(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2012년04월09일
(11) 등록번호 10-1133973
(24) 등록일자 2012년03월30일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 31/042 (2006.01) *H01L 51/42* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2011-0013699
(22) 출원일자 2011년02월16일
심사청구일자 2011년02월16일
(56) 선행기술조사문헌
KR1020100090898 A
KR1020100113218 A
KR1020110003812 A
JP2010153411 A

(73) 특허권자
경희대학교 산학협력단
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732, 국제캠퍼스 내 (서천동, 경희대학교)
(72) 발명자
권장혁
경기도 용인시 기흥구 용구대로2394번길 27, 삼성래미안 113동 103호 (마북동)
박정수
서울특별시 성동구 왕십리로21길 41, 미래쉐르빌 401호 (행당동)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
박용순, 김인한, 김희곤

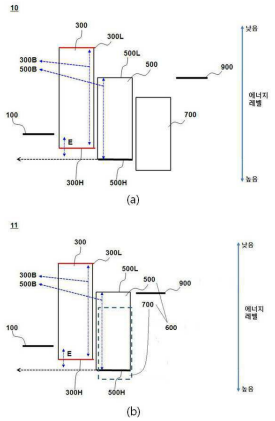
전체 청구항 수 : 총 16 항 심사관 : 박부식

(54) 발명의 명칭 **유기 태양전지 소자 및 그 제조방법**

(57) 요 약

본 발명은, 제1전극과 전자주게층 사이에 정공수송층이 형성되고, 형성된 정공 수송층은 전자주게층에 비해 HOMO 에너지 레벨을 낮거나 같게 형성하고, 이동도는 전자주게층보다 높게 형성한 유기 태양전지 소자 및 그 제조방법에 관한 것이다. 이에 따르면 정공의 추출, 주입 및 이동특성을 향상시키고, 결과적으로 최대개방전압을 향상시킬 수 있게 되어, 본 발명의 유기 태양전지 소자를 이용하여 태양전지를 제조한 경우, 보다 효율성이 높은 유기 태양전지를 제조할 수 있는 효과가 있다.

대 표 도 - 도1



(72) 발명자

전우식

서울특별시 성북구 돌곶이로27가길 11-1, 3층 (장위동)

손영훈

서울특별시 광진구 면목로9길 15 (중곡동)

최진우

서울특별시 마포구 월드컵북로 235, 성산시영아파트 2동 1405호 (성산동)

특허청구의 범위

청구항 1

제1전극;

전자주게층;

상기 전자주게층과 연결되는 전자받게층;

상기 전자받게층과 연결되는 제2전극;

일측이 상기 제1전극과 연결되고, 타측이 상기 전자주게층과 연결되는 정공수송층; 을 포함하고,

상기 정공수송층의 HOMO (highest occupied molecular orbital) 에너지 레벨은 상기 전자주게층의 HOMO (highest occupied molecular orbital) 에너지 레벨보다 낮거나 같게 형성되고,

상기 정공수송층의 이동도(mobility)는 상기 전자주게층의 이동도(mobility)보다 큰 값을 갖도록 형성되는 것을 특징으로 하는 유기 태양전지 소자.

청구항 2

제1전극;

전자주게층과 전자받게층이 혼합되어 형성된 활성층;

상기 활성층과 연결되는 제2전극;

일측이 상기 제1전극과 연결되고, 타측이 상기 활성층과 연결되는 정공수송층; 을 포함하고,

상기 정공수송층의 HOMO (highest occupied molecular orbital) 에너지 레벨은 상기 전자주게층의 HOMO (highest occupied molecular orbital) 에너지 레벨보다 낮거나 같게 형성되고,

상기 정공수송층의 이동도(mobility)는 상기 전자주게층의 이동도(mobility)보다 큰 값을 갖도록 형성되는 것을 특징으로 하는 유기 태양전지 소자.

청구항 3

청구항 1 또는 2에 있어서,

상기 정공수송층의 이동도(mobility)는 10^{-5} cm^2/Vs 내지 10^{-1} cm^2/Vs 인 것을 특징으로 하는 유기 태양전지 소자.

청구항 4

청구항 1 또는 2에 있어서,

상기 정공수송층의 HOMO (highest occupied molecular orbital) 에너지 레벨은, 상기 제1전극의 일함수 에너지 레벨보다 높거나 같게 형성되는 것을 특징으로 유기 태양전지 소자.

청구항 5

청구항 4에 있어서,

상기 전자주게층의 HOMO 에너지 레벨과 상기 제1전극의 일함수 에너지 레벨간의 차이는 0eV 초과 1.5eV 이하인 것을 특징으로 하는 유기 태양전지 소자.

청구항 6

청구항 1 또는 2에 있어서,

상기 정공수송층의 LUMO (lowest occupied molecular orbital) 에너지 레벨은 상기 전자주게층의 LUMO (lowest occupied molecular orbital) 에너지 레벨보다 낮거나 같게 형성되는 것을 특징으로 하는 유기 태양전지 소자.

청구항 7

청구항 6에 있어서,

상기 정공수송층의 LUMO 에너지 레벨은 1eV 내지 3eV 인 것을 특징으로 하는 유기 태양전지 소자.

청구항 8

청구항 1 또는 2에 있어서,

상기 정공수송층은, 상기 전자주게층의 에너지 밴드갭보다 큰 에너지 밴드갭을 갖는 물질로 형성되는 것을 특징으로 하는 유기 태양전지 소자.

청구항 9

제1전극상에 정공수송층을 형성하는 정공수송층 형성단계;

상기 정공수송층상에 전자주게층을 형성하는 전자주게층 형성단계;

상기 전자주게층상에 전자받게층을 형성하는 전자받게층 형성단계;

상기 전자받게층상에 제2전극을 형성하는 제2전극형성단계;

를 포함하고,

상기 정공수송층 형성단계에서,

상기 정공수송층의 HOMO (highest occupied molecular orbital) 에너지 레벨은 상기 전자주게층의 HOMO (highest occupied molecular orbital) 에너지 레벨보다 낮거나 같게 형성되고,

상기 정공수송층의 이동도(mobility)는 상기 전자주게층의 이동도(mobility)보다 큰 값을 갖도록 형성되는 것을 특징으로 하는 유기 태양전지 소자 제조방법.

청구항 10

제2전극상에 전자받게층을 형성하는 전자받게층 형성단계;

상기 전자받게층상에 전자주게층을 형성하는 전자주게층 형성단계;

상기 전자주게층상에 정공수송층을 형성하는 정공수송층 형성단계;

상기 정공수송층상에 제1전극을 형성하는 제1전극형성단계;

를 포함하고,

상기 정공수송층 형성단계에서,

상기 정공수송층의 HOMO (highest occupied molecular orbital) 에너지 레벨은 상기 전자주게층의 HOMO (highest occupied molecular orbital) 에너지 레벨보다 낮거나 같게 형성되고,

상기 정공수송층의 이동도(mobility)는 상기 전자주게층의 이동도(mobility)보다 큰 값을 갖도록 형성되는 것을 특징으로 하는 유기 태양전지 소자 제조방법.

청구항 11

청구항 9 또는 10에 있어서,

상기 정공수송층의 이동도(mobility)는 10^{-5}cm/Vs 내지 10^{-1}cm/Vs 로 형성되는 것을 특징으로 하는 유기 태양전지 소자 제조방법.

청구항 12

청구항 9 또는 10에 있어서,

상기 정공수송층 형성단계에서,

상기 정공수송층의 HOMO (highest occupied molecular orbital) 에너지 레벨은 상기 제1전극의 일함수 에너지 레벨보다 높거나 같도록 형성되는 것을 특징으로 하는 유기 태양전지 소자 제조방법.

청구항 13

청구항 12에 있어서,

상기 전자주게층의 HOMO 에너지 레벨과 상기 제1전극의 일함수 에너지 레벨간의 차이는 0eV 초과 1.5eV 이하로 형성되는 것을 특징으로 하는 유기 태양전지 소자 제조방법.

청구항 14

청구항 9 또는 10에 있어서,

상기 정공수송층 형성단계에서,

상기 정공수송층의 LUMO (lowest occupied molecular orbital) 에너지 레벨은 상기 전자주게층의 LUMO (lowest occupied molecular orbital) 에너지 레벨보다 낮거나 같도록 형성되는 것을 특징으로 하는 유기 태양전지 소자 제조방법.

청구항 15

청구항 14에 있어서,

상기 정공수송층의 LUMO 에너지 레벨은 1eV 내지 3eV 로 형성되는 것을 특징으로 하는 유기 태양전지 소자 제조방법

청구항 16

청구항 9 또는 10에 있어서,

상기 정공수송층 형성단계에서,

상기 정공수송층은, 상기 전자주게층의 에너지 밴드갭보다 큰 에너지 밴드갭을 갖는 물질로 형성되는 것을 특징으로 하는 유기 태양전지 소자 제조방법.

명 세 서

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 유기 태양전지 소자 및 그 제조방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 유기 반도체 소자로는 유기 발광 다이오드(OLED; organic light emitting diode), 유기 태양전지, 유기 트랜지스터, 유기 센서 등이 있다. 이러한 유기 반도체 소자에 있어 특히 유기 태양전지 분야에 사용되는 소자의 경우, 전하의 추출, 이동 및 주입 특성은 유기 반도체 소자의 개방전압 향상, 단락전류 향상 및 높은 광전변환 효율을 가능하게 하는 가장 중요하고 영향력이 큰 요소이다. 따라서 유기 반도체 소자에 있어 전하 추출 향상, 전하의 이동도 향상, 전자 주입특성 향상을 위한 기술들이 많이 연구되고 있으며, 그 중에서 가장 활발한 연구 분야는 활성층의 전자주게 물질을 HOMO(highest occupied molecular orbital) 에너지 준위가 낮은 물질을 사용하고, 전자받게 물질을 LUMO(lowest occupied molecular orbital) 물질을 사용하는 기술이다. 상술한 기술에 따르면 전자주게 물질과 전자받게 물질의 에너지 차이가 커질수록, 전하의 이동특성이 향상되어 결과적으로 유기 반도체 소자의 개방전압이 커지게 되고, 결과적으로 상술한 소자를 이용하여 유기 태양전지를 구성하는 경우, 개방전압이 커져 보다 효율적인 태양전지를 제조할 수 있게 된다.

