



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0020197
(43) 공개일자 2025년02월11일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H10K 30/50 (2023.01) H10K 30/81 (2023.01)
H10K 30/85 (2023.01) H10K 71/12 (2023.01)
H10K 71/40 (2023.01) H10K 71/60 (2023.01)
H10K 85/60 (2023.01)

(52) CPC특허분류

H10K 30/50 (2023.02)
H10K 30/81 (2023.02)

(21) 출원번호 10-2023-0101781

(22) 출원일자 2023년08월03일

심사청구일자 2023년08월03일

(71) 출원인

고려대학교 산학협력단

서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)

경상국립대학교산학협력단

경상남도 진주시 진주대로 501 (가좌동)

(72) 발명자

심재원

서울특별시 성동구 매봉길 15, 103동 601호(옥수동, 래미안옥수 리버젠)

김성현

울산광역시 남구 두왕로106번길 28-23, 104동 301호(선암동, 선암서광아파트)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

송인호, 윤형근, 최관락

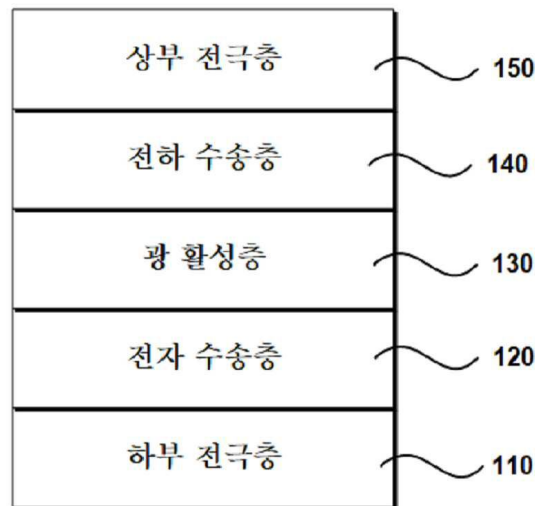
전체 청구항 수 : 총 6 항

(54) 발명의 명칭 표면 개질이 향상된 실내 광 태양 전지 및 그 제조 방법

(57) 요약

표면 개질이 향상된 실내 광 태양 전지 및 그 제조 방법이 개시된다. 표면 개질이 향상된 실내 광 태양 전지는 실내 광이 통과하는 투명 하부 전극층; 상기 실내 광에 의해 여기자를 생성하고, 상기 여기자를 양전하와 음전하로 분리하는 공여체와 Y시리즈 비플러렌 수용체가 혼합된 광 활성층; 및 상기 음전하를 흡수하는 상부 전극층을 포함한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H10K 30/85 (2023.02)
H10K 71/12 (2023.02)
H10K 71/40 (2023.02)
H10K 71/60 (2023.02)
H10K 85/657 (2023.02)

권순기

경상남도 진주시 가좌안골길21번길 5, 101동 1103호(가좌동, 가좌제일풍경채)

(72) 발명자

김윤희

경상남도 진주시 가좌안골길21번길 5, 101동 1103호(가좌동, 가좌제일풍경채)

홍광표

전라북도 진주시 완산구 메너머1길 14-15 (중화산동2가)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711189343
과제번호	2022R1A2C2009523
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)
연구과제명	전일 동작 광전지 개발을 위한 약광 발전 한계 돌파 연구
기 여 율	1/4
과제수행기관명	고려대학교
연구기간	2023.03.01 ~ 2024.02.29

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1415186225
과제번호	20011336
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국산업기술기획평가원
연구사업명	전략핵심소재자립화기술개발
연구과제명	고신축특성을 가지는 고신뢰성고내구성 점착필름 및 대면적 코팅 공정 기술 개발
기 여 율	1/4
과제수행기관명	주식회사 챔코
연구기간	2023.01.01 ~ 2023.12.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711194135
과제번호	2022M3J7A1062940
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	과학기술혁신인재양성
연구과제명	미래유망 수소기술 인재양성 연구단
기 여 율	1/4
과제수행기관명	인하대학교
연구기간	2023.02.01 ~ 2024.01.31

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711183027
과제번호	2021R1A2B5B03086367
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)
연구과제명	새로운 설계 개념을 통한 친환경 공정 가능한 고성능 유기 전자 소재 개발
기 여 율	1/4
과제수행기관명	경상국립대학교
연구기간	2023.03.01 ~ 2024.02.29

명세서

청구범위

청구항 1

실내 광이 통과하는 투명 하부 전극층;

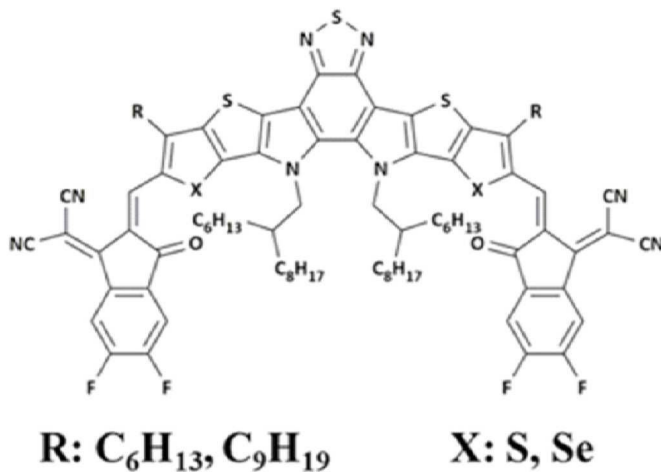
상기 실내 광에 의해 여기자를 생성하고, 상기 여기자를 양전하와 음전하로 분리하는 공여체와 Y시리즈 비플러렌 수용체가 혼합된 광 활성층; 및

상기 음전하를 흡수하는 상부 전극층을 포함하는 실내 광 태양전지.

