



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2023-0175002
(43) 공개일자 2023년12월29일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H10K 30/00 (2023.01) H10K 30/80 (2023.01)
H10K 99/00 (2023.01)
(52) CPC특허분류
H10K 30/10 (2023.02)
H10K 30/82 (2023.02)
(21) 출원번호 10-2022-0076333
(22) 출원일자 2022년06월22일
심사청구일자 2022년06월22일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암
동5가)
(72) 발명자
심재원
서울특별시 성동구 매봉길 15, 103동 601호(옥수
동, 래미안 옥수 리버젠)
김태혁
서울특별시 광진구 독성로 702(자양동) 삼부빌딩
402호
(74) 대리인
송인호, 윤형근, 최관락

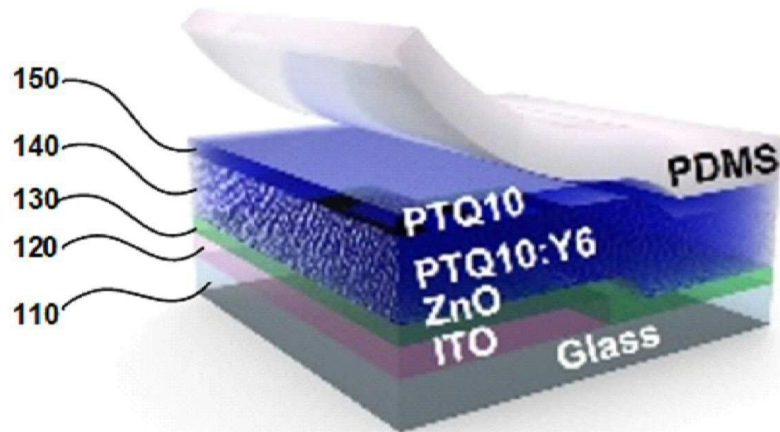
전체 청구항 수 : 총 7 항

(54) 발명의 명칭 실내 광전지 및 이의 제작 방법

(57) 요약

실내 광전지 및 이의 제작 방법이 개시된다. 실내 광 전지는 투명 전극; 상기 투명 전극층 위에 형성되는 전자 수송층; 상기 전자 수송층 위에 형성되며, 실내 광에 의해 여기자를 생성하고, 상기 여기자를 양전하와 음전하로 분리하는 도너층과 엑셉터층을 포함하는 광 활성층; 및 상기 광 활성층 위에 형성되며, 상기 도너층과 동질적인 물질로 형성되는 전하 수송층을 포함한다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류

H10K 71/12 (2023.02)

Y02E 10/549 (2020.08)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711154874
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	1/1
과제수행기관명	고려대학교산학협력단
연구기간	2022.03.01 ~ 2023.02.28

명세서

청구범위

청구항 1

실내 광전지에 있어서,

투명 전극;

상기 투명 전극층 위에 형성되는 전자 수송층;

상기 전자 수송층 위에 형성되며, 실내 광에 의해 여기자를 생성하고, 상기 여기자를 양전하와 음전하로 분리하는 도너층과 엑셉터층을 포함하는 광 활성층; 및

상기 광 활성층 위에 형성되며, 상기 도너층과 동질적인 물질로 형성되는 전하 수송층을 포함하는 실내 광전지.

청구항 2

제1 항에 있어서,

전하 수송층은 실리콘 기반 유기 폴리머(PDMS)의 일면을 상기 도너층과 동질적인 물질로 용액 공정법을 통해 코팅층을 형성하고, 상기 코팅층을 상기 광 활성층 위에 전사시키는 라미네이션 기법으로 형성되는 것을 특징으로 하는 실내 광전지.

청구항 3

제1 항에 있어서,

상기 도너층과 상기 전하 수송층은 각각 PTQ10, PM6(PBDB-T-2F), PM7(PBDB-T-2C1), PEDOT 및 fluorobenzotriazole(FTAZ) 중 어느 하나의 고분자 물질로 형성되는 것을 특징으로 하는 실내 광전지.

청구항 4

제1 항에 있어서,

상기 전하 수송층은 1 ~ 8nm 이하의 두께로 형성되는 것을 특징으로 하는 실내 광전지.

청구항 5

실내 광 전지 제조 방법에 있어서,

투명 전극층 위에 전자 수송층을 형성하는 단계;

상기 전자 수송층 위에, 실내 광에 의해 여기자를 생성하고, 상기 여기자를 양전하와 음전하로 분리하는 도너층과 엑셉터층을 포함하는 광 활성층을 형성하는 단계; 및

상기 광 활성층 위에 상기 도너층과 동질적인 물질로 전하 수송층을 형성하는 단계를 포함하는 실내 광 전지 제조 방법.

청구항 6

제5 항에 있어서,

상기 전하 수송층을 형성하는 단계는,

실리콘 기반 유기 폴리머(PDMS)의 일면을 상기 도너층과 동질적인 물질로 코팅하여 코팅층을 형성하는 단계; 및
상기 코팅층이 상기 광 활성층의 상면에 위치되도록 배치시킨 후 상기 광 활성층 위에 상기 코팅층을 전사시키는 라미네이션 기법으로 상기 광 활성층 위에 상기 전하 수송층을 형성하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 실내 광 전지 제조 방법.

청구항 7

제5 항에 있어서,

상기 도너층과 상기 전하 수송층은 각각 PTQ10, PM6(PBDB-T-2F), PM7(PBDB-T-2C1), PEDOT 및 fluorobenzotriazole(FTAZ) 중 어느 하나의 고분자 물질로 형성되는 것을 특징으로 하는 실내 광 전지 제조 방법.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 실내 광전지 및 이의 제작 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0003] 실내 광전지의 전하 수송층은 광학적 특성이 우수한 동시에 전하 이동도 및 자유전하를 원하는 방향으로 이동시킬 수 있어야 한다. 특히 유기 반도체 층과 전극 간 계면에 존재하는 결함은 자유 전하의 이동 과정에서 재결합을 야기하고, 광전지 성능을 저해하는 요인이다.

[0004] 종래의 전하 수송층 설계 방법은 용액 공정 및 열 증착 방법으로 형성되었으나, 이는 표면 평탄화, 고온 공정, 공정 시간, 및 비용적인 측면에서 실용적이지 않은 단점이 있다.

[0005] 이에, 광전지 내부의 효율적인 에너지 레벨 정렬을 유도하고 계면 결함을 감소시키기 위한 새로운 제조 방법이 필요하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0007] 본 발명은 실내 광전지 및 이의 제작 방법을 제공하기 위한 것이다.

[0008] 또한, 본 발명은 전사 라미네이션 기법을 통해 유기 반도체층에 사용된 동질적인 물질로 정공 수송층을 형성함으로써 결함 밀도를 크게 억제하고 준-페르미 준위 분리(quasi-Fermi level splitting)을 극대화하여 전력 변환 효율(PCE: power-conversion efficiency)이 25% 이상 증가하여 저조도 실내 환경에서 성능이 개선된 실내 광전지 및 이의 제작 방법을 제공하기 위한 것이다.

[0009] 또한, 본 발명은 평평한 실리콘 기반 유기 폴리머를 이용하기 때문에 표면 평탄화 및 열처리로 인한 하부 층의 손상 없이 균일한 전하 수송층을 형성할 수 있는 실내 광전지 및 이의 제작 방법을 제공하기 위한 것이다.

[0010] 또한, 본 발명은 유기 반도체층에 사용된 동질적인 물질로 정공 수송층을 형성함으로써 충전율과 개방 전압이 향상되어 저조도 실내 환경에서 탁월한 성능을 가지는 실내 광전지 및 이의 제작 방법을 제공하기 위한 것이다.

과제의 해결 수단

- [0012] 본 발명의 일 측면에 따르면, 전자 라미네이션 기법을 통해 유기 반도체층에 사용된 동질적인 물질로 정공 수송층을 형성할 수 있는 실내 광 전지를 제공하기 위한 것이다.
- [0013] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 실내 광전지에 있어서, 투명 전극; 상기 투명 전극층 위에 형성되는 전자 수송층; 상기 전자 수송층 위에 형성되며, 실내 광에 의해 여기자를 생성하고, 상기 여기자를 양전하와 음전하로 분리하는 도너층과 억셉터층을 포함하는 광 활성층; 및 상기 광 활성층 위에 형성되며, 상기 도너층과 동질적인 물질로 형성되는 전자 수송층을 포함하는 실내 광전지가 제공될 수 있다.
- [0014] 상기 전자 수송층은 실리콘 기반 유기 폴리머(PDMS)의 일면을 상기 도너층과 동질적인 물질로 용액 공정법을 통해 코팅층을 형성하고, 상기 코팅층을 상기 광 활성층 위에 전사시키는 라미네이션 기법으로 형성될 수 있다.
- [0015] 상기 도너층과 상기 전자 수송층은 각각 PTQ10, PM6(PBDB-T-2F), PM7(PBDB-T-2C1), PEDOT 및 fluorobenzotriazole(FTAZ) 중 어느 하나의 고분자 물질로 형성될 수 있다.
- [0016] 상기 전자 수송층은 1 ~ 8nm 이하의 두께로 형성될 수 있다.
- [0018] 본 발명의 다른 측면에 따르면 전자 라미네이션 기법을 통해 유기 반도체층에 사용된 동질적인 물질로 정공 수송층을 형성할 수 있는 실내 광 전지 제조 방법이 제공된다.
- [0019] 본 발명의 일 실시예에 따르면, 실내 광 전지 제조 방법에 있어서, 투명 전극층 위에 전자 수송층을 형성하는 단계; 상기 전자 수송층 위에, 실내 광에 의해 여기자를 생성하고, 상기 여기자를 양전하와 음전하로 분리하는 도너층과 억셉터층을 포함하는 광 활성층을 형성하는 단계; 및 상기 광 활성층 위에 상기 도너층과 동질적인 물질로 전자 수송층을 형성하는 단계를 포함하는 실내 광 전지 제조 방법이 제공될 수 있다.
- [0020] 상기 전자 수송층을 형성하는 단계는, 실리콘 기반 유기 폴리머(PDMS)의 일면을 상기 도너층과 동질적인 물질로 코팅하여 코팅층을 형성하는 단계; 및 상기 코팅층이 상기 광 활성층의 상면에 위치되도록 배치시킨 후 상기 광 활성층 위에 상기 코팅층을 전사시키는 라미네이션 기법으로 상기 광 활성층 위에 상기 전자 수송층을 형성하는 단계를 포함할 수 있다.