[0003] 다만 상술한 기술분야에 대한 연구는 물질의 발굴 면에서 큰 어려움을 겪고 있다. 이러한 연구는 빛(특히 태양광)을 잘 흡수하면서도 물질이 전자 이동도가 커야 하고, 엑시톤을 전자와 정공으로 분리하는 능력도 좋은 물질을 발굴하는 데에 초점이 맞추어져 있기 때문이다. 따라서 유기 반도체 소자분야, 특히 유기 태양전지 소자분야에서 활성층의 물질을 변화시키지 않고도 최대개방전압을 향상시킬 수 있는 새로운 접근방법이 필요하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본 발명은 상술한 문제를 해결하기 위해 안출된 것으로, 본 발명의 목적은 제1전극(양극)과 전자주게층 사이에 정공수송층을 추가로 삽입함으로써 정공의 추출, 주입 및 이동특성을 향상시키고, 결과적으로 최대개방전압을 향상시킬 수 있는 유기 태양전지 소자 및 그 제조방법을 제공하는데에 있다.

과제의 해결 수단

[0005] 상술한 과제를 해결하기 위한 본 발명에 따른 유기 태양전지 소자는, 제1전극; 전자주게층; 상기 전자주게층과 연결되는 전자받게층; 상기 전자받게층과 연결되는 제2전극; 일측이 상기 제1전극과 연결되고, 타측이 상기 전자주게층과 연결되는 정공수송층; 을 포함하고, 상기 정공수송층의 HOMO (highest occupied molecular orbital) 에너지 레벨은 상기 전자주게층의 HOMO (highest occupied molecular orbital) 에너지 레벨보다 낮거나 같게 형성되고, 상기 정공수송층의 이동도(mobility)는 상기 전자주게층의 이동도(mobility)보다 큰 값을 갖도록 형성될 수 있다.

[0006] 상술한 과제를 해결하기 위한 본 발명에 따른 다른 구조의 유기 태양전지 소자는, 제1전극; 전자주게층과 전자받게층이 혼합되어 형성된 활성층; 상기 활성층과 연결되는 제2전극; 일측이 상기 제1전극과 연결되고, 타측이 상기 활성층과 연결되는 정공수송층; 을 포함하고, 상기 정공수송층의 HOMO (highest occupied molecular orbital) 에너지 레벨은 상기 전자주게층의 HOMO (highest occupied molecular orbital) 에너지 레벨보다 낮거나 같게 형성되고, 상기 정공수송층의 이동도(mobility)는 상기 전자주게층의 이동도(mobility)보다 큰 값을 갖도록 형성될 수 있다.

[0007] 본 발명에 따른 유기 태양전지 소자에 있어서, 상기 정공수송층의 이동도(mobility)는 $10^{-5}cm^2/Vs$ 내지 $10^{-1}cm^2/Vs$ 인 것이 바람직하다.

[0008] 본 발명에 따른 유기 태양전지 소자에 있어서, 상기 정공수송층의 HOMO (highest occupied molecular orbital) 에너지 레벨은, 상기 제1전극의 일함수 에너지 레벨보다 높거나 같게 형성될 수 있다.

[0009] 또한 상술한 본 발명에 따른 유기 태양전지 소자에 있어서, 상기 전자주게층의 HOMO 에너지 레벨과 상기 제1전극의 일함수 에너지 레벨간의 차이는 0eV 초과 1.5eV 이하인 것이 바람직하다.

[0010] 본 발명에 따른 유기 태양전지 소자에 있어서, 상기 정공수송층의 LUMO (lowest occupied molecular orbital) 에너지 레벨은 상기 전자주게층의 LUMO (lowest occupied molecular orbital) 에너지 레벨보다 낮거나 같게 형성될 수 있다.

[0011] 또한 상술한 본 발명에 따른 유기 태양전지 소자에 있어서, 상기 정공수송층의 LUMO 에너지 레벨은 1eV 내지 3eV 인 것이 바람직하다.

[0012] 본 발명에 따른 유기 태양전지 소자에 있어서, 상기 정공수송층은, 상기 전자주게층의 에너지 밴드갭보다 큰 에너지 밴드갭을 갖는 물질로 형성될 수 있다.

[0013] 상술한 과제를 해결하기 위한 본 발명의 유기 태양전지 소자 제조방법은, 제1전극상에 정공수송층을 형성하는 정공수송층 형성단계; 상기 정공수송층상에 전자주게층을 형성하는 전자주게층 형성단계; 상기 전자주게층상에 전자받게층을 형성하는 전자받게층 형성단계; 상기 전자받게층상에 제2전극을 형성하는 제2전극형성단계; 를 포함하고, 상기 정공수송층 형성단계에서, 상기 정공수송층의 HOMO (highest occupied molecular orbital) 에너지 레벨은 상기 전자주게층의 HOMO (highest occupied molecular orbital) 에너지 레벨보다 낮거나 같게 형성되고, 상기 정공수송층의 이동도(mobility)는 상기 전자주게층의 이동도(mobility)보다 큰 값을 갖도록 형성되는 것을 특징으로 한다.

[0014] 상술한 과제를 해결하기 위한 본 발명의 유기 태양전지 소자 제조방법은, 제2전극상에 전자받게층을 형성하는 전자받게층 형성단계; 상기 전자받게층상에 전자주게층을 형성하는 전자주게층 형성단계; 상기 전자주게층상에 정공수송층을 형성하는 정공수송층 형성단계; 상기 정공수송층상에 제1전극을 형성하는 제1전극형성단계; 를 포함하고, 상기 정공수송층 형성단계에서, 상기 정공수송층의 HOMO (highest occupied molecular orbital) 에너지 레벨은 상기 전자주게층의 HOMO (highest occupied molecular orbital) 에너지 레벨보다 낮거나 같게 형성되고, 상기 정공수송층의 이동도(mobility)는 상기 전자주게층의 이동도(mobility)보다 큰 값을 갖도록 형성되는 것을 특징으로 한다.

[0015] 상술한 본 발명의 유기 태양전지 소자 제조방법에 있어서, 상기 정공수송층의 이동도(mobility)는 10^{-5}cm/Vs 내지 10^{-1}cm/Vs 로 형성되는 것이 바람직하다.

[0016] 상술한 본 발명의 유기 태양전지 소자 제조방법에 있어서, 상기 정공수송층 형성단계에서, 상기 정공수송층의 HOMO (highest occupied molecular orbital) 에너지 레벨은 상기 제1전극의 일함수 에너지 레벨보다 높거나 같도록 형성될 수 있다.

[0017] 또한 상기 전자주게층의 HOMO 에너지 레벨과 상기 제1전극의 일함수 에너지 레벨의 차이는 0eV 초과 1.5eV 이하로 형성되는 것이 바람직하다.

[0018] 상술한 본 발명의 유기 태양전지 소자 제조방법에 있어서, 상기 정공수송층 형성단계에서, 상기 정공수송층의 LUMO (lowest occupied molecular orbital) 에너지 레벨은 상기 전자주게층의 LUMO (lowest occupied molecular orbital) 에너지 레벨보다 낮거나 같도록 형성될 수 있다.

[0019] 또한 상기 정공수송층의 LUMO 에너지 레벨은 1eV 내지 3eV 로 형성되는 것이 바람직하다.

[0020] 상술한 본 발명의 유기 태양전지 소자 제조방법에 있어서, 상기 정공수송층 형성단계에서, 상기 정공수송층은, 상기 전자주게층의 에너지 밴드갭보다 큰 에너지 밴드갭을 갖는 물질로 형성되는 것이 바람직하다.

발명의 효과

[0021] 본 발명에 따르면, 전자주게층과 제1전극(양극) 사이에 전자주게층에 비하여 높은 정공 이동도(mobility)를 갖는 정공수송층을 형성함으로써 빠른 속도로 제1전극으로 정공을 빼내어 단락전류를 증가시키고, 결과적으로 최대개방전압을 향상시키는 효과를 갖는다.

[0022] 또한 본 발명에 따르면, 제1전극에 비해 낮은 값의 HOMO (highest occupied molecular orbital) 에너지 레벨을 갖는 정공수송층을 제1전극과 전자주게층 사이에 형성함으로써, 제2전극에서 제1전극쪽으로 방향의 전기장을 형성하게 되어 정공을 더 빠른속도로 수송하는 효과 및 이에 따른 단락전류 증가효과, 최대개방전압 향상효과를 갖는다.

[0023] 또한 본 발명에 따르면 전류전압 특성곡선(J-V 곡선)이 최대개방전압에서 꺾이는 현상을 최소화함으로써, 결과적으로 누설전류를 감소시키는 효과 및 유기 태양전지 소자의 최대개방전압을 향상시키는 효과를 거둘 수 있게

된다.

[0024] 상술한 효과에 따라 본 발명의 유기 태양전지 소자로 유기 태양전지를 제조하는 경우, 광전변환효율이 높은 유기 태양전지를 제조할 수 있게 된다.

[0025] 또한 별도의 물질을 개발하지 않고 기존에 사용되는 유기 태양전지 소자 물질을 이용하여 광전변환효율이 높은 유기 태양전지를 제조할 수 있게 되어 경제적인 장점도 아울러 구현된다.

도면의 간단한 설명

[0026] 도 1은 본 발명에 따른 유기 태양전지 소자 구조의 개략적인 에너지 레벨을 나타낸 것이다.

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 유기 태양전지 소자 제조방법을 나타낸 흐름도이다.

도 3은 본 발명에 따른 유기 태양전지 소자의 개략적인 구조를 나타낸 단면도이다.