청구항 2

제1 항에 있어서,

상기 Y시리즈 비플러렌 수용체는 하기 화학식으로 표시되는 것을 특징으로 하는 실내 광 태양전지.



상기 화학식에서 R은 탄소 길이가 6, 9인 알킬 체인(alkyl chain)의 위치를 나타내고,

X는 사이오펜(ThTh), 셀레노펜(Thse)으로 구성된 군에서 치환된 치환기임.

청구항 3

제1 항에 있어서,

상기 공여체와 비플러렌 수용체는 1:1.2 비율로 0.5 부피퍼센트의 1-클로로나프탈렌(1-Chloronaphthalene)이 포함된 클로로포름 용액에 13.2 mg/ml 녹인 후 25 ° C에서 4시간 동안 질소 가스가 채워진 박스에서 교반하여 제조되는 것을 특징으로 하는 실내 광 태양전지.

청구항 4

제1 항에 있어서,

상기 광 활성층은 필터 없이 상기 투명 하부 전극층 위에 5000알피엠(rpm)에서 30초 동안 스핀 코팅하고 100도에서 10분 동안 열처리하는 증착 과정을 통해 형성되는 것을 특징으로 하는 실내 광 태양전지.

청구항 5

제1 항에 있어서,

상기 광 활성층과 상기 상부 전극층 사이에 전자 수송층을 더 포함하되,

상기 전자 수송층은 10nm 두께의 MoO₃ 물질로 형성되는 것을 특징으로 하는 실내 광 태양전지.

청구항 6

실내 광 태양전지 제조 방법에 있어서,

기관 상에 실내 광이 통과하는 투명 하부 전극을 형성하는 단계;

상기 투명 하부전극 상에 공여체와 Y시리즈 비플러렌 수용체를 혼합하여 상기 실내 광에 의해 여기자를 생성하고 상기 여기자를 양전하와 음전하로 분리하는 광 활성층을 형성하는 단계; 및

상기 광 활성층상에 상기 음전하를 흡수하는 상부 전극층을 형성하는 단계를 포함하는 실내 광 태양전지 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 표면 개질이 향상된 실내 광 태양 전지 및 그 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 실내 광전지는 실내 광원의 제한된 발광 파장대와 제한된 캐리어 수로 인해 IoT(Internet of Things)와 같은 실내용 어플리케이션을 위한 전원으로 실질적인 사용을 보장하기 어려운 단점이 있다.

[0004] 실내 광원의 낮은 광량과 이에 따른 제한된 캐리어 수는 유기 광활성층의 재결합 손실을 초래하며, 이로 인해 실내 광전지의 낮은 성능으로 이어지게 된다. 또한, 적은 양의 전하 캐리어가 존재하는 실내 저조도 환경에서는 단락 전류 밀도와 개방 전압이 상당히 감소하는 문제점도 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

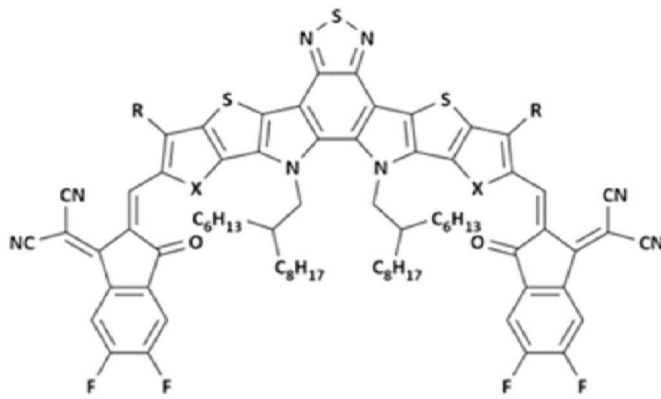
[0006] 본 발명은 표면 개질이 향상된 실내 광 태양 전지 및 그 제조 방법을 제공하기 위한 것이다.

과제의 해결 수단

[0008] 본 발명의 일 측면에 따르면, 표면 개질이 향상된 실내 광 태양 전지가 제공된다.

[0009] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 실내 광이 통과하는 투명 하부 전극층; 상기 실내 광에 의해 여기자를 생성하고, 상기 여기자를 양전하와 음전하로 분리하는 공여체와 Y시리즈 비플러렌 수용체가 혼합된 광 활성층; 및 상기 음전하를 흡수하는 상부 전극층을 포함하는 실내 광 태양전지가 제공될 수 있다.

[0010] 상기 Y시리즈 비플러렌 수용체는 하기 화학식으로 표시되며,



R: C₆H₁₃, C₉H₁₉ X: S, Se

[0011]

[0012] 상기 화학식에서 R은 탄소 길이가 6, 9인 알킬 체인(alkyl chain)의 위치를 나타내고, X는 사이오펜(ThTh), 셀레노펜(Thse)으로 구성된 군에서 치환된 치환기이다.

[0013] 상기 공여체와 비플러렌 수용체는 1:1.2 비율로 0.5 부피퍼센트의 1-클로로나프탈렌(1-Chloronaphthalene)이 포함된 클로로포름 용액에 13.2 mg/ml 녹인 후 25 ° C에서 4시간 동안 질소 가스가 채워진 박스에서 교반하여 제조될 수 있다.

[0014] 상기 광 활성층은 필터 없이 상기 투명 하부 전극층 위에 5000알피엠(rpm)에서 30초 동안 스핀 코팅하고 100도에서 10분 동안 열처리하는 증착 과정을 통해 형성될 수 있다.

[0015] 상기 광 활성층과 상기 상부 전극층 사이에 전자 수송층을 더 포함하되, 상기 전자 수송층은 10nm 두께의 MoO₃ 물질로 형성될 수 있다.

[0017] 본 발명의 다른 측면에 따르면, 표면 개질이 향상된 실내 광 태양 전지 제조 방법이 제공된다.

