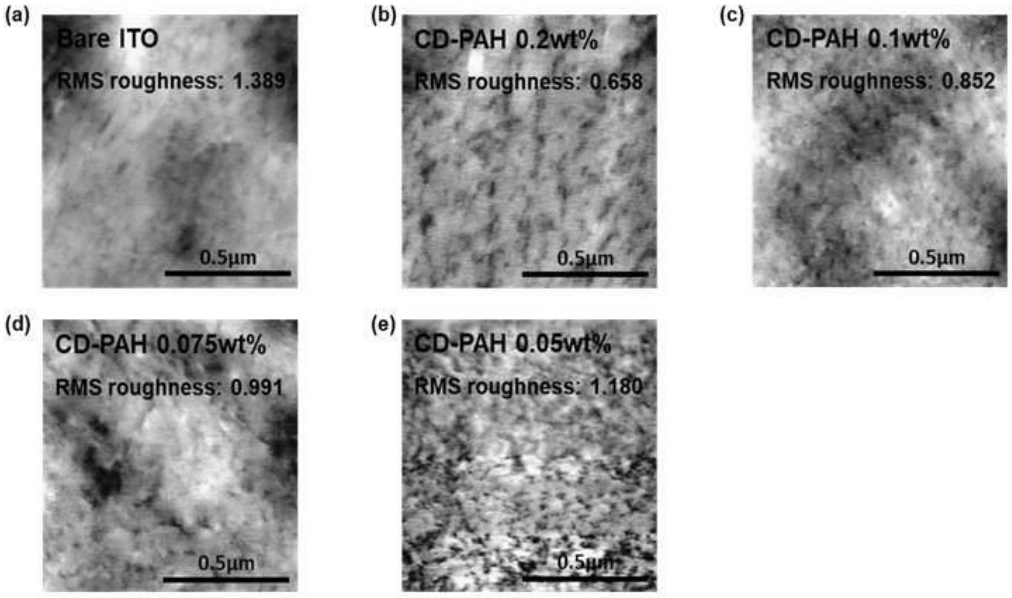
[0104] 상기한 본 발명의 실시예는 예시의 목적을 위해 개시된 것이고, 본 발명에 대한 통상의 지식을 가지는 당업자라면 본 발명의 사상과 범위 안에서 다양한 수정, 변경, 부가가 가능할 것이며, 이러한 수정, 변경 및 부가는 하기의 특허청구범위에 속하는 것으로 보아야 할 것이다.

