관 인 생 략

출 원 번 호 통 지 서

출 원 일 자	2020.07.01
특 기 사 항	심사청구(유) 공개신청(무) 참조번호(2020I150)
출 원 번 호	10-2020-0081054 (접수번호 1-1-2020-0684569-93)
출원인 명칭	건국대학교 산학협력단(2-2004-015764-8)
대 리 인 성 명	특허법인 다나(9-2008-100121-8)
발 명 자 성 명	문두경 한용운 이형석
발 명 의 명 칭	광 파장 변환층을 포함하는 태양전지

특 허 청 장

<< 안내 >>

1. 귀하의 출원은 위와 같이 정상적으로 접수되었으며, 이후의 심사 진행상황은 출원번호를 통해 확인하실 수 있습니다.

2. 출원에 따른 수수료는 접수일로부터 다음날까지 동봉된 납입영수증에 성명, 납부자번호 등을 기재하여 가까운 우체국 또는 은행에 납부하여야 합니다.
※ 납부자번호 : 0131(기관코드) + 접수번호

3. 귀하의 주소, 연락처 등의 변경사항이 있을 경우, 즉시 [특허고객번호 정보변경(경정), 정정신고서]를 제출하여야 출원 이후의 각종 통지서를 정상적으로 받을 수 있습니다.
※ 특허로(patent.go.kr) 접속 > 민원서식다운로드 > 특허법 시행규칙 별지 제5호 서식

4. 특허(실용신안등록)출원은 명세서 또는 도면의 보정이 필요한 경우, 등록결정 이전 또는 의견서 제출기간 이내에 출원서에 최초로 첨부된 명세서 또는 도면에 기재된 사항의 범위 안에서 보정할 수 있습니다.

5. 외국으로 출원하고자 하는 경우 PCT 제도(특허·실용신안)나 마드리드 제도(상표)를 이용할 수 있습니다. 국내출원일을 외국에서 인정받고자 하는 경우에는 국내출원일로부터 일정한 기간 내에 외국에 출원하여야 우선권을 인정받을 수 있습니다.
※ 제도 안내 : http://www.kipo.go.kr-특허마당-PCT/마드리드
※ 우선권 인정기간 : 특허·실용신안은 12개월, 상표·디자인은 6개월 이내
※ 미국특허상표청의 선출원을 기초로 우리나라에 우선권주장출원 시, 선출원이 미공개상태이면, 우선일로부터 16개월 이내에 미국특허상표청에 [전자적교환허가서(PTO/SB/39)를 제출하거나 우리나라에 우선권 증명서류를 제출하여야 합니다.

6. 본 출원사실을 외부에 표시하고자 하는 경우에는 아래와 같이 하여야 하며, 이를 위반할 경우 관련법령에 따라 처벌을 받을 수 있습니다.
※ 특허출원 10-2010-0000000, 상표등록출원 40-2010-0000000

7. 종업원이 직무수행과정에서 개발한 발명을 사용자(기업)가 명확하게 승계하지 않은 경우, 특허법 제62조에 따라 심사단계에서 특허거절결정되거나 특허법 제133조에 따라 등록이후에 특허무효사유가 될 수 있습니다.

8.기타 심사 절차에 관한 사항은 동봉된 안내서를 참조하시기 바랍니다.

【서지사항】

【서류명】 특허출원서

【참조번호】 20201150

【출원구분】 특허출원

【출원인】

【명칭】 건국대학교 산학협력단

【특허고객번호】 2-2004-015764-8

【대리인】

【명칭】 특허법인 다나

【대리인번호】 9-2008-100121-8

【지정된변리사】 진희동

【포괄위임등록번호】 2016-005053-2

【발명의 국문명칭】 광 파장 변환층을 포함하는 태양전지

【발명의 영문명칭】 A solar cell comprising light wavelength conversion layer

【발명자】

【성명】 문두경

【성명의 영문표기】 MOON, Doo Kyung

【주민등록번호】 600528-1XXXXXX

【우편번호】 06670

【주소】 서울특별시 서초구 효령로49길 57, 203동 802호

【발명자】

【성명】 한용운

【성명의 영문표기】 HAN, Yong Woon

【주민등록번호】 880825-1XXXXXX

【우편번호】 12936

【주소】 경기도 하남시 하남대로 856, 108동 502호(덕풍동, 하남더샵센트럴뷰)

【발명자】

【성명】 이형석

【성명의 영문표기】 LEE, Hyoung Seok

【주민등록번호】 930505-1XXXXXX

【우편번호】 24502

【주소】 강원도 양구군 방산면 장거리길 21 102호(면장관사)

【출원언어】 국어

【심사청구】 청구

【공지예외적용대상증명서류의 내용】

【공개형태】 학회발표

【공개일자】 2019.11.01

【이 발명을 지원한 국가연구개발사업】

【과제고유번호】 1415167163

【과제번호】 20182010010636A

【부처명】 산업통상자원부

【과제관리(전문)기관명】 한국에너지기술평가원

【연구사업명】 에너지기술개발사업

【연구과제명】 스마트 센서의 독립전원을 위한 에너지 하베스팅 소재 및 모듈 개발

【기여율】 1/2

【과제수행기관명】 건국대학교 산학협력단

【연구기간】 2020.01.01 ~ 2020.12.31

【이 발명을 지원한 국가연구개발사업】

【과제고유번호】 1415167898

【과제번호】 20194010201790

【부처명】 산업통상자원부

【과제관리(전문)기관명】 한국에너지기술평가원

【연구사업명】 에너지인력양성사업

【연구과제명】 수요관리를 위한 스마트센서 기반 에너지 하베스팅 인력 양성 사업 고급 트랙

【기여율】 1/2

【과제수행기관명】 건국대학교 산학협력단

【연구기간】 2020.01.01 ~ 2020.12.31

【취지】 위와 같이 특허청장에게 제출합니다.

대리인 특허법인 다나 (서명 또는 인)

【수수료】

【출원료】 0 면 46,000 원

【가산출원료】	93 면	0	원
【우선권주장료】	0 건	0	원
【심사청구료】	19 항	979,000	원
【합계】	1,025,000원		
【감면사유】	전담조직(50%감면)[1]		
【감면후 수수료】	512,500 원		
【첨부서류】	1.공지예외적용대상(신규성상실의예외, 출원시의특례)규정을 적용받기 위한 증명서류_1통		

1 : 공지예외적용대상(신규성상실의예외,_출원시의특례)규정을_적용받기_위한_증명서류

PDF 파일 첨부

【발명의 설명】

【발명의 명칭】

광 파장 변환층을 포함하는 태양전지{A solar cell comprising light wavelength conversion layer}

【기술분야】

【0001】 본 발명은 광 파장 변환층을 포함하는 태양전지에 관한 것으로서, 더욱 상세하게는 입사된 광의 파장을 변화시키는 광 파장 변환층을 도입하여 실외는 물론 실내에서도 우수한 성능을 발휘하는 태양전지에 관한 것이다.

【발명의 배경이 되는 기술】

【0003】 태양전지는 빛 에너지를 전기 에너지로 전환시키는 장치이다. 태양전지에 포함되는 광활성층은 유기 반도체 및 무기 반도체를 모두 사용하는 특징을 가지고 있다. 상기 유기 반도체 및 무기 반도체는 용액 공정이 가능하므로, 간단한 방법을 통해 유기 태양전지를 제작할 수 있고, 이는 플렉서블(flexible) 유기 전자소자 분야에서도 적용이 가능하여 차세대 전력원으로 각광받고 있다.

【0004】 태양전지의 구조는 일반적으로 광활성층, 전하수송층 및 전극을 포함한다. 상기 광활성층은 광전특성을 가져 빛 에너지를 전기 에너지로 변환시킨다. 상기 전하수송층은 상기 광활성층에서 생성된 전하를 전극으로 이동시킨다. 상기 전극은 상기 이동된 전하를 수용하여 외부 회로로 이동시킨다. 특히, 상기 전하수

송층은 광활성층에서 생성된 전하를 전극으로 추출 및 이동시키는 역할을 하므로 태양전지의 효율 향상을 위해 필수적으로 도입되고 있다.

【0005】 전하수송층은 전자를 음극으로 추출 또는 이동시키는 전자수송층과 정공을 양극으로 추출 또는 이동시키는 정공수송층을 포함한다. 상기 전자수송층은 일반적으로 열증착 과정을 통해서 막의 형성이 가능한 이온 결합성 금속, 예를들면 플루오르화바륨(BaF_2), 플루오르화리튬(LiF) 등이 주로 사용되고 있으며, 졸-겔 공정을 통해서 막의 형성이 가능한 산화아연(ZnO) 및 이산화티타늄 (TiO_2)이 용액 공정으로 도입되고 있다. 상기 정공수송층은 일반적으로 열증착 과정을 통해서 막의 형성이 가능한 전이금속, 예를 들면 산화 몰리브덴(MoO_3), 오산화바나듐(V_2O_5), 산화텅스텐 (WO_3) 등이 주로 사용되고 있으며, 용액 공정을 통해서 막의 형성이 가능한 PEDOT:PSS(poly(3,4-ethylenedioxythiophene) polystyrene sulfonate) 고분자가 주로 사용되고 있다.

【0006】 전하수송층을 도입한 태양전지는 사용되는 소재의 광학적 특성을 조절하기 용이하고, 백열등, 형광등, LED(light emitting diode) 등 다양한 광원에서 발전이 가능하다. 특히, 전하수송층을 도입한 태양전지는 실외는 물론 실내에서도 발전이 가능하므로, 스마트 팩토리, 사물 인터넷 센서 등 제4차 산업혁명에 맞춰 실내 발전용으로 적용 분야가 더욱 확장되고 있다. 다만, 전하수송층을 도입한 태양전지에서 기존에 사용되던 소재는 광학적 한계에 적합한 흡광특성을 통해 광전변환 특성을 보였으나 광의 입사각도가 달라지거나 광량이 줄어든 환경에서는 최대 광전변환 특성을 보이지 못하였다. 따라서 실외는 물론 실내 환경에서도 활용이 가

능한 고출력의 태양전지를 제작하기 위하여 광효율이 극대화 될 수 있는 전략이 필요하다.

【0007】 이에 대해서는, 대한민국 특허등록번호 제10-2029229호를 참조하면 양자점 복합체 함유 용액을 태양광 모듈에서 태양광선이 입사하는 표면 상에 코팅하여, 신뢰성과 광안정성을 향상시킨 태양광 모듈을 개시하고 있다.

【발명의 내용】

【해결하고자 하는 과제】

【0009】 본 발명자들은 상기된 문제점을 해결하고자, 무기 반도체 화합물을 도입하여 광 파장 변환층을 형성하였다.

【0010】 본 발명은 상기 광 파장 변환층을 통해 입사광의 변화에 따라 출력 변화가 적고 광 효율이 우수한 태양전지를 제공하는 데에 목적이 있다.

【0011】 또한, 본 발명은 상기 광 파장 변환층을 통해 실외는 물론 실내 환경에서도 고효율 발전이 가능한 태양전지를 제공하는 데에 목적이 있다.

【0012】 또한, 본 발명은 상기 광 파장 변환층을 통해 광전 변환 효율(Power conversion efficiency, PCE)을 향상시킨 태양전지를 제공하는데에 목적이 있다.

【0013】 본 발명이 해결하고자 하는 과제가 상술한 과제로 제한되는 것은 아니며, 언급되지 아니한 과제들은 본 명세서로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

【과제의 해결 수단】

【0015】 본 발명에 따른 태양전지는 순차 적층된 수광전극 및 광활성층을 포함하고, 상기 수광전극과 광활성층 사이에 광 파장 변환층을 포함하며, 상기 광 파장 변환층은 무기 반도체 화합물을 포함하고, 상기 무기 반도체 화합물은 제1 파장의 광을 제2 파장의 광으로 변환하며, 상기 제1 파장의 광은 250 nm 이상 450 nm 미만에 피크를 가지는 파장의 광이고, 상기 제2 파장의 광은 550 nm 이상 850 nm 미만에 피크를 가지는 파장의 광일 수 있다.

【0016】 본 발명에 따른 태양전지는 순차 적층된 수광전극 및 광활성층을 포함하고, 상기 수광전극과 광활성층 사이에 광 파장 변환층을 포함하며, 상기 광 파장 변환층은 무기 반도체 화합물을 포함하고, 상기 무기 반도체 화합물은 Ⅳ족 원소, Ⅱ-Ⅵ족 반도체 화합물, Ⅲ-Ⅴ족 반도체 화합물 및 Ⅳ-Ⅳ족 반도체 화합물로 이루어진 군으로부터 선택된 1종 이상일 수 있다.

【발명의 효과】

【0018】 본 발명에 따른 태양전지는 광 파장 변환층을 통해 태양전지로 입사되는 광의 파장을 변화시켜 입사되는 광의 변화(실외광 및 실내광)에도 출력의 변화가 적고 광 효율이 우수하다.

【0019】또한, 본 발명에 따른 태양전지는 실외는 물론 실내 환경에서도 고효율 발전이 가능하다.

【0020】또한, 본 발명에 따른 태양전지는 광 파장 변환층을 통해 광전 변환 효율(PCE)을 향상시킬 수 있다.

【0021】본 발명의 효과가 상술한 효과들로 제한되는 것은 아니며, 언급되지 아니한 효과들은 본 명세서로부터 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자에게 명확히 이해될 수 있을 것이다.

【도면의 간단한 설명】

【0023】도 1은 광 파장 변환층이 포함된 유기 태양전지의 예시를 나타낸 것이다. 도 1(a)는 광 파장 변환층이 전하수송층과 광활성층 사이에 위치한 구조이다. 도 1(b)는 광 파장 변환층이 전극과 전하수송층 사이에 위치한 구조이다. 도 1(c)는 다층 광 파장 변환층이 전극과 광활성층 사이에 위치한 구조이다. 도 1(d)는 단층 광 파장 변환층이 전극과 광활성층 사이에 위치한 구조이다.

도 2는 본 발명의 일 제조예에 따른 광 파장 변환 조성물을 나타낸 것이다.

도 3은 본 발명의 일 제조예에 따른 광 파장 변환 조성물과 비교군을 λ = 365 nm 영역의 광을 발생시키는 자외선 핸드 램프(UV hand lamp, VL-4L)를 사용하여 특성을 평가한 결과를 나타낸 것이다. (a) 광 파장 변환 조성물; (b) 비교군(알코올)

도 4는 본 발명의 일 제조예에 따른 광 파장 변환 조성물과 비교군을 λ = 400~780 nm 영역의 광을 발생시키는 LED 램프(Oriel VeraSol Solar Simulator)를 사용하여 특성을 평가한 결과를 나타낸 것이다. (a) 광 파장 변환 조성물; (b) 비교군(알코올)

도 5는 본 발명의 일 제조예에 따른 광 파장 변환층과 비교군을 통해 형성한 박막을 LED 램프(Oriel VeraSol Solar Simulator)를 사용하여 특성을 평가한 결과를 나타낸 것이다. (a) 광 파장 변환층; (b) 비교군(알코올 박막)

도 6은 본 발명의 일 제조예에 따른 ZnO 조성물과 부피비에 따라 형성된 복합 조성물을 나타낸 것이다. (a) ZnO 조성물; (b) 복합 조성물

도 7(a)는 본 발명의 일 제조예에 따른 ZnO 조성물(도면에서 순수한 전하수송층 용액으로 표시)과 복합 조성물(도면에서 광 파장 변환 전하수송층 용액으로 표시)을 자외선 핸드 램프(UV hand lamp, VL-4L)를 사용하여 특성을 평가한 결과를 나타낸 것이다. 도 7(b)는 본 발명의 일 제조예에 따른 ZnO 조성물(도면에서 순수한 전하수송층 용액으로 표시)과 복합 조성물(도면에서 광 파장 변환 전하수송층 용액으로 표시)을 LED 램프(Oriel VeraSol Solar Simulator)를 사용하여 특성을 평가한 결과를 나타낸 것이다.

도 8은 본 발명의 일 제조예에 따른 광 파장 변환층과 비교군을 통해 형성한 박막을 LED 램프(Oriel VeraSol Solar Simulator)를 사용하여 특성을 평가한 결과를 나타낸 것이다. (a) 광 파장 변환층(복합 조성물에 의해 형성됨); (b) 비교군

(ZnO 층)

도 9는 본 발명의 일 실시예에 따른 광 파장 변환층을 형성한 후 건조된 모습을 나타낸 것이다.

도 10은 본 발명의 일 실시예에 따른 전자수송층을 형성한 후 건조된 모습을 나타낸 것이다.

도 11은 본 발명의 일 제조예에 따른 광 파장 변환층과 ZnO 층의 광학적 특성을 평가한 결과를 나타낸 것이다. (a) 자외선-가시광 분광 분석의 결과; (b) 발광 분광 분석의 결과

도 12는 본 발명의 일 실시예와 비교실시예에 따른 유기 태양전지의 전류-전압 특성(a) 및 외부 양자효율(EQE) 거동(b)을 나타낸 것이다.

도 13은 본 발명의 일 실시예와 비교실시예에 따른 대면적 유기 태양전지의 전류-전압 특성(a) 및 외부 양자효율(EQE) 거동(b)을 나타낸 것이다.

도 14는 본 발명의 일 실시예에 따른 광활성층 박막, 전자수송층에 적층된 광활성층 박막 및 광 파장 변환층에 적층된 광활성층 박막의 자외선-가시광 분광 분석의 결과를 나타낸 것이다.

도 15는 본 발명의 일 실시예에 따른 광활성층 박막, 전자수송층에 적층된 광활성층 박막 및 광 파장 변환층에 적층된 광활성층 박막의 발광 분광 분석의 결과를 나타낸 것이다. (a) λ_{ex}=430 nm; (b) λ_{ex}=530 nm; (c) λ_{ex}=630 nm

도 16은 본 발명의 일 실시예와 비교실시예에 따른 유기 태양전지의 내부 양

자효율(IQE) 거동 및 반사율(reflectance)을 나타낸 것이다.

도 17은 본 발명의 일 실시예의 광 파장 변환층과 일 비교실시예의 전자수송층을 대상으로 전계 방출형 주사전자현미경(Field Emission Scanning Electron Microscope)을 통한 분석 결과를 나타낸 것이다. (a) 광 파장 변환층; (b) 전자수송층

도 18은 본 발명의 일 실시예의 광 파장 변환층과 일 비교실시예의 전자수송층을 대상으로 원자힘현미경(Atomic Force Microscopy)을 통한 분석 결과를 나타낸 것이다. (a) 광 파장 변환층; (b) 전자수송층

도 19는 본 발명의 일 실시예의 광 파장 변환층에 광활성층을 적층한 것과 일 비교실시예의 전자수송층에 광활성층을 적층한 것을 대상으로 원자힘현미경(Atomic Force Microscopy)을 통한 분석 결과를 나타낸 것이다. (a) 광 파장 변환층/광활성층; (b) 전자수송층/광활성층

도 20은 본 발명의 일 실시예와 비교실시예에 따른 유기 태양전지의 장기 안정성 평가 결과를 나타낸 것이다. (a) 시간에 따른 광전 변환 효율(PCE)의 변화; (b) 시간에 따른 개방 전압(V_{oc})의 변화; (c) 시간에 따른 단락 밀도전류(J_{sc})의 변화; (d) 시간에 따른 필 팩터(FF)의 변화

【발명을 실시하기 위한 구체적인 내용】

【0024】 이하, 본 발명을 보다 상세히 설명한다.

【0025】본 발명은 입사하는 광의 파장을 변화시키는 광 파장 변환층을 도입하여 실외는 물론 실내에서도 우수한 성능을 발휘하는 태양전지를 제공할 수 있다.

【0026】본 명세서에서 사용되는 용어인 "태양전지"는 태양의 빛 에너지를 이용하여 전기를 생성하는 장치를 의미한다. 태양전지는 실리콘 태양전지 및 비 실리콘 태양전지를 포함하며, 비 실리콘 태양전지에는 무기박막계 태양전지, 유기 태양전지, 양자점 태양전지, 페로브스카이트(perovskite)를 모두 포함할 수 있다. 또한, 태양전지는 다중 접합 구조를 가진 탠덤 태양전지도 포함한다. 본 명세서에서는 설명의 편의를 위해 본 발명을 유기 태양전지로 설명하나, 이는 하나의 예시에 불과하며 상기된 다양한 태양전지로 활용될 수 있다.

【0027】본 명세서에서 사용되는 용어인 "수광전극"은 태양광을 포함하는 모든 종류의 빛이 태양전지에 닿을 때, 가장 먼저 빛을 받는 전극을 의미할 수 있다. 본 명세서에서 수광전극은 제1 전극이란 명칭으로 사용할 수 있고, 수광전극의 반대전극을 제2 전극이란 명칭으로 사용할 수 있다.

【0028】본 명세서에서 사용되는 용어인 "광 파장 변환층"은 제1 광 파장 변환층 및 제2 광 파장 변환층을 포함할 수 있다. 본 명세서에서 수광전극과 광활성층 사이에 위치한 광 파장 변환층을 제1 광 파장 변환층으로 사용할 수 있고, 수광전극의 반대 전극과 광활성층 사이에 위치한 광 파장 변환층을 제2 광 파장 변환층으로 사용할 수 있다.

【0029】본 명세서에서 사용되는 용어인 "전하수송층"은 정공 또는 전자를 태양전지 내에서 원활히 수송하는 역할을 수행하는 층으로서, 정공을 수송하는 경우에는 정공수송층 전자를 수송하는 경우에는 전자수송층으로 사용할 수 있다.

【0030】본 명세서에서 사용되는 용어인 "상온"은 약 10 ℃ 내지 30 ℃ 사이의 온도를 의미할 수 있다.

【0031】본 명세서에서 사용되는 용어인 "치환"은 다른 기재가 없는 한 화합물에 있는 하나 또는 복수의 수소 원자가 다른 원자 또는 치환기로 바뀐 것을 의미한다.

【0032】본 명세서에서 사용되는 용어인 "치환되거나 비치환된"은 다른 기재가 없는 한 하나 또는 둘 이상의 수소 원자가 다른 원자 또는 치환기로 치환되거나 치환되지 않은 것을 의미할 수 있다.

【0033】본 명세서에서 사용되는 용어인 "치환기"는 J로 표현할 수 있다. 또한, 치환기 J는, 할로겐(클로로(Cl), 아이오딘(I), 브로모(Br), 플루오로(F)), 알킬기, 알케닐기, 알키닐기, 아릴기, 헤테로아릴기, 히드록시기로 이루어진 군에서 선택되는 하나 이상일 수 있으며, 이에 제한되는 것은 아니다. 또한, 상기 예시된 치환기 각각은 다시 이들 치환기 군 중에서 선택된 치환기로 치환되거나 비치환될 수 있다.

【0034】본 명세서에서 사용되는 용어인 "알킬기"는 다른 기재가 없는 한, 탄소수 1 내지 20, 또는 탄소수 1 내지 16, 또는 탄소수 1 내지 12, 또는 탄소수 1

내지 8, 또는 탄소수 1 내지 6의 직쇄 또는 분지쇄의 비고리형; 탄소수 3 내지 20, 또는 탄소수 3 내지 16, 또는 탄소수 3 내지 12, 또는 탄소수 3 내지 8, 또는 탄소수 3 내지 6의 고리형; 또는 이들이 결합된 포화 탄화수소를 의미할 수 있다.

