



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2023년03월29일
(11) 등록번호 10-2515818
(24) 등록일자 2023년03월27일

- (51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C07D 471/04 (2006.01) C09K 11/06 (2006.01)
H10K 50/00 (2023.01) H10K 59/00 (2023.01)
H10K 99/00 (2023.01)
- (52) CPC특허분류
C07D 471/04 (2022.08)
C09K 11/06 (2022.01)
- (21) 출원번호 10-2017-0160425
- (22) 출원일자 2017년11월28일
심사청구일자 2020년10월22일
- (65) 공개번호 10-2019-0061746
- (43) 공개일자 2019년06월05일
- (56) 선행기술조사문헌
KR1020140087803 A*
KR1020170113975 A
KR101176861 B1
KR1020160007965 A
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

- (73) 특허권자
엘지디스플레이 주식회사
서울특별시 영등포구 여의대로 128(여의도동)
- (72) 발명자
최혜욱
경기도 파주시 월롱면 엘지로 245
김민지
경기도 파주시 월롱면 엘지로 245
우성일
경기도 파주시 월롱면 엘지로 245
- (74) 대리인
네이트특허법인

전체 청구항 수 : 총 9 항

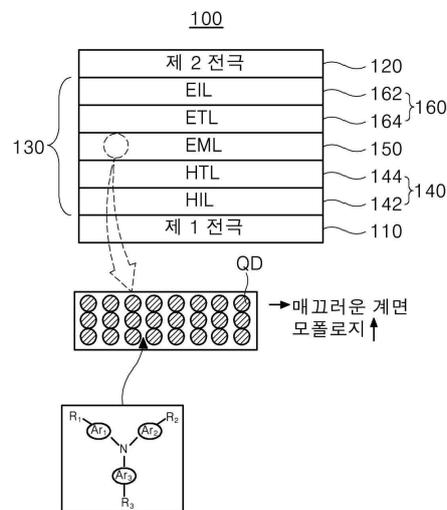
심사관 : 김상인

(54) 발명의 명칭 유기 화합물, 이를 포함하는 발광다이오드 및 발광장치

(57) 요약

본 발명은 3개의 방향족 고리로 치환된 아민 코어를 가지며, 3개의 방향족 고리 중 일부는 용액 공정이 가능한 작용기로 치환되며, 다른 방향족 고리는 헤테로 방향족 작용기로 치환된 유기 화합물과, 상기 유기 화합물을 발광층에 적용한 발광다이오드 및 발광장치에 관한 것이다. 본 발명에 따른 유기 화합물을 발광층에 사용하여, 발광층과 인접한 다른 발광층 사이의 HOMO 에너지 장벽을 제거할 수 있다. 또한, 본 발명의 유기 화합물을 발광 입자와 병용하여 발광층을 형성하는 경우, 발광층과 인접한 층과의 계면 특성이 향상되면서 발광다이오드의 모폴로지 특성이 개선된다. 본 발명에 따른 유기 화합물을 적용함으로써, 발광물질층으로 정공과 전자가 균형 있게 이동, 주입될 수 있기 때문에, 발광 효율이 향상되고, 저-전압 구동이 가능한 발광다이오드 및 발광장치를 구현, 제조할 수 있다.

대표도 - 도3



(52) CPC특허분류

H10K 50/00 (2023.02)

H10K 59/00 (2023.02)

H10K 85/633 (2023.02)

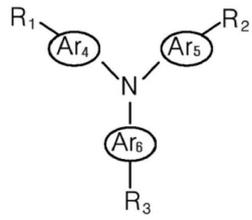
H10K 85/657 (2023.02)

H10K 85/6572 (2023.02)

C09K 2211/1014 (2013.01)

C09K 2211/1029 (2013.01)

화학식 2



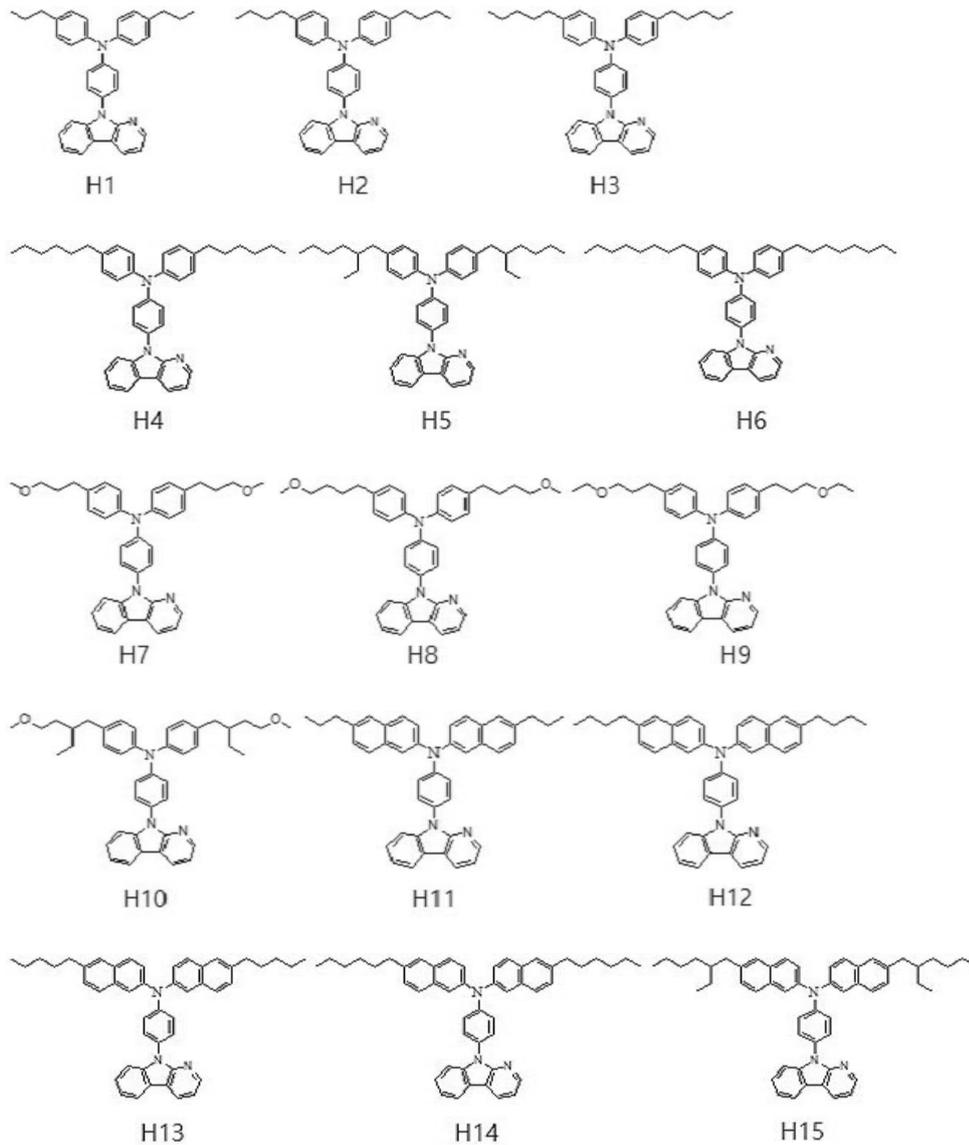
(화학식 1에서 R₁ 내지 R₃는 각각 화학식 1에서 정의된 것과 동일함; Ar₄ 내지 Ar₆는 각각 독립적으로 페닐기 또는 나프틸기임)

청구항 6

제 4항에 있어서,

상기 유기 화합물은 하기 화학식 3으로 표시되는 어느 하나의 유기 화합물을 포함하는 발광다이오드.

화학식 3



청구항 7

삭제

청구항 8

삭제

청구항 9

삭제

청구항 10

기관;

상기 기관 상부에 위치하고, 제 4항 내지 제 6항 중 어느 하나의 항에 기재된 발광다이오드; 및
상기 기관과 상기 발광다이오드 사이에 위치하며 상기 발광다이오드에 연결되는 구동 소자
를 포함하는 발광장치.

청구항 11

제 10항에 있어서,

상기 발광장치는 발광표시장치인 발광장치.

청구항 12

제 4항에 있어서,

상기 발광층은 상기 제 1 전극과 상기 발광물질층 사이 또는 상기 제 2 전극과 상기 발광물질층 사이에 위치하
는 정공수송층을 더욱 포함하고,

상기 정공수송층은 무기물로 이루어지는 발광다이오드.

청구항 13

제 12항에 있어서,

상기 정공수송층에 포함되는 상기 무기물은 NiO, MoO₃, Cr₂O₃, Bi₂O₃ 또는 p-형 ZnO인 금속 산화물, 티오시안구리
(CuSCN), Mo₂S 또는 p-형 GaN인 비-산화 무기물 및 이들의 조합으로 구성되는 군에서 선택되는 발광다이오드.

청구항 14

제 4항에 있어서,

상기 발광물질층과 상기 제 2 전극 사이 또는 상기 제 1 전극과 상기 발광물질층 사이에 위치하는 전자수송층을
더욱 포함하고,

상기 전자수송층은 무기물로 이루어지는 발광다이오드.

청구항 15

제 14항에 있어서,

상기 전자수송층에 포함되는 상기 무기물은 Al, Mg, In, Li, Ga, Cd, Cs 또는 Cu로 도핑되거나 도핑되지 않은
이산화티타늄(TiO₂), 산화아연(ZnO), 산화아연마그네슘(ZnMgO), 산화지르코늄(ZrO), 산화주석(SnO₂), 산화텅스

텐(WO₃), 산화탄탈륨(Ta₂O₃), 산화하프늄(HfO₃), 산화알루미늄(Al₂O₃), 산화지르코늄실리콘(ZrSiO₄), 산화바륨티타늄(BaTiO₃) 또는 산화바륨지르코늄(BaZrO₃)인 무기 산화물; Al, Mg, In, Li, Ga, Cd, Cs 또는 Cu로 도핑되거나 도핑되지 않은 CdS, ZnSe 또는 ZnS인 반도체 입자; Si₃N₄ 및 이들의 조합으로 구성되는 군에서 선택되는 발광 다이오드.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 유기 화합물에 관한 것으로, 더욱 상세하게는 용액 공정이 가능한 유기 화합물과, 상기 유기 화합물을 포함하여 발광 효율이 향상된 발광다이오드 및 발광장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 평판표시장치 중에서 유기발광다이오드(organic light emitting diode; OLED) 표시장치와, 양자점 발광다이오드(quantum dot light emitting diode; QLED) 표시장치는 박형 구조가 가능하고 소비 전력이 적어 액정표시장치(Liquid Crystal Display(LCD) device)를 대체하는 차세대 표시장치로서 주목을 받고 있다.

[0003] 하지만, 유기발광다이오드 표시장치에서 발광 휘도를 높이기 위하여 발광다이오드의 전류 밀도를 증가시키거나 구동 전압을 높이는 경우, 유기 발광다이오드에 사용된 유기 발광물질이 분해되는 등의 열화로 인하여 발광다이오드의 수명이 짧아지는 문제가 있다. 특히, OLED는 국제전기통신연합(International Telecommunication Union; ITU)에서 4K/UHD의 규격과 관련하여 ITU-R Recommendation BT. 2020(Rec. 2020 또는 Bt. 2020)에서 요구하는 높은 수준의 색재현율은 달성하지 못하고 있다.

[0004] 최근에는 양자점(quantum dot; QD)을 표시장치에 이용하고자 하는 노력이 진행되고 있다. 양자점은 불안정한 상태의 전자가 전도대(conduction band)에서 가전자대(valence band)로 내려오면서 발광하는 무기 입자이다. 양자점은 흡광계수(extinction coefficient)가 매우 크고 무기 입자 중에서는 양자효율(quantum yield)도 우수하므로 강한 형광을 발생시킨다. 또한, 양자점의 크기에 따라 발광 파장이 변경되므로, 양자점의 크기를 조절하면 가시광선 전 영역대의 빛을 얻을 수 있으므로 다양한 컬러를 구현할 수 있다. 즉, 양자점을 발광물질층(EML)으로 사용하면, 개별 화소의 색순도를 높일 수 있을 뿐만 아니라, 높은 순도의 레드(R), 블루(B), 그린(G) 발광으로 구성된 백색광을 구현하여 Rec. 2020 표준을 달성할 수 있다.

[0005] 이에 양자점을 이용하여 양자점 발광다이오드(Quantum Dot Light Emitting Diode, QLED)가 개발되고 있는데, 도 1은 일반적인 양자점 발광다이오드를 개략적으로 도시한 단면도이고, 도 2는 일반적인 양자점 발광다이오드에서의 밴드갭 에너지 다이어그램을 도시한 것이다. 도 1 및 도 2를 참조하면 일반적인 양자점 발광다이오드(10)는, 서로 마주하는 양극 및 음극과, 양극과 음극 사이에 위치하는 양자점 발광물질층(Emitting Material Layer; EML)과, 양극과 발광물질층(EML) 사이에 위치하는 정공주입층(Hole Injection Layer; HIL) 및 정공수송층(Hole Transport Layer; HTL)과, 음극과 발광물질층(EML) 사이에 위치하는 전자수송층(Electron Transport Layer; ETL) 및 전자주입층(Electron Injection Layer; EIL)을 포함한다.

[0006] 양자점 발광다이오드(10)는 전자 주입 전극(음극)과 정공 주입 전극(양극) 사이에 형성된 발광층에 전하 캐리어를 주입하면 전자(electron)와 정공(hole)이 쌍을 이룬 후 소멸하면서 빛을 내는 소자이다. 발광을 구현하기 위하여, 정공주입층(HIL) 및 정공수송층(HTL)은 양극으로부터 발광물질층(EML)으로 양전하 캐리어인 정공을 주입, 전달하고, 전자주입층(EIL) 및 전자수송층(ETL)은 음극으로부터 발광물질층(EML)으로 음전하 캐리어인 전자를 주입, 전달한다. 양극과 음극에서 각각 주입된 정공과 전자가 발광물질층(EML)에서 만나 엑시톤(Exciton)을 형성한다. 이 에너지에 의하여 발광물질층(EML)에 포함된 발광 재료가 여기 상태(excited state)가 되는데, 발광 재료가 여기 상태에서 바닥상태(ground state)로 에너지 전이가 발생하고, 발생한 에너지를 빛으로 방출하여 발광한다.

[0007] 정공과 전자를 발광물질층(EML)으로 주입, 전달할 수 있도록, 각각의 층은 적절한 밴드갭 에너지를 가지는 재료로 이루어져야 한다. 일례로, 정공주입층(HIL)은 poly(3,4-ethylenedioxythiophene) polystyrene sulfonate(PEDOT:PSS)로 이루어지고, 정공수송층(HTL)은 poly(4-butylphenyl-diphenyl-amine)(Poly-TPD)로 이루어지며, 전자수송층(ETL)은 ZnO로 이루어질 수 있으며, 전자주입층(EIL)은 알루미늄으로 이루어질 수 있다.

[0008] 발광물질층(EML)은 나노 크기의 양자점(QD)으로 이루어지며, 예를 들어 용매에 양자점(QD)을 포함하는 용액을

이용한 공정을 통하여 정공수송층(HTL) 상에 도포된 뒤에, 용매를 휘발시킴으로써 발광물질층(EML)을 형성한다. 도 1에 도시한 바와 같이, 용매가 휘발되어 최종적으로 형성되는 발광물질층(EML)은 나노 크기의 양자점(QD)만으로 이루어지기 때문에, 이에 인접하게 위치하는 층, 예를 들어 정공수송층(HTL) 및 전자수송층(ETL) 사이의 계면이 매끄럽게 형성되지 못하고 거친 단면 형태를 가지게 된다. 발광층 사이의 계면이 거칠어지면서 발광다이오드(10)의 전체적인 모폴로지(morphology) 특성이 저하되고, 발광다이오드(10) 전 영역에 걸쳐서 정공과 전자가 균일하게 발광물질층(EML)으로 주입되지 못한다.

[0009] 또한, 도 2에 도시한 바와 같이, 정공수송층(HTL)을 구성하는 정공 수송 재료의 최고준위점유분자궤도(Highest Occupied Molecular Orbital; HOMO) 에너지 준위에 비하여, 발광물질층(EML)을 구성하는 양자점 등의 무기 발광 재료의 HOMO 에너지 준위에 대응되는 가전자대 에너지 준위가 매우 낮다(deep). 또한, 유기 발광 재료의 최저준위비점유분자궤도(Lowest Unoccupied Molecular orbital; LUMO) 에너지 준위에 비하여, 발광물질층(EML)을 구성하는 무기 발광 재료의 LUMO 에너지 준위에 대응되는 전도대 에너지 준위는 높다(high). 따라서 정공수송층(HTL)에서 발광물질층(EML)으로 정공이 수송될 때와, 전자수송층(ETL)에서 발광물질층(EML)으로 전자가 수송될 때, 발광물질층(EML)을 구성하는 발광 재료의 에너지 준위와 인접한 전하수송층 사이의 에너지 준위의 차이에 기인하는 에너지 장벽이 형성된다.

