



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0020732
(43) 공개일자 2023년02월13일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 31/055 (2014.01) C09K 11/08 (2006.01)
C09K 11/67 (2006.01) G02B 6/10 (2022.01)
(52) CPC특허분류
H01L 31/055 (2013.01)
C09K 11/0805 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2021-0102482
(22) 출원일자 2021년08월04일
심사청구일자 2021년08월04일

(71) 출원인
이화여자대학교 산학협력단
서울특별시 서대문구 이화여대길 52 (대현동, 이화여자대학교)
(72) 발명자
김성진
경기도 고양시 일산서구 일현로 68, 104동 302호 (탄현동, 경남아네스빌)
최준
전라북도 전주시 완산구 여울로 161, 108동 204호 (서신동, 서신 이편한세상)
(74) 대리인
특허법인엠에이피에스

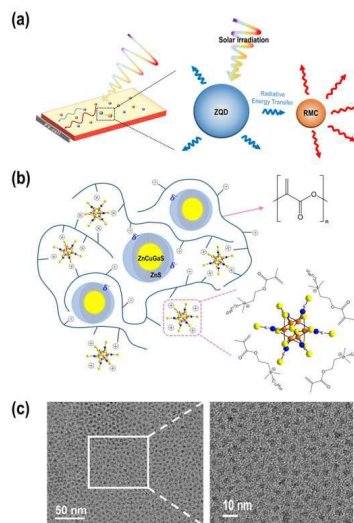
전체 청구항 수 : 총 12 항

(54) 발명의 명칭 태양광 집광 장치 및 이의 제조 방법

(57) 요약

본원은, 형광 발광체 및 인광 발광체를 포함하는 태양광 집광 장치 및 이의 제조방법에 관한 것이다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

C09K 11/671 (2013.01)

G02B 6/10 (2022.01)

Y02E 10/50 (2020.08)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711114383
과제번호	2018R1A2B2005455
부처명	과학기술정보통신부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	개인기초연구(과기정통부)(R&D)
연구과제명	태양광 에너지 하베스트를 위한 LSC용 무기-폴리머 혼성 형광체 소재 연구
기 여 율	1/1
과제수행기관명	이화여자대학교
연구기간	2020.03.01 ~ 2021.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

고분자 도파관 매트릭스; 및
상기 고분자 도파관 매트릭스 내에 분산된 형광 발광체 및 인광 발광체를 포함하는 태양광 집광 장치로서,
상기 형광 발광체가 흡수한 에너지가 상기 인광 발광체로 전달되는 것인,
태양광 집광 장치.

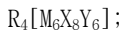
청구항 2

제 1 항에 있어서,
상기 인광 발광체는 유-무기 클러스터 화합물로서 양친매성인 것인, 태양광 집광 장치.

청구항 3

제 1 항에 있어서,
상기 인광 발광체는 하기 화학식 1로서 표시되는 것인, 태양광 집광 장치:

[화학식 1]



R은 2-(메타크릴로일옥시)에틸디메틸-알킬암모늄으로서, 상기 알킬은 탄소수 4 내지 12의 선형 알킬기이고,

M은 Re, Mo 및 W 중 선택되는 하나 이상을 포함하고,

X는 S, Se, Te, Cl, Br 및 I 중에서 선택되는 하나 이상을 포함하고,

상기 Y는 -NCS, -ONO, -CN, -SCN, -NO₃, -NO₂, -H₂O, -피리딘, -N₃, -C₂O₄²⁻, -CH₃CN, -에티렌디아민, -2,2'-바이피리딘, -1,10-페난트롤린, -PPh₃, -CO 및 -OH 중에서 선택되는 하나 이상의 작용기를 포함하는 것임.

청구항 4

제 1 항에 있어서,
상기 형광 발광체는 제 1 칼코게나이드 화합물을 포함하는 코어 및 제 2 칼코게나이드 화합물을 포함하는 셸을 포함하는 코어셸 양자점인 것인, 태양광 집광 장치.

청구항 5

제 1 항에 있어서,
상기 고분자 도파관 매트릭스는, 폴리메틸메타크릴레이트(PMMA), 에틸렌비닐아세테이트(EVA), 폴리비닐알콜(PVA), 폴리염화비닐(PVC), 폴리에틸렌테레프탈레이트(PET), 폴리아크릴레이트, 폴리우레탄, 폴리카보네이트, 폴리에틸렌, 폴리프로필렌, 폴리실록산, 폴리스티렌(PS), 폴리에틸메타크릴레이트(PEMA), 폴리라우릴메타크릴레

이트(PLMA), 에틸렌 글리콜 디메타아크릴레이트(EGDM), 셀룰로오스 아세테이트 부틸레이트(CAB), 폴리이소시아네이트, 폴리프로필렌옥사이드, 하이드록시에틸 아크릴레이트, 하이드록시에틸 메타크릴레이트, 프로필렌옥사이드 모노아크릴레이트 및 러버계 화합물 중에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것인, 태양광 집광 장치.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 형광 발광체와 상기 인광 발광체의 중량비는 1:1 내지 1:15인 것인, 태양광 집광 장치.

청구항 7

제 3 항에 있어서,

상기 인광 발광체의 R_4 양이온은 고분자 도파관 매트릭스의 모노머와 공중합되는 것인, 태양광 집광 장치.

청구항 8

제 7 항에 있어서,

상기 공중합으로 인해, 상기 형광 발광체가 상기 매트릭스 내에 고르게 분산되는 것인, 태양광 집광 장치.

청구항 9

제 1 항에 있어서,

상기 태양광 집광 장치는 연색 지수(color rendering index; CRI)가 80% 이상인 것인, 태양광 집광 장치.

청구항 10

제 1 항에 있어서,

상기 고분자 도파관 매트릭스의 측면부에 태양전지를 추가 포함하는, 태양광 집광 장치.

청구항 11

고분자 도파관 매트릭스 모노머, 형광 발광체 및 인광 발광체를 혼합하는 단계, 및

상기 고분자 도파관 매트릭스 모노머를 중합시키는 단계

를 포함하는, 제 1 항에 따른 태양광 집광 장치의 제조 방법.

청구항 12

제 11 항에 있어서,

상기 중합시키는 단계에서는, 상기 고분자 도파관 매트릭스 모노머 간의 중합 및 상기 고분자 도파관 매트릭스와 상기 인광 발광체의 양이온 부분과의 중합을 포함하는 것인, 에너지 저장 디바이스.

발명의 설명

기술분야

[0001] 본원은, 형광 발광체 및 인광 발광체를 포함하는 태양광 집광 장치 및 이의 제조방법에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 태양광 집광 장치(Luminescent Solar Concentrator; LSC)는 발광체를 이용하여 태양광을 수집해 발생시킨 빛을 고분자 또는 유리 기반의 광 도파관을 통해 장치 옆면에 부착한 광전지 (PV, photovoltaic)로 집광시켜 전기를 발생시키는 장치이다. 이는 색상 옵션, 투명성, 도시 건물의 정면 설치 용이성 등 여러 장점으로 인해 기존 실리콘 광전지 (PV, photovoltaic) 시스템을 효과적으로 보완하는 기술로 최근 주목을 받고 있으며, 사용되는 매트릭스나 발광체의 종류에 따라 색상과 형태를 자유롭게 제작될 수 있기 때문에 기존의 태양전지 장치가 어려운 일반 건축 환경에서도 적용이 용이하다는 장점이 있다. 이러한 LSC에 높은 양자 효율을 보장할 수 있는 다양한 유기발광 염료를 적용하기 위한 상당한 연구에도 불구하고 대면적PV 창을 위한 유기 염료의 실제 적용은 가시 범위의 강한 색상과 자기 흡수 손실로 인해 그 사용이 제한되고 있다. 또한 유기 염료는 자외선(UV) 광선 하에서 안정성이 낮아 장기적으로 안정적인 전력 변환 효율(power conversion efficiency; PCE)을 달성할 수 없다. 한편, 무기 양자점은 자외선 아래에서 안정적이며 높은 양자 효율로 높은 PCE를 갖는 LSC 응용분야에 적합하다. 그러나 PV 창의 구조체이며 도파관 역할을 하는 비극성 고분자 매트릭스에 무기 발광 양자점을 균일하게 분산시키는 것은 어렵다는 것이 실제 적용성을 낮추는 요인이 되고 있다. 실제로, LSC 고분자 도파관에 PbS/CdS 및 CdSe/CdS와 같은 양자점이 분산된 LSC 장치는 각각 6.1% 및 1.9%의 광학 효율을 달성하였으나, 카드뮴 및 납과 같은 중금속이 포함된 양자점은 강한 색상을 띄고 독성 문제가 여전히 남아있는 실정이다. 참고로, 광학 효율(optical efficiency)은 태양광 집광장치의 효율을 평가하기 위해 연구된 효율로써, 전력 변환 효율 (power conversion efficiency; PCE)와는 구별된다. 광원의 입사량 대비 집광 되는 광량의 비를 광학 효율로 정의하며, 반사율, 매트릭스의 굴절률, 산란 효율, 흡수 효율, 장치의 크기, 두께 등이 고려된다. 혹은 광전지의 전류 대비 집광장치를 통해 측정된 전류에 집광 장치의 크기 인자를 곱하여 간단히 계산되는 경우도 있다.

선행기술문헌

특허문헌

[0003] (특허문헌 0001) KR 10-2060989 B

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본원은 상기 문제점을 해결하기 위해, 형광 발광체 및 인광 발광체를 포함하는 이중 염료의 태양광 집광 장치 및 이의 제조방법을 제공하고자 한다.

[0005] 그러나, 본원이 해결하고자 하는 과제는 이상에서 언급한 과제로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 통상의 기술자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0006] 본원의 제 1 측면은, 고분자 도파관 매트릭스; 및 상기 고분자 도파관 매트릭스 내에 분산된 형광 발광체 및 인광 발광체를 포함하는 태양광 집광 장치로서, 상기 형광 발광체가 흡수한 에너지가 상기 인광 발광체로 전달되는 것인, 태양광 집광 장치를 제공한다.

