(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2012-0094292
(43) 공개일자 2012년08월24일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 51/10 (2006.01) *H01L 51/40* (2006.01)
(21) 출원번호 10-2011-0013698
(22) 출원일자 2011년02월16일
심사청구일자 2011년02월16일

(71) 출원인
경희대학교 산학협력단
경기도 용인시 기흥구 덕영대로 1732, 국제캠퍼스내 (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, 김희곤, 김인한

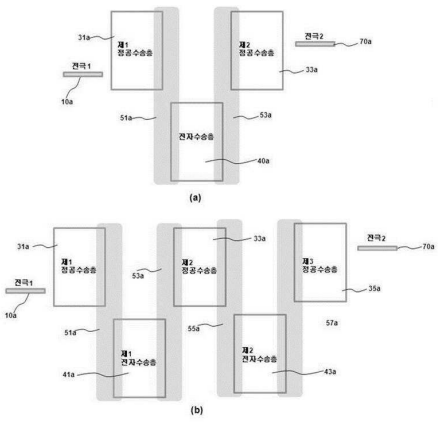
전체 청구항 수 : 총 14 항

(54) 발명의 명칭 **유기 반도체 소자 및 그 제조방법**

(57) 요 약

본 발명은 적어도 2이상의 정공수송층 및 각 정공수송층 사이에 pn접합과 np접합이 순차적으로 형성된 두개의 계면을 갖는 적어도 하나 이상의 전자수송층을 포함하는 것을 특징으로 하는 유기반도체 소자, 그리고 적어도 2이상의 전자수송층 및 각 전자수송층 사이에 np접합과 pn접합이 순차적으로 형성된 두개의 계면을 갖는 적어도 하나 이상의 정공수송층을 포함하는 것을 특징으로 하는 유기 반도체 소자와 이들 각각 유기 반도체 소자의 제조방법에 관한 것이다. 본 발명에 따르면, 전극에서 정공 및 전자가 원활히 이동하고 고 이동도의 특성을 가지는 유기 반도체 소자를 제공할 수 있으며, 제작시 재현성이 매우 우수한 유기 반도체 소자를 제공할 수 있다.

대 표 도 - 도1a



(72) 발명자

전우식

서울특별시 성북구 돌곶이로27가길 11-1, 3층 (장위동)

임대철

서울특별시 관악구 남부순환로 1430, 대우푸르지오 106동 903호 (신림동)

손영훈

서울특별시 광진구 면목로9길 15 (중곡동)

특허청구의 범위

청구항 1

두개 이상의 정공수송층;

상기 각 정공수송층 사이에 배치되어 상기 각 정공수송층과 두개의 계면을 형성하는, 적어도 하나 이상의 전자수송층; 을 포함하고,

상기 각 계면에는 pn접합과 np접합이 순차적으로 형성된 것을 특징으로 하는 유기 반도체 소자.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 각 정공수송층의 HOMO (highest occupied molecular orbital) 에너지 레벨은 상기 각 전자수송층의 LUMO (lowest occupied molecular orbital) 에너지 레벨보다 높은 것을 특징으로 하는 유기 반도체 소자.

청구항 3

청구항 2에 있어서,

상기 정공수송층은 제1 정공수송층, 제2 정공수송층, 제3 정공수송층으로 이루어지고,

상기 제1 정공수송층과 상기 제2 정공수송층 사이에 pn접합과 np접합이 순차적으로 형성된 두개의 계면을 갖는 제1 전자수송층;

상기 제2 정공수송층과 상기 제3 정공수송층 사이에 pn접합과 np접합이 순차적으로 형성된 두개의 계면을 갖는 제2 전자수송층;

을 포함하는 것을 특징으로 하는 유기 반도체 소자.

청구항 4

청구항 2 또는 3에 있어서,

상기 각 정공수송층의 HOMO 에너지 레벨과 상기 각 전자수송층의 LUMO 에너지 레벨의 차이는 0eV 초과 2.0eV 이하인 것을 특징으로 하는 유기 반도체 소자.

청구항 5

청구항 2 또는 3에 있어서,

상기 정공수송층 중 적어도 하나는 p타입 도펀트가 도핑된 것을 특징으로 하는 유기 반도체 소자.

청구항 6

두개 이상의 전자수송층;

상기 각 전자수송층 사이에 배치되고, 상기 각 전자수송층과 두개의 계면을 형성하는, 적어도 하나 이상의 정공수송층; 을 포함하고,

상기 각 계면에는 np접합과 pn접합이 순차적으로 형성된 것을 특징으로 하는 유기 반도체 소자.

청구항 7

청구항 6에 있어서,

상기 각 전자수송층의 LUMO (lowest occupied molecular orbital) 에너지 레벨은 상기 각 정공수송층의 HOMO (highest occupied molecular orbital) 에너지 레벨보다 낮은 것을 특징으로 하는 유기 반도체 소자.

청구항 8

청구항 7에 있어서,

상기 전자수송층은 제1 전자수송층, 제2 전자수송층, 제3 전자수송층으로 이루어지고,

상기 제1 전자수송층과 상기 제2 전자수송층 사이에 np접합과 pn접합이 순차적으로 형성된 두개의 계면을 갖는 제1 정공수송층;

상기 제2 전자수송층과 상기 제3 전자수송층 사이에 np접합과 pn접합이 순차적으로 형성된 두개의 계면을 형성하는 제2 정공수송층;

을 포함하는 것을 특징으로 하는 유기 반도체 소자.

청구항 9

청구항 7 또는 8에 있어서,

상기 각 전자수송층의 LUMO 에너지 레벨과 상기 각 정공수송층의 HOMO 에너지 레벨의 차이는 0eV 초과 2.0eV 이하인 것을 특징으로 하는 유기반도체 소자.

청구항 10

청구항 7 또는 8에 있어서,

상기 전자수송층 중 적어도 하나는 n 타입 도펀트가 도핑된 것을 특징으로 하는 유기 반도체 소자.

청구항 11

애노드 전극상에 제1 정공수송층을 형성하는 단계;

상기 제1 정공수송층상에 제1 전자수송층을 형성하는 단계;

상기 제1 전자수송층상에 제2 정공수송층을 형성하는 단계;

상기 제2 정공수송층상에 제2 전자수송층을 형성하는 단계;

상기 제2 전자수송층상에 제3 정공수송층을 형성하는 단계;

를 포함하고,

상기 제1 전자수송층은 상기 제1 정공수송층 및 상기 제2 정공수송층과 pnp접합을 형성하고,

상기 제2 전자수송층은 상기 제2 정공수송층 및 상기 제3 정공수송층과 pnp접합을 형성하는 것을 특징으로 하는 유기 반도체 소자 제조방법.

청구항 12

청구항 11에 있어서,

상기 제1, 제2 및 제3 정공수송층의 HOMO (highest occupied molecular orbital) 에너지 레벨은 상기 제1 및 제2 전자수송층의 LUMO (lowest occupied molecular orbital) 에너지 레벨보다 높은 것을 특징으로 하는 유기 반도체 소자 제조방법.

청구항 13

캐소드 전극상에 제1 전자수송층을 형성하는 단계;

상기 제1전자수송층상에 제1 정공수송층을 형성하는 단계;

상기 제1정공수송층상에 제2 전자수송층을 형성하는 단계;

상기 제2전자수송층상에 제2 정공수송층을 형성하는 단계;

상기 제2전자수송층상에 제3 전자수송층을 형성하는 단계;

를 포함하고,

상기 제1 정공수송층은 상기 제1 전자수송층 및 상기 제2 전자수송층과 npn접합을 형성하고,

상기 제2 정공수송층은 상기 제2 전자수송층 및 상기 제3 전자수송층과 npn접합을 형성하는 것을 특징으로 하는 유기 반도체 소자 제조방법.

청구항 14

청구항 13에 있어서,

상기 제1, 제2 및 제3 전자수송층의 LUMO (lowest occupied molecular orbital) 에너지 레벨은 상기 제1 및 제2 정공수송층의 HOMO (highest occupied molecular orbital) 에너지 레벨보다 낮은 것을 특징으로 하는 유기 반도체 제조방법.