[0018] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 실내 광 태양전지 제조 방법에 있어서, 기판 상에 실내 광이 통과하는 투명 하부 전극을 형성하는 단계; 상기 투명 하부전극 상에 공여체와 Y시리즈 비플러렌 수용체를 혼합하여 상기 실내 광에 의해 여기자를 생성하고 상기 여기자를 양전하와 음전하로 분리하는 광 활성층을 형성하는 단계; 및 상기 광 활성층상에 상기 음전하를 흡수하는 상부 전극층을 형성하는 단계를 포함하는 실내 광 태양전지 제조 방법이 제공될 수 있다.

발명의 효과

[0020] 본 발명의 일 실시예에 따른 표면 개질이 향상된 실내 광 태양 전지 및 그 제조 방법을 제공함으로써, 분자 구조 최적화를 통해 분자간 밀도 및 표면 모폴로지가 개선되어 성능이 향상될 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0022] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 실내 광전지 구조를 도시한 도면.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 Y시리즈 비플러렌 수용체 분자 구조, 흡광도 측정 결과, 전압 손실, CV 및 에너지 레벨 다이어그램을 분석한 결과를 도시한 도면.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 Y시리즈 비플러렌 수용체를 이용한 실내 광 태양전지의 J-V, EQE를 분석한 결과를 도시한 도면.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 Y시리즈 비플러렌 수용체를 이용한 실내 광 태양전지의 광량에 따른

V_{oc} , J_{sc} , 광전류 밀도를 분석한 결과를 도시한 도면.

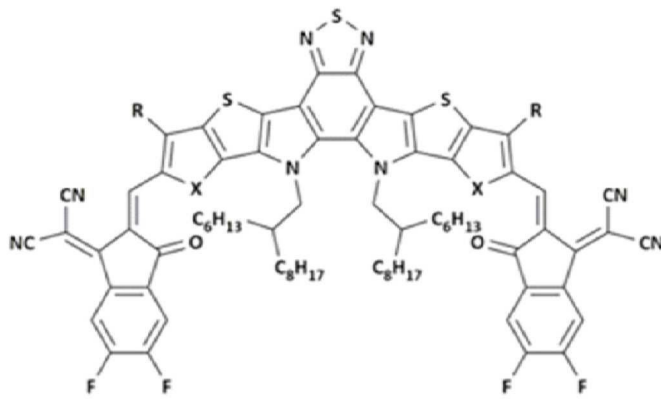
도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 Y-시리즈 비플러렌 수용체를 이용한 광 활성층 패턴, 면내외 강도 프로파일, 3D AFM 프로필을 나타낸 도면.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 Y-시리즈 비플러렌 수용체를 이용한 광 활성층의 흡광도를 분석한 결과를 도시한 도면.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0023] 본 명세서에서 사용되는 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한, 복수의 표현을 포함한다. 본 명세서에서, "구성된다" 또는 "포함한다" 등의 용어는 명세서상에 기재된 여러 구성 요소들, 또는 여러 단계들을 반드시 모두 포함하는 것으로 해석되지 않아야 하며, 그 중 일부 구성 요소들 또는 일부 단계들은 포함되지 않을 수도 있고, 또는 추가적인 구성 요소 또는 단계들을 더 포함할 수 있는 것으로 해석되어야 한다. 또한, 명세서에 기재된 "...부", "모듈" 등의 용어는 적어도 하나의 기능이나 동작을 처리하는 단위를 의미하며, 이는 하드웨어 또는 소프트웨어로 구현되거나 하드웨어와 소프트웨어의 결합으로 구현될 수 있다.
- [0024] 이하, 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세히 설명한다.
- [0026] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 실내 광전지 구조를 도시한 도면이고, 도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 Y시리즈 비플러렌 수용체 분자 구조, 흡광도 측정 결과, 전압 손실, CV 및 에너지 레벨 다이어그램을 분석한 결과이고, 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 Y시리즈 비플러렌 수용체를 이용한 실내 광 태양전지의 J-V, EQE를 분석한 결과이고, 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 Y시리즈 비플러렌 수용체를 이용한 실내 광 태양전지의 광량에 따른 V_{oc} , J_{sc} , 광전류 밀도를 분석한 결과이며, 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 Y-시리즈 비플러렌 수용체를 이용한 광 활성층 패턴, 면내외 강도 프로파일, 3D AFM 프로필을 나타낸 도면이며, 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 Y-시리즈 비플러렌 수용체를 이용한 광 활성층의 흡광도를 분석한 결과이다.
- [0027] 도 1에 도시된 바와 같이, 실내 광 태양 전지(100)는 투명 기판(미도시)상에 형성되는 하부 전극층(110), 전자 수송층(120), 광 활성층(130), 전하 수송층(140) 및 상부 전극층(150)을 포함하여 구성된다.
- [0028] 하부 전극층(110)은 투명 기판상에 형성되며, 빛을 투과하여 전류를 흐르게할 수 있다. 예를 들어, 하부 전극층(110)은 ITO(indium Tin Oxide)로 형성될 수 있다. 하부 전극층(120)이 반드시 ITO로 한정되지는 않을 수 있다.
- [0029] 전자 수송층(120)은 전자가 이동하는 층으로, 하부 전극층(110) 위에 형성될 수 있다. 전자 수송층(120)은 광 활성층(130)에서 분리된 전자를 하부 전극층(110)으로 수송하는 역할을 할 수 있다. 전자 수송층(120)은 ZnO(Zinc Oxide)로 이루어질 수 있다.
- [0030] 광 활성층(130)은 전자 수송층(120) 위에 형성된다. 이러한, 광 활성층(130)은 적어도 둘 이상의 유기 고분자 물질로 구성되어 실내 광에 의해 여기자를 형성하고, 여기자를 양전하와 음전하로 분리하는 공여체와 수용체를 포함할 수 있다.
- [0031] 본 발명의 일 실시예에 따르면 공여체는 PTQ10, PM6(PBDB-T-2F), PM7(PBDB-T-2Cl) 및 PEDOT 중 적어도 하나로 형성되며, 수용체는 Y-시리즈 비플러렌 수용체일 수 있다.
- [0032] 본 발명의 일 실시예에 따른 Y-시리즈 비플러렌 수용체는 하기 화학식으로 표기될 수 있다.