[0007] 본원의 제 2 측면은, 고분자 도파관 매트릭스 모노머, 형광 발광체 및 인광 발광체를 혼합하는 단계, 및 상기 고분자 도파관 매트릭스 모노머를 중합시키는 단계를 포함하는, 제 1 측면에 따른 태양광 집광 장치의 제조 방법을 제공한다.

발명의 효과

[0008] 본원의 구현예들에 따른 태양광 집광 장치는, 고분자 도파관 매트릭스에 고르게 분산된 형광 발광체 및 인광 발광체를 포함하는 것으로, 상기 형광 발광체에서 방출되는 에너지가 상기 인광 발광체로 전달되고, 상기 인광 발

광체가 흡수한 에너지를 보다 큰 파장으로 방출되도록 함으로써, 입사 태양광의 넓은 스펙트럼에서 높은 양자 효율, 낮은 재흡수 효율 및 낮은 산란 효율을 달성할 수 있는 특징이 있다.

[0009] 본원의 구현예들에 따른 태양광 집광 장치는, 고분자 도파관 매트릭스에 고르게 분산된 형광 발광체 및 인광 발광체를 포함함으로써 가시 범위에서 투명성을 가지면서도 대면적으로 제조되더라도 높은 에너지 효율을 달성할 수 있는 특징이 있다.

도면의 간단한 설명

[0010] 도 1의 a는, 본원의 일 구현예에 따른 태양광 집광 장치의 모식도이다.

도 1의 b는, 본원의 일 구현예에 있어서, 형광 발광체 및 인광 발광체가 고분자 도파관에 정전기적 상호작용과 극성 상호작용으로 고르게 분산된 태양광 집광 장치의 고분자 도파관에서의 미세 분자구조를 나타낸 모식도이다.

도 1의 c는, 본원의 일 실시예에 있어서, 투과전자현미경을 통해 나노 스케일의 형광 발광체(ZQD)를 확인한 사진이다.

도 2는, 본원의 일 실시예에 있어서, 투과전자현미경을 통해 확인한 형광 발광체(ZQD)의 크기의 분포도를 나타내는 그래프이다.

도 3은, 본원의 일 실시예에 있어서, 인광 발광체(RMC) 및 형광 발광체(ZQD)의 정규화된 흡수(점선) 및 방출(실선) 스펙트럼, 이와 함께 AM 1.5G 태양광 스펙트럼(회색 음영) 및 실리콘-PV 셀의 EQE 스펙트럼(검은색 실선)을 나타낸다.

도 4는, 본원의 일 실시예에 있어서, 아르곤 포화 THF 용액에서 0.08 mg/mL ZQD 및 다양한 RMC 농도(0-1.13 mg/mL)를 사용하는 이중 염료 용액에 대한 (a) UV-vis 흡수, (b) 광 발광($\lambda_{ex} = 345\text{nm}$) 스펙트럼(샘플 No. 1-10), 및 (c) 490 nm에서 ZQD(파란색) 및 670 nm에서 RMC(빨간색)의 광발광 강도를 나타내는 그래프이다.

도 5는, 본원의 일 실시예에 있어서, 0.04, 0.08, 0.16, 0.33 및 0.5 mg/mL의 ZQD를 사용한 LSC의 투과율을 나타내는 그래프이다.

도 6은, 본원의 일 실시예에 있어서, (a) 이중 염료(RMC 및 ZQD)를 포함하는 직경 12 cm LSC의 사진, (b) 단일 발광체로서 RMC 또는 ZQD를 포함하는 LSC 및 이중 염료를 포함하는 LSC의 자연광 하에서의 사진(왼쪽부터 각각 0.5 mg/mL RMC, 0.5 mg/mL RMC, 0.08mg/mL ZQD, 0.08 mg/mL ZQD 및 0.5 mg/mL ZQD를 포함, 모든 LSC 플레이트 크기는 $2.5\text{cm} \times 2.5\text{cm} \times 0.3\text{cm}$), (c) UV 광선(365 nm) 하에서 상기 (b)에서와 동일한 LSC의 사진, (d) 상기 (d)에서와 동일한 LSC의 UV-vis 투과율 스펙트럼, 및 (e) LSC의 색 좌표를 나타내는 CIE 1931 색공간 색도 다이어그램을 나타낸다.

도 7은, 본원의 일 실시예에 있어서, 다양한 농도의 발광체를 포함하는 LSC들과 발광체 없이 고분자 도파관만으로 구성된 LSC 장치의 전류-밀도 전압(J-V) 곡선을 나타내는 그래프이다.

도 8은, 본원의 일 실시예에 있어서, ZQD, RMC 및 RMC-ZQD를 포함하는 LSC에서의 PL의 시간 분해 수명을 나타낸다[(a) $\lambda_{ex} = 374\text{ nm}$, $\lambda_{em} = 490\text{ nm}$, (b) $\lambda_{em} = 670\text{nm}$].

도 9는, 본원의 실시예에 있어서, (a) 0.5 mg/mL 농도의 RMC(빨간색) 및 (b) ZQD(보라색), 및 (c) 0.5 mg/mL RMC와 0.08 mg/mL ZQD의 이중 염료 RMC-ZQD(녹색)을 포함하는 LSC($2.5\text{cm} \times 2.5\text{cm} \times 3\text{cm}$ 크기)의 파장 별 외부 양자효율인 EQE와 전 파장 영역에서 총 생성되는 전류를 나타낸다.

도 10은, 본원의 일 실시예에 있어서, PV 셀과 광의 조사 위치 사이의 거리 함수로서 LSC의 PV의 발생 전류에 대한 실험의 개략도(왼쪽) 및 이의 결과를 나타내는 그래프(오른쪽)이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0011] 이하, 첨부한 도면을 참조하여 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자가 용이하게 실시할 수 있도록 본원의 구현예 및 실시예를 상세히 설명한다. 그러나 본원은 여러 가지 상이한 형태로 구현될 수 있으며 여기에서 설명하는 구현예 및 실시예에 한정되지 않는다. 그리고 도면에서 본 발명을 명확하게 설명하기 위해서 설명과 관계없는 부분은 생략하였으며, 명세서 전체를 통하여 유사한 부분에 대해서는 유사한 도면 부호를 붙였다.

- [0012] 본원 명세서 전체에서, 어떤 부분이 다른 부분과 "연결"되어 있다고 할 때, 이는 "직접적으로 연결"되어 있는 경우뿐 아니라, 그 중간에 다른 소자를 사이에 두고 "전기적으로 연결"되어 있는 경우도 포함한다.
- [0013] 본원 명세서 전체에서, 어떤 부재가 다른 부재 "상에" 위치하고 있다고 할 때, 이는 어떤 부재가 다른 부재에 접해 있는 경우뿐 아니라 두 부재 사이에 또 다른 부재가 존재하는 경우도 포함한다.
- [0014] 본원 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성 요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.
- [0015] 본 명세서에서 사용되는 정도의 용어 "약", "실질적으로" 등은 언급된 의미에 고유한 제조 및 물질 허용오차가 제시될 때 그 수치에서 또는 그 수치에 근접한 의미로 사용되고, 본원의 이해를 돕기 위해 정확하거나 절대적인 수치가 언급된 개시 내용을 비양심적인 침해자가 부당하게 이용하는 것을 방지하기 위해 사용된다.
- [0016] 본원 명세서 전체에서 사용되는 정도의 용어 “~ 하는 단계” 또는 “~의 단계”는 “~를 위한 단계”를 의미하지 않는다.
- [0017] 본원 명세서 전체에서, 마쿠시 형식의 표현에 포함된 "이들의 조합(들)"의 용어는 마쿠시 형식의 표현에 기재된 구성 요소들로 이루어진 군에서 선택되는 하나 이상의 혼합 또는 조합을 의미하는 것으로서, 상기 구성 요소들로 이루어진 군에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것을 의미한다.
- [0018] 본원 명세서 전체에서, "A 및/또는 B"의 기재는, "A 또는 B, 또는 A 및 B"를 의미한다.
- [0020] 이하, 본원의 구현예를 상세히 설명하였으나, 본원이 이에 제한되지 않을 수 있다.
- [0022] 본원의 제 1 측면은, 고분자 도파관 매트릭스; 및 상기 고분자 도파관 매트릭스 내에 분산된 형광 발광체 및 인광 발광체를 포함하는 태양광 집광 장치로서, 기 형광 발광체가 흡수한 에너지가 상기 인광 발광체로 전달되는 것인, 태양광 집광 장치를 제공한다. 구체적으로, 본원의 태양광 집광 장치는 고분자 도파관 매트릭스에 형광 발광체 및 인광 발광체 모두를 분산하여 포함하고, 상기 형광 발광체에서 방출되는 에너지가 상기 인광 발광체로 전달되고, 상기 인광 발광체가 흡수한 에너지를 보다 큰 파장으로 방출하여 도파관과 공기의 높은 굴절률 차이로 인해 발광 파장이 도파관 측면의 태양전지에 집광 됨으로써, 넓은 태양광 스펙트럼 영역에서 높은 양자 효율, 낮은 재흡수 효율 및 낮은 산란 효율을 달성할 수 있는 특징이 있다.
- [0023] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 인광 발광체는 유-무기 클러스터 화합물로서 양친매성인 것일 수 있다. 구체적으로 본원의 인광 발광체는 유-무기 클러스터로서, 양이온과 음이온이 결합된 염일 수 있으며, 이에 따라 양친매성을 가질 수 있다.
- [0024] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 인광 발광체는 하기 화학식 1로서 표시되는 것일 수 있다:
- [0025] [화학식 1]
- [0026] $R_4[M_6X_8Y_6]$;
- [0027] R은 2-(메타크릴로일옥시)에틸디메틸-알킬암모늄으로서, 상기 알킬은 탄소수 4 내지 12의 선형 알킬기이고, M은 Re, Mo 및 W 중 선택되는 하나 이상을 포함하고, X는 S, Se, Te, Cl, Br 및 I 중에서 선택되는 하나 이상을 포함하고, 상기 Y는 -NCS, -ONO, -CN, -SCN, -NO₃, -NO₂, -H₂O, -피리딘, -N₃, -C₂O₄²⁻, -CH₃CN, -에티렌디아민, -2,2'-바이피리딘, -1,10-페난트롤린, -PPh₃, -CO 및 -OH 중에서 선택되는 하나 이상의 작용기를 포함하는 것임. 구체적으로, 상기 M은 전이 금속으로서 금속 양이온일 수 있으며, 상기 X는 음이온일 수 있다.
- [0028] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 인광 발광체는 (dMDAEMA)₄[Re₆S₈(NCS)₆]을 포함하는 것일 수 있다.
- [0029] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 형광 발광체는 제 1 칼코게나이드 화합물을 포함하는 코어 및 제 2 칼코게나이드 화합물을 포함하는 셸을 포함하는 코어셸 양자점인 것일 수 있다. 구체적으로, 상기 제 1 칼코게나이드 화합물과 상기 제 2 칼코게나이드 화합물은 동일하거나 상이할 수 있다. 상기 제 1 칼코게나이드 화합물은 CuGaS, CuGaS₂, CuGaSe₂, CuGaTe₂, CuInS₂, CuInSe₂, CuInTe₂, AgGaS₂, AgGaSe₂, AgGaTe₂, AgInS₂, AgInSe₂ 및 AgInTe₂ 중에서 선택되는 하나 이상을 포함할 수 있으며, 상기 제 2 칼코게나이드 화합물은 ZnS, SnTe, SnSe, SnS,