【0035】 본 명세서에서 사용되는 용어인 "알케닐기"는 다른 기재가 없는 한 1개 이상의 이중 결합을 가지는 탄소수 2 내지 20, 또는 탄소수 2 내지 16, 또는 탄소수 2 내지 12, 또는 탄소수 2 내지 8, 또는 탄소수 2 내지 6의 직쇄, 분지쇄의 비고리형; 1개 이상의 이중 결합을 가지는 탄소수 3 내지 20, 또는 탄소수 3 내지 16, 또는 탄소수 3 내지 12, 또는 탄소수 3 내지 8, 또는 탄소수 3 내지 6의 고리형; 또는 이들이 결합된 불포화 탄화수소를 의미할 수 있다.

【0036】 본 명세서에서 사용되는 용어인 "알키닐기"는 다른 기재가 없는 한 1개 이상의 삼중 결합을 가지는 탄소수 2 내지 20, 또는 탄소수 2 내지 16, 또는 탄소수 2 내지 12, 또는 탄소수 2 내지 8, 또는 탄소수 2 내지 6의 직쇄, 분지쇄의 비고리형; 1개 이상의 삼중 결합을 가지는 탄소수 3 내지 20, 또는 탄소수 3 내지 16, 또는 탄소수 3 내지 12, 또는 탄소수 3 내지 8, 또는 탄소수 3 내지 6의 고리형; 또는 이들이 결합된 불포화 탄화수소를 의미할 수 있다.

【0037】 본 명세서에서 사용되는 용어인 "아릴기"는 다른 기재가 없는 한 방향족 탄화수소 고리로부터 하나의 수소가 제거된 방향족 고리를 의미할 수 있고, 단일고리 또는 다중고리일 수 있다.

【0038】본 명세서에서 사용되는 용어인 "헤테로아릴기"는 다른 기재가 없는 한 고리를 형성하는 원자로써 1개 이상의 헤테로 원자(예를 들면, N, O, S 등) 함유하는 방향족 고리를 의미할 수 있고, 단일고리 또는 다중고리일 수 있다.

【0039】본 발명의 일 예에 따른 태양전지는 순차 적층된 수광전극 및 광활성층을 포함하고, 상기 수광전극과 광활성층 사이에 광 파장 변환층을 포함하며, 상기 광 파장 변환층은 무기 반도체 화합물을 포함할 수 있다. 이 때, 광 파장 변환층은 다층을 형성할 수 있다.

【0040】본 발명의 일 예에 따른 태양전지는 광 파장 변환층이 수광전극 및 광활성층 사이에 위치하여, 입사되는 광의 파장을 변환하여 광활성층에서 활용할 수 있는 광 효율을 증가시키므로 우수한 성능을 나타낼 수 있다.

【0041】본 발명의 일 예에 따른 태양전지는 수광전극과 광활성층 사이에 전하수송층을 포함할 수 있다. 이 때, 전하수송층은 정공수송층 또는 전자수송층일 수 있으나, 전자수송층인 것이 바람직하다.

【0042】광 파장 변환층과 전하수송층은 수광전극과 광활성층 사이에 위치한다면 이들의 위치 관계는 특별히 제한되지 않는다. 예를 들면, 본 발명의 일 예에 따른 태양전지의 구조는 수광전극/전하수송층/광 파장 변환층/광활성층을 포함할 수 있고, 수광전극/광 파장 변환층/전하수송층/광활성층을 포함할 수 있다. 또한, 광 파장 변환층과 전하수송층은 각각 다층을 형성할 수 있으며, 광 파장 변환층과 전하수송층의 적층 구조가 단위 구조가 되어 다층 구조를 형성할 수 있다. 예를 들

면, 본 발명의 일 예에 따른 태양전지의 구조는 수광전극/전하수송층(1)/전하수송층(2)/광 파장 변환층/광활성층을 포함할 수 있고, 수광전극/전하수송층/광 파장 변환층(1)/광 파장 변환층(2)/광활성층을 포함할 수 있으며, 수광전극/전하수송층(1)/전하수송층(2)/광 파장 변환층(1)/광 파장 변환층(2)/광활성층을 포함할 수 있다. 또한, 예를 들면, 본 발명의 일 예 에 따른 태양전지의 구조는 수광전극/전하수송층(1)/광 파장 변환층(1)/전하수송층(2)/광 파장 변환층(2)/광활성층을 포함할 수 있고, 수광전극/광 파장 변환층(1)/전하수송층(1)/광 파장 변환층(2)/전하수송층(2)/광활성층을 포함할 수 있다.

【0043】본 발명의 일 예에 따른 태양전지는 광활성층 위에 수광전극의 반대전극인 제2 전극을 추가로 포함할 수 있고, 이 때 이들 사이에는 전하수송층 및 광 파장 변환층 중 적어도 하나 이상이 포함될 수 있다. 즉, 수광전극과 제2 전극 사이에 광활성층을 포함할 수 있고, 광활성층과 제2 전극 사이에는 광 파장 변환층을 추가로 포함할 수 있다. 이 때, "위에"라는 용어는 물리적으로 접촉한 채 어떤 물체에 적층된 것을 의미할 수 있고, 물리적으로 접촉하지 않으나 다른 물질을 사이로 하여 적층된 것을 의미할 수 있다. 광활성층과 수광전극의 반대전극 사이에 위치한 전하수송층과 광 파장 변환층은 서로의 위치 관계가 특별히 제한되는 것은 아니며, 각각 다층을 형성하거나 이들의 적층 구조가 단위 구조가 되어 다층 구조를 형성할 수 있다. 예를 들면, 본 발명의 일 예에 따른 태양전지의 구조는 수광전극/전하수송층/광 파장 변환층(1)/광활성층/광 파장 변환층(2)/제 2전극을 포함할 수 있다.

【0044】본 발명의 일 예에 따른 태양전지는 광활성층과 제2 전극 사이에 전하수송층을 포함할 수 있다. 이 때, 전하수송층은 정공수송층 또는 전자수송층일 수 있다. 광 파장 변환층과 전하수송층은 광활성층과 제2 전극 사이에 위치한다면 이들의 위치 관계는 특별히 제한되지 않는다.

【0045】본 발명의 일 예에 따른 태양전지는 수광전극의 일면에 투명 기판을 포함할 수 있다. 이 때 투명 기판은 수광전극을 기준으로 광활성층과 반대 면에 위치하는 것이 바람직하다.

【0046】도 1a 내지 1d는 본 발명의 일 예에 따른 태양전지를 각각 나타낸 것이다. 도 1a 및 도 1b는 태양전지에 전하수송층을 포함한 구조를 나타낸 것이다. 도 1a은 투명 기판(110), 제1 전극(120), 제1 전하수송층(130), 제1 광 파장 변환층(130-1), 광활성층(140), 제2 광 파장 변환층(150-1), 제2 전하수송층(150) 및 제2 전극(160) 순으로 적층된 태양전지를 도시한 것이다. 도 1b는 투명 기판(110), 제1 전극(120), 제1 광 파장 변환층(130-1), 제1 전하수송층(130), 광활성층(140), 제2 전하수송층(150), 제2 광 파장 변환층(150-1) 및 제2 전극(160) 순으로 적층된 태양전지를 도시한 것이다. 도 1c 및 도 1d는 태양전지에 전하수송층을 포함하지 않은 구조를 나타낸 것이다. 도 1c는 투명 기판(110), 제1 전극(120), 제1 광 파장 변환층(1, 130-1), 제1 광 파장 변환층(2, 130-2), 광활성층(140), 제2 광 파장 변환층(1,150-1), 제2 광 파장 변환층(2, 150-2) 및 제2 전극(160) 순으로 적층된 태양전지를 도시한 것이다. 도 1d는 투명 기판(110), 제1 전극(120), 제1 광 파장 변환층(130-1), 광활성층(140), 제2 광 파장 변환층(150-1) 및 제2 전극(160) 순으로

적층된 태양전지를 도시한 것이다.

【0047】 본 발명의 일 예에 따른 태양전지의 광 파장 변환층은 무기 반도체 화합물을 포함할 수 있다.

【0048】 무기 반도체 화합물은 특정 파장의 광(제1 파장의 광)을 다른 파장의 광(제2 파장의 광)으로 변환하는 반도체를 의미할 수 있다. 여기서, 특정 파장의 광을 다른 파장의 광으로 변환한다는 의미는, 특정 파장에 피크(peak)를 가지는 광(제1 파장의 광)이 당해 특정 파장 이외의 파장에 피크를 가지는 광(제2 파장의 광)으로 변환되는 것을 말한다. 또한, 제2 파장의 광은 1개의 파장에 피크를 가지는 광일 수 있고, 2개의 파장 각각에 피크를 가지는 광일 수 있다.

【0049】 상기 제1 파장의 광은 250 nm 이상 450 nm 미만에 피크를 가지는 파장의 광, 또는 275 nm 이상 400 nm 미만에 피크를 가지는 파장의 광, 또는 300 nm 이상 375 nm 미만에 피크를 가지는 파장의 광일 수 있다.

【0050】 상기 제2 파장의 광은 550 nm 이상 850 nm 미만에 피크를 가지는 파장의 광, 또는 575 nm 이상 800 nm 미만에 피크를 가지는 파장의 광, 또는 585 nm 이상 775 nm 미만에 피크를 가지는 파장의 광일 수 있다.

【0051】 또한, 제2 파장의 광은 550 nm 이상 650 nm 미만에 피크를 가지는 파장의 광, 또는 575 nm 이상 625 nm 미만에 피크를 가지는 파장의 광, 또는 585 nm 이상 615 nm 미만에 피크를 가지는 파장의 광일 수 있다. 또한, 상기 제2 파장의 광은 650 nm 이상 850 nm 미만에 피크를 가지는 파장의 광, 또는 700 nm 이상

800 nm 미만에 피크를 가지는 파장의 광, 또는 725 nm 이상 775 nm 미만에 피크를 가지는 파장의 광일 수 있다. 또한, 상기 제2 파장의 광은 전술한 바와 같이 2개의 파장 각각에 피크를 가지는 광일 수 있으며, 상기 제2 파장의 광은 550 nm 이상 650 nm 미만에 피크를 가지는 파장의 광 및 650 nm 이상 850 nm 미만에 피크를 가지는 파장의 광일 수 있다. 또한, 제2 파장의 광은 575 nm 이상 625 nm 이하에 피크를 가지는 파장의 광 및 700 nm 이상 800 nm 미만에 피크를 가지는 파장의 광일 수 있다. 또한, 제2 파장의 광은 585 nm 이상 615 nm 이하에 피크를 가지는 파장의 광 및 725 nm 이상 775 nm 미만에 피크를 가지는 파장의 광일 수 있다.

【0052】 무기 반도체 화합물은 2 이상의 화학원소로 만들어진 화합물 형태의 반도체를 의미할 수 있다. 상기 무기 반도체 화합물은 주기율표 상 Ⅳ족 원소(예를 들면, C, Si, Ge, Sn, Pb 등), Ⅱ-Ⅵ족 반도체 화합물(ZnO, CdO, ZnS, CdS, ZnSe, CdSe, ZnTe, CdTe, $Hg_{1-x}Cd_xTe$ 등), Ⅲ-Ⅴ족 반도체 화합물(예를 들면, GaN, GaP, GaAs, GaSb, InN, InP, InAs, InSb, $Ga_{1-x}Al_xAs$, InGaAsP 등) 및 Ⅳ-Ⅳ족 반도체 화합물(SiC 등)으로 이루어진 군으로부터 선택된 1종 이상이 선택된 것일 수 있다.

【0053】 본 발명에서 사용되는 무기 반도체 화합물은 양자점(quantum dot) 형태의 반도체 화합물을 포함할 수 있다. 예를 들면, 양자점 형태의 반도체 화합물은 주기율표 상 Ⅳ족 원소의 양자점, Ⅱ-Ⅵ족 반도체 화합물의 양자점, Ⅲ-Ⅴ족 반도체 화합물의 양자점 및 Ⅳ-Ⅳ족 반도체 화합물 양자점으로 이루어진 군으로부터 선택된 1종 이상이 선택된 것일 수 있다.

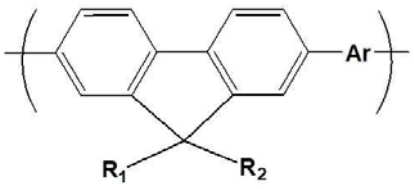
【0054】Ⅳ족 원소의 양자점은 예를 들면, 탄소 양자점, 그래핀 양자점, 실리콘 양자점 등이 있다. Ⅱ-Ⅵ족 반도체 화합물의 양자점은 예를 들면, 산화 아연 양자점, 산화 카드뮴 양자점, 황화 아연 양자점, 황화 카드뮴 양자점, 셀레늄화 아연 양자점, 셀레늄화 카드뮴 양자점, 텔루늄화 아연 양자점, 텔루늄화 카드뮴 양자점 등이 있다. Ⅲ-Ⅴ족 반도체 화합물의 양자점은 예를 들면, 질화 갈륨 양자점, 인화 갈륨 양자점, 비소화 갈륨 양자점, 안티몬화 갈륨 양자점, 질화 인듐 양자점, 인화 인듐 양자점, 비소화 인듐 양자점, 안티몬화 인듐 양자점 등이 있다. Ⅳ-Ⅳ족 반도체 화합물 양자점은 예를 들면, 탄화 실리콘 양자점 등이 있다. 또한 양자점 형태의 반도체 화합물은 상기된 종류에 제한되는 것은 아니다.

【0055】본 발명의 일 예에 따른 태양전지의 구조 중 수광전극과 광활성층 사이에 위치한 광 파장 변환층은 무기 반도체와 전도성 고분자 및 금속 산화물로 이루는 군에서 적어도 하나 이상을 포함할 수 있다.

【0056】이 때, 광 파장 변환층에 포함될 수 있는 전도성 고분자는 하기 화학식 1로 나타내는 중합단위를 포함할 수 있다.

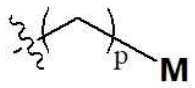
【0057】[화학식 1]

【0058】



【0059】상기 화학식 1에서, R_1 및 R_2는 각각 독립적으로 하기 화학식 2로 나타낼 수 있다.

【0060】[화학식 2]

【0061】 

【0062】상기 화학식 2에서, p는 0 내지 10 사이의 정수일 수 있다.

【0063】상기 화학식 2에서, M은 하기 화학식 2-1 또는 화학식 2-2로 나타낼 수 있다.

【0064】[화학식 2-1]

【0065】

【0066】상기 화학식 2-1에서, R_3 및 R_4는 각각 독립적으로 히드록시기 또는 설폰산기로 치환 또는 비치환된 탄소수 1 내지 10의 알킬기, 히드록시기 또는 설폰산기로 치환 또는 비치환된 탄소수 2 내지 10의 알케닐기 및 히드록시기 또는 설폰산기로 치환 또는 비치환된 탄소수 2 내지 10의 알키닐기로 이루어진 군에서 선택될 수 있다.

【0067】[화학식 2-2]

【0068】

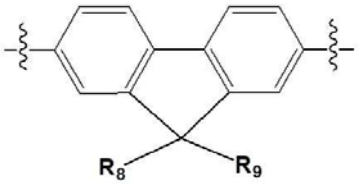
【0069】상기 화학식 2-2에서, R_5, R_6 및 R_7은 각각 독립적으로 히드록시기 또는 설폰산기로 치환 또는 비치환된 탄소수 1 내지 10의 알킬기, 히드록시기 또는

설폰산기로 치환 또는 비치환된 탄소수 2 내지 10의 알케닐기, 히드록시기 또는 설폰산기로 치환 또는 비치환된 탄소수 2 내지 10의 알키닐기로 이루어진 군에서 선택될 수 있다. 또한, 상기 화학식 2-2에서 질소 양이온과 할로겐 이온이 결합하거나 결합하지 않을 수 있다.

【0070】 상기 화학식 1에서, 상기 화학식 1에서, Ar은 단일결합; 또는 하기 화학식 3 내지 6으로 나타나는 단위구조; 중 하나일 수 있다.

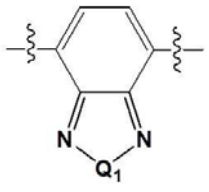
【0071】 [화학식 3]

【0072】



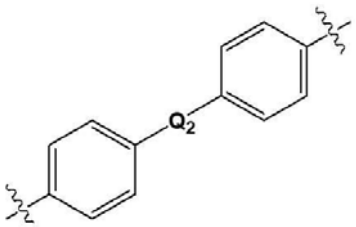
【0073】 상기 화학식 3에서, R_8 및 R_9는 각각 독립적으로 치환 또는 비치환된 탄소수 1 내지 20의 알킬기, 치환 또는 비치환된 탄소수 2 내지 20의 알케닐기 및 치환 또는 비치환된 탄소수 2 내지 20의 알키닐기로 이루어진 군에서 선택될 수 있다. 이 때, 탄소수는 2 내지 16, 또는 3 내지 16, 또는 4 내지 12, 또는 6 내지 10일 수 있다. 또한, R_8 및 R_9의 알킬기, 알케닐기, 알키닐기는 각각 독립적으로 직쇄 또는 분지쇄의 비고리형인 것이 바람직하다. 또한, R_8 및 R_9는 동일한 구조를 가질 수 있다.

【0074】 [화학식 4]

【0075】 

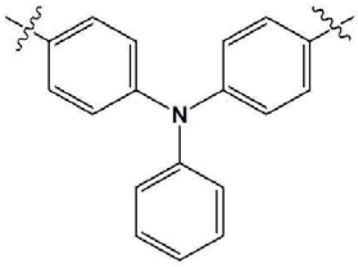
【0076】 상기 화학식 4에서, Q_1는 산소원자 또는 황원자일 수 있다. 이 때, Q_1는 황원자인 것이 바람직하다.

【0077】 [화학식 5]

【0078】 

【0079】 상기 화학식 5에서, Q_2는 산소원자 또는 황원자일 수 있다. 이 때, Q_2는 산소원자인 것이 바람직하다.

【0080】 [화학식 6]

【0081】 

【0082】 상기 화학식 1 내지 6은 치환기 J로 치환될 수 있다.

【0083】 광 파장 변환층에 포함될 수 있는 전도성 고분자는 예를 들면, PFN(Poly [(9,9-bis(3'-(N,N-dimethylamino)propyl)-2,7-fluorene)-alt-2,7-(9,9-

dioctylfluorene)]), PFN-OH(Poly[9,9-bis(6'-(diethanolamino)hexyl)fluorene]), PFN-Br(Poly [(9,9-bis(3'-(N,N-dimethylamino)propyl)-2,7-fluorene)-alt-2,7-(9,9-dioctylfluorene)] dibromide) 등 PFN계열 화합물일 수 있으며, 상기 화학식 1로 나타낼 수 있으면 특별히 제한되는 것은 아니다.

【0084】 광 파장 변환층에 포함될 수 있는 금속 산화물은 Zn, Ba, Li 및 Ti로 이루어진 군으로부터 선택된 1종 이상의 금속 산화물일 수 있다.

【0085】 광 파장 변환층에 포함될 수 있는 금속 산화물은 예를 들면, ZnO, BaO, Li_2O, TiO2 등일 수 있으며, 특별히 제한되는 것은 아니다.

【0086】 본 발명의 일 예에 따른 태양전지의 광 파장 변환층은 상온에서 1 내지 10^4 g/cm^3, 또는 10 내지 10^4 g/cm^3, 또는 10^2 내지 10^4 g/cm^3, 또는 10^{-3} 내지 10^4 g/cm^3의 함량 범위로 무기 반도체 화합물을 포함할 수 있다. 상기와 같은 함량의 무기 반도체 화합물을 포함함으로써, 수광전극으로 입사된 광의 파장을 광활성층이 활용하기 용이한 파장으로 효과적인 변환을 할 수 있다.

【0087】 본 발명의 일 예에 따른 태양전지의 구조 중 수광전극과 광활성층 사이에 광 파장 변환층이 위치한 경우, 광활성층과 수광전극의 반대전극 사이에 또 다른 광 파장 변환층을 포함할 수 있다. 이 때, 광활성층과 수광전극의 반대전극 사이에 위치한 또 다른 광 파장 변환층은 하기에 설명될 정공수송층을 형성하는 정공수송 물질을 포함할 수 있다. 정공수송 물질은 정공을 전달할 수 있으면 특별히 제한되지 않으며, 공지된 물질을 사용할 수 있다.

【0088】본 발명의 일 예에 따른 태양전지의 광 파장 변환층은 수광전극과 광활성층 사이에 있으면서, 수광전극의 표면으로부터 0.5 내지 220 nm 간격, 또는 0.5 내지 200 nm 간격, 또는 0.5 내지 190 nm 간격, 또는 0.5 내지 180 nm 간격, 또는 0.5 내지 170 nm 간격, 또는 0.5 내지 160 nm 간격, 또는 0.5 내지 150 nm 간격으로 위치할 수 있다. 이 때, 상기 간격은 수광전극의 표면으로부터 광 파장 변환층의 전체 두께 중 아래부터 1/2 지점까지를 의미한다. 또한, 상기 간격에서 수광전극의 표면은 광 파장 변환층, 광활성층 등이 적층될 표면을 의미한다. 수광전극의 표면은 광활성층과

【0089】본 발명의 일 예에 따른 태양전지의 광 파장 변환층은 1 내지 300 nm의 두께로 형성될 수 있다. 구체적으로는, 소면적 태양전지에서 약 1 내지 100 nm의 두께일 수 있으며, 1 내지 50 nm의 두께인 것이 바람직하다. 대면적 태양전지에서는 최대 300 nm의 두께로 형성될 수 있다. 본 명세서에서 사용되는 용어인 소면적은 태양전지는 광활성 면적이 0.001 이상 0.1 cm^2이하인 태양전지를 의미하고, 대면적은 태양전지는 광활성 면적이 0.1 초과 10 cm^2이하인 태양전지를 의미할 수 있다. 본 명세서에서는 특별한 언급이 없는 한 소면적 태양전지에 해당한다.

【0091】본 발명의 일 예에 따른 태양전지의 구조 중 수광전극과 광활성층 사이 또는 광활성층과 수광전극의 반대전극 사이에는 전하수송층이 위치할 수 있다.

【0092】전하수송층은 전자수송층(electron transfer layer; ETL) 및 정공수

송층(hole transport layer; HTL)을 포함하며, 전자수송층은 전극에서 형성된 전자를 수송하고 정공수송층은 전극에서 형성된 정공을 수송할 수 있다.

【0093】전자수송층은 전자수송 물질을 포함할 수 있다. 전자수송 물질은 전자수송층이 태양전지에 위치하여 전극에서 형성된 전자를 원활히 광활성층에 전달할 수 있으면 특별히 제한되지 않으며, 공지된 물질을 사용할 수 있다. 공지된 전자수송 물질은 예를 들면, TBCPF(9,9-di(4,4'-bis(3,6-Di-tert-butyl-9H-carbazole)-phenyl)-9H-fluorene), SPPO13(2,7-bis(diphenylphosphoryl)-9,9'-spirobi[fluorene]), mCPPO1(9-(3-(9H -Carbazol-9-yl)phenyl)-3-(diphenylphosphoryl)-9H-carbazole), TPBI(1,3,5-Tris(1-phenyl-1H-benzimidazol-2-yl)benzene), PFN(Poly [(9,9-bis(3'-(N,N-dimethylamino)propyl)-2,7-fluorene)-alt-2,7-(9,9-dioctylfluorene)]), PFN-OH(Poly[9,9-bis(6'-(diethanolamino)hexyl)fluorene]), PFN-Br(Poly [(9,9-bis(3'-(N,N-dimethylamino)propyl)-2,7-fluorene)-alt-2,7-(9,9-dioctylfluorene)] dibromide), ZnO, BaO, Li_2O, TiO_2 등일 수 있으며 이에 제한되는 것은 아니다. 만약, 전자수송층을 형성하기 위해서 무기 금속 산화물 전구체를 용매에 용해시켜 ZnO, BaO, Li_2O, TiO_2 등과 같은 금속 산화물로 전이시킬 수 있다. 이 때, 사용할 수 있는 무기 금속 산화물 전구체는 아연 전구체, 바륨 전구체, 리튬 전구체, 티타늄 전구체 등일 수 있다. 예를 들면, 아세트산 아연, 아세트산 바륨, 아세트산 리튬, 아세트산 티타늄, 아연 이소프로폭사이드, 바륨 이소프로폭사이드, 리튬 이소

프로폭사이드, 티타늄 이소프로폭사이드 등일 수 있다.