도면

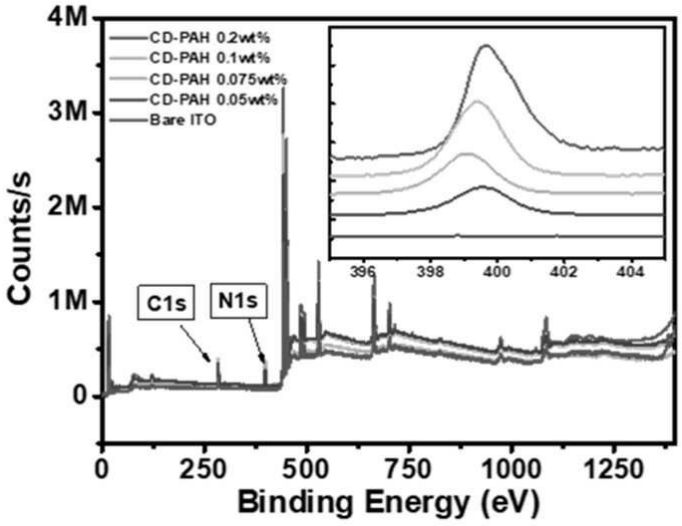
도면1



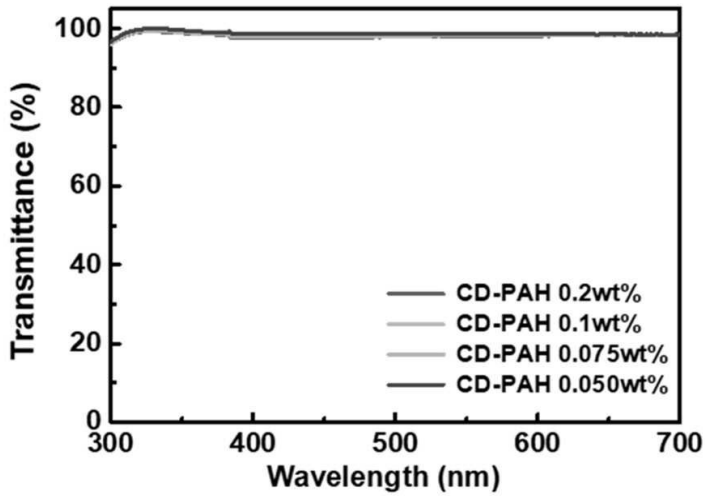
도면2


(a)
Bare ITO
RMS roughness: 1.389
0.5μm
(b)
CD-PAH 0.2wt%
RMS roughness: 0.658
0.5μm
(c)
CD-PAH 0.1wt%
RMS roughness: 0.852
0.5μm
(d)
CD-PAH 0.075wt%
RMS roughness: 0.991
0.5μm
(e)
CD-PAH 0.05wt%
RMS roughness: 1.180
0.5μm

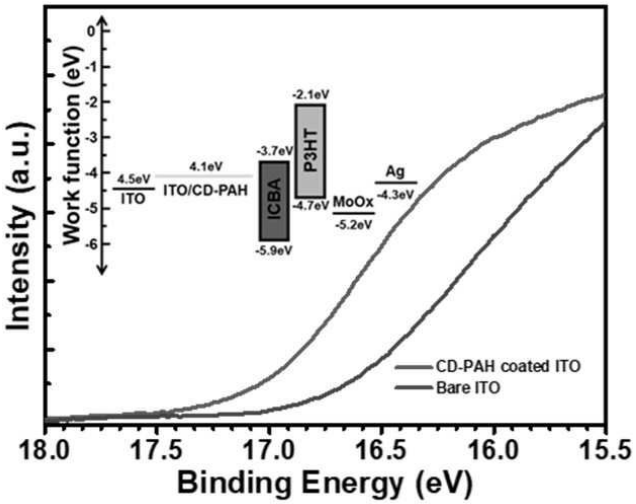
도면3


CD-PAH 0.2wt%
CD-PAH 0.1wt%
CD-PAH 0.075wt%
CD-PAH 0.05wt%
Bare ITO
C1s
N1s
Counts/s
4M
3M
2M
1M
0
0
250
500
750
1000
1250
Binding Energy (eV)
396
398
400
402
404

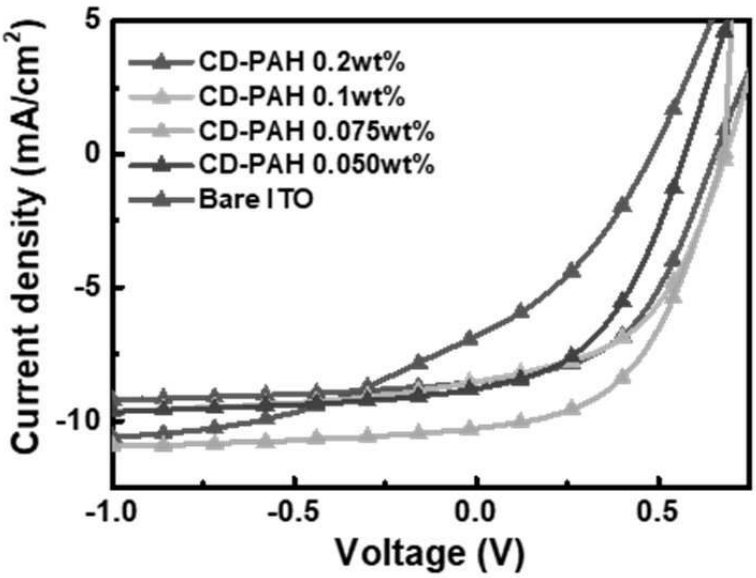
도면4


Transmittance (%)
Wavelength (nm)
CD-PAH 0.2wt%
CD-PAH 0.1wt%
CD-PAH 0.075wt%
CD-PAH 0.050wt%