명 세 서

기 술 분 야

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

배 경 기 술

[0002] 유기 반도체 소자로는 유기발광다이오드(OLED; organic light emitting diode), 유기태양전지, 유기트랜지스터, 유기센서 등이 있다. 이러한 유기 반도체 소자에 있어 전하의 이동속도를 개선하는 기술은 저 구동전압을 실현하거나 고속 응답속도를 실현하는 등의 이유로 매우 중요한 기술이 된다. 유기반도체에 있어 고 전하이동을 실현하기 위해서는 금속과 유기물의 접촉부분을 에너지 장벽이 없도록 해주고 고 전하 이동특성의 물질을 사용하는 방법이 있다. 이러한 기술로는 전극 유기물의 에너지 차이를 없도록 금속 (Metal)의 페르미 준위 (Fermi Level) 유기물의 HOMO(highest occupied molecular orbital)를 맞추어 정공의 이동을 원활히 해주는 방법과 금속의 페르미 준위와 유기물의 LUMO (lowest occupied molecular orbital)를 맞추어 전자의 이동을 원활히 해주는 방법이 있다. 이와 더불어 사용하는 고 전하 이동도의 특성이 있는 유기물이 사용하여 전하이동을 원활히 하는 것이 필요하다. 전자의 경우는 물질 사이의 계면에 대해 접촉면을 좋게 하는 것이고 두 번째의 기술은 물질의 이동특성이 좋은 것을 사용하는 것이다. 이는 이미 기 공지된 기술이며 많이 활용되는 기술이다.

[0003] 지금까지 언급된 기술에 추가하여 특성을 더 좋게 하는 기존의 기술로는 유기물에 p, n 도핑을 이용하여 전극과 유기물의 계면에 장벽을 없도록 하며 반도체 도핑의 효과에 의한 고 이동도 특성을 활용하는 방법이 널리 알려져 있다. 이때 사용하는 n 도핑물질로는 전자가 풍부한 유기물이나 무기물이 사용되고 p 도핑물질로는 전자를 잘 받아들이는 유기물이나 무기물이 널리 사용되고 있다. p, n 도핑 기술의 경우 사용되는 p타입의 물질과 n타입의 물질이 산소와 수분에 매우 민감하여 안정하지 못한 문제와, 연속적으로 공정을 할 경우 특성의

변화가 많은 어려움을 갖고 있다.

[0004] 따라서, 전술한 기술이 아닌 새로운 구조를 이용한 고 전하이동의 기술이 필요하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 본 발명은 전술한 문제를 해결하기 위해 안출된 것으로, 본 발명의 목적은 전극에서 정공 및 전자가 원활히 이동하고 고 이동도의 특성을 가지며 소자의 제작에 있어 재현성이 매우 우수한 특성을 갖는 유기 반도체 소자 및 그 제조방법을 제공하는데 있다.

과제의 해결 수단

[0006] 상술한 과제를 해결하기 위한 본 발명에 따른 유기 반도체 소자는, 두개 이상의 정공수송층; 상기 각 정공수송층 사이에 배치되어 상기 각 정공수송층과 두개의 계면을 형성하는, 적어도 하나 이상의 전자수송층; 을 포함하되, 상기 각 계면에는 pn접합과 np접합이 순차적으로 형성된 것을 특징으로 한다.

[0007] 본 발명의 유기 반도체 소자에 있어서, 상기 각 정공수송층의 HOMO (highest occupied molecular orbital) 에너지 레벨은 상기 각 전자수송층의 LUMO (lowest occupied molecular orbital) 에너지 레벨보다 높게 형성될 수 있다.

[0008] 본 발명의 유기 반도체 소자에 있어서, 상기 정공수송층은 제1 정공수송층, 제2 정공수송층, 제3 정공수송층으로 이루어지고, 상기 제1 정공수송층과 상기 제2 정공수송층 사이에 pn접합과 np접합이 순차적으로 형성된 두개의 계면을 갖는 제1 전자수송층; 상기 제2 정공수송층과 상기 제3 정공수송층 사이에 pn접합과 np접합이 순차적으로 형성된 두개의 계면을 갖는 제2 전자수송층; 을 포함할 수 있다.

[0009] 본 발명의 유기 반도체 소자에 있어서, 상기 각 정공수송층의 HOMO 에너지 레벨과 상기 각 전자수송층의 LUMO 에너지 레벨의 차이는 0eV 초과 2.0eV 이하로 형성됨이 바람직하다.

[0010] 본 발명의 유기 반도체 소자에 있어서, 상기 정공수송층 중 적어도 하나는 p타입 도펀트가 도핑될 수 있다.

[0011] 상술한 과제를 해결하기 위한 본 발명의 유기 반도체 소자는, 두개 이상의 전자수송층; 상기 각 전자수송층 사이에 배치되어 상기 각 전자수송층과 두개의 계면을 형성하는, 적어도 하나 이상의 정공수송층; 을 포함하고, 상기 각 계면에는 np접합과 pn접합이 순차적으로 형성된 것을 특징으로 한다.

[0012] 본 발명의 유기 반도체 소자에 있어서, 상기 각 전자수송층의 LUMO (lowest occupied molecular orbital) 에너지 레벨은 상기 각 정공수송층의 HOMO (highest occupied molecular orbital) 에너지 레벨보다 낮게 형성될 수 있다.

[0013] 본 발명의 유기 반도체 소자에 있어서, 상기 전자수송층은 제1 전자수송층, 제2 전자수송층, 제3 전자수송층으로 이루어지고, 상기 제1 전자수송층과 상기 제2 전자수송층 사이에 np접합과 pn접합이 순차적으로 형성된 두개의 계면을 갖는 제1 정공수송층; 상기 제2 전자수송층과 상기 제3 전자수송층 사이에 np접합과 pn접합이 순차적으로 형성된 두개의 계면을 갖는 제2 정공수송층; 을 포함할 수 있다.

[0014] 본 발명의 유기 반도체 소자에 있어서, 상기 각 전자수송층의 LUMO 에너지 레벨과 상기 각 정공수송층의 HOMO 에너지 레벨의 차이는 0eV 초과 1.5eV 이하인 것이 바람직하다.

[0015] 본 발명의 유기 반도체 소자에 있어서, 상기 전자수송층 중 적어도 하나는 n 타입 도펀트가 도핑될 수 있다.

[0016] 상술한 과제를 해결하기 위한 본 발명의 유기 반도체 소자 제조방법은, 애노드 전극상에 제1 정공수송층을 형성하는 단계; 상기 제1 정공수송층상에 제1 전자수송층을 형성하는 단계; 상기 제1 전자수송층상에 제2 정공수송층을 형성하는 단계; 상기 제2 정공수송층상에 제2 전자수송층을 형성하는 단계; 상기 제2 전자수송층상에 제3 정공수송층을 형성하는 단계; 를 포함하고, 상기 제1 전자수송층은 상기 제1 정공수송층 및 상기 제2 정공수송층과 pnp접합을 형성하고, 상기 제2 전자수송층은 상기 제2 정공수송층 및 상기 제3 정공수송층과 pnp접합을 형성하는 것을 특징으로 한다.

[0017] 본 발명의 유기 반도체 소자 제조방법에 있어서, 상기 제1, 제2 및 제3 정공수송층의 HOMO (highest occupied molecular orbital) 에너지 레벨은 상기 제1 및 제2 전자수송층의 LUMO (lowest occupied molecular orbital) 에너지 레벨보다 높게 형성됨이 바람직하다.

[0018] 상술한 과제를 해결하기 위한 본 발명의 유기 반도체 소자 제조방법은, 캐소드 전극상에 제1 전자수송층을 형성하는 단계; 상기 제1 전자수송층상에 제1 정공수송층을 형성하는 단계; 상기 제1 정공수송층상에 제2 전자수송층을 형성하는 단계; 상기 제2 전자수송층상에 제2 정공수송층을 형성하는 단계; 상기 제2 전자수송층상에 제3 전자수송층을 형성하는 단계; 를 포함하고, 상기 제1 정공수송층은 상기 제1 전자수송층 및 상기 제2 전자수송층과 npn접합을 형성하고, 상기 제2 정공수송층은 상기 제2 전자수송층 및 상기 제3 전자수송층과 npn접합을 형성하는 것을 특징으로 한다.

[0019] 본 발명의 유기 반도체 소자 제조방법에 있어서, 상기 제1, 제2 및 제3 전자수송층의 LUMO (lowest occupied molecular orbital) 에너지 레벨은 상기 제1 및 제2정공수송층의 HOMO (highest occupied molecular orbital) 에너지 레벨보다 낮게 형성되는 것이 바람직하다.

발명의 효과

[0020] 본 발명에 따르면, 상술한 구조를 가지는 유기 반도체 소자에 있어서, 본 발명에 사용되는 전자수송층의 물질은 주로 전자 받게(electron acceptor)의 특징을 가지고 있어 전자주입층 상부에 있는 정공수송층과의 계면에서 발생한 정공과 전자의 쌍의 결합을 끊고 전자를 끌어당겨 정공을 형성시킨다. 그리고 전자수송층 하부에 있는 정공수송층의 HOMO 준위에 있는 전자는 양극(애노드 전극)으로 이동하면서 양극과 연결된 정공수송층에 정공을 주입시켜 정공의 주입 및 이동 특성을 향상시킨다.