PbTe, PbSe, PbS, ZnTe, ZnSe, ZnO, GeTe, Cu₂Te, 및 Cu₂Se 중에서 선택되는 하나 이상을 포함할 수 있으나, 이에 제한되지는 않는다. 상기 제 1 칼코게나이드 화합물은 금속으로 도핑될 수 있다. 아울러, 상기 형광 발광체는 코어의 크기, 코어에 도핑된 금속(예로서, Zn)의 양, 셸의 두께 등이 상기 인광 발광체와의 상호작용이 원활하게 될 수 있도록 조절될 수 있다.

[0030] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 고분자 도파관 매트릭스는, 폴리메틸메타크릴레이트(PMMA), 에틸렌비닐아세테이트(EVA), 폴리비닐알콜(PVA), 폴리염화비닐(PVC), 폴리에틸렌테레프탈레이트(PET), 폴리아크릴레이트, 폴리우레탄, 폴리카보네이트, 폴리에틸렌, 폴리프로필렌, 폴리실록산, 폴리스티렌(PS), 폴리에틸메타크릴레이트(PEMA), 폴리라우릴메타크릴레이트(PLMA), 에틸렌 글리콜 디메타아크릴레이트(EGDM), 셀룰로오스 아세테이트 부틸레이트(CAB), 폴리이소시아네이트, 폴리프로필렌옥사이드, 하이드록시에틸 아크릴레이트, 하이드록시에틸 메타크릴레이트, 프로필렌옥사이드 모노아크릴레이트 및 러버계 화합물 중에서 선택되는 하나 이상을 포함하는 것일 수 있다.

[0031] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 인광 발광체의 R₄ 양이온은 고분자 도파관 매트릭스의 모노머와 공중합되는 것일 수 있다.

[0032] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 공중합으로 인해, 상기 형광 발광체가 상기 매트릭스 내에 고르게 분산되는 것일 수 있다. 구체적으로, 상기 발광체의 R₄ 양이온은 중합성 작용기로서, 상기 고분자 도파관 매트릭스 모노머에 존재하는 중합성 작용기와 중합될 수 있다. 이에 의해, 상기 인광 발광체의 양이온은 상기 고분자 도파관 매트릭스와 함께 고분자화될 수 있으며 상기 인광 발광체의 음이온과 고분자화되어 있는 양이온과 정전기적 상호작용이 발생하여 상기 인광 발광체와 형광 발광체가 응집되지 않고 고분자 도파관 매트릭스 내에 고르게 분산되도록 할 수 있다. 이에 따라, 상기 형광 발광체는 응집되지 않으므로 본 태양광 집광 장치에서 모든 방향으로 빛을 산란하는 비율이 현저히 떨어질 수 있다.

[0033] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 형광 발광체와 상기 인광 발광체의 중량비는 1:1 내지 1:15인 것일 수 있다. 구체적으로, 상기 형광 발광체와 상기 인광 발광체의 중량비는 1:1 내지 1:15, 1:1 내지 1:12, 1:4 내지 1:15, 또는 1:4 내지 1:12일 수 있다. 상기 형광 발광체와 상기 인광 발광체의 함량비에 따라 에너지 전달 효율이 달라질 수 있으며, 이에 따라 대면적 태양광 집광 장치로 구현되기 위한 최적의 함량비를 도출할 수 있다. 상기 형광 발광체와 인광 발광체의 중량비는 대면적의 태양광 집광 장치를 제조함에 있어서 재흡수에 의한 에너지 손실의 고려의 측면에서 매우 중요하다. 구체적으로, 형광 발광체만을 염료로 사용한 태양광 집광 장치는 높은 양자 효율을 가질 수 있으나, 조사되는 빛의 여기 위치와 태양전지의 거리가 증가할수록 재흡수에 의한 에너지 손실로 전류밀도가 현저히 낮아질 수 있는 변동성이 크다. 즉, 상기 형광 발광체와 인광 발광체를 적정의 비율로 혼합하여 사용한 경우에는 그 변동성이 줄어들어 대면적의 태양광 집광 장치를 제조할 수 있는 특징이 도출될 수 있다.

[0034] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 형광 발광체의 농도는 0.05 mg/mL 내지 0.5 mg/mL일 수 있다. 구체적으로, 상기 형광 발광체의 농도는 0.05 mg/mL 내지 0.5 mg/mL, 0.05 mg/mL 내지 0.4 mg/mL, 0.05 mg/mL 내지 0.3 mg/mL, 0.05 mg/mL 내지 0.2 mg/mL, 0.05 mg/mL 내지 0.1 mg/mL, 0.08 mg/mL 내지 0.5 mg/mL, 0.08 mg/mL 내지 0.4 mg/mL, 0.08 mg/mL 내지 0.3 mg/mL, 0.08 mg/mL 내지 0.2 mg/mL, 0.08 mg/mL 내지 0.1 mg/mL일 수 있으나, 이에 되지 않을 수 있다.

[0035] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 인광 발광체의 농도는 0.2 mg/mL 내지 0.8 mg/mL일 수 있다. 구체적으로, 상기 인광 발광체의 농도는 0.2 mg/mL 내지 0.8 mg/mL, 0.2 mg/mL 내지 0.6 mg/mL, 0.2 mg/mL 내지 0.5 mg/mL, 0.4 mg/mL 내지 0.8 mg/mL, 0.4 mg/mL 내지 0.6 mg/mL, 0.4 mg/mL 내지 0.5 mg/mL일 수 있으나, 이에 제한되지 않을 수 있다.

[0036] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 형광 발광체의 크기는 2 nm 내지 5 nm일 수 있다. 구체적으로, 상기 형광 발광체의 크기는 2 nm 내지 5 nm, 2 nm 내지 4 nm, 3 nm 내지 5 nm 또는 3 nm 내지 4 nm일 수 있다. 상기 형광 발광체는 나노 사이즈를 갖는 것으로서, 일반적으로 고분자 도파관 매트릭스에서 응집되어 존재하는 것이나, 본원의 태양광 집광 장치에서는 상기 인광 발광체의 상기 고분자 도파관 매트릭스와의 고분화가 됨으로써 상기 형광 발광체가 상기 고분자 도파관 매트릭스에서 고르게 분산될 수 있다.

[0037] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 태양광 집광 장치는 연색 지수(color rendering index; CRI)가 80% 이상인 것일 수 있다. 구체적으로, 상기 태양광 집광 장치는 연색 지수(color rendering index; CRI)가 80% 이상, 90%

이상인 것일 수 있다. 본원 태양광 집광 장치는 높은 연색 지수를 갖는 것으로서 가시 범위의 파장에서 투명성을 가질 수 있는 특징이 있다. 상기 형광 발광체만을 염료로서 사용한 태양광 집광 장치는 양자 효율은 높으나 가시 범위에서 투명하지 않을 수 있으며, 상기 인광 발광체만을 염료로서 사용한 태양광 집광 장치는 투명성을 가질 수는 있으나 낮은 양자 효율을 보이는 문제가 있다. 그러나, 본원의 태양광 집광 장치는 형광 발광체와 인광 발광체 모두를 사용하되, 최적의 함량비를 구축함으로써 투명성을 가지고, 높은 양자 효율을 가지며, 원활한 에너지 전달로 인해 낮은 재흡수율을 달성할 수 있는 특징이 있다.

[0038] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 고분자 도파관 매트릭스의 측면부에 태양전지를 추가 포함할 수 있다. 구체적으로, 상기 형광 발광체 및 상기 인광 발광체는, 상기 태양전지의 EQE 영역과 일치하도록 그 종류와 함량이 조절될 수 있다. 아울러, 상기 태양전지는 실리콘 태양전지, 비실리콘 태양전지, 다중접합(텐덤) 태양전지를 포함할 수 있다. 구체적으로, 상기 실리콘 태양전지는 결정질 태양전지 또는 비결정질 태양전지를 포함할 수 있으며, 상기 비실리콘 태양전지는 무기박막 계열 또는 유기 태양전지를 포함할 수 있다. 상기 비실리콘 태양전지의 비제한적인 예로서 GaAs, GaSb, GaN, InP, Ge 또는 GeAs 전지를 포함할 수 있다. 아울러, 상기 유기 태양전지는 염료감응 태양전지, 페로브스카이트 태양전지 또는 양자점 태양전지를 포함할 수 있다.