도 4는 본 발명의 따른 유기 태양전지 소자 구조에서 정공수송층의 삽입특성을 비교하기 위한 각 실시형태의 단면도이다.

도 5는 도 4의 각 실시형태에 따라 정공수송층의 삽입에 의한 J-V특성을 나타내는 그래프이다.

도 6은 도 4의 각 실시형태에 따른 유기 태양전지 소자 구조의 에너지 레벨을 나타낸 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0027] 이하 첨부된 도면을 참조하여 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자가 본 발명을 용이하게 실시할 수 있는 바람직한 실시예를 상세히 설명한다. 다만 본 명세서에 기재된 내용은 본 발명의 바람직한 일 실시예에 불과할 뿐이고, 본 출원시점에 있어서 이들을 대체할 수 있는 다양한 균등물과 변형 예들이 있을 수 있음을 이해하여야 한다. 또한, 본 발명의 바람직한 실시예에 대한 동작 원리를 상세하게 설명함에 있어 관련된 공지 기능 또는 구성에 대한 구체적인 설명이 본 발명의 요지를 불필요하게 흐릴 수 있다고 판단되는 경우에는 그 상세한 설명을 생략한다. 후술되는 용어들은 본 발명에서의 기능을 고려하여 정의된 용어들로서, 각 용어의 의미는 본 명세서 전반에 걸친 내용을 토대로 해석되어야 할 것이다. 도면 전체에 걸쳐 유사한 기능 및 작용을 하는 부분에 대해서는 동일한 도면 부호를 사용한다.

[0028] 도 1은 본 발명에 따른 유기 태양전지 소자 구조의 개략적인 에너지 레벨을 나타낸 것이다. 보다 자세하게는 도 1의 (a)는 전자주게층과 전자받게층이 별도의 층으로 형성된, 본 발명에 따른 유기 태양전지 소자 구조에 관한 도면이며, 도 1의 (b)는 전자주게층과 전자받게층이 하나의 활성층으로 형성된, 본 발명에 따른 유기 반도체 소자의 구조에 관한 도면이다. 도 1에서의 에너지 레벨은 위쪽으로 갈수록 에너지 레벨이 낮으며, 아래쪽으로 갈수록 에너지 레벨이 높다.

[0029] 도 1의 (a)를 참조하면, 본 발명의 유기 태양전지 소자(10)는, 제1전극(100), 전자주게층(500), 전자주게층(500)과 연결되는 전자받게층(700), 전자받게층(700)과 연결되는 제2전극(900)을 포함하고, 제1전극(100)과 전자주게층(500) 사이에 일측이 제1전극(100)과 연결되고, 타측이 전자주게층(500)과 연결되는 정공수송층(300)을 포함하여 이루어진다.

[0030] 본 발명의 제1전극(100)은, 정공수송층(300)과 연결되는 전극으로서, 양극, 즉 애노드(anode) 전극의 역할을 한다. 예컨대 ITO (INDUIM TIN OXIDE) 전극, Al층 또는 Ag층 상에 형성되어 있는 MoO_3, WO_3 전극 등으로 본 발명의 제1전극(100)을 형성할 수 있다. 이하에서는 제1전극(100)이 ITO (INDUIM TIN OXIDE) 전극인 경우를 주로 예시로 설명하나, 다만 본 발명의 권리범위가 이에 한정되지는 않는다. 즉 현재 개발되어 상용화 되었거나 향후 기술발전에 따라 구현 가능한, 유기 태양전지 소자에 정공을 주입하거나 음의 전압 인가시 정공이 이동할 수 있는 모든 전극을 이용하여 본 발명의 제1전극(100)을 형성할 수 있다고 할 것이다.

[0031] 본 발명의 전자주게층(500)은 일측이 정공수송층(300)과 연결되며, 유기 태양전지 소자(10)에서 빛을 흡수하여 엑시톤을 형성하고, 타측에 연결된 전자받게층(700)과 함께 전자 및 정공을 형성시키는 층이다. 예컨대 CuPc(Copper phthalocyanine), ZnPc(Zinc phthalocyanine), SubPc(Subphthalocyanine), P3HT(Poly(3-hexylthiophene-2,5-diyl) 등의 물질로 본 발명의 전자주게층(500)을 형성할 수 있다. 이하에서는 전자주게층(500)이 SubPc(Subphthalocyanine)로 형성되는 경우를 주로 예시로 설명하나, 다만 이에 한정되지는 않으며, 현재 개발되어 상용화되었거나 향후 기술발전에 따라 구현 가능한, 빛을 흡수하여 엑시톤을 형성하고 전자 및 정

공을 형성시킬 수 있는 모든 물질로 본 발명의 전자주게층(500)을 형성할 수 있다고 할 것이다.

[0032] 본 발명의 전자받게층(700)은 일측이 상술한 전자주게층(500)과 연결되는 층으로서, 역시 전자받게층(500)과 함께 전자와 정공을 형성시키는 층이다. 예컨대 C60, C70, $PC_{60}BM$, $PC_{70}BM$ 등의 물질로 본 발명의 전자받게층(700)을 형성할 수 있다. 이하에서는 전자받게층(700)이 C60으로 형성되는 경우를 주로 예시로 설명하나, 다만 이에 한정되지는 않으며, 현재 개발되어 상용화되었거나 향후 기술발전에 따라 구현 가능한, 전자 및 정공을 형성시킬 수 있는 모든 물질로 본 발명의 전자받게층(700)을 형성할 수 있다고 할 것이다.

[0033] 본 발명의 제2전극(900)은 전자받게층(700)의 타측과 연결되는 전극으로서, 음극, 즉 캐소드(cathode)전극 역할을 한다. 예컨대 Al, Ag등의 물질로 제2전극(900)을 형성 가능하며, 이하에서는 주로 제2전극(900)이 Al로 형성된 경우를 예시로 설명한다. 다만 이는 하나의 예시일 뿐이며, 현재 개발되어 상용화되었거나 향후 기술발전에 따라 구현 가능한, 유기 태양전지 소자에 전하를 주입하거나 양의 전압 인가시 전하가 이동할 수 있는 모든 전극을 이용하여 본 발명의 제2전극(900)을 형성할 수 있다고 할 것이다.

[0034] 한편, 도 1의 (b)를 참조하면, 본 발명의 유기 태양전지 소자(11)는, 제1전극(100), 전자주게층(500)과 전자받게층(700)이 하나의 층으로 형성된 활성층(600), 활성층과 연결되는 제2전극(900)을 포함하고, 제1전극(100)과 활성층(600) 사이에 일측이 제1전극(100)과 연결되고 타측이 활성층(600)과 연결되는 정공수송층(300)을 포함하여 이루어질 수도 있다. 이때 전자주게층(500)은 P3HT(Poly(3-hexylthiophene-2,5-diyl)로 이루어질 수 있으며, 전자받게층은 PCBM((6,6)-Phenyl-C61 butyric acid methyl ester)으로 이루어져 하나의 활성층(600)을 형성할 수 있으나, 이에 한정되지는 않는다.

[0035] 이외의 제1전극(100), 정공수송층(300), 제2전극(900)에 관한 설명은 도 1의 (a)의 설명에서 상술한 바와 동일한 바, 생략한다.

[0036] 한편 도 1의 (a) 및 (b)에 도시된 본 발명의 정공수송층(300)은 제1전극(100)의 일함수 변화 및 추출된 정공의 이동특성을 향상시키는 층으로서, 본 발명에 있어서 정공수송층(300)의 HOMO (highest occupied molecular orbital) 에너지 레벨(300H)은 전자주게층(500)의 HOMO (highest occupied molecular orbital) 에너지 레벨(500H)보다 낮거나 같게 형성되고, 제1전극(100)의 일함수 보다 높거나 같게 형성된다. 이러한 정공수송층(300)의 HOMO 에너지 레벨(300H) 특성은 본 발명의 주된 핵심사항 중 하나이다. 이에 따라 상술한 정공수송층(300)이 제1전극(100)과 전자주게층(500) 또는 활성층(600) 사이에 형성된 본 발명의 유기 태양전지 소자(10, 11)의 경우, 제1전극(100)의 일함수가 정공수송층(300)이 형성되기 전보다 더 낮아지기 때문에, 결과적으로 제1전극(100)과 제2전극(900)간의 일함수 차이가 더 커지게 된다. 이는 유기 태양전지 소자 내부의 전기장 세기를 강화하게 되고, 결과적으로 유기 태양전지 소자의 최대개방전압을 향상시킬 수 있게 된다.

[0037] 또한 상술한 바와 더불어 정공수송층(300)의 정공 이동도(mobility)는 전자주게층(500)의 이동도(mobility)보다 큰 값을 갖도록 형성되며, 이러한 점이 본 발명의 가장 주된 특징 중 하나이다. 현재까지 가장 낮은 정공이동도(mobility)를 갖는 전자주게층(500)의 이동도(mobility)는 $1x10^{-5}cm^2/Vs$이고, 가장 빠른 이동도를 갖는 전자주게층(500)의 이동도(mobility)는 $1x10^{-1}cm^2/Vs$ 정도인 바, 정공수송층(300)의 정공이동도(mobility) 역시 $10^{-5}cm^2/Vs$ 내지 $10^{-1}cm^2/Vs$의 값을 가지는 것이 바람직하다.

[0038] 본 발명에 따른 유기 태양전지 소자(10, 11)에 의하면, 전자주게층(500)보다 높은 정공이동도(mobility)를 갖는 물질로 형성된 정공수송층(300)을 전자주게층(500) 또는 활성층(600)과 제1전극(100) 사이에 삽입함으로써, 정공을 빠른 속도로 제1전극으로 이동시킬 수 있게 되고, 결과적으로 본 발명의 유기 태양전지 소자에서 생성되는 단락전류값이 커지게 된다. 이때, 태양광에 의해 생성되는 역방향(bias) 전류가 커지게 되면, 이를 상쇄시킬 만한 전압이 추가적으로 더 필요하게 되고, 이렇게 추가된 전압은 본래의 개방전압에 더해짐으로써, 결과적으로 유기 태양전지 소자(10)의 최대개방전압을 더욱 향상시키는 효과를 거둘 수 있다.