[0021] 또한 상술한 구조를 가지는 본 발명의 또 다른 유기 반도체 소자에 있어서, 정공수송층 물질은 전자 주게(electron donor)의 특징을 갖고 있어 정공수송층 하부에 있는 전자수송층에 전자를 주고, 상부에 있는 전자수송층은 음극(캐소드 전극)에서 전자가 주입되어 전자 주입 및 이동 특성을 향상시킨다.

도면의 간단한 설명

[0022] 도 1a은 본 발명의 제1구조의 실시예에 따른 유기 반도체 소자의 개략적인 구조를 에너지 레벨을 고려하여 도시한 구성도이다.

도1b는 본 발명의 제2구조의 실시예에 따른 유기 반도체 소자의 개략적인 구조를 에너지 레벨을 고려하여 도시한 구성도이다.

도 2a는 본 발명에 따른 유기 반도체 소자 구조에서 전자수송층의 삽입특성을 비교하기 위한 각 실시형태를 에너지 레벨을 고려하여 도시한 구성도이다.

도 2b는 도 2a의 각 실시형태에 따라 전자수송층의 삽입에 의한 J-V특성을 나타내는 그래프이다.

도 3은 본 발명에 따른 유기 반도체 소자의 전하 이동 특성 원리를 설명하기 위한 구성도이다.

도 4a는 본 발명에 따른 유기 반도체 소자 구조를 적용한 Blue OLED의 각 실시형태를 에너지 레벨을 고려하여 도시한 구성도이다.

도 4b 내지 도 4d는 도 4a에 도시된 Blue OLED의 각 실시형태별 전기적인 특성을 나타내는 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0023] 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.

[0024] 도 1a의 (a) 및 (b)는 본 발명의 유기 반도체 소자의 제1구조(정공수송층과 전극이 연결된 구조)에 대한 실시예를 도시한 것이며, 도 1b의 (c) 및 (d)는 본 발명의 유기 반도체 소자의 제2구조(전자수송층과 전극이 연결된 구조)에 대한 실시예를 도시한 것이다.

[0025] 도 1a의 (a)를 참조하면, 본 실시예에서 유기 반도체 소자의 구성은 두개의 정공수송층, 그리고 하나의 전자

수송층을 포함하여 이루어진다. 보다 자세하게는 기판상에 형성되는 전극1(10a, 양극)과, 전극1(10a, 양극) 상에 형성되는 제1 정공수송층(31a), 상기 제1 정공수송층(31a) 상에 형성되는 전자수송층(40a), 상기 전자수송층(40a) 상에 형성된 제2 정공수송층(33a), 제2 정공수송층(33a) 위에 형성된 전극2(70a, 음극)로 구성된다. 그리고 전자수송층(40a)은 제1 정공수송층(31a)과 pn접합을 형성하는 계면(51a) 및 제2 정공수송층(33a)과 np접합을 형성하는 계면(53a)을 갖는다.

[0026] 도 1a의 (b)를 참조하면, 본 실시예에서 유기 반도체 소자의 구성은 세개의 정공수송층, 그리고 두개의 전자수송층을 포함하여 이루어진다. 보다 자세하게는 기판상에 형성되는 전극1(10a, 양극)과, 전극1(10a, 양극)상에 형성되는 제1 정공수송층(31a), 상기 제1 정공수송층(31a) 상에 형성되는 제1 전자수송층(41a), 상기 제1 전자수송층(41a)상에 형성된 제2 정공수송층(33a), 상기 제2 정공수송층(33a)상에 형성된 제2 전자수송층(43a), 상기 제2 전자수송층(43a)상에 형성된 제3 정공수송층(35a), 상기 제3 정공수송층(35a) 위에 형성된 전극2(70a, 음극)로 구성된다. 그리고 제1 전자수송층(41a)은 제1 정공수송층(31a)과 pn접합을 형성하는 계면(51a) 및 제2 정공수송층(33a)과 np접합을 형성하는 계면(53a)을 갖는다. 또한 제2 전자수송층(43a) 역시 제2 정공수송층(33a)과 pn접합을 형성하는 계면(55a) 및 제3 정공수송층(33a)과 np접합을 형성하는 계면(57a)을 갖는다.

[0027] 다만 상술한 구성은 예시일 뿐이며, 도면에는 미도시 하였으나, 이외에도 N(N은 2 이상의 자연수)개의 정공수송층 및 각 정공수송층 사이에 배치되어 인접한 정공수송층과 pn접합 및 np접합을 순차적으로 형성하는 N-1(N은 2 이상의 자연수)개의 전자수송층을 포함하는 구조로 본 발명의 유기 반도체 소자를 구성할 수 있다.

[0028] 특히 제1구조를 갖는 본 발명에 있어서, 도 1a의 (a) 및 (b)의 설명에서 상술한 전자수송층(40a, 41a, 43a)은, 상술한 정공수송층 (31a, 33a, 35a)의 HOMO (highest occupied molecular orbital) 에너지 준위보다 낮거나 비슷한 LUMO (lowest occupied molecular orbital) 에너지 준위를 가지는 것을 특징으로 한다. 보다 바람직하게는 제1구조를 갖는 본 발명의 정공수송층의 HOMO 에너지 레벨과 본 발명의 전자수송층의 LUMO 에너지 레벨의 차이는 0eV 초과 2.0eV 이하인 것이 바람직하다. 이에 따라 정공수송층(31a, 33a, 35a)의 HOMO 에너지 준위에 있는 전자가 전극1(10a, 양극)으로 이동하면서 전극1(10a, 양극)과 연결된 정공수송층(31a)에 정공을 주입시켜 정공의 주입 및 이동 특성을 향상시킬 수 있게 된다.

[0029] 또한 제1구조를 갖는 본 발명의 유기 반도체 소자에 포함된 정공수송층 중 적어도 하나는 p타입 도펀트가 도핑된 정공수송층 일 수 있다. 여기서 p타입 도펀트는 현재 개발되어 상용화되었거나, 향후 기술발전에 따라 구현 가능한 모든 p타입 도펀트를 이용 가능하다. 이에 따라 에너지 장벽으로 인한 특성감소를 줄이고, 전기적인 특성을 향상시키는 효과를 가질 수 있다.

[0030] 한편 상술한 전자수송층(40a, 41a, 43a)에 사용하는 물질은, 이동도(mobility)가 정공수송층(31a, 33a, 35a)을 이루는 물질보다 이동도(mobility)가 빠른 물질을 사용하는 것이 더 바람직하다.

[0031] 도 1b의 (c)를 참조하면, 본 실시예에서 제2구조를 갖는 유기 반도체 소자의 구성은 두개의 전자수송층, 그리고 하나의 정공수송층을 포함하여 이루어진다. 보다 자세하게는 기판상에 형성되는 전극1(10b, 음극)과, 상기 전극1(10b, 음극) 상에 형성되는 제 1 전자수송층(41b), 상기 제1 전자수송층(41b)상에 형성되는 정공수송층(30b), 상기 정공수송층(30b)상에 형성된 제2 전자수송층(43b), 제2 전자수송층(43b) 위에 형성된 전극2(70b, 양극)로 구성된다. 그리고 정공수송층(30b)은 제1 전자수송층(41b)과 np접합을 형성하는 계면(51b) 및 제2 전자수송층(33a)과 pn접합을 형성하는 계면(53b)을 갖는다.

[0032] 도 1b의 (d)를 참조하면, 본 실시예에서 제2구조를 갖는 유기 반도체 소자의 구성은 세개의 전자수송층, 그리고 두개의 정공수송층을 포함하여 이루어진다. 보다 자세하게는 기판상에 형성되는 전극1(10b, 음극)과, 상기 전극1(10b, 음극) 상에 형성되는 제 1 전자수송층(41b), 상기 제1 전자수송층(41b)상에 형성되는 제1 정공수송층(31b), 상기 제1 정공수송층(31b)상에 형성된 제2 전자수송층(43b), 제2 전자수송층(43b)상에 형성된 제2 정공수송층(33b), 제2 정공수송층(33b)상에 형성된 제3 전자수송층(45b), 제3 전자수송층(45b) 위에 형성된 전극2(70b, 양극)로 구성된다. 그리고 제1 정공수송층(31b)은 제1 전자수송층(41b)과 np접합을 형성하는 계면(51b) 및 제2 전자수송층(43b)과 pn접합을 형성하는 계면(53b)을 갖는다. 또한 제2 정공수송층(33b) 역시 제2 전자수송층(43b)과 np접합을 형성하는 계면(55b) 및 제3 전자수송층(33a)과 pn접합을 형성하는 계면(57b)을 갖는다.