발명의 효과

- [0022] 본 발명의 일 실시예에 따른 실내 광전지 및 이의 제작 방법을 제공함으로써, 전자 라미네이션 기법을 통해 유기 반도체층에 사용된 동질적인 물질로 정공 수송층을 형성함으로써 결함 밀도를 크게 억제하고 준-페르미 준위 분리(quasi-Fermi level splitting)를 극대화하여 전력 변환 효율(PCE: power-conversion efficiency)이 25% 이상 증가한 저조도 실내 환경에서 성능이 개선된 실내 광전지 제조가 가능한 이점이 있다.
- [0023] 또한, 본 발명은 평평한 실리콘 기반 유기 폴리머를 이용하기 때문에 표면 평탄화 및 열처리로 인한 하부 층의 손상 없이 균일한 전자 수송층을 형성할 수 있다.
- [0024] 또한, 본 발명은 유기 반도체층에 사용된 동질적인 물질로 정공 수송층을 형성함으로써 충전율과 개방 전압이 향상되어 저조도 실내 환경에서 탁월한 성능을 가지는 이점이 있다.

도면의 간단한 설명

- [0027] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 실내 광 전지의 상세 구조를 도시한 도면.
- 도 2a 및 도 2b는 본 발명의 일 실시예에 따른 실내 광 전지 제조 방법을 나타낸 공정도.
- 도 3은 종래와 본 발명의 일 실시예에 따른 실내 광 전지의 흡광 스펙트럼 변화 및 화학 구조를 설명하기 위해 도시한 도면.
- 도 4는 종래와 본 발명의 일 실시예에 따른 실내 광전지의 3D AFM 프로파일 및 광 활성층의 두께 변화를 설명하기 위해 도시한 도면.

도 5는 종래와 본 발명의 일 실시예에 따른 실내 광 전지의 J-V 특성 및 EQE 스펙트럼 비교 결과를 도시한 도면.

도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 두께에 따른 광 전지 성능을 설명하기 위해 도시한 도면.

도 7은 종래와 본 발명의 일 실시예에 따른 실내 광 전지의 $J_{\text{light}}-V_{\text{eff}}$ 의존성, Nyquist 플롯, J-V 곡선, $\ln(I_{\text{light}})$ 에 대한 V_{oc} 의존성에 대한 기울기 값을 비교한 도면.

도 8은 종래와 본 발명의 일 실시예에 따른 실내 광전지의 2D AFM 그래인-카운트를 나타낸 도면.

도 9는 종래와 본 발명의 일 실시예에 따른 광 활성층의 복소굴절률을 비교한 도면.

도 10은 종래와 본 발명의 일 실시예에 따른 실내 광 전지의 전력 흡수율을 나타낸 도면.

도 11은 종래와 본 발명의 일 실시예에 따른 실내 광 전지의 실내 조명에서의 성능을 비교한 결과.

도 12는 종래와 본 발명의 일 실시예에 따른 실내 광전지의 주변 안전성을 비교한 결과.

도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 FTAZ 기반 실내 광 전지의 성능과 EQE 스펙트럼을 나타낸 도면.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0028] 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.

[0029] 이하, 첨부된 도면들을 참조하여 본 발명의 실시예를 상세히 설명한다.

[0031] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 실내 광 전지의 상세 구조를 도시한 도면이고, 도 2a 및 도 2b는 본 발명의 일 실시예에 따른 실내 광 전지 제조 방법을 나타낸 공정도이고, 도 3은 종래와 본 발명의 일 실시예에 따른 실내 광 전지의 흡광 스펙트럼 변화 및 화학 구조를 설명하기 위해 도시한 도면이고, 도 4는 종래와 본 발명의 일 실시예에 따른 실내 광전지의 3D AFM 프로파일 및 광 활성층의 두께 변화를 설명하기 위해 도시한 도면이며, 도 5는 종래와 본 발명의 일 실시예에 따른 실내 광 전지의 J-V 특성 및 EQE 스펙트럼 비교 결과를 도시한 도면이고, 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 두께에 따른 광 전지 성능을 설명하기 위해 도시한 도면이며, 도 7은 종래와 본 발명의 일 실시예에 따른 실내 광 전지의 $J_{\text{light}}-V_{\text{eff}}$ 의존성, Nyquist 플롯, J-V 곡선, $\ln(I_{\text{light}})$ 에 대한 V_{oc} 의존성에 대한 기울기 값을 비교한 도면이고, 도 8은 종래와 본 발명의 일 실시예에 따른 실내 광전지의 2D AFM 그래인-카운트를 나타낸 도면이고, 도 9는 종래와 본 발명의 일 실시예에 따른 광 활성층의 복소굴절률을 비교한 도면이고, 도 10은 종래와 본 발명의 일 실시예에 따른 실내 광 전지의 전력 흡수율을 나타낸 도면이고, 도 11은 종래와 본 발명의 일 실시예에 따른 실내 광 전지의 실내 조명에서의 성능을 비교한 결과이고, 도 12는 종래와 본 발명의 일 실시예에 따른 실내 광전지의 주변 안전성을 비교한 결과이며, 도 13은 본 발명의 일 실시예에 따른 FTAZ 기반 실내 광 전지의 성능과 EQE 스펙트럼을 나타낸 도면이다.

[0032] 도 1을 참조하면, 본 발명의 일 실시예에 따른 실내 광 전지(100)는 기판(110), 하부 전극층(120), 전자 수송층(130), 광 활성층(140) 및 전하 수송층(150)을 포함하여 구성된다.

[0033] 기판(110)은 투명하고 빛을 투과할 수 있는 재질로 구성된다. 기판(110)은 유리 재질로 형성되나, 반드시 유리로 한정되는 것은 아니다.

[0034] 하부 전극층(120)은 투명 기판(110) 상에 형성되며, 빛을 투과하여 전류를 흐르게 할 수 있다. 예를 들어, 하부 전극층(120)은 ITO(indium Tin Oxide)로 형성될 수 있다. 하부 전극층(120)이 반드시 ITO로 한정되지는 않을 수 있다.

[0035] 전자 수송층(130)은 전자가 이동하는 층으로, 하부 전극층(120) 위에 형성될 수 있다. 전자 수송층(130)은 광 활성층(140)에서 분리된 전자를 하부 전극층(120)으로 수송하는 역할을 할 수 있다. 전자 수송층(130)은

ZnO(Zinc Oxide)로 이루어질 수 있다.

- [0036] 광 활성층(140)은 전자 수송층(130) 위에 형성된다. 이러한, 광 활성층(140)은 적어도 둘 이상의 유기 고분자 물질로 구성되어 실내 광에 의해 여기자를 형성하고, 여기자를 양전하와 음전하로 분리하는 도너층과 억셉터층을 포함할 수 있다.
- [0037] 예를 들어, 도너층은 PTQ10, PM6(PBDB-T-2F), PM7(PBDB-T-2C1) 및 PEDOT 중 적어도 하나로 형성되며, 억셉터층은 Y6, PC71BM, PSS 중 적어도 하나로 형성될 수 있다.
- [0038] 본 발명의 일 실시예에서는 이해와 설명의 편의를 도모하기 위해, 도너층이 PTQ10으로 형성되며, 억셉터층은 Y6로 형성되는 것을 가정하여 이를 중심으로 설명하기로 한다.
- [0039] 전자 수송층(130)은 광 활성층(140) 위에 형성된다. 전자 수송층(130)은 광 활성층(140)을 형성하는 물질과 동질적인 물질로 형성될 수 있다. 보다 상세하게 전자 수송층(130)은 도너층과 동질적인 물질을 용액 공정된 후 전사 라미네이션 기법으로 광 활성층(140) 위에 형성될 수 있다.
- [0040] 예를 들어, 도너층이 PTQ10으로 형성되는 경우, PTQ10으로 정공 수송층이 형성될 수 있다. 이때, 실리콘 기반 유기 폴리머(PDMS, 이하 PDMS라 칭하기로 함)에 도너층에 사용된 동질적인 PTQ10을 임시로 용액공정된 후 물리적으로 광 활성층(140)으로 전사하여 전하 수송층(150)을 형성할 수 있다.
- [0041] 본 발명의 일 실시예에서는 PDMS 위에 전사하고자 하는 수송층을 용액 공정 방법으로 층을 형성하고, 별도의 열처리 없이 광 활성층(140) 위로 수송층이 아래로 가는 방향으로 전사하여 전하 수송층을 형성할 수 있다. 이와 같이, PDMS를 이용하기 때문에 표면 평탄화와 열처리로 인한 하부 층의 손상 없이 전하 수송층을 형성할 수 있다.
- [0042] 본 발명의 일 실시예에서는 광 활성층(140), 즉 도너층이 PTQ10으로 형성되는 것을 가정하여 설명하고 있으므로, 정공 수송층이 도너층과 동질적인 PTQ10으로 형성되는 것을 가정하기로 한다. 그러나, 정공 수송층은 광 활성층을 형성하는 물질에 따라 달라질 수 있으며, 광 활성층과 동질적인 물질로 형성되는 경우 제한 없이 적용될 수 있다.
- [0043] 도 2a 및 도 2b를 참조하여 실내 광 전지를 제조하는 방법에 대해 보다 상세히 설명하기로 한다.
- [0044] 단계 210에서 하부 전극층(120)에 ZnO 나노 입자를 스핀 코팅한 후 0.2 μm 폴리(테트라플루오로에틸렌)(PTFE) 필터를 사용하여 200° C에서 1시간 동안 어닐링하여 전자 수송층(130)을 형성한다.
- [0045] 이어, 단계 215에서, 클로로포름(1-클로로프탈렌 0.5% 첨가제)에 16 mg/ml PTQLY6(1:1.2)를 용해시키고 50° C에서 3시간 동안 교반하여 광 활성층을 형성한 후 ITO/ZnO 필름 상에 300rpm으로 30초 동안 스핀 코팅하고, 90° C에서 10분 동안 어닐링한다.
- [0046] 단계 220에서 PTQ10(1-5 mg/ml)을 30초 동안 3000rpm에서 스핀 코팅을 통해 PDMS에 코팅하고, 즉시 광 활성층(140) 위에 전사시켜 전하 수송층(150)을 형성한다.
- [0047] 마지막으로 단계 225에서 MoOX (10nm) 및 Ag (150nm) 전극을 약 10-8Pa의 고압 새도우 마스크 하에서 열 증발을 통해 증착한다.
- [0048] 보다 상세하게, 도 2b를 참조하여, 광 활성층(PTQ10:Y6)(140)위에 전하 수송층을 형성하기 위해, PDMS에 광 활성층과 동질적인 PTQ10을 코팅한 후 해당 PTQ10 코팅층이 광 활성층(140) 위에 위치되도록 아래로 향하도록 위치시킨 후 전사시켜 광 활성층(140) 위에 PTQ10 전하 수송층(150)을 형성할 수 있다.
- [0049] 광 활성층과 양극 사이에 동질적인 PTQ10으로 형성된 전하 수송층(150)의 존재를 확인하기 위해, PTQ10:Y6 광 활성층과 이중층(PTQ10:Y6 및 전사 적층된 PTQ10)의 흡수 스펙트럼을 자외선 가시광선 분광법을 통해 측정하였다. 도 3에서 보여지는 바와 같이, PTQ10의 흡수 범위에 해당하는 500 ~ 600nm의 스펙트럼 범위에 걸쳐 이중층에서 약간 증가된 흡수 프로파일이 관찰됨에 따라 추가 PTQ10층의 존재를 확인할 수 있다.
- [0050] 도 4는 PTQ10층의 적층 유무에 관계 없이 필름의 표면 형태학에서의 진화를 조사하기 위해 원자력 현미경(AFM)을 수행한 결과이다. 1 μm^2 의 면적에 걸친 AFV 높이 프로파일에 기초하여 결정된 RMS 표면 거칠기 값을 갖는 이미지가 도 4의 (a)에 도시되어 있다. 추가 PTQ10 층의 적층 전후 RMS 거칠기 값 사이에 명확한 차이가 관찰되는데, 이는 PTQ10:Y6층의 상부에 PTQ10층의 존재를 명확하게 나타낸다.
- [0051] 또한, PTQ10의 존재를 확인하기 위해 SEM 이미지를 획득하였다. 도 4의 (a)는 전하 수송층이 형성되지 않은 경