[0010] 하지만, 전자수송층(ETL)의 LUMO 에너지 준위와 발광물질층(EML)의 LUMO 에너지 준위의 차이(ΔG_L)에 비하여, 정공수송층(HTL)의 HOMO 에너지 준위와 발광물질층(EML)의 HOMO 에너지 준위의 차이(ΔG_H)가 훨씬 크다($\Delta G_H > \Delta G_L$). 일례로, 정공수송층(HTL)에 사용되는 poly-TPD 등의 정공 수송 재료의 HOMO 에너지 준위는 대략 -5.0 eV 전후인 반면, 무기 발광 재료를 구성하는 쉘의 HOMO 에너지 준위에 대응되는 가전자대 에너지 준위는 대략 -7.0 eV이다. 따라서 발광물질층(EML)으로의 전자의 이동 및 주입에 비하여, 발광물질층(EML)으로의 정공의 이동 및 주입이 지연되기 때문에, 발광물질층(EML)으로 양전하인 정공과 음전하인 전자가 균형 있게 주입될 수 없다.

[0011] 발광다이오드(10)의 전체적인 모폴로지 특성의 저하에 기인하여 정공과 전자가 발광물질층(EML) 전 영역에 걸쳐 균일하게 주입되지 못하기 때문에 정공과 전자가 발광하지 못하고 소실된다. 또한, 에너지 장벽 차이에 기인하여 정공에 비하여 전자가 과도하게 발광물질층(EML)으로 주입되면서, 과도하게 주입된 전자의 상당 부분은 정공과 재결합하여 엑시톤을 형성하지 못하고 소멸된다. 또한, 정공에 비하여 전자가 신속하게 발광물질층(EML)으로 주입됨에 따라, 정공과 전자가 발광물질층(EML)을 구성하는 발광 재료에서 재결합되지 못하고, 발광물질층(EML)과 정공수송층(HTL)의 계면에서 재결합된다. 이에 따라, 발광다이오드의 발광 효율이 저하될 뿐만 아니라, 원하는 발광을 구현하기 위해서 높은 구동 전압이 요구되어 소비 전력을 증가시키는 원인이 되고 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0012] 본 발명의 목적은 발광물질층으로의 정공 이동 속도를 향상시킴으로써, 정공과 전자와 같은 전하가 발광물질층으로 균형 있게 주입될 수 있는 유기 화합물과, 이를 이용한 발광다이오드 및 발광장치를 제공하고자 하는 것이다.

[0013] 본 발명의 다른 목적은 용액 공정이 가능하면서 매트릭스로 기능하는 유기 화합물과, 이러한 유기 화합물을 적용하여 전체적인 모폴로지 특성이 우수하며, 전 영역에 걸쳐서 전하가 균일하게 주입될 수 있는 발광다이오드 및 발광장치를 제공하고자 하는 것이다.

[0014] 본 발명의 다른 목적은 발광 효율이 향상되고, 저-전압 구동을 구현할 수 있는 유기 화합물과, 이를 이용한 발광다이오드 및 발광장치를 제공하고자 하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0015] 본 발명의 일 측면에 따르면, 본 발명은 정공 이동 특성이 우수한 3개의 방향족 고리로 치환된 아민 모이어티를 코어로 가지며, 3개의 방향족 고리 중에서 일부는 용액 공정이 가능한 작용기로 치환되어 있으며, 다른 방향족 고리는 적어도 2개의 헤테로 원자를 가지는 축합 헤테로 방향족 작용기로 치환된 유기 화합물을 제공한다.

[0016] 본 발명의 다른 측면에서, 본 발명은 상기 유기 화합물이 발광층에 사용된 발광다이오드를 제공한다.

[0017] 예시적인 실시형태에서, 상기 유기 화합물은 발광물질층의 호스트로 사용될 수 있다.

[0018] 본 발명의 다른 측면에 따르면, 본 발명은 기관과, 기관 상부에 위치하는 전술한 발광다이오드와, 상기 기관과 상기 발광다이오드 사이에 위치하며 상기 발광다이오드에 연결되는 구동 소자를 포함하는 발광장치, 일례로 발광표시장치를 제공한다.

발명의 효과

[0019] 본 발명의 유기 화합물은 3개의 방향족 고리로 치환되어 있는 아민 코어 모이어티와, 3개의 방향족 고리의 일부에 연결된 용액 공정이 가능한 작용기 모이어티와, 3개의 방향족 고리의 다른 일부에 연결된 축합 헤테로 방향족 작용기 모이어티로 이루어진다.

[0020] 3개의 방향족 고리로 치환된 아민 코어 모이어티에 기인하여 정공 이동 특성이 우수할 뿐만 아니라, 축합 헤테로 방향족 작용기 모이어티를 가지고 있어서 높은 삼중항 에너지 준위(E_T)를 가지면서, 열 안정성이 우수하고, 전자 이동 특성이 또한 우수하며, 용액 공정이 가능하다.

[0021] 즉, 본 발명에 따른 유기 화합물은 정공 및 전자 모두에 대한 이동 및 결합 특성이 우수한 양쪽성(bipolar) 화합물로서 발광다이오드의 발광층에 적용할 수 있다.

[0022] 특히, 양자점 및 양자 막대와 같은 무기 발광 재료와 함께 병용하는 경우, 무기 발광 재료를 균일하게 분산시키는 매트릭스로 활용되어, 인접한 발광층과의 계면이 매끄럽게 형성되도록 유도할 수 있다. 이에 따라, 발광다이오드가 원하는 형상을 가지게 되면서 모폴로지 특성을 개선할 수 있다.

[0023] 또한, 본 발명에 따른 유기 화합물은 상대적으로 높은 HOMO 에너지 준위를 가지고 있다. 따라서 본 발명에 따른 유기 화합물과, 매우 낮은(deep) 가전자대 에너지 준위를 가지는 무기 발광 재료와 함께 병용하여 발광물질층에 사용하게 되면, 발광물질층과 정공수송층 사이의 HOMO 에너지 준위의 차이를 줄일 수 있다.

[0024] 본 발명에 따른 유기 화합물을 발광층에 적용하여 발광물질층으로 정공과 전자가 균형 있게 주입되어, 정공과 전자가 소실되지 않고 유효하게 엑시톤을 형성하여 발광에 기여할 수 있다. 이에 따라 발광 효율이 향상되고, 저-전압 구동이 가능하여 소비 전력을 감소시킬 수 있는 발광다이오드 및 발광장치를 구현, 제작할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0025] 도 1은 종래 발광다이오드를 개략적으로 도시한 단면도이다.

도 2는 종래의 발광다이오드를 구성하는 전극과 전극 사이에 위치하는 발광층을 구성하는 재료들의 에너지 준위를 개략적으로 나타낸 다이어그램이다.

도 3은 본 발명의 예시적인 제 1 실시형태에 따라, 정상 구조(normal structure)를 가지는 발광다이오드를 개략적으로 도시한 단면도이다.

도 4는 본 발명의 예시적인 제 1 실시형태에 따른 발광다이오드를 구성하는 전극과 발광층을 구성하는 재료들의 에너지 준위를 개략적으로 나타낸 다이어그램이다.

도 5는 본 발명의 예시적인 제 2 실시형태에 따라, 반전 구조(inverted structure)를 가지는 발광다이오드를 개략적으로 도시한 단면도이다.

도 6은 본 발명의 예시적인 제 2 실시형태에 따른 발광다이오드를 구성하는 전극과 발광층을 구성하는 재료들의 에너지 준위를 개략적으로 나타낸 다이어그램이다.

도 7은 본 발명의 예시적인 실시형태에 따른 발광다이오드가 적용된 발광장치의 일례로서, 발광다이오드 표시장치를 개략적으로 도시한 단면도이다.

도 8은 본 발명의 예시적인 실시예에 따라 합성된 유기 화합물이 발광층에 적용된 발광다이오드의 전압-전류밀도를 측정된 결과를 나타낸 그래프이다.

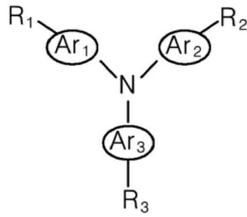
도 9는 본 발명의 예시적인 실시예에 따라 합성된 유기 화합물이 발광층에 적용된 발광다이오드의 전압-휘도를 측정된 결과를 나타낸 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0026] 이하, 필요한 경우에 첨부하는 도면을 참조하면서 본 발명을 설명한다.

[0027] 발광다이오드에서 전하 수송 재료로 사용되는 화합물은 전하 이동도가 우수할 필요가 있으며, 발광물질층으로 전하를 균형 있게 주입할 수 있어야 한다. 본 발명의 일 측면에 따른 유기 화합물은 이러한 특성을 충족시킬 수 있는데, 하기 화학식 1로 표시될 수 있다.

[0028] 화학식 1



[0029]

[0030] (화학식 1에서 R₁과 R₂는 각각 독립적으로 치환되지 않거나 치환된 C₁-C₂₀ 직쇄 또는 측쇄 알킬기, 치환되지 않거나 치환된 C₂-C₂₀ 직쇄 또는 측쇄 알케닐기 및 치환되지 않거나 치환된 C₁-C₂₀ 알콕시기로 구성되는 군에서 선택됨; R₃은 2개 이상의 헤테로 원자를 가지는 C₈-C₃₀ 축합 헤테로 아릴기, 2개 이상의 헤테로 원자를 가지는 C₈-C₃₀ 축합 헤테로 아랄킬기, 2개 이상의 헤테로 원자를 가지는 C₈-C₃₀ 축합 헤테로 아릴옥시기 및 2개 이상의 헤테로 원자를 가지는 C₈-C₃₀ 축합 헤테로 아릴 아민기로 구성되는 군에서 선택됨; Ar₁ 내지 Ar₃은 각각 독립적으로 치환되지 않거나 치환된 C₅-C₃₀ 호모 아릴기, 치환되지 않거나 치환된 C₄-C₃₀ 헤테로 아릴기, 치환되지 않거나 치환된 C₅-C₃₀ 호모 아랄킬기, 치환되지 않거나 치환된 C₄-C₃₀ 헤테로 아랄킬기, 치환되지 않거나 치환된 C₅-C₃₀ 호모 아랄옥시기 및 치환되지 않거나 치환된 C₄-C₃₀ 헤테로 아랄옥시기로 구성되는 군에서 선택됨)

[0031] 본 명세서에서 '치환되지 않은' 또는 '치환되지 않거나'란, 수소 원자가 치환된 것을 의미하며, 이 경우 수소 원자는 경수소, 중수소 및 삼중수소가 포함된다.

[0032] 본 명세서에서 '치환된'에서 치환기는 예를 들어, 치환되지 않거나 할로젠 원자, 시아노기 및/또는 니트로기로 치환된 C₁-C₂₀ 알킬기, 치환되지 않거나 할로젠 원자, 시아노기 및/또는 니트로기로 치환된 C₁-C₂₀ 알콕시기, 할로젠 원자, 시아노기, -CF₃와 같은 알킬할라이드기, 치환되지 않거나 할로젠 원자, 시아노기 및/또는 니트로기로 각각 치환된 하이드록시기, 카르복시기, 카르보닐기, 아민기, C₁-C₁₀ 알킬치환 아민기, C₅-C₃₀ 아릴치환 아민기, C₄-C₃₀ 헤테로아릴치환 아민기, 니트로기, 하이드라질기(hydrazyl group), 술폰산기, C₁-C₂₀ 알킬 실릴기, C₁-C₂₀ 알콕시 실릴기, C₃-C₃₀ 사이클로알킬 실릴기, C₅-C₃₀ 아릴 실릴기, C₄-C₃₀ 헤테로아릴 실릴기, C₅-C₃₀ 아릴기, C₄-C₃₀ 헤테로 아릴기, C₅-C₃₀ 호모 아랄킬기, C₄-C₃₀ 헤테로 아랄킬기, C₅-C₃₀ 호모 아랄콕시기 또는 C₄-C₃₀ 헤테로 아랄콕시기 등을 들 수 있지만, 본 발명이 이에 한정되는 것은 아니다.

[0033] 본 명세서에서 '헤테로 방향족 고리', '헤테로 사이클로알킬렌기', '헤테로 아릴기', '헤테로 아랄킬기', '헤테로 아랄옥시기', '헤테로 아릴 아민기' 등에서 사용된 용어 '헤테로'는 이들 방향족 또는 지환족(alicyclic) 고리를 구성하는 탄소 원자 중 1개 이상, 예를 들어 1 내지 5개의 탄소 원자가 N, O, S 및 이들의 조합으로 구성되는 군에서 선택된 하나 이상의 헤테로 원자로 치환된 것을 의미한다.

[0034] 화학식 1에 나타낸 바와 같이, 본 발명에 따른 유기 화합물은 3개의 방향족 작용기로 연결된 아민 코어 모이어티를 가지고 있기 때문에, 정공과 쉽게 결합하면서 정공을 전달하는 정공 이동 특성이 우수하다. 또한, R₁ 및/또는 R₂ 작용기는 soluble 모이어티로서, 이로 인하여 본 발명에 따른 유기 화합물은 용액 공정을 통하여 적층될 수 있는 이점을 갖는다.

[0035] 하나의 예시적인 실시형태에서, 화학식 1의 R₃은 2개 이상의 질소 원자를 가지는 치환되거나 치환되지 않은 C₈-C₃₀ 축합 헤테로 아릴기, 치환되거나 치환되지 않은 C₈-C₃₀ 축합 헤테로 아랄킬기, 치환되거나 치환되지 않은 C₈-C₃₀ 축합 헤테로 아릴옥시기 또는 치환되거나 치환되지 않은 C₈-C₃₀ 축합 헤테로 아릴 아민기일 수 있다. 보다 구체적으로, 화학식 1에서 R₃은 치환되지 않거나 치환된 인돌일기, 프탈라지닐기, 퀴녹살리닐기, 시놀리닐기, 퀴나졸리닐기, 벤조인돌일기, 벤조프탈라지닐기, 벤조퀴녹살리닐기, 벤조시놀리닐기, 벤조퀴나졸리닐기, 벤조아제피닐기, 디벤조인돌일기, 디벤조프탈라지닐기, 디벤조퀴녹살리닐기, 디벤조시놀리닐기, 디벤조퀴나졸리닐기, 디

벤조아제피닐기, 인돌로피리디닐기, 인돌로카바졸일기, 카볼릴기 및 페난트롤리닐기 등으로 구성되는 군에서 선택될 수 있지만, 본 발명이 이에 한정되는 것은 아니다. 이와 같이, R_3 가 2개 이상의 질소 원자를 포함하는 축합 헤테로 방향족 치환기인 경우, R_3 로 표시되는 모이어티로 인하여 전자와 결합하여 전자를 전달하는 전자 이동 특성을 갖는다. 이 경우, 본 발명에 따른 유기 화합물은 정공 이동 특성 및 전자 이동 특성을 모두 가지는 양극성(bipolar) 화합물일 수 있다.

[0036] 한편, 하나의 비-제한적인 실시형태에서, 화학식 1에서 Ar_1 내지 Ar_3 는 각각 독립적으로 치환되지 않거나 치환된 페닐기, 바이페닐기, 터페닐기, 테트라페닐기, 나프틸기, 안트라세닐기, 인데닐기, 페날레닐기, 페난트레닐기, 아줄레닐기, 콰이레닐기, 플루오레닐기, 테트라세닐기, 인다세닐기 또는 스파이로 플루오레닐기와 같은 축합되지 않거나 축합된(fused) 호모 방향족 고리, 및/또는 피롤릴기, 피리디닐기, 피리미디닐기, 피라지닐기, 피리다지닐기, 트리아지닐기, 테트라지닐기, 이미다졸일기, 피라졸일기, 인돌일기, 카바졸일기, 벤조카바졸일기, 디벤조카바졸일기, 인돌로카바졸일기, 인데노카바졸일기, 벤조퓨라노카바졸일기, 벤조티에노카바졸일기, 퀴놀리닐기, 이소퀴놀리닐기, 프탈라지닐기, 퀴녹살리닐기, 시놀리닐기, 퀴나졸리닐기, 프탈라지닐기, 퀴녹살리닐기, 시놀리닐기, 퀴나졸리닐기, 벤조퀴놀리닐기, 벤조이소퀴놀리닐기, 벤조퀴나졸리닐기, 벤조퀴녹살리닐기, 아크리디닐기, 페난트롤리닐기, 퓨라닐기, 콰이라닐기, 옥사지닐기, 옥사졸일기, 옥사디아졸일기, 트리아졸일기, 디옥시닐기, 벤조퓨라닐기, 디벤조퓨라닐기, 티오파이라닐기, 티아지닐기, 티오펜닐기 또는 N-치환된 스파이로 플루오레닐기와 같은 축합되지 않거나 축합된 헤테로 방향족 고리일 수 있다.