[0033] [화학식]



R: C₆H₁₃, C₉H₁₉ X: S, Se

[0034]

[0035] 여기서, R은 Y6 수용체에서 탄소 길이가 6, 9인 알킬 체인(alkyl chain)의 위치를 나타내고, X는 S, Se가 사이오펜(ThTh), 셀레노펜(Thse) 군에서 치환된 치환기를 나타낸다.

[0036] 본 발명의 일 실시예에서는 Y6 수용체에서 상기 화학식과 같이 탄소 길이가 6, 9인 알킬 체인 위치에서 S, se가 사이오펜(ThTh), 셀레노펜(Thse) 군으로 치환된 수용체를 편의상 Y-시리즈 비플러렌 수용체로 통칭하여 설명하기로 한다.

[0037] 또한, 하기의 설명에서, 사이오펜 시리즈는 ThTh-C6, ThTh-C9 분자 구조를 포함하는 Y-시리즈 비플러렌 수용체로 이해되어야 할 것이며, 사이오펜 시리즈는 ThSe-C6, ThSe-C9 분자 구조를 포함하는 Y-시리즈 비플러렌 수용체로 이해되어야 할 것이다.

[0038] 전하 수송층(140)은 광 활성층(130) 위에 형성된다. 예를 들어, 전하 수송층(140)은 MoO_x 물질로 형성될 수 있다. 예를 들어, 열증착기에서 8 x 10⁻⁸ 토르(torr)의 진공에서 새도우 마스크를 통해 10nm 두께의 moO₃층을 형성할 수 있다.

[0039] 상부 전극층(150)은 전하 수송층(140)위에 형성된다. 예를 들어, 상부 전극층은 Ag으로 형성될 수 있다. 예를 들어, 열증착기에서 8 x 10⁻⁸ 토르(torr)의 진공에서 새도우 마스크를 통해 150nm 두께의 Ag층이 형성될 수 있다.

[0040] 이러한 실내광 태양전지의 동작 원리는 다음과 같다.

[0041] 실내 광전지는 투명 하부전극, 광활성층에 해당하는 유기 반도체층 및 상부전극으로 구성되며, 동작 원리는 다음과 같다.

[0042] (i) 고에너지 광자 흡수 (즉, 빛 흡수), (ii) 여기자 생성 (전자-홀 쌍), (iii) 기저 상태로 붕괴하기 전 공여체-수용체 인터페이스에서의 여기자 확산, (iv) 각 전극으로의 여기자 전송, (v) 전하 수집

[0043] 실내 광전지의 동작 원리 중, 빛에 의해 생기는 양전하 및 음전하는 전하 수송층의 일함수에 따라 양단의 전극으로 이동한다.

[0044] 광 활성층은 빛을 흡수하여 여기자를 생성하고, 실내 광에 의해 유도된 여기자는 해당 층의 에너지 수준의 차이에 따라 먼저 공여체-수용체 인터페이스에서 확산된 다음 각각의 전극으로 이동하여 양전하와 음전하의 형태로 수집되어 전기를 발생시킨다.

[0045] 실내 광원과 같이 낮은 조도에서의 최소 광자 수는 결과적으로 실내 광전지 성능을 저하시키는 표면 결함 및 트랩의 영향을 강하게 받는다.

[0046] 도 2의 (b)는 Y-시리즈 비플러렌 수용체(ThTh-C6, ThTh-C9, ThSe-C6, Thse-C9)의 박막 상태에서 흡수도를 나타내고, 도 2의 (c)는 다양한 광원의 조사 광 파위를 나타낸 도면이다.

[0047] 도 2의 (c)에서 보여지는 바와 같이 LED에 의한 실내 광 조사에서 복사 스펙트럼(400-700nm)과 함께 Y-시리즈 비플러렌 수용체의 불필요한 흡수가 엑시톤 분리(exciton dissociation)에 기여하지 않아 전압 손실(V_{loss})가

발생하는 것을 알 수 있다.