우 SEM 이미지이며, 도 4의 (b)는 전하 수송층이 존재하는 경우, SEM 이미지이다. 이하에서, PTQ10 전하 수송층을 포함하지 않는 실내 광 전지는 레퍼런스 장치라 칭하기로 하며, PTQ10 전하 수송층을 포함하는 실내 광전지를 제어 장치로 통칭하여 비교하기로 한다. 이하에서 별도의 설명이 없더라도 레퍼런스 장치는 PTQ10 전하 수송층을 포함하지 않는 종래 실내 광 전지로 확장 해석되어야 할 것이며, 제어 장치는 PTQ10 전하 수송층을 가지는 실내 광 전지로 확장 해석되어야 할 것이다

[0052] 도 7 및 도 4의 (a)는 레퍼런스 장치와 제어 장치의 하향식(top-down) 및 단면 프로파일을 나타낸다. PTQ10 전하 수송층이 광 활성층에 성공적으로 전사된 것은 도 7에서 확인되었다. 또한, 도 4의 (b)에서 보여지는 바와 같이, PTQ10 전하 수송층 전사 후 광 활성층의 두께가 136nm에서 144nm로 증가하여 PTQ10층이 형성된 것을 알 수 있다.

[0053] 또한, 다양한 조명 조건에서 PTQ10층의 유무에 따른 실내 광 전지의 전류 밀도-전압(J-V) 특성 곡선을 비교하였다.

[0054] 도 5의 (a) 및 (b)는 각각 태양 및 실내 조명(HL)하에서의 J-V 곡선을 도시한 도면이다.

[0055] 태양광 파라미터는 표 1에 도시된 바와 같다.

[0056] [표 1]

Light source	Structure	V_{oc} (mV)	J_{sc} (AM1.5G: mA/cm ²) (Indoor: μ A/cm ²)	FF (%)	PCE (%)
AM1.5G (100 mW/cm ²)	Reference	830 ± 2	27.5 ± 0.2	65.5 ± 0.1	14.9 ± 0.1
	device	828 ± 7	26.7 ± 0.2	69.6 ± 0.1	15.4 ± 0.1
	Control device				
Halogen 500 lx (4.2 mW/cm ²)	Reference	688 ± 2	391.6 ± 0.6	66.8 ± 0.1	4.2 ± 0.1
	device	739 ± 2	380.0 ± 1.0	73.7 ± 0.1	4.9 ± 0.1
	Control device				
Halogen 1000 lx (7.0 mW/cm ²)	Reference	743 ± 1	667.7 ± 1.1	65.2 ± 0.9	4.6 ± 0.1
	device	785 ± 8	685.2 ± 2.5	74.0 ± 0.3	5.7 ± 0.2
	Control device				

[0058]

[0059] 태양광 조명하에서는 PTQ10 전하 수송층이 없는 경우와 PTQ10 전하 수송층이 존재하는 경우 유사한 광 전지 성능을 나타냈다.

[0060] PTQ 전하 수송층이 없는 경우와 달리 PTQ10 전하 수송층이 존재하는 경우, PTQ10 전하 수송층의 두께를 변화시키며 최적화를 분석하였다. PTQ10 전하 수송층(150)의 두께는 PTQ10 용액의 농도를 변경하여 제어하였으며, 1mg/ml 용액을 사용하여 약 8nm의 얇은 두께를 가지는 PTQ10 전하 수송층에서 최적 성능이 달성되었다.

[0061] 도 6에서 보여지는 바와 같이, 저항성 PTQ10 전하 수송층의 두께가 증가하면 전하 수집 효율이 어느 정도 감소하여 실내 광 전지의 성능이 저하되는 것으로 보여진다.

[0062] 도 5의 (c)는 레퍼런스 장치와 제어 장치의 실내 광 전지의 외부 양자 효율(EQE)를 측정하여 JSC 값을 확인한 것이다. 도 5의 (c)에서 보여지는 바와 같이, PTQ10 전하 수송층 존재 유무에 따른 EQE 스펙트럼간의 의미한 차이는 관찰되지 않았으며, JSC값간의 높은 유사성과 일치했다.

[0063] PTQ10 전하 수송층 유무에 따른 실내 광 전지의 실내 성능은 표 1에서 보여지는 바와 같이 성능 차이가 발생한다. 대표적인 실내 조명인 1000-lx 헬로젠 조도($IL: 7.0\text{mW}/\text{cm}^2$)에서 PTQ10 전하 수송층이 없는 실내 광 전지의 경우 표 1에서 보여지는 바와 같이, $PCE = 4.6 \pm 0.1 \%$ with $V_{oc} = 743 \pm 1 \text{ mV}$, $J_{sc} = 667.7 \pm 1.1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$, j , $FF = 65.2 \pm 0.9 \%$ 로 나타났다.

[0064] 그러나, 본 발명의 일 실시예와 같이 PTQ10 전하 수송층을 포함하는 실내 광 전지의 경우, $V_{oc} = 785 \pm 8 \text{ mV}$, $J_{sc} = 685.2 \pm 2.5 \mu\text{A}/\text{cm}^2$, 및 $FF = 74.0 \pm 0.1 \%$ 로 더 나은 성능을 보이는 것을 알 수 있다. 특히, $PCE = 5.7 \pm 0.2 \%$ 로 레퍼런스 장치와 비교하여 약 25% 더 나은 성능을 보이는 것을 알 수 있다. 제어 장치의 PCE 값은 $\sim 413 \mu\text{W}/\text{cm}^2$ 의 출력 전력 밀도(P_{max})에 해당하며, 이는 저전력 전자 장치에 충분한 것을 알 수 있다.

[0065] 즉, 도 5 및 표 1에서 보여지는 바와 같이, 모든 실내 광 전지 매개 변수가 개선된 것을 알 수 있다. 특히 FF가 약 13% 이상 향상되었다. 이는 제어 장치의 계면 특성에 대한 긍정적인 영향(결함 밀도 감소, 누설 전류 감소 등)을 보이고 있으며, 이는 실내 환경에서 성능이 향상되었으며, 저조도 실내 조명 조건에서 전사적층법은 불량 배열을 줄이는데 효과적임을 보여준다.

[0066] 본 발명의 일 실시예에서는 1000-lx 할로젠 조명 조건에서 FF값의 개선은 등가 회로 모델을 사용하여 분석하였다. 등가 회로 모델은 수학적 식 1과 같이 나타낼 수 있다.

수학적 식 1

$$FF = \left\{ \frac{v_{oc} - \ln(v_{oc} + 0.72)}{(v_{oc} + 1)} \right\} (1 - 1.1r_s) + 0.19r_s^2 \left\{ 1 - \frac{(v_{oc} + 0.7)}{v_{oc}} \frac{(v_{oc} - \ln(v_{oc} + 0.72)) (1 - 1.1r_s) + 0.19r_s^2}{r_p} \right\},$$

$$\left(0 \leq r_s + \frac{1}{r_p} \leq 0.4 \right)$$

[0067]

[0068] 수학적 식 1은 FF에 대한 기생 저항 효과를 설명하는 등가 회로에서 파생된 표현이다.

[0069] J-V 특성에서 상당히 높은 RP값(레퍼런스 장치의 $RP=3.3 \times 10^5 \Omega \cdot \text{cm}^2$ 및 제어 장치의 $RP=5.0 \times 10^5 \Omega \cdot \text{cm}^2$)이 추출되었고, 제어 장치의 경우, FF값의 성능 향상이 약 51%이상인 것을 알 수 있다.

[0070] 반면, 레퍼런스 장치와 제어 장치 각각 $3.2 \times 10^3 \Omega \cdot \text{cm}^2$ 및 $3.1 \times 10^3 \Omega \cdot \text{cm}^2$ 로 유사하고 낮은 r_s 값이 기록되었다.

[0071] 또한, 1000-lx 할로젠 조명 조건에서 V_{oc} 와 J_{sc} 를 기반으로 계산된 R_{ch} 값도 레퍼런스 장치와 제어 장치 각각 $2.4 \times 10^4 \Omega$ and $2.5 \times 10^4 \Omega$ 으로 비슷한 것으로 나타났다.

[0072] 상술한 바와 같이, 기생 저항값과 R_{ch} 값, 유사하고 작은 r_s 값에 기초하여 레퍼런스 장치와 제어 장치의 성능 차이는 R_p 값에 의존하는 것을 알 수 있다. 즉, FF는 R_p 에 크게 의존하는 것을 알 수 있다.

[0073] R_p 관련 FF 성능 향상을 더 확인하기 위해, 유효 전압(V_{eff})의 함수로 광 유도 전류 밀도(J_{light})를 평가하여 전하 수송 및 수집을 특성화하였다. 여기서, J_{light} 는 조명 조건과 어두운 상태에서 전류 밀도간의 차이를 나타내며, V_{eff} 는 $J_{ph}=0$ 에서 전압과 인가 전압 간의 차이를 나타낸다.

[0074] 도 7의 (a)는 1000-lx 헬로젠 조명에서 레퍼런스 장치와 제어 장치의 $J_{light}-V_{eff}$ 의존성을 도시한 도면이다. 본 발명의 일 실시예에 따른 실내 광 전지는 $V_{eff}=0.281\text{V}$ 에서 비교적 빠른 J_{light} 포화(saturation)을 나타내고, 레퍼

런스 장치는 $V_{eff}=0.413V$ 에서 상응하는 J_{light} 포화를 나타내는 것을 알 수 있다.