[0039] 따라서 본 발명의 유기 태양전지 소자에 의하면, 유기 태양전지 소자로 사용시 별도의 물질을 개발할 필요없이, 현재 널리 사용되는 유기 태양전지 구성 물질에 정공수송층을 추가하는 것만으로도 최대개방전압 상승이라는 효과를 거둘 수 있게 되어, 보다 효율적인 유기 태양전지 제조가 가능하게 된다.

[0040] 또한, 도 1의 (a) 및 (b)에 도시된 본 발명의 정공수송층(300) HOMO (highest occupied molecular orbital) 에너지 레벨(300H)은 전자주게층(500)의 HOMO (highest occupied molecular orbital) 에너지 레벨(500H)보다 낮거나 같고, 제1전극(100)의 일함수 에너지 레벨보다 높거나 같게 형성되는 것이 바람직하다. 여기서 상술한 전자주게층(500)의 HOMO 에너지 레벨(500L)과 제1전극(100)의 일함수 에너지 레벨간의 차이(E)는 0eV 초과 1.5eV

이하인 것이 바람직하며, 바꾸어 말하면 정공수송층(300) HOMO (highest occupied molecular orbital) 에너지 레벨(300H)이 전자주게층(500)의 HOMO (highest occupied molecular orbital) 에너지 레벨(500H)보다 최대로 작은 경우라도 그 에너지 레벨의 차이가 2ev 이하, 보다 바람직하게는 최대 1.5eV 범위 내인 것이 가장 바람직하다.

[0041] 제1전극(100)으로 사용하는 물질 중 가장 낮은 일함수를 갖는 전극은 Al이다. Al은 4.0eV의 일함수를 가지고 있고, 전자주게층(500)을 이루는 물질의 대부분(예컨대 SubPc)은 HOMO 에너지 레벨이 5.5eV 내지 5.6eV 이하로서 정공수송층(300)의 HOMO 에너지 레벨은 제2전극(900, 예컨대 Al 전극)보다 높고, 전자주게층(500)을 이루는 물질(예컨대 SubPc ; Subphthalocyanine)보다 낮은 영역으로 한정하는 것이 바람직하다. 정공이 에너지 레벨이 높은 곳에서 낮은 곳으로 이동하기가 보다 쉬운 바, 정공의 이동을 보다 쉽게 하기 위함이다. 정공수송층(300)의 HOMO 에너지 레벨(300H)을 전자주게층(500)의 HOMO 에너지 레벨(500H)보다 낮거나 같게 형성함에 따라 상술한 바와 같이 정공수송층(300)이 양극으로 사용되는 제1전극(100)으로 정공을 빠른 속도로 이동시켜 유기 태양전지 소자의 전류를 증가시키는 효과를 갖게 된다.

[0042] 이와 더불어 정공수송층(300)의 HOMO 에너지 레벨(300H)을 제1전극(100)의 일함수 에너지 레벨보다 높거나 갖게 형성함으로써, 정공의 이동을 보다 쉽게 하는 효과뿐만 아니라, 유기 태양전지 소자 내에 제2전극(900)방향에서 제1전극(100)방향, 즉 양극(애노드 전극)에서 음극(캐소드 전극)방향으로 전기장을 형성하게 된다. 이에 따라 형성된 전기장에 의하여 제1전극(100)으로의 정공 수송이 보다 더욱 빨라지게 되어, 본 발명의 유기 태양전지 소자(10, 11)의 전류를 더욱 증가시키는 효과 및 최대개방전압을 더욱 상승시키는 효과를 추가로 얻을 수 있게 된다.

[0043] 한편 본 발명의 유기 태양전지 소자(10, 11)의 정공수송층(300)의 LUMO (lowest occupied molecular orbital) 에너지 레벨(300L)은 전자주게층(500)의 LUMO (lowest occupied molecular orbital) 에너지 레벨(500L)보다 낮거나 같게 형성되는 것이 바람직하다.

[0044] 빛(태양광)에 의해 형성된 전자 및 정공은 순방향(Bias) 또는 역방향(Bias)에 의해 양 전극으로 각각 이동하게 된다. 유기 태양전지 소자(10)내에서 전자 및 정공이 순방향(Bias)으로 이동하는 경우, 전자주게층(500)과 전자받게층(700) 사이에서 형성된 전자가 제1전극(100, 양극)으로 이동하게 되는데 이 때의 전자의 이동은 유기 태양전지 소자(10)의 다이오드 특성을 줄여 Fill Factor를 낮추어 소자의 특성을 감소시킬 수 있다. 그렇기 때문에 정공수송층(300)의 LUMO (lowest occupied molecular orbital) 에너지 레벨(300L)을 전자주게층(500)의 LUMO (lowest occupied molecular orbital) 에너지 레벨(500L)보다 낮거나 같게 형성함으로써 상술한 전자의 이동을 막을 수 있게 되어, 결과적으로 유기 태양전지 소자(10)의 특성을 향상시킬 수 있다. 본 발명의 다른 실시예인 유기 태양전지 소자(11)에 관한 설명도 상술한 바와 그 원리가 동일한 바, 생략한다.

[0045] 또한 상술한 바와 더불어 정공수송층(300)의 LUMO 에너지 레벨(300L)은 1eV 내지 3eV 로 형성되는 것이 바람직하다. 대부분의 정공수송층(300)을 이루는 물질의 LUMO 에너지 레벨(300L)이 1eV 내지 3eV 로 형성되기 때문이다.

[0046] 즉 대부분의 전자주게층(500)의 LUMO 에너지 레벨(500L)은 3.5eV로서, 본 발명에서는 이보다 더 낮은 LUMO 준위를 갖는 정공수송층(300)이 필요하다. 또한 전지 주입시 약 0.5 eV 이상의 전자주입장벽이 필요한 것이 일반적이기 때문에 본 발명의 정공수송층(300)의 LUMO 에너지 레벨(300L)은 3eV 이하로 형성되는 것이 바람직하다 할 것이다. 또한 1eV 보다 더 낮은 LUMO 에너지 레벨을 갖는 물질이 현재 알려진 바 없기 때문에 정공수송층(300)의 LUMO 에너지 레벨(300L)은 1eV 이상으로 형성되는 것이 바람직하다고 할 것이다. 따라서 정공수송층(300)의 LUMO 에너지 레벨(300L)은 1eV 내지 3eV 로 형성되는 것이 바람직하다.

[0047] 또한 본 발명의 유기 태양전지 소자(10, 11)의 정공수송층(300)은, 전자주게층(500)의 에너지 밴드갭(500B)보다 큰 에너지 밴드갭을 갖는 물질로 형성되는 것이 바람직하다. 즉 바꾸어 말하면 정공수송층(300)의 에너지 밴드갭(300B)을 전자주게층(500)의 에너지 밴드갭(500B)보다 크게 형성하는 것이 바람직하다. 이는 정공수송층(300)이 유기 태양전지 소자(10, 11)의 기능에 부정적인 영향을 주는 것을 최소화하기 위함이며, 보다 자세하게는 정공수송층(300)에서 가시광선영역의 빛을 흡수하지 않도록 하여, 입사되는 빛(태양광)이 전자주게층(500)에 전달되도록 함으로써, 본 발명의 유기 태양전지 소자(10, 11)의 전자주게층(500)이 빛(태양광)을 흡수하여 엑시톤을 형성하고, 전자받게층과 함께 전자와 정공을 원활하게 형성시키도록 하기 위함이다.

[0048] 이러한 정공수송층(300)을 이루는 물질의 예시로서 본 발명의 유기 태양전지 소자(10)의 경우, 2-TNATA(4,4',4"-tris(N-(2-naphthyl)-N-phenyl-amino)triphenylamine), NPB(N,N'-diphenyl-N,N'-bis(1,1'-biphenyl)-

4,4'-diamine), TPD(N,N'-Bis(methylphenyl)-N,N'-bis(phenyl)-benzeidine), TAPC(1,1-bis(di-4-tolylaminophenyl) cyclohexane) 중 어느 하나를 사용할 수 있으나 이에 한정되는 것은 아니며, 현재 개발되어 상용화되었거나, 향후 기술발전에 따라 구현 가능한, 상술한 조건에 부합하는 모든 물질로 본 발명의 정공수송층(300)을 형성할 수 있다고 할 것이다.

[0049] 또한 본 발명의 다른 실시예인 유기 태양전지 소자(11)의 경우, 정공수송층을 이루는 물질의 예시로서, PEDOT:PSS(Poly(3,4-ethylenedioxythiophene):Poly(styrenesulfonate)) 를 사용 할 수 있으나, 이에 한정되지는 않는다.

[0050] 상술한 에너지 레벨 구조를 갖는 본 발명의 유기 태양전지 소자(10, 11)는, 전자주게층(500) 또는 활성층(600)과 제1전극(100) 사이에, 전자주게층(500)에 비하여 높은 정공 이동도(mobility)를 갖고 HOMO (highest occupied molecular orbital) 에너지 레벨이 전자주게층(500)의 HOMO (highest occupied molecular orbital) 에너지 레벨보다 낮거나 같은 정공수송층(300)을 형성함으로써, 정공을 빠른 속도로 제1전극(100)으로 빼내어 단락전류를 증가시키는 효과, 최대개방전압을 향상시키는 효과, 제2전극(900)에서 제1전극(100)쪽으로 전기장을 형성하는 효과, 상술한 전기장에 의해 정공을 더 빠른속도로 수송하는 효과 및 이에 따른 부수적인 단락전류 증가효과, 최대개방전압 향상효과를 갖는다. 이와 더불어 누설전류를 감소시킴으로써 광전변환효율이 높은 유기 태양전지 제작이 가능한 유기 태양전지 소자(10)를 제공하는 효과 또한 아울러 갖게 된다.