- [0048] 도 2의 (d)는 최하층 비점유 분자 궤도(LUMO)와 최고층 점유 분자 궤도(HOMO)의 높이를 계산하기 위해 순환 전위 측정(CV)을 수행한 결과이며, 도 2의 (e)는 에너지 밴드 다이어그램을 도시한 도면이다.
- [0049] PM6 및 Y-시리즈 비플러렌 수용체(ThTh-C6, ThTh-C9, ThSe-C6 또는 ThSe-C9)의 에너지 수준이 나열되어 있으며, 이를 통해 알킨 체인 및 BTP 코어의 조절에 따른 에너지 준위에 영향을 확인할 수 있다.
- [0050] 도 3의 (a)는 본 발명의 일 실시예에 따른 광 활성층을 가지는 태양광전지의 전류 밀도-전압(J-V) 특성을 나타낸 도면이고, 도 3의 (b)는 외부 양자 효율(EQE) 스펙트럼을 나타낸 도면이고, 도 3의 (c)는 1000 lx LED 하에서 J-V 특성을 나타낸 도면이고, 도 3의 (d)는 1000 lx 할로겐 조명 하에서 J-V 특성을 나타낸 도면이다.
- [0051] 도 3의 (a)는 태양광 표준전압 (AM1.5G) 즉, 1-sun 조명 (Pin: 100 mW/cm²) 하에서 각 기기의 전류 밀도-전압 (J-V) 곡선을 나타낸다. 도 3의 (a)에서 보여지는 바와 같이, 사이오펜(ThTh) 시리즈를 기반으로 한 태양광전지가 셀레노펜(Thse) 시리즈를 기반으로 한 태양광전지보다 향상된 J_{sc} 값을 나타내는 것을 알 수 있다. 이는 광 활성층의 분자간 방향성과 결정성에 기인한다.
- [0052] 도 3의 (b)에서 보여지는 바와 같이 외부 양자 효율(EQE) 스펙트럼은 전반적으로 유사한 것을 알 수 있다. 최대 외부 양자 효율(EQE)값은 파장이 570nm일 때, ThSe-C6 수용체를 포함하는 광 활성층을 가진 태양광전지에서 획득되었다. 이는 방향성이 우수한 결정성에 의해 효율적인 배전 및 전하 수집이 일어난 것을 알 수 있다.
- [0053] 도 3의 (c)는 LED 조명하에서 Y-시리즈 비플러렌 수용체를 기반으로 하는 광 활성층을 가진 태양광전지의 J-V 곡선으로, 셀레노펜(ThSe) 시리즈의 VOC 값이 태양광 환경에서 LED 조명으로 변경되면서 이분자(bimolecular) 재결합이 증가하면서 크게 떨어진 것을 알 수 있다.
- [0054] 또한, 도 3의 (d)에서 보여지는 바와 같이, 할로겐 램프는 점차 증가하는 방사 스펙트럼과 높은 광량(Pin: 7.0 mW/cm²)을 가지므로, 많은 양의 캐리어가 생성될 수 있다. 할로겐 조명하에서는 ThSe-C6 수용체를 포함하는 광 활성층을 가진 태양광전지의 성능이 우수하였으며, 이는 할로겐 램프 조명에서 태양광전지의 흡수 스펙트럼과 잘 일치하는 붉은색 흡수파장을 가지고 있음을 알 수 있다.
- [0055] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 비플러렌 수용체를 포함하는 광 활성층을 가진 태양광전지의 광량에 따른 V_{oc} , J_{sc} , 광전류 밀도에 대한 그래프를 도시한 도면이다.
- [0056] 도 4의 (a)에서 보여지는 바와 같이, C9 길이의 알킬 사슬을 이용한 광 활성층을 가진 태양광전지가 강한 단분자 결합으로 인해 높은 s값을 보이며, C6 길이의 알킬 사슬을 이용한 광 활성층을 가진 태양광전지는 상대적으로 약한 단분자(monomolecular) 재결합을 보이며 성능이 향상된 것을 알 수 있다.
- [0057] 도 4의 (b)에서 보여지는 바와 같이, 사이오펜(ThTh)으로 치환된 비플러렌 수용체를 이용한 광 활성층을 포함하는 태양광 전지에서 α 값이 1에 가까운 값으로 나타났으며, 이는 강한 이중분자 재결합이 억제되어 높은 V_{oc} 값이 나타난 것으로 분석된다.
- [0058] 도 4의 (c)는 이온화 효율성과 전하수집 효율성을 파악하기 위해, 광전류밀도(J_{ph})가 효과 전압(V_{eff})에 대해 나타나는 특성을 파악하였으며, 이를 통해 엑시톤 분리 효율성(η_{diss})과 전하 수집 효율성(η_{coll})을 계산하였다. 도 4의 (c)에서 보여지는 바와 같이, 사이오펜(ThTh)으로 치환된 비플러렌 수용체를 이용한 광 활성층을 포함하는 태양광 전지에서 η_{diss}/η_{coll} 비율이 높게 나타났으며, 이는 균형이 잘 맞는 전하 이동 및 수집 특성을 보여주며 향상된 FF 및 J_{sc} 로 나타나는 것을 알 수 있다.
- [0059] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 Y-시리즈 비플러렌 수용체를 이용한 광 활성층 패턴, 면내외 강도 프로파일, 3D AFM 프로필을 나타낸 도면이다.
- [0060] 도 5의 (a)는 Y-시리즈 비플러렌 수용체를 이용한 광 활성층 필름의 2D GIWAXS 패턴을 나타낸 것으로, 사이오펜

(ThTh) 시리즈 필름에서 강한 co-facial 패키징을 확인할 수 있으며, 이는 밀도 높은 분자 패키징으로 인한 전자 이동도의 증가로 이어질 수 있다.

[0061] 도 5의 (b) 및 (c)는 면외(OOP: out-of-plane) 방향, 면내(IP: in-plane) 방향의 강도 프로필을 나타낸 도면으로, OOP 방향($\sim 1.80 \text{ \AA}^{-1}$)에서 강한 $\pi - \pi$ 스택 피크를 나타내고, IP 방향($\sim 0.29 \text{ \AA}^{-1}$)에서 라멜라(lamellar) 피크를 나타낸다. 이는 face-on 방향의 밀도 높은 분자 패키징을 나타내며, 내부 조명 하에서 모든 태양광 전지의 FF를 향상시키는 것을 시사한다.

[0062] 도 5의 (d)는 AFM을 이용하여 표면 거칠기를 조사한 결과로, 결정성 감소로 인해 표면 거칠기 증가는 인터페이스 재결합을 초래하며 큰 V_{oc} 감소에 기여한다. 도 5의 (d)에서 보여지는 바와 같이 ThTh-C6 분자 구조를 포함하는 비플러렌 수용체에서 비교적 낮은 RMS 값을 가지며, 이는 이를 이용한 태양광 전지가 가장 낮은 입자 수를 포함하고 있음을 나타내며, 결과적으로 내부 조명 조건에서 개선된 FF와 일치함을 확인할 수 있다.