[0075] 레퍼런스 장치와 제어 장치의 V_{eff} 값의 차이는 본 발명의 일 실시예에 따른 PTQ10 전하 수송층을 가지는 실내 광 전지의 상대적으로 낮은 전기장 의존성을 반영한다. 따라서, 본 발명의 일 실시예에 따른 PTQ10 전하 수송층을 가지는 실내 광 전지가 더 낮은 트랩된 전하 밀도를 갖는 뛰어난 전하 수송 및 수집이 가능하며, 더 높은 FF값을 가지는 것을 알 수 있다.

[0076] J_{light} 포화는 주로 최대 여기 생성 속도(G_{max})에 의존하며, 이는 수학적 2와 같이 나타낼 수 있다.

수학적 2

$$G_{max} = \frac{J_{sat}}{qL}$$

[0077]

[0078] 수학적 2에서 J_{sat} 는 q , L , G_{max} 를 곱하여 획득되며, q 는 기본 전하수를 나타내고, L 은 광 활성층의 두

J_{sat} 를 기반으로 계산된 G_{max} 값은 종래의 실내 광 전지(즉, PTQ10 전하 수송층을 포함하지 않는)는 $2.88 \times 10^{28} \text{ m}^{-3} \text{ s}^{-1}$ 고, 본 발명의 일 실시예에 따른 PTQ10 전하 수송층을 가지는 실내 광 전지의 경우, $2.97 \times 10^{28} \text{ m}^{-3} \text{ s}^{-1}$ 이다. 유사한 G_{max} 값에도 불구하고 본 발명의 일 실시예에 따른 실내 광 전지의 향상된 FF값은 본 발명의 일 실시예에 따른 실내 광 전지에서 전하 재결합이 감소하면서 우수한 전하 전송 특성을 가지는 것을 의미한다.

[0079] 또한, 전하 역학은 EIS(electrochemical impedance spectroscopy)을 이용하여 분석하였다. 종래와 본 발명의 일 실시예에 따른 실내 광 전지의 EIS 측정은 1000-Hz 할로겐 조건 아래에서 0.6V에서 수행되었다. 도 7의 (b)는 종래 및 본 발명의 일 실시예에 따른 실내 광 전지의 Nyquist 플롯을 나타낸다. 플롯의 반원 지름에 따른 재결합 저항(R_{rec})은 종래와 본 발명의 일 실시예에 따른 실내 광 전지 각각 92.54kΩ 및 134.06kΩ인 것으로 나타났다. 본 발명의 일 실시예에 따른 실내 광 전지의 큰 R_{rec} 값은 억제된 전하 재결합 특성을 나타내며, 이는 큰 R_p 값과 일치한다.

[0080] 추가적으로, 공간 전하 제한 전류(SCLC: space-charge-limited current) 측정을 사용하여 정공 트랩 밀도에 관한 추가 정보를 획득했다. 이를 위해, ITO/poly(3,4-ethylenedioxythiophene): poly(styrene sulfonate)/PTQ10: Y6 또는 PTQ10: Y6/PTQ10/MoOX/Ag 구조의 전용 홀 소자를 제작했다.

[0081] 도 7의 (c)는 실내 광 전지의 J-V 곡선을 보여준다. 낮은 전압(즉, $0.1V < V < 1.5V$)에 해당하는 옴 전도는 두 장치에 대해 $m=1$ 로 관찰되었다. 중간 전압($1.5V < V < 3V$)에 상응하여 전류는 두 장치 모두 빠르게 증가하여 트랩 충전 발생이 나타난다. 에너지에 분포된 전하 트랩은 전기장을 점진적으로 증가시켜 채울 수 있다. 약 3Vdml 트랩이 채워진 한계 전압(V_{TFL})에서 전류는 트랩이 없는 Mott의 V^2 법칙을 따르며, 트랩 밀도는 수학적 3을 이용하여 추정될 수 있다.

수학식 3

$$V_{\text{TFL}} = \frac{eN_t d^2}{2\epsilon_r \epsilon_0}$$

[0082]

[0083] V_{TFL} 는 트랩이 채워진 한계 영역의 개시 전압을 나타내고, L 은 광 활성층의 두께를 나타내며, ϵ_r 는 비유전

율을 나타내고, ϵ_0 는 진공 유전율($8.854 \times 10^{-12} \text{ F} \cdot \text{m}^{-1}$)을 나타낸다.

[0084] 여기서, 광 활성층(PTQ10:Y6) 및 광 활성층/전하 수송층(PTQ10:Y6/PTQ10) 레이어 모두 $\epsilon_r = 4$ 인 것을 가정하기로 한다. PTQ10:Y6/PTQ10층이 있는 실내 광 전지에서 약간 더 작은 V_{TFL} 이 관찰되었으며, 이는 PTQ10 전하 수송층이 있는 실내 광 전지의 홀 트랩 밀도가 더 낮음을 의미한다.

[0085] 본 발명의 일 실시예에 따른 장치($4.26 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)의 계산된 홀 트랩 밀도는 레퍼런스 장치($6.69 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)보다 낮았으며, 이는 동종 접합 전하 수송층의 통합이 트랩 밀도를 감소시키는 것으로 나타났다.

[0086] FF에 대한 전하 수송층의 통합에 의해 유도된 형태학적 변화의 영향을 결정하기 위해 AFM 이미지에 대한 심층적인 분석을 수행하였다.

[0087] 상술한 바와 같이, PTQ10 전하 수송층의 도입은 PTQ10:Y6 광 활성층의 표면을 더욱 평탄화시켰다. 표면을 매끄럽게 하면 더 나은 전하 이동이 촉진된다. 이와 관련하여 PTQ10:Y6 광 활성층(RMS 거칠기=1.141nm)에 비해 PTQ10:Y6 광 활성층 /PTQ10 전하 수송층(RMS 거칠기=0.705nm)이 매끄러운 표면이 활성화된다. 더 효율적인 전하 수송은 더 높은 FF값으로 이어진다. 또한, PTQ10 전하 수송층을 추가한 경우 입자 수가 눈에 띄게 변화되었다. 도 8은 PTQ10:Y6 및 PTQ10:Y6/PTQ10 층의 해당 그레이 매핑과 유역 알고리즘을 사용하여 얻은 각 그레이 번호를 나타낸다. PTQ10:Y6 및 PTQ10:Y6/PTQ10 층은 각각 $160(25 \mu\text{m}^2)$ 및 $121(25 \mu\text{m}^2)$ 의 입자수를 나타냈다. 일반적으로 입자수가 클수록(즉, 입자 크기가 작음) 많은 수의 트랩 사이트 생성을 반영하는 입자 경계가 더 많이 존재함을 나타낸다. 이러한 사이트는 전하 수송을 방해하고 전하 재결합 센터를 생성하여 FF를 크게 저하시킨다. 따라서, 종래의 PTQ10:Y6 광 활성층만 포함하는 실내 광 전지의 FF 감소는 부분적으로 입자 수의 증가에 기인할 수 있다.

[0088] 또한, PTQ10 전하 수송층을 가지는 실내 광 전지의 증가된 V_{oc} 값은 PTQ10 전하 수송층의 균질성으로 인해 준 페르미 준위의 더 높은 분할 정도에 어느 정도 기인할 수 있다. 광 활성층의 양쪽에 있는 전하 수집 중간층의 WF간의 차이가 충분히 클 때 V_{oc} 는 도너의 이온화 포텐셜과 억셉터의 전자 친화도 사이의 에너지 갭에 의해 제한된다. PTQ10 전하 수송층은 광 활성층의 도너 측에서 최대화된 준-페르미 준위를 생성하는 도너 우세 영역을 나타냈다. 이중 접합에서 상대 물질의 존재와 관련된 잠재적 손실이 동질접합 전하 수송층을 통합하여 복구될 수 있다.

[0089] V_{oc} 진화에 대한 전하 재결합 억제 효과에 대해 분석하기로 한다.

수학식 4

$$V_{OC} = \frac{kT}{q} \ln \left\{ 1 + \frac{J_{ph}}{J_0} \left(1 - \frac{V_{OC}}{J_{ph} R_{PA}} \right) \right\} \approx \frac{kT}{q} \ln \left\{ 1 + \frac{J_{ph}}{J_0} \right\}$$

[0090]

[0091] 수학식 4는 단지 이분자(bimolecular) 재조합만 고려할 때 실내 광 전지의 V_{OC} 를 나타낸다.

수학식 5

$$V_{OC} = \frac{E_{gqp}}{q} - \frac{kT}{q} \ln \left\{ \frac{(1 - P_D) \gamma N_C^2}{P_D G} \right\}$$

[0092]

[0093] 수학식 5는 조명에 정비례하는 하나의 매개변수 C 만을 포함하는 V_{OC} 를 나타낸다. V_{OC} 와 $\ln(I_{light})$ 사이의 비율은 추가적인 표면 재결합의 기여에 대한 분석을 제공한다. 일반적으로, 실내 광전지에서 이분자 재조합이 주요 손실 매커니즘일 때, $\ln(I_{light})$ 에 대한 V_{OC} 의존성 곡선의 기울기는 1이다. 1보다 높은 기울기는 트랩 보조 재조합과 이분자 재조합 간의 경쟁을 반영한다. 이 경우 V_{OC} 는 주로 조명 강도에 따라 달라질 수 있다. 도 7의 (d)는 실내 조명 조건에서 종래와 본 발명의 일 실시예에 따른 실내 광 전지의 $\ln(I_{light})$ 에 대한 V_{OC} 의존성에 대한 기울기 값을 도시하고 있다.

[0094] 본 발명의 일 실시예에 따른 실내 광전지의 기울기(1.063)가 레퍼런스 장치(1.354)보다 1에 가까운 것을 알 수 있다. 수학식 4에 따르면, PTQ10 전하 수송층을 가진 실내 광전지가 낮은 트랩 보조 재조합 손실이 낮고 잠재적 손실은 미미한 것을 알 수 있다. 이는 PTQ10 전하 수송층에 의한 R_p 증가와 일치하는 것으로 PTQ10 전하 수송층을 가지는 실내 광 전지의 성능 향상에 PTQ10 전하 수송층이 직접적인 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 1000-lx 할로겐 조명아래에서 J_{sc} 값은 기생 저항의 변화에 의해 크게 영향을 받지 않으며, J_{sc} 를 결정하는데 광 흡수력이 더 중요했다.