[0033] 다만 상술한 구성은 예시일 뿐이며, 도면에는 미도시 하였으나, 이외에도 N(N은 2 이상의 자연수)개의 전자수송층 및 각 전자수송층 사이에 배치되어 인접한 전자수송층과 np접합 및 pn접합을 순차적으로 형성하는 N-1(N은 2 이상의 자연수)개의 정공수송층을 포함하는 구조로 본 발명의 유기 반도체 소자를 구성할 수 있다.

[0034] 특히 제2구조를 갖는 본 발명에 있어서, 도 1b의 (c) 및 (d)의 설명에서 상술한 정공수송층(30b, 31b, 33b)은, 상술한 전자수송층(41b, 43b, 45b)의 LUMO (lowest occupied molecular orbital) 에너지 준위보다 높거나 비슷한 HOMO (highest occupied molecular orbital) 에너지 준위를 가지는 것을 특징으로 한다. 보다 바람직하게는 제2구조를 갖는 본 발명의 전자수송층의 LUMO 에너지 레벨과 상기 각 정공수송층의 HOMO 에너지 레벨의 차이는 0eV 초과 2.0eV 이하인 것이 바람직하다.

[0035] 또한 제2구조를 갖는 본 발명의 유기 반도체 소자에 포함된 전자수송층 중 적어도 하나는 n타입 도펀트가 도핑된 전자수송층 일 수 있다. 여기서 n타입 도펀트는 현재 개발되어 상용화되었거나, 향후 기술발전에 따라 구현 가능한 모든 n타입 도펀트를 이용 가능하다. 이에 따라 에너지 장벽으로 인한 특성감소를 줄이고, 전기적인 특성을 향상시키는 효과를 가질 수 있다.

[0036] 한편 상술한 정공수송층(30b, 31b, 33b) 에 사용하는 물질은, 이동도(mobility)가 전자수송층(41b, 43b, 45b)을 이루는 물질보다 이동도(mobility)가 빠른 물질을 사용하는 것이 더 바람직하다.

[0037] 도 2a는 본 발명에 따른 유기 반도체 소자 구조에서 전자수송층의 삽입특성을 비교하기 위한 각 실시형태를 에너지 레벨을 고려하여 도시한 구성도이다. 즉 도 1a의 설명에서 상술한 제1구조를 갖는 본 발명에 따른 유기 반도체 소자에 대한 각 실시형태에 관한 구성도이다.

[0038] 도 2a를 참조하면, 소자A는 전극1(100), 제1 정공수송층 (310) 및 전극2(700)가 구비되어 있으며, 제1 정공수송층(310)과 전극1(100), 전극2(700)사이에는 오믹컨택층(210, 230)이 더 구비되는 것이 바람직하나, 이에 한정되지는 않는다.

[0039] 소자B는, 상술한 소자A의 전극1(100)과 제1 정공수송층(310)사이에 제1 전자수송층(410)을 삽입하여 제1 전자수송층(410)과 제1 정공수송층(310) 사이에 np접합된 계면(510)을 형성한 소자이다. 물론 이때 제1 전자수송층(410)과 전극1(100)사이에 오믹컨택층(210)이 더 형성될 수 있으며, 전극2(700)와 제1 전자수송층(410) 사이에도 오믹컨택층(230)이 더 형성될 수 있다.

[0040] 소자C는 상술한 소자B의 전극1(100)과 제1 전자수송층(410) 사이에 제2 정공수송층(330)을 더 구비하여, 제2 정공수송층(330)과 제1 전자수송층(410)사이에 pn접합된 계면(530)을 더 형성한 소자이다. 물론 제 2정공수송층(330)과 전극1(100) 사이에 오믹컨택층(210)이 더 형성될 수 있으며, 이외의 오믹컨택층(230)에 대한 설명은 상술한 바와 같다.

[0041] 소자D는 상술한 소자C의 전극1(100)과 제2 정공수송층(330)사이에 제3 정공수송층(350) 및 제2 전자수송층(430)을 더 구비하여, 제3 정공수송층(350)과 제2 전자수송층(430)사이에 pn접합된 계면(570) 및 제2 전자수송층(430)과 제2 정공수송층 사이에 np접합된 계면(550)을 더 형성한 소자이다. 물론 제3 정공수송층(350)과 전극1(100) 사이에 오믹컨택층(210)이 더 형성될 수 있으며, 이외의 오믹컨택층(230)에 대한 설명은 상술한 바와 같다.

[0042] 상술한 소자A 내지 D에서 각 정공수송층(310, 330, 350)에 사용된 물질은 α-NPB (N,N'-diphenyl-N,N'-bis(1,1'-biphenyl)-4,4'-diamine)이며, 각 전자수송층(410, 430)에 사용된 물질은 HATCN(1,4,5,8,9,11-hexaazatriphenylene hexacarbonitrile)이다. 전극1(100, 양극)은 ITO전극을 사용하였으며, 전극2(700, 음극)은 Al을 사용하였다. 이외에 오믹컨택층(210,230)에는 MoO_3를 사용하였다.

[0043] 하기한 표1에는 각 소자에 사용된 물질 및 각 층의 두께를 표시하였으며, 각 정공수송층 및 전자수송층의 에너지 레벨은 도 2a에 표시하였다. 에너지 레벨은 숫자가 낮을수록 더 큰 에너지 레벨을 나타내는 것임은 당업자에게 자명하다.

표 1

[0044]

소자A	전극1 /오믹컨택층 /제1정공수송층 /오믹컨택층 /전극2
	:ITO /MoO_3 (0.75 nm) /α-NPB (100 nm)/MoO_3 (5 nm)/Al
소자B	전극1 /오믹컨택층 /제1전자수송층 /제1정공수송층 /오믹컨택층 /전극2
	:ITO/ MoO_3 (0.75 nm) /HAT-CN (40 nm)/α-NPB (60 nm)/MoO_3 (5 nm)/Al;
소자C	전극1 /오믹컨택층 /제2정공수송층 /제1전자수송층 /제1정공수송층 /오믹컨택층 /전극2
	ITO/MoO_3 (0.75nm)/α-NPB (30nm)/HAT-CN (40nm)/α-NPB (30 nm)/MoO_3 (5 nm)/ Al
소자D	전극1 /오믹컨택층 /제3정공수송층 /제2전자수송층 /제2정공수송층 /제1전자수송층 /제1정공수송층 /오믹컨택층 /전극2
	:ITO/MoO_3 (0.75nm)/α-NPB (20 nm)/HAT-CN (20 nm)/α-NPB (20 nm)/ HAT-CN (20 nm)/ α-NPB (20 nm)/ MoO_3 (5 nm) / Al

[0045] 도 2b는 도 2a의 각 실시형태에 따라 전자수송층의 삽입에 의한 J-V특성을 나타내는 그래프이다. 도 2a 내지 도 2b를 참조하면, 소자의 J-V특성을 보면 전자수송층인 HATCN이 추가된 소자B, C, D가 그렇지 않은 소자A에 비하여 동일 전압대비 더 큰 전류를 발생시킴을 알 수 있다.

[0046] 한편 소자B는 하나의 접합계면을 포함하며, 소자C는 두개의 접합계면을 포함하고, 소자D는 네개의 접합계면을 포함하는데, 정공수송층과 전자수송층 사이의 접합계면이 더 많은 소자일수록 동일 전압대비 더 큰 전류를 발생시킴을 역시 확인할 수 있다.

[0047] 도 3은 본 발명에 따른 유기 반도체 소자의 전하 이동 특성 원리를 설명하기 위한 구성도이다. 보다 자세하게는 도 2a의 소자C를 일 예시로서 설명한다. 도 2a 및 도 3을 참조하면, HATCN으로 이루어진 제1 전자수송층(410)은 전자 받게(electron acceptor)의 특성을 가지고 있는 물질로서, 주변의 정공수송층의 전자를 끌어당기는 성질을 갖는다.

[0048] 즉 제1 전자수송층(410)은 np접합을 형성한 계면에서 제2 정공수송층(310)의 HOMO 에너지 준위에 있던 전자를 당기어(charge generation) 최종적으로 제2 정공수송층(310)의 HOMO 에너지 준위에 정공을 형성시킨다. 이 때의 정공 형성 속도는 전자수송층에 사용되는 물질에 따라 다르며, 본 실시형태에서는 정공의 형성을 향상시켜 정공의 이동도를 증가시킬 수 있는 HATCN을 사용하였다.

[0049] 한편 제1 정공수송층(330) 과 제1 전자수송층(410)이 pn접합을 형성한 반대쪽 계면에서는, 제1 정공수송층(330)의 전자는 전기장에 의해 전극1(100, 양극, ITO전극)으로 이동하게 되고, 제2 정공수송층(330)의 HOMO 에너지 준위에 정공이 남게 된다. 이 정공은 전기장에 의해 제1 전자수송층(410)이 있는 면으로 이동하게 되고, 제1 전자수송층(410)에 있는 전자와 마주치게 된다. 이 때 pn계면에서는 재결합(hole-electron recombination)이 발생하게 된다. 재결합은 Langevin가 쿨롱 포획 반지름으로 표현할 수 있다.