표 1

	AM1.5G				LED 2000 lx			
	V_{oc} (mV)	J_{sc} (mA/cm ²)	FF (%)	PCE (%)	V_{oc} (mV)	J_{sc} (Indoor: μ A/cm ²)	FF (%)	PCE (%)
ThTh-C6	815 $\pm$ 9	25.3 $\pm$ 0.4	75.1 $\pm$ 0.4	15.5 $\pm$ 0.5	696 $\pm$ 2	228.4 $\pm$ 9.4	73.7 $\pm$ 0.7	25.5 $\pm$ 0.8
ThTh-C9	818 $\pm$ 7	25.0 $\pm$ 0.3	71.2 $\pm$ 1.1	14.6 $\pm$ 0.5	704 $\pm$ 1	221.3 $\pm$ 11.9	70.8 $\pm$ 0.3	24.0 $\pm$ 0.7
ThSe-C6	783 $\pm$ 13	24.9 $\pm$ 0.4	72.4 $\pm$ 1.5	14.1 $\pm$ 0.3	632 $\pm$ 1	222.8 $\pm$ 6.4	71.3 $\pm$ 0.5	21.8 $\pm$ 0.7
ThSe-C9	819 $\pm$ 13	24.5 $\pm$ 1.1	73.0 $\pm$ 0.4	14.6 $\pm$ 0.5	676 $\pm$ 1	208.8 $\pm$ 5.3	72.5 $\pm$ 0.4	22.3 $\pm$ 0.5
	LED 1500 lx				LED 1000 lx			
	V_{oc} (mV)	J_{sc} (Indoor: μ A/cm ²)	FF (%)	PCE (%)	V_{oc} (mV)	J_{sc} (Indoor: μ A/cm ²)	FF (%)	PCE (%)
ThTh-C6	685 $\pm$ 1	171.5 $\pm$ 6.8	73.5 $\pm$ 0.2	25.4 $\pm$ 0.1	670 $\pm$ 1	115.2 $\pm$ 4.4	73.2 $\pm$ 0.3	24.6 $\pm$ 0.2
ThTh-C9	692 $\pm$ 1	165.7 $\pm$ 8.8	71.4 $\pm$ 0.5	24.1 $\pm$ 0.8	676 $\pm$ 1	110.9 $\pm$ 5.9	71.1 $\pm$ 0.8	23.2 $\pm$ 0.5
ThSe-C6	621 $\pm$ 1	162.7 $\pm$ 3.9	72.0 $\pm$ 0.8	21.4 $\pm$ 0.7	604 $\pm$ 2	111.0 $\pm$ 1.5	70.1 $\pm$ 0.7	20.4 $\pm$ 0.7
ThSe-C9	662 $\pm$ 3	145.6 $\pm$ 11.1	72.4 $\pm$ 0.2	20.5 $\pm$ 0.7	647 $\pm$ 1	106.7 $\pm$ 4.5	71.2 $\pm$ 0.6	21.4 $\pm$ 0.9
	LED 800 lx				Hal 1000 lx			
	V_{oc} (mV)	J_{sc} (Indoor: μ A/cm ²)	FF (%)	PCE (%)	V_{oc} (mV)	J_{sc} (Indoor: μ A/cm ²)	FF (%)	PCE (%)
ThTh-C6	662 $\pm$ 1	92.0 $\pm$ 3.3	72.8 $\pm$ 0.4	24.6 $\pm$ 0.4	692 $\pm$ 1	571.6 $\pm$ 14.2	72.1 $\pm$ 0.7	4.1 $\pm$ 0.1
ThTh-C9	665 $\pm$ 3	88.1 $\pm$ 4.5	68.9 $\pm$ 0.7	22.4 $\pm$ 0.6	697 $\pm$ 4	544.0 $\pm$ 42.5	70.2 $\pm$ 1.1	3.8 $\pm$ 0.3
ThSe-C6	595 $\pm$ 1	85.4 $\pm$ 2.4	69.6 $\pm$ 0.8	19.7 $\pm$ 0.7	670 $\pm$ 5	663.2 $\pm$ 41.7	71.32 $\pm$ 1.3	4.5 $\pm$ 0.3
ThSe-C9	630 $\pm$ 1	73.1 $\pm$ 2.3	70.8 $\pm$ 0.5	18.2 $\pm$ 0.5	700 $\pm$ 2	620.5 $\pm$ 24.6	67.35 $\pm$ 1.0	4.2 $\pm$ 0.1

[0064] 표 1은 표준 태양광, 다양한 실내광원에서의 태양전지의 성능을 평가한 결과이다. 표 1에서 보여지는 바와 같이, 표준 태양광 환경에서는 ThTh-C6 분자 구조를 포함하는 광 활성층을 가진 태양전지가 최고 전력변환효율(PCE)를 나타냈으며, 15.4 $\pm$ 0.9%의 PCE, 71.4 $\pm$ 0.8%의 채움요인(FF), 25.6 $\pm$ 1.1 mA/cm²의 전류 밀도

(J_{SC}), 841 ± 3 mV의 개방 전압(V_{OC})을 나타냈다. 또한, ThTh-C6 분자 구조를 포함한 광 활성층을 이용하는 경우, 전력변환효율은 ThTh-C6 분자 구조를 포함한 광 활성층을 이용한 경우와 비슷하게 나타났다.

[0065] 표준 태양광에서는 셀레노펜 시리즈(ThSe-C6, ThSE-C9) 분자 구조를 포함한 광 활성층을 이용하는 경우 전력변환효율이 각각 $15.4 \pm 0.8\%$ 및 $15.3 \pm 0.6\%$ 로 사이오펜 시리즈(ThTh-C6, ThTh-C9 분자 구조를 포함하는 Y-시리즈 비플러렌 수용체)와 비슷하게 나타났다.

[0066] LED 및 할로젠 조명 하에서 태양전지의 성능을 측정한 결과 ThTh-C6 분자 구조를 포함하는 광 활성층을 가진 태양전지가 최고의 전력변환효율을 나타냈으며, 사이오펜 시리즈는 LED 조명하에서는 큰 V_{OC} 감소를 보였다.