【0094】정공수송층은 정공수송 물질을 포함할 수 있다. 정공수송 물질은 정공수송층이 태양전지에 위치하여 전극에서 형성된 정공을 원활히 광활성층에 전달할 수 있으면 특별히 제한되지 않으며, 공지된 물질을 사용할 수 있다. 공지된 정공수송 물질은 예를 들면, 폴리피롤, 폴리퓨란, 폴리티오펜, 폴리셀레노펜, PEDOT:PSS(poly (3,4-ethylene dioxythiophene):polystyrene sulfonate), PEDOT(poly (3,4-ethylene dioxythiophene)), PEDOS(poly(3,4-ethylene dioxy selenophene), WO_3, V_2O_3, NiO, MoO_3 등일 수 있으며 이에 제한되는 것은 아니다. 만약, 정공수송층을 형성하기 위해서 무기 금속 산화물 전구체를 용매에 용해시켜 WO_3, V_2O_3, NiO, MoO_3 등과 같은 금속 산화물로 전이시킬 수 있다. 이 때, 사용할 수 있는 무기 금속 산화물 전구체는 몰리브덴 전구체는 텅스텐 전구체, 바나듐 전구체, 니켈 전구체, 몰리브덴 전구체 등일 수 있다. 예를 들면, 몰리브덴 디아세틸아세토네이트 디옥사이드(molybdenum diacetylacetonate dioxide), 암모늄 헵타몰리브데이트 테트라하이드레이트(ammonium heptamolybdate tetrahydrate), 니켈 아세틸아세토네이트(nickel(Ⅱ) acetylacetonate), 니켈 아세테이트(nickel(Ⅱ) acetate), 바나듐 아세테이트(vanadium acetate), 텅스텐 에톡사이드(tungsten(Ⅴ, Ⅳ) ethoxide), 인몰리브덴산(phosphomolybdic acid) 및 포스포텅스텐산(phosphotungstic acid) 등일 수 있다.

【0095】전하수송층은 공지의 방법을 이용하여 형성될 수 있다. 예를 들면, 스핀 코팅 (spin-coating), 잉크젯 프린팅 (inkjet-printing), 바 코팅 (bar-

coating), 슬롯다이 코팅 (slot-die coating) 등의 용액공정을 통해 균일하게 도포하여 박막 형태로 형성될 수 있으며, 물리증착법(PVD), 화학증착법(CVD), 원자층 증착법(ALD) 또는 열증착법 등을 이용하여 형성할 수 있다.

【0097】본 발명에 따른 태양전지의 수광전극(또는 제1 전극)은 투명 기판 상에 물리증착법(PVD), 화학증착법(CVD), 원자층 증착법(ALD) 또는 열증착법 등을 이용하여 형성할 수 있다. 본 명세서에서 사용되는 용어인 투명 기판은 광투과성인 것으로 글래스, 석영, 폴리에틸렌 테레프탈레이트(PET), 폴리에틸렌 나프탈레이트(PEN), 폴리이미드(PI), 폴리카보네이트(PC), 폴리스틸렌(PS), 폴리옥시에틸렌(POM), 아크릴로나이트릴-스타이렌 수지(AS 수지) 및 트리아세틸 셀룰로오스(TAC)로 이루어진 군으로부터 선택된 1종 이상으로 형성되는 것일 수 있다.

【0098】수광전극은 광투과성을 가지는 산화금속 박막으로 형성될 수 있다. 상기 산화금속 박막은 예를 들면, ITO(인듐틴옥사이드)막, FTO(플루오르화틴옥사이드)막, IZO(인듐징크옥사이드)막, AZO(알루미늄도프드옥사이드)막, ZnO(징크옥사이드)막 및 IZTO(인듐징크틴옥사이드)막으로 이루어진 군에서 선택된 1종 이상일 수 있다.

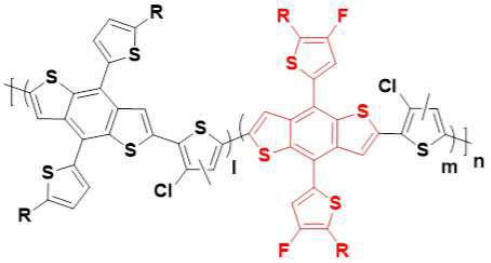
【0099】본 발명에 따른 태양전지의 수광전극의 반대전극(또는 제2 전극)은 물리증착법(PVD), 화학증착법(CVD), 원자층 증착법(ALD) 또는 열증착법 등을 이용하여 형성할 수 있다. 예를 들면, 약 5×10^{-7} torr의 고진공을 가진 열증착기 내부에서 증착된다. 제2 전극은 대기 중 노출에 대한 산화 안정성이 큰 물질인 것이 바

람직하며, Cu, Ag, Au, W, Ni, Al 및 Ti을 사용할 수 있고 제조되는 태양전지의 구조를 고려하여 적절히 선택될 수 있다.

【0101】본 발명에 따른 태양전지의 광활성층은 결정질 실리콘 등을 사용하는 무기 물질을 포함할 수 있고, 유기 물질의 박막 형태로 형성될 수 있다. 예를 들면, 유기 태양전지에서는 전자 주개 물질과 전자 받개 물질을 혼합하여 제조한 광활성 조성물 등으로 광활성층을 형성할 수 있다. 구체적으로, 상기 전자 주개 물질과 전자 받개 물질이 혼합되어 있는 벌크-이종접합(bulk-heterojunction) 구조를 기반으로 형성될 수 있으며 이에 한정되는 것은 아니다.

【0102】본 발명에서 사용될 수 있는 전자 받개 물질은 PTB7(CAS No. 1266549-31-8), PTB7-Th(CAS No. 1469791-66-9), PBDB-T(CAS No.145929-80-4), PBDB-T-2F(CAS No. 1802013-83-7) 및 하기 화학식 7 내지 화학식 10로 표시되는 삼성분 공중합체로 이루어진 군에서 선택된 하나 이상 일 수 있다(대한민국 특허출원 번호 제10-2020-0052656호 참조).

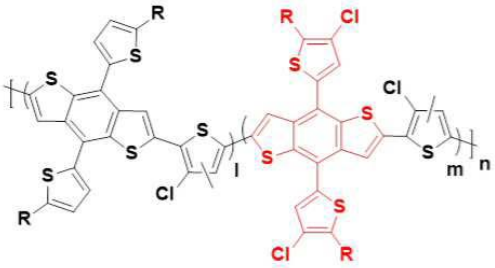
【0103】[화학식 7]



P(Cl)(F=0.5) (l=0.5, m=0.5)
R = 2-Ethylhexyl
X = F

【0104】

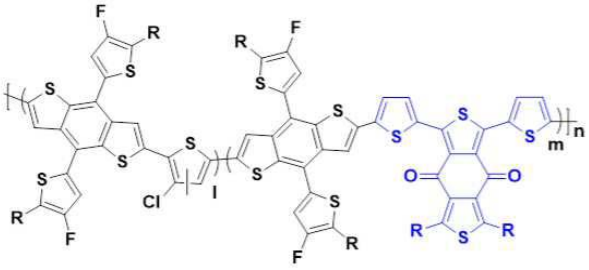
【0105】[화학식 8]



P(Cl)(Cl=0.5) (l=0.5, m=0.5)
R = 2-Ethylhexyl
X = Cl

【0106】

【0107】[화학식 9]

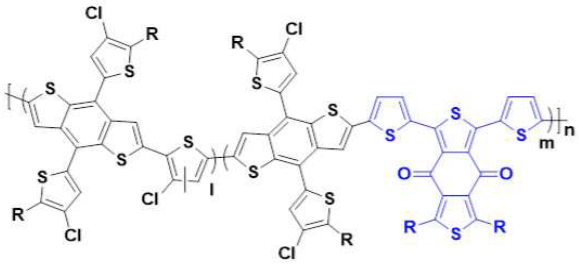


P(F-Cl)(BDD=0.2) (l=0.8, m=0.2)
R = 2-Ethylhexyl

【0108】

【0109】[화학식 10]

【0110】



【0111】상기 화학식 7 내지 화학식 10에서, n은 1 내지 10,000 사이의 정수이다.

【0112】본 발명에서 사용될 수 있는 전자 주개 물질은 풀러렌 유도체 및 비풀러렌 유도체로 이루어진 군에서 적어도 하나 이상을 포함한다. 풀러렌 유도체는 $PC_{61}BM$(CAS No. 160848-22-6), $PC_{71}BM$(CAS No. 609771-63-3) 등을 포함하며, 비풀러렌 유도체는 ITIC(CAS No. 16694293-06-4), ITIC-M(또는 IT-M 또는 m-ITIC)(CAS No. 2047352-80-5), ITIC-Th(CAS No. 1889344-13-1), IDIC(CAS No. 1883441-92-6), IT-4F(또는 ITIC-4F)(CAS No. 2097998-59-7), ITIC-4Cl(CAS No. 2253663-81-7), ITIC-2F(CAS No. 2097998-59-7), BTP-4F(CAS No. 2304444-49-1), BTP-4Cl, Y6-BO-4Cl, IEICO-4F(CAS:2089044-02-8), IEICO-4Cl 등을 포함할 수 있다. 다만, 이에 제한되는 것은 아니며 당업계에서 사용되고 있는 전자 주개 물질을 모두 포함할 수 있다.

【0113】상기 전자 받개 물질과 상기 전자 주개 물질의 혼합 비(w/w)는 1:0.5 내지 1:2, 1:0.75 내지 1:1.5, 1:0.9 내지 1:1.2일 수 있다.

【0115】본 발명은 입사하는 광의 파장을 변화시키는 광 파장 변환층을 도입하여 실외는 물론 실내에서도 우수한 성능을 발휘하는 태양전지의 제조방법을 제공할 수 있다.

【0116】본 발명에 따른 태양전지의 제조방법에서 사용되는 용어 중 상기 기재된 내용과 중복되는 경우엔 상기 기재된 내용에 따를 수 있다. 이하에서는 상기 기재된 설명과 상이한 내용을 중심으로 기재하도록 한다.

【0117】본 발명의 일 예에 따른 태양전지 제조방법은 수광전극(또는 제1 전극)을 형성하고 준비된 광 파장 변환 조성물로 광 파장 변환층을 형성한 뒤 광활성층을 형성하는 단계를 포함할 수 있다. 이 때, 광 파장 변환 조성물은 시판된 물질을 사용하여 준비할 수도 있다.

【0118】광 파장 변환 조성물은 제1 용매에 무기 반도체 화합물을 분산시켜 무기 반도체 분산액을 수득하여 준비할 수 있다.

【0119】이 때, 제 1 용매는 극성이 있는 분자로 된 용매인 극성 용매(polar solvent)일 수 있다. 예를 들면, 물, 히드록시기를 함유하는 화합물(예를 들면, 메탄올, 에탄올, 2-메톡시에탄올, 2-에톡시에탄올, 프로판올, 2-프로판올, 부탄올, 펜탄올, 헥산올 및 이들의 혼합물 등), 카르복시기를 함유하는 화합물(예를 들면, 포름산, 아세트산 및 이들의 혼합물 등), 케톤기를 함유하는 화합물(예를 들면, 아세톤 등) 및 아민기를 함유하는 화합물(예를 들면, N, N-디메틸포름아민, N, N-디메틸아세트아민, 에탄올아민 및 이들의 혼합물 등)로 이루어진 군에서 선택된 1종

이상일 수 있다. 또한, 제1 용매는 무수물(anhydride)의 형태일 수도 있다. 무기 반도체 분산액의 안정성을 고려하면 제1 용매는 물 또는 히드록시기를 함유하는 화합물 중 적어도 하나 이상일 수 있다. 제1 용매에 예시된 각 화합물의 혼합물은 두 개 이상의 화합물을 혼합한 것을 의미한다. 예를 들면, 히드록시기를 함유하는 화합물에서 메탄올, 에탄올, 2-메톡시에탄올, 2-프로판올을 혼합한 혼합물이 제1 용매일 수 있다. 또한, 제1 용매는 각 화합물에서 하나 이상의 화합물을 혼합한 것을 의미할 수 있다. 예를 들면, 히드록시기를 함유하는 혼합물에서2-메톡시에탄올을 선택하고 아민기를 함유하는 화합물에서 에탄올아민을 선택하여 둘을 혼합한 혼합물이 제1 용매일 수 있다.

【0120】무기 반도체 분산액은 무기 반도체 화합물의 농도가 0.05 내지 20 mg/mL일 수 있다. 무기 반도체 화합물의 농도가 0.05 mg/mL보다 낮으면 광 파장 변환의 효과가 미비하며, 무기 반도체 화합물의 농도가 20 mg/mL보다 높으면 광전 변환 효율이 감소한다. 더 우수한 광 변환 효과를 고려하면 무기 반도체 화합물의 농도는 0.1 내지 10 mg/mL일 수 있다

【0121】광 파장 변환 조성물은 제1 용매에 무기 반도체 화합물을 분산시킨 뒤 제2 용매에 분산시킨 전도성 고분자, 금속 산화물 또는 이들의 조합을 혼합한 복합 조성물로 준비할 수 있다.

【0122】이 때, 제2 용매는 제1 용매와 마찬가지로 극성이 있는 분자로 된 용매인 극성 용매일 수 있다. 제2 용매에 대한 설명은 상기 제1 용매에 대한 설명과 동일하다.

【0123】복합 조성물은 제1 용매에 무기 반도체 화합물을 분산시킨 무기 반도체 분산액과 제2 용매에 전도성 고분자, 금속 산화물 또는 이들의 조합을 분산시킨 전도성 분산액을 1:0.01(v/v) 내지 1:10(v/v)의 비율, 바람직하게 1:1(v/v) 내지 1:5(v/v)의 비율로 혼합하여 형성할 수 있다. 이 때, 무기 반도체 분산액 100 부피비 대비 전도성 분산액이 0.01 부비피보다 작은 경우 광 파장 변환 효과가 미비하며, 전도성 분산액이 10 부피비보다 큰 경우 광전 변환 효율이 감소할 수 있다.

【0124】본 발명의 일 예에 따른 태양전지 제조방법에서 스핀 코팅 (spin-coating), 잉크젯 프린팅 (inkjet-printing), 바 코팅 (bar-coating), 슬롯다이 코팅 (slot-die coating) 등의 용액공정을 통해 균일하게 도포하여 박막을 형성할 수 있어, 소면적의 단위셀부터 대면적 및 모듈형 태양전지를 제조하는 경우에도 적용이 가능하기 때문에, BIPVs, AIPVs 등의 실외형 적용뿐만 아니라, 스마트 팩토리, IoT 센서 등 실내형 적용에도 크게 기여할 수 있는 장점이 있다. 상기 스핀 코팅은 1,000 rpm 내지 5,000 rpm의 속도 도포할 수 있으며, 슬롯다이 코팅은 분산액이나 각종 조성물들을 0.1 내지 1.0 mL/min의 토출량과 0.1 내지 1.0 m/min의 속도로 도포할 수 있다.

【0126】본 발명에 따른 태양전지의 제조방법은 상기 기재된 본 발명의 일 예에 따른태양전지의 구조에 따른 것일 수 있다. 즉, 상기 태양전지의 구조의 각 층을 형성할 수 있는 각각의 분산액 또는 조성물을 순차적으로 도포 또는 증착하는

방법으로 태양전지를 제조할 수 있다.

【0127】 본 발명에 따른 태양전지의 제조방법에서 수광전극(제1 전극), 전하수송층, 광활성층 및 수광전극과 반대전극(제2 전극)은 당업계에서 이미 공지된 방법과 물질을 이용하여 형성할 수 있다.

【0128】 본 발명에 따른 태양전지의 제조방법은 각 층(수광전극(제1 전극), 전하수송층, 광활성층, 광 파장 변환층 및 수광전극과 반대전극(제2 전극))을 형성하는 단계 전후로 열처리가 수행될 수 있다. 열처리 온도는 약 40 ℃ 내지 300 ℃이며, 태양전지의 효율을 감소시키지 않고 광 파장 효과를 극대화 시키기 위해서는 약 60 ℃ 내지 250 ℃인 것이 바람직하다. 특히, 광 파장 변환층을 형성시킬 때 전후로 약 80 ℃ 내지 200 ℃ 사이로 열처리하는 것이 바람직하다.

【0129】 본 발명에 따른 태양전지는 광 파장 변환층을 제외한 각 층(수광전극(제1 전극), 전하수송층, 광활성층 및 수광전극과 반대전극(제2 전극))의 두께는 최적화가 되는 범위에서 특별히 제한되지 않으며 수광전극(제1 전극)이 약 100 내지 250 nm, 전자수송층이 10 내지 70 nm, 광활성층이 50 내지 200 nm, 정공수송층이 1 내지 15 nm 및 수광전극의 반대전극(제2 전극)이 약 50 내지 150 nm일 수 있다.

【0130】 상기에서는 본 발명에 따른 실시예를 기준으로 본 발명의 구성과 특징을 설명하였으나 본 발명은 이에 한정되지 않으며, 본 발명의 사상과 범위 내에서 다양하게 변경 또는 변형할 수 있음은 본 발명이 속하는 기술분야의 통상의 기술자에게 명백한 것이며, 따라서 이와 같은 변경 또는 변형은 첨부된 특허청구범위

에 속함을 밝혀둔다.

【0132】 <제조예 1A> 광 파장 변환 조성물의 제조 및 평가

【0133】 본 발명에 따른 유기 태양전지를 제조하기 위해, 광 파장 특성이 있는 그래핀 양자점(graphene quantum dots)을 포함한 광 파장 변환 조성물을 제조하였다. 본 제조예에 사용된 그래핀 양자점이 포함된 광 파장 변환 조성물은 300 nm 이상 375 nm 미만에 피크를 가지는 파장의 광을 흡광하고, 585 nm 이상 615 nm 미만에 피크를 가지는 파장의 광 및 725 nm 이상 775 nm 미만에 피크를 가지는 파장의 광을 발광 특성을 가지고 있다.

【0134】 광 파장 변환 조성물을 제조하기 위해서, 5 mL 바이알을 진공 및 질소 치환하여 준비하였다. 또한, 2-메톡시에탄올(2-methoxy ethanol), 2-프로판올 무수물(2-propanol anhydrous, CAS No. 67-63-0), 메탄올 무수물(methanol anhydrous, CAS No. 67-56-1) 및 에탄올 무수물(ethanol anhydrous, CAS No. 64-17-5)를 포함하는 알코올(alcohol)을 바이알에 넣어 준비하였다. 이후, 상기 알코올이 담긴 바이알에 상기 그래핀 양자점을 그래핀 양자점의 농도가 0.5 내지 5 mg/mL이 되도록 첨가하여 상온에서 교반하였다. 충분히 용해가 되었을 때, 파라필름(para film)을 이용하여 암갈색의 맑은 용액이 담긴 바이알을 밀봉하였다. 이후, 1 시간 동안 상온에서 롤-믹서(roll-mixer)에 교반하여 보관하고, 초음파 세척기(sonicator) 내부에 증류수를 채운 뒤 바이알의 2/3 위치까지 증류수가 닿도록 고정시켜 30분 동안 초음파 처리 하였다. 이후, 도 2에서 나타난 바와 같이 암갈색의

맑은 용액인 광 파장 변환 조성물을 수득하였다.

【0136】 λ = 365 nm 영역의 광을 발생시키는 자외선 핸드 램프(UV hand lamp, VL-4L)를 사용하여 상기 수득한 광 파장 변환 조성물의 특성을 평가하였다. 비교군(control)은 상기 광 파장 변환 조성물의 제조에서 사용된 알코올로 하였다. 자외선 핸드 램프에 의한 특성 평가 결과는 도 3(a) 및 도 3(b)에 나타냈다. 도 3(a)에서 나타난 바와 같이, 상기 제조된 광 파장 변환 조성물은 밝은 노란색의 강한 발광 특성을 보였고, 이를 통해 광 파장 변환 특성이 있음을 알 수 있었다. 또한, 도 3(b)에서 나타난 바와 같이, 상기 비교군은 가시광 영역의 발광 현상이 발생하지 않아 투명한 용액으로 나타났다.

【0137】 또한, LED 램프(Oriel VeraSol Solar Simulator)를 사용하여 상기 수득한 광 파장 변환 조성물의 특성을 평가하였다. 비교군은 상기와 마찬가지로 상기 광 파장 변환 조성물의 제조에서 사용된 알코올로 하였다. 실내 광원으로 주로 사용되는 LED 램프는 λ = 400~780 nm 영역의 광을 발생시킨다. LED 램프에 의한 특성 평과 결과는 도 4(a) 및 도 4(b)에 나타냈다. 도 4(a)에서 나타난 바와 같이, 상기 제조된 광 파장 변환 조성물은 밝은 노란색의 강한 발광 특성을 보였고, 이를 통해 광 파장 변환 특성이 있음을 알 수 있었다. 또한, 도 4(b)에서 나타난 바와 같이, 상기 비교군은 가시광 영역의 발광 현상이 발생하지 않아 투명한 용액으로 나타났다.

【0139】<제조예 1B> 광 파장 변환층의 제조 및 평가

【0140】상기 제조예 1A에서 제조된 광 파장 변환 조성물을 ITO 글래스 위에 스핀 코팅을 통해 광 파장 변환층을 형성하였다.

【0141】상기 제조예 1A에서 사용된 LED 램프로 상기 형성된 광 파장 변환층의 특성을 평가하였다. 비교군(control)은 상기 제조예 1A에서 광 파장 변환 조성물의 제조에서 사용된 알코올을 ITO 글래스 위에 스핀 코팅한 코팅 박막으로 하였다. LED 램프에 의한 특성 평가 결과는 도 5(a) 및 도 5(b)에 나타냈다. 도 5(a)에서 나타난 바와 같이, 상기 제조된 광 파장 변환층은 발광 특성을 보였다. 또한, 도 5(b)에서 나타난 바와 같이, 상기 비교군은 특징적인 발광 현상이 발생하지 않아 투명한 층으로 나타났다.

【0143】<제조예 2A> 복합 조성물의 제조 및 평가

【0144】본 발명에 따른 태양전지 중 광 파장 변환과 전하수송을 동시에 수행할 수 있는 광 파장 변환층을 형성하기 위해서, 먼저 전도성 분산액인 ZnO 조성물을 제조하였다.

【0145】상기 ZnO 조성물을 제조하기 위해서, 5 mL 바이알을 진공 및 질소 치환하여 준비하였다. 또한, 아세트산 아연 이수화물(Zinc acetate dehydrate, CAS No. 5970-45-6), 2-메톡시에탄올(2-methoxy ethanol) 및 에탄올아민(ethanolamine, ACS reagent, CAS No. 141-43-5)을 상기 바이알에 넣고, 60 ℃의 온도로 맞춰진 핫

플레이트(hot-plate) 상에서 200 rpm의 속도로 약 12 시간 동안 교반하였다. 이때, 아세트산 아연 이수화물은 ZnO로 전이되며, 이에 대한 메커니즘은 Vaccum 2004, 77, 57-62 문헌을 참조하였다. 이후, 졸-겔 과정을 거친 ZnO 전구체(precursor)이 형성되었고 도 6(a)에서 나타난 바와 같이 맑은 용액인 ZnO 조성물을 수득하였다.