[0040] 본원의 제 2 측면은, 고분자 도파관 매트릭스 모노머, 형광 발광체 및 인광 발광체를 혼합하는 단계, 및 상기 고분자 도파관 매트릭스 모노머를 중합시키는 단계를 포함하는, 제 1 측면에 따른 태양광 집광 장치의 제조 방법을 제공한다.

[0041] 본원의 제 1 측면과 중복되는 부분들에 대해서는 상세한 설명을 생략하였으나, 본원의 제 1 측면에 대해 설명한 내용은 본원의 제 2 측면에서 그 설명이 생략되었더라도 동일하게 적용될 수 있다.

[0042] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 중합시키는 단계에서는, 상기 고분자 도파관 매트릭스 모노머 간의 중합 및 상기 고분자 도파관 매트릭스와 상기 인광 발광체의 양이온 부분과의 중합을 포함할 수 있다.

[0043] 본원의 일 구현예에 있어서, 상기 중합은 60℃ 내지 80℃의 온도에서 24 시간 내지 48 시간 동안 수행되는 것일 수 있다. 구체적으로, 상기 중합의 온도는 60℃ 내지 80℃, 60℃ 내지 75℃ 또는 60℃ 내지 70℃일 수 있으며, 상기 중합의 시간은 24 시간 내지 48 시간, 30 시간 내지 48 시간, 34 시간 내지 48 시간 또는 40 시간 내지 48 시간일 수 있으나, 이에 제한되는 것은 아니다. 상기 중합의 온도가 60℃ 미만 또는 그 시간이 24시간 미만인 경우에는 목적하는 만큼의 고분자 도파관 매트릭스가 형성되지 않고 상기 공중합이 잘 이루어지지 않을 수 있으며, 상기 중합의 온도가 80℃ 초과 또는 그 시간이 48시간 초과인 경우에는 목적하지 않은 부반응이 일어나는 문제점이 발생할 수 있다.

[0045] 이하, 본원에 대하여 실시예를 이용하여 좀더 구체적으로 설명하지만, 하기 실시예는 본원의 이해를 돕기 위하여 예시하는 것일 뿐, 본원의 내용이 하기 실시예에 한정되는 것은 아니다.

[실시예]

[0048] 실시예 1. 태양광 집광 장치(luminescent solar concentrator; 이하 LSC)용 염료의 합성 및 분석

[0049] 1-1. 인광 발광체 (dMDAEMA)₄[Re₆S₈(NCS)₆](이하, RMC)의 합성

[0050] 1) 양이온 (dMDAEMA)C1의 합성

[0051] 디메틸 아미노 에틸 아크릴레이트 5 mL와 1-클로로도데케인 7.5 mL을 50 mL의 클로로 포름에 넣고 50℃에서 18 시간동안 가열한다. 반응한 용액은 회전증발농축기를 사용하여 농축시킨 후 차가운 온도의 디에틸에테르를 넣어 침전물을 만든다. 만들어진 침전물은 디에틸에테르로 세척하여 필터를 통해 걸러내고 진공조건에서 12시간 동안 건조하여 양이온 (dMDAEMA)C1를 합성한다.

[0052] 2) Rhenium cluster Cs₄Re₆S₈Cl₆ 합성

[0053] 2 g의 Re₆S₈Br₂와 3 g의 수산화칼륨을 탄소 도가니에 넣고 280℃에서 1시간 동안 가열한다. 가열 후 식힌 물질은 에탄올과 물을 7:3 비율로 섞은 용액에 깔때기를 이용하여 천천히 떨어뜨려준다. 이때 얻어진 침전물은

$K_4Re_6S_8(OH)_6$ 이다. 2 g의 $K_4Re_6S_8(OH)_6$ 을 증류수에 녹인 후 80℃에서 1시간 동안 가열한다. 그리고 염산을 조금씩 떨어뜨려 pH를 1.5로 만들어준다. 1.16 g의 CsCl을 추가로 넣어준 뒤 80℃에서 2시간 동안 가열한 후 상온으로 천천히 식혀준 뒤 $Cs_4Re_6S_8Cl_6$ 를 얻는다.

[0054] **3) (dMDAEMA)₄[Re₆S₈(NCS)₆] 합성**

[0055] (dMDAEMA)Cl를 50 mL의 증류수에 녹여 준비한 뒤 $Cs_4Re_6S_8Cl_6$ 용액을 천천히 떨어뜨린다. 상온에서 24시간 동안 반응시킨 후 필터를 씌운 깔때기에 통과시켜 (dMDAEMA)₄[Re₆S₈Cl₆]를 얻어낸다. 얻어진 0.2 g의 (dMDAEMA)₄[Re₆S₈Cl₆]와 5 g의 KSCN을 석영관에 담은 뒤 진공상태로 밀봉하여 200℃에서 1시간 동안 가열한다. 반응 후 상온으로 식혀준 뒤 100mL의 증류수를 더해 20분 동안 교반기에서 반응시킨다. 얻어진 노란 고체는 필터를 통해 걸러 얻어내고 아세토니트릴로 씻어 유-무기 클러스터인 (dMDAEMA)₄[Re₆S₈(NCS)₆]를 수득한다.

[0057] **1-2. 형광 발광체 ZnCuGaS/ZnS 코어셸 양자점(이하, ZQD)의 합성**

[0058] 250 mL 플라스크 내 구리 요오드화물, 갈륨 요오드화물, 황, 염화 아연 1-도데칸티올 1.5 mL, 올레일아민 5 mL을 120℃ 진공 조건에서 30분 동안 수분과 산소를 제거한다. 이때 양이온의 몰 비율에 따라 ZnCuGaS가 합성된다. 이후 아르곤 가스를 흘려주며 반응 온도를 240℃로 증가시키고 5분간 유지한다. 이때 양자점의 크기가 정해진다. 합성된 코어에 셸을 둘러주기 위해 황화 아연을 아연 아세테이트, 올레일아민, 옥타데센에 녹인 용액을 반응물에 3번에 걸쳐 넣어주고 240℃에서 75분간 유지한다. 반응 완료 후 용액을 헥세인과 에탄올을 1:1 비율로 섞어 세척하고 진공 조건 하에서 12시간 동안 건조하여 코어셸 양자점을 수득한다.

[0060] **실시예 2. 태양광 집광 장치(luminescent solar concentrator; LSC)의 제조 및 이의 확인**

[0061] **1-1. 태양광 집광 장치 제작**

[0062] 유리 바이알에 (dMDAEMA)₄[Re₆S₈(NCS)₆]와 ZnCuGaS/ZnS 분말을 원하는 농도에 맞게 소분한 후 메틸메타크릴레이트(Methyl Methacrylate; 이하 MMA) 용액 7 mL를 넣어준 뒤 소니케이터에서 90분간 반응시킨다. 이후 아조비스소부티로니트릴 42 μL를 넣어준 뒤 소니케이터에서 120분간 반응시킨다. 균일하게 혼합된 용액은 65℃ 온도의 오븐에서 24시간 동안 가열한다. 만들어진 고분자는 100, 600, 1000, 2000방 사포를 사용하여 폴리서에서 연마 작업을 통해 원하는 크기로 제작한다. 용으로 추가 연마 작업을 해주어 완성한다. 연마 작업을 마친 소자는 옆면에 실리콘 광 전지를 부착하여 태양광 집광 장치를 완성한다.

[0063] **1-2. 태양광 집광 장치의 제작 확인**

[0064] 나노 크기의 무기 클러스터 음이온 $[Re_6S_8(NCS)_6]^{4-}$ 과 중합성 유기 양이온[2-(메타크릴로일옥시)-에틸]-디메틸-도데실 암모늄 (dMDAEMA)⁺으로 구성된 양친매성 유-무기 클러스터 RMC를 준비했다. 이 염은 유기용매 메틸메타크릴레이트(MMA)와 공중합되어 RMC와 폴리메틸메타크릴레이트 (PMMA)의 무기-유기 하이브리드가 되었다. 구체적으로, 유기 양이온 dMDAEMA⁺의 한쪽 끝에 있는 메타크릴레이트 작용기는 양친매성 고분자 도파관 매트릭스를 생성하기 위해 MMA와의 공중합에 적합하고, 양이온의 다른 쪽 끝은 MMA에서 용해도를 향상시키는 긴 지방족 $C_{12}H_{15}$ 사슬을 가지고 있음으로 인해 하이브리드가 용이하게 형성된다. 만약, 단일 염료로서 친수성인 ZQD만 소수성인 PMMA 내에 존재하는 경우에는 ZQD의 응집으로 인해 빛의 산란이 증가하는 결과를 초래할 수 있다. 그러나 실시예와 같이 두 개의 염료를 함께 넣을 경우 정전기적 인력과 극성으로 묻치는 현상 없이 고르게 분산시킨 결과 빛의 산란이 줄어들었다. 이는, 이중 염료가 내장된 LSC 도파관에서 $[Re_6S_8(NCS)_6]^{4-}$ 음이온 금속 클러스터가 고분자 백본에 고분자화 되어있는 양이온 (dMDAEMA)⁺ 사이트에 정전기적 인력에 의해 고정되고 ZQD가 그것의 극성 황화물 표면으로 인해 고분자의 양이온 사이트 주변에 잘 분산된 결과이다. 호스트 매트릭스 내에서 응집없이 각 염료를 분리되는 것은 비복사 자체 흡수 없이 두 가지 고유한 광학 특성을 보존하는데 중요하다 (도 1의 b).