[0037] 예를 들어, 화학식 1에서 Ar_1 내지 Ar_3 는 R_1 내지 R_3 이외에도, 불소와 같은 할로젠 원자, 니트로기 및/또는 시아노기 중에서 선택되는 하나 이상의 작용기로 치환된 페닐기, 바이페닐기, 터페닐기, 나프틸기, 안트라세닐기, 플루오레닐기 또는 스파이로플루오레닐기와 같은 호모 아릴기 및/또는 불소와 같은 할로젠 원자, 니트로기 및/또는 시아노기 중에서 선택되는 하나 이상의 작용기로 치환된 벤조티오펜일기, 디벤조티오펜일기, 벤조퓨라닐기, 디벤조퓨라닐기, 피롤릴기, 피리디닐기, 피리미디닐기, 피라지닐기, 피리다지닐기, 트리아지닐기, 테트라지닐기, 이미다졸일기, 피라졸일기, 인돌일기, 카바졸일기, 벤조카바졸일기, 디벤조카바졸일기, 인돌로카바졸일기, 인데노카바졸일기, 벤조퓨라노카바졸일기, 벤조티에노카바졸일기, 퀴놀리닐기, 이소퀴놀리닐기, 프탈라지닐기, 퀴녹살리닐기, 시놀리닐기, 퀴나졸리닐기, 프탈라지닐기, 퀴녹살리닐기, 시놀리닐기, 퀴나졸리닐기, 벤조퀴놀리닐기, 벤조이소퀴놀리닐기, 벤조퀴나졸리닐기 또는 벤조퀴녹살리닐기와 같은 헤테로 아릴기일 수 있다.

[0038] 이때, Ar_1 내지 Ar_3 를 구성하는 방향족 고리의 개수가 많아지면, 전체 유기 화합물에서 공액화(conjugated) 구조가 지나치게 길어져서, 유기 화합물의 밴드갭이 지나치게 줄어들 수 있다. 따라서 바람직하게는 Ar_1 내지 Ar_3 를 구성하는 방향족 고리의 개수는 1 내지 2개, 더욱 바람직하게는 1개이다. 또한 정공의 주입 및 이동 특성과 관련하여, Ar_1 내지 Ar_3 는 각각 5-원자 고리(5-membered ring) 내지 7-원자 고리(7-membered ring)일 수 있으며, 특히 6-원자 고리(6-membered ring)인 것이 바람직할 수 있다. 예를 들어, Ar_1 내지 Ar_3 는 각각 독립적으로 치환되거나 치환되지 않은 페닐기, 바이페닐기, 나프틸기, 바이페닐기, 피롤기, 이미다졸기, 피라졸기, 피리디닐기, 피라지닐기, 피리미디닐기, 피리다지닐기, 퓨라닐기 또는 티오펜닐기일 수 있다.

[0039] 화학식 1로 표시되는 유기 화합물은 3개의 방향족 작용기로 치환된 아민 코어 모이어티를 가지고 있으며, 3개의 방향족 작용기 중 일부는 soluble 특성을 가지는 작용기이고, 다른 일부는 축합 헤테로 방향족 작용기로 치환되어 있다. 따라서 화학식 1로 표시되는 유기 화합물은 전하 이동 특성이 우수할 뿐만 아니라, 높은 열 안정성과 삼중항 에너지 준위(E_T)를 가지면서 용액 공정이 가능하다.

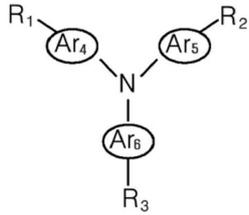
[0040] 또한, 상대적으로 높은 HOMO 에너지 준위를 가지고 있기 때문에, 낮은 HOMO 에너지 준위(가전자대 에너지 준위)를 가지는 무기 발광 재료와 병용하여 발광물질층을 형성할 때, 발광물질층의 HOMO 에너지 준위를 높여서, 특히 정공이동층과 발광물질층 사이의 HOMO 에너지 밴드갭을 줄일 수 있다. 아울러, 무기 발광 재료와 함께 용액 공정을 적용할 때, 화학식 1의 유기 화합물은 무기 발광 재료를 분산시키는 매트릭스로 기능할 수 있다. 발광물질층과 이에 인접한 층 사이의 계면이 매끄러운 단면을 가지게 되어, 발광다이오드의 모폴로지 특성이 향상될 수 있다.

[0041] 발광물질층과 정공이동층 사이의 HOMO 에너지 밴드갭이 감소하고, 발광다이오드의 모폴로지 특성이 향상되면서, 발광물질층으로 정공과 전자가 전체 영역에 걸쳐서 균형 있게 주입될 수 있다. 화학식 1의 유기 화합물을 발광다이오드에 적용할 경우, 양극과 음극에서 각각 주입된 정공과 전자는 소실되지 않고 발광물질층으로 주입되어

유효한 엑시톤을 형성할 수 있으며, 발광물질층과 인접한 전하이동층의 계면이 아니라 발광 재료가 위치하는 영역에서 발광을 구현할 수 있다. 따라서, 화학식 1의 유기 화합물을 사용하여, 발광 효율이 향상되고 저-전압 구동이 가능한 발광다이오드를 제작할 수 있다.

[0042] 하나의 예시적인 실시형태에 따르면, 상기 화학식 1로 표시되는 유기 화합물에서 아민과 결합하는 방향족 연결기는 페닐기 또는 나프틸기일 수 있다. 이러한 유기 화합물은 정공 이동 특성이 크게 향상되는 이점을 갖게 된다. 일례로, 화학식 1로 표시되는 유기 화합물은 하기 화학식 2로 표시되는 유기 화합물을 포함할 수 있다.

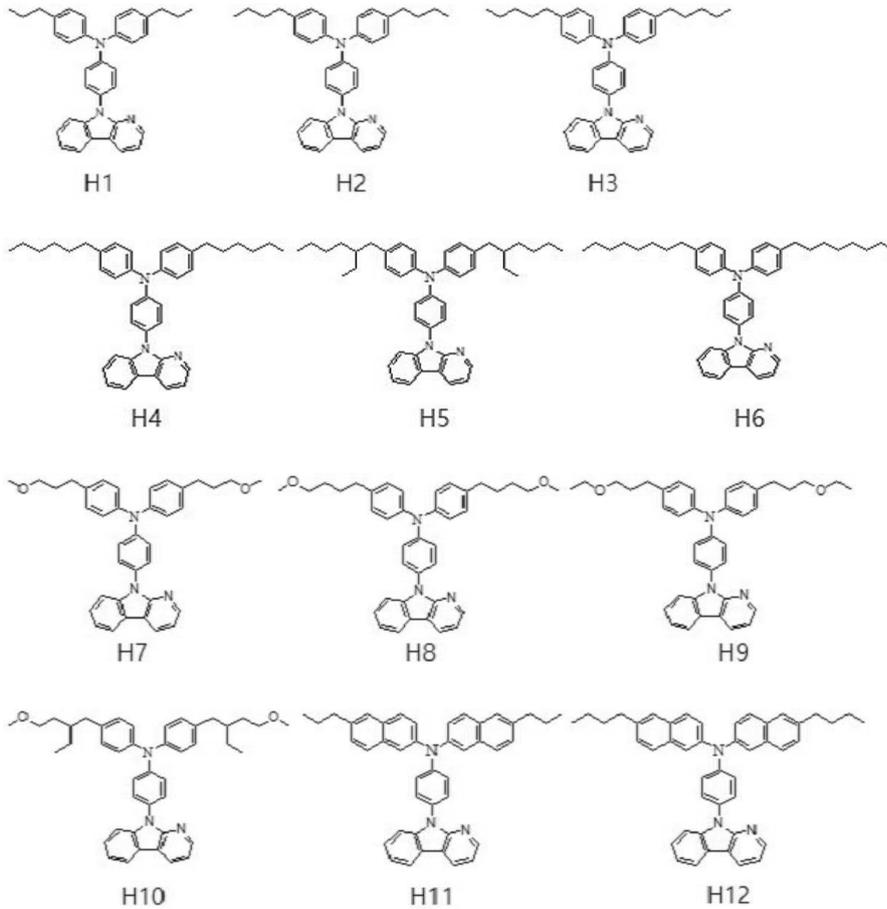
[0043] 화학식 2



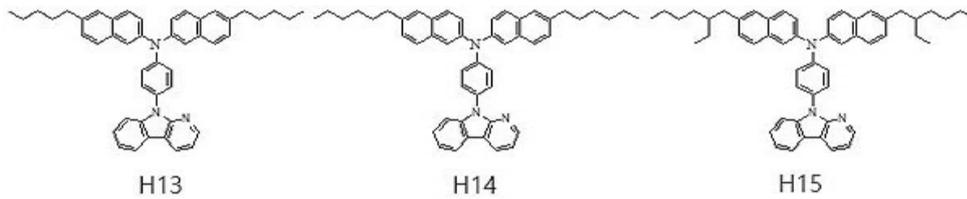
[0044] (화학식 1에서 R₁ 내지 R₃는 각각 화학식 1에서 정의된 것과 동일함; Ar₄ 내지 Ar₆는 각각 독립적으로 페닐기 또는 나프틸기임)

[0046] 보다 구체적으로 살펴보면, 발광다이오드의 정공이동층에 사용될 수 있는 유기 화합물은 하기 화학식 3으로 표시되는 어느 하나의 유기 화합물을 포함할 수 있다.

[0047] 화학식 3



[0051]



[0052]

[0053]

화학식 2 또는 화학식 3으로 표시되는 유기 화합물은 정공 이동 특성이 우수한 페닐기 또는 나프틸기로 치환된 아민 코어 모이어티를 가지고, soluble 특성을 가지는 모이어티와, 전자 이동 특성이 우수한 축합 헥테로 방향족 모이어티를 가지고 있다. 화학식 2 또는 화학식 3으로 표시되는 유기 화합물을 발광다이오드의 발광층, 예를 들어 발광물질층에 적용하여 발광다이오드의 모폴로지 특성을 개선하고, 발광물질층과 인접한 정공이동층 사이의 HOMO 에너지 밴드갭을 줄일 수 있다. 이에 따라, 발광 효율이 우수하고 낮은 전압에서 구동할 수 있는 발광다이오드를 구현할 수 있다.

[0054]

계속해서, 본 발명에 따른 유기 화합물을 포함하는 발광다이오드에 대해서 설명한다. 도 3은 본 발명의 예시적인 제 1 실시형태에 따라, 정상 구조(normal structure)를 가지는 발광다이오드를 개략적으로 도시한 단면도이고, 도 4는 본 발명의 예시적인 제 1 실시형태에 따른 발광다이오드를 구성하는 전극과 발광층을 구성하는 재료들의 밴드갭 에너지를 개략적으로 나타낸 다이어그램이다.

[0055]

도 3에 도시한 바와 같이, 본 발명의 예시적인 실시형태에 따른 발광다이오드(100)는 제 1 전극(110)과, 제 1 전극과 마주하는 제 2 전극(120)과, 제 1 전극(110)과 제 2 전극(120) 사이에 위치하며, 발광물질층(Emitting material layer; EML, 150)을 포함하는 발광층(130)을 포함한다. 일례로, 발광층(130)은 제 1 전극(110)과 발광물질층(150) 사이에 위치하는 제 1 전하이동층(140)과, 발광물질층(150)과 제 2 전극(120) 사이에 위치하는 제 2 전하이동층(160)을 더욱 포함할 수 있다.

[0056]

본 발명의 제 1 실시형태에서, 제 1 전극(110)은 정공 주입 전극과 같은 양극(anode)일 수 있다. 제 1 전극(110)은 유리 또는 고분자일 수 있는 기판(도 2에 미도시) 상에 형성될 수 있다. 일례로, 제 1 전극(110)은 인듐-주석-산화물(indium-tin-oxide; ITO), 인듐-아연-산화물(indium-zinc-oxide; IZO), 인듐-주석-아연-산화물(indium-tin-zinc oxide; ITZO), 인듐-구리-산화물(indium-copper-oxide; ICO), 주석산화물(SnO₂), 인듐산화물(In₂O₃), 카드뮴:산화아연(Cd:ZnO), 불소:산화주석(F:SnO₂), 인듐:산화주석(In:SnO₂), 갈륨:산화주석(Ga:SnO₂) 및 알루미늄:산화아연(Al:ZnO; AZO)을 포함하는 도핑되거나 도핑되지 않은 금속 산화물일 수 있다. 선택적으로, 제 1 전극(110)은 전술한 금속 산화물 이외에도 니켈(Ni), 백금(Pt), 금(Au), 은(Ag), 이리듐(Ir) 또는 탄소나노튜브(Carbon nanotube, CNT)를 포함하는 금속 소재 또는 비금속 소재로 이루어질 수 있다.

[0057]

본 발명의 제 1 실시형태에서, 제 2 전극(120)은 전자 주입 전극과 같은 음극(cathode)일 수 있다. 일례로 제 2 전극(120)은 Ca, Ba, Ca/Al, LiF/Ca, LiF/Al, BaF₂/Al, CsF/Al, CaCO₃/Al, BaF₂/Ca/Al, Al, Mg, Au:Mg 또는 Ag:Mg로 이루어질 수 있다. 예를 들어, 제 1 전극(110)과 제 2 전극(120)은 30 내지 300 nm의 두께로 적층될 수 있다.

[0058]

하나의 예시적인 실시형태에서, 하부 발광 타입의 발광다이오드인 경우에, 제 1 전극(110)은 ITO, IZO, ITZO, AZO와 같은 투명 도전성 금속으로 이루어질 수 있으며, 제 2 전극(120)은 Ca, Ba, Ca/Al, LiF/Ca, LiF/Al, BaF₂/Al, Al, Mg, Ag:Mg 합금 등을 사용할 수 있다.

[0059]

발광층(130)을 구성할 수 있는 제 1 전하이동층(140)은 제 1 전극(110)과 발광물질층(150) 사이에 위치한다. 본 발명의 제 1 실시형태에서, 제 1 전하이동층(140)은 발광물질층(150)으로 정공을 공급하는 정공이동층일 수 있다. 일례로, 제 1 전하이동층(140)은 제 1 전극(110)과 발광물질층(150) 사이에서 제 1 전극(110)에 인접하게 위치하는 정공주입층(hole injection layer; HIL, 142)과, 제 1 전극(110)과 발광물질층(150) 사이에서 발광물질층(150)에 인접하게 위치하는 정공수송층(hole transport layer; HTL, 144)을 포함한다.

[0060]

정공주입층(142)은 제 1 전극(110)에서 발광물질층(150)으로 정공의 주입을 용이하게 한다. 일례로, 정공주입층(142)은 폴리(에틸렌디옥시티오펜):폴리스티렌술포네이트(poly(ethylenedioxythiophene):polystyrenesulfonate; PEDOT:PSS), 테트라플루오로-테트라시아노-퀴노디메탄(tetrafluoro-tetracyano-quinodimethane; F4-TCNQ)이 도핑된 4,4',4"-트리스(디페닐아미노)트리페닐아민(4,4',4"-tris(diphenylamino)triphenylamine; TDATA); 예를 들어 F4-TCNQ가 도핑된 아연 프탈로시아닌(zinc

phthalocyanine; ZnPc)과 같은 p-도핑된 프탈로시아닌, F4-TCNQ가 도핑된 N,N'-디페닐-N,N'-비스(1-나프틸)-1,1'-바이페닐-4,4"-디아민(N,N'-diphenyl-N,N'-bis(1-naphtyl)-1,1'-biphenyl-4,4"-diamine; α -NPD), 헥사아자트리페닐렌-헥사니트릴(hexaazatriphenylene-hexanitride; HAT-CN) 및 이들의 조합으로 구성되는 군에서 선택되는 유기물로 이루어질 수 있지만, 본 발명이 이에 한정되지 않는다. 일례로 F4-TCNQ와 같은 도펀트는 호스트에 대하여 1 내지 30 중량%의 비율로 도핑될 수 있다.