【0146】 상기 ZnO 조성물과 상기 제조예 1A에서 제조된 광 파장 변환 조성물을 1:1(v/v), 1:2(v/v) 및 1:5(v/v) 비율로 혼합하여 도 6(b)에서 나타난 바와 같이 맑은 암갈색 용액인 복합 조성물을 수득하였다.

【0148】 λ = 365 nm 영역의 광을 발생시키는 자외선 핸드 램프(UV hand lamp, VL-4L)와 λ = 400~780 nm 영역의 광을 발생시키는 LED 램프(Oriel VeraSol Solar Simulator)를 사용하여 상기 수득한 복합 조성물의 특성을 평가하였다. 비교군(control)은 상기 ZnO 조성물로 사용하였다. 자외선 핸드 램프에 의한 특성 평가 결과는 도 7(a)에 나타냈었고, LED 램프에 의한 특성 평가 결과는 도 7(b)에 나타내었다. ZnO 조성물은 전하수송층을 형성하는데도 사용하므로, 도 7에서 상기 ZnO 조성물을 순수한 전하수송층 용액이라 표시하였다. 복합 조성물은 광 파장 변환과 전하수송의 역할을 동시에 수행하므로, 도 7에서 광 파장 변환 전하수송층 용액이라 표시하였다. 도 7(a) 및 도 7(b)에서 나타난 바와 같이, 복합 조성물은 밝은 노란색의 강한 발광 특성을 보였고, 이를 통해 광 파장 변환 특성이 있음을 알 수 있었다. 또한, 상기 비교군은 가시광 영역의 발광 현상이 발생하지 않아 투명한 용액

으로 나타났다.

【0150】 <제조예 2B> 광 파장 변환층의 제조 및 평가

【0151】 상기 제조예 2A에서 제조된 복합 조성물을 ITO 글래스 위에 스핀 코팅을 통해 광 파장 변환층을 형성하였다.

【0152】 상기 제조예 2A에서 사용된 LED 램프로 상기 형성된 광 파장 변환층의 특성을 평가하였다. 비교군(control)은 상기 제조예 2A에서의 ZnO 조성물을 ITO 글래스 위에 스핀 코팅한 ZnO 층으로 하였다. LED 램프에 의한 광 파장 변환층의 특성 평가 결과는 도 8(a)에 나타냈고, ZnO 층의 특성 평가 결과는 도 8(b)에 나타냈다. 도 8(a)에서 나타난 바와 같이, 상기 제조된 광 파장 변환층은 발광 특성을 보였다. 또한, 도 8(b)에서 나타난 바와 같이, 상기 비교군은 가시광 영역의 발광 현상이 발생하지 않아 투명한 층으로 나타났다.

【0154】 1. 역구조 유기 태양전지의 제조

【0155】 <실시예 1>

【0156】 광 파장 변환층을 포함하는 역구조 유기 태양전지를 제조하기 위해서, 투명 기판; 수광전극(제1 전극); 제1 광 파장 변환층; 광활성층; 정공수송층; 제2 전극의 구조를 도입하였다. 이 때, 광 파장 변환층은 복합 조성물로 형성하였다.

【0157】1.1: 전도성 분산액의 제조

【0158】전도성 분산액으로서 ZnO 전구체를 제조하였다. 상기 제조예 2A에서 ZnO 전구체를 형성했던 방법과 동일하게 하여 ZnO 전구체를 수득하였다.

【0159】1.2: 광 파장 변환 조성물의 제조

【0160】상기 제조예 1A에서와 동일한 방법으로 암갈색의 맑은 용액인 광 파장 변환 조성물을 수득하였다. 수득된 암갈색의 맑은 광 파장 변환층 조성물을 상온에서 롤-믹서에 교반하여 보관하였다.

【0161】1.3: 복합 조성물의 제조

【0162】상기 1.1 단계에서 제조한 전도성 분산액과 상기 1.2 단계에서 제조한 광 파장 변환 조성물을 혼합하여 복합 조성물을 제조하였다. 이 때, 상기 전도성 분산액과 상기 광 파장 변환 조성물은 1:2의 부피비로 혼합하였다.

【0163】1.4: 역구조 유기 태양전지의 제조(1) | 준비 및 전처리

【0164】패턴화된 ITO 글래스를 아세톤(acetone, CAS: 67-64-1), 중성세제(alconox detergent), 2-프로판올(2-propanol) 및 증류수(distilled water) 순서로 초음파 세척기에서 초음파 처리를 통해 습식 세정 과정을 거쳤다. 각 단계 별로 초음파 처리 후 증류수로 헹구어주고, 질소(N_2) 가스로 수분을 제거하였다. 습식 세정 과정 이후, ITO 글래스를 핫 플레이트 위에서 120 ℃의 온도로 10 분동안 건조하였다. 건조된 ITO 글래스를 자외선-오존 세척기(UV-ozone cleaner) 장치에서 자외선-오존 처리를 통하여 표면을 친수성(hydrophilic)으로 개질하였다.

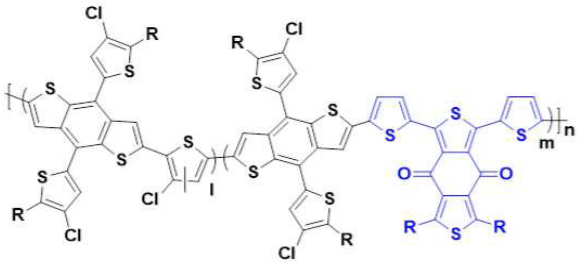
【0165】1.5: 역구조 유기 태양전지의 제조(2) | 제1 광 파장 변환층 코팅

【0166】상기 1.3 단계에서 준비된 복합 조성물을 대기 중에서 상기 개질된 ITO 글래스 위로 10 nm 두께가 되도록 스핀코팅 하였다. 이 때, 형성되고 있는 광 파장 변환층이 중심으로부터 바깥쪽으로 원형을 그리며 건조되는 모습을 육안으로 관찰하였다. 스핀코팅은 원형으로 모이는 모습이 없어질 때까지 수행하였으며, 약 30 초 동안 이루어졌다. 도 9에 나타난 바와 같이, 제1 광 파장 변환층은 투명한 박막으로 형성되었음을 확인할 수 있다.

【0167】1.6: 역구조 유기 태양전지의 제조(3) | 광활성 조성물 제조 및 광활성층 코팅

【0168】전자 주개 물질인 P(Cl-Cl)(BDD=0.2)와 전자 받개 물질인 IT-4F를 1:1(w/w)로 혼합하여 사용함으로써 벌크 헤테로 정션 구조를 형성하여 광활성 조성물을 제조하였다. 상기 전자 주개 물질인 P(Cl-Cl)(BDD=0.2)은 하기에 나타낸 화학식 10과 같고 화학식 10에서의 n은 1 내지 10,000 사이의 정수이다(대한민국 특허출원번호 제10-2020-0052656호 참조). 상기 전자 받개 물질인 IT-4F는 하기에 나타낸 화학식 11과 같다.

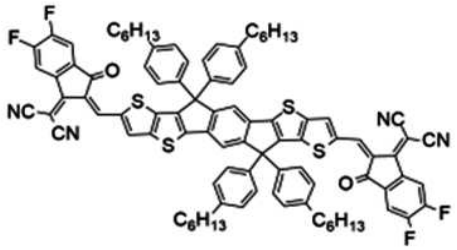
【0169】[화학식 10]



P(Cl-Cl)(BDD=0.2) (l=0.8, m=0.2)
R = 2-Ethylhexyl

【0170】

【0171】[화학식 11]



【0172】

【0173】1,8-디아이오도옥탄(1,8-diiodooctane, CAS No. 24772-63-2) 1.0 부피비를 기준으로 0.5 내지 1.0 부피비로 클로로벤젠 무수화물(chlorobenzene anhydrous, CAS No. 108-90-7)을 포함하는 용매를 준비하고, 상기 용매 1.0 중량비를 기준으로 상기 P(Cl-Cl)(BDD=0.2)과 IT-4F의 혼합 조성물을 0.5 내지 1.5 중량비를 상기 용매에 첨가하여 광활성 조성물을 수득하였다.

【0174】상기 광 파장 변환층이 형성된 박막 상에 상기 광활성 조성물을 코팅하기 전, 상기 광활성 조성물을 대기 중에서 90 ℃의 온도로 활성화 과정을 거쳤고 이후 90 ℃의 온도로 다시 활성화 과정을 거쳤다. 이후, 스핀코팅을 이용하여 상기 광 파장 변환층이 형성된 박막 상에 80 내지 120 nm 두께의 박막을 형성하였다. 형성된 박막(광활성층)은 100 ℃ 내지 160 ℃의 핫플레이트에서 15 분간 열처

리하였다.

【0175】 1.7: 역구조 유기 태양전지의 제조(4) | 정공수송층 코팅 및 제2 전극 형성

【0176】 1.6 단계에서 형성된 광활성층 상에 정공수송층을 코팅하고 및 제2 전극을 형성하기 위해, 1.6 단계에서 형성된 적층체를 크라이오 펌프(cryo-pump)를 사용하는 고진공(10^{-6} torr 미만) 진공 챔버로 이동시켰다. 이후, 삼산화몰리브데넘(molybdenum trioxide, MoO_3, CAS No. 1313-27-5)을 0.1 내지 0.5 Å/s의 속도에서 1 내지 10 nm 두께로 열 증착하여 정공수송층을 형성하였다. 이후, 은(argentum, Ag, CAS No. 7440-22-4)을 0.1 내지 3.0 Å/s의 속도에서 10 내지 100 nm 두께로 열 증착하여 상기 정공수송층 위에 제2 전극을 형성하여, 역구조 유기 태양전지(광활성 면적 0.04 cm^2)를 제조하였다.

【0178】 <실시예 2>

【0179】 광 파장 변환층을 포함하는 역구조 유기 태양전지를 제조하기 위해서, 투명 기판; 수광전극(제1 전극); 전자수송층; 제1 광 파장 변환층; 광활성층; 정공수송층; 제2 전극의 구조를 도입하였다.

【0180】 2.1: 전도성 분산액의 제조

【0181】 상기 1.1 단계와 마찬가지로 전도성 분산액인 ZnO 전구체를 수득하였다.

【0182】2.2: 광 파장 변환 조성물의 제조

【0183】상기 1.2 단계와 마찬가지로 광 파장 변환 조성물을 수득하였다.

【0184】2.3: 역구조 유기 태양전지의 제조(1) | 준비 및 전처리

【0185】상기 1.4 단계와 마찬가지로 개질된 ITO 글래스를 제조하였다.

【0186】2.4: 역구조 유기 태양전지의 제조(2) | 전자수송층 코팅

【0187】상기 전처리 과정을 거친 ITO 글래스에 상기 2.1 단계에서 준비된 ZnO 전구체를 2-메톡시에탄올(2-methoxy ethanol)에 1:1 내지 1:5의 비율로 희석하여 대기 중에서 30 내지 40 nm 두께로 스핀코팅하여 박막을 형성하였다. 이후, 핫플레이트 상에서 150 ℃ 내지 200 ℃의 온도로 30 분 내지 1 시간 동안 가열하여 소성하였다. 이 때, 형성된 박막은 도 10에 나타난 바와 같이 투명한 층으로 나타났다.

【0188】2.5: 역구조 유기 태양전지의 제조(3) | 제1 광 파장 변환층 코팅

【0189】상기 전자수송층이 형성된 박막 상에 제1 광 파장 변환층을 형성하기 위해서, 상기 2.2 단계에서 준비된 광 파장 변환 조성물을 대기 중에서 상기 전자수송층이 형성된 박막 위로 10 nm 두께가 되도록 스핀코팅 하였다. 이 때, 형성되고 있는 광 파장 변환층이 중심으로부터 바깥쪽으로 원형을 그리며 건조되는 모습을 육안으로 관찰하였다. 스핀코팅은 원형으로 모이는 모습이 없어질 때까지 수행하면서 제1 광 파장 변환층을 형성하였다.

【0190】2.6: 역구조 유기 태양전지의 제조(4) | 광활성층 코팅, 정공수송층 코팅 및 제2 전극 형성

【0191】상기 1.6 단계 및 1.7 단계와 마찬가지로, 광활성층을 코팅한 후에 정공소송층 및 제2 전극을 형성하여 역구조 유기 태양전지(광활성 면적 0.04 cm^2)를 제조하였다.

【0193】<실시예 3>

【0194】광 파장 변환층을 포함하는 역구조 유기 태양전지를 제조하기 위해서, 투명 기판; 수광전극(제1 전극); 제1 광 파장 변환층; 전자수송층; 광활성층; 정공수송층; 제2 전극의 구조를 도입하였다.

【0195】3.1: 전도성 분산액의 제조

【0196】상기 1.1 단계와 마찬가지로 전도성 분산액인 ZnO 전구체를 수득하였다.

【0197】3.2: 광 파장 변환 조성물의 제조

【0198】상기 1.2 단계와 마찬가지로 광 파장 변환 조성물을 수득하였다.

【0199】3.3: 역구조 유기 태양전지의 제조(1) | 준비 및 전처리

【0200】상기 1.4 단계와 마찬가지로 개질된 ITO 글래스를 제조하였다.

【0201】3.4: 역구조 유기 태양전지의 제조(2) | 제1 광 파장 변환층 코팅

【0202】상기 전처리 과정을 거친 ITO 글래스에 제1 광 파장 변환층을 형성하기 위해서, 상기 3.2 단계에서 준비된 광 파장 변환 조성물을 대기 중에서 상기 전처리 과정을 거친 ITO 글래스 위로 10 nm 두께가 되도록 스핀코팅 하였다. 이때, 형성되고 있는 광 파장 변환층이 중심으로부터 바깥쪽으로 원형을 그리며 건조되는 모습을 육안으로 관찰하였다. 스핀코팅은 원형으로 모이는 모습이 없어질 때까지 수행하면서 제1 광 파장 변환층을 형성하였다.

【0203】3.5: 역구조 유기 태양전지의 제조(3) | 전자수송층 코팅

【0204】상기 광 파장 변환층이 형성된 박막 상에 전자수송층을 형성하기 위해서, 상기 3.1 단계에서 준비된 ZnO 전구체를 2-메톡시에탄올(2-methoxy ethanol)에 1:1 내지 1:5의 비율로 희석하여 대기 중에서 30 내지 40 nm 두께로 스핀코팅하여 박막을 형성하였다. 이후, 핫플레이트 상에서 150 ℃ 내지 200 ℃의 온도로 30 분 내지 1 시간 동안 가열하여 소성하였다.

【0205】3.6: 역구조 유기 태양전지의 제조(4) | 광활성층 코팅, 정공수송층 코팅 및 제2 전극 형성

【0206】상기 1.6 단계 및 1.7 단계와 마찬가지로, 광활성층을 코팅한 후에 정공소송층 및 제2 전극을 형성하여 역구조 유기 태양전지(광활성 면적 0.04 cm^2)를 제조하였다.

【0208】<실시예 4>

【0209】광 파장 변환층을 포함하는 역구조 유기 태양전지를 제조하기 위해서, 투명 기판; 수광전극(제1 전극); 제1 광 파장 변환층; 광활성층; 제2 광 파장 변환층; 제2 전극의 구조를 도입하였다. 이 때, 제1 전극과 광활성층 사이에 위치한 광 파장 변환층은 복합 조성물로 형성하였다.

【0210】4.1: 전도성 분산액의 제조

【0211】상기 1.1 단계와 마찬가지로 전도성 분산액인 ZnO 전구체를 수득하였다.

【0212】4.2: 광 파장 변환 조성물의 제조

【0213】상기 1.2 단계와 마찬가지로 광 파장 변환 조성물을 수득하였다.

【0214】4.3: 정공수송 물질의 제조

【0215】5 mL 바이알을 진공 및 질소 치환하여 준비하고 PEDOT:PSS를 투입하였다. 또한, 용매를 상기 바이알에 넣고, 핫플레이트(hot-plate) 상에서 교반하였다. 이후 정공수송 조성물인 PEDOT:PSS용액을 수득하고, 수득된 PEDOT:PSS 용액을 대기 중에서 보관하였다.

【0216】4.4: 복합 조성물의 제조

【0217】상기 4.1 단계에서 제조한 전도성 분산액과 상기 4.2 단계에서 제조한 광 파장 변환 조성물을 혼합하여 복합 조성물을 제조하였다. 이 때, 상기 전도성 분산액과 상기 광 파장 변환 조성물은 1:2의 부피비로 혼합하였다.

【0218】4.5: 역구조 유기 태양전지의 제조(1) | 준비 및 전처리

【0219】상기 1.4 단계와 마찬가지로 개질된 ITO 글래스를 제조하였다.

【0220】4.6: 역구조 유기 태양전지의 제조(2) | 제1 광 파장 변환층 코팅

【0221】상기 전처리 과정을 거친 ITO 글래스에 제1 광 파장 변환층을 형성하기 위해서, 상기 4.4 단계에서 준비된 복합 조성물을 대기 중에서 상기 전처리 과정을 거친 ITO 글래스 위로 10 nm 두께가 되도록 스핀코팅 하였다. 이 때, 형성되고 있는 광 파장 변환층이 중심으로부터 바깥쪽으로 원형을 그리며 건조되는 모습을 육안으로 관찰하였다. 스핀코팅은 원형으로 모이는 모습이 없어질 때까지 수행하면서 제1 광 파장 변환층을 형성하였다.

【0222】4.7: 역구조 유기 태양전지의 제조(3) | 광활성 조성물 제조 및 광활성층 코팅

【0223】상기 1.6 단계와 마찬가지로 광활성 조성물을 제조한 후, 광활성층을 형성하였다.

【0224】4.8: 역구조 유기 태양전지의 제조(4) | 제2 광 파장 변환층 코팅

【0225】상기 4.3 단계에서 제조한 정공수송 물질과 상기 4.2 단계에서 제조한 광 파장 변환 조성물을 혼합하고, 상기 광활성층이 형성된 박막 상에 대기 중에서 코팅하여 제2 광 파장 변환층을 형성하였다. 상기 광활성층이 형성된 박막 위로 10 nm 두께가 되도록 스핀코팅 하였다. 이 때, 형성되고 있는 광 파장 변환층이 중심으로부터 바깥쪽으로 원형을 그리며 건조되는 모습을 육안으로 관찰하였다. 스핀코팅은 원형으로 모이는 모습이 없어질 때까지 수행하면서 제2 광 파장 변환층을

형성하였다.

【0226】 4.9: 역구조 유기 태양전지의 제조(5) | 제2 전극 형성

【0227】 상기 1.7 단계와 마찬가지로, 제2 전극을 형성하여 역구조 유기 태양전지(광활성 면적 0.04 cm^2)를 제조하였다.

【0229】 <실시예 5>

【0230】 광 파장 변환층을 포함하는 역구조 유기 태양전지를 제조하기 위해서, 투명 기판; 수광전극(제1 전극); 제1 광 파장 변환층; 전자수송층; 광활성층; 정공수송층; 제2 광 파장 변환층; 제2 전극의 구조를 도입하였다.

【0231】 5.1: 전도성 분산액의 제조

【0232】 상기 1.1 단계와 마찬가지로 전도성 분산액인 ZnO 전구체를 수득하였다.

【0233】 5.2: 광 파장 변환 조성물의 제조

【0234】 상기 1.2 단계와 마찬가지로 광 파장 변환 조성물을 수득하였다.

【0235】 5.3: 정공수송 물질의 제조

【0236】 상기 4.3 단계와 마찬가지로 정공수송 물질인 PEDOT:PSS용액을 수득하였다.

【0237】 5.4: 역구조 유기 태양전지의 제조(1) | 준비 및 전처리

【0238】 상기 1.4 단계와 마찬가지로 개질된 ITO 글래스를 제조하였다.

【0239】5.5: 역구조 유기 태양전지의 제조(2) | 제1 광 파장 변환층 코팅

【0240】상기 전처리 과정을 거친 ITO 글래스에 제1 광 파장 변환층을 형성하기 위해서, 상기 5.2 단계에서 준비된 광 파장 변환 조성물을 대기 중에서 상기 전처리 과정을 거친 ITO 글래스 위로 10 nm 두께가 되도록 스핀코팅 하였다. 이때, 형성되고 있는 광 파장 변환층이 중심으로부터 바깥쪽으로 원형을 그리며 건조되는 모습을 육안으로 관찰하였다. 스핀코팅은 원형으로 모이는 모습이 없어질 때까지 수행하면서 제1 광 파장 변환층을 형성하였다.

【0241】5.6: 역구조 유기 태양전지의 제조(3) | 전자수송층 코팅

【0242】상기 광 파장 변환층이 형성된 박막 상에 전자수송층을 형성하기 위해서, 상기 5.1 단계에서 준비된 ZnO 전구체를 2-메톡시에탄올(2-methoxy ethanol)에 1:1 내지 1:5의 비율로 희석하여 대기 중에서 30 내지 40 nm 두께로 스핀코팅하여 박막을 형성하였다. 이후, 핫플레이트 상에서 150 ℃ 내지 200 ℃의 온도로 30 분 내지 1 시간 동안 가열하여 소성하였다.

【0243】5.7: 역구조 유기 태양전지의 제조(4) | 광활성 조성물 제조 및 광활성층 코팅

【0244】상기 1.6 단계와 마찬가지로 광활성 조성물을 제조한 후, 상기 전자수송층이형성된 박막 상에 광활성층을 형성하였다.

【0245】5.8: 역구조 유기 태양전지의 제조(5) | 정공수송층 코팅

【0246】상기 광활성층이 형성된 박막 상에 정공수송층을 형성하기 위해서, 상기 5.3 단계에서 준비된 PEDOT:PSS 용액을 대기 중에서 스핀코팅하여 박막을 형성하였다.

【0247】5.8: 역구조 유기 태양전지의 제조(6) | 제2 광 파장 변환층 코팅

【0248】상기 정공수송층이 형성된 박막 상에 제2 광 파장 변환층을 형성하기 위해서, 상기 5.2 단계에서 준비된 광 파장 변환 조성물을 대기 중에서 상기 정공수송층이 형성된 박막 위로 10 nm 두께가 되도록 스핀코팅 하였다. 이 때, 형성되고 있는 광 파장 변환층이 중심으로부터 바깥쪽으로 원형을 그리며 건조되는 모습을 육안으로 관찰하였다. 스핀코팅은 원형으로 모이는 모습이 없어질 때까지 수행하면서 제2 광 파장 변환층을 형성하였다.

【0249】5.9: 역구조 유기 태양전지의 제조(7) | 제2 전극 형성

【0250】상기 1.7 단계와 마찬가지로, 제2 전극을 형성하여 역구조 유기 태양전지(광활성 면적 0.04 cm^2)를 제조하였다.

【0252】<비교실시예 1>

【0253】광 파장 변환층이 포함되지 않은 일반적인 역구조 유기 태양전지(광활성 면적 0.04 cm^2)를 제조하였다. 즉, 투명 기판; 수광전극(제1 전극); 전자수송층; 광활성층; 정공수송층; 제2 전극의 구조를 도입하였다.

【0254】이 때, 투명 기판 및 제1 전극은 상기 1.4 단계와 마찬가지로 개질된 ITO 글래스를 사용하였다. 또한, 전자수송층은 상기 2.4 단계와 마찬가지 방법으로 상기 개질된 ITO 글래스 위에 ZnO 전구체를 코팅하여 형성되었다. 또한, 광활성층은 상기 1.6 단계와 마찬가지로 광활성 조성물을 제조한 후, 상기 전자수송층 위에 코팅하여 형성되었다. 또한, 정공수송층 및 제2 전극은 상기 1.7 단계와 마찬가지로 상기 광활성층 위에 MoO_3를 증착하고 그 위에 은(Ag)을 증착하여 형성되었다.