[0065] RMC 캡슐화 고분자 플레이트는 UV-A 스펙트럼 영역 (400 nm 근처)에서 강하게 흡수하기 때문에 색상이 강하지 않고 500 내지 900 nm에서 광범위한 방출을 나타낸다. 또한 ZQD는 UV-A 영역을 흡수하고 400 내지 700 nm에서

강한 방출을 나타내며 높은 QY를 나타내어 LSC 염료의 재료로서의 높은 응용 가능성을 나타낸다. 그리고 아연 도핑된 CuGaS₂ 코어에 ZnS 셸이 있는 ZQD는 발광에너지를 클러스터 염료로 에너지의 전달을 통해 클러스터 염료의 발광을 증가시키고 실리콘 PV 셀의 더 넓은 에너지 수확 범위를 가능하게 한다 (도 1의 a). 결론적으로 최적화 된 ZQD는 약 78%의 QY를 달성했으며, 이는 다른 유사한 QD보다 우수하며, RMC와의 사용으로 인해 재흡수의 원인을 최소화하고 LSC의 효율을 향상시키는 것을 보여주었다. 또한, ZQD의 투과전자현미경(TEM) 이미지는 평균 크기가 약 3.62 nm이고 균일한 크기 분포를 가진 구형 모양을 나타냈다 (도 1의 c, 도 2).

[0067] 실험예 1. 염료의 특성 분석

[0068] 테트라하이드로 푸란(THF) 용액에서 RMC 및 ZQD의 정규화된 흡수 및 방출 스펙트럼을 도 3을 통해 확인할 수 있다. 먼저, 태양광을 흡수하여 RMC는 471 nm, ZQD는 670 nm에서 최대 피크를 갖는 발광 스펙트럼을 나타내어 두 염료가 발광한 파장이 소자 옆면에 부착한 태양전지(Si-PV)의 외부 양자 효율과 일치하여 손실 없는 높은 효율을 나타냄이 확인되었다.

[0069] 670 nm에서 RMC의 최대 방출 피크와 471 nm에서 ZQD의 최대 방출 피크는 실리콘 PV 전지의 흡수 범위에 들어간다. RMC는 UV 범위에서 높은 흡수율, 크게 다운 시프트된 인광 및 긴 여기상태 수명을 갖는다. RMC에 의한 광 발광(PL)의 이러한 큰 다운 시프트는 자기 재흡수(self-reabsorption) 손실을 줄일 수 있으며, 재흡수 손실은 대규모 LSC 장치의 실제 적용에 주요 장애물이다. RMC와 ZQD는 345 nm에서 각각 8.41×10^4 및 $7.72 \times 10^3 \text{ M}^{-1} \text{ cm}^{-1}$ 의 높은 흡광 계수를 가지며, 이는 GaAs 및 실리콘과 같은 반도체 PV 재료의 흡광 계수와 비슷하다.

[0070] 구체적으로, RMC는 400 내지 600 nm 사이에서 높은 흡광도를 나타내기 때문에 에너지 받개로서, 471 nm에서의 ZQD에서 강하게 방출된 발광 에너지를 흡수할 수 있다. 이중 염료 LSC 장치의 효율성에 대한 에너지 주개로서 ZQD의 기여도를 조사하기 위해 0.08 mg/mL의 ZQD 용액을 0 내지 1.13 mg/mL의 다양한 농도의 RMC 용액에 추가했다. 극성 ZQD 및 RMC 염료를 모두 분산시키기 위한 용매로 테트라하이드로 푸란을 선택했다. 280 내지 800 nm의 흡수 스펙트럼과 350 내지 900 nm의 방출 스펙트럼은 도 4의 a 및 b와 같다. 일정한 ZQD 농도에서 RMC의 농도가 증가함에 따라 490 nm에서 ZQD의 방출 강도가 감소하고 670 nm에서 RMC의 방출이 증가하여 ZQD에서 방출되는 에너지의 일부가 RMC에 흡수되었음을 알 수 있다. 후술할 바와 같이, 0.08 mg/mL의 ZQD와 0.5 mg/mL의 RMC를 사용한 LSC 제조가 LSC 장치의 최고 성능을 달성했음을 확인하였다. 주개의 PL 소광(quenching) 효율과 받개의 에너지 증감 효율은 ZQD와 RMC의 PL 강도변화로부터 추정되었다. 두 발광단 사이의 에너지 전달 효율을 추정하면 하기 표 1과 같다 (여기서, FD는 주개(ZQD)의 PL 강도이고, F_D^0 은 받개 없이 0.08 mg/mL ZQD 만있는 샘플 번호 1의 PL 강도이다. $\Phi_D(0.78)$ 및 $\Phi_A(0.19)$ 는 각각 주개와 받개의 양자 수율이다. F_A 는 670 nm에서 받개(RMC)의 PL 강도를 나타내고, F_A^0 은 RMC가 없는 1번 시료의 670 nm에서 PL 강도를 나타냄)

[표 1]

Sample No.	ZQD:RMC (mg/mL)	Donor quenching efficiency ($1-F_D/F_D^0$)	Acceptor sensitization efficiency $\Phi_D (F_A-F_A^0)/(F_A F_D^0)$
1	0.08:0.00	0.00	0.00
2	0.08:0.13	0.24	0.07
3	0.08:0.25	0.44	0.14
4	0.08:0.38	0.54	0.21
5	0.08:0.50	0.64	0.22
6	0.08:0.63	0.73	0.20
7	0.08:0.75	0.79	0.20
8	0.08:0.88	0.85	0.21
9	0.08:1.00	0.85	0.17
10	0.08:1.13	0.87	0.15

[0074] 에너지 전달의 가장 높은 효율 22%는 ZQD : RMC = 0.08 : 0.50의 농도 비율로 시료 번호 5에서 얻었다. 받게 농도에 따라 주개 에너지 소광이 증가했다. 그러나 받게 민감도는 0.08 : 0.50 (mg/mL)의 ZQD : RMC 농도 비율에서 최대에 도달했다. 이는 에너지 전달이 0.5 mg/mL보다 높은 RMC 농도에서는 비방사 형태의 에너지 방출로 발생할 수 있음을 나타낸다. 효율적인 에너지 전달 및 민감도를 위한 ZQD : RMC의 최적 농도 비율은 0.08 : 0.50 (mg/mL)인 것으로 나타났다 (도 4의 c).

[0076] 실험예 2. 태양광 집광 장치의 광학 특성 분석

[0077] RMC와 ZQD를 혼합하여 이중 염료 LSC를 제작하는 것 외에, 비교 목적으로 다양한 농도의 RMC 및 ZQD를 사용하여 두 개의 단일 발광단 캡슐화 LSC를 제작했다. ZQD 캡슐화된 LSC는 ZQD의 농도가 0.33 mg/mL 미만에서는 RMC만큼 높은 투과율을 보였지만 RMC 캡슐화된 LSC는 고농도에서도 투명하게 나타났다 (도 5). ZQD 농도가 0.33 mg/mL보다 큰 LSC는 불투명하게 나타났으며 이는 비극성 PMMA 매트릭스에서 친수성인 ZQD 응집체의 산란으로 인해 투과율이 감소한 결과이다. 염료의 응집은 태양광을 산란시키는 주요 요인이며 LSC의 크기가 증가함에 따라 PV 전지에 빛을 효율적으로 집광시키는 것이 어려울 수 있다. 특히 고농도의 양자점, 0.5 mg/mL의 ZQD는 LSC의 투명도를 크게 감소시켰다. ZQD 단독 LSC와 비교하여 두 개의 염료로 캡슐화된 LSC는 도 6의 a 및 b에 표시된 것처럼 염료의 응집이 없음을 나타내는 것처럼 흐릿함 없이 가시 범위에서 높은 투과율을 나타냈다. 특히 0.08 mg/mL의 매우 낮은 농도의 ZQD를 포함하는 LSC는 무색이었으며 기준으로 사용된 무염료의 PMMA와 거의 동일한 투명성을 나타냈다. UV 조명(365 nm) 하의 LSC는 도 6의 c와 같이 확인되었다. UV 광선을 조사하면 0.5 mg/mL의 ZQD가 포함된 것을 제외하고는 LSC 도파관의 가장자리에 강하게 PL이 집중되었다. 0.5 mg/mL의 ZQD를 포함하는 LSC는 모든 방향으로 PL을 산란시켰다. 도 3d에서 볼 수 있듯이 0.5 mg/mL의 ZQD를 제외한 모든 샘플은 가시광선 영역에서 높은 투명도를 유지했다.

[0078] 또한 색좌표를 계산하고 국제 조명위원회 1931 색도 다이어그램에 정의 된대로 연색 지수(color rendering index; CRI)를 분석했다. 모든 LSC의 색상 좌표 (하기 표 2)는 도 6의 e와 같이 색도 다이어그램의 중앙 영역 (0.3, 0.3) 근처에 위치했다.

[0079] [표 2]

	x	y	CRI
PMMA	0.3335	0.3336	97
RMC (C = 0.5)	0.3453	0.3500	99
RMC-ZQD (C = 0.5 + 0.08)	0.3426	0.3461	98
ZQD (C = 0.08)	0.3343	0.3351	97
ZQD (C = 0.5)	0.4206	0.4032	99

[0080]

[0082] 모든 샘플은 거의 중립적인 색감을 보였으며 염료의 농도가 높을 경우 노란색 영역으로 약간만 이동했다. 특히, RMC-ZQD 이중 염료 LSC는 발광단이 없는 무염료 PMMA와 유사한 CRI 값을 나타냈다. CRI 값은 무염료 PMMA의 경우 99%에서 이중 염료를 포함하는 LSC 샘플의 경우 97%였다. CRI 값이 80%를 초과하면 건물 일체형 태양광 창에 적용하기에 적합한 것으로 간주되며 이 실험에서 준비된 모든 LSC는 90%보다 높은 상대적으로 높은 CRI 값을 나타냈다.