[0061] 다른 예시적인 실시형태에서, 정공주입층(142)은 화학식 1 내지 화학식 3으로 표시되는 유기 화합물로 이루어질 수도 있다. 정공주입층(142)은 발광다이오드(100)의 구조 및 형태에 따라 생략될 수 있다.

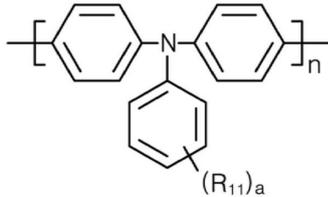
[0062] 정공수송층(144)은 제 1 전극(110)에서 발광물질층(150)으로 정공을 전달한다. 도면에서는 제 1 전하이동층(140)을 정공주입층(142)과 정공수송층(144)으로 구분하였으나, 제 1 전하이동층(140)은 단일층으로 이루어질 수도 있다. 예를 들어, 정공주입층(142)이 생략되고 제 1 전하이동층(140)은 정공수송층(144)만으로 이루어질 수도 있다.

[0063] 정공수송층(144)은 제 1 전극(110)에서 발광물질층(150)으로 정공을 전달한다. 정공수송층(144)은 무기물 또는 유기물로 이루어질 수 있다. 일례로, 정공수송층(144)이 유기물로 이루어지는 경우, 정공수송층(144)은 4,4'-N,N'-디카바졸릴-바이페닐(4,4'-N,N'-dicarbazolyl-biphenyl; CBP), N,N'-디페닐-N,N'-비스(1-나프틸)-1,1'-바이페닐-4,4"-디아민(N,N'-diphenyl-N,N'-bis(1-naphtyl)-1,1'-biphenyl-4,4"-diamine; α -NPD), N,N'-디페닐-N,N'-비스(3-메틸페닐)-(1,1'-바이페닐)-4,4"-디아민(N,N'-diphenyl-N,N'-bis(3-methylphenyl)-(1,1'-biphenyl)-4,4"-diamine; TPD), N,N'-비스(3-메틸페닐)-N,N'-비스(페닐)-스파이로(N,N'-bis(3-methylphenyl)-N,N'-bis(phenyl)-spiro; spiro-TPD), N,N'-디(4-(N,N'-디페닐-아미노)페닐)-N,N'-디페닐벤지딘(N,N'-di(4-(N,N'-diphenyl-amino)phenyl)-N,N'-diphenylbenzidine; DNTPD), 4,4',4"-트리스(N-카바졸릴-트리페닐아민(4,4',4"-tris(N-carbazolyl)-triphenylamine; TCTA)와 같은 아릴 아민류, 폴리아닐린(polyaniline), 폴리피롤(polypyrrole), 폴리(페닐렌비닐렌)(poly(phenylenevinylene)), 구리프탈로시아닌(copper phthalocyanine), 방향족 3차아민(aromatic tertiary amine) 또는 다핵방향족 3차아민(polynuclear aromatic tertiary amine), 4,4'-비스(p-카바졸릴)-1,1'-바이페닐화합물(4,4'-bis(p-carbazolyl)-1,1'-biphenyl compound), N,N,N',N'-테트라아릴벤지딘(N,N,N',N'-tetraarylbenzidine), PEDOT:PSS 및 그 유도체, 폴리-N-비닐카바졸(Poly(N-vinylcarbazole); PVK) 및 그 유도체, 폴리[2-메톡시-5-(2-에틸헥실옥시)-1,4-페닐렌비닐렌](poly[2-methoxy-5-(2-ethylhexyloxy)-1,4-phenylenevinylene]; MEH-PPV)이나 폴리[2-메톡시-5-(3',7'-디메틸옥틸옥시)1,4-페닐렌비닐렌](poly[2-methoxy-5-(3',7'-dimethyloctyloxy)-1,4-phenylenevinylene]; MOMO-PPV)와 같은 폴리(파라)페닐렌비닐렌 및 그유도체(polyphenylenevinylenderivatves), 폴리메타크릴레이트 및 그 유도체, 폴리(9,9-옥틸플루오렌) (poly(9,9-octylfluorene)) 및 그 유도체, 폴리(스파이로-플루오렌)(poly(spirofluorene)) 및 그 유도체, N,N'-디(나프탈렌-1-yl)-N,N'-디페닐-벤지딘(N,N'-di(naphthalene-1-yl)-N,N'-diphenyl-benzidine; NPB), 트리스(3-메틸페닐페닐아미노)-트리페닐아민 (tris(3-methylphenylphenylamino)-triphenylamine; m-MTDATA), 폴리(9,9'-디옥틸플루오렌-2,7-디일)-코-(4,4'-(N-(4-sec-butylphenyl)diphenylamine; TFB), 폴리(4-부틸페닐-디페닐아민)(Poly(4-butylphenyl-diphenyl amine); poly-TPD), 스파이로-NPB(spiro-NPB) 및 이들의 조합으로 구성되는 군에서 선택되는 유기물로 이루어질 수 있다.

[0064] 정공수송층(144)이 무기물로 이루어지는 경우, 정공수송층(144)은 NiO, MoO₃, Cr₂O₃, Bi₂O₃ 또는 p-형 ZnO와 같은 금속 산화물이나 티오시안구리(CuSCN), Mo₂S, p-형 GaN과 같은 비-산화 등가물 또는 이들의 조합으로 구성되는 군에서 선택되는 무기물로 이루어질 수 있다.

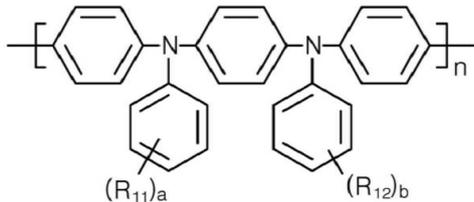
[0065] 하나의 예시적인 실시형태에서, 정공수송층(144)은 정공 이동도(hole mobility)가 우수한 트리아민 모이어티를 가지는 유기 재료를 사용할 수 있다. 일례로, 정공수송층(144)의 호스트는 하기 화학식 4 내지 화학식 6으로 표시되는 어느 하나의 유기 재료를 포함할 수 있다.

[0066] 화학식 4



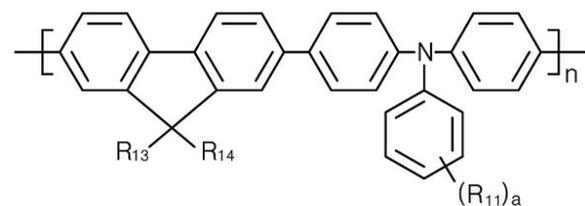
[0067]

[0068] 화학식 5



[0069]

[0070] 화학식 6



[0071]

[0072] (화학식 4 내지 화학식 6에서, R₁₁ 내지 R₁₄는 각각 독립적으로 치환되지 않거나 치환된 C₁-C₂₀ 직쇄 또는 측쇄의 알킬기, 치환되지 않거나 치환된 C₁-C₂₀ 알콕시기, 치환되지 않거나 치환된 C₅-C₃₀ 호모 아릴기 또는 치환되지 않거나 치환된 C₄-C₃₀ 헤테로 아릴기임; a와 b는 각각 1 내지 4의 정수임; n은 1 이상의 정수임)

[0073] 예시적인 실시형태에서, 화학식 4 내지 화학식 6에서 R₁₁ 내지 R₁₄는 각각 독립적으로 치환되지 않거나 치환된 C₁-C₂₀ 직쇄 또는 측쇄의 알킬기이다. 일례로, 화학식 4 내지 화학식 6으로 표시되는 유기 화합물은 폴리[N,N'-비스(4-부틸페닐)-N,N'-비스(페닐)벤지딘](Poly[N,N'-bis(4-butylphenyl)-N,N'-bis(phenyl)-benzidine]; poly-TPD, p-TPD), 폴리[(9,9-디옥틸플루오렌-2,7-디일)-코-(4,4'-(N-(4-sec-부틸페닐)디페닐아민))](poly[(9,9-dioctylfluorenyl-2,7-diyl)-co-(4,4'-(N-(4-sec-butylphenyl)diphenylamine))]; TFB), 폴리[(9,9-디옥틸플루오렌-2,7-디일)-코-(4,4'-(N-(p-부틸페닐)디페닐아민))](poly[(9,9-dioctylfluorenyl-2,7-diyl)-co-(4,4'-(N-(p-butylphenyl)diphenylamine))]; 폴리[비스(4-페닐)(2,4,6-트리메틸페닐)아민](poly[bis(4-phenyl)(2,4,6-trimethylphenyl)amine]; PTAA), N,N'-비스(3-메틸페닐)-N,N'-비스(페닐)벤지딘(N,N'-Bis(3-methylphenyl)-N,N'-bis(phenyl)benzidine; TPD), N,N'-비스(4-메틸페닐)-N,N'-비스(페닐)벤지딘(N,N'-Bis(4-methylphenyl)-N,N'-bis(phenyl)benzidine), N¹,N⁴-디페닐- N¹,N⁴-디-m-톨릴벤젠-1,4-디아민(N¹,N⁴-diphenyl- N¹,N⁴-di-m-tolylbenzene-1,4-diamine; TTP), N,N,N',N'-테트라(3-메틸페닐)-3,3'-디메틸벤지딘(N,N,N',N'-tetra(3-methylphenyl)3,3'-dimethylbenzidien; HMLTPD), 디-[4-(N,N'-디-p-톨릴-아미노)-페닐]사이클로헥산(di-[4-(N,N'-di-p-tolyl-amino)-phenyl]cyclohexane; TAPC), N₄,N₄'-비스(4-(6-((3-에틸록세-3-일)메톡시)헥실)페닐)-N₄,N₄'-디페닐바이페닐-4,4'-디아민(N₄,N₄'-Bis(4-(6-((3-ethyloxetan-3-yl)methoxy)hexyl)phenyl)-N₄,N₄'-diphenylbiphenyl-4,4'-diamine; OTPD), 4,4',4'-트리스(N,N-페닐-3-메틸페닐아미노)트리페닐아민(4,4',4' -tris(N,N-phenyl-3-methylphenylamino)triphenylamine) 등을 포함하지만,

[0075] 본 발명이 이에 한정되는 것은 아니다.

[0076] 다른 예시적인 실시형태에서, 정공수송층(144)은 상기 화학식 1 내지 화학식 3으로 표시되는 유기 화합물을 포함할 수 있다.

[0077] 일례로, 정공주입층(142) 및 정공수송층(144)을 포함하는 제 1 전하이동층(140)은 진공 기상 증착법, 스퍼터링법을 포함하는 진공 증착 공정이나, 스핀 코팅(spin coating), 드롭 코팅(drop coating), 딥 코팅(dip

coating), 스프레이 코팅(spray coating), 롤 코팅(roll coating), 플로 코팅(flow coating)은 물론이고, 캐스팅 공정, 스크린 인쇄 또는 잉크젯 프린팅 방식과 같은 용액 공정을 단독 또는 조합하여 사용할 수 있다. 예를 들어, 정공주입층(142)과 정공수송층(144)의 두께는 10 nm 내지 200 nm, 바람직하게는 10 nm 내지 100 nm일 수 있지만, 본 발명이 이에 제한되는 것은 아니다.

- [0078] 한편, 발광물질층(150)은 무기 발광 입자로 이루어질 수 있다. 발광물질층(150)이 무기 발광 입자로 이루어지는 경우, 무기 발광 입자는 양자점(quantum dot, QD) 또는 양자 막대(quantum rod, QR)와 같은 나노 무기 발광 입자로 이루어질 수 있다.
- [0079] 양자점 또는 양자 막대는 불안정한 상태의 전자가 전도대(conduction band)에서 가전자대(valence band)로 내려 오면서 발광하는 무기 입자이다. 이들 나노 무기 발광 입자는 흡광 계수(extinction coefficient)가 매우 크고 무기 입자 중에서는 양자 효율(quantum yield)도 우수하므로 강한 형광을 발생시킨다. 또한, 나노 무기 발광 입자의 크기에 따라 발광 파장이 변경되므로, 나노 무기 발광 입자의 크기를 조절하면 가시광선 전 영역대의 빛을 얻을 수 있으므로 다양한 컬러를 구현할 수 있다. 즉, 양자점 또는 양자 막대와 같은 나노 무기 발광 입자를 발광물질층(150)의 발광 재료로 사용하면, 개별 화소의 색순도를 높일 수 있을 뿐만 아니라, 높은 순도의 적색(R), 녹색(G), 청색(B) 발광으로 구성된 백색광을 구현할 수 있다.
- [0080] 하나의 예시적인 실시형태에서, 양자점 또는 양자 막대는 단일 구조를 가질 수도 있다. 다른 예시적인 실시형태에서, 양자점 또는 양자 막대는 코어(core)/셸(shell)의 이중 구조를 가질 수 있다. 이때, 셸은 하나의 셸로 이루어질 수도 있고, 다수의 셸(multi shells)로 이루어질 수도 있다.
- [0081] 코어 및/또는 셸을 구성하는 반응 전구체의 반응성과 주입 속도, 리간드의 종류 및 반응 온도 등에 따라 이들 나노 무기 발광 입자의 성장 정도, 결정 구조 등을 조절할 수 있으며, 이에 따라 에너지 밴드갭의 조절에 따른 다양한 파장대의 광 방출을 유도할 수 있다.
- [0082] 일례로, 양자점 또는 양자 막대는 중심에 빛을 방출하는 코어 성분과, 코어의 표면에 코어를 보호하기 위해 셸이 둘러싸고 있는 이종구조(heterologous structure)를 가질 수 있으며, 셸의 표면으로 양자점 또는 양자 막대를 용매에 분산시키기 위한 리간드 성분이 둘러쌀 수 있다. 예를 들어, 양자점 또는 양자 막대는 코어를 구성하는 성분의 에너지 밴드갭(energy bandgap)이 셸의 에너지 밴드갭에 의해 둘러싸인 구조로서, 전자와 정공이 코어를 향해 이동하여 코어 내에서 전자와 정공의 재결합이 이루어지면서 에너지를 빛으로 발산하는 발광체인 타입-코어/셸 구조를 가질 수 있다.
- [0083] 양자점 또는 양자 막대가 타입-I 코어/셸 구조를 이루는 경우, 코어는 실질적으로 발광이 일어나는 부분으로, 코어의 크기에 따라 양자점 또는 양자 막대의 발광 파장이 결정된다. 양자구속효과(quantum confine effect)를 받기 위해서 코어는 각각의 소재에 따라 엑시톤 보어 반경(exciton Bohr radius)보다 작은 크기를 가져야 하며, 해당 크기에서 광학적 밴드갭(optical band gap)을 가져야 한다.
- [0084] 한편, 양자점 또는 양자 막대를 구성하는 셸은 코어의 양자구속효과를 촉진하고 양자점 또는 양자 막대의 안정성을 결정한다. 단일 구조의 콜로이드 양자점 또는 양자 막대의 표면에 드러난 원자들은 내부 원자들과 달리 화학 결합에 참여하지 못한 전자상태(lone pair electron)를 가지고 있다. 이들 표면 원자들의 에너지 준위는 양자점 또는 양자 막대의 전도대(conduction band edge)와 가전자대(valence band edge) 사이에 위치하여 전하들을 트랩(trap)할 수 있어 표면 결함(surface defect)이 형성된다. 표면 결함에 기인하는 엑시톤의 비-발광 결합 과정(non-radiative recombination process)으로 인하여 양자점 또는 양자 막대의 발광 효율이 감소할 수 있으며, 트랩된 전하들이 외부 산소 및 화합물과 반응하여 양자점 또는 양자 막대의 화학적 조성의 변형을 야기하거나, 양자점 또는 양자 막대의 전기적/광학적 특성이 영구적으로 상실될 수 있다.
- [0085] 따라서 하나의 바람직한 실시형태에서, 양자점 또는 양자 막대는 코어/셸의 이종구조를 가질 수 있다. 코어 표면에 셸이 효율적으로 형성될 수 있기 위해서는, 셸을 구성하는 재료의 격자 상수(lattice constant)는 코어를 구성하는 재료의 격자 상수와 비슷하여야 한다. 코어의 표면을 셸로 에워싸으로써, 코어의 산화를 방지하여 양자점 또는 양자 막대의 화학적 안정성을 향상시키고, 코어 표면에서의 표면 트랩에 기인하는 엑시톤의 손실을 최소화하고, 분자 진동에 의한 에너지 손실을 방지하여, 양자 효율을 향상시킬 수 있다.
- [0086] 양자점 또는 양자 막대는 양자구속효과를 가지는 반도체 나노 결정 또는 금속산화물 입자일 수 있다. 예를 들어, 양자점 또는 양자 막대는 II-VI족, I-III-VI족 또는 III-V족의 나노 반도체 화합물을 포함할 수 있다. 보다 구체적으로, 양자점 또는 양자 막대를 구성하는 코어 및/또는 셸은 CdS, CdSe, CdTe, ZnS, ZnSe, ZnTe, HgS, HgTe 또는 이들의 조합과 같은 II-VI족 화합물 반도체 나노 결정; GaP, GaAs, GaSb, InP, InAs, InSb 또는 이

들의 조합과 같은 III-V족 화합물 반도체 나노 결정; PbS, PbSe, PbTe 또는 이들의 임의의 조합과 같은 IV-VI족 화합물 반도체 나노 결정; AgGaS₂, AgGaSe₂, AgGaTe₂, AgInS₂, CuInS₂, CuInSe₂, CuGaS₂, CuGaSe₂ 또는 이들의 조합과 같은 I-III-VI족 화합물 반도체 나노 결정; ZnO, TiO₂ 또는 이들의 조합과 같은 금속 산화물 나노 입자; CdSe/ZnSe, CdSe/ZnS, CdS/ZnSe, CdS/ZnS, ZnSe/ZnS, InP/ZnS ZnO/MgO 또는 이들의 임의의 조합과 같은 코어/셸 구조의 나노 결정일 수 있다. 반도체 나노 입자는 Eu, Er, Tb, Tm, Dy과 같은 희토류 원소 또는 이들의 임의의 조합으로 도핑(doping)되거나 도핑되지 않거나, 또는 Mn, Cu, Ag, Al과 같은 전이 금속 원소 또는 이들의 임의의 조합으로 도핑될 수 있다.