[0051] 도 2는 본 발명에 따른 유기 태양전지 소자 제조방법의 일 실시예를 나타낸 흐름도이다. 도 1 내지 도 2를 참조하면, 본 발명의 유기 태양전지 소자 제조방법은, 우선 제1전극을 형성한다(S100). 그리고 S100단계에서 형성한 제1전극상에 정공수송층을 형성한다(S300). 이후 S300단계에서 형성한 정공수송층상에 전자주게층을 형성하고(S500), S500단계에서 형성한 전자주게층상에 전자받게층을 형성한다(S700). 이후 S700단계에서 형성한 전자받게층상에 제2전극을 형성하게 된다(S900). 이러한 단계를 포함하여 본 발명의 유기 태양전지 소자를 제조하게 된다.

[0052] 여기서 포함이란 용어는 상술한 단계만으로 본 발명의 유기 태양전지 소자를 제조한다는 의미가 아닌, 상술한 단계 이외의 단계도 더 포함하여 본 발명의 유기 태양전지 소자를 제조할 수 있다는 의미임은 당업자에게 자명하다 할 것이다.

[0053] 본 발명의 S100단계에서 형성되는 제1전극은 양극, 즉 애노드(anode) 전극의 역할을 하고, ITO (INDUIM TIN OXIDE) 전극, Al층 또는 Ag층 상에 형성되어 있는 MoO_3, WO_3 전극 등으로 본 발명의 제1전극을 형성할 수 있으며, 제1전극이 ITO (INDUIM TIN OXIDE) 전극인 경우를 주로 예시로 설명하나, 이에 한정되는 것은 아님은 도 1의 설명에서 상술한 바와 같다.

[0054] 이후 S300단계에서 제1전극상에 형성되는 정공수송층을 형성하고, S500단계에서는 정공수송층상에 전자주게층을 형성한다.

[0055] S500단계에서 형성되는 전자주게층은, 본 발명에 의해 제조되는 유기 태양전지 소자에서 빛을 흡수하여 엑시톤을 형성하고, S700단계에서 제조되는 전자받게층과 함께 전자 및 정공을 형성시키는 층으로서, CuPc(Copper phthalocyanine), ZnPc(Zinc phthalocyanine), SubPc(Subphthalocyanine), P3HT(Poly(3-hexylthiophene-2,5-diyl) 등의 물질로 본 발명의 전자주게층을 형성할 수 있음은 도 1의 설명에서 상술한 바와 같다. 또한 이하에서는 전자주게층이 SubPc(Subphthalocyanine)로 형성되는 경우를 주로 예시로 설명하나, 이에 한정되지 않음은 역시 도 1의 설명에서 상술한 바와 같다.

[0056] S700단계에서 형성되는 전자받게층은 일측이 S500단계에서 형성된 전자주게층과 연결되는 층으로서, 전자받게층과 함께 전자와 정공을 형성시키는 층이다. 예컨대 C60, C70, $PC_{60}BM$, $PC_{70}BM$ 등의 물질로 본 발명의 전자받게층을 형성할 수 있으며, 이하에서는 전자받게층이 C60으로 형성되는 경우를 주로 예시로 설명하나, 이에 한정되지는 않음은 도 1의 설명에서 상술한 바와 같다.

[0057] 한편 S300단계에서 형성되는 정공수송층은 제1전극의 일함수 변화 및 추출된 정공의 이동특성을 향상시키는 층으로서 본 발명의 핵심적인 주요 특징에 해당한다. S300단계에서 형성되는 정공수송층의 HOMO (highest occupied molecular orbital) 에너지 레벨은 S500단계에서 형성되는 전자주게층의 HOMO (highest occupied molecular orbital) 에너지 레벨보다 낮거나 같게 형성되고, 또한 상술한 정공수송층의 이동도(mobility)는 상술한 전자주게층의 이동도(mobility)보다 큰 값을 갖도록 형성된다. 이에 따라 정공을 빠른 속도로 제1전극으로 이동시킬 수 있게 되고, 결과적으로 본 발명의 제조방법으로 제조된 유기 태양전지 소자에서 생성되는 전류값이

커지게 되어, 결과적으로 최대개방전압이 상승되는 효과를 갖게됨은 도 1의 설명에서 상술한 바와 같다.

[0058] 또한 S300단계에서 형성되는 정공수송층의 정공 이동도(mobility)는 $10^{-5}cm^2/Vs$ 내지 $10^{-1}cm^2/Vs$의 값을 가지는 것이 바람직함은 도 1의 설명에서 상술한 바와 같다.

[0059] 또한 S300단계에서 형성되는 정공수송층 HOMO (highest occupied molecular orbital) 에너지 레벨은, 전자주게층(500)의 HOMO (highest occupied molecular orbital) 에너지 레벨(500H)보다 낮거나 같게 형성되고, S100단계에서 형성된 제1전극의 일함수 에너지 레벨보다 높거나 같게 형성되는 것이 바람직하며, S500단계에서 형성된 전자주게층의 HOMO 에너지 레벨과 S100단계에서 형성된 제1전극의 일함수 에너지 레벨간의 차이는 0eV 초과 1.5eV 이하로 형성되는 것이 바람직함은 도 1에서 상술한 바와 같으며, 이외의 설명은 동일한 바, 생략한다.

[0060] 아울러 S300단계에서 형성되는 정공수송층의 LUMO (lowest occupied molecular orbital) 에너지 레벨은 S500단계에서 형성되는 전자주게층의 LUMO (lowest occupied molecular orbital) 에너지 레벨보다 낮거나 같게 형성되는 것이 바람직하며, 상술한 바와 더불어 S300단계에서 정공수송층의 LUMO 에너지 레벨이 1eV 내지 3eV 로 형성되는 것이 바람직함은 도 1의 설명에서 상술한 바와 동일한 바, 생략한다.

[0061] 더불어 S300단계에서 형성되는 정공수송층은, S500단계에서 형성되는 전자주게층의 에너지 밴드갭보다 큰 에너지 밴드갭을 갖는 물질로 형성되는 것이 바람직하며, 이는 정공수송층이 본 발명에 의해 제조된 유기 태양전지 소자의 기능에 부정적인 영향을 주는 것을 최소화하기 위함이며, 보다 자세하게는 정공수송층에서 가시광선영역의 빛을 흡수하지 않도록 하여, 입사되는 빛(태양광)이 전자주게층에 전달되도록 하기 위함이다. 보다 자세한 내용은 도 1의 설명에서 상술한 바와 동일한 바, 생략한다.

[0062] 또한 S300단계에서 형성되는 정공수송층을 이루는 물질의 예시도 도 1의 설명에서 상술한 바와 동일한 바, 생략한다.

[0063] S900단계에서는 S700단계에서 형성한 전자받게층상에 제2전극을 형성한다. 상술한 제2전극은 S700단계에서 형성한 전자받게층과 연결되는 전극으로서, 음극, 즉 캐소드(cathode)전극 역할을 하며, Al, Ag등의 물질로 제2전극을 형성할 수 있다. 이하에서는 주로 제2전극이 Al로 형성된 경우를 예시로 설명하나, 이에 한정되지는 않음은 도 1의 설명에서 상술한 바와 같다.

[0064] 한편 도면에는 미도시 하였으나, 상술한 제조방법이 순서가 역순으로 바뀔수 있음은 당업자에게 자명하다 할 것이다. 즉 제2전극상에 전자받게층을 형성하고, 형성한 전자받게층상에 전자주게층을 형성하고, 전자주게층상에 정공수송층을 형성하며, 정공수송층상에 제1전극을 형성함으로써 본 발명의 유기 태양전지 소자를 제조할 수 있음은 당업자에게 자명하다 할 것이다. 이외의 각 층의 특성은 상술한 바와 동일한 바, 생략한다.

[0065] 상술한 방법에 의해 제조된 유기 태양전지 소자는, 전자주게층에 비하여 높은 정공 이동도(mobility) 및 전자주게층에 비하여 낮거나 같은 HOMO 에너지 레벨을 갖는 정공수송층을 전자주게층과 제1전극 사이에 형성함으로써, 정공을 빠른 속도로 제1전극으로 빼내어 단락전류를 증가시키는 효과, 최대개방전압을 향상시키는 효과, 제2전극에서 제1전극쪽으로 전기장을 형성하는 효과, 상술한 전기장에 의해 정공을 더 빠른속도로 수송하는 효과 및 이에 따른 부수적인 단락전류 증가효과, 최대개방전압 향상효과를 갖는다. 이와 더불어 누설전류를 감소시킴으로써 광전변환효율이 높은 유기 태양전지 제작이 가능한 유기 태양전지 소자를 제공하는 효과 또한 아울러 갖게 된다. 이와 더불어 별도의 물질을 개발하지 않고 기존에 사용되는 유기 태양전지 소자 물질을 이용하되, 정공수송층을 추가하는 것만으로도 광전변환효율이 높은 유기 태양전지를 제조할 수 있게 되어 경제적인 장점도 아울러 구현된다.

[0066] 도 3은 본 발명에 따른 유기 태양전지 소자의 개략적인 구조를 나타낸 단면도이다. 도 1 내지 도 3을 참조하면, 본 발명에 따른 유기 태양전지 소자(20)는 기본적으로 기판(200)상에 형성되는 제1전극(100)과 제1전극(100)상에 형성되는 정공수송층(300), 정공수송층(300)상에 형성되는 전자주게층(500), 전자주게층(500)상에 형성되는 전자받게층(700), 전자받게층(700)상에 형성되는 전자수송층(800), 전자수송층(800)상에 형성되는 제2전극(900)으로 구성될 수 있다.

[0067] 기판(200)은 유리(glass)가 사용될 수 있으며, 이외에도 알루미나와 같은 세라믹 기판, 스테인레스 기판, 티타늄기판 또는 폴리머 기판 등도 사용될 수 있다. 기판(200)이 유리(glass)로 구성되는 경우 소다라임 유리(sodalime glass)를 사용할 수 있으며, 또한 나트륨과 같은 알칼리 금속을 포함할 수 있다. 아울러 본 발명의 기판(200)은 리지드(rigid)하거나 플렉서블(flexible)할 수 있다. 다만 상술한 내용은 하나의 예시일 뿐, 본 발명의 기판(200)이 이에 한정되는 것은 아니다.