[0067] 결과적으로 짧은 사이드 알킨 체인은 긴 체인보다 상대적으로 감소된 단분자 제결합과 향상된 평면성을 초래하였으며, 이는 향상된 J_{SC} 와 전자이동도를 보였다.

[0068] 사이드 체인이 긴 C9개인 경우 용해도가 우수하지만 모폴로지가 나빠지는 경향이 있으며, 반면 짧은 사이드 체인인 C3는 모폴로지는 우수하나 용해도가 매우 떨어져 큰 성능 저하를 가져온다.

[0069] 따라서, 사이드 체인은 C6 일 때 전기적 성능이 가장 우수한 것을 알 수 있다.

[0070] 전술한 바와 같이 Y-시리즈 비플러렌 수용체에 치환기로 셀레노펜을 사용하는 경우 높은 편극률에 의해 태양광 환경에서는 J_{SC} 가 높아 외부 광용 태양전지를 사용할 때는 유리하나 실내 광전지에 있어서 V_{OC} 의 큰 손실로 큰 성능 저하를 보인다.

[0071] 반면, Y-시리즈 비플러렌 수용체에 치환기로 사이오펜을 사용하는 경우, PM6 도너와 혼합되었을 때 셀레노펜에 비해 더 우수한 결정성을 보였으며, 이로 인해 소자 성능 저하가 억제된 우수한 성능을 보이는 것을 알 수 있다.

[0072] 또한, 도 6에 도시된 바와 같이 Y-시리즈 비플러렌 수용체에 치환기로 셀레노펜을 사용하는 경우, 편극률에 의해 최대 흡광을 가지는 정점이 장파장으로 치우쳐져 있으며, 이는 실내광원의 파장대 불일치로 인해 실내광전지로서 낮은 성능을 보이나, 사이오펜을 사용하는 경우 셀레노펜에 비해 단파장에 조금 더 치우쳐 있어 실내광에서 더 높은 J_{SC} 를 보이는 것을 알 수 있다.

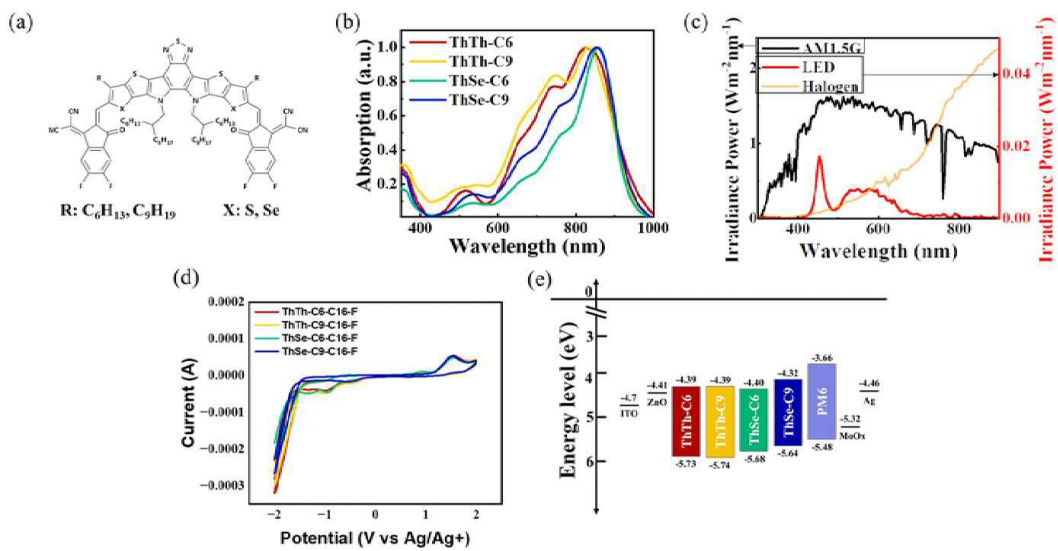
[0074] 이제까지 본 발명에 대하여 그 실시 예들을 중심으로 살펴보았다. 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 구현될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 개시된 실시 예들은 한정적인 관점이 아니라 설명적인 관점에서 고려되어야 한다. 본 발명의 범위는 전술한 설명이 아니라 특허청구범위에 나타나 있으며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 차이점은 본 발명에 포함된 것으로 해석되어야 할 것이다.