【0256】<비교실시예 2>

【0257】투명 기판; 수광전극(제1 전극); 전자수송층; 광활성층; 제2 광 파장 변환층; 제2 전극의 구조를 도입한 역구조 유기 태양전지(광활성 면적 0.04 cm^2)를 제조하였다.

【0258】이 때, 투명 기판 및 제1 전극은 상기 1.4 단계와 마찬가지로 개질된 ITO 글래스를 사용하였다. 또한, 전자수송층은 상기 2.4 단계와 마찬가지 방법으로 상기 개질된 ITO 글래스 위에 ZnO 전구체를 코팅하여 형성되었다. 또한, 광활성층은 상기 1.6 단계와 마찬가지로 광활성 조성물을 제조한 후, 상기 전자수송층 위에 코팅하여 형성되었다. 또한, 광 파장 변환층은 상기 4.8 단계와 마찬가지로 정공수송 물질과 광 파장 변환 조성물을 혼합한 뒤 광활성층 위에 코팅하여 형성되었다. 또한, 제2 전극은 상기 1.7 단계와 마찬가지로 은(Ag)을 증착하여 형성되었

다.

【0260】 <비교실시예 3>

【0261】 투명 기판; 수광전극(제1 전극); 전자수송층; 광활성층; 제2 광 파장 변환층; 정공수송층; 제2 전극의 구조를 도입한 역구조 유기 태양전지(광활성 면적 0.04 cm^2)를 제조하였다.

【0262】 이 때, 투명 기판 및 제1 전극은 상기 1.4 단계와 마찬가지로 개질된 ITO 글래스를 사용하였다. 또한, 전자수송층은 상기 2.4 단계와 마찬가지 방법으로 상기 개질된 ITO 글래스 위에 ZnO 전구체를 코팅하여 형성되었다. 또한, 광활성층은 상기 1.6 단계와 마찬가지로 광활성 조성물을 제조한 후, 상기 전자수송층 위에 코팅하여 형성되었다. 또한, 광 파장 변환층은 광활성층 위에 상기 1.2 단계에서 제조한 광 파장 변환 조성물을 코팅하여 형성되었다. 또한, 정공수송층 및 제2 전극은 상기 1.7 단계와 마찬가지로 상기 광활성층 위에 MoO_3를 증착하고 그 위에 은(Ag)을 증착하여 형성되었다.

【0264】 <비교실시예 4>

【0265】 투명 기판; 수광전극(제1 전극); 전자수송층; 광활성층; 정공수송층; 제2 광 파장 변환층; 제2 전극의 구조를 도입한 역구조 유기 태양전지(광활성 면적 0.04 cm^2)를 제조하였다.

【0266】이 때, 투명 기판 및 제1 전극은 상기 1.4 단계와 마찬가지로 개질된 ITO 글래스를 사용하였다. 또한, 전자수송층은 상기 2.4 단계와 마찬가지 방법으로 상기 개질된 ITO 글래스 위에 ZnO 전구체를 코팅하여 형성되었다. 또한, 광활성층은 상기 1.6 단계와 마찬가지로 광활성 조성물을 제조한 후, 상기 전자수송층 위에 코팅하여 형성되었다. 또한, 정공수송층은 상기 5.8 단계와 마찬가지로 상기 광활성층 위에 PEDOT:PSS를 도입하여 형성되었다. 또한, 광 파장 변환층은 정공수송층 위에 상기 1.2 단계에서 제조한 광 파장 변환 조성물을 코팅하여 형성되었다. 또한, 제2 전극은 상기 1.7 단계와 마찬가지로 은(Ag)을 증착하여 형성되었다.

【0267】상기 제조된 유기 태양전지의 구조를 정리하면 표 1과 같다. 구별의 용이를위해 하기 표 1에서는 제1 광 파장 변환층과 제2 광 파장 변환층은 광 파장 변환층으로 병행 기재하였다.

【0268】**【표 1】**

구분	유기 태양전지의 구조
실시예 1	제1전극/광파장변환층(ZnO 혼합)/광활성층/정공수송층/제2전극
실시예 2	제1전극/전자수송층/광파장변환층/광활성층/정공수송층/제2전극
실시예 3	제1전극/광파장변환층/전자수송층/광활성층/정공수송층/제2전극
실시예 4	제1전극/광파장변환층(ZnO 혼합)/광활성층/광파장변환층(MoO3 혼합)/제2전극
실시예 5	제1전극/광파장변환층/전자수송층/광활성층/정공수송층/광파장변환층/제2전극
비교실시예 1	제1전극/전자수송층/광활성층/정공수송층/제2전극
비교실시예 2	제1전극/전자수송층/광활성층/광파장변환층(PEDOT:PSS 혼합)/제2전극
비교실시예 3	제1전극/전자수송층/광활성층/광파장변환층/정공수송층/제2전극
비교실시예 4	제1전극/전자수송층/광활성층/정공수송층/광파장변환층/제2전극

【0270】2. 대면적 역구조 유기 태양전지의 제조

【0271】<실시예 6>

【0272】상기 실시예 1과 동일한 방법으로 유기 태양전지를 제조하되, ITO 글래스에 형성된 패턴을 변경하여, 기존 면적인 0.04 cm^2 보다 25 배 더 큰 1.0 cm^2의 광활성 면적을 가진 대면적 역구조 유기 태양전지를 제작하였다. 이 때, 상기 광 파장 변환층은 30 내지 50 nm 두께로, 상기 광활성층은 100 내지 130 nm의 두께 및 상기 정공수송층은 0.5 Å/s의 속도에서 3 내지 12 nm의 두께로 형성되었다.

【0274】<실시예 7>

【0275】상기 비교실시예 2와 동일한 방법으로 유기 태양전지를 제조하되, ITO 글래스에 형성된 패턴을 변경하여, 기존 면적인 0.04 cm^2 보다 25 배 더 큰 1.0 cm^2의 광활성 면적을 가진 대면적 역구조 유기 태양전지를 제작하였다.

【0277】<비교실시예 5>

【0278】상기 비교실시예 1과 동일한 방법으로 유기 태양전지를 제조하되, ITO 글래스에 형성된 패턴을 변경하여, 기존 면적인 0.04 cm^2 보다 25 배 더 큰 1.0 cm^2의 광활성 면적을 가진 대면적 역구조 유기 태양전지를 제작하였다.

【0280】<비교실시예 6>

【0281】상기 비교실시예 4와 동일한 방법으로 유기 태양전지를 제조하되, ITO 글래스에 형성된 패턴을 변경하여, 기존 면적인 0.04 cm^2 보다 25 배 더 큰 1.0 cm^2의 광활성 면적을 가진 대면적 역구조 유기 태양전지를 제작하였다.

【0283】3. 특성 평가 시험 및 결과

【0284】<시험예 1> 복합 조성물로 형성된 광 파장 변환층의 광학 특성 평가

【0285】상기 제조예 2B에서 형성된 광 파장 변환층과 ZnO층을 자외선-가시광 분광(UV-vis spectroscopy, Agilent 8453) 분석 및 발광 분광(photoluminescence spectroscopy, Perkin Elmer LS55) 분석을 수행하였다. 측정을 위해 상기 제조예 2B에서 사용된 동일한 ITO 글래스를 블랭크(blank)로 설정하고, 광 파장 변환층과 ZnO층의 광학 특성을 측정하였다. 상기 광학 특성 분석의 결과는 도 11(a) 및 도 11(b)에 나타냈다. 본 시험예 1은 [Materials Chemistry Frontiers, 2020, 4, 421-436] 및 [Chemical Communications, 2012, 48, 3686-3699] 문헌을 참조하였다.

【0286】자외선-가시광 분광 분석의 결과를 도 11(a)에 나타냈다. 도 11(a)를 참조하면, λ=300~375 nm의 광을 ZnO 층에 비해 광 파장 변환층이 더 많이 흡광하는 것을 확인할 수 있다. 그래핀 양자점의 흡광 영역인 λ=430 nm 영역에서, 여기자(excitation)을 통한 발광 분광 분석의 결과를 도 11(b)에 나타내었다. 도 11(b)를 참조하면, 광 파장 변환층은 λ=550~650 nm 및 λ=650~850 nm 영역에서

ZnO층에 비해 높은 발광 특성을 보였다.

【0287】 도 11(a) 및 도 11(b)를 통하여, 광 파장 변환층 내의 그래핀 양자점이 단파장대 영역의 광을 흡수하여 장파장대 영역의 광을 방출함으로써, 효과적인 광 파장 변환 작용으로 상기와 같은 결과가 나타난 것으로 보여진다.

【0289】 <시험예 2> 유기 태양전지의 실외 환경(1 sun) 특성 평가

【0290】 실시예 1 내지 5 및 비교실시예 1 내지 4에서 제조된 유기 태양전지(광활성 면적 0.04 cm^2)는 솔라 시뮬레이터(New port Oriel, 100 mW/cm^2)를 통해 특성이 분석되었고, 그 결과는 하기 표 2로 나타내었다.

【0291】 구체적으로, 솔라 시뮬레이터는 대기 질량(Air mass: AM) 1.5 G 필터로 특성화 되었다. 또한, 상기 솔라 시뮬레이터는 AIST-인증된 실리콘 기준 소자를 이용하여 100 mW/cm^2로 세기가 보정되었다. 상기 실시예 및 비교실시예의 전류-전압 거동은 Keithley 2400 SMU를 이용하여 측정되었다.

【0292】 본 시험예를 통해, 유기 태양전지의 특성 평가 요소인 단락 전류밀도(short circuit current density, J_{sc}), 개방 전압(open circuit voltage, V_{oc}), 필 팩터(fill factor, FF) 및 광전 변환 효율(power conversion efficiency, PCE)를 측정하였다. 이 때, 필 팩터(FF)는 최대 전력점에서 [전압(V_{max}) × 전류밀도(J_{max})] / [(개방 전압(V_{oc}) × 단락 전류밀도(J_{sc})]로 계산되었다. 또한, 광전 변환 효율(PCE)는 [단락 전류밀도(J_{sc}) × 개방 전압(V_{oc}) * 필 팩터(FF)] / P_{in}(=100

mW/cm^2)로 계산되었다. 외부 양자효율(External quantum efficiency, EQE) 거동은 Polaronix K3100 IPCE 측정 시스템(McScience Inc.)을 이용하여 측정하였다.

【0293】 **【표 2】**

유기 태양전지	J_{sc}(mA/cm^2)	V_{oc}(V)	FF(%)	PCE(%)
실시예 1	22.6	0.858	72.1	14.0
실시예 2	21.6	0.858	72.2	13.5
실시예 3	20.8	0.858	72.5	12.9
실시예 4	21.5	0.858	72.0	13.3
실시예 5	20.5	0.858	71.7	12.6
비교실시예 1	20.2	0.878	70.5	12.5
비교실시예 2	20.4	0.858	69.5	12.2
비교실시예 3	20.4	0.858	68.5	12.0
비교실시예 4	19.6	0.858	68.6	11.6

【0294】 상기 표 2에 나타난 결과를 보면, 실시예 1 내지 5 및 비교실시예 1 내지 4에서 제조된 유기 태양전지의 특성을 확인할 수 있다. 비교실시예 1에 따라 제조된 유기 태양전지(제1 전극; 전자수송층; 광활성층; 정공수송층; 제2 전극의 구조)의 단락 전류밀도(J_{sc})는 20.0 mA/cm^2, 개방 전압(V_{oc})은 0.878 V, 필 팩터(FF)는 70.5%로 나타났고, 이에 따라 계산된 광전 변환 효율(PCE)은 12.5 %로 나타났다.

【0295】 광 파장 변환층이 수광전극(제1 전극)과 광활성층 사이에 위치한 실시예 1에 따라 제조된 유기 태양전지(제1 전극; 광 파장 변환층; 광활성층; 정공수송층; 제2 전극의 구조), 실시예 2에 따라 제조된 유기 태양전지(제1 전극; 전자수송층; 광 파장 변환층; 광활성층; 정공수송층; 제2 전극의 구조), 실시예 3에 따라 제조된 유기 태양전지(제 1전극; 광 파장 변환층; 전자수송층; 광활성층; 정공수송

층; 제2 전극의 구조), 실시예 4에 따라 제조된 유기 태양전지(제1 전극; 광 파장 변환층; 광활성층; 광 파장 변환층; 제2 전극) 및 실시예 5에 따라 제조된 유기 태양전지(제1 전극; 광 파장 변환층; 전자수송층; 광활성층; 정공수송층; 광 파장 변환층; 제2 전극)의 단락 전류밀도(J_{sc})와 필 팩터(FF)가 비교실시예 1에 따라 제조된 유기 태양전지의 단락 전류밀도(J_{sc})와 필 팩터(FF) 보다 크고, 더 우수한 광전 변환 효율(PCE)를 보였다. 특히, 광 파장 변환층이 전자수송층의 역할을 병행하고 있는 실시예 1에 따라 제조된 유기 태양전지는 실시예 중에서도 가장 높은 광전 변환 효율(PCE)을 보였다. 이는, 유기 태양전지가 전자수송층과 광 파장 변환층을 별도로 구비하기 보다는 전자수송의 역할을 수행하는 광 파장 변환층을 형성시키는 것이 더 우수한 유기 태양전지를 얻을 수 있음을 보여준다. 실시예 1에 따라 제조된 유기 태양전지와 비교실시예 1에 따라 제조된 유기 태양전지의 전류-전압 특성을 도 12(a)에 나타내었고, 도 12(b)를 통해 이들의 외부 양자효율(EQE) 거동을 나타냈다. 도 12(a) 및 도 12(b)를 참조하면, 실시예 1에 따라 제조된 유기 태양전지의 단락 전류밀도가 비교실시예 1에 따라 제조된 유기 태양전지의 단락 전류밀도에 비해서 두드러지게 향상되어 있는 것을 확인할 수 있다.

【0296】광 파장 변환층이 광활성층과 수광전극의 반대전극(제2 전극) 사이에 위치한 비교실시예 2에 따라 제조된 유기 태양전지(제1 전극; 전자수송층; 광활성층; 광 파장 변환층; 제2 전극의 구조), 비교실시예 3에 따라 제조된 유기 태양전지(제1 전극; 전자수송층; 광활성층; 광 파장 변환층; 정공수송층; 제2 전극의 구조) 및 비교실시예 4에 따라 제조된 유기 태양전지(제1 전극; 전자수송층; 광활

성층; 정공수송층; 광 파장 변환층; 제2 전극의 구조)의 광전 변환 효율(PCE)은 광 파장 변환층을 포함하지 않는 비교실시예 1의 광전 변환 효율(PCE)에 비해서 낮은 결과를 보였다. 이러한 결과는 광 파장 변환층을 도입할 때, 광 파장 변환층이 제1 전극과 광활성층 사이라는 특정 위치에 있을 때 더 우수한 성능을 가진 유기 태양전지를 제조할 수 있음을 보여준다.

【0297】실시예 4에 따라 제조된 유기 태양전지는 실시예 1에 따라 제조된 유기 태양전지에서 정공수송층을 MoO_3가 포함된 광 파장 변환층으로 치환된 구조를 가지고 있다. 그 결과, 실시예 4에 따라 제조된 유기 태양전지는 비교실시예 1 내지 4에 비해서 우수한 특성을 나타내곤 있으나 실시예 1에 따라 제조된 유기 태양전지에 비해서는 그 특성이 저하된 모습을 보였다. 또한 이와 마찬가지로, 실시예 5에 따라 제조된 유기 태양전지는 실시예 3에 따라 제조된 유기 태양전지에서 제2 전극과 정공수송층 사이에 광 파장 변환층을 삽입한 구조를 가지고 있는데, 실시예 3에 따라 제조된 유기 태양전지에 비해서 그 특성이 저하된 모습을 보였다. 다시 말하면 광 파장 변환층을 도입할 때, 광 파장 변환층이 제1 전극과 광활성층 사이에 위치하더라도 광활성층과 제2 전극 사이에 광 파장 변환층을 도입하면 오히려 성능이 감소하는 것으로 나타났다.

【0299】<시험예 3> 대면적 유기 태양전지의 실외 환경(1 sun) 특성 평가

【0300】실시예 6 및 비교실시예 5에서 제조된 대면적 유기 태양전지(광활성 면적 1.00 cm^2)는 특성이 분석되었고, 그 결과는 하기 표 3으로 나타내었다.

【0301】【표 3】

유기 태양전지	J_{sc}(mA/cm^2)	V_{oc}(V)	FF(%)	PCE(%)
실시예 6	21.9	0.899	59.5	11.7
비교실시예 5	20.9	0.878	58.0	10.6

【0302】상기 표 3에 나타난 결과를 보면, 실시예 6 및 비교실시예 5에서 제조된 유기 태양전지의 특성을 확인할 수 있다. 실시예 6에 따라 제조된 대면적 유기 태양전지의 단락 전류밀도(J_{sc})는 21.9 mA/cm^2, 개방 전압(V_{oc})은 0.899 V, 필 팩터(FF)는 59.5%로 나타났고, 이에 따라 계산된 광전 변환 효율(PCE)은 11.7 %로 나타났다. 비교실시예 5에 따라 제조된 대면적 유기 태양전지의 단락 전류밀도(J_{sc})는 20.9 mA/cm^2, 개방 전압(V_{oc})은 0.878 V, 필 팩터(FF)는 58.0%로 나타났고, 이에 따라 계산된 광전 변환 효율(PCE)은 10.6 %로 나타났다.

【0303】실시예 6에 따라 제조된 대면적 유기 태양전지(광활성 면적 1.00 cm^2)는 광활성 면적이 0.04 cm^2인 실시예 1 내지 5에 따라 제조된 유기 태양전지에 비해 면적이 넓어 전반적으로 필 팩터(FF)가 감소되었다. 다만, 제1 전극과 광활성층 사이에 광 파장 변환층을 포함한 실시예 6에 따라 제조된 대면적 유기 태양전지의 특성이 광 파장 변환층을 삽입하지 않은 비교실시예 5에 따라 제조된 대면적 유기 태양전지의 특성에 비해서 더 우수함을 보이고 있다. 실시예 6에 따라 제조된 대면적 유기 태양전지와 비교실시예 5에 따라 제조된 대면적 유기 태양전지의 전류

-전압 특성을 도 13(a)에 나타내었고, 도 13(b)를 통해 이들의 외부 양자효율(EQE) 거동을 나타냈다. 도 13(a) 및 도 13(b)를 참조하면, 실시예 6에 따라 제조된 대면적 유기 태양전지의 단락 전류밀도가 비교실시예 5에 따라 제조된 대면적 유기 태양전지의 단락 전류밀도에 비해서 두드러지게 향상되어 있는 것을 확인할 수 있다.

【0305】<시험예 4> 유기 태양전지의 실내 환경(1,000 lux 및 200 lux) 특성 평가

【0306】실시예 1 및 3, 비교실시예 1 및 4에서 제조된 유기 태양전지(광활성 면적 0.04 cm^2)는 인도어(indoor) 솔라 시뮬레이터(Yamashita denso, 5000 K LEDs lamps)를 통해 특성이 분석되었고, 그 결과는 하기 표 4로 나타내었다.

【0307】구체적으로 입사된 관량은 광량 측정기(delta-ohm, HD2102.1 and software)를 사용하여 계산하였다. 1,000 lux에서는 약 320.3 μW/cm^2, 200 lux에서는 약 62.8 μW/cm^2의 광량을 보였다.

【0308】본 시험예를 통해, 유기 태양전지의 특성 평가 요소인 단락 전류밀도(short circuit cyrrent density, J_{se}), 개방 전압(open circuit voltage, V_{oc}), 필 팩터(fill factor, FF) 및 광전 변환 효율(power conversion efficiency, PCE)를 측정하였다.

【0309】**【표 4】**

유기 태양전지	J_{sc}(μA/cm^2)	V_{oc}(V)	FF(%)	PCE(%)
실시예 1 (200 lux)	23.3	0.660	71.9	17.6

실시예 3 (200 lux)	22.7	0.660	62.7	17.9
비교실시예 1 (200 lux)	21.9	0.663	54.2	12.5
비교실시예 4 (200 lux)	20.7	0.616	50.3	10.2
실시예 1 (1,000 lux)	116.7	0.728	73.7	19.6
실시예 3 (1,000 lux)	112.3	0.725	70.3	17.9
비교실시예 1 (1,000 lux)	109.2	0.737	68.5	17.2
비교실시예 4 (1,000 lux)	108.7	0.724	64.7	15.9

【0310】 상기 표 4에 나타난 결과를 보면, 실내 환경에서 실시예 1 및 3, 비교실시예 1 및 4에서 제조된 유기 태양전지의 특성을 확인할 수 있다. 200 lux에서 비교실시예 1에 따라 제조된 유기 태양전지(제1 전극; 전자수송층; 광활성층; 정공수송층; 제2 전극의 구조)의 단락 전류밀도(J_{sc})는 21.9 μA/cm^2, 개방 전압(V_{oc})은 0.663 V, 필 팩터(FF)는 54.2%로 나타났고, 이에 따라 계산된 광전 변환 효율(PCE)은 12.5 %로 나타났다. 또한, 1,000 lux에서 비교실시예 1에 따라 제조된 유기 태양전지의 단락 전류밀도(J_{sc})는 109.2 μA/cm^2, 개방 전압(V_{oc})은 0.737 V, 필 팩터(FF)는 68.5%로 나타났고, 이에 따라 계산된 광전 변환 효율(PCE)은 17.2 %로 나타났다.

【0311】 광 파장 변환층이 제1 전극과 광활성층 사이에 위치한 실시예 1에 따라 제조된 유기 태양전지(제1 전극; 광 파장 변환층; 광활성층; 정공수송층; 제2 전극의 구조) 및 실시예 3에 따라 제조된 유기 태양전지(제 1전극; 광 파장 변환층; 전자수송층; 광활성층; 정공수송층; 제2 전극의 구조)의 단락 전류밀도

(Jsc)와 필 팩터(FF)는 200 lux 및 1,000 lux 환경에서 비교실시예 1에 따라 제조된 유기 태양전지의 단락 전류밀도(Jsc)와 필 팩터(FF) 보다 크고, 더 우수한 광전 변환 효율(PCE)를 보였다.

【0312】 또한, 광 파장 변환층이 광활성층과 제2 전극 사이에 위치한 비교실시예 4에 따라 제조된 유기 태양전지(제1 전극; 전자수송층; 광활성층; 정공수송층; 광 파장 변환층; 제2 전극의 구조)의 광전 변환 효율(PCE)은 200 lux 및 1,000 lux 환경에서 광 파장 변환층을 포함하지 않는 비교실시예 1의 광전 변환 효율(PCE)에 비해서 낮은 결과를 보였다.

【0313】 이런 결과는 상기 실외 환경에서 평가된 특성들에 따른 결과와 동일한 것으로써, 유기 태양전지의 광 파장 변환층이 제1 전극과 광활성층 사이에 위치하면 실외 환경은 물론 실내 환경에서도 상대적으로 우수한 특성을 보인다는 점을 알 수 있다.

【0315】 <시험예 5> 대면적 유기 태양전지의 실내 환경(200 lux 및 1,000 lux) 특성 평가

【0316】 실시예 6 및 7, 비교실시예 5 및 6에 따라 제조된 대면적 유기 태양전지(광활성 면적 1.00 cm^2)는 특성이 분석되었고, 그 결과는 하기 표 5로 나타내었다.