[0084] 실험예 3. 태양광 집광 장치의 효율 분석 1

[0085] LSC 시스템의 성능은 태양광 입사 전력(P_{in})에 대한 전기로 변환된 전력의 비율로 정의되는 전력 변환 효율(power conversion efficiency; PCE)로 설명할 수 있다. PCE 측정을 위해 2.5cm X 2.5cm X 0.3cm 크기의 LSC 플레이트를 준비했다. 태양광을 모사하기 위해 1개의 태양의 강도를 가진 조명을 LSC의 2.5cm X 2.5cm 전면에 수직으로 조사하고 가장자리(2.5cm X 0.3)에서 실리콘 PV 전지의 전류전압 특성을 조사했다. 이 실리콘 PV 셀은 LSC 플레이트의 네 모서리에 병렬로 장착되었다. 비교예로 하나의 발광단(RMC 또는 ZQD)을 갖는 LSC 플레이

트를 제조했다. 비교를 위해 대표적인 단일 및 이중 염료 LSC의 JV 곡선과 에지 부착 PV 셀의 전류 밀도(J_{sc}), 개방회로 전압(V_{oc}) 및 채우기 계수(fill factor; FF)를 포함한 PV 매개 변수를 요약하면 도 7 및 표 3과 같다.

[표 3]

	$J_{sc}(\text{mA cm}^{-2})$	$V_{oc}(\text{V})$	FF	PCE (%)	$\eta_{opt}(\%)$
RMC-ZQD (C = 0.5 + 0.5)	4.805	0.504	0.697	1.69	4.77
RMC-ZQD (C = 0.5 + 0.08)	3.486	0.508	0.694	1.23	3.46
ZQD (C = 0.5)	3.961	0.459	0.683	1.24	3.93
RMC (C = 0.5)	3.040	0.463	0.681	0.96	3.02
ZQD (C = 0.08)	1.025	0.431	0.651	0.29	1.02
PMMA	0.54	0.277	0.343	0.05	0.71
Tandem ZQD(C = 0.5) + RMC (C = 0.5)	5.404	0.499	0.689	1.85	5.36

PCE는 $(J_{sc} \times V_{oc} \times FF)/P_{in}$ 으로 계산된다. J_{sc} 값은 단락 전류(I_{sc})를 LSC의 전면 조명 면적으로 나눈 값이다. RMC만 있는 LSC에서 얻은 최고 PCE는 0.5 mg/mL의 RMC 농도에서 $0.96 \pm 0.06\%$, 단면적당 흐르는 전류량인 J_{sc} 는 $3.04 \pm 0.01 \text{ mAcm}^{-2}$ 였다. ZQD만 있는 LSC의 경우, PCE 값은 0.08 mg/mL 농도에서 $0.29 \pm 0.05\%$ 이고 0.5 mg/mL에서 $1.24 \pm 0.05\%$ 였으며, J_{sc} 값은 각각 0.08 및 0.5 mg/mL에서 $1.03 \pm 0.03 \text{ mAcm}^{-2}$ 및 $3.96 \pm 0.02 \text{ mAcm}^{-2}$ 으로 나타났다. 이에 반해, 0.08 mg/mL의 ZQD 및 0.5 mg/mL의 RMC를 포함하는 이중 염료 LSC의 PCE 및 J_{sc} 는 $1.23 \pm 0.05\%$ 및 $3.49 \pm 0.01 \text{ mAcm}^{-2}$ 으로 각 단일 염료 LSC보다 높았다. 이중 염료 LSC의 V_{oc} 값은 단일 염료 LSC의 V_{oc} 값보다 높았으며, 이중 염료 하이브리드 시스템에서 다른 광학 밴드갭을 나타낸다. FF는 품질의 중요한 척도인 태양전지의 특성 매개 변수이기 때문에 이중 염료 LSC의 FF가 증가하면 장치의 품질이 향상되었음을 나타내므로, 단일 염료 시스템에 비해 이중 염료 LSC의 V_{oc} 및 FF 값이 높아 염료 간의 광학적 시너지 효과가 일어났음을 확인할 수 있다. ZQD 0.5 mg/mL의 고농도 단일 염료 LSC는 0.08 mg/mL의 ZQD와 0.5 mg/mL의 RMC로 구성된 이중 염료 시스템과 유사한 PCE를 달성했다. 그러나 고농도 ZQD의 단일 LSC는 상당한 흐릿함(불투명성)을 나타냈다. 0.5 mg/mL의 ZQD 및 0.5 mg/mL의 RMC 농도를 갖는 이중 염료 LSC의 매개 변수도 비교를 위해 측정 한 결과, $1.69 \pm 0.02\%$ 의 PCE와 $4.81 \pm 0.02 \text{ mAcm}^{-2}$ 의 J_{sc} 으로 나타나 이전의 이중 염료 LSC보다 훨씬 높은 값이 확인되었다.

실험예 4. 태양광 집광 장치의 효율 분석 2

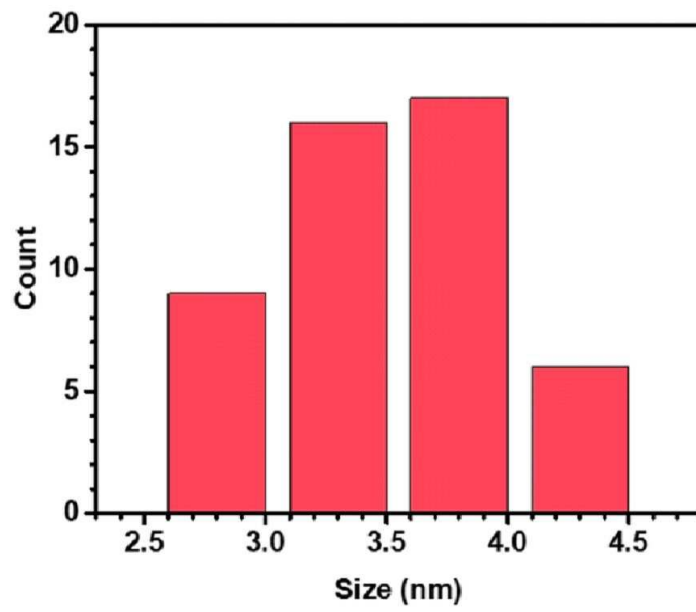
LSC의 효율은 광학 효율(η_{opt})로 평가할 수 있다. 광학 효율은 LSC가 태양 에너지를 받아 전력 변환 효율로 변환 할 때까지 에너지 손실 단계를 적용하여 정의된다. η_{opt} 값은 하기 식 1로 정의할 수 있다 (여기서 $R(\lambda)$ 은 반사율, $\alpha_c(\lambda)$ 와 $\alpha_{wg}(\lambda)$ 는 각각 화합물과 고분자의 흡광 계수, d 와 L 은 장치의 두께와 길이, $\eta_{trap}(\lambda)$ 은 집광 효율, Φ_{PL} 은 양자 효율, 산란 효율 ($1 - \eta_{RA}(\lambda)$)은 재흡수 효율을 의미함)

[식 1]

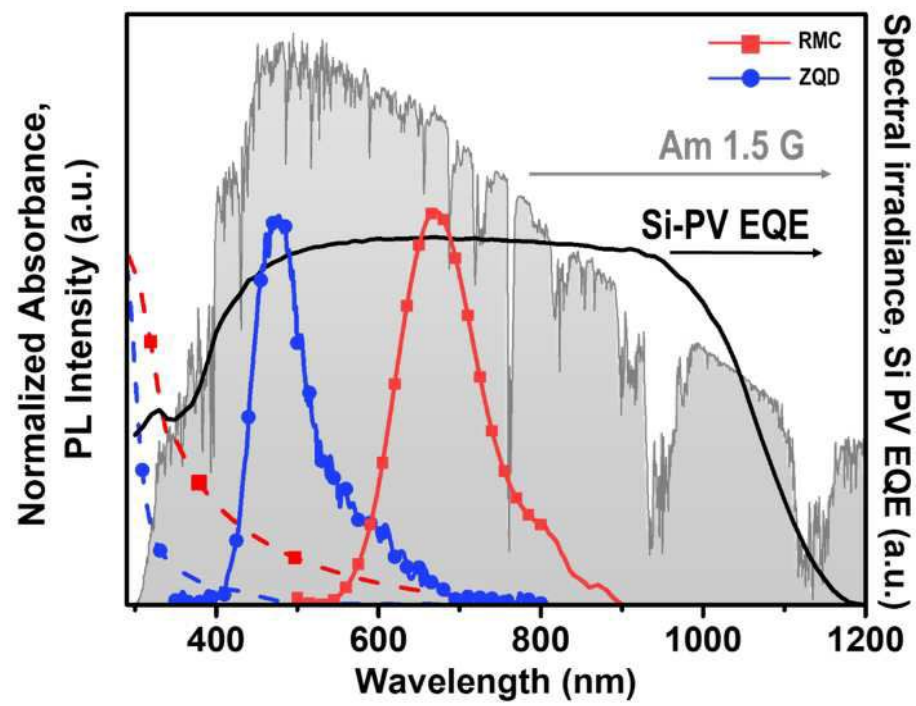
$$\eta_{opt} = \int (1 - R(\lambda))(1 - e^{-\alpha_c(\lambda)d})(1 - e^{-\alpha_{wg}(\lambda)L})\eta_{trap}(\lambda)\Phi_{PL}(1 - \eta_s(\lambda))(1 - \eta_{RA}(\lambda))d\lambda$$