도면

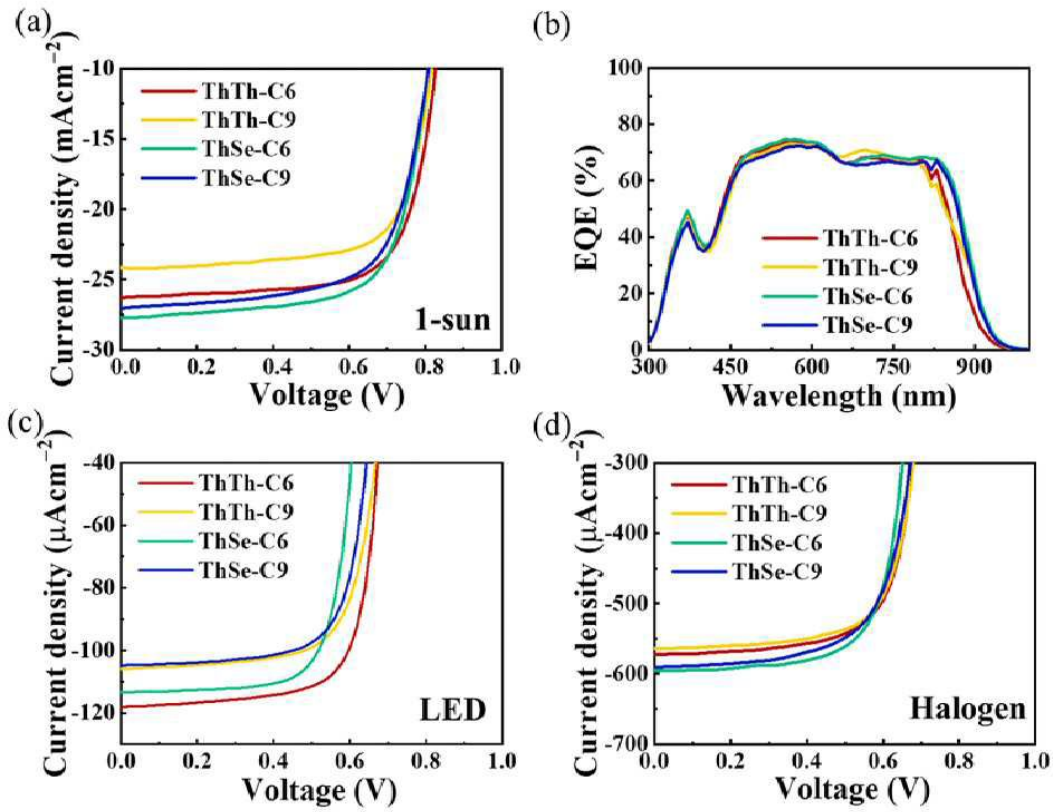
도면1



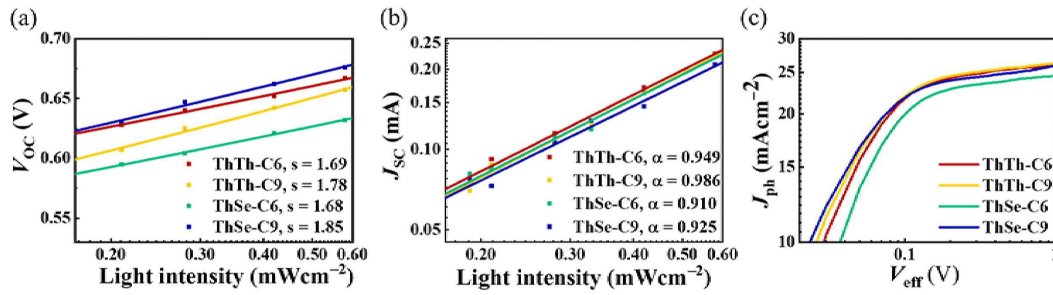
도면2



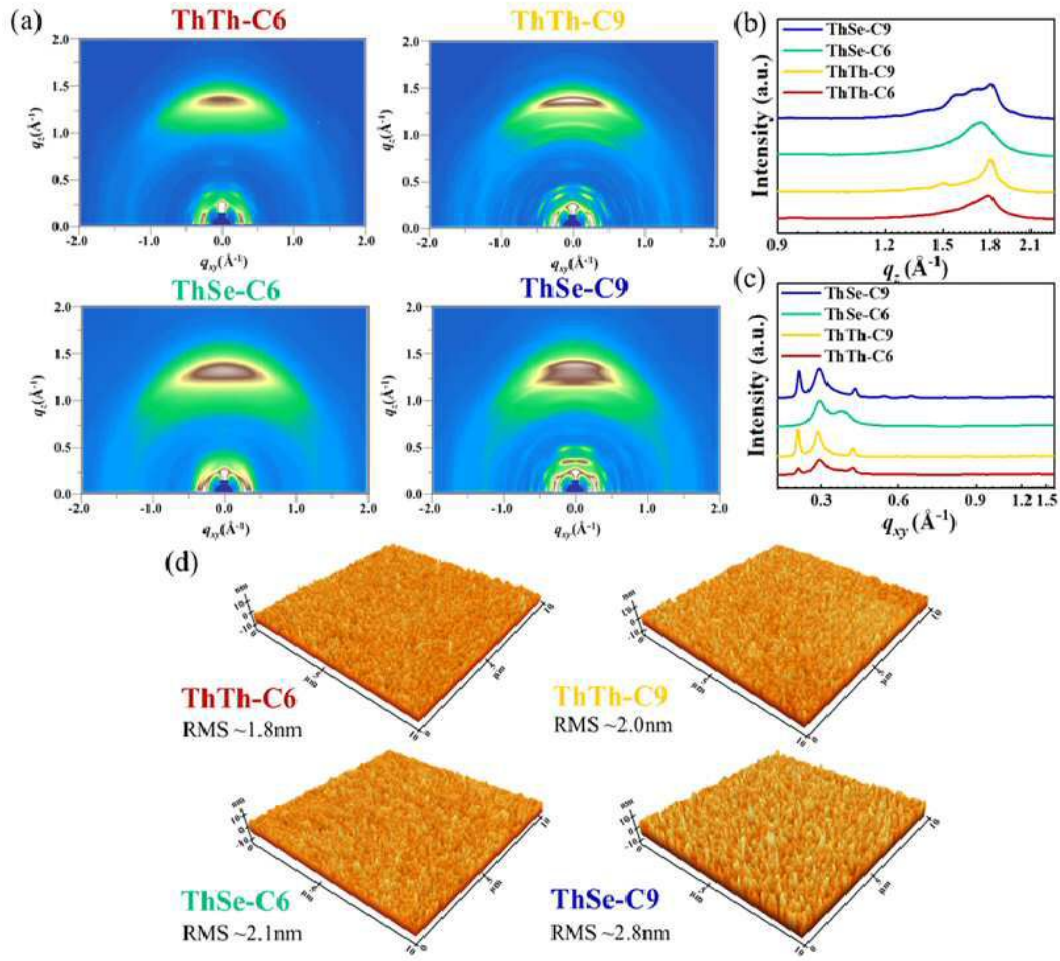
도면3



도면4



도면5



도면6