수학식 6

$$J_{sc} = - \frac{1}{1 + \frac{R_S}{R_P}} \left[J_{ph} - J_0 \left\{ \exp \left(\frac{|J_{sc}| R_S A}{\frac{nkT}{e}} \right) - 1 \right\} \right]$$

[0095]

[0096] 수학식 6에서 첫번째 항($\frac{1}{1 + \frac{R_S}{R_P}}$)은 부분적으로 R_{PA} 대 R_{SA} 의 비율에 의해 결정될 수 있다. 수학식 6에 기초하여, 1000-lx 할로겐 조명 조건에서 종래와 본 발명의 일 실시예에 따른 실내 광 전지 모두 R_{SA} 값(레

퍼런스 장치= $144.9 \Omega \cdot \text{cm}^2$, 제어 장치 = $139.5 \Omega \cdot \text{cm}^2$)이 적당히 작고 $R_{\text{P}}A$ 값(레퍼런스 장치 = $1.5 \times \times$

$104 \Omega \cdot \text{cm}^2$, 제어 장치 = $2.3 \times \times 104 \Omega \cdot \text{cm}^2$)이 크기 때문에 $R_{\text{S}}/R_{\text{P}}$ 값(종래 장치=0.009, 제어 장치 =0.006)이 비슷하다는 결론을 내릴 수 있다. 따라서, 기생 저항에 대한 J_{SC} 의 의존성은 예상되지 않는다. 광 흡수를 추정하기 위해 FDTD(Finite-Difference Time-Domain) 시뮬레이션을 수행했다. 광 활성층의 복소굴절률은 도 9를 참조하기로 한다. 도 10 및 표 2는 FDTD 시뮬레이션을 통해 얻은 레퍼런스 및 제어 장치의 전력 흡수율을 나타낸다.

[0097] [표 2]

$J_{\text{ph, Ideal}}$		
Sample name	HL 500lx ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)	HL 1000lx ($\mu\text{A}/\text{cm}^2$)
Reference device	659.114	973.944
Control device	647.352	956.809

[0098]

[0099] 3D 이미지 매핑은 통합된 전력 흡수 비율의 정규화된 값을 나타낸다. 시뮬레이션된 J_{SC} 값은 PTQ10 전하 흡수층을 추가한 후 눈에 띄는 변화를 나타내지 않았으며, 측정된 J_{SC} 값과 일치하는 것을 알 수 있다. 측정된 J_{SC} 값과 시뮬레이션된 J_{SC} 값 사이의 불일치는 FDTD 시뮬레이션에 기인할 수 있다. 여기서 광학 속성만 고려하였으며, 전기 저항은 제외하였다.

[0100] 레퍼런스 및 제어 장치는 서로 다른 1000-lx LED 램프와 1000-lx FL에서 유사한 성능 진화 경향을 보이는 것을 알 수 있다. 비교 가능한 J_{SC} 값과 결합된 FF 및 V_{OC} 의 증가는 레퍼런스 장치에 비해 제어 장치의 성능 향상으로 이어졌다. 그 결과 제어 장치의 PCE 값은 LED 및 FL 조건에서 각각 최대 $26.4 \pm 0.1\%$ 및 $23.9 \pm 0.6\%$ 증가했다. 광전지 매개변수에 대한 상세한 내용은 도 11 및 표 3에 도시되어 있다.

[0101] [표 3]

Light source	Structure	V_{oc} (mV)	J_{sc} ($\mu A/cm^2$)	FF (%)	PCE (%)
LED 1000 lx (0.23mW/cm ²)	Reference	675 ± 2	123.4 ± 0.1	68.3 ± 0.3	23.7 ± 0.1
	device				
	Control device	698 ± 2	119.5 ± 0.3	72.8 ± 0.1	26.4 ± 0.1
FL 1000 lx (0.27mW/cm ²)	Reference	680 ± 2	124.2 ± 2.0	67.5 ± 0.4	21.1 ± 0.4
	device				
	Control device	703 ± 2	126.0 ± 3.1	72.9 ± 0.3	23.9 ± 0.6

[0102]

[0103] 레퍼런스 장치와 제어 장치간의 주변 안정성의 비교 결과는 도 12에 도시되어 있다. 제어 장치에서 약간 더 나은 안정성이 관찰되는 것을 알 수 있다. 레퍼런스 장치와 제어 장치 모두 300 시간 이상 주변 공기에 노출되었을 때 심각한 성능 저하는 나타나지 않았다.

[0104] 적층 기술의 보편적인 적용 가능성을 위해 또 다른 폴리머 공여체(fluorobenzotriazole(FTAZ))를 적용한 결과가 도 13 및 표 4에 도시되어 있다.

[0105] [표 4]

Light source	V_{oc} (mV)	J_{sc}	FF (%)	PCE (%)
		(AM1.5G: mA/cm ²) (Indoor: μ A/cm ²)		
AM1.5G (100 mW/cm ²)	833 $\pm$ 2	27.1 $\pm$ 0.1	66.6 $\pm$ 0.2	15.0 $\pm$ 0.1
LED 1000 lx (0.23 mW/cm ²)	688 $\pm$ 4	120.7 $\pm$ 4.3	69.0 $\pm$ 0.8	24.9 $\pm$ 0.3
FL 1000 lx (0.27 mW/cm ²)	692 $\pm$ 2	125.4 $\pm$ 2.2	68.5 $\pm$ 0.9	22.0 $\pm$ 0.2
HL 1000 lx (7.0 mW/cm ²)	756 $\pm$ 3	650.5 $\pm$ 15.4	67.6 $\pm$ 0.1	4.7 $\pm$ 0.1

[0106]

[0107] PTQ10 전하 수송층을 동질접합 전사 기법을 이용하여 적층한 것과 마찬가지로, fluorobenzotriazole(FTAZ)를 동질접합 전사 기법으로 적용한 경우에도 PTQ10 전하 수송층과 마찬가지로 광전지 성능에서 상당한 개선을 보여주는 것을 알 수 있다.

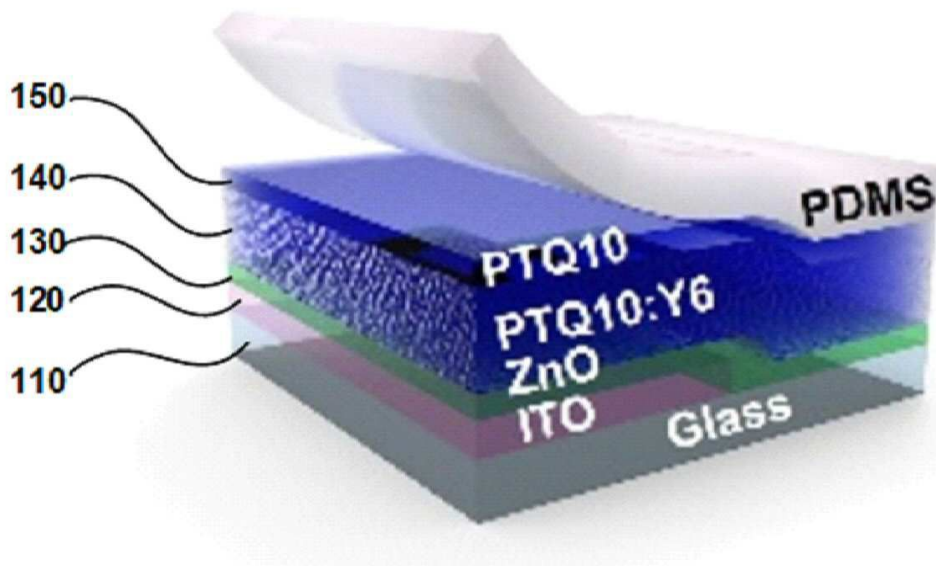
[0109] 이제까지 본 발명에 대하여 그 실시 예들을 중심으로 살펴보았다. 본 발명이 속하는 기술 분야에서 통상의 지식을 가진 자는 본 발명이 본 발명의 본질적인 특성에서 벗어나지 않는 범위에서 변형된 형태로 구현될 수 있음을 이해할 수 있을 것이다. 그러므로 개시된 실시 예들은 한정적인 관점이 아니라 설명적인 관점에서 고려되어야 한다. 본 발명의 범위는 전술한 설명이 아니라 특허청구범위에 나타나 있으며, 그와 동등한 범위 내에 있는 모든 차이점은 본 발명에 포함된 것으로 해석되어야 할 것이다.

부호의 설명

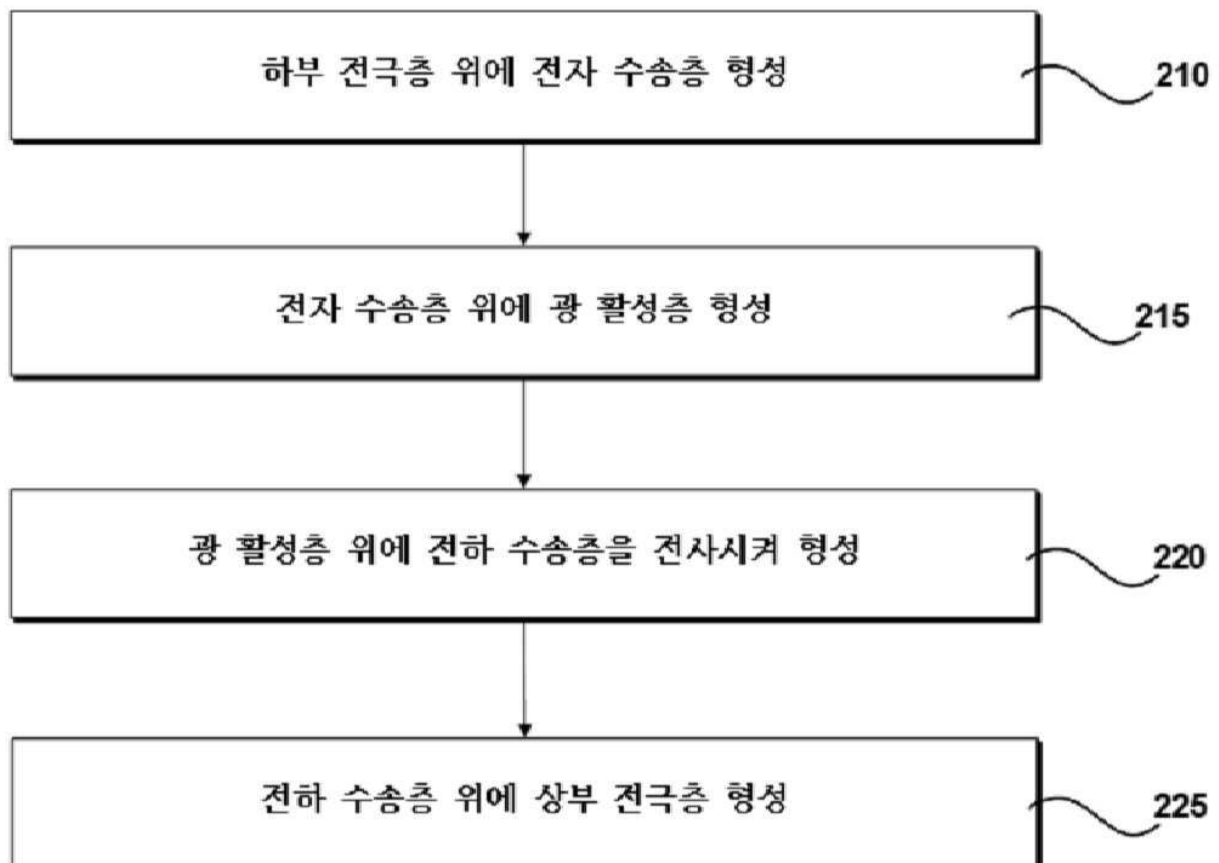
- [0111]
- 100: 실내 광 전지
 - 110: 기판
 - 120: 하부 전극
 - 130: 전자 수송층
 - 140: 광 활성층
 - 150: 전하 수송층