[0068] 정공수송층(300)의 HOMO (highest occupied molecular orbital) 에너지 레벨 특성, 이동도(mobility)특성, LUMO (lowest occupied molecular orbital) 에너지 레벨 특성, 밴드갭 특성 및 물질의 예시 등은 도 1 내지 도 2에서 설명한 바와 동일한 바, 생략한다.

[0069] 또한 제1전극(100), 전자주게층(500), 전자받게층(700), 제2전극(900)에 관한 설명도 도 1 내지 도 2에서 상술한 바와 동일한 바, 생략한다.

[0070] 전자수송층(800)은 제2전극(900), 즉 음극과 연결되어 전자받게층으로 전자를 이동시키는 역할을 하는 층으로서, 이하에서는 Bphen(Bathophenanthroline)으로 이루어진 경우를 예시로 설명하나 이에 한정되지는 않는다. 즉 현재 개발되어 상용화되었거나 향후 기술발전에 따라 구현 가능한, 음극과 연결되어 전자받게층으로 전자를 이동시키는 역할을 할 수 있는 모든 물질로 전자수송층(800)을 형성할 수 있다고 할 것이다.

[0071] 상술한 도 3에 도시된 구조에 정공수송층의 삽입특성을 비교하기 위한 각 실시예를 이하 도 4에서 살펴본다.

[0072] 도 4는 본 발명의 따른 유기 태양전지 소자 구조에서 정공수송층의 삽입특성을 비교하기 위한 각 실시예의 단면도이다. 도 1 내지 도 4를 참조하면, 소자 A(20a)는 정공수송층을 삽입하지 않은 경우의 유기 태양전지 소자이며, 소자 B 내지 E(20b, 20c, 20d, 20e)는 제1전극으로서 ITO전극(110)과 전자주게층으로서 SubPc층(510) 사이에 정공수송층을 형성한 유기 태양전지 소자이다. 더욱 자세하게는 소자 B(20b)의 경우 2-TNATA(4,4',4"-tris(N-(2-naphthyl)-N-phenyl-amino)triphenylamine / 310)로 정공수송층을 구성하였으며, 소자 C(20c)의 경우 NPB(N,N'-diphenyl-N,N'-bis(1,1'-biphenyl)-4,4'-diamine / 330)로 정공수송층을 구성하였다. 또한 소자 D(20d)의 경우 TPD(N,N'-Bis(methylphenyl)-N,N'-bis(phenyl)-benzeidine / 350)로 정공수송층을 구성하였으며, 소자 E의 경우 TAPC(1,1-bis(di-4-tolylaminophenyl)cyclohexane / 370)를 이용하여 정공수송층을 구성하였다.

[0073] 이외에 소자A 내지 소자 E(20a 내지 20e) 모두 기판은 유리기판(210)을 사용하였고, 제1전극은 ITO전극(110), SubPc(Subphthalocyanine)로 구성된 전자주게층(510), C60으로 구성된 전자받게층(710), Bphen(Bathophenanthroline)으로 구성된 전자수송층(810), Al로 구성된 제2전극(910)을 사용하였다.

[0074] 도 5는 도 4의 각 실시형태에 따라 정공수송층의 삽입에 의한 J-V특성을 나타내는 그래프이다. 보다 자세하게는 도 5의 (a)는 빛이 없는 상태에서 본 발명의 각 실시형태에 따른 유기 태양전지 소자의 J-V특성을 나타낸 그래프이며, 도 5의 (b)는 빛이 있는 상태에서 본 발명의 각 실시형태에 따른 유기 태양전지 소자의 J-V특성을 나타낸 그래프이다.

[0075] 도 5의 (a)에서 LC로 표시된 부분을 살펴보면, 정공수송층이 없는 소자 A의 경우에는 누설전류(Leakage current)가 약 10^{-2}mA/cm^{2}의 값을 갖는 반면, 본 발명의 정공수송층을 가지고 있는 각 실시형태에 따른 소자 B 내지 E는 누설전류(Leakage current)가 10^{-3}~10^{-4}mA/cm^{2}의 값을 나타내는 것을 볼 수 있다. 이러한 측정 결과를 살펴보면, 본 발명의 정공수송층은 유기 태양전지 소자의 누설전류(Leakage current)를 감소시키는 효과를 가짐을 알 수 있다. 이와 같은 이유는 정공수송층의 LUMO 에너지 레벨이 전자주게층의 LUMO 에너지 레벨보다 낮기 때문에, SubPc로 구성된 전자주게층과 C60으로 구성된 전자받게층 사이에서 형성된 전자가 제1전극, 즉 양극으로 이동하는 것을 막아주기 때문이다. 때문에 본 발명에서 정공수송층의 LUMO 에너지 레벨을 전자주게층의 LUMO 에너지 레벨보다 낮거나 같게 형성할 경우, 유기 태양전지 소자의 특성이 향상됨을 알 수 있다.

[0076] 도 5의 (b)는 빛이 있는 상태에서 본 발명의 각 실시형태에 따른 유기 태양전지 소자의 J-V특성을 나타낸 그래프이다. 도 5의 (b)를 참조하면, 본 발명의 각 실시형태에 따른 유기 태양전지 소자의 최대개방전압(Voc)과 단락전류(Jsc)특성을 확인할 수 있다.

[0077] 먼저 최대개방전압(Voc)의 특성을 보면 정공수송층이 없는 소자A는 1.00V를 갖는 반면 정공수송층을 갖는 소자 B, 소자 C, 소자 D, 소자 E는 0.95V, 1.11V, 1.14V, 1.14V의 값을 나타냄을 알 수 있다. 2-TNATA 로 정공수송층을 구성한 소자B의 경우는 HOMO 에너지 레벨이 5.0 eV로서 오존처리가 된 ITO(제1전극)의 일함수인 5.1 eV보다 낮은 HOMO에너지 레벨을 가지고 있다. 그렇기 때문에 더 낮은 Voc값을 갖게 된다. 그렇지만 ITO의 일함수보다 높은 HOMO에너지 레벨을 갖는 NPB, TPB, TAPC로 정공수송층을 구성한 소자 C 내지 E의 경우 Voc가 증가되는 것을 볼 수 있다. 이와 같은 특성이 나타나는 이유로는 정공수송층의 HOMO 에너지 레벨은 본 발명의 유기 태양전지 소자 내부의 전기장을 변화시키고, 이 전기장의 변화는 유기 태양전지 소자의 최대개방전압에 영향을 미치기 때문이다. 하기한 표는 본 발명의 각 실시형태에 따른 유기 반도체 소자의 특성을 정리한 표이다.

[0078]

	소자 A	소자 B	소자 C	소자 D	소자 E
이동도 (cm^2/Vs)	1.0×10^{-5}	1.2×10^{-5}	2.7×10^{-4}	2.0×10^{-3}	1.0×10^{-2}
Voc (V)	1.00	0.95	1.11	1.14	1.14
Jsc (mA/cm^2)	4.32	2.71	4.18	4.43	4.30

[0079] (표 1. 유기 반도체 소자 특성 정리)

[0080] 상기 표1에서 나타낸 것처럼 제1전극(양극)보다 높은 HOMO 에너지 레벨을 갖는 물질로 정공수송층을 구성한 경우, 최대개방전압(Voc)이 증가하는 것을 알 수 있다.

[0081] 그리고 정공수송층의 이동도(mobility)는 소자의 단락전류(Jsc) 또는 최대개방전압(Voc)에 영향을 미칠 수 있다. 그 예로 소자 C(NPB)와 소자 D(TPD)는 5.4 eV의 동일한 HOMO 에너지 레벨을 가지고 있으며, 정공이동도(mobility)는 소자 D에 사용된 TPD가 약 10배 정도 빠르다. 이와 같은 특성으로 TPD로 구성한 정공수송층을 포함한 소자 D는 분리된 정공을 제1전극(양극)으로 더 빨리 이동시켜 단락전류(Jsc)가 향상되게 되고, 단락전류(Jsc)의 증가는 최대개방전압(Voc)의 향상효과를 가져오게 된다.

[0082] 도 6은 도 4의 각 실시형태에 따른 유기 태양전지 소자 구조의 에너지 레벨을 나타낸 것이다. 도 1 내지 도 6을 참조하면, 유기 태양전지 소자의 최대개방전압은 활성층에 사용되는 전자주게층과 전자받게층의 에너지 레벨 차이에 의해 결정된다. 본 발명의 각 실시형태에서 사용한 물질의 경우 SubPc로 구성된 전자주게층(510)의 HOMO 에너지 레벨값인 5.6 eV와 C60으로 구성된 전자받게층(710)의 LUMO 에너지 레벨값은 4.5 eV로서, 양 에너지 레벨값의 차이는 엑시톤 결합에너지를 고려 안 할 경우 약 1.1 eV 로 나타날 것이다.

[0083] 그렇지만 본 발명의 유기 태양전지 소자에서는 상술한 실제 양 에너지 레벨값의 차이는 0.94 eV 정도로서 엑시톤 결합에너지만큼 감소하였으며, 정공수송층(300)이 들어간 유기 태양전지 소자는 정공수송층이 없는 유기 태양전지 소자보다 최대개방전압이 높게 변하였다.

[0084] 이 같은 원인으로는 첫째, 페르미 준위가 정렬될 경우 정공수송층(300)의 HOMO 에너지 레벨이 영향을 미쳐, 정공수송층의 HOMO 에너지 레벨이 제1전극(100, 양극)의 일함수 보다 높을 경우 유기 태양전지 소자 내부의 전기장의 세기를 강화시키게 된다. 내부 전기장의 강화는 정공의 확산을 돕기 때문에 결과적으로 정공수송층이 구비된 본 발명의 유기 태양전지 소자는 더 높은 최대개방전압을 얻을 수 있다.