- [0096] η_{OPT} 값을 추정하기 위해 2.5cm X 2.5cm X 0.3cm 크기의 LSC를 제작했다. 각 LSC는 AM 1.5G 태양 광 시뮬레이터(100 mWcm⁻²)를 사용하여 표면에 수직인 광원으로 LSC 전체가 조명되었다. 두 개 염료(인광 발광체 및 형광 발광체)를 포함하는 이중 염료 LSC의 광학 효율은 4.77%(0.5 mg/mL ZQD 및 0.5 mg/mL RMC) 및 3.46%(0.08 mg/mL ZQD 및 0.5 mg/mL RMC)로 이전에 보고된 무기 QD LSC의 값(Si QD의 경우 2.85%, CuInSe_xS_{1-x}/ZnS의 경우 3.27%)보다 높게 나타남을 확인하였다.
- [0097] 한편, ZQD만 내장된 LSC에서 측정된 양자효율(Quantum yield; 이하 QY)은 345 nm에서 약 78%였으며, RMC만 내장된 LSC는 345 nm의 여기 파장에서 QY가 19%였다. 이에 반해, 실시예의 이중 염료 LSC의 QY는 345 nm에서 약 33%인 것으로 확인되었다. 즉, RMC 염료의 낮은 QY는 소량의 ZQD 염료를 추가하여 크게 개선되는 것을 알 수 있다. RMC의 발광은 5.05 μ s의 상대적으로 긴 발광 수명을 가진 약한 인광이며, ZQD는 5.04 ns의 짧은 수명으로 강한 형광을 방출했다. RMC와 ZQD가 모두 내장된 실시예의 LSC는 490 nm의 ZQD 방출 파장에서 4.22 ns의 감소된 수명과 670 nm의 RMC 방출 파장에서 6.06 μ s의 약간 증가된 수명을 나타냈다. 이것은 에너지가 ZQD에서 RMC로 전달되었음을 나타낸다 (도 8).
- [0099] **실험예 5. 태양광 집광 장치의 효율 분석 3**
- [0100] J-V 특성에서 얻은 J_{sc} 의 PCE 유효성과 일관성을 확인하기 위해 외부 양자 효율(external quantum efficiency; EQE) 실험을 수행했다. EQE 스펙트럼의 통합 광전류 밀도를 PCE 측정에서의 J-V 특성에서 추출한 전류밀도와 비교했다. EQE 측정은 1000 W 크세논 램프가 있는 태양광 시뮬레이터와 320-980 nm 영역을 커버하는 23개의 대역 통과 간섭 필터로 자체 제작한 장치를 사용하여 수행되었다. LSC에는 한쪽 가장자리에 단일 PV 셀이 부착되어 있고 다른 세 모서리는 검은색으로 칠해 직사광선을 차단하였다. LSC 장치는 장치 후면에서 반사된 빛이 들어오는 것을 방지하기 위해 배경을 검정색으로 하였다. 또한 대역 통과 필터를 통해 투과 된 빛만 LSC에 도달 할 수 있도록 다른 파장의 빛을 차단했다.
- [0101] 파장의 함수로서 LSC 시스템의 스펙트럼 분해 EQE(λ)는 도 9와 같다. EQE 스펙트럼을 통합함으로써 RMC LSC에서 $2.76 \pm 0.05 \text{ mAcm}^{-2}$, ZQD LSC에서 $3.85 \pm 0.05 \text{ mAcm}^{-2}$ 및 이중 염료 RMC-ZQD LSC에서 $3.32 \pm 0.05 \text{ mAcm}^{-2}$ 의 전류밀도가 관측되었다. EQE의 통합 전류는 도 7의 J-V 특성에서 추출한 $3.04 \pm 0.01 \text{ mAcm}^{-2}$, $3.96 \pm 0.05 \text{ mAcm}^{-2}$ 및 $3.49 \pm 0.05 \text{ mAcm}^{-2}$ 값과 10% 차이 내에서 일관되게 나타남을 확인하였다.
- [0102] 한편, LSC 도파관 내 재흡수 손실을 평가하기 위해 LSC의 PV 응답을 PV 셀과 광 조사 위치 사이의 거리 (d) 함수로 비교했다 (도 10). RMC, ZQD 및 이중 염료(RMC-ZQD)를 사용하는 5개의 LSC의 단락 전류밀도(J_{sc})를 d의 함수로 측정했다. 먼저 7.5cm X 10.0cm X 0.3cm 크기의 대형 LSC를 제작하고 가장자리(7.5cm X 0.3cm)에 실리콘 PV 셀을 부착했다. LSC 표면의 2cm X 2cm 영역이 Si PV 셀과 다양한 거리에서 수직으로 2cm X 2cm 면적의 빛만 비출 수 있도록 다른 부분의 빛을 차단하는 마스크를 사용했다.
- [0103] 0.5 mg/mL의 ZQD를 포함하는 LSC에서 d가 증가함에 따라 전류밀도는 기하급수적으로 감소했으며 이는 빛의 상당한 산란 및 재흡수 손실의 증거이다. 그러나 RMC가 있는 LSC는 d의 함수로 비교적 일정한 J_{sc} 를 나타내어 재흡수가 거의 없음을 나타냈다. 0.5 mg/mL의 RMC와 0.08 mg/mL의 ZQD를 사용하는 이중 염료 LSC에서의 전류밀도는 ZQD의 추가로 인해 증가했지만 d의 증가에 대해서는 큰 감소가 없이 일정하게 나타났다. 이중 염료계에서 ZQD의 농도를 0.5 mg/mL로 증가시켰을 때 d의 증가에 대해 급격한 전류감소가 관찰되었으나, 수 센티미터, 특히 7 cm를 초과하도록 하는 d의 증가 이후에는 ZQD의 응집된 나노 입자에 의한 산란 효과가 억제되었음을 나타내고 0.5 mg/mL의 ZQD 단독을 사용한 LSC의 감소율에 비해 심각하지 않았다. 0.5 mg/mL의 ZQD만 포함하는 LSC의 PCE는 이중 염료 시스템의 PCE만큼 높았지만 d의 증가에 따라 지수 전류밀도가 급격히 감소하여 대형 LSC의 실제 적용에 적합하지 않음을 확인하였다. 이중 염료 LSC에서 관찰된 재흡수 손실의 현저한 억제는 (dMDAEMA)⁺ 양이온과 결합한 소수성을 갖는 PMMA에서 극성 칼코게나이드 ZQD 입자와 함께 RMC 음이온 [Re₆S₈(NCS)₆]⁴⁻의 균일한 분산 때 문인 것으로 추정된다.
- [0105] 진술한 본원의 설명은 예시를 위한 것이며, 본원이 속하는 기술분야의 통상의 지식을 가진 자는 본원의 기술적