[0050] $r_c = e^2 / (4\pi \varepsilon_r \varepsilon_0 k_B T)$

[0051] 상온에서 일반적인 유기반도체 물질은 반지름이 18.5 nm 정도 되고 이 안에서 정공의 이동은 아래처럼 나타낼 수 있다

[0052] $J = n_h e \mu_t F$

[0053] 여기서 이동도 μ_t는 정공의 이동도(μ_{hole})와 전자의 이동도($\mu_{electron}$)의 합으로서 p 물질의 정공이동도와 n 물질의 전자이동도가 영향을 준다. 이와 같은 이유로 재결합 속도는 일반적인 정공수송층의 정공이동도보다 빠른 전자이동도를 갖는 전자수송층에 의해 향상된다.

[0054] 상술한 원리로 인해 정공수송층과 전자수송층의 접합계면 수의 증가는 전자와 정공의 재결합에 의한 향상(예컨대 제2 정공수송층-제1 전자수송층)과 전자의 이동에 의한 정공의 생성(예컨대 제1 전자수송층-제1 정공수송층)에 의해 더 많은 정공이 쉽게 형성되는 효과, 정공의 이동도를 향상시키는 효과를 가져오게 된다.

[0055] 도 4a는 본 발명에 따른 유기 반도체 소자 구조를 적용한 Blue OLED의 각 실시형태를 도시한 구성도이다. 도 4a를 참조하면, 소자E는 전극1(100), 전자수송층에 전자수송물질(500)이 도핑된 전자도핑층(600), 제1 정공수

송층 (610), 발광층(810), 전자층(830), 전자주입층이 포함된 전극2(700)가 구비되어 있다.

[0056] 소자F는, 상술한 소자E의 전자도핑층(600) 대신 제1 전자수송층(410)을 삽입하여 제1 전자수송층(410)과 제1 정공수송층(610) 사이에 np접합된 계면(510)을 형성한 소자이다.

[0057] 소자G는 상술한 소자F의 전극1(100)과 제1 전자수송층(410) 사이에 제2 정공수송층(630)을 더 구비하여, 제2 정공수송층(630)과 제1 전자수송층(410)사이에 pn접합된 계면(530)을 더 형성한 소자이다.

[0058] 소자H는 상술한 소자G의 전극1(100)과 제2 정공수송층(630)사이에 제3 정공수송층(650) 및 제2 전자수송층(430)을 더 구비하여, 제3 정공수송층(650)과 제2 전자수송층(430)사이에 pn접합된 계면(570) 및 제2 전자수송층(430)과 제2 정공수송층 사이에 np접합된 계면(550)을 더 형성한 소자이다.

[0059] 소자 E 내지 H 모두 발광층(810, EML; Emitting Layer)으로는 MADN(2-Methyl-9,10-di(2-naphthyl)anthracene)에 BD-1(p-bis(p-N,N-diphenyl-aminostyryl)benzene)4%를 도핑한 물질을 사용하였으며, 전자층(830, ETL;Electron Transport Layer)으로는 TMPyPB(1,3,5-tris(m-pyrid-3-ylphenyl)benzene)을 사용하였다. 또한 소자 E 내지 H 모두 전극1(100, 양극)은 ITO전극을 사용하였으며, 전자주입층으로는 Liq(lithium quinolate)를 사용하였고, 전극2(700, 음극)은 Al을 사용하였다. 이외에 소자G의 제2 정공수송층(630) 및 소자H의 제3 정공수송층(650)에는 DNTPD(N,N'-di[4-(N,N'-diphenylamino)phenyl]-N,N'-diphenylbenzidine)를 사용하였고, 상술한 정공수송층 이외에 소자E 내지 H의 각 정공수송층에는 NPB(N,N'-diphenyl-N,N'-bis(1,1'-biphenyl)-4,4'-diamine)를 사용하였다.

[0060] 하기한 표2에는 소자별로 각 층에 사용된 물질 및 각 층의 두께를 표시하였으며, 각 정공수송층 및 전자수송층의 에너지 레벨은 도 4a에 표시하였다. 에너지 레벨은 숫자가 낮을수록 더 큰 에너지 레벨을 나타내는 것임은 당업자에게 자명하다.

표 2

[0061]

소자E	전극1/전자도핑층/제1정공수송층/발광층/전자층/전자주입층/전극2
	ITO/ NPB:HATCN (3%, 70 nm)/NPB (10 nm)/MADN: BD-1 (4%, 40 nm)/TmPyPb (10 nm) / Liq (1 nm) / Al (100 nm)
소자F	전극1/제1전자수송층/제1정공수송층/발광층/전자층 /전자주입층/전극2
	ITO/ HATCN (40 nm)/ NPB (40 nm)/MADN: BD-1 (4%, 40 nm)/ TmPyPb (10 nm) / Liq (1 nm) / Al (100 nm)
소자G	전극1/제2 정공수송층/ 제1전자수송층/제1정공수송층/발광층/전자층/전자주입층/전극2
	ITO/ DNTPD (20nm)/ (HATCN (40 nm)/ NPB (20 nm)/ MADN: BD-1 (4%, 40 nm)/ TmPyPb (10 nm) / Liq (1 nm) / Al (100 nm)
소자H	전극1/제3 정공수송층/ 제2 전자수송층/ 제2 정공수송층/ 제1전자수송층/제1정공수송층/발광층/전자층/전자주입층/전극2
	ITO / DNTPD (20nm)/ (HATCN (20 nm)/ NPB (20 nm)/(HATCN (20 nm)/ NPB (20 nm)/ MADN: BD-1 (4%, 40 nm)/ TmPyPb (10 nm) / Liq (1 nm) / Al (100 nm)

[0062] 도 4b 내지 도 4d는 도 4a에 도시된 Blue OLED의 각 실시형태별 전기적인 특성을 나타내는 그래프이다.

[0063] 도 4b는 도 4a의 각 실시형태별 J-V특성 곡선을 나타낸 그래프로서, 접합계면이 증가할수록 동일 전압에서 OLED의 전류크기가 크게 향상됨을 알 수 있다.

[0064] 도 4c는 도4a의 각 실시형태별 L-V특성 곡선을 나타낸 그래프로서, 접합계면이 증가할수록 동일 전압에서 OLED의 밝기가 크게 향상됨을 알 수 있다. 이는 접합계면이 증가할수록 보다 낮은 전압에서 동일한 밝기를 나타내는 OLED를 제작할 수 있음을 보여준다.

[0065] 도 4d는 도 4a의 각 실시형태별 광전변환효율을 나타내는 그래프로서, 접합계면이 증가할수록 OLED가 동일한 밝기를 내는데에 전력효율이 향상됨을 알 수 있다. 이는 접합계면이 증가할수록 광전변환효율이 높은 OLED를 제작할 수 있음을 보여준다.

[0066] 또한, 이러한 정공 이동 특성이 우수한 유기 반도체 소자를 제조하는 방법을 설명한다. 제1실시형태는 애노드 전극상에 제1 정공수송층을 형성하는 단계, 상기 제1 정공수송층상에 제1 전자수송층을 형성하는 단계, 상기 제1 전자수송층상에 제2 정공수송층을 형성하는 단계, 상기 제2 정공수송층상에 제2 전자수송층을 형성하는

단계, 상기 제2 전자수송층상에 제3 정공수송층을 형성하는 단계를 포함한다. 그리고 상기 제1 전자수송층은 상기 제1 정공수송층 및 상기 제2 정공수송층과 pnp접합을 형성하고, 상기 제2 전자수송층은 상기 제2 정공수송층 및 상기 제3 정공수송층과 pnp접합을 형성하는 것을 특징으로 한다.

[0067] 여기서, 상기 제1, 제2 및 제3 정공수송층의 HOMO (highest occupied molecular orbital) 에너지 레벨은 상기 제1 및 제2 전자수송층의 LUMO (lowest occupied molecular orbital) 에너지 레벨보다 높게 형성되는 것이 바람직하며, 관련 내용은 도 1a의 설명에서 상술한 바, 생략한다.

[0068] 특히, 더 우수한 정공과 전자의 이동을 위한 방안으로, 상기 제1 및 제2 전자수송층에 사용하는 물질은, 이동도(mobility)가 제1, 제2, 제3 정공수송층을 이루는 물질보다 이동도(mobility)가 빠른 물질을 사용하는 것이 더 바람직하다.