【0317】 **【표 5】**

유기 태양전지	J_{sc}(μA/cm^2)	V_{oc}(V)	FF(%)	PCE(%)
실시예 6 (200 lux)	22.7	0.647	63.2	14.8
실시예 7 (200 lux)	21.9	0.657	61.3	14.0
비교실시예 5 (200 lux)	22.1	0.657	50.6	11.7
비교실시예 6 (200 lux)	19.9	0.616	50.1	9.8
실시예 6 (1,000 lux)	111.1	0.710	69.5	17.1
실시예 7 (1,000 lux)	109.8	0.712	67.1	16.3
비교실시예 5 (1,000 lux)	107.9	0.725	64.1	15.7
비교실시예 6 (1,000 lux)	108.2	0.713	62.9	15.1

【0318】 상기 표 5에 나타난 결과를 보면, 실시예 6 및 7, 비교실시예 5 및 6에 따라 제조된 대면적 유기 태양전지의 특성을 확인할 수 있다. 광 파장 변환층이 제1 전극과 광활성층 사이에 위치한 실시예 6 및 7에 따라 제조된 대면적 유기 태양전지는 200 lux 및 1,000 lux에서 광 파장 변환층을 포함하지 않은 비교실시예 5에 따라 제조된 대면적 유기 태양전지 및 광활성층과 제2 전극 사이에 광 파장 변환층이 위치한 비교실시예 6에 따라 제조된 대면적 유기 태양전지보다 더 우수한 성능을 나타내었다.

【0320】 <시험예 6> 광 파장 변환층을 도입한 유기 태양전지의 광학 특성 평가

【0321】광활성층 박막, 전자수송층에 적층된 광활성층 박막 및 복합 조성물로 광 파장 변환층을 형성한 후 그 위에 적층된 광활성층 박막을 대상으로 자외선-가시광 분광(UV-vis spectroscopy, Agilent 8453) 분석 및 발광 분광(photoluminescence spectroscopy, Perkin Elmer LS55) 분석을 수행하였다. 상기 자외선-가시광 분광 분석 및 발광 분광 분석의 결과는 도 14 및 15에 나타내었다.

【0322】광활성층 박막은 상기 1.6 단계에서 제조한 광활성 조성물을 이용하여 형성하였다. 또한, 전자수송층에 적층된 광활성층 박막은 상기 1.6 단계에서 제조한 광활성 조성물과 1.1 단계에서 제조한 ZnO 전구체를 이용하여 형성하였다. 또한, 전자수송 복합 조성물로 광 파장 변환층을 형성한 후 그 위에 적층된 광활성층 박막은 상기 1.6 단계에서 제조한 광활성 조성물과 1.3 단계에서 제조한 복합 조성물을 이용하여 형성하였다.

【0323】도 14는 광활성층 박막, 전자수송층에 적층된 광활성층 박막 및 복합 조성물로 광 파장 변환층을 형성한 후 그 위에 적층된 광활성층 박막의 자외선-가시광 분광 분석의 결과를 나타낸 것이다. 도 14을 참조하면, 광 파장 변환층에 적층된 광활성층 박막의 흡광도는 광활성층 박막 및 전자수송층에 적층된 광활성층 박막의 흡광도에 비해 전반적으로 증가된 것을 볼 수 있다. 구체적으로, 광 파장 변환층에 적층된 광활성층 박막의 흡광도는 λ= 300~350 nm 영역에서 상대적으로 작으나, λ= 350~900 nm에서는 증가된 것을 볼 수 있다. 이러한 결과는 광 파장 변환층에 광활성층이 적층된 경우, 광활성층에서 활용할 수 있는 광의 양이 증가된 것을 의미하며, 결과적으로 유기 태양전지로 입사된 광의 일부가 광 파장 변환층에

의해 광활성층의 흡광 영역으로 전환될 수 있음을 의미한다.

【0324】도 15는 광활성층 박막, 전자수송층에 적층된 광활성층 박막 및 복합 조성물로 광 파장 변환층을 형성한 후 그 위에 적층된 광활성층 박막의 발광 분광 분석의 결과를 나타낸 것이다. 구체적으로는, 도 15(a)는 광 파장 변환층이 포함하고 있는 그래핀 양자점의 흡광 피크 파장인 λ= 430 nm의 광을 통해, 여기(exciting) 후 측정된 발광 분광 특성을 나타낸 것이다. 또한, 도 15(b)는 광활성층에 포함된 전자 주개 물질인 P(Cl-Cl)(BDD=0.2)의 흡광 피크 파장인 λ= 530 nm의 광을 통해 여기(exciting) 후 측정된 발광 분광 특성을 나타낸 것이며, 도 15(c)는 광활성층에 포함된 전자 받개 물질인 IT-4F의 흡광 피크 파장인 λ= 630 nm의 광을 통해 여기(exciting) 후 측정된 발광 분광 특성을 나타낸 것이다. λ= 430 nm, 530 nm 및 630 nm에서 측정한 발광 분광 특성의 측정 결과는 하기 표 6으로 나타내었다.

【0325】**【표 6】**

박막 구조	광활성층 대비 발광 특성		
	λ_{ex}= 430 nm	λ_{ex}= 530 nm	λ_{ex}= 630nm
광활성층 박막	100.00	100.00	100.00
전자수송층/광활성층 박막	111.36	111.67	114.79
광 파장 변환층/광 활성층 박막	116.58	115.45	118.95

【0326】상기 표 6에 나타난 결과를 보면, 광 파장 변환층에 적층된 광활성층 박막의 발광 특성은 광활성층 박막 및 전자수송층에 적층된 광활성층 박막의 발광 특성에 비해서 증가한 것을 볼 수 있다. 특히, 그래핀 양자점의 흡광 영역인 λ

= 430 nm 및 전자 받개 물질인 IT-4F의 흡광 영역인 λ= 630 nm의 광을 통해 여기(exciting) 후 측정된 발광 특성이 크게 증가하였다. 이러한 결과는 그래핀 양자점에 의해 전자 받개 물질인 IT-4F의 흡광 영역으로 효과적인 광 파장 변환 현상이 발생되었기 때문인 것으로 보인다.

【0328】<시험예 7> 유기 태양전지의 내부 양자효율(IQE) 거동 및 반사율 평가

【0329】실시예 1 및 비교실시예 1에서 광활성층까지 형성된 박막을 대상으로 내부 양자효율(internal quantum efficiency, IQE, Mcscience) 거동 및 반사율(reflectance, Mcscience)을 측정하였고, 그 결과를 도 16에 나타내었다.

【0330】도 16를 참조하면, 실시예 1에서 광활성층까지 형성된 박막의 내부 양자효율(IQE)이 비교실시예 1에서 광활성층까지 형성된 박막의 내부 양자효율(IQE)보다 전반적으로 더 증가하였다. 도 16과 도 12(b)를 참조하면, 광 파장 변환층을 포함하는 유기 태양전지 내지 박막의 광 효율은 광 파장 변환층을 포함하지 않는 유기 태양전지 내지 박막에 비해서 향상되는 것을 알 수 있다. 또한, 실시예 1에서 광활성층까지 형성된 박막의 반사율은 λ= 350 ~ 700 nm에서 비교실시예 1에서 광활성층까지 형성된 박막의 반사율보다 감소하였다.

【0332】<시험예 8> 실외 환경(1 sun) 및 실내 환경(200 lux 및 1,000 lux)에서 유기 태양전지의 저항 특성 평가

【0333】실시예 1 내지 6 및 비교실시예 1 내지 5에서 제조된 유기 태양전지를 실외 환경(1 sun)에서 시리즈 저항(series resistance, R_s), 션트 저항(shunt resistance, R_{sh})을 측정 하였다. 또한, 실시예 1 및 6, 비교실시예 1 및 5에서 제조된 유기 태양전지를 실내 환경(200 lux 및 1,000 lux)에서 시리즈 저항(series resistance, R_s), 션트 저항(shunt resistance, R_{sh})을 측정하였다. 시리즈 저항(R_s)과 션트 저항(R_{sh})은 상기 시험예 2 내지 시험예 5에서 분석된 전류-전압 곡선의 개방 전압(V_{oc})과 단락 전류밀도(J_{sc}) 부근의 기울기의 역수로 계산되었으며, 제조된 유기 태양전지 내 등가 회로를 형성하여 산출되었다. 상기 시험예 2 및 시험예 3에서와 같이 실외 환경(1 sun)에서 측정된 시리즈 저항(R_s)과 션트 저항(R_{sh})은 하기 표 7로 나타냈다. 또한, 상기 시험예 4 및 시험예 5에서와 같이 실내 환경(200 lux 및 1,000 lux)에서 측정된 시리즈 저항(R_s)과 션트 저항(R_{sh})은 하기 표 8로 나타내었다. 상기 메커니즘은 [ACS Applied Materials & Interfaces, 2018, 10, 3885-3894] 문헌을 참고하였다.

【0334】**【표 7】**

유기 태양전지	PCE(%)	R_s(Ω · cm^2)	R_{sh}(Ω · cm^2)
실시예 1	14.0	3.1	2,127
실시예 2	13.5	3.9	2,034
실시예 3	12.9	3.9	1,966
실시예 4	13.3	3.8	1,805
실시예 5	12.6	4.3	991
비교실시예 1	12.5	4.0	874
비교실시예 2	12.2	4.5	1,034
비교실시예 3	12.0	6.6	870

비교실시예 4	11.6	7.1	1,229
실시예 6 (대면적)	11.7	11.5	1,423
비교실시예 5 (대면적)	10.6	11.8	985

【0335】 【표 8】

유기 태양전지	PCE(%)	R_s(Ω · cm²)	R_{sh}(Ω · cm²)
실시예 1 (200 lux)	17.6	2,128	104,971
비교실시예 1 (200 lux)	12.5	3,392	90,180
실시예 6 (대면적, 200 lux)	14.8	2,278	115,394
비교실시예5 (대면적, 200 lux)	11.7	2,993	74,364
실시예 1 (1,000 lux)	19.6	399	132,511
비교실시예 (1,000 lux)	17.2	414	125,269
실시예 6 (대면적, 1,000 lux)	17.1	317	238,211
비교실시예 5 (대면적, 1,000 lux)	15.7	432	110,708

【0336】 상기 표 7에 나타난 결과를 보면, 광 파장 변환층이 제1 전극과 광활성층 사이에 위치한 실시예 1 내지 6에 따라 제조된 유기 태양전지는 대체적으로 비교실시예 1내지 5에 따라 제조된 유기 태양전지에 비해서 낮은 시리즈 저항(R_s)과 높은 션트 저항(R_{sh})을 가진 것으로 나타났다. 일반적으로, 회로의 직렬 저항인 시리즈 저항(R_s)은 낮은 값일 때 전하의 이동이 원활해지는 경향이 있으며, 회로의 병렬 저항인 션트 저항(R_{sh})은 높은 값일 때 전하의 재결합이 감소되는 경향이 있다. 우수한 성능이란 낮은 시리즈 저항(R_s)과 높은 션트 저항(R_{sh}) 값을 의미하며, 실시

예 1 내지 6은 대체적으로 낮은 시리즈 저항(R_s)과 높은 션트 저항(R_{sh})을 가져 생성된 전하의 활용을 극대화할 수 있음을 나타내고 있다.

【0337】 상기 표 8에 나타난 결과를 보면, 광 파장 변환층이 제1 전극과 광활성층 사이에 위치한 실시예 1 및 6에 따라 제조된 유기 태양전지는 비교실시예 1 및 5에 따라 제조된 유기 태양전지에 비해서 낮은 시리즈 저항(R_s)과 높은 션트 저항(R_{sh})을 가진 것으로 나타났다. 특히 실내 환경에서는 광량이 절대적으로 부족하므로 생성되는 전하의 효과적인 활용이 중요한데, 실시예 1 및 6에 따라 제조된 유기 태양전지는 상대적으로 낮은 시리즈 저항(R_s)과 높은 션트 저항(R_{sh})을 가져 생성된 전하의 활용을 극대화할 수 있음을 나타내고 있다.

【0339】 <시험예 9> 유기 태양전지의 박막 형상성 특성 평가

【0340】 실시예 1에서 형성된 광 파장 변환층 및 비교실시예 1에서 형성된 전자수송층을 대상으로 박막 형상성 특성을 확인하기 위해서, 전계 방출형 주사전자현미경(Field Emission Scanning Electron Microscope, FE-SEM, SU8010, Hitachi), 원자힘현미경(Atomic Force Microscopy, AFM, Park system, XE-150)을 통해 분석되었고, 그 결과를 각각 도 17 및 도 18에 나타내었다.

【0341】 실시예 1에서 광 파장 변환층을 형성하기 위해 제조되는 복합 조성물을 ITO 글래스 위에 스핀 코팅하여 광 파장 변환층 박막을 형성하였고, 비교실시예 1에서 전자수송층을 형성하기 위해 제조되는 ZnO 전구체를 ITO 글래스 위에 스

핀 코팅하여 전자수송층 박막을 형성하였다.

【0342】 도 17(a)는 전계 방출형 주사전자현미경으로 전자수송층 박막의 형상을 나타낸 것이고, 도 18(a)는 원자힘현미경으로 전자수송층 박막의 형상을 나타낸 것이다. 도 17(a) 및 18(a)에서 나타난 바와 같이, 전자수송층 박막은 일정한 결정 구조와 균일한 박막 형상성을 보이며, 2.57 nm의 근제곱평균 거칠기(root mean square roughness, RMS roughness)를 보였다.

【0343】 도 17(b)는 전계 방출형 주사전자현미경으로 광 파장 변환층 박막의 형상을 나타낸 것이고, 도 18(b)는 원자힘현미경으로 광 파장 변환층 박막의 형상을 나타낸 것이다. 도 17(b) 및 18(b)에서 나타난 바와 같이, 광 파장 변환층 박막은 비교적 작고 일정한 결정 구조와 균일한 박막 형상성을 보였으며, 1.35 nm의 상대적으로 낮은 근제곱평균 거칠기를 보였다.

【0344】 추가적으로, 상기 전자수송층 박막 위에 광활성층을 형성한 뒤 원자힘현미경으로 표면 형상성 특성을 평가하였으며, 이 결과를 도 19(a)에 나타냈다. 도 19(a)에서 나타난 바와 같이, 상기 전자수송층 박막 위에 형성된 광활성층은 어둡고 밝은 색으로 표현되는 큰 뭉침이 관찰되었으며, 1.36 nm의 근제곱평균 거칠기를 보였다. 또한, 상기 광 파장 변환층 박막 위에 광활성층을 형성한 뒤 원자힘현미경으로 표면 형상성 특성을 평가하였으며, 이 결과를 도 19(b)에 나타냈다. 도 19(b)에서 나타난 바와 같이, 비교적 균일하게 퍼진 형상이 관찰되었으며, 1.03 nm의 상대적으로 낮은 근제곱평균 거칠기를 보였다. 이러한 결과를 통해 광 파장 변환층이 형성된 박막이 보다 균일한 표면을 가지고 있음을 알 수 있다.

【0346】<시험예 10> 유기 태양전지의 장기안정성 평가

【0347】실시예 1 및 비교실시예 1에 따라 제조된 유기 태양전지의 장기 안정성을 평가하기 위해, 각 유기 태양전지를 약 1,200 hr 동안 보관하면서 평가하였다. 1,200 hr 동안 장기안정성 평가 결과는 도 20에 나타냈으며, 구체적으로는 도 20(a)에 광전 변환 효율(PCE), 도 20(b)에 개방 전압(V_{oc}), 도 20(c)에 단락 전류밀도(J_{sc}) 및 도 20(d)에 필 팩터(FF)를 나타내었다. 도 20(a)를 참조하면, 비교실시예 1에 따라 제조된 유기 태양전지의 광전 변환 효율(PCE)은 초기에 12.5%에서 약 1,200 hr 이후 8.9%로 감소하여 약 28.8%의 감소율을 나타냈다. 반면에 실시예 1에 따라 제조된 유기 태양전지의 광전 변환 효율(PCE)은 초기에 14.0%에서 약 1,200 hr 이후 13.2%로 감소하여 약 5.7%의 감소율을 나타냈다. 즉, 실시예 1에 따라 제조된 유기 태양전지는 상대적으로 우수한 장기안정성을 나타냈다. 특히, 도 20(b) 내지 도 20(d)를 참조하면, 상기 광전 변환 효율(PCE)의 감소율 차이는 필 팩터(FF)의 변화에 의해 발생되는 것을 알 수 있다.

【0349】본 발명에서는 상기 기술한 바와 같이 상기 실시예, 비교실시예, 시험예를 통하여 광 파장 변환층을 포함하는 유기 태양전지의 제조방법을 설명 하였으나, 이를 특별히 한정시킬 필요는 없으며, 상기 예시 들을 만족하는 어떠한 제조방법도 무방하다.

【부호의 설명】

【0351】110: 투명기판

120: 제1 전극

130: 제1 전하수송층

140: 광활성층

150: 제2 전하수송층

160: 제2 전극

【청구범위】

【청구항 1】

순차 적층된 수광전극 및 광활성층을 포함하고,

상기 수광전극과 광활성층 사이에 광 파장 변환층을 포함하며,

상기 광 파장 변환층은 무기 반도체 화합물을 포함하고,

상기 무기 반도체 화합물은 제1 파장의 광을 제2 파장의 광으로 변환하며,

상기 제1 파장의 광은 250 nm 이상 450 nm 미만에 피크를 가지는 파장의 광이고,

상기 제2 파장의 광은 550 nm 이상 850 nm 미만에 피크를 가지는 파장의 광인 태양전지.

【청구항 2】

제1항에 있어서,

상기 제2 파장의 광은 550 nm 이상 650 nm 미만에 피크를 가지는 파장의 광 및 650 nm 이상 850 nm 미만에 피크를 가지는 파장의 광인 태양전지.

【청구항 3】

제1항에 있어서,

상기 수광전극과 광활성층 사이에 전자수송층을 추가로 포함하는 태양전지.

【청구항 4】

제1항에 있어서,

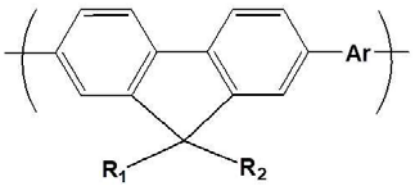
상기 광 파장 변환층은 전도성 고분자 및 금속 산화물로 이루는 군에서 적어도 하나 이상을 추가로 포함하는 태양전지.

【청구항 5】

제4항에 있어서,

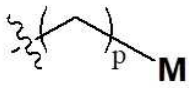
전도성 고분자는 하기 화학식 1로 나타내는 중합단위를 포함하고, 금속 산화물은 Zn, Ba Li 및 Ti로 이루어진 군으로부터 선택된 1 종 이상의 금속 산화물인 태양전지:

[화학식 1]



상기 화학식 1에서, R_1 및 R_2는 각각 독립적으로 하기 화학식 2로 나타내고,

[화학식 2]



상기 화학식 2에서, p는 0 내지 10 사이의 정수이고, 상기 화학식 M은 하기 화학식 2-1 또는 화학식 2-2로 나타내며,

[화학식 2-1]

상기 화학식 2-1에서, R_3 및 R_4는 각각 독립적으로 히드록시기 또는 설폰산기로 치환 또는 비치환된 탄소수 1 내지 10의 알킬기, 히드록시기 또는 설폰산기로 치환 또는 비치환된 탄소수 2 내지 10의 알케닐기 및 히드록시기 또는 설폰산기로 치환 또는 비치환된 탄소수 2 내지 10의 알키닐기로 이루어진 군에서 선택되고,

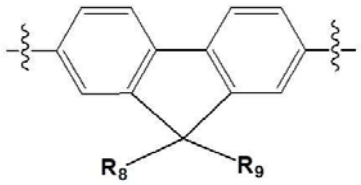
[화학식 2-2]

상기 화학식 2-2에서, R_5, R_6 및 R_7은 각각 독립적으로 히드록시기 또는 설폰산기로 치환 또는 비치환된 탄소수 1 내지 10의 알킬기, 히드록시기 또는 설폰산기로 치환 또는 비치환된 탄소수 2 내지 10의 알케닐기, 히드록시기 또는 설폰산기로 치환 또는 비치환된 탄소수 2 내지 10의 알키닐기로 이루어진 군에서 선택되며, 질소 양이온은 할로겐 이온과 결합 또는 결합하지 않고,

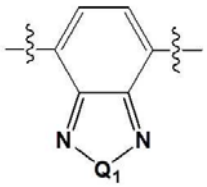
상기 화학식 1에서, Ar은 단일결합; 또는 하기 화학식 3 내지 6으로 나타나

는 단위구조; 중 하나이며,

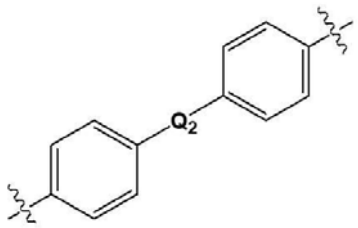
[화학식 3]



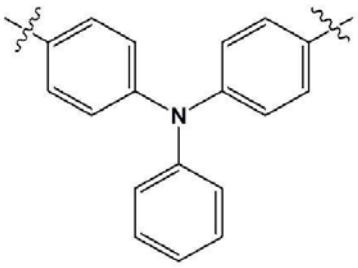
[화학식 4]



[화학식 5]



[화학식 6]



상기 화학식 3에서, R_8 및 R_9는 각각 독립적으로 치환 또는 비치환된 탄소수

1 내지 20의 알킬기, 치환 또는 비치환된 탄소수 2 내지 20의 알케닐기 및 치환 또는 비치환된 탄소수 2 내지 20의 알키닐기로 이루어진 군에서 선택되고,

상기 화학식 4에서, Q_1은 산소원자 또는 황원자이며,

상기 화학식 5에서, Q_2는 산소원자 또는 황원자이다.

【청구항 6】

제1항에 있어서,

광 파장 변환층은 수광전극의 표면으로부터 0.5 내지 220 ㎚ 간격에 위치한 태양전지.

【청구항 7】

제1항에 있어서,

수광전극의 반대전극인 제2 전극을 추가로 포함하고,

상기 수광전극과 제2 전극 사이에 광활성층을 포함하며,

상기 광활성층과 제2 전극 사이에 상기 광 파장 변환층을 추가로 포함하는 태양전지.

【청구항 8】

순차 적층된 수광전극 및 광활성층을 포함하고,

상기 수광전극과 광활성층 사이에 광 파장 변환층을 포함하며,

상기 광 파장 변환층은 무기 반도체 화합물을 포함하고,

상기 무기 반도체 화합물은 Ⅳ족 원소, Ⅱ-Ⅵ족 반도체 화합물, Ⅲ-Ⅴ족 반도체 화합물 및 Ⅳ-Ⅳ족 반도체 화합물로 이루어진 군으로부터 선택된 1종 이상인 태양전지.

【청구항 9】

제8항에 있어서,

무기 반도체 화합물은 양자점 형태의 반도체 화합물을 포함하는 태양전지.

【청구항 10】

제9항에 있어서,

양자점 형태의 반도체 화합물은,

탄소 양자점, 그래핀 양자점, 실리콘 양자점, 산화 아연 양자점, 산화 카드뮴 양자점, 황화 아연 양자점, 황화 카드뮴 양자점, 셀레늄화 아연 양자점, 셀레늄화 카드뮴 양자점, 텔루늄화 아연 양자점, 텔루늄화 카드뮴 양자점, 질화 갈륨 양자점, 인화 갈륨 양자점, 비소화 갈륨 양자점, 안티몬화 갈륨 양자점, 질화 인듐 양자점, 인화 인듐 양자점, 비소화 인듐 양자점, 안티몬화 인듐 양자점 및 탄화 실리콘 양자점으로 이루어진 군으로부터 선택된 1종 이상인 태양전지.