도면

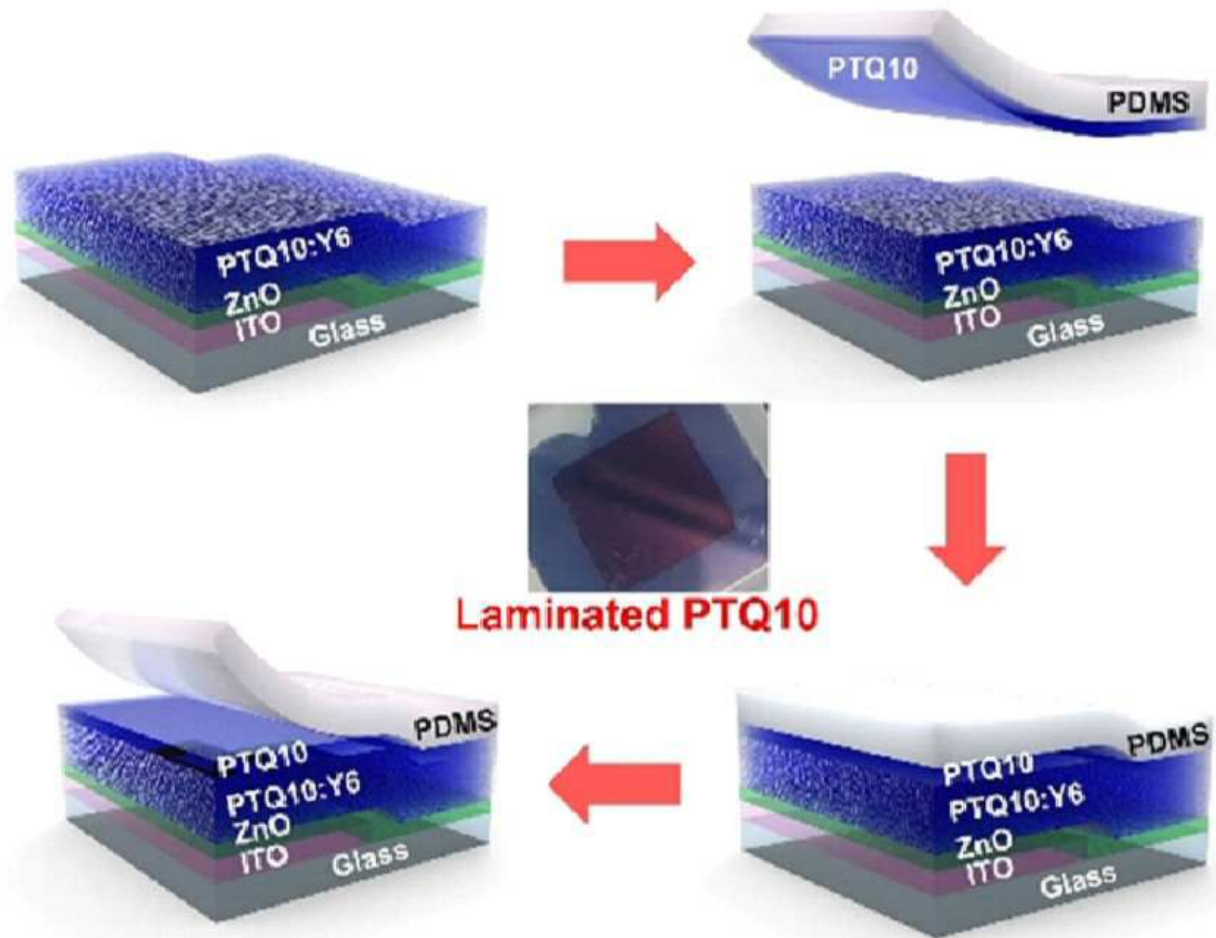
도면1



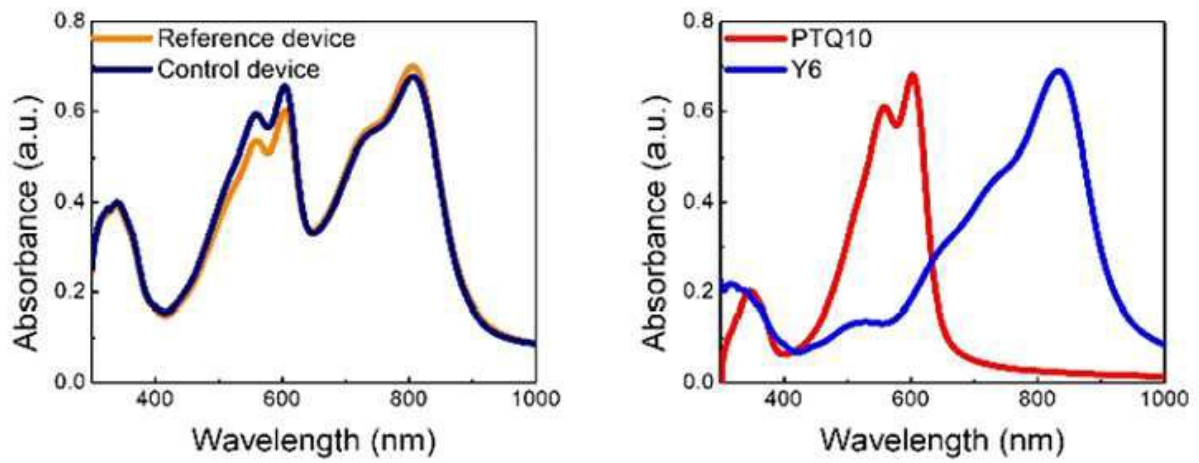
도면2a



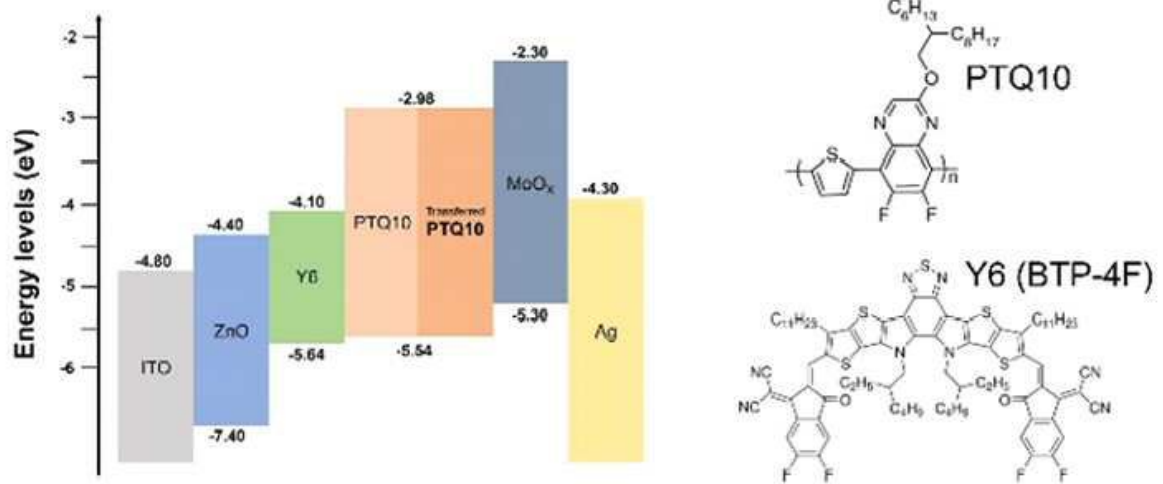
도면2b



도면3



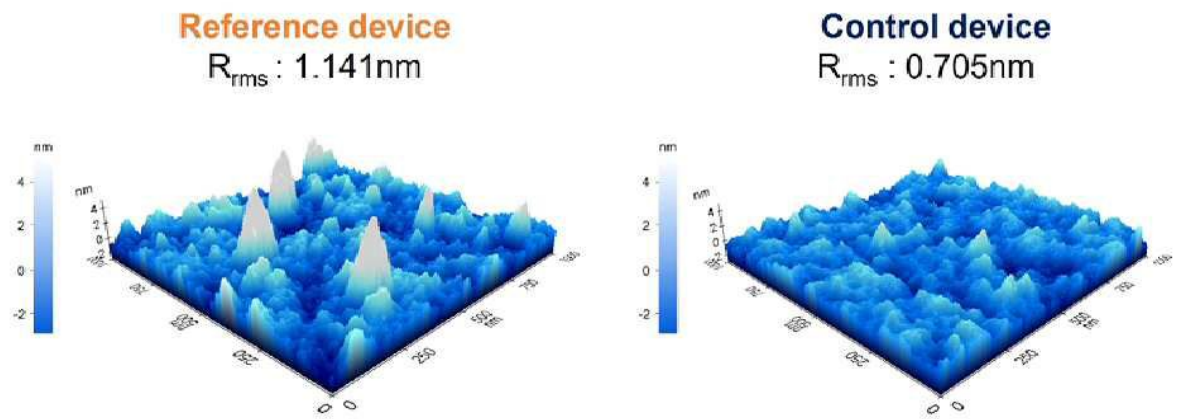
(a)



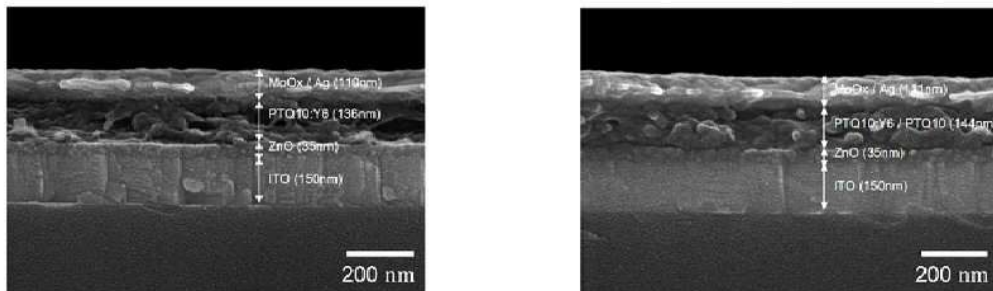
(b)