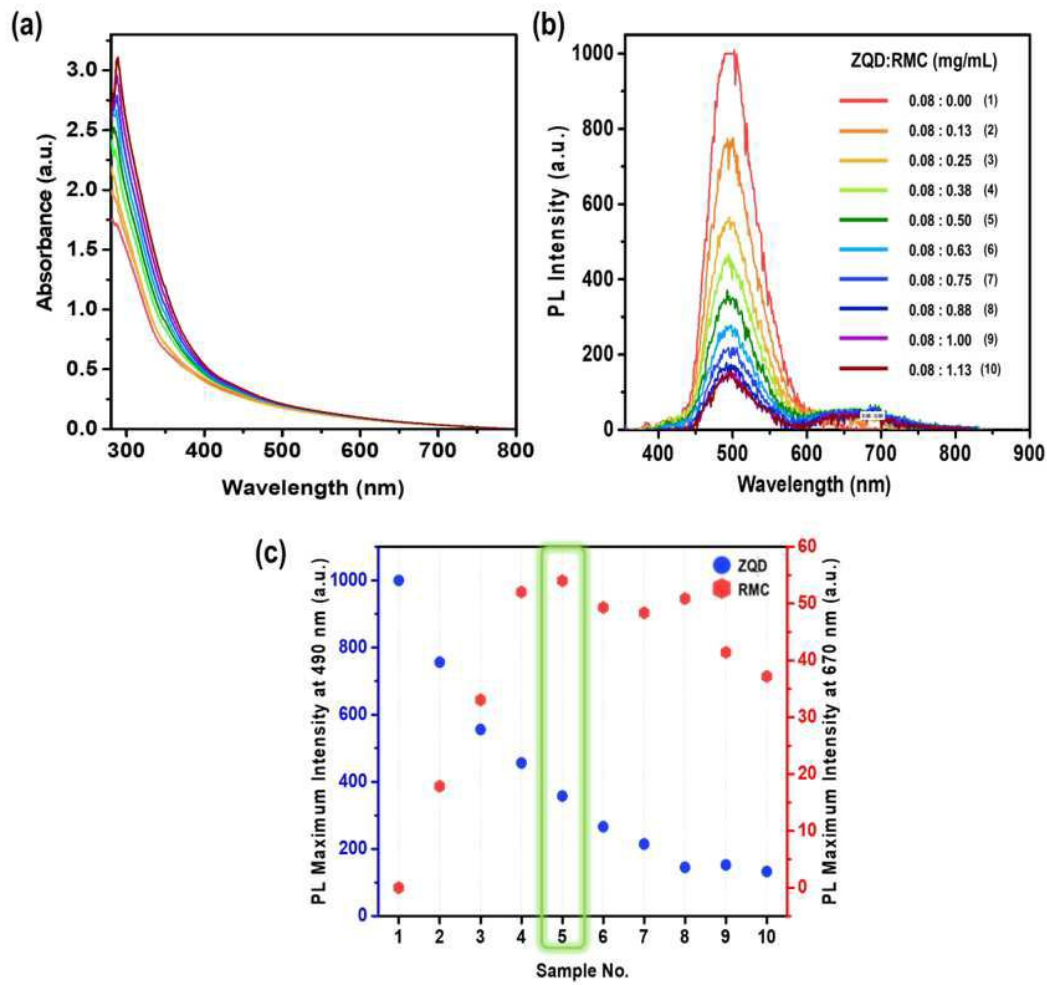
도면2



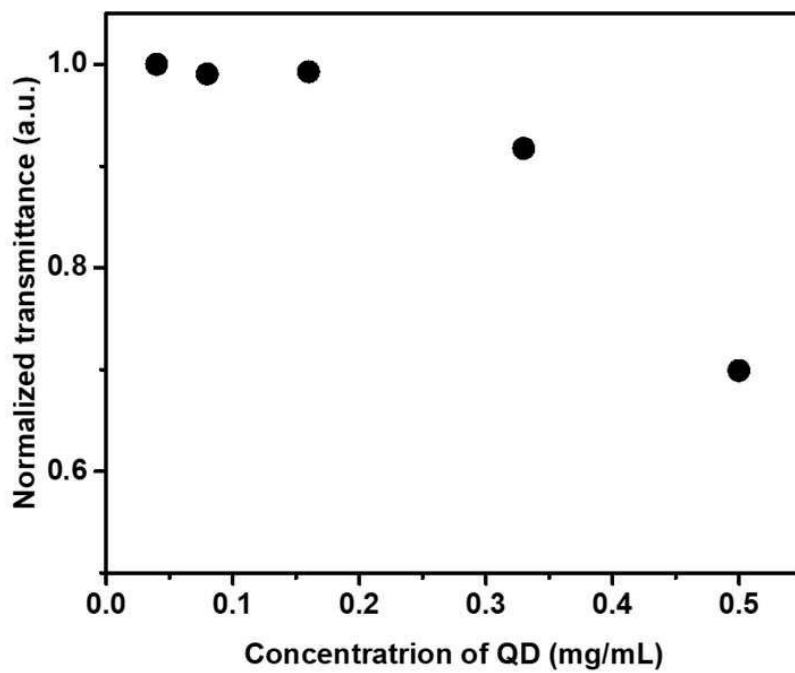
도면3



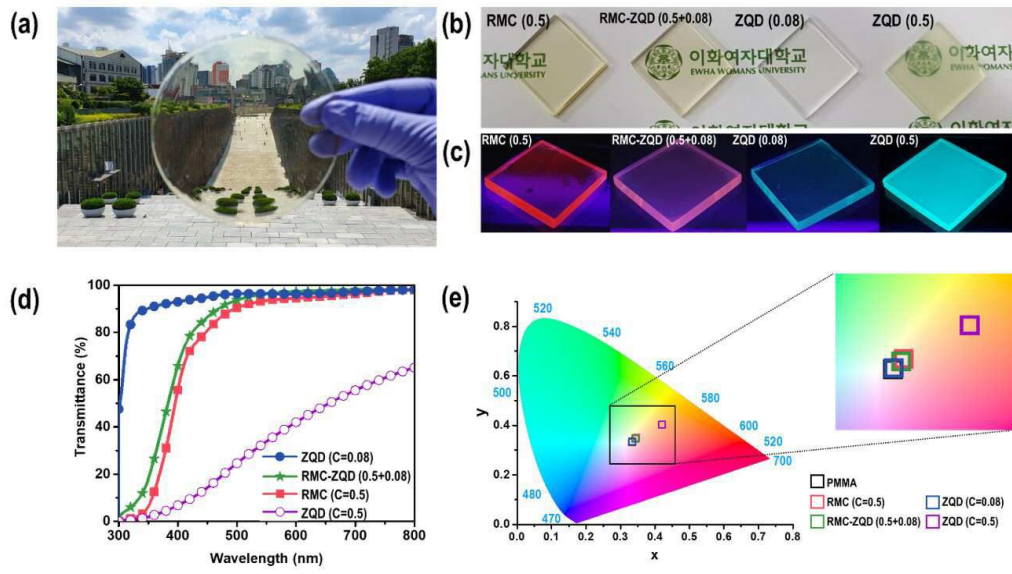
도면4



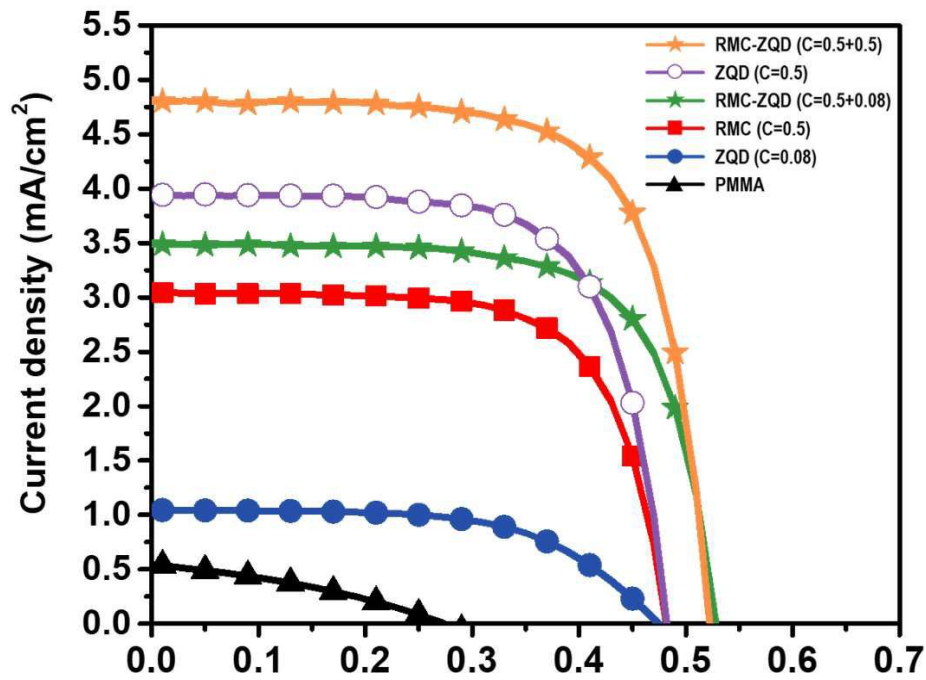
도면5



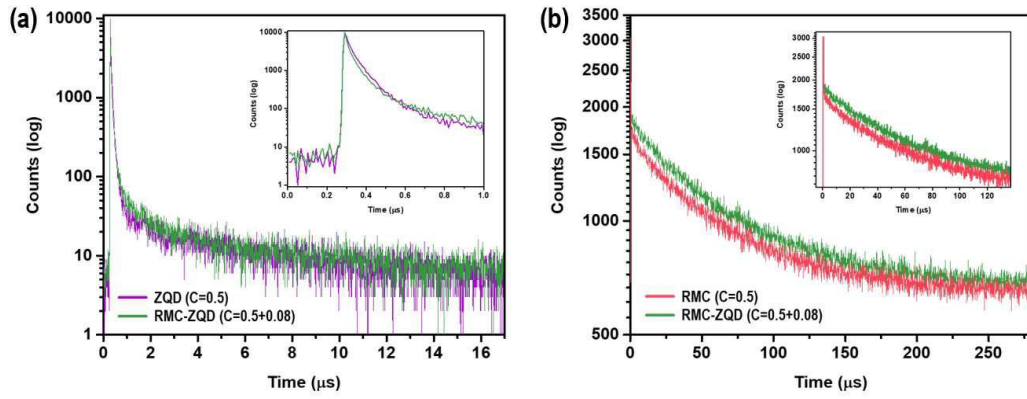
도면6



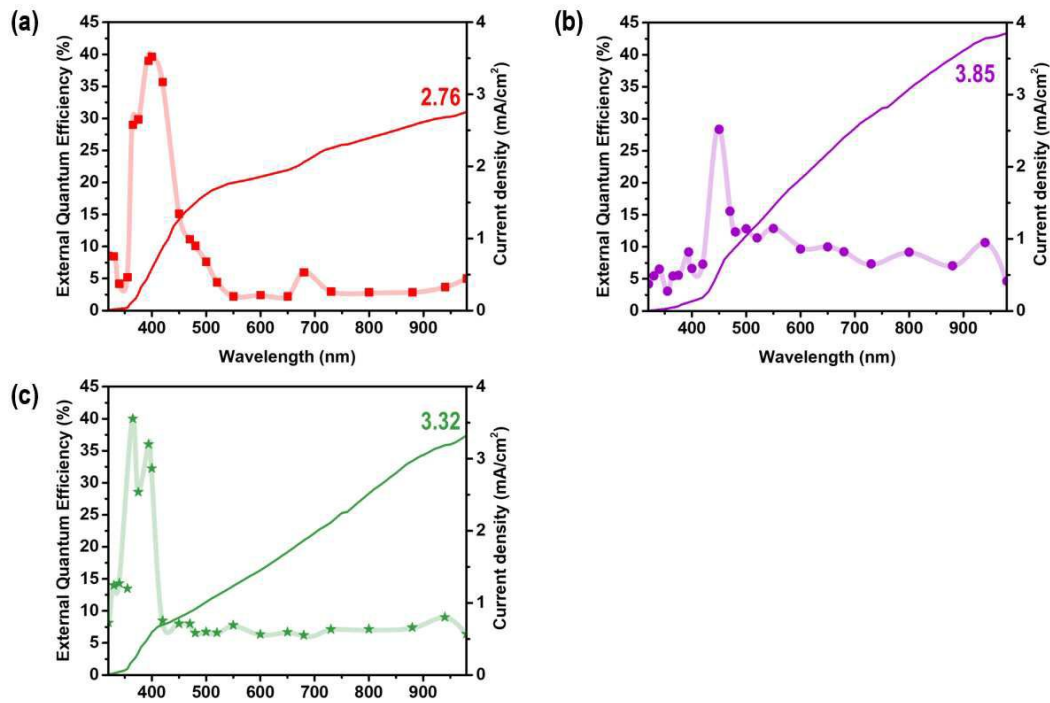
도면7



도면8



도면9



도면10