【청구항 11】

제8항에 있어서,

광 파장 변환층에서 무기 반도체 화합물의 함량은 상온에서 1 내지 10^4 g/cm^3인 태양전지.

【청구항 12】

제8항에 있어서,

광 파장 변환층의 두께는 1 내지 300 ㎚ 범위인 태양전지.

【청구항 13】

제8항에 있어서,

수광전극의 반대전극인 제2 전극을 추가로 포함하고,

상기 수광전극과 제2 전극 사이에 광활성층을 포함하며,

상기 광활성층과 제2 전극 사이에 상기 광 파장 변환층을 추가로 포함하는 태양전지.

【청구항 14】

제1항 또는 제8항에 있어서,

수광전극은 산화금속 박막으로 형성되며,

상기 산화금속 박막은 ITO(인듐틴옥사이드)막, FTO(플루오르화틴옥사이드)막, IZO(인듐징크옥사이드)막, AZO(알루미늄도프드옥사이드)막, ZnO(징크옥사이드)막 및 IZTO(인듐징크틴옥사이드)막으로 이루어진 군에서 선택된 1종 이상으로 형성된 태양전지.

【청구항 15】

제1항 또는 제8항에 있어서,

광활성층은 전자 주개 물질과 전자 받개 물질이 혼합되어 있는 벌크-이종접합 구조를 기반으로 형성되는 것인 태양전지.

【청구항 16】

제15항에 있어서,

전자 받개 물질과 상기 전자 주개 물질의 혼합 비(w/w)는 1:0.5 내지 1:2인 태양전지.

【청구항 17】

제15항에 있어서,

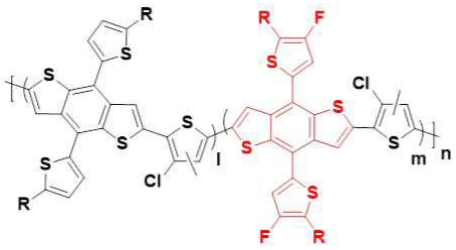
전자 주개 물질은 풀러렌 유도체 및 비풀러렌 유도체로 이루어진 군에서 적어도 하나 이상을 포함하는 태양전지.

【청구항 18】

제15항에 있어서,

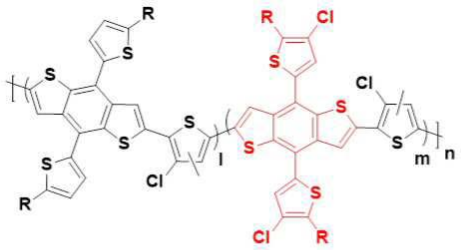
전자 반대 물질은 PTB7(CAS No. 1266549-31-8), PTB7-Th(CAS No. 1469791-66-9), PBDB-T(CAS No.145929-80-4), PBDB-T-2F(CAS No. 1802013-83-7) 및 하기 화학식 7 내지 화학식 10로 표시되는 삼성분 공중합체로 이루어진 군에서 선택된 하나 이상인 태양전지:

[화학식 7]



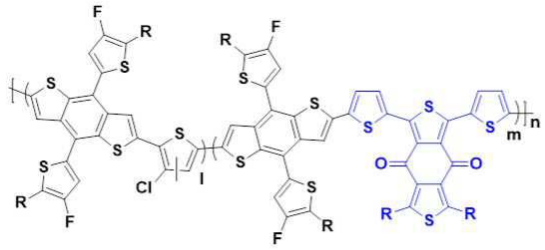
P(Cl)(F=0.5) (l=0.5, m=0.5)
R = 2-Ethylhexyl
X = F

[화학식 8]



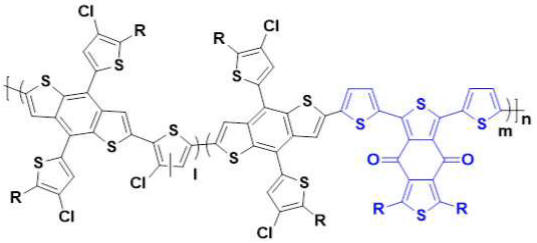
P(Cl)(Cl=0.5) (l=0.5, m=0.5)
R = 2-Ethylhexyl
X = Cl

[화학식 9]



P(F-Cl)(BDD=0.2) (l=0.8, m=0.2)
R = 2-Ethylhexyl

[화학식 10]



P(Cl-Cl)(BDD=0.2) (l=0.8, m=0.2)
R = 2-Ethylhexyl

상기 화학식 7 내지 화학식 10에서, n은 1 내지 10,000 사이의 정수이다.

【청구항 19】

제1항 또는 제8항에 있어서,

광활성 면적이 0.001 내지 10 cm^2인 태양전지.

【요약서】

【요약】

본 발명은 광 파장 변환층을 포함하는 태양전지 및 이의 제조방법에 관한 것으로서, 광 파장 변환층을 통해 입사광의 변화에 따라 출력 변화가 적고 광 효율이 우수하며 실외는 물론 실내 환경에서도 고효율 발전이 가능한 태양전지를 제공할 수 있다.

【대표도】

도 20a

【도면】

【도 1】

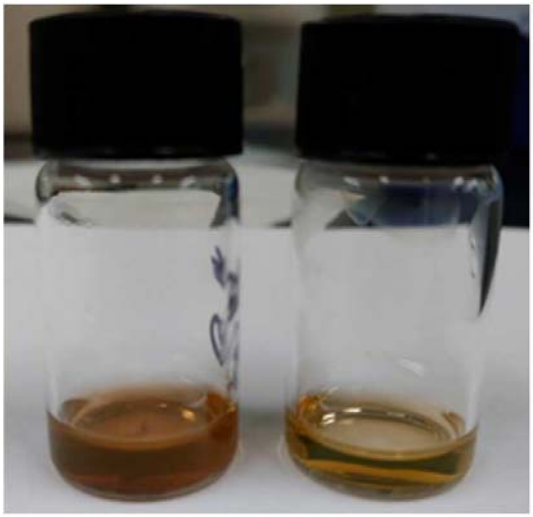
도 1a

도 1b

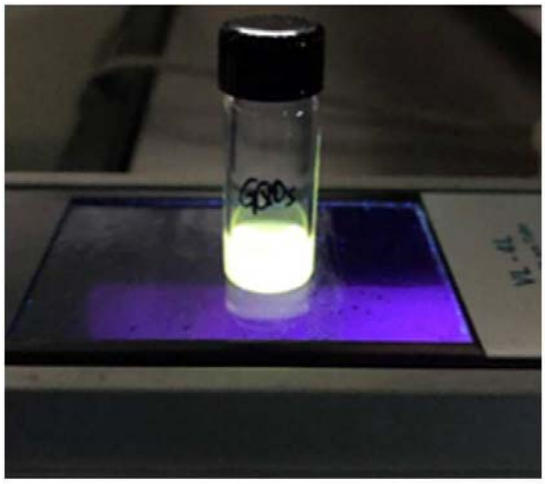
도 1c

도 1d

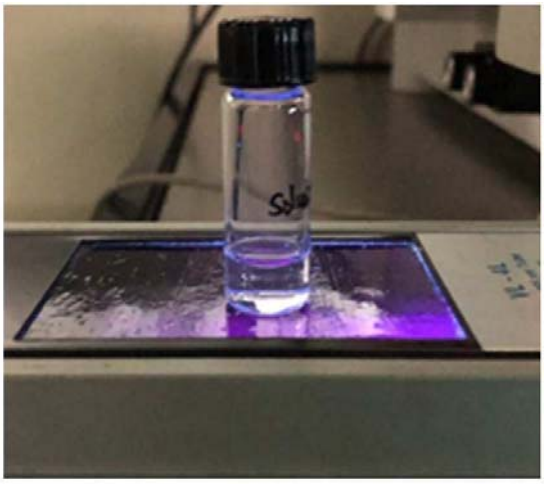
【도 2】



【도 3】

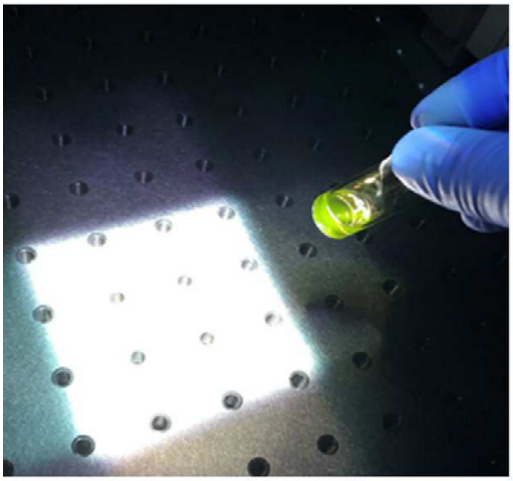


도 3a

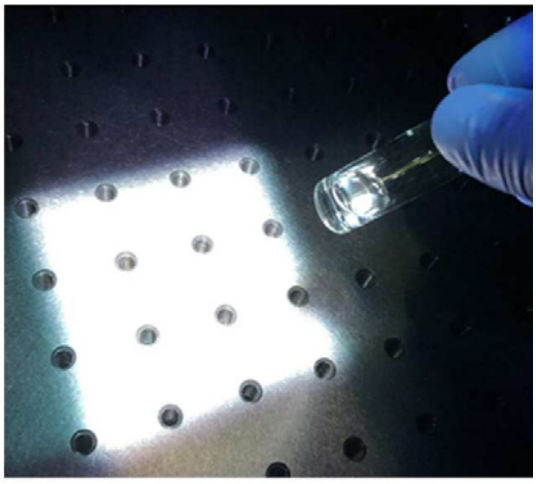


도 3b

【도 4】

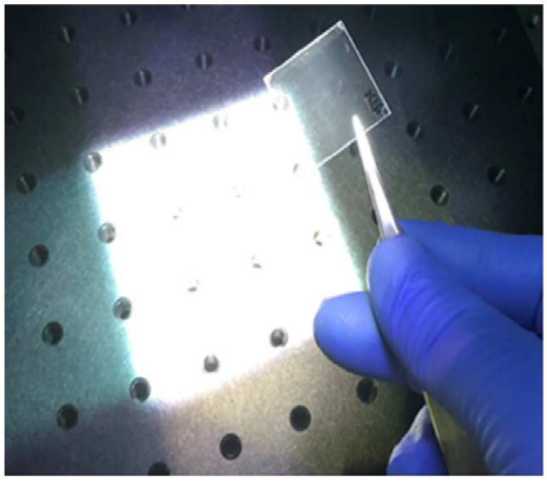


도 4a

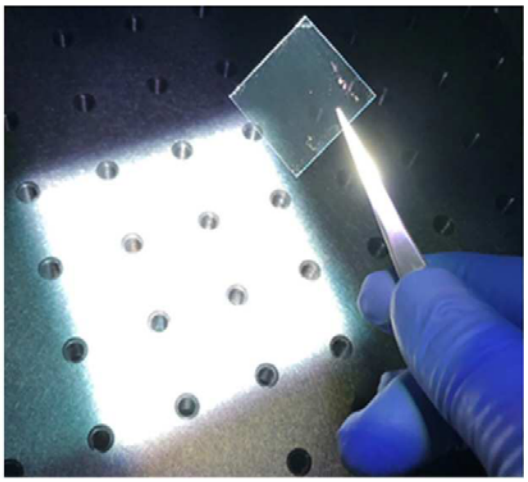


도 4b

【도 5】

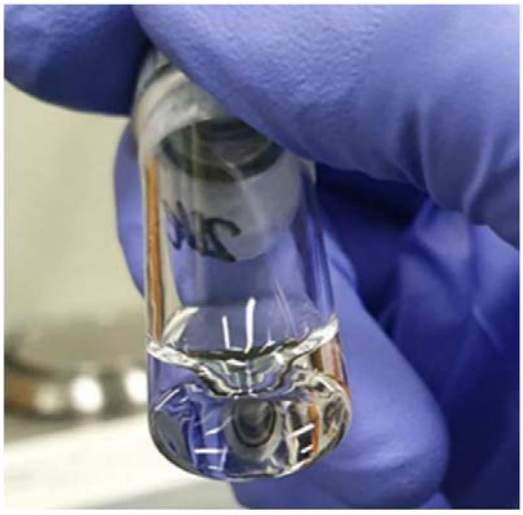


도 5a

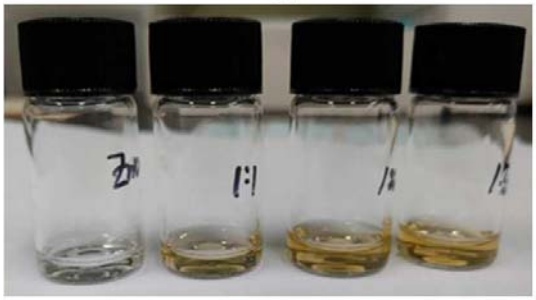


도 5b

【도 6】

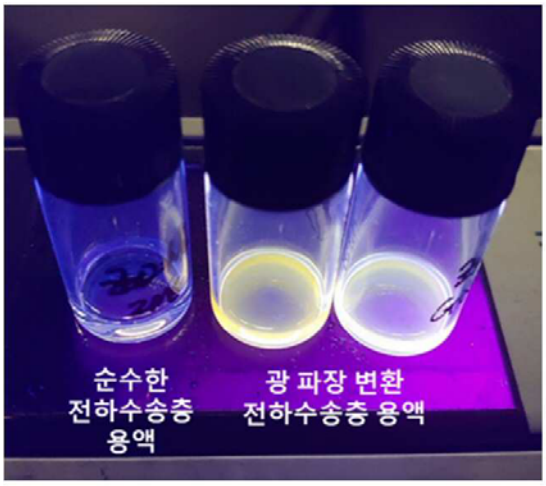


도 6a

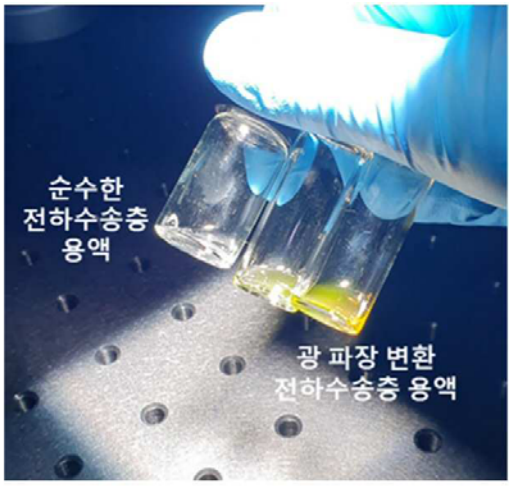


도 6b

【도 7】

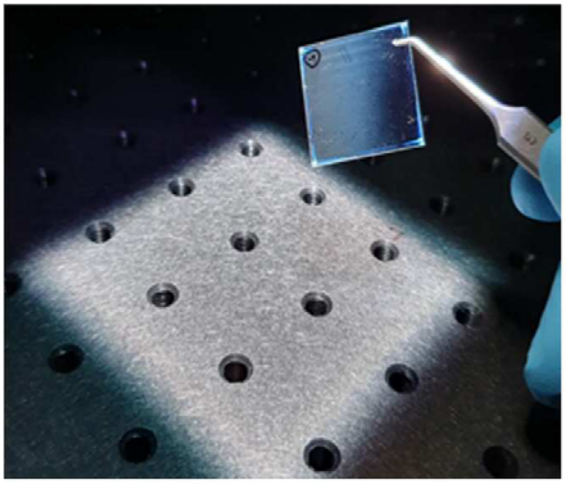


도 7a

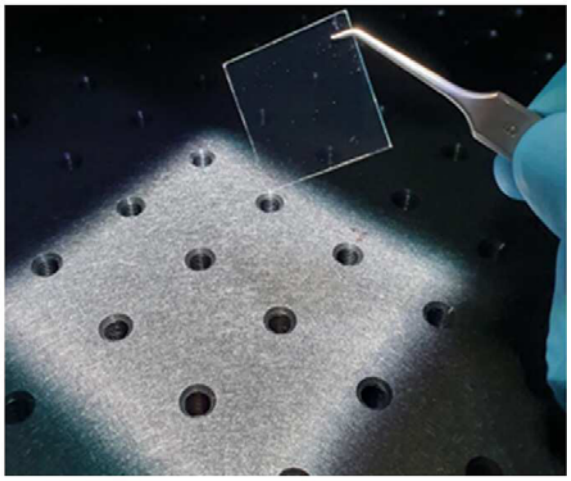


도 7b

【도 8】

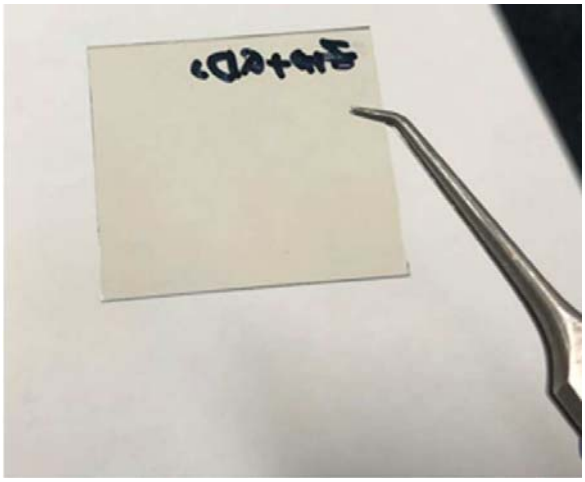


도 8a

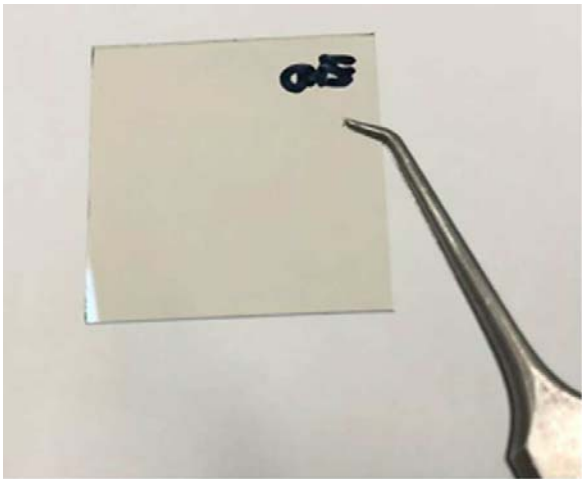


도 8b

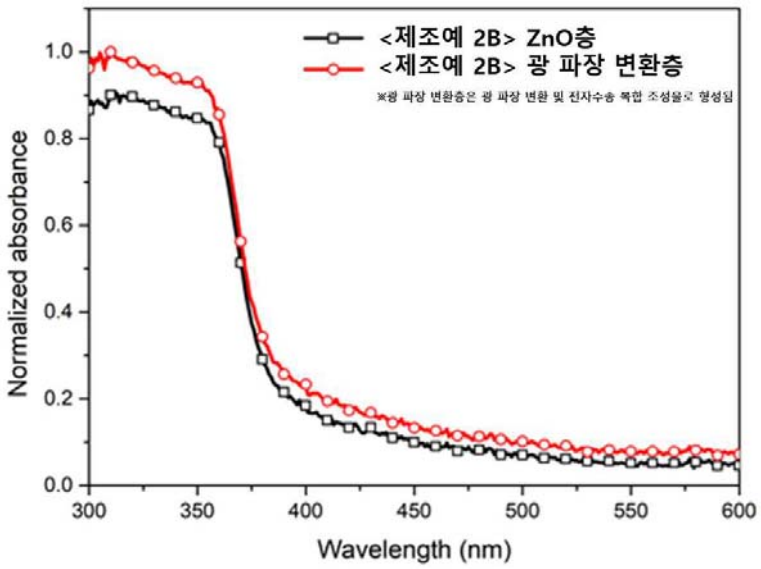
【도 9】



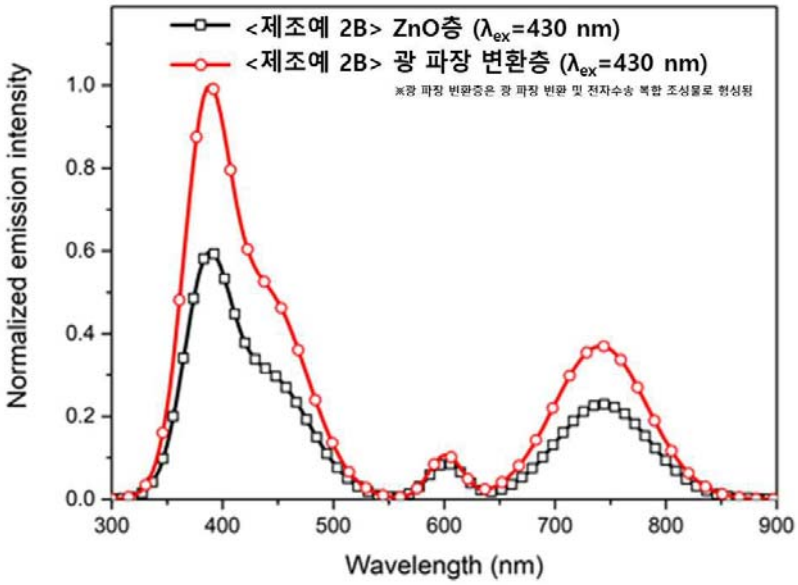
【도 10】



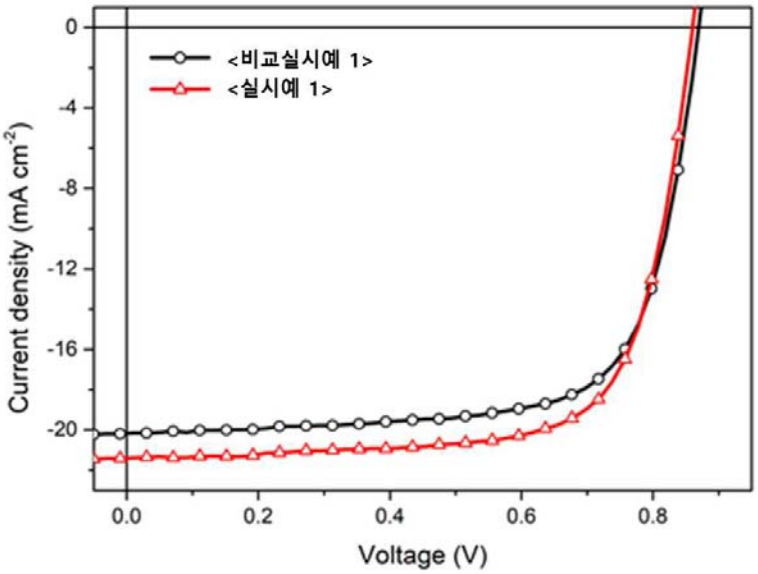
【도 11a】


<제조예 2B> ZnO층
<제조예 2B> 광 파장 변환층
※광 파장 변환층은 광 파장 변환 및 전자수송 복합 조성물로 형성됨
Normalized absorbance
Wavelength (nm)
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
300
350
400
450
500
550
600