[0069] 또한, 전자 이동 특성이 우수한 유기전자소자를 제조하기 위한 제2실시형태에 따른 공정은, 캐소드 전극상에 제1 전자수송층을 형성하는 단계, 상기 제1 전자수송층상에 제1 정공수송층을 형성하는 단계, 상기 제1 정공수송층상에 제2 전자수송층을 형성하는 단계, 상기 제2 전자수송층상에 제2 정공수송층을 형성하는 단계, 상기 제2전자수송층상에 제3 전자수송층을 형성하는 단계를 포함한다. 그리고 상기 제1 정공수송층은 상기 제1 전자수송층 및 상기 제2 전자수송층과 npn접합을 형성하고, 상기 제2 정공수송층은 상기 제2 전자수송층 및 상기 제3 전자수송층과 npn접합을 형성하는 것을 특징으로 한다.

[0070] 여기서, 상기 제1, 제2 및 제3 전자수송층의 LUMO (lowest occupied molecular orbital) 에너지 레벨은 상기 제1 및 제2 정공수송층의 HOMO (highest occupied molecular orbital) 에너지 레벨보다 낮게 형성되는 것이 바람직하며, 관련 내용은 도 1b의 설명에서 상술한 바, 생략한다.

[0071] 특히, 더 우수한 정공과 전자의 이동을 위한 방안으로, 상기 제1 및 제2 정공수송층에 사용하는 물질은, 이동도(mobility)가 제1, 제2, 제3 전자수송층을 이루는 물질보다 이동도(mobility)가 빠른 물질을 사용하는 것이 더 바람직하다.

[0072] 본 발명에 의하면 유기 반도체 소자에서 전하의 이동속도를 빠르게 한다. 이에 따라 본 발명의 유기 반도체 소자가 유기 발광소자에 사용되는 경우, 저전압에서의 구동과 고효율의 실현이 가능하며 유기 태양전지에 사용되는 경우는 고효율의 태양전지 개발이 가능하다. 또한 본 발명의 유기 반도체 소자가 유기 트랜지스터에 사용되는 경우, 전하이동도를 좋게 하여 빠른 스위칭특성과 안전성을 확보할 수 있다. 또한, 유기센서에 사용되는 경우는 빠른 스위칭 속도에 따른 다양한 장점을 가질 수 있다.