도면4

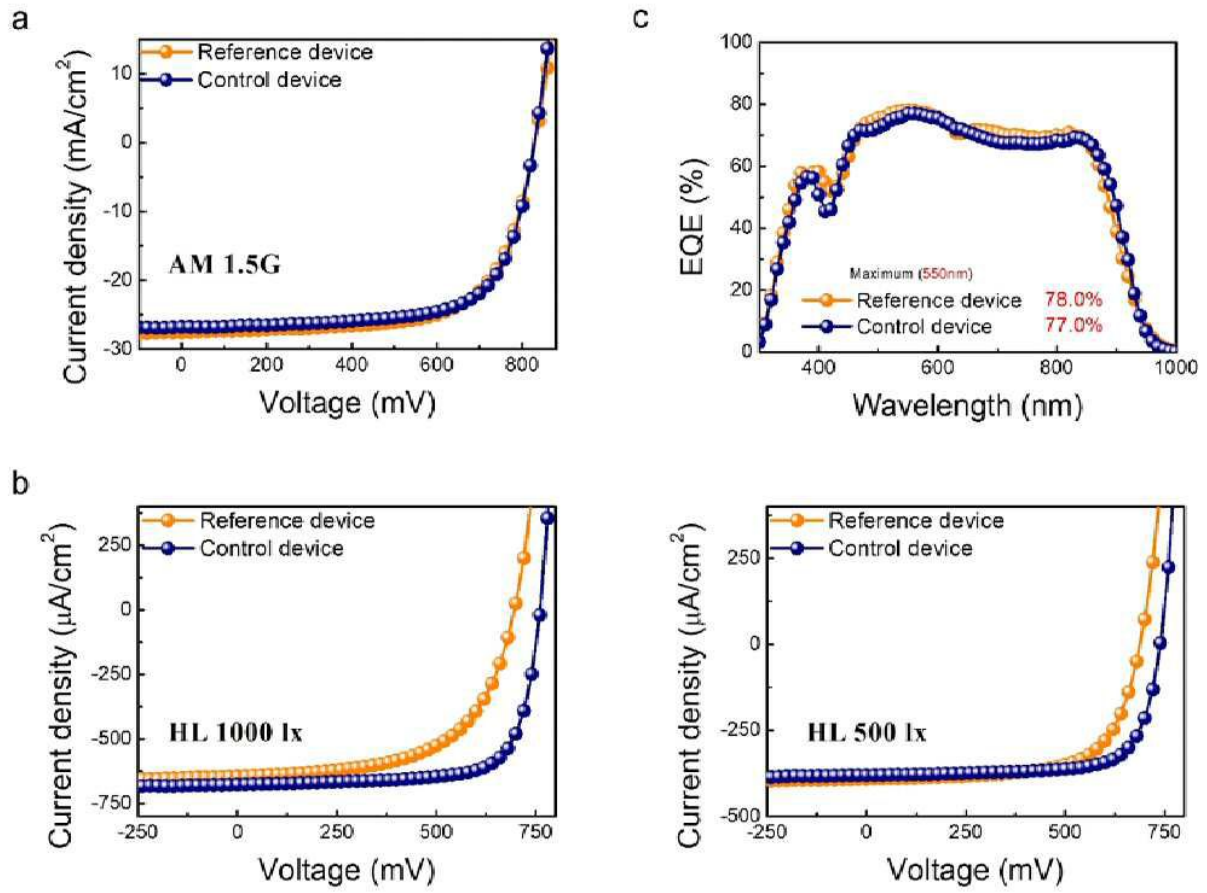
a



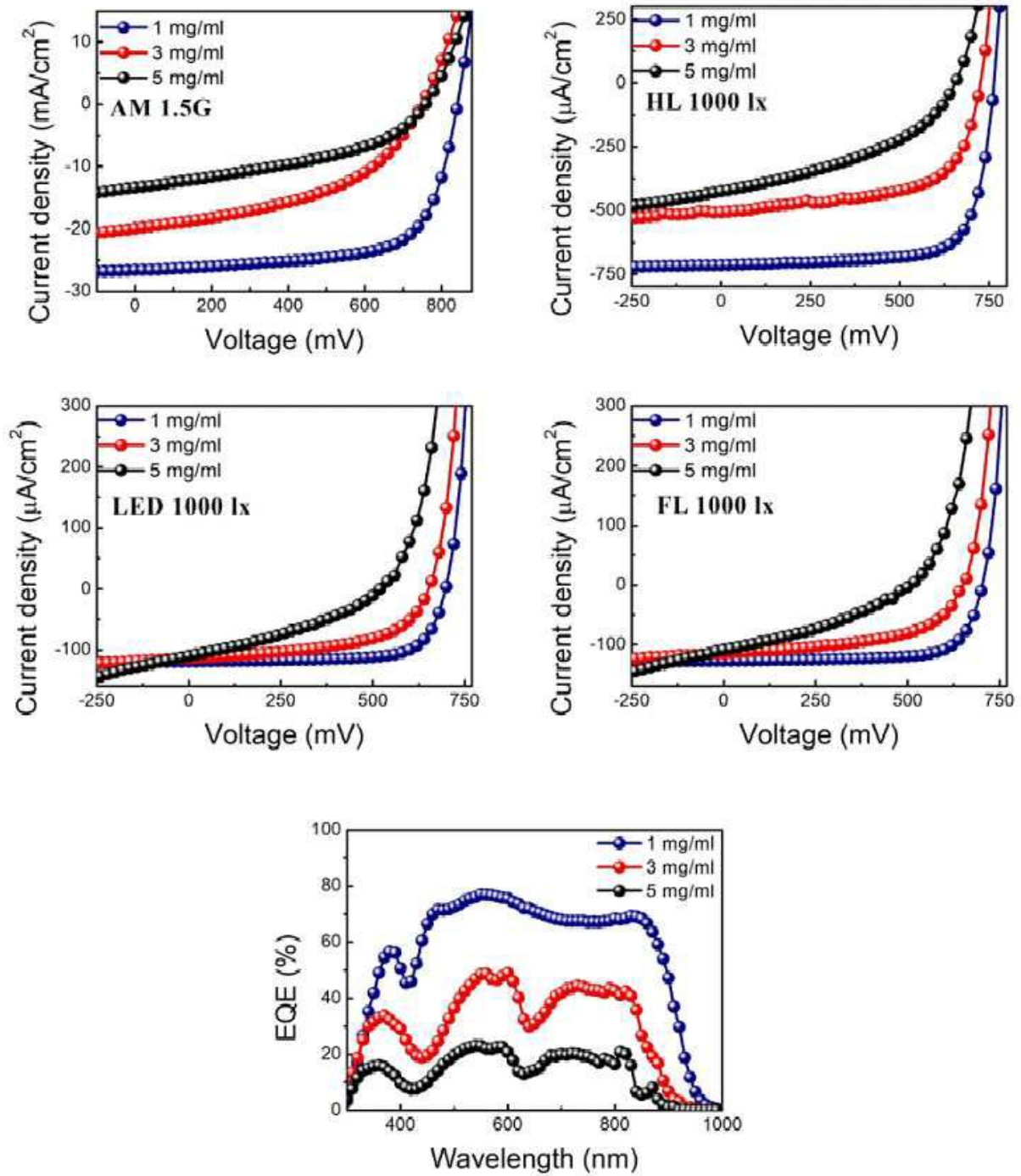
b



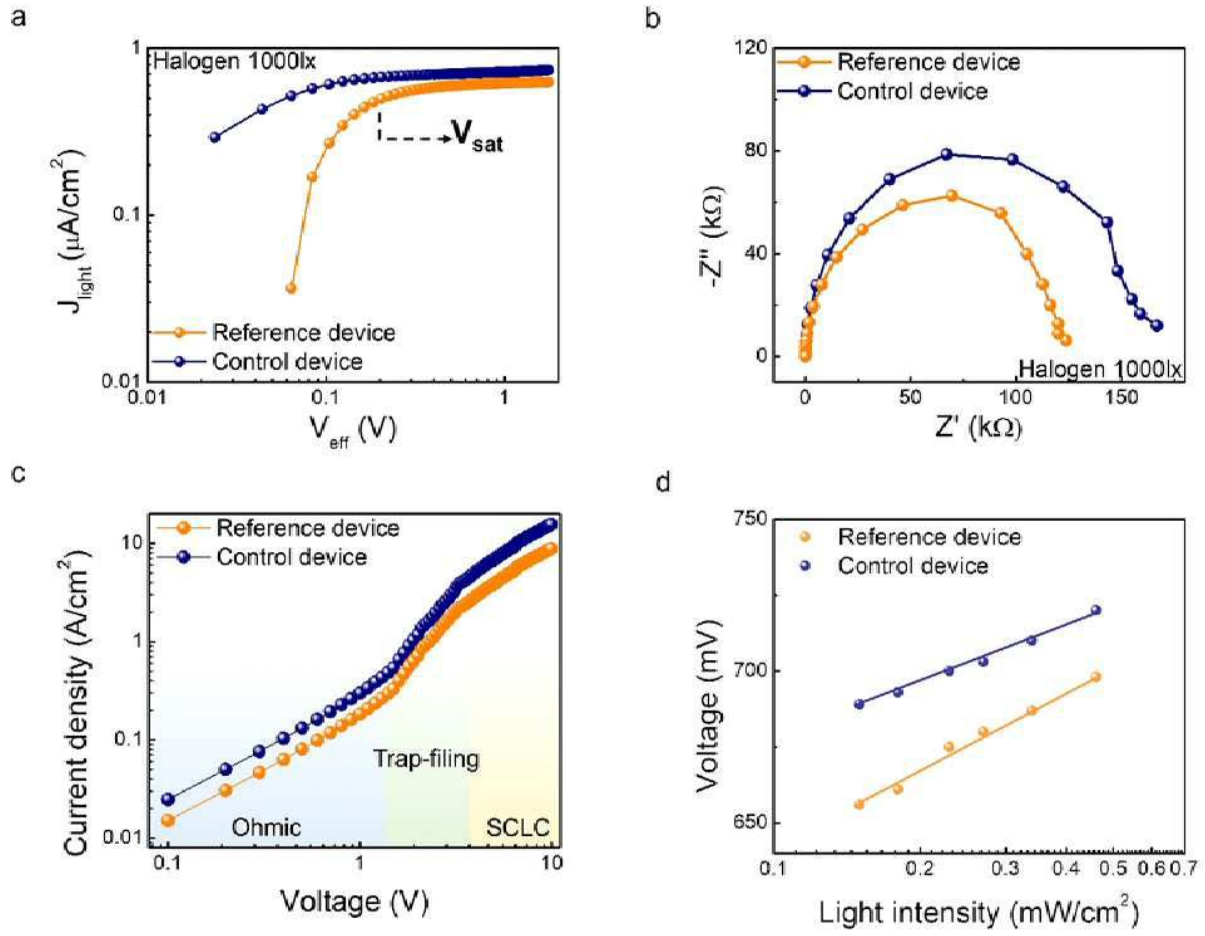
도면5



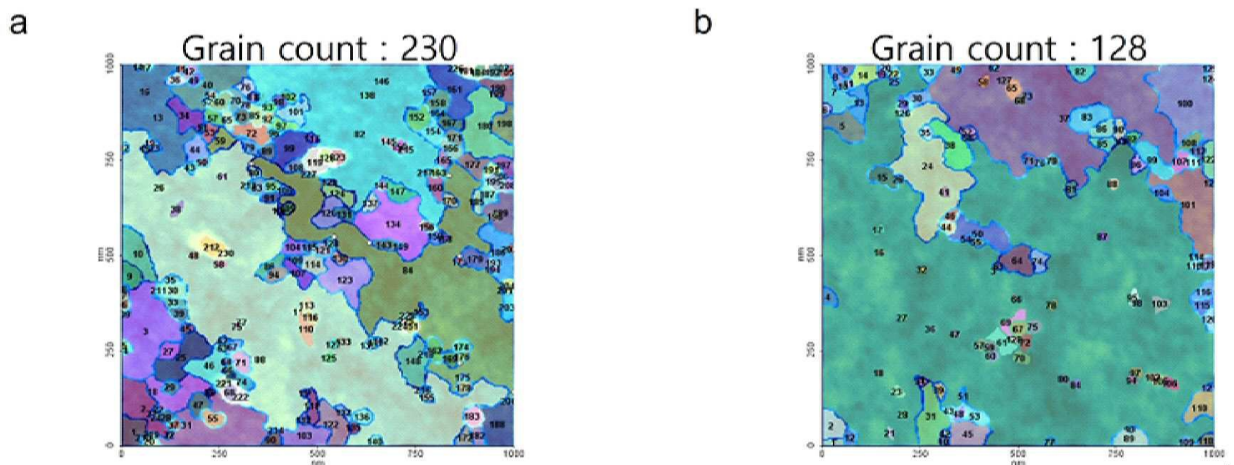
도면6