[0087] 예를 들어, 양자점 또는 양자 막대를 구성하는 코어는 ZnSe, ZnTe, CdSe, CdTe, InP, ZnCdS, Cu_xIn_{1-x}S, Cu_xIn_{1-x}Se, Ag_xIn_{1-x}S 및 이들의 조합으로 구성되는 군에서 선택될 수 있다. 또한, 양자점 또는 양자 막대를 구성하는 셸은 ZnS, GaP, CdS, ZnSe, CdS/ZnS, ZnSe/ZnS, ZnS/ZnSe/CdSe, GaP/ZnS, CdS/CdZnS/ZnS, ZnS/CdSZnS, Cd_xZn_{1-x}S 및 이들의 조합으로 구성되는 군에서 선택될 수 있다.

[0088] 한편, 양자점은 균질 합금(homogeneous alloy) 양자점 또는 경도 합금(gradient alloy) 양자점과 같은 합금 양자점(alloy QD; 일례로, CdS_xSe_{1-x}, CdSe_xTe_{1-x}, Zn_xCd_{1-x}Se)일 수도 있다.

[0089] 발광물질층(150)이 양자점 또는 양자 막대와 같은 무기 발광 입자로 이루어지는 경우, 용매에 양자점 또는 양자 막대를 포함하는 용액을 이용한 공정을 통하여 제 1 전하이동층(140), 예를 들어 정공수송층(144) 상에 도포된 뒤에, 용매를 휘발시킴으로써 발광물질층(150)을 형성한다.

[0090] 하나의 예시적인 실시형태에서, 발광물질층(150)은 440 nm, 530 nm, 620 nm의 PL 발광 특성을 가지는 나노 무기 발광 입자인 양자점 또는 양자 막대를 포함하여 백색 발광다이오드를 제작할 수 있다. 선택적으로, 발광물질층(150)은 적색, 녹색, 청색 중 어느 하나의 색을 가지는 발광 나노 입자인 양자점 또는 양자 막대를 포함하며, 그 중 어느 하나의 색으로 개별적으로 발광하도록 구현될 수 있다.

[0091] 화학식 1 내지 화학식 3으로 표시되는 유기 화합물의 밴드갭은 예를 들어 무기 발광 재료를 구성하는 코어의 밴드갭보다 넓다. 예시적인 실시형태에서, 화학식 1 내지 화학식 3으로 표시되는 유기 화합물은 발광물질층(EML, 150)의 호스트로 사용될 수 있으며, 진술한 무기 발광 재료는 발광물질층(EML)의 도펀트(또는 게스트)로 사용될 수 있다. 이에 따라 발광물질층(150)으로 정공과 전자가 전달되어 엑시톤을 형성하기 위한 에너지가 효율적으로 본 발명에 따른 유기 화합물로부터 무기 발광 재료로 전달될 수 있다. 예를 들어, 발광물질층(EML, 150)에서 화학식 1 내지 화학식 3으로 표시되는 유기 화합물과 무기 발광 재료는 대략 1:5 내지 5:1, 바람직하게는 1:3 내지 3:1, 더욱 바람직하게는 1:2 내지 2:1의 중량 비율로 병용하여 사용될 수 있지만, 본 발명이 이에 한정되지 않는다.

[0092] 이때, 화학식 1 내지 화학식 3으로 표시되는 유기 화합물은 용액 공정이 가능하다. 따라서, 하나의 예시적인 실시형태에서, 발광물질층(150)은 용매에 발광 나노 입자인 양자점 또는 양자 막대와 같은 무기 발광 재료와, 화학식 1 내지 화학식 3으로 표시되는 유기 화합물이 포함된 분산액을 코팅하는 용액 공정을 통하여 제 1 전하이동층(140) 상에 코팅하고, 용매를 휘발시켜 형성할 수 있다. 발광물질층(150)을 형성하는 방법으로서 스핀 코팅, 드롭 코팅, 딥 코팅, 스프레이 코팅, 롤 코팅, 플로 코팅은 물론이고, 캐스팅 공정, 스크린 인쇄 또는 잉크젯 프린팅 방식과 같은 용액 공정을 단독 또는 조합하여 적용될 수 있다.

[0093] 예시적으로, 화학식 1 내지 화학식 3으로 표시되는 유기 화합물은 무기 발광 재료를 분산시키는 매트릭스로 기능할 수 있다. 따라서 도 3에 도시한 바와 같이, 발광물질층(EML, 150)은 인접한 전하이동층, 예를 들어 정공수송층(144, HTL) 및 전자수송층(164, ETL)에 대하여 매끄러운 단면 형태를 가지면서 계면을 형성한다. 발광층(130)을 포함하여 발광다이오드(100)가 우수한 모폴로지 특성을 가지게 되어, 발광다이오드(100) 전체 영역으로 정공과 전자가 균일하게 주입될 수 있어서, 정공과 전자가 발광물질층(150)에서 효율적으로 엑시톤을 형성할 수 있다.

[0094] 또한, 화학식 1 내지 화학식 3으로 표시되는 유기 화합물은 무기 발광 재료에 비하여 높은 HOMO 에너지 준위를 가지고 있다. 따라서 도 4에 도시한 바와 같이, 화학식 1 내지 화학식 3으로 표시되는 유기 화합물과 무기 발광 재료를 병용한 발광물질층(EML)의 HOMO(또는 가전자대) 에너지 준위는, 무기 발광 재료만을 사용한 발광물질층의 가전자대 에너지 준위에 비하여 높다. 이에 따라, 정공수송층(HTL)의 HOMO 에너지 준위와 발광물질층(EML)의 HOMO 에너지 준위의 차이(ΔG_H)가 크게 감소하여 정공수송층(HTL)과 발광물질층(EML) 사이의 에너지 장벽을 제

거할 수 있다.

- [0095] 즉, 화학식 1 내지 화학식 3으로 표시되는 유기 화합물을 발광물질층(EML)에 적용함으로써, 정공수송층(HTL)의 HOMO 에너지 준위와 발광물질층(EML)의 HOMO 에너지 준위의 차이($\Delta G'_H$)는, 전자수송층(ETL)의 최저준위비점유 분자궤도(Lowest Unoccupied Molecular orbital; LUMO) 에너지 준위와 발광물질층(EML)의 LUMO 에너지 준위의 차이(ΔG_L)와 동일해지거나 큰 차이를 갖지 않는다.
- [0096] 이와 같이, 화학식 1 내지 화학식 3으로 표시되는 유기 화합물을 발광물질층에 사용함으로써, 정공과 전자가 발광물질층(EML)으로 균형 있게 주입되어 엑시톤을 형성하기 때문에, 엑시톤을 형성하지 못하고 소멸되는 전자가 감소하거나 없어진다. 또한 발광물질층(EML)과 인접한 전하이동층(HTL, ETL)의 계면이 아니라, 발광물질층(EML)에 주입된 발광 재료에서 발광이 효율적으로 일어날 수 있다. 따라서 발광다이오드(100)의 발광 효율을 극대화할 수 있으며, 저-전압에서 구동이 가능해지므로 소비 전력을 낮출 수 있다.
- [0097] 한편, 제 2 전하이동층(160)은 발광물질층(150)과 제 2 전극(120) 사이에 위치한다. 본 실시형태에서, 제 2 전하이동층(160)은 발광물질층(150)으로 전자를 공급하는 전하이동층일 수 있다. 하나의 예시적인 실시형태에서, 제 2 전하이동층(160)은 제 2 전극(120)과 발광물질층(150) 사이에서 제 2 전극(120)에 인접하게 위치하는 전자 주입층(electron injection layer; EIL, 162)과, 제 2 전극(120)과 발광물질층(150) 사이에서 발광물질층(150)에 인접하게 위치하는 전자수송층(electron transport layer; ETL, 164)을 포함한다.
- [0098] 전자주입층(162)은 제 2 전극(120)에서 발광물질층(150)으로의 전자 주입을 용이하게 한다. 예를 들어 전자주입층(162)은 Al, Cd, Cs, Cu, Ga, Ge, In, Li과 같은 금속에 불소가 도핑되거나 결합된 소재로 이루어지거나, Al, Mg, In, Li, Ga, Cd, Cs, Cu 등으로 도핑되거나 도핑되지 않은 이산화티타늄(TiO₂), 산화아연(ZnO), 산화지르코늄(ZrO), 산화주석(SnO₂), 산화텅스텐(WO₃), 산화탄탈륨(Ta₂O₃)와 같은 금속 산화물로 이루어질 수 있다.
- [0099] 전자수송층(164)은 발광물질층(150)으로 전자를 전달한다. 전자수송층(164)은 무기물 및/또는 유기물로 이루어질 수 있다. 전자수송층(164)이 무기물로 이루어지는 경우, 전자수송층(164)은 Al, Mg, In, Li, Ga, Cd, Cs, Cu 등으로 도핑되거나 도핑되지 않은 이산화티타늄(TiO₂), 산화아연(ZnO), 산화아연마그네슘(ZnMgO), 산화지르코늄(ZrO), 산화주석(SnO₂), 산화텅스텐(WO₃), 산화탄탈륨(Ta₂O₃), 산화하프늄(HfO₃), 산화알루미늄(Al₂O₃), 산화지르코늄실리콘(ZrSiO₄), 산화바륨티타늄(BaTiO₃), 산화바륨지르코늄(BaZrO₃)와 같은 금속/비금속 산화물 및/또는 Al, Mg, In, Li, Ga, Cd, Cs, Cu 등으로 도핑되거나 도핑되지 않은 CdS, ZnSe, ZnS와 같은 반도체 입자, Si₃N₄와 같은 질화물 및 이들의 조합으로 구성되는 군에서 선택되는 무기물로 이루어질 수 있다.
- [0100] 전자수송층(164)이 유기물로 이루어지는 경우, 전자수송층(164)은 옥사졸계 화합물, 이소옥사졸계 화합물, 트리아졸계 화합물, 이소트리아졸계 화합물, 옥사디아졸계 화합물, 티아디아졸계 화합물, 페난트롤린(phenanthroline)계 화합물, 페릴렌(perylene)계 화합물, 벤족사졸계 화합물, 벤조티아졸계 화합물, 벤즈이미다졸계 화합물, 트리아진계 화합물이나 알루미늄 착물과 같은 유기물을 사용할 수 있다. 구체적으로, 전자수송층(164)을 구성할 수 있는 유기 물질은 3-(바이페닐-4-일)-5-(4-테트라부틸페닐)-4-페닐-4H-1,2,4-트리아졸(3-(biphenyl-4-yl)-5-(4-tertbutylphenyl)-4-phenyl-4H-1,2,4-triazole, TAZ), 바소큐프로인(bathocuproine, 2,9-dimethyl-4,7-diphenyl-1,10-phenanthroline; BCP), 2,2',2''-(1,3,5-벤자인트리일)-트리스(1-페닐-1H-벤즈이미다졸)(2,2',2''-(1,3,5-Benzinetriyl)-tris(1-phenyl-1H-benzimidazole); TPBi), 2-[4-(9,10-디-2-나프탈레닐-2-안트라세닐)페닐]-1-페닐-1H-벤즈이미다졸(2-[4-(9,10-Di-2-naphthalenyl-2-anthracenyl)phenyl]-1-phenyl-1H-benzimidazole), 트리스(8-하이드록시퀴놀린)알루미늄(Tris(8-hydroxyquinoline)aluminum; Alq₃), 비스(2-메틸-8-퀴놀리나토)-4-페닐페놀레이트 알루미늄(III) (bis(2-methyl-8-quinolinato)-4-phenylphenolatealuminum (III); Balq), 비스(2-메틸-퀴놀리나토)(트리페닐실록시), 8-하이드록시-퀴놀리나토 리튬(8-hydroxy-quinolinato lithium, Liq), 알루미늄(III)(bis(2-methyl-quinolinato)(triphenylsiloxy)aluminum (III); Salq), 2-페닐-9-(3-(2-(페닐-1,10-페난트롤린-9-일)페닐)-1,10-페난트롤린(2-phenyl-9-(3-(2-phenyl-1,10-phenanthroline-9-yl)phenyl)-1,10-phenanthroline) 및 이들의 조합으로 구성되는 소재에서 선택될 수 있지만, 본 발명이 이에 한정되지 않는다.
- [0101] 다른 선택적인 실시형태에서, 전자수송층(164)은 화학식 1 내지 화학식 3으로 표시되는 유기 화합물로 이루어질 수도 있다.
- [0102] 제 1 전하이동층(140)과 유사하게, 도 3에서 제 2 전하이동층(160)을 전자주입층(162)과 전자수송층(164)의 2층

으로 도시하였으나, 제 2 전하이동층(160)은 전자수송층(164)의 1층으로만 이루어질 수도 있다. 또한, 전술한 무기물로 이루어지는 전자 수송 재료에 세슘카보네이트를 블렌딩한 전자수송층(164)의 1층으로 제 2 전하이동층(160)을 형성할 수도 있다.