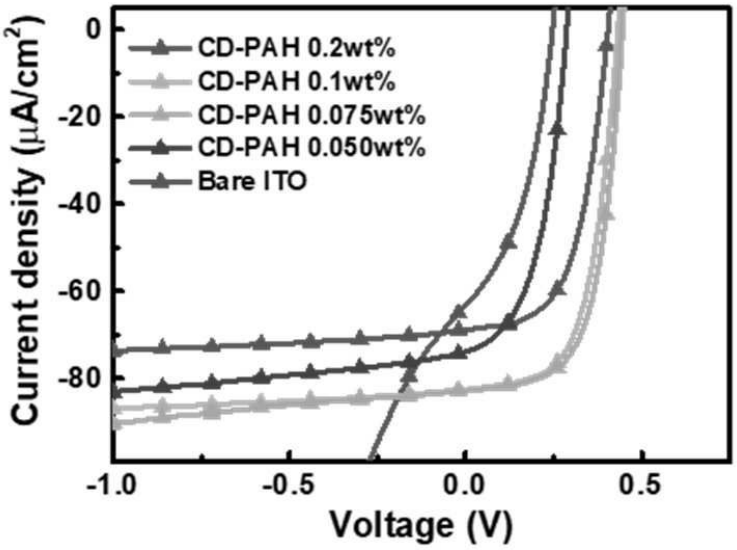
도면5


Intensity (a.u.)
Binding Energy (eV)
Work function (eV)
4.5eV
ITO
4.1eV
ITO/CD-PAH
-3.7eV
ICBA
-5.9eV
-2.1eV
P3HT
-4.7eV
MoOx
-5.2eV
Ag
-4.3eV
CD-PAH coated ITO
Bare ITO

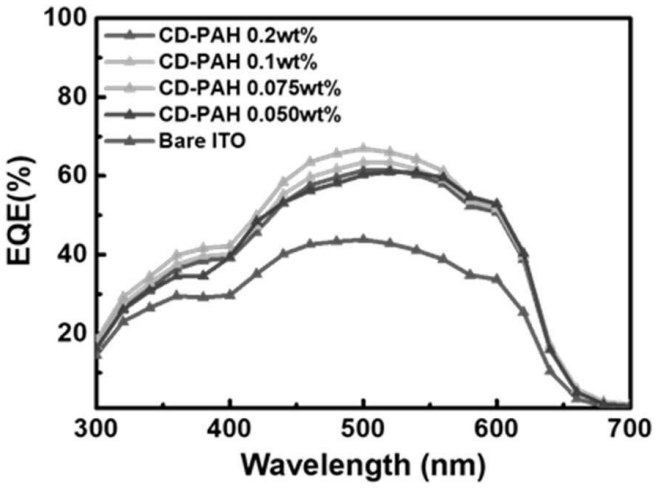
도면6


CD-PAH 0.2wt%
CD-PAH 0.1wt%
CD-PAH 0.075wt%
CD-PAH 0.050wt%
Bare ITO
Current density (mA/cm^2)
Voltage (V)
5
0
-5
-10
-1.0
-0.5
0.0
0.5

도면7


CD-PAH 0.2wt%
CD-PAH 0.1wt%
CD-PAH 0.075wt%
CD-PAH 0.050wt%
Bare ITO
Current density (μA/cm^2)
Voltage (V)
0
-20
-40
-60
-80
-1.0
-0.5
0.0
0.5

도면8


CD-PAH 0.2wt%
CD-PAH 0.1wt%
CD-PAH 0.075wt%
CD-PAH 0.050wt%
Bare ITO
EQE(%)
100
80
60
40
20
300
400
500
600
700
Wavelength (nm)