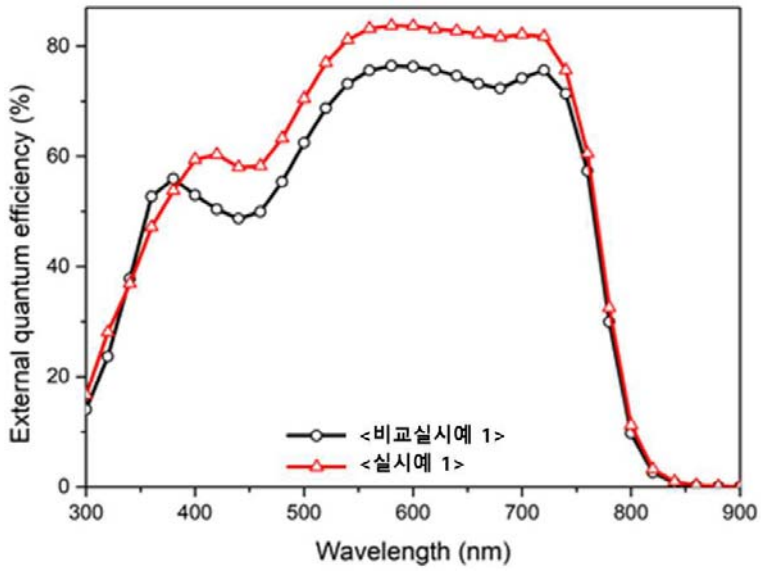
【도 11b】


<제조예 2B> ZnO층 (λex=430 nm)
<제조예 2B> 광 파장 변환층 (λex=430 nm)
※광 파장 변환층은 광 파장 변환 및 전자수송 복합 조성물로 형성됨
Normalized emission intensity
Wavelength (nm)
1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
300
400
500
600
700
800
900

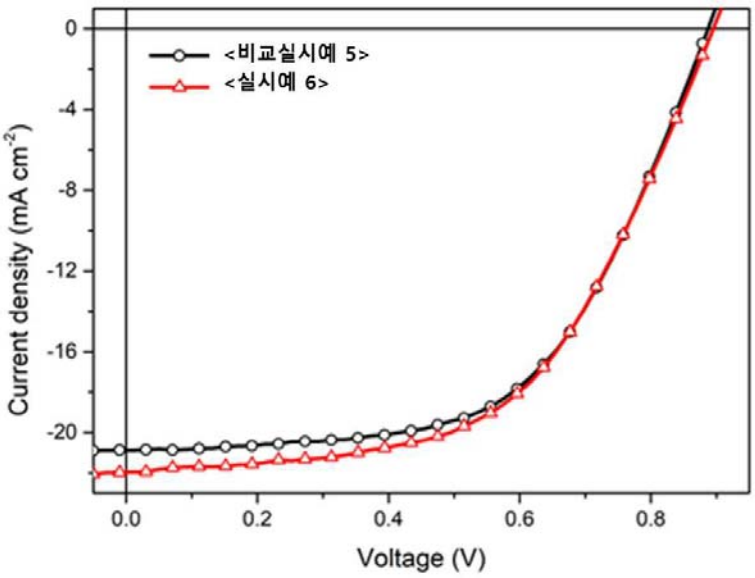
【도 12a】


0
-4
-8
-12
-16
-20
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
Current density (mA cm-2)
Voltage (V)
<비교실시예 1>
<실시예 1>

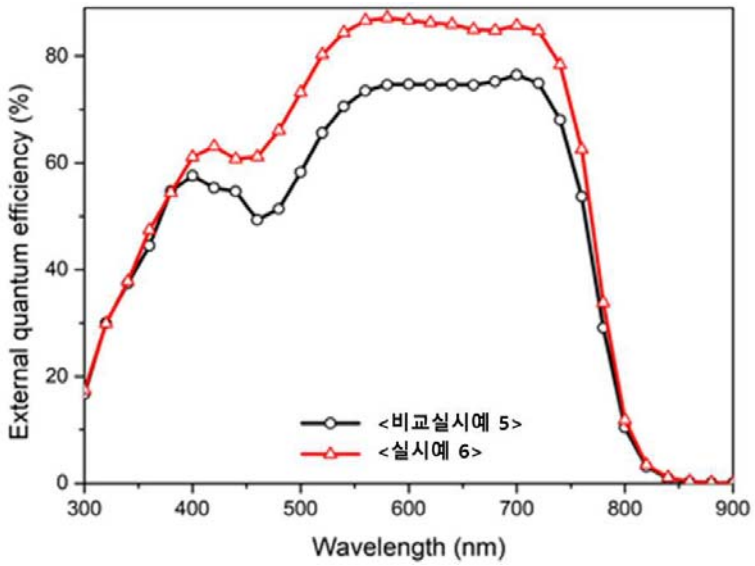
【도 12b】


80
60
40
20
0
300
400
500
600
700
800
900
External quantum efficiency (%)
Wavelength (nm)
<비교실시예 1>
<실시예 1>

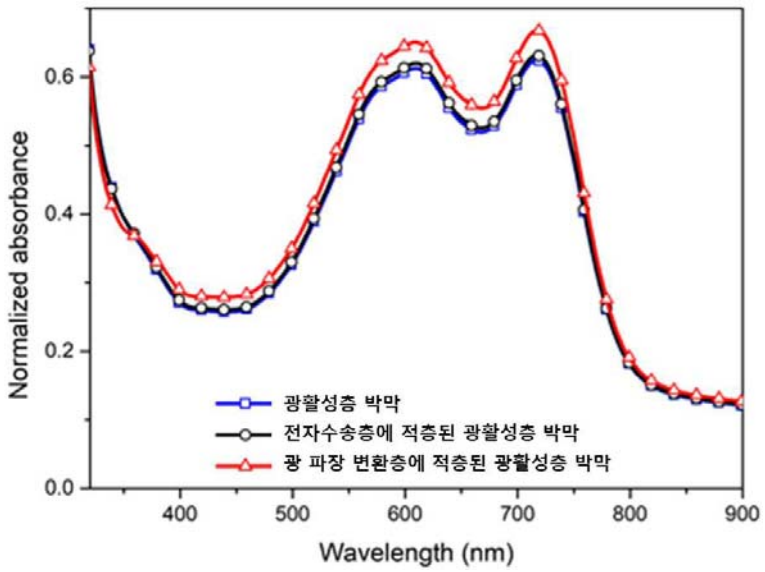
【도 13a】


<비교실시예 5>
<실시예 6>
Current density (mA cm-2)
Voltage (V)
0
-4
-8
-12
-16
-20
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8

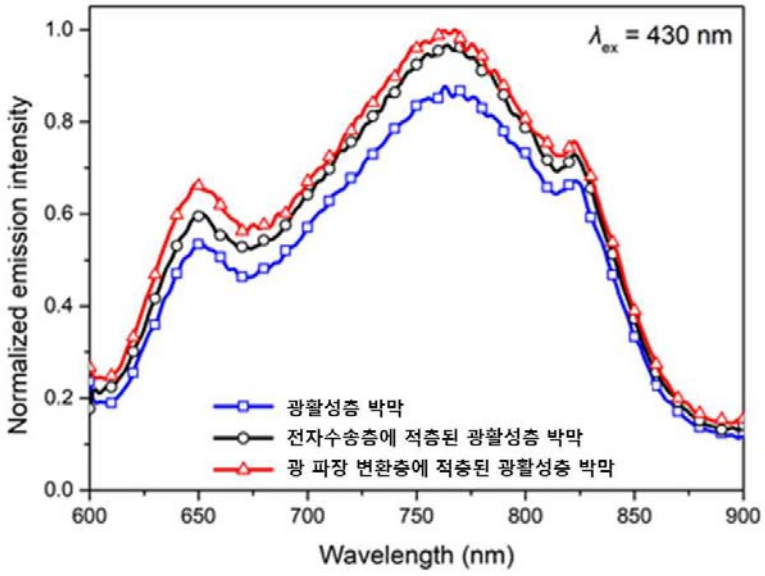
【도 13b】


<비교실시예 5>
<실시예 6>
External quantum efficiency (%)
Wavelength (nm)
0
20
40
60
80
300
400
500
600
700
800
900

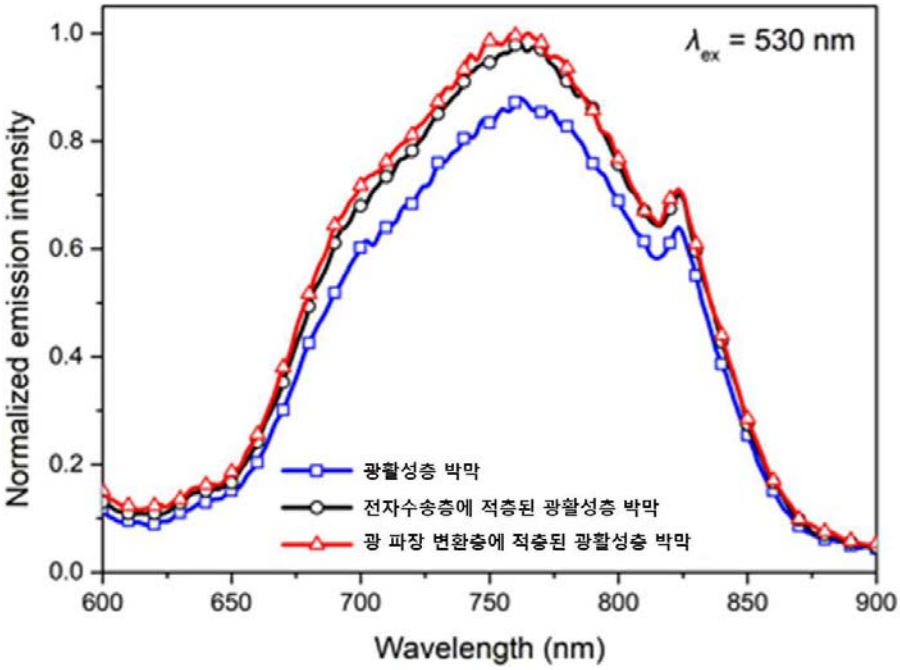
【도 14】


Normalized absorbance
0.0
0.2
0.4
0.6
400
500
600
700
800
900
Wavelength (nm)
광활성층 박막
전자수송층에 적층된 광활성층 박막
광 파장 변환층에 적층된 광활성층 박막

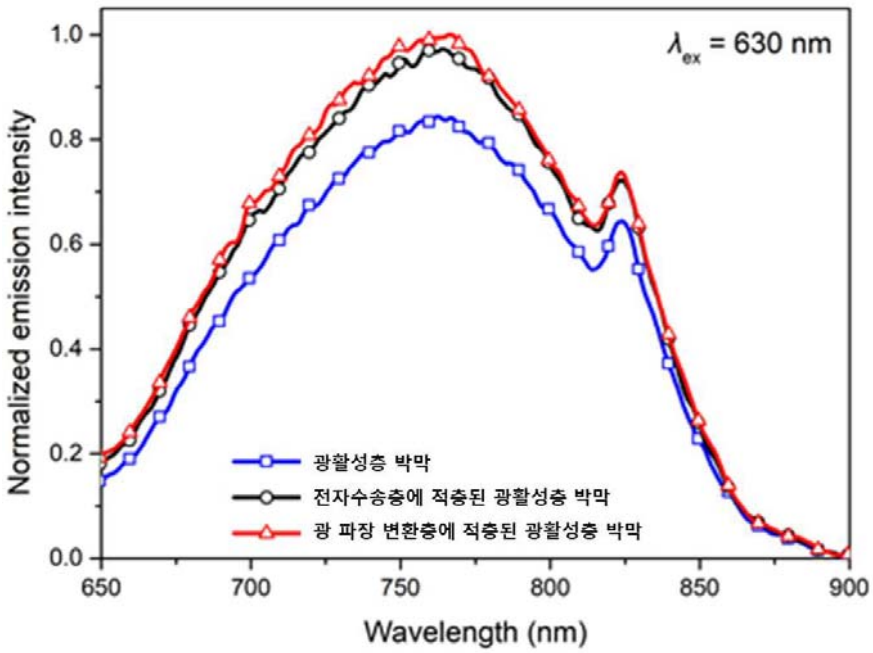
【도 15a】


Normalized emission intensity
λ_{ex} = 430 nm
0.0
0.2
0.4
0.6
0.8
1.0
600
650
700
750
800
850
900
Wavelength (nm)
광활성층 박막
전자수송층에 적층된 광활성층 박막
광 파장 변환층에 적층된 광활성층 박막

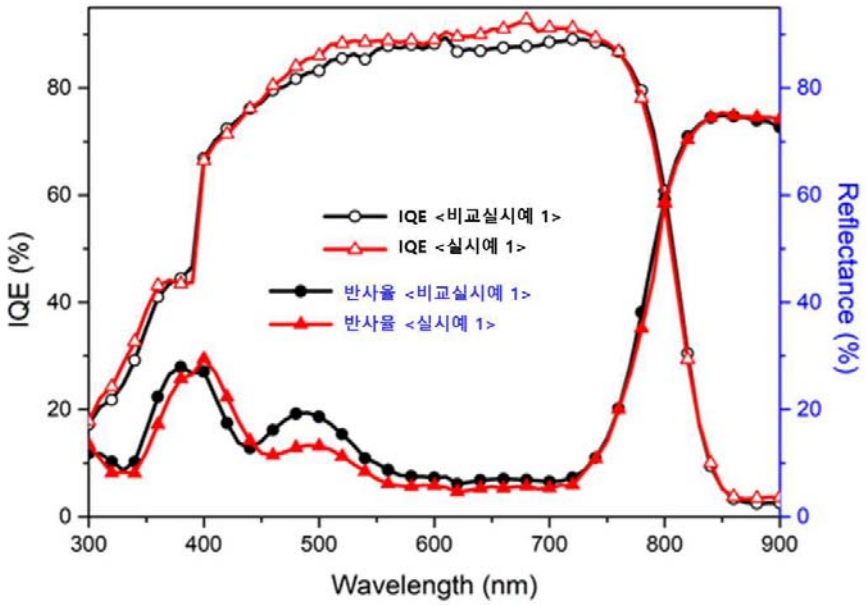
【도 15b】


λex = 530 nm
Normalized emission intensity
Wavelength (nm)
광활성층 박막
전자수송층에 적층된 광활성층 박막
광 파장 변환층에 적층된 광활성층 박막

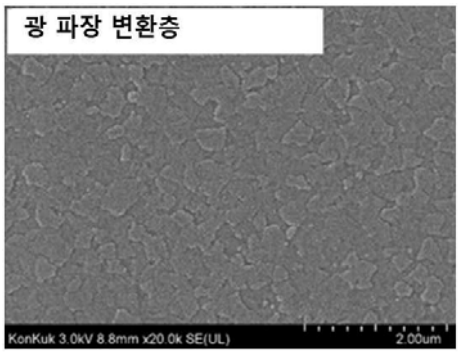
【도 15c】


λex = 630 nm
Normalized emission intensity
Wavelength (nm)
광활성층 박막
전자수송층에 적층된 광활성층 박막
광 파장 변환층에 적층된 광활성층 박막

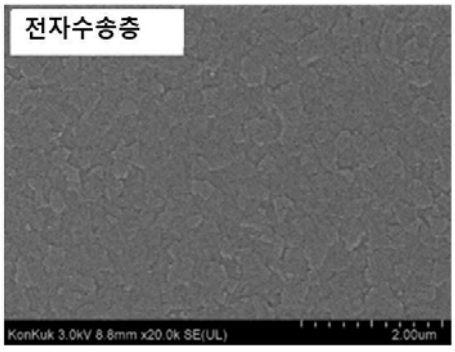
【도 16】



【도 17】

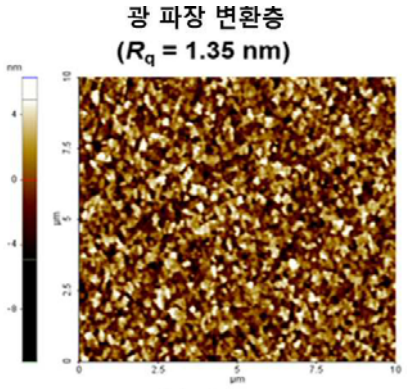


도 17a

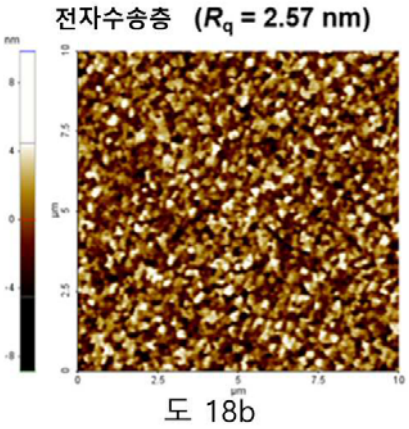


도 17b

【도 18】

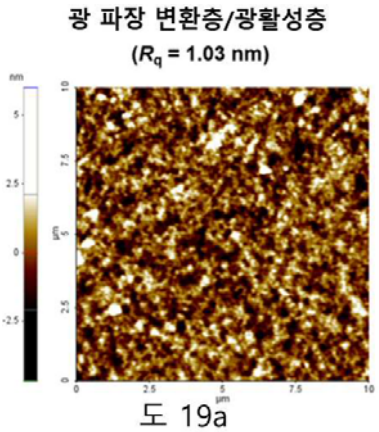


도 18a

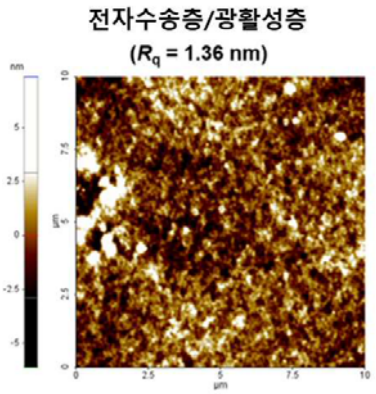


도 18b

【도 19】

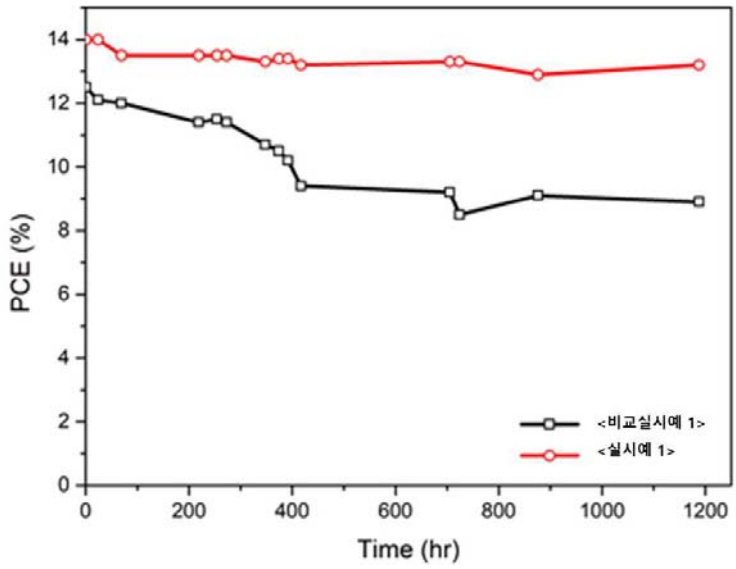


도 19a

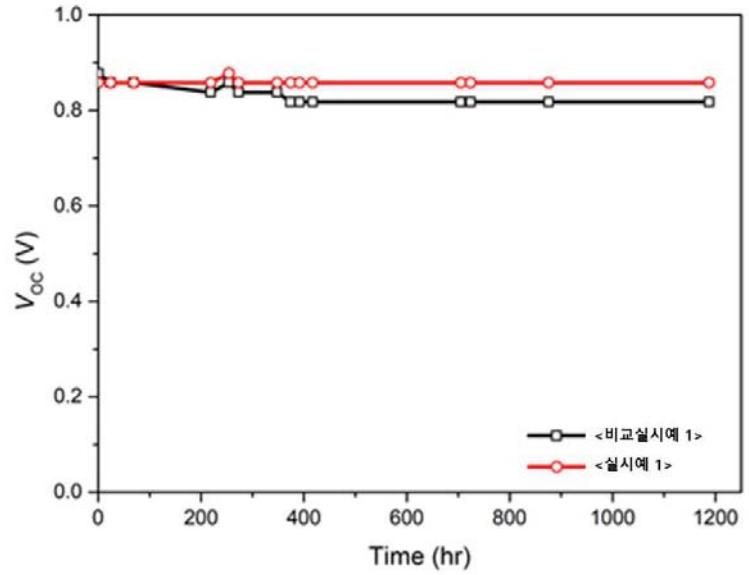


도 19b

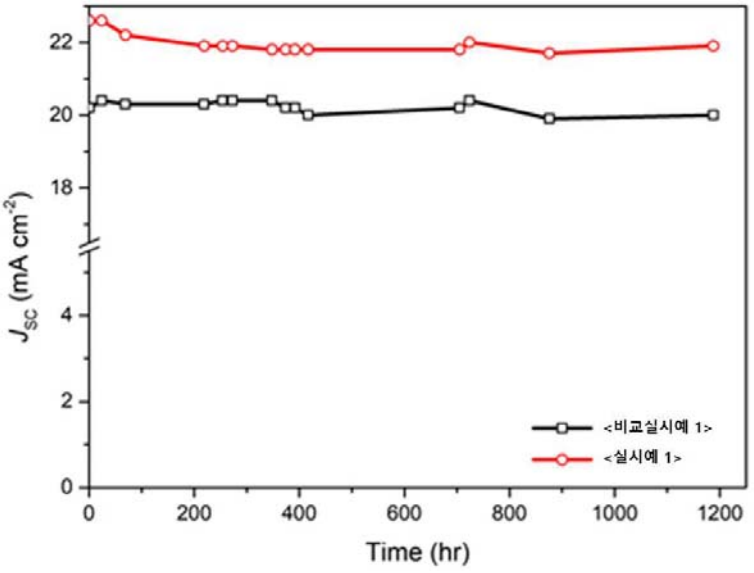
【도 20a】



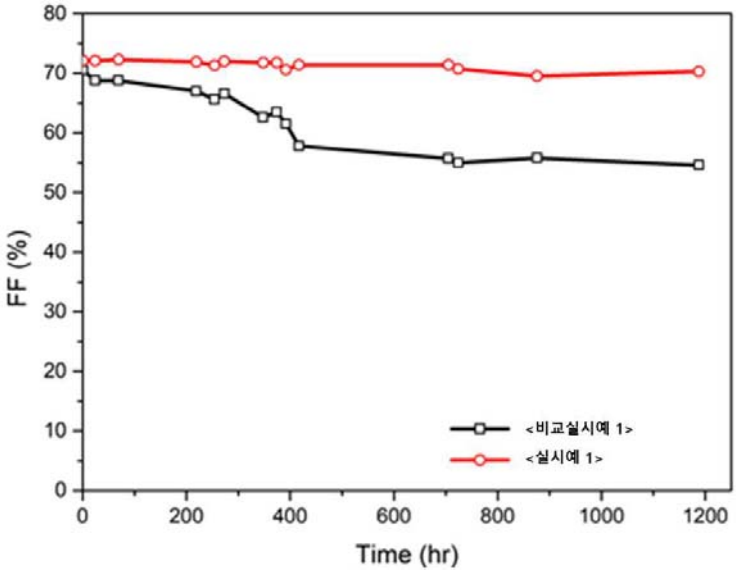
【도 20b】


1.0
0.8
0.6
0.4
0.2
0.0
V_{OC} (V)
0
200
400
600
800
1000
1200
Time (hr)
<비교실시예 1>
<실시예 1>

【도 20c】


22
20
18
4
2
0
J_{SC} (mA cm^{-2})
0
200
400
600
800
1000
1200
Time (hr)
<비교실시예 1>
<실시예 1>

【도 20d】


80
70
60
50
40
30
20
10
0
FF (%)
0
200
400
600
800
1000
1200
Time (hr)
<비교실시예 1>
<실시예 1>