- [0103] 전자주입층(162) 및/또는 전자수송층(164)을 포함하는 제 2 전하이동층(160)은 스핀 코팅, 드롭 코팅, 딥 코팅, 스프레이 코팅, 롤 코팅, 플로 코팅은 물론이고, 캐스팅 공정, 스크린 인쇄 또는 잉크젯 프린팅 방식과 같은 용액 공정을 단독 또는 조합하여 사용할 수 있다. 일례로, 전자주입층(162) 및 전자수송층(164)은 10 내지 200 nm, 바람직하게는 10 내지 100 nm의 두께로 적층될 수 있다.
- [0104] 예를 들어, 제 1 전하이동층(140)을 구성하는 정공수송층(144)이 유기물로 이루어지고, 제 2 전하이동층(160)이 무기물로 이루어지는 혼성 전하이동층(charge transport layer; CTL)을 도입하는 경우, 발광다이오드(100)의 발광 특성이 향상될 수 있다.
- [0105] 한편, 정공이 발광물질층(150)을 지나 제 2 전극(120)으로 이동하거나, 전자가 발광물질층(150)을 지나 제 1 전극(110)으로 가는 경우, 소자의 수명과 효율에 감소를 가져올 수 있다. 이를 방지하기 위하여, 본 발명의 예시적인 제 1 실시형태에 따른 발광다이오드(100)는 발광물질층(150)에 인접하여 적어도 1개의 엑시톤 차단층이 위치할 수 있다.
- [0106] 예를 들어, 본 발명의 제 1 실시형태에 따른 발광다이오드(100)는 정공수송층(144)과 발광물질층(150) 사이에 전자의 이동을 제어, 방지할 수 있는 전자차단층(electron blocking layer, EBL)이 위치할 수 있다. 일례로, 전자차단층은 TCTA, 트리스[4-(디에틸아미노)페닐]아민(tris[4-(diethylamino)phenyl]amine), N-(바이페닐-4-일)-9,9-디메틸-N-(4-(9-페닐-9H-카바졸-3-일)페닐)-9H-플루오렌-2-아민, 트리-p-톨릴아민(tri-p-tolylamine), 1,1-비스(4-(N,N-디(p-톨릴)아미노)페닐)사이클로헥산(1,1-bis(4-(N,N'-di(ptolyl)amino)phenyl)cyclohexane; TAPC), m-MTDATA, 1,3-비스(N-카바졸릴)벤젠(1,3-bis(N-carbazolyl)benzene; mCP), 3,3'-비스(N-카바졸릴)-1,1'-바이페닐(3,3'-bis(N-carbazolyl)-1,1'-biphenyl; mCBP), Poly-TPD, 프탈로시아닌구리(copper phthalocyanine; CuPc), DNTPD 및/또는 1,3,5-트리스[4-(디페닐아미노)페닐]벤젠(1,3,5-tris[4-(diphenylamino)phenyl]benzene; TDAPB) 등으로 이루어질 수 있다.
- [0107] 또한, 발광물질층(150)과 전자수송층(164) 사이에 제 2 엑시톤 차단층으로서 정공차단층(hole blocking layer, HBL)이 위치하여 발광물질층(150)과 전자수송층(164) 사이에 정공의 이동을 방지할 수 있다. 하나의 예시적인 실시형태에서, 정공차단층의 소재로서 전자수송층(164)에 사용될 수 있는 옥사디아졸계, 트리아졸계, 페난트롤린계, 벤조사졸계, 벤조티아졸계, 벤즈이미다졸계, 트리아진계 등의 유기 유도체가 사용될 수 있다.
- [0108] 예를 들어 정공차단층은 발광물질층(150)에 사용된 소재와 비교해서 HOMO(highest occupied molecular orbital; 최고점유분자궤도) 에너지 준위가 낮은 2,9-디메틸-4,7-디페닐-1,10-페난트롤린(2,9-dimethyl-4,7-diphenyl-1,10-phenanthroline; BCP), BAlq, Alq3, PBD, 스파이로-PBD 및/또는 Liq 등으로 이루어질 수 있다.
- [0109] 하나의 선택적인 실시형태에서, 엑시톤 차단층은 화학식 1 내지 화학식 3으로 표시되는 유기 화합물로 이루어질 수 있다.
- [0110] 전술한 바와 같이, 본 발명의 제 1 실시형태에 따르면 발광층(130), 예를 들어 발광물질층(150, EML)은 화학식 1 내지 화학식 3으로 표시되는 유기 화합물로 이루어질 수 있다. 화학식 1 내지 화학식 3으로 표시되는 유기 화합물이 무기 발광 재료를 분산시키는 매트릭스로 기능할 수 있다. 발광물질층(150)과 인접한 전하이동층과의 계면이 매끄럽게 형성되면서, 발광다이오드(100)의 모폴로지 특성이 향상된다. 또한, 발광물질층(150)과 정공수송층(144) 사이의 HOMO 에너지 장벽이 감소한다. 발광물질층(150) 전체 영역으로 정공과 전자가 균형 있게 주입되면서, 발광다이오드(100)의 발광 효율이 향상되고, 저-전압에서 구동할 수 있게 되어 소비 전력을 줄일 수 있다.
- [0111] 한편, 도 3 및 도 4에서는 일함수 값이 상대적으로 낮은 제 1 전극과 발광물질층 사이에 정공이동층이 위치하고, 일함수가 상대적으로 높은 제 2 전극과 발광물질층 사이에 전하이동층이 위치하는 정상 구조(normal structure)를 가지는 발광다이오드에 대해서 설명하였다. 발광다이오드는 정상 구조가 아닌 반전 구조(inverted structure)를 가질 수 있는데, 이에 대해서 설명한다. 도 5는 본 발명의 예시적인 제 2 실시형태에 따라, 반전 구조(inverted structure)를 가지는 발광다이오드를 개략적으로 도시한 단면도이고, 도 6은 본 발명의 예시적인 제 2 실시형태에 따른 발광다이오드를 구성하는 전극과 발광층을 구성하는 재료들의 밴드갭 에너지를 개략적으로 나타낸 다이어그램이다.
- [0112] 도 5에 도시한 바와 같이, 본 발명의 예시적인 제 2 실시형태에 따른 발광다이오드(200)는 제 1 전극(210), 제

1 전극(210)과 마주하는 제 2 전극(220), 제 1 전극(210)과 제 2 전극(220) 사이에 위치하는 발광물질층(250)을 포함하는 발광층(230)을 포함한다. 발광층(230)은, 제 1 전극(210)과 발광물질층(250) 사이에 위치하는 제 1 전하이동층(240)과, 제 2 전극(220)과 발광물질층(250) 사이에 위치하는 제 2 전하이동층(260)을 더욱 포함할 수 있다.

[0113] 본 발명의 제 2 실시형태에서, 제 1 전극(210)은 전자 주입 전극과 같은 음극(cathode)일 수 있다. 일례로, 제 1 전극(810)은 ITO, IZO, ITZO, ICO, SnO₂, In₂O₃, Cd:ZnO, F:SnO₂, In:SnO₂, Ga:SnO₂ 및 AZO와 같은 도핑되거나 도핑되지 않은 금속 산화물이거나, 전술한 금속 산화물 이외에도 니켈(Ni), 백금(Pt), 금(Au), 은(Ag), 이리듐(Ir) 또는 탄소나노튜브를 포함하는 소재로 이루어질 수 있다.

[0114] 본 발명의 제 2 실시형태에서, 제 2 전극(220)은 정공 주입 전극과 같은 양극(anode)일 수 있다. 일례로 제 2 전극(220)은 Ca, Ba, Ca/Al, LiF/Ca, LiF/Al, BaF₂/Al, CsF/Al, CaCO₃/Al, BaF₂/Ca/Al, Al, Mg, Au:Mg 또는 Ag:Mg일 수 있다. 예를 들어, 제 1 전극(810)과 제 2 전극(220)은 30 내지 300 nm의 두께로 적층될 수 있다.

[0115] 본 발명의 제 2 실시형태에서, 제 1 전하이동층(240)은 발광물질층(250)으로 전자를 공급하는 전자이동층일 수 있다. 하나의 예시적인 실시형태에서, 제 1 전하이동층(240)은 제 1 전극(210)과 발광물질층(250) 사이에서 제 1 전극(210)에 인접하게 위치하는 전자주입층(242)과, 제 1 전극(210)과 발광물질층(250) 사이에서 발광물질층(250)에 인접하게 위치하는 전자수송층(244)을 포함한다.

[0116] 전자주입층(242)은 Al, Cd, Cs, Cu, Ga, Ge, In, Li과 같은 금속에 불소가 도핑되거나 결합된 소재로 이루어지거나, Al, Mg, In, Li, Ga, Cd, Cs, Cu 등으로 도핑되거나 도핑되지 않은 TiO₂, ZnO, ZrO, SnO₂, WO₃, Ta₂O₃와 같은 금속 산화물로 이루어질 수 있다.

[0117] 전자수송층(244)은 무기물 및/또는 유기물로 이루어질 수 있다. 전자수송층(244)이 무기물로 이루어지는 경우, 전자수송층(244)은 Al, Mg, In, Li, Ga, Cd, Cs, Cu 등으로 도핑되거나 도핑되지 않은 TiO₂, ZnO, ZnMgO, ZrO, SnO₂, WO₃, Ta₂O₃, HfO₃, Al₂O₃, ZrSiO₄, BaTiO₃, BaZrO₃와 같은 금속/비금속 산화물 및/또는 Al, Mg, In, Li, Ga, Cd, Cs, Cu 등으로 도핑되거나 도핑되지 않은 CdS, ZnSe, ZnS와 같은 반도체 입자, Si₃N₄와 같은 질화물 및 이들의 조합으로 구성되는 군에서 선택되는 무기물로 이루어질 수 있다.

[0118] 전자수송층(244)이 유기물로 이루어지는 경우, 전자수송층(244)은 옥사졸계 화합물, 이소옥사졸계 화합물, 트리아졸계 화합물, 이소트리아졸계 화합물, 옥시디아졸계 화합물, 티아디아졸계 화합물, 페릴렌(perylene)계 화합물이나 알루미늄 착물을 사용할 수 있다. 구체적으로, 전자수송층(244)을 구성할 수 있는 유기 물질은 TAZ, BCP, TPBi, 2-[4-(9,10-디-2-나프탈레닐-2-안트라세닐)페닐]-1-페닐-1H-벤즈이미다졸, Alq₃, Balq, LIQ, Salq, 2-페닐-9-(3-(2-(페닐-1,10-페난트롤린-9-일)페닐)-1,10-페난트롤린 및 이들의 조합으로 구성되는 군에서 선택되는 유기물로 이루어질 수 있지만, 본 발명이 이에 한정되지 않는다. 선택적인 실시형태에서, 전자수송층(144)은 화학식 1 내지 화학식 3으로 표시되는 유기 화합물로 이루어질 수도 있다.

[0119] 한편, 제 1 전하이동층(240)은 전자수송층(244)의 1층으로만 이루어질 수도 있다. 또한, 전술한 무기 입자들로 이루어지는 전자 수송 재료에 세슘카보네이트를 블렌딩한 전자수송층(244)의 1층으로 제 1 전하이동층(240)을 형성할 수도 있다. 일례로, 전자주입층(242) 및 전자수송층(244)은 10 내지 200 nm, 바람직하게는 10 내지 100 nm의 두께로 적층될 수 있다.

[0120] 발광물질층(250)은 무기 발광 입자와, 화학식 1 내지 화학식 3으로 표시되는 유기 화합물을 포함할 수 있다. 무기 발광 입자는 양자점 또는 양자 막대와 같은 나노 무기 발광 입자일 수 있다. 양자점 또는 양자 막대는 단일 구조를 가지거나, 코어/셸의 이중 구조를 가질 수 있다.

[0121] 양자점 또는 양자 막대는 양자구속효과를 가지는 반도체 나노 결정 또는 금속산화물 입자일 수 있다. 예를 들어, 양자점 또는 양자 막대는 II-VI족, I-III-VI족 또는 III-V족의 나노 반도체 화합물을 포함할 수 있다. 보다 구체적으로, 양자점 또는 양자 막대를 구성하는 코어 및/또는 셸은 CdS, CdSe, CdTe, ZnS, ZnSe, ZnTe, HgS, HgTe 또는 이들의 조합과 같은 II족 내지 VI족 화합물 반도체 나노 결정; GaP, GaAs, GaSb, InP, InAs 및 InSb와 같은 III족 내지 V족 또는 IV족 내지 VI족 화합물 반도체 나노 결정; PbS, PbSe, PbTe 또는 이들의 임의의 조합; AgGaS₂, AgGaSe₂, AgGaTe₂, CuInS₂, CuInSe₂, CuGaS₂, CuGaSe₂ 나노 결정; ZnO, TiO₂ 또는 이들의 조합과 같은 금속 산화물 나노 입자; CdSe/ZnSe, CdSe/ZnS, CdS/ZnSe, CdS/ZnS, ZnSe/ZnS, InP/ZnS ZnO/MgO 또는 이들의 임의의 조합과 같은 코어-셸 구조의 나노 결정일 수 있다. 반도체 나노 입자는 Eu, Er, Tb, Tm, Dy과 같은

희토류 원소 또는 이들의 임의의 조합으로 도핑(doping)되거나 도핑되지 않거나, 또는 Mn, Cu, Ag, Al과 같은 전이 금속 원소 또는 이들의 임의의 조합으로 도핑될 수 있다.

- [0122] 발광물질층(250)이 양자점 또는 양자 막대와 같은 무기 발광 입자로 이루어지는 경우, 용매에 양자점 또는 양자 막대와 같은 무기 발광 재료와, 화학식 1 내지 화학식 3으로 표시되는 유기 화합물을 포함하는 분산 용액을 이용한 공정을 통하여 제 1 전하이동층(240), 예를 들어 전자수송층(244) 상에 도포된 뒤에, 용매를 휘발시킴으로써 발광물질층(250)을 형성한다.
- [0123] 한편, 본 발명의 제 2 실시형태에서, 제 2 전하이동층(260)은 발광물질층(250)으로 정공을 공급하는 정공이동층일 수 있다. 하나의 예시적인 실시형태에서, 제 2 전하이동층(260)은 제 2 전극(220)과 발광물질층(250) 사이에서 제 2 전극(220)에 인접하게 위치하는 정공주입층(262)과, 제 2 전극(220)과 발광물질층(250) 사이에서 발광물질층(250)에 인접하게 위치하는 정공수송층(264)을 포함한다.
- [0124] 정공주입층(262)은 PEDOT:PSS, F4-TCNQ이 도핑된 TDATA, 예를 들어 F4-TCNQ가 도핑된 ZnPc와 같은 p-도핑된 프탈로시아닌, F4-TCNQ가 도핑된 α -NPD, HAT-CN 및 이들의 조합으로 구성되는 군에서 선택되는 물질로 이루어질 수 있지만, 본 발명이 이에 한정되지 않는다. 일례로 F4-TCNQ와 같은 도펀트는 호스트에 대하여 1 내지 30 중량%의 비율로 도핑될 수 있다. 정공주입층(262)은 발광다이오드(200)의 구조 및 형태에 따라 생략될 수 있다. 선택적인 실시형태에서, 정공주입층(262)은 화학식 1 내지 화학식 3으로 표시되는 유기 화합물로 이루어질 수 있다.
- [0125] 정공수송층(264)은 무기물 또는 유기물로 이루어질 수 있다. 일례로, 정공수송층(264)이 유기물로 이루어지는 경우, 정공수송층(264)은 CBP, α -NPD, TPD, spiro-TPD, DNTPD, TCTA와 같은 아릴 아민류, 폴리아닐린(polyaniline), 폴리피롤(polypyrrole), 폴리(페닐렌비닐렌)(poly(phenylenevinylene)), 구리프탈로시아닌(copper phthalocyanine), 방향족 3차아민또는다핵방향족 3차아민, 4,4'-비스(p-카바졸릴)-1,1'-바이페닐화합물, N,N,N',N'-테트라아릴벤지딘, PEDOT:PSS 및 그 유도체, 폴리-N-비닐카바졸 및 그 유도체, MEH-PPV나 MOMO-PPV와 같은 폴리(파라)페닐렌비닐렌 및 그 유도체, 폴리메타크릴레이트 및 그 유도체, 폴리(9,9-옥틸플루오렌) 및 그 유도체, 폴리(스파이로-플루오렌) 및 그 유도체, NPB, m-MTDATA, TFB, poly-TPD, piro-NPB 및 이들의 조합으로 구성되는 군에서 선택되는 유기물로 이루어질 수 있다. 일례로, 정공수송층(264)은 화학식 4 내지 화학식 6으로 표시되는 트리페닐 아민 모이어티를 가지는 유기물로 이루어질 수 있다. 다른 선택적인 실시형태에서, 정공수송층(264)은 화학식 1 내지 화학식 3으로 표시되는 유기 화합물로 이루어질 수도 있다.
- [0126] 정공수송층(264)이 무기물로 이루어지는 경우, 정공수송층(264)은 NiO, MoO₃, Cr₂O₃, Bi₂O₃ 또는 p-형 ZnO와 같은 금속 산화물이나 티오시안구리(CuSCN), Mo₂S, p-형 GaN과 같은 비-산화 등가물 또는 이들의 조합으로 구성되는 군에서 선택되는 무기물로 이루어질 수 있다.
- [0127] 제 2 전하이동층(260)은 단일층으로 이루어질 수도 있다. 예를 들어, 정공주입층(262)이 생략되고 제 2 전하이동층(260)은 정공수송층(264)만으로 이루어질 수도 있다. 정공주입층(262)과 정공수송층(264)의 두께는 10 nm 내지 200 nm, 바람직하게는 10 nm 내지 100 nm일 수 있지만, 본 발명이 이에 제한되는 것은 아니다.
- [0128] 제 1 실시형태와 유사하게, 본 발명의 예시적인 제 2 실시형태에 따른 발광다이오드(200)는 발광물질층(250)에 인접하여 적어도 1개의 엑시톤 차단층이 위치할 수 있다. 예를 들어, 발광다이오드(200)는 발광물질층(250)과 정공수송층(264) 사이에 위치하여 전자의 이동을 제어, 방지할 수 있는 전자차단층 및/또는 전자수송층(244)과 발광물질층(250) 사이에 위치하여 정공의 이동을 제어, 방지할 수 있는 정공차단층을 더욱 포함할 수 있다. 엑시톤 차단층은 화학식 1 내지 화학식 3으로 표시되는 유기 화합물로 이루어질 수 있다.
- [0129] 본 발명의 제 2 실시형태에 따른 발광다이오드(200)에서 발광층(230), 일례로 발광물질층(250, EML)은 화학식 1 내지 화학식 3으로 표시되는 유기 화합물을 포함하고 있다. 화학식 1 내지 화학식 3으로 표시되는 유기 화합물이 무기 발광 재료를 분산시키는 매트릭스로 기능할 수 있다. 발광물질층(250)과, 발광물질층(250)에 인접한 전하이동층, 예를 들어 전자수송층(244) 및 정공수송층(264) 사이의 계면이 매끄럽게 형성되어, 발광다이오드(100)의 모폴로지 특성이 향상되면서, 정공과 전자가 발광다이오드(100)의 전 영역에 걸쳐서 균일하게 발광물질층(EML)으로 주입될 수 있다.
- [0130] 또한, 화학식 1 내지 화학식 3으로 표시되는 유기 화합물의 HOMO 에너지 준위는 무기 발광 재료의 HOMO 에너지 준위보다 높다. 따라서, 도 6에 개략적으로 나타낸 바와 같이, 무기 발광 재료만으로 이루어진 발광물질층(EML)의 HOMO 에너지 준위와 비교할 때, 화학식 1 내지 화학식 3의 유기 화합물과 무기 발광 재료를 병용한 발광물

질층(EML)의 HOMO 에너지 준위가 높아진다. 정공수송층(HTL)의 HOMO 에너지 준위와 발광물질층(EML)의 HOMO 에너지 준위의 차이($\Delta G'_H$)가 크게 감소하여 정공수송층(HTL)과 발광물질층(EML) 사이의 에너지 장벽을 제거할 수 있다.