[0073] 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

[0074] 10a, 10b, 100: 전극1

70a, 70b, 700: 전극2

30b, 31a, 31b, 33a, 35a, 310, 330, 350, 610, 630, 650: 정공수송층

40a, 41a, 41b, 43a, 43b, 45b, 410, 430: 전자수송층

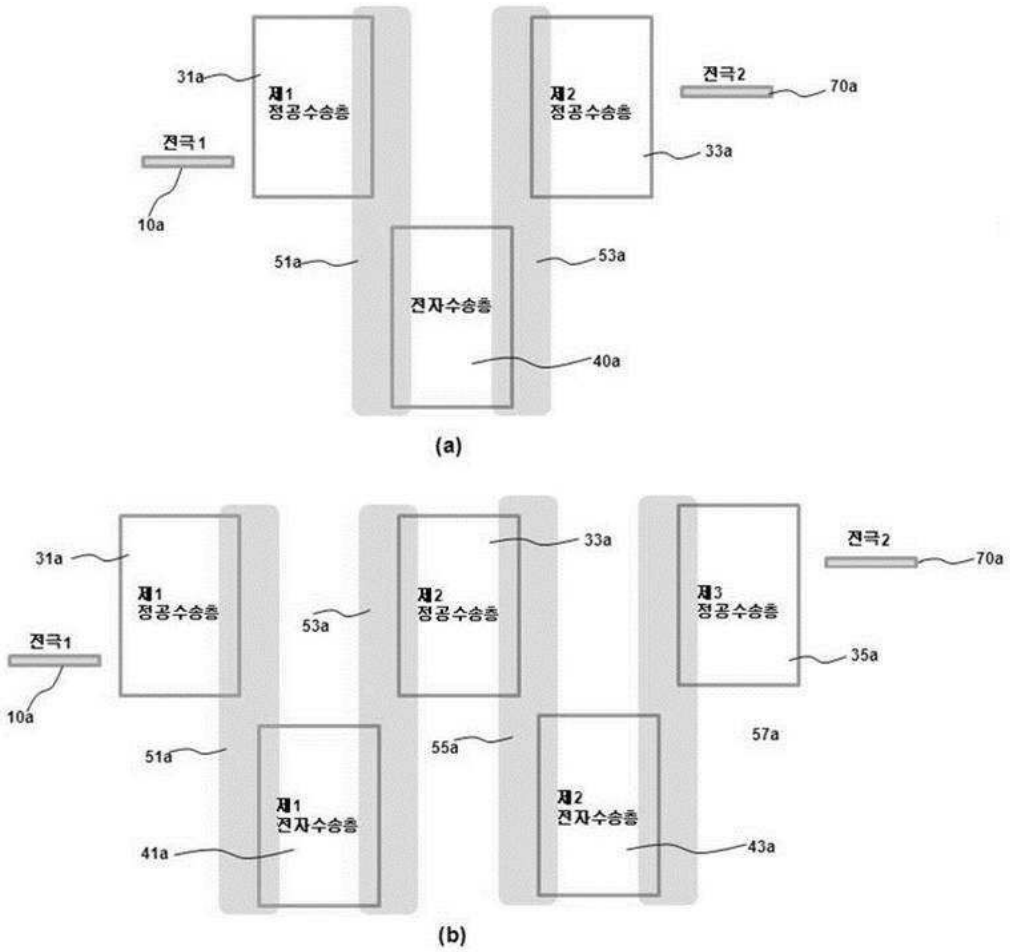
210, 230: 오믹컨택층

810: 발광층

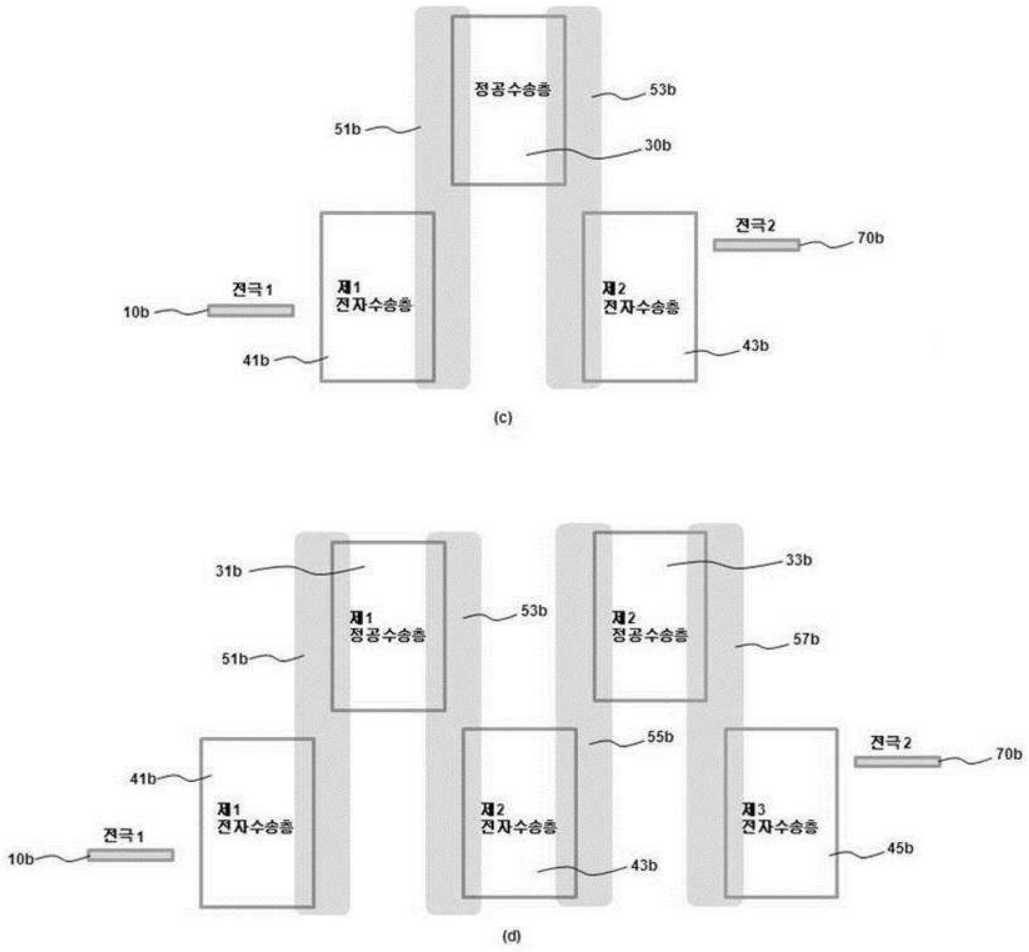
830: 전자층

도면

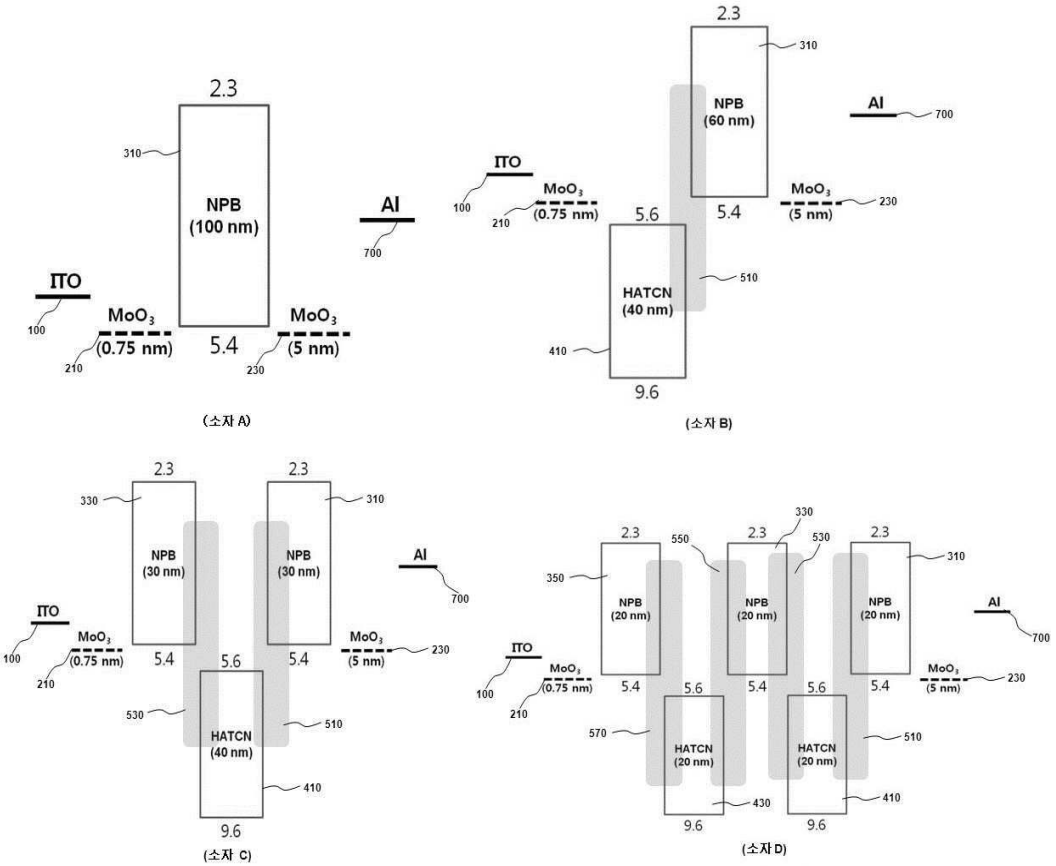
도면1a


31a
제1
정공수송층
전극1
10a
제2
정공수송층
전극2
70a
33a
51a
전자수송층
53a
40a
(a)
31a
제1
정공수송층
전극1
10a
53a
제2
정공수송층
33a
제3
정공수송층
전극2
70a
35a
51a
제1
전자수송층
41a
55a
제2
전자수송층
57a
43a
(b)

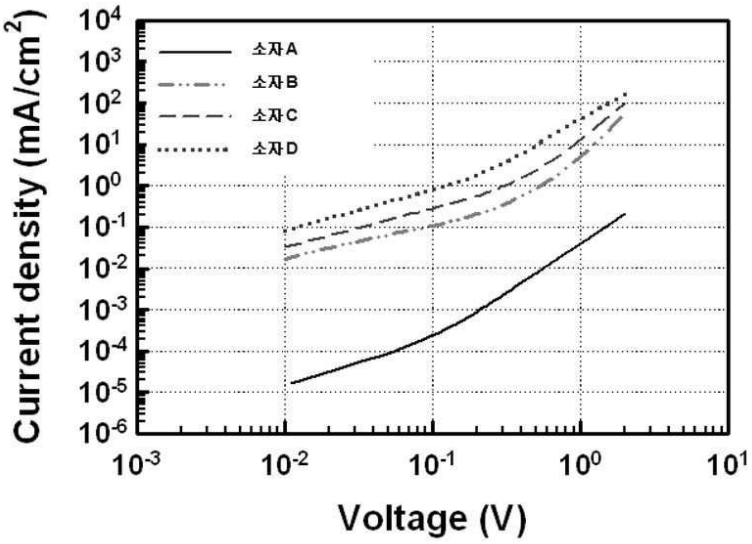
도면1b


정공수송층
53b
51b
30b
전극2
70b
전극1
제1
전자수송층
제2
전자수송층
10b
41b
43b
(c)
31b
제1
정공수송층
53b
제2
정공수송층
33b
57b
51b
55b
41b
제1
전자수송층
제2
전자수송층
제3
전자수송층
전극2
70b
전극1
10b
43b
45b
(d)

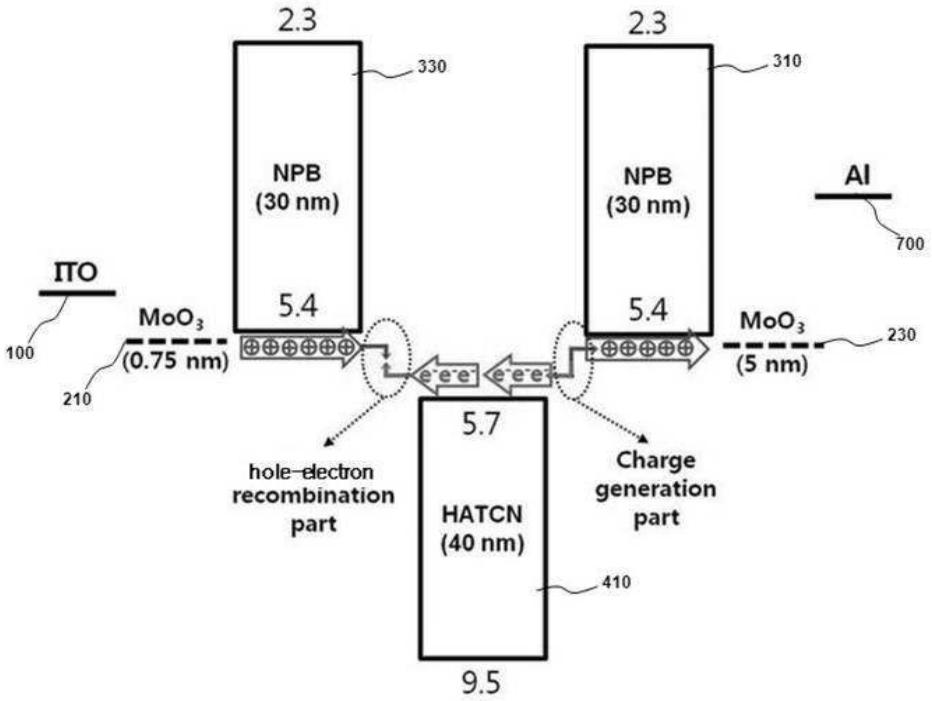
도면2a


2.3
310
NPB
(100 nm)
Al
700
ITO
100
MoO3
(0.75 nm)
210
5.4
MoO3
(5 nm)
230
(소자 A)
2.3
310
NPB
(60 nm)
Al
700
ITO
100
MoO3
(0.75 nm)
210
5.6
5.4
MoO3
(5 nm)
230
HATCN
(40 nm)
510
410
9.6
(소자 B)
2.3
330
NPB
(30 nm)
2.3
310
NPB
(30 nm)
Al
700
ITO
100
MoO3
(0.75 nm)
210
5.4
5.6
5.4
MoO3
(5 nm)
230
530
HATCN
(40 nm)
510
410
9.6
(소자 C)
330
2.3
550
2.3
530
2.3
310
350
NPB
(20 nm)
NPB
(20 nm)
NPB
(20 nm)
Al
700
ITO
100
MoO3
(0.75 nm)
210
5.4
5.6
5.4
5.6
5.4
MoO3
(5 nm)
230
570
HATCN
(20 nm)
HATCN
(20 nm)
510
430
410
9.6
9.6
(소자 D)