[0085] 둘째, 정공수송층(300)의 빠른 정공이동도(mobility)는 분리된 정공을 더 빨리 제1전극(100, 양극)으로 이동시킬 수 있어 단락전류(Jsc)를 증가시키게 되고, 이러한 단락전류(Jsc)의 증가는 결과적으로 최대개방전압(Voc)을 향상시키게 된다. 본 발명의 각 실시형태에서 사용한 2-TNATA(310), NPB(330), TPD(350), TAPC(370)로 구성된 정공수송층의 정공이동도(mobility)는 전자주게층인 SubPc(510)의 이동도(1.0×10^{-5} cm^2/Vs)보다 더 빨랐으며, 도 5의 설명 중에서 표1에 표시된 바와 같이 2-TNATA(310)는 1.2×10^{-5} cm^2/Vs, NPB(330)는 2.7×10^{-4} cm^2/Vs, TPD(350)는 2.0×10^{-3} cm^2/Vs, TAPC(370)는 1.0×10^{-2} cm^2/Vs의 값을 가지고 있다.

[0086] 이상으로 본 발명의 기술적 사상을 예시하기 위한 바람직한 실시예와 관련하여 설명하고 도시하였지만, 본 발명은 이와 같이 도시되고 설명된 그대로의 구성 및 작용에만 국한되는 것은 아니며, 기술적 사상의 범주를 일탈함 없이 본 발명에 대해 다수의 적절한 변형 및 수정이 가능함을 본 발명이 속하는 기술분야에서 통상의 지식을 가진 자들은 잘 이해할 수 있을 것이다. 따라서 그러한 모든 적절한 변형 및 수정과 균등물들도 본 발명의 범위에 속하는 것으로 간주되어야 할 것이다.

부호의 설명

[0087] 10, 11, 20 : 유기 태양전지 소자

20a, 20b, 20c, 20d : 각 실시예에 따른 유기 태양전지 소자

100 : 제1전극

200 : 기판

300 : 정공수송층

500 : 전자주게층

600 : 활성층

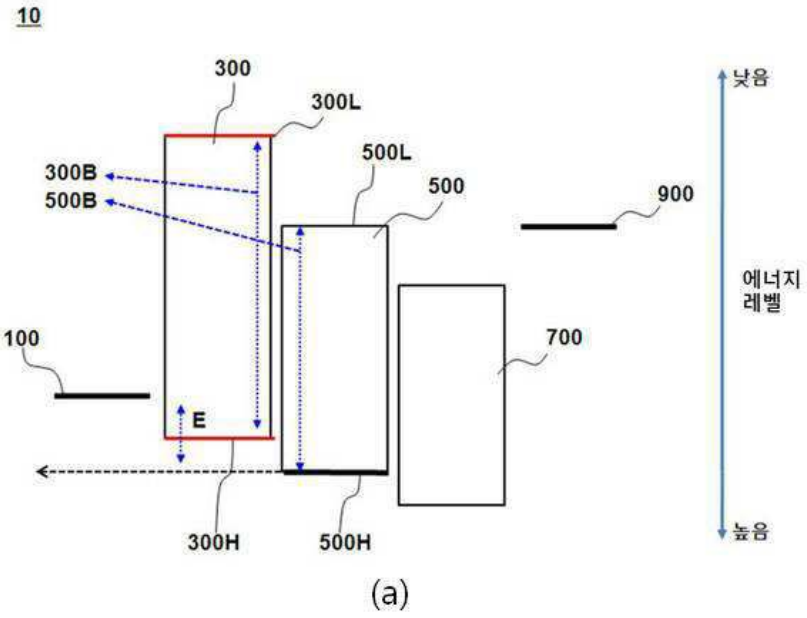
700 : 전자받게층

800 : 전자수송층

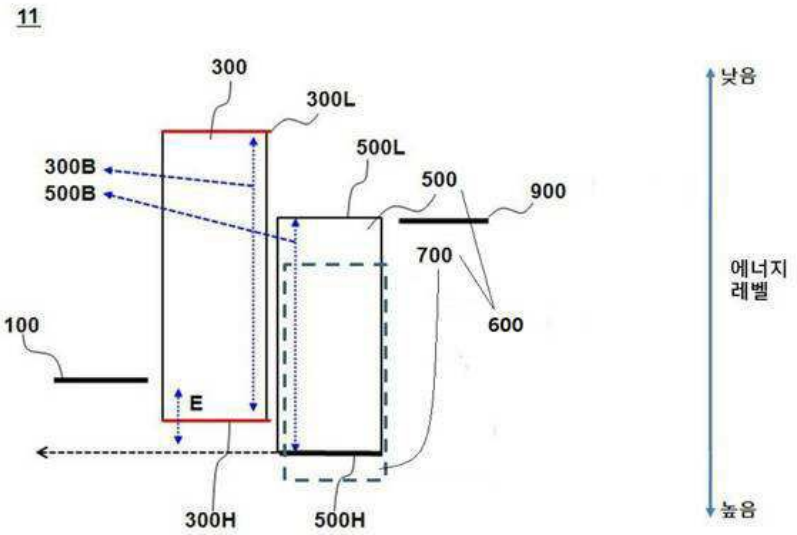
900 : 제2전극

도면

도면1

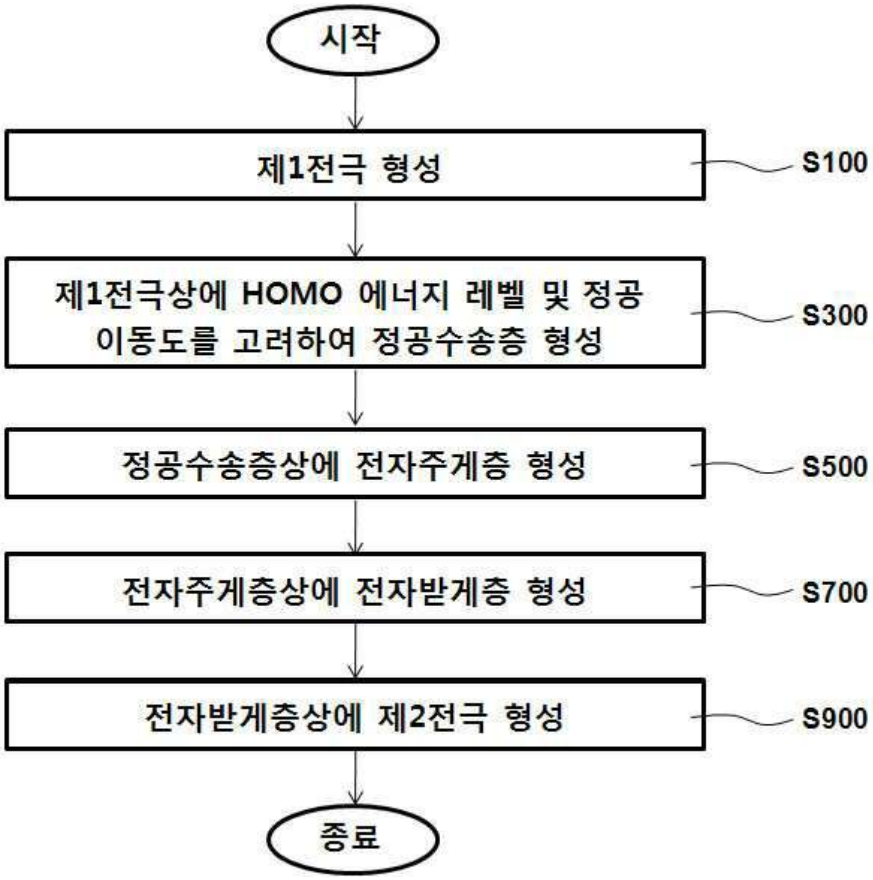


(a)

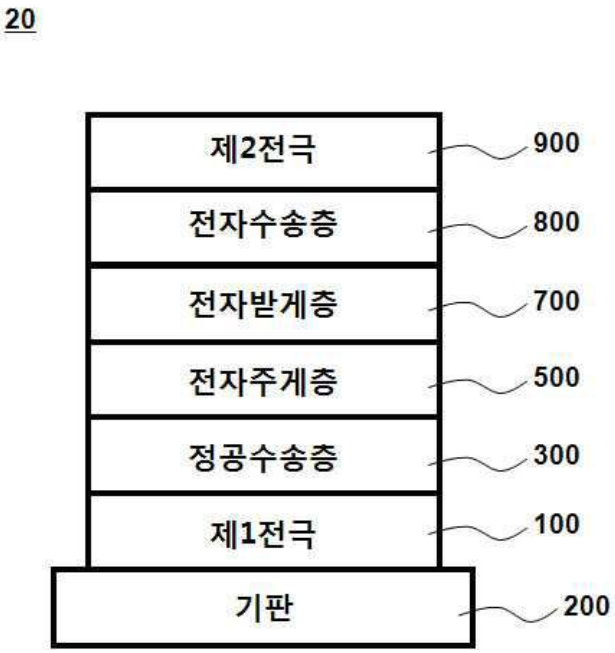


(b)