- [0131] 즉, 화학식 1 내지 화학식 3으로 표시되는 유기 화합물을 발광물질층(EML)에 적용함으로써, 정공수송층(HTL)의 HOMO 에너지 준위와 발광물질층(EML)의 HOMO 에너지 준위의 차이($\Delta G'_H$)는, 전자수송층(ETL)의 LUMO 에너지 준위와 발광물질층(EML)의 LUMO 에너지 준위의 차이(ΔG_L)와 동일해지거나 큰 차이를 갖지 않는다. 정공과 전자가 발광물질층(EML)으로 균형 있게 주입되어 엑시톤을 형성하기 때문에, 엑시톤을 형성하지 못하고 소멸되는 전자가 감소하거나 없어진다. 또한 발광물질층(EML)과 인접한 전하이동층(HTL, ETL)의 계면이 아니라, 발광물질층(EML)에 주입된 발광 소재에서 발광이 효율적으로 일어난다. 이에 따라, 발광다이오드(200)의 발광 효율을 극대화할 수 있으며, 저-전압에서 구동이 가능해지므로 소비 전력을 낮출 수 있다.
- [0132] 따라서 화학식 1 내지 화학식 3으로 표시되는 유기 화합물이 발광층에 적용된 발광다이오드는 조명 장치나 표시 장치와 같은 발광장치에 적용될 수 있다. 일례로, 본 발명에 따른 유기 화합물이 정공이동층에 적용된 발광다이오드를 가지는 발광장치에 대해서 설명한다. 도 7은 본 발명의 예시적인 실시형태에 따른 발광표시장치를 개략적으로 도시한 단면도이다.
- [0133] 도 7에 도시한 바와 같이, 발광표시장치(300)는, 기판(310)과, 기판(310) 상에 위치하는 구동 소자인 구동 박막트랜지스터(Tr)와, 구동 박막트랜지스터(Tr)에 연결되는 발광다이오드(400)를 포함한다.
- [0134] 기판(310) 상에는 산화물 반도체 물질 또는 다결정 실리콘으로 이루어지는 반도체층(322)이 형성된다. 반도체층(322)이 산화물 반도체 물질로 이루어질 경우, 반도체층(322) 하부에는 차광패턴(도시하지 않음)이 형성될 수 있으며, 차광패턴은 반도체층(322)으로 빛이 입사되는 것을 방지하여 반도체층(322)이 빛에 의해 열화되는 것을 방지한다. 이와 달리, 반도체층(322)은 다결정 실리콘으로 이루어질 수도 있으며, 이 경우 반도체층(322)의 양 가장자리에 불순물이 도핑되어 있을 수 있다.
- [0135] 반도체층(322) 상부에는 절연물질로 이루어진 게이트 절연막(324)이 형성된다. 게이트 절연막(324)은 실리콘산화물(SiO_2) 또는 실리콘질화물(SiN_x)과 같은 무기절연물질로 이루어질 수 있다. 게이트 절연막(324) 상부에는 금속과 같은 도전성 물질로 이루어진 게이트 전극(330)이 반도체층(322)의 중앙에 대응하여 형성된다.
- [0136] 게이트 전극(330) 상부에는 절연물질로 이루어진 층간 절연막(332)이 형성된다. 층간 절연막(332)은 실리콘산화물(SiO_2)이나 실리콘질화물(SiN_x)과 같은 무기절연물질로 형성되거나, 벤조사이클로부텐(benzocyclobutene)이나 포토 아크릴(photo-acryl)과 같은 유기절연물질로 형성될 수 있다.
- [0137] 층간 절연막(332)은 반도체층(322)의 양측을 노출하는 제 1 및 제 2 반도체층 콘택홀(334, 336)을 갖는다. 제 1 및 제 2 반도체층 콘택홀(334, 336)은 게이트 전극(330)의 양측에서 게이트 전극(330)과 이격되어 위치한다. 층간 절연막(332) 상에는 금속과 같은 도전성 물질로 이루어지는 소스 전극(340)과 드레인 전극(342)이 형성된다.
- [0138] 소스 전극(340)과 드레인 전극(342)은 게이트 전극(330)을 중심으로 이격되어 위치하며, 각각 상기 제 1 및 제 2 반도체층 콘택홀(334, 336)을 통해 상기 반도체층(322)의 양측과 접촉한다. 반도체층(322), 게이트 전극(330), 소스 전극(340), 드레인 전극(342)은 구동 소자인 구동 박막트랜지스터(Tr)를 이룬다.
- [0139] 도 7에서, 구동 박막트랜지스터(Tr)는 반도체층(322)의 상부에 게이트 전극(330), 소스 전극(340) 및 드레인 전극(342)이 위치하는 코플라나(coplanar) 구조를 가진다. 이와 달리, 구동 박막트랜지스터(Tr)는 반도체층의 하부에 게이트 전극이 위치하고 반도체층의 상부에 소스 전극과 드레인 전극이 위치하는 역 스테거드(inverted staggered) 구조를 가질 수 있다. 이 경우, 반도체층은 비정질 실리콘으로 이루어질 수 있다.
- [0140] 도시하지 않았으나, 게이트 배선과 데이터 배선이 서로 교차하여 화소영역을 정의하며, 게이트 배선과 데이터 배선에 연결되는 스위칭 소자가 더 형성된다. 스위칭 소자는 구동 소자인 구동 박막트랜지스터(Tr)에 연결된다. 또한, 파워 배선이 게이트 배선 또는 데이터 배선과 평행하게 이격되어 형성되며, 일 프레임(frame) 동안 구동 소자인 구동 박막트랜지스터(Tr)의 게이트 전극의 전압을 일정하게 유지되도록 하기 위한 스토리지 캐패시터가 더 구성될 수 있다.
- [0141] 한편, 구동 박막트랜지스터(Tr)의 드레인 전극(342)을 노출하는 드레인 콘택홀(352)을 가지는 보호층(350)이 구동 박막트랜지스터(Tr)를 덮으며 형성된다. 예를 들어, 보호층(350)은 실리콘산화물(SiO_2)이나 실리콘질화물

(SiNx)과 같은 무기절연물질로 형성되거나, 벤조사이클로부텐(benzocyclobutene)이나 포토 아크릴(photo-acryl)과 같은 유기절연물질로 형성될 수 있다.

[0142] 보호층(350) 상에는 드레인 콘택홀(352)을 통해 구동 박막트랜지스터(Tr)의 드레인 전극(342)에 연결되는 제 1 전극(410)이 각 화소 영역 별로 분리되어 형성된다. 제 1 전극(410)은 양극(anode) 또는 음극(cathode)일 수 있으며, 일함수 값이 비교적 큰 도전성 물질로 이루어질 수 있다. 예를 들어, 제 1 전극(410)은 ITO, IZO, ITZO, ICO, SnO₂, In₂O₃, Cd:ZnO, F:SnO₂, In:SnO₂, Ga:SnO₂ 및 AZO와 같은 도핑되거나 도핑되지 않은 금속 산화물이거나, 전술한 금속 산화물 이외에도 니켈(Ni), 백금(Pt), 금(Au), 은(Ag), 이리듐(Ir) 또는 탄소나노튜브를 포함하는 금속 소재로 이루어질 수 있다.

[0143] 한편, 본 발명의 발광표시장치(300)가 상부 발광 방식(top-emission type)인 경우, 제 1 전극(410) 하부에는 반사전극 또는 반사층이 더욱 형성될 수 있다. 예를 들어, 반사전극 또는 반사층은 알루미늄-팔라듐-구리(aluminum-paladium-copper: APC) 합금으로 이루어질 수 있다.

[0144] 또한, 보호층(350) 상에는 제 1 전극(410)의 가장자리를 덮는 뱅크층(368)이 형성된다. 뱅크층(368)은 화소영역에 대응하여 제 1 전극(410)의 중앙을 노출한다.

[0145] 제 1 전극(410) 상에는 발광층(430)이 형성된다. 발광층(430)은 발광물질층으로만 이루어질 수도 있으나, 발광 효율을 높이기 위하여 다수의 전하이동층을 가질 수 있다. 일례로, 도 7에서 발광층(430)은 제 1 전극(410)과 제 2 전극(420) 사이에 순차적으로 적층되는 제 1 전하이동층(440), 발광물질층(450) 및 제 2 전하이동층(460)으로 이루어진 것을 예시한다. 예를 들어, 제 1 전하이동층(440)은 정공이동층일 수 있으며, 유기물로 이루어지는 정공주입층(142, 도 2 참조)과 정공수송층(144, 도 2 참조)으로 이루어질 수 있다.

[0146] 발광물질층(440)은 무기 발광 재료와, 화학식 1 내지 화학식 3으로 표시되는 유기 화합물을 포함할 수 있다. 한편, 제 2 전하이동층(450)은 전자이동층일 수 있으며, 전자주입층(162, 도 2 참조)과 전자수송층(164, 도 2 참조)으로 이루어질 수 있다. 예를 들어, 제 2 전하이동층(450)은 무기물 또는 유기물로 이루어질 수 있다.

[0147] 발광층(430)이 형성된 기관(310) 상부로 제 2 전극(420)이 형성된다. 제 2 전극(420)은 표시영역의 전면에 위치하며 일함수 값이 비교적 작은 도전성 물질로 이루어질 수 있으며, 음극 또는 양극일 수 있다. 예를 들어, 제 2 전극(420)은 Ca, Ba, Ca/Al, LiF/Ca, LiF/Al, BaF₂/Al, CsF/Al, CaCO₃/Al, BaF₂/Ca/Al, Al, Mg, Au:Mg 또는 Ag:Mg일 수 있다.

[0148] 도 7에서는 예시적으로, 제 1 전극(410)과 발광물질층(450) 사이에 정공이동층으로서의 제 1 전하이동층(440)이 위치하고, 제 2 전극(420)과 발광물질층(450) 사이에 전자이동층으로서의 제 2 전하이동층(460)이 위치하는 정상 구조(normal structure)의 발광다이오드(400)를 보여준다.

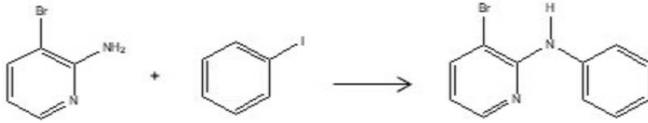
[0149] 다른 실시형태에서, 제 1 전극(410)과 발광물질층(450) 사이에 전자이동층으로서의 제 1 전하이동층이 위치하고, 제 2 전극(420)과 발광물질층(450) 사이에 정공이동층으로서의 제 2 전하이동층이 위치하는 반전 구조(inverted structure)의 발광다이오드를 제작할 수 있다.

[0150] 화학식 1 내지 화학식 3으로 표시되는 유기 화합물을 무기 발광 재료와 병용하여 발광물질층(450)에 적용하여, 발광물질층(450)과 인접한 전하이동층(440, 460) 사이에 매끄러운 단면 형태를 가지는 계면이 형성될 수 있다. 발광다이오드(400)의 모폴로지 특성이 향상되어, 발광다이오드(400)의 전체 영역으로 전하가 균일하게 주입된다. 또한, 발광물질층(450)과 정공이동층일 수 있는 1 전하이동층(440) 또는 제 2 전하이동층(460) 사이의 HOMO 에너지 준위의 차이가 감소하여, 이들 정공이동층과 발광물질층(450) 사이의 HOMO 에너지 장벽을 제거할 수 있다. 화학식 1 내지 화학식 3으로 표시되는 유기 화합물을 발광물질층(450)에 적용하여 전하의 이동 특성을 향상시키고, 정공과 전자가 균형 있게 발광물질층(450)으로 주입되도록 유도할 수 있다. 정공과 전자가 발광물질층(450)으로 균형 있게 주입되면서, 발광다이오드(400) 및 발광표시장치(300)의 발광 효율이 향상되고, 저-전압에서 구동하여 소비 전력을 줄일 수 있다.

[0151] 이하, 예시적인 실시형태를 통하여 본 발명을 설명하지만, 본 발명이 하기 실시예에 기재된 기술사상으로 한정되지 않는다.

[0152] 합성예 1: 화합물 H1 합성

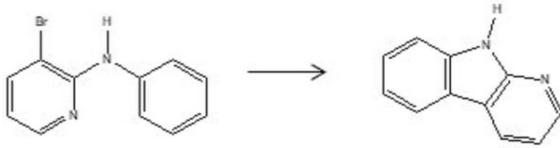
[0153] (1) 3-bromo-N-phenylpyridin-2-amine 합성



[0154]

[0155] Round bottom flask에 4-amino-2-bromopyridine(10 g, 57.8 mmol), Iodobenzene(12.38 g, 60.68 mmol), 4,5-Bis(diphenyl phosphino)-9,9-dimerhylxanthene (0.334 g, 0.58 mmol), palladium(II)acetate (0.13 g, 0.58 mmol), sodium-tert-butoxide (8.39 g, 87.27 mmol) 를 넣고 toluene 75 mL에 녹인 뒤 24시간 환류, 교반시킨다. HPLC 확인 후 column (MC: Hex = 1: 2)하여, 고체 3-bromo-N-phenylpyridine-2-amine 8.0 g을 얻었다(수율: 55.6%).

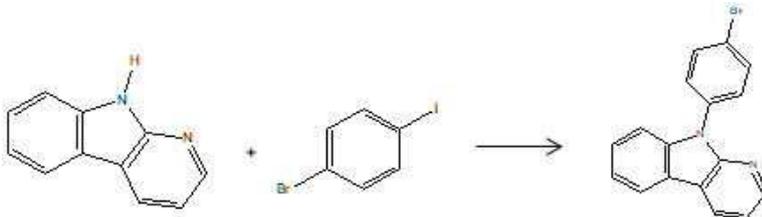
[0156] (2) 9H-pyrido[2,3-b]indole 합성



[0157]

[0158] Round bottom flask에 3-bromo-N-phenylpyridin-2-amine(7.5 g, 30 mmol), (2-biphenyl)dicyclohexylphosphine(0.633 g, 1.81 mmol), palladium(II)acetate (0.13 g, 0.58 mmol), 1,8-diazabicyclo[5.4.0]undec-7-ene(9.2 mL, 60 mmol)를 넣고 dimethylacetamide 150 mL에 녹인 후 24시간 동안 환류, 교반시킨다. HPLC로 확인한 뒤 반응을 종료하고, 용매를 증발시킨 후, column (EA: HEX = 6:1)하여, 9H-pyrido[2,3-b]indole 3.5 g을 얻었다(수율: 70%).