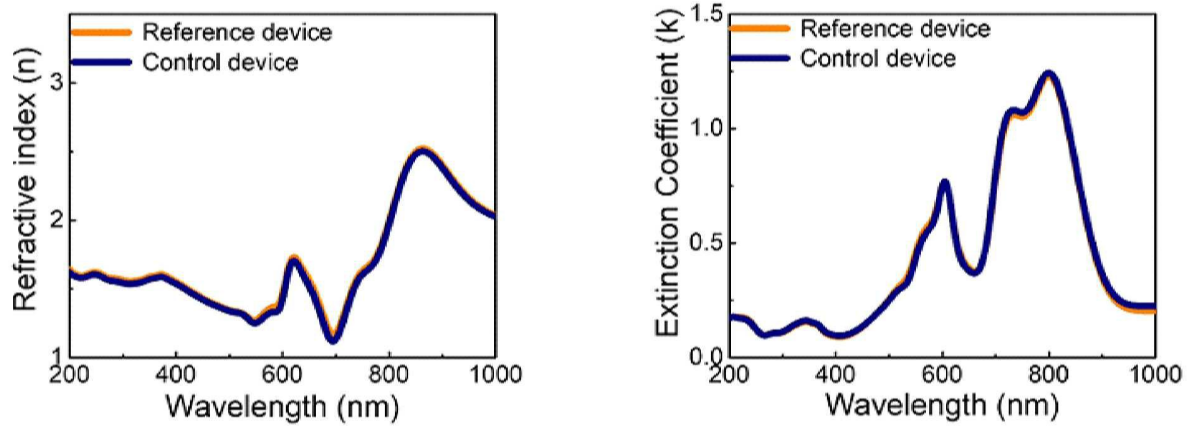
도면7



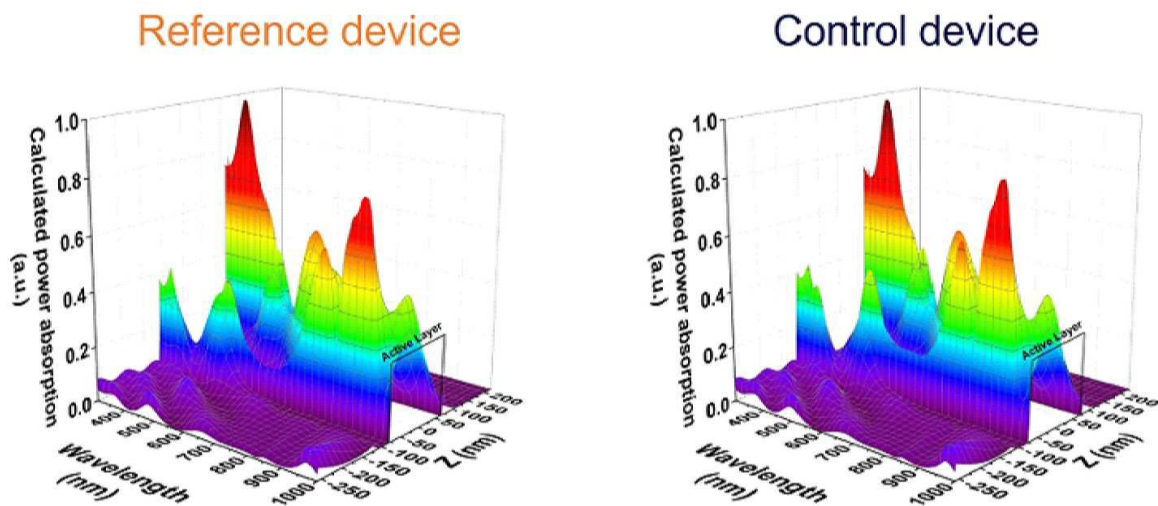
도면8



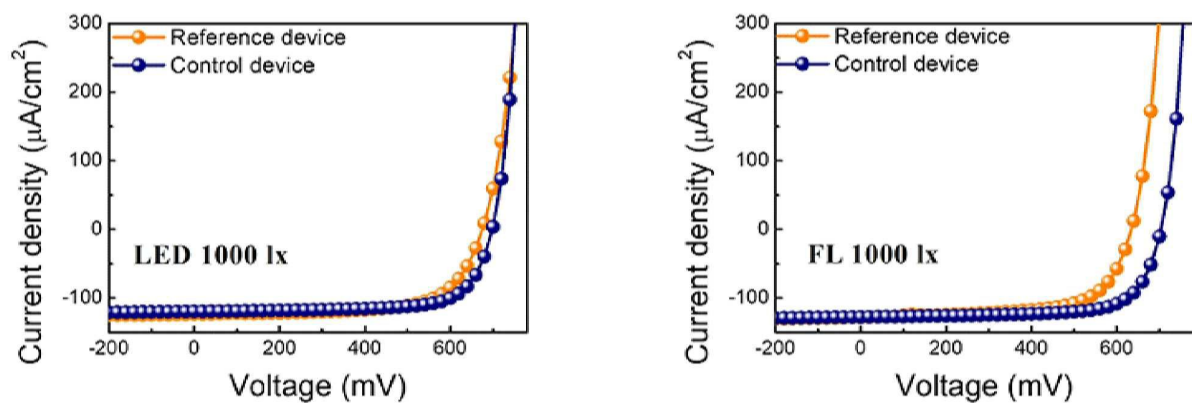
도면9



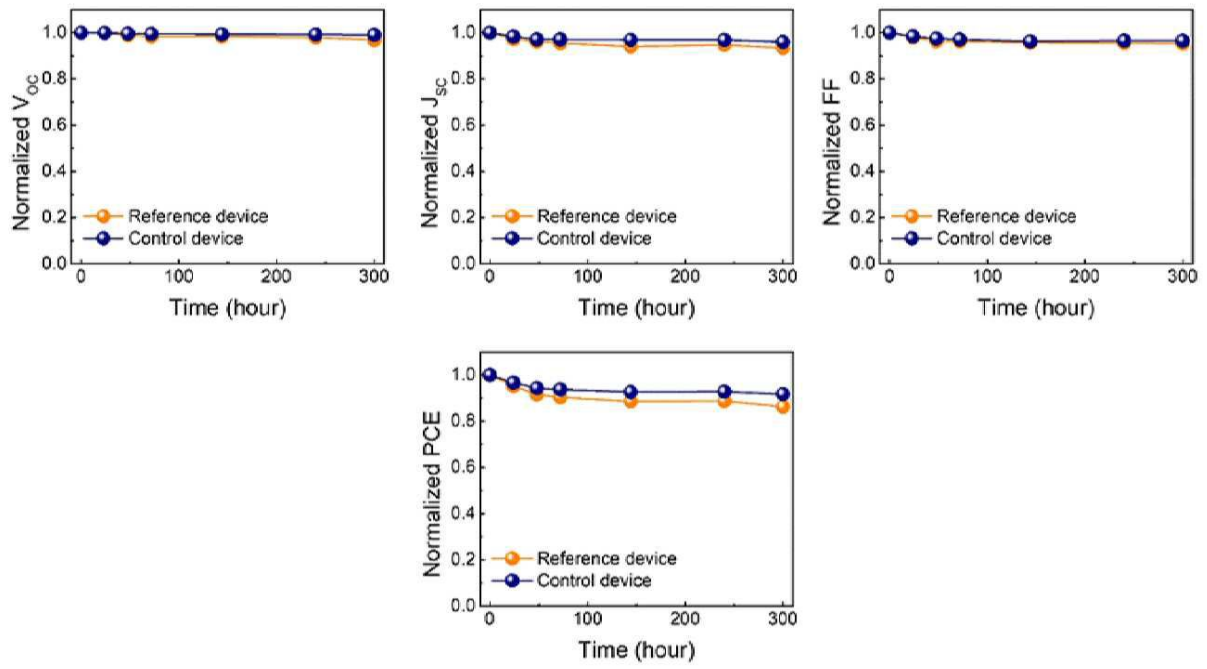
도면10



도면11



도면12



도면13