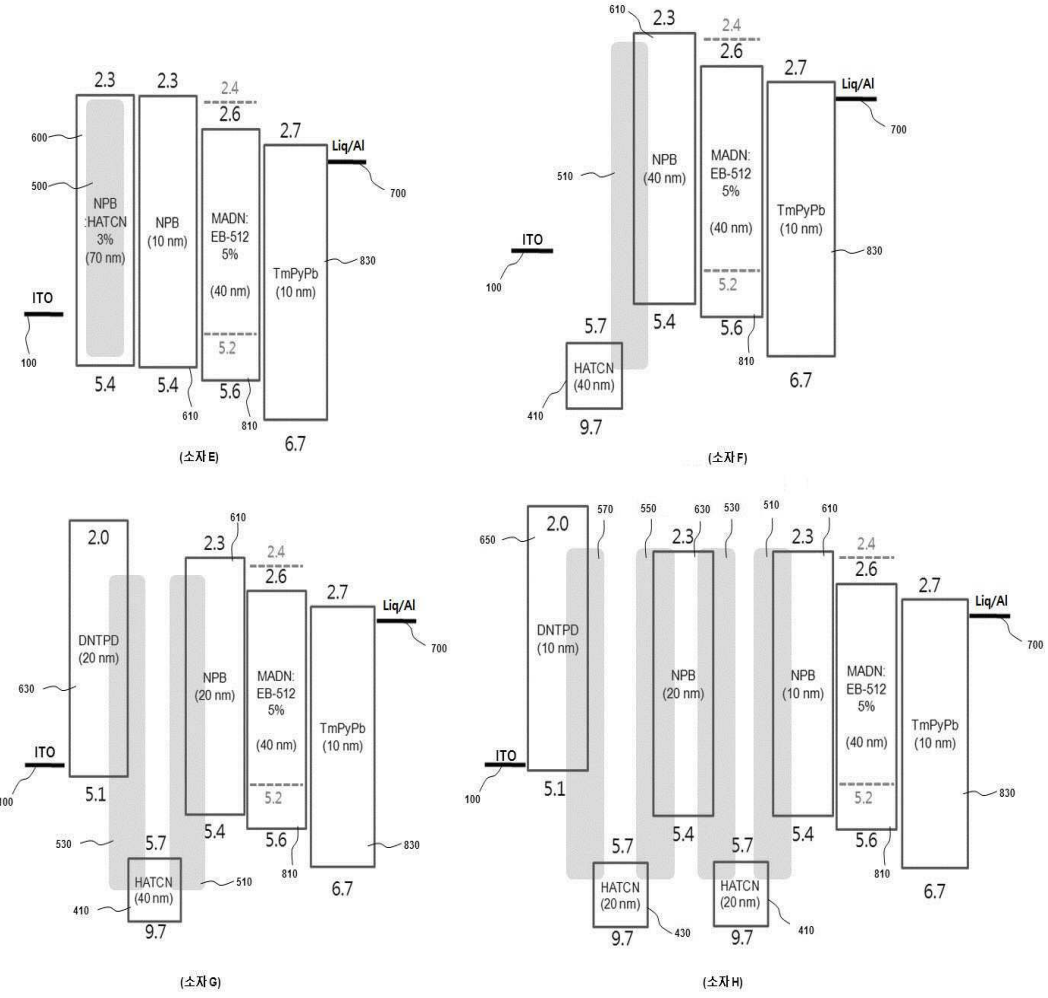
도면2b


Current density (mA/cm2)
Voltage (V)
소자A
소자B
소자C
소자D

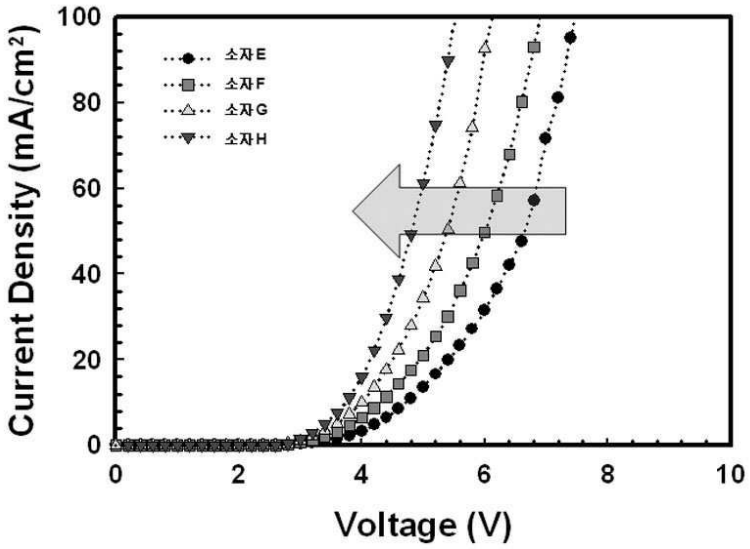
도면3


2.3
330
NPB
(30 nm)
5.4
2.3
310
NPB
(30 nm)
5.4
Al
700
ITO
100
MoO3
(0.75 nm)
210
MoO3
(5 nm)
230
e-e-e-
e-e-e-
5.7
HATCN
(40 nm)
410
9.5
hole-electron
recombination
part
Charge
generation
part

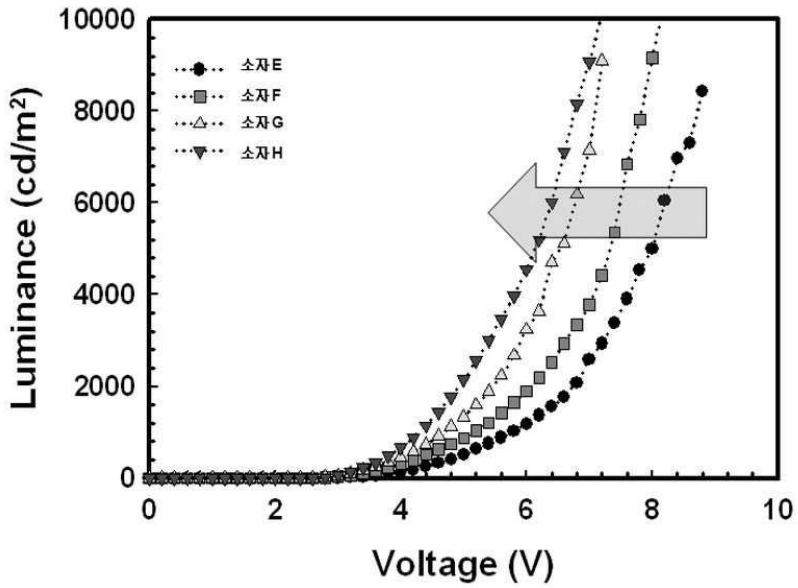
도면4a


ITO
100
NPB
:HATCN
3%
(70 nm)
NPB
(10 nm)
MADN:
EB-512
5%
(40 nm)
TmPyPb
(10 nm)
Liq/Al
700
(소자 E)
NPB
(40 nm)
HATCN
(40 nm)
(소자 F)
DNTPD
(20 nm)
NPB
(20 nm)
(소자 G)
DNTPD
(10 nm)
NPB
(20 nm)
NPB
(10 nm)
HATCN
(20 nm)
(소자 H)

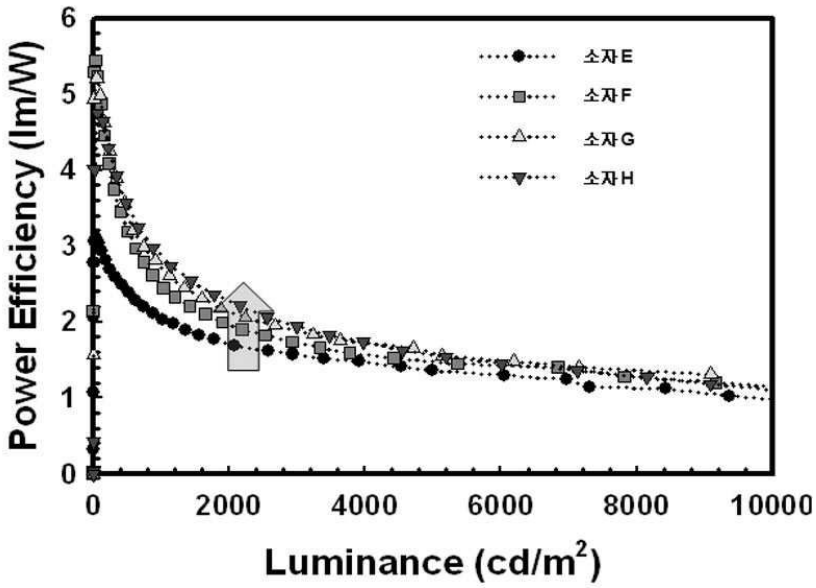
도면4b


Current Density (mA/cm²)
Voltage (V)
소자E
소자F
소자G
소자H
0
20
40
60
80
100
0
2
4
6
8
10

도면4c


Luminance (cd/m²)
Voltage (V)
소자E
소자F
소자G
소자H
0
2000
4000
6000
8000
10000
0
2
4
6
8
10

도면4d


Power Efficiency (lm/W)
Luminance (cd/m2)
0
1
2
3
4
5
6
0
2000
4000
6000
8000
10000
소자E
소자F
소자G
소자H