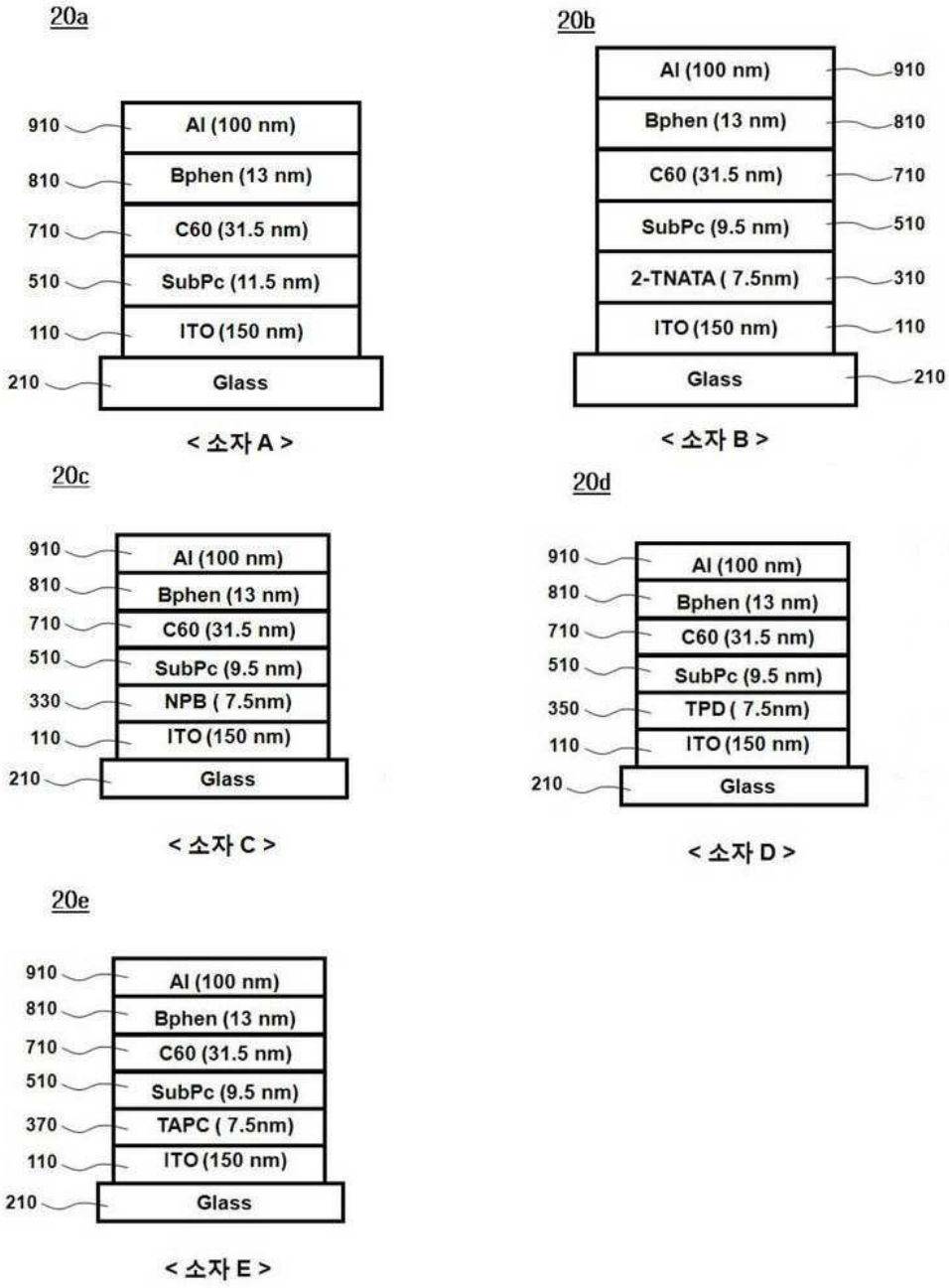
도면2


시작
제1전극 형성
S100
제1전극상에 HOMO 에너지 레벨 및 정공 이동도를 고려하여 정공수송층 형성
S300
정공수송층상에 전자주게층 형성
S500
전자주게층상에 전자받게층 형성
S700
전자받게층상에 제2전극 형성
S900
종료

도면3

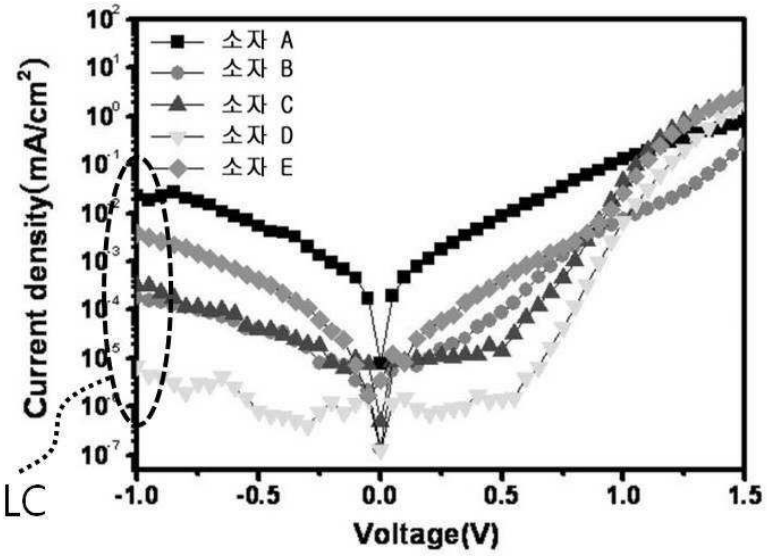

20
제2전극
900
전자수송층
800
전자받게층
700
전자주게층
500
정공수송층
300
제1전극
100
기판
200

도면4

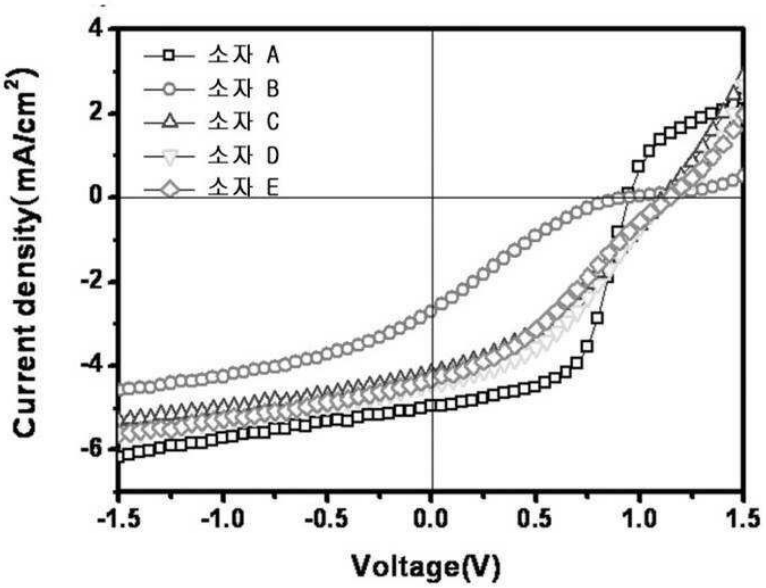

20a
910
Al (100 nm)
810
Bphen (13 nm)
710
C60 (31.5 nm)
510
SubPc (11.5 nm)
110
ITO (150 nm)
210
Glass
< 소자 A >
20b
Al (100 nm)
910
Bphen (13 nm)
810
C60 (31.5 nm)
710
SubPc (9.5 nm)
510
2-TNATA (7.5nm)
310
ITO (150 nm)
110
Glass
210
< 소자 B >
20c
910
Al (100 nm)
810
Bphen (13 nm)
710
C60 (31.5 nm)
510
SubPc (9.5 nm)
330
NPB (7.5nm)
110
ITO (150 nm)
210
Glass
< 소자 C >
20d
910
Al (100 nm)
810
Bphen (13 nm)
710
C60 (31.5 nm)
510
SubPc (9.5 nm)
350
TPD (7.5nm)
110
ITO (150 nm)
210
Glass
< 소자 D >
20e
910
Al (100 nm)
810
Bphen (13 nm)
710
C60 (31.5 nm)
510
SubPc (9.5 nm)
370
TAPC (7.5nm)
110
ITO (150 nm)
210
Glass
< 소자 E >

도면5

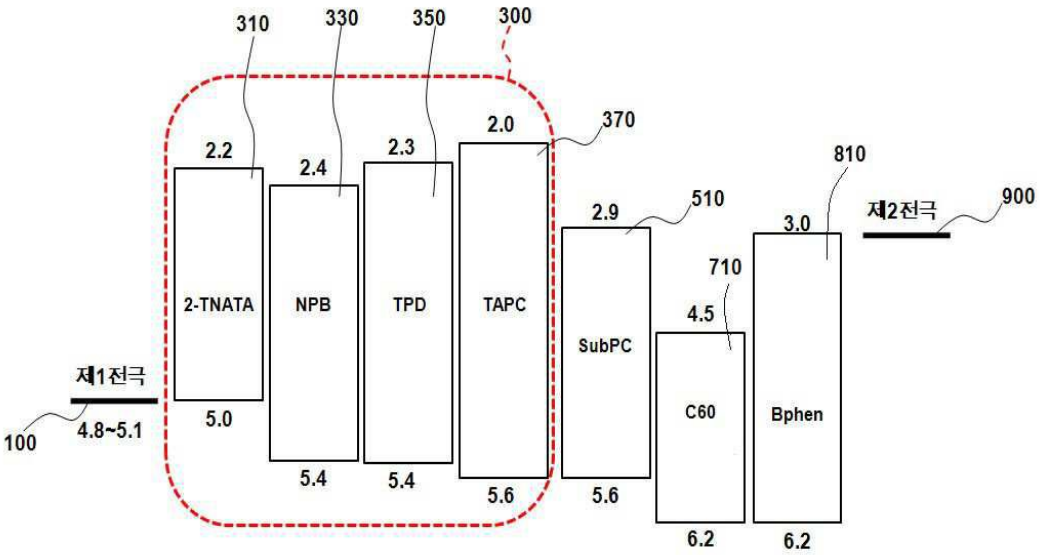
(a)


소자 A
소자 B
소자 C
소자 D
소자 E
Current density(mA/cm²)
Voltage(V)
LC

(b)


소자 A
소자 B
소자 C
소자 D
소자 E
Current density(mA/cm²)
Voltage(V)

도면6


310
330
350
300
370
510
710
810
900
2.2
2.4
2.3
2.0
2.9
4.5
3.0
2-TNATA
NPB
TPD
TAPC
SubPC
C60
Bphen
제1전극
제2전극
100
4.8~5.1
5.0
5.4
5.4
5.6
5.6
6.2
6.2