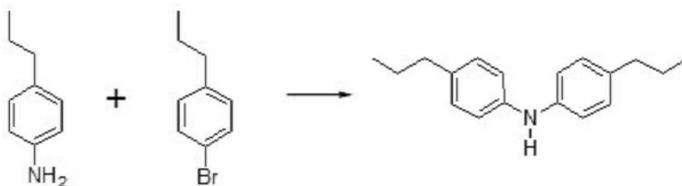
[0159] (3) 9-(4-bromophenyl)-9H-pyrido[2,3-b]indole 합성



[0160]

[0161] Round bottom flask에 9H-pyrido[2,3-b]indole(3.5 g, 21 mmol), 1-bromo-4-iodobenzene(8.83 g, 31 mmol), copper(I)iodide (0.8 g, 4.2 mmol), (±)-trans-1,2-diaminocyclohexane(0.48 g, 4.2 mmol), potassium phosphate tribasic (8.9 g, 42 mmol)을 넣고 toluene 160 mL에 녹인 뒤, 24시간 동안 환류, 교반시킨다. TLC 및 HPLC로 확인 후 반응을 종료하고, Filter후 column(MC: HEX = 1:4)하여 9-(4-bromophenyl)-9H-pyrido[2,3-b]indole 5.19 g을 얻었다(수율: 75%).

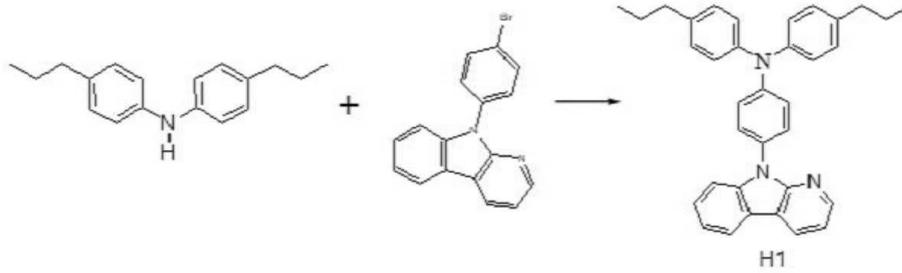
[0162] (4) bis(4-propylphenyl)amine 합성



[0163]

[0164] Round bottom flask에 4-propylbenzenamine(2.24 g, 11.25 mmol), 1-bromo-4-propylbenzene (1.01 g, 7.5 mmol), sodium tert-butoxide(1.075 g, 11.25 mmol), Tris(dibenzylideneacetone)dipalladium(0)(0.14 g, 0.15 mmol)를 넣고, toluene 50 mL로 녹인 뒤 tri-tert-butylphosphine(0.03 g, 0.15 mmol)을 넣고 24시간 환류, 교반시킨다. HPLC및 LC-MASS로 확인 후 반응을 종료 시킨 뒤, 용매 제거 후 MC/H2O로 추출한다. Column(EA: HEX = 1:4)하고, MC/hexane에 재 침전 후 진공 건조하여, bis(4-propylphenylamine) 1.70 g을 얻었다(수율: 89%).

[0165] (5) H1 합성

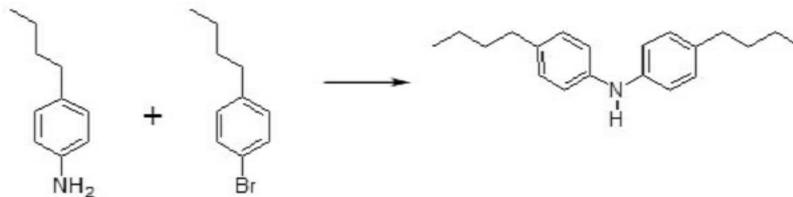


[0166]

[0167] Round bottom flask에 bis(4-propylphenyl)amine(0.9 g, 3.55 mmol), 9-(4-bromophenyl)-9H-pyrido[2,3-b]indole (1.25 g, 3.9 mmol), sodium tert-butoxide(0.48 g, 4.97 mmol), Tris(dibenzylideneacetone)dipalladium(0) (0.065 g, 0.071 mmol)를 toluene 50 mL에 녹인 뒤 tri-tert-butylphosphine(0.03 g, 0.14 mmol)을 넣고 24시간 환류, 교반 시킨다. HPLC 및 LC-MASS로 확인 후 반응을 종료시키고, 용매 제거 후 MC/H2O로 추출한다. Column(EA: HEX = 1:4)하고 MC/hexane에 재 침전 후, 진공 건조 및 승화 정제하여 화합물 H1 1.25 g을 얻었다(수율: 71%).

[0168] 합성예 2: 화합물 H2 합성

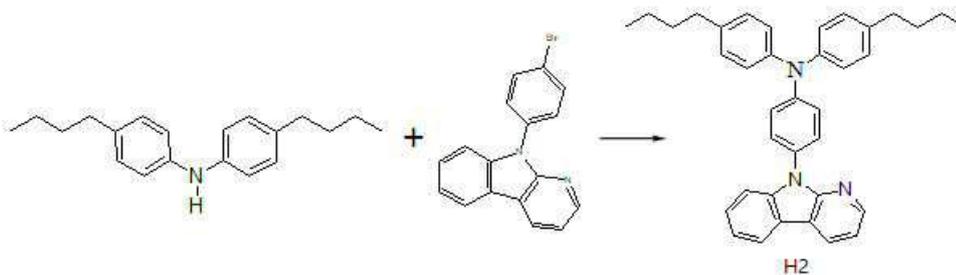
[0169] (1) bis(4-butylphenyl)amine 합성



[0170]

[0171] Round bottom flask에 4-butylbenzenamine (2.40 g, 11.25 mmol), 1-bromo-4-butylbenzene(1.12 g, 7.5 mmol), sodium tert-butoxide(1.075 g, 11.25 mmol), Tris(dibenzylideneacetone)dipalladium(0)(0.14 g, 0.15 mmol)를 넣고, toluene 50 mL로 녹인 뒤 tri-tert-butylphosphine(0.03 g, 0.15 mmol)을 넣고 24시간 환류, 교반시킨다. HPLC 및 LC-MASS로 확인 후 반응을 종료시키고, 용매 제거 후 MC /H2O 로 추출한다. Column(EA: HEX = 1:4)하고, MC / hexane에 재 침전 후 진공 건조하여, bis(4-butylphenyl)amine 1.85 g을 얻었다(수율: 88%).

[0172] (2) H2 합성

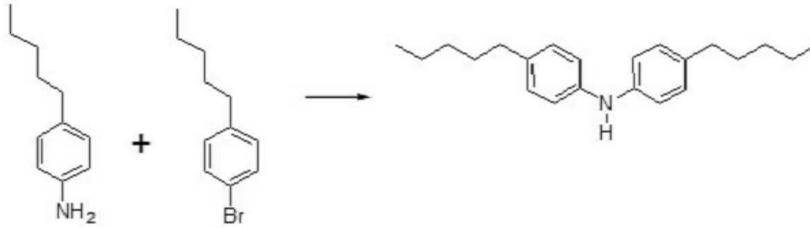


[0173]

[0174] Round bottom flask에 bis(4-butylphenyl)amine(1 g, 3.55 mmol), 9-(4-bromophenyl)-9H-pyrido[2,3-b]indole(1.25 g, 3.9 mmol), sodium tert-butoxide (0.48 g, 4.97 mmol), Tris(dibenzylideneacetone)dipalladium(0)(0.065 g, 0.071 mmol)를 toluene 50 mL에 녹인 뒤 tri-tert-butylphosphine(0.03 g, 0.14 mmol)을 넣고 24시간 환류, 교반시킨다. HPLC 및 LC-MASS로 확인 후 반응을 종료시키고, 용매 제거 후 MC/H2O로 추출한다. Column(EA: HEX = 1:4)하고 MC/hexane에 재 침전 후 진공 건조 및 승화 정제하여, H2 1.45 g을 얻었다(수율: 78%).

[0175] 합성예 3: 화합물 H3 합성

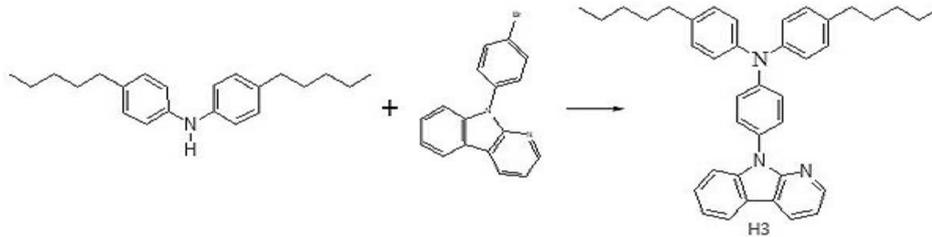
[0176] (1) bis(4-pentylphenyl)amine 합성



[0177]

[0178] Round bottom flask에 4-pentylbenzenamine(2.56 g, 11.25 mmol), 1-bromo-4-pentylbenzene(1.22 g, 7.5 mmol), sodium tert-butoxide(1.075 g, 11.25 mmol), Tris(dibenzylideneacetone)dipalladium(0)(0.14 g, 0.15 mmol)를 넣고, toluene 50 mL로 녹인 뒤 tri-tert-butylphosphine(0.03 g, 0.15 mmol)을 넣고 24시간 환류, 교반시킨다. HPLC 및 LC-MASS로 확인 후 반응을 종료시키고, 용매 제거 후 MC/H2O로 추출한다. Column(EA: HEX = 1:4)하고, MC/hexane에 재 침전 후 진공 건조 하여 bis(4-pentylphenyl)amine 1.75 g을 얻었다(수율: 75%).

[0179] (2) H3 합성

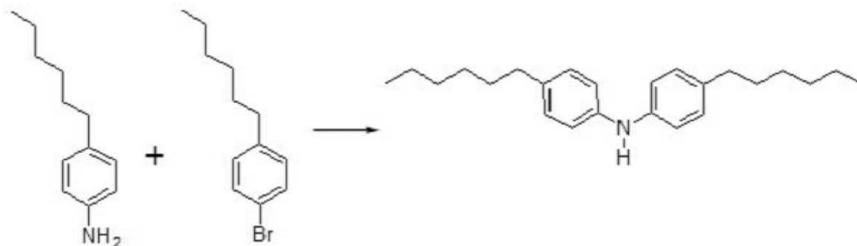


[0180]

[0181] Round bottom flask에 bis(4-pentylphenyl)amine(1.1 g, 3.55 mmol), 9-(4-bromophenyl)-9H-pyrido[2,3-b]indole(1.25 g, 3.9 mmol), sodium tert-butoxide (0.48 g, 4.97 mmol), Tris(dibenzylideneacetone)dipalladium(0)(0.065 g, 0.071 mmol)를 toluene 50 mL에 녹인 뒤 tri-tert-butylphosphine(0.03 g, 0.14 mmol)을 넣고 24시간 환류, 교반시킨다. HPLC 및 LC-MASS로 확인 후 반응을 종료시키고, 용매 제거 후 MC/H2O로 추출한다. Column(EA: HEX = 1:4)하고 MC/hexane에 재 침전 후 진공 건조 및 승화 정제하여 H3 1.5 g을 얻었다(수율: 76%).

[0182] 합성예 4: 화합물 H4 합성

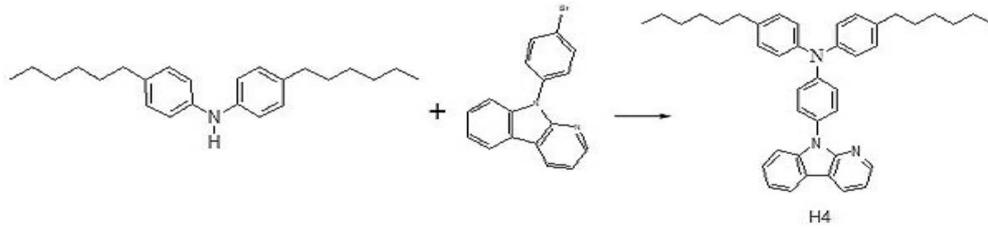
[0183] (1) bis(4-hexylphenyl)amine 합성



[0184]

[0185] Round bottom flask에 4-hexylbenzenamine (2.7 g, 11.25 mmol), 1-bromo-4-hexylbenzene(1.33 g, 7.5 mmol), sodium tert-butoxide(1.075 g, 11.25 mmol), Tris(dibenzylideneacetone)dipalladium(0)(0.14 g, 0.15 mmol)를 넣고 toluene 50 mL로 녹인 뒤 tri-tert-butylphosphine(0.03 g, 0.15 mmol)을 넣고 24시간 환류, 교반시킨다. HPLC 및 LC-MASS로 확인 후 반응을 종료시키고, 용매 제거 후 MC/H2O로 추출한다. Column(EA: HEX = 1:4)하고 MC/hexane에 재 침전 후 진공 건조하여 bis(4-hexylphenyl)amine 1.85 g을 얻었다(수율: 73%).

[0186] (2) H4 합성

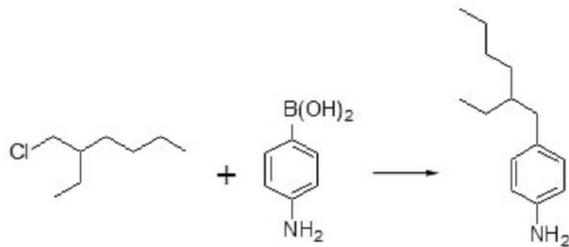


[0187]

[0188] Round bottom flask에 bis(4-hexylphenyl)amine(1.2 g, 3.55 mmol), 9-(4-bromophenyl)-9H-pyrido[2,3-b]indole(1.25 g, 3.9 mmol), sodium tert-butoxide(0.48 g, 4.97 mmol), Tris(dibenzylideneacetone)dipalladium(0)(0.065 g, 0.071 mmol)를 toluene 50 mL에 녹인 뒤 tri-tert-butylphosphine(0.03 g, 0.14 mmol)을 넣고 24시간 환류, 교반시킨다. HPLC 및 LC-MASS로 확인 후 반응을 종료시키고, 용매 제거 후 MC/H₂O로 추출한다. Column(EA: HEX = 1:4)하고 MC/hexane에 재 침전 후 진공 건조 및 승화 정제하여, H4 1.55 g을 얻었다(수율: 75%).

[0189] 합성예 5: 화합물 H5 합성

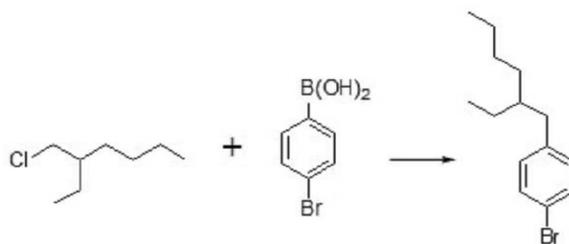
[0190] (1) 4-(2-ethylhexyl)benzenamine 합성



[0191]

[0192] Round bottom flask에 3-(chloromethyl)heptane(1 g, 6.7 mmol), 4-aminophenylboronic acid(1.1 g, 8.07 mmol), Palladium(II) acetate (0.083 g, 0.36 mmol), DavePhos(2-Dicyclohexylphosphino-2'-(N,N-dimethylamino)biphenyl, 0.22g, 0.55 mmol), tripotassium phosphate(3.49 g, 16.46 mmol)를 1,4-dioxane 60 mL에 녹여 4시간 동안 환류, 교반시킨다. HPLC 및 LC-MASS로 확인 후 반응을 종료하고, 용매 제거 후 MC/H₂O로 추출한다. Column(MC: HEX = 1:6)하고 methylene chloride/petroleum ether로 석출하여, 4-(2-ethylhexyl)benzenamine 1.22 g을 얻었다(수율: 88.6%).

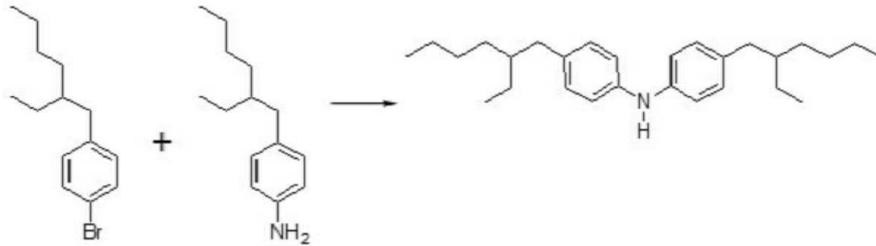
[0193] (2) 1-bromo-4-(2-ethylhexyl)benzene 합성



[0194]

[0195] Round bottom flask에 3-(chloromethyl)heptane(1 g, 6.7 mmol), 4-bromophenylboronic acid(1.62 g, 8.07 mmol), Palladium(II)acetate (0.083 g, 0.36 mmol), DavePhos(0.22g, 0.55 mmol), tripotassium phosphate(3.49 g, 16.46 mmol)를 1,4-dioxane 60 mL에 녹여 4시간 동안 환류, 교반 시킨다. HPLC 및 LC-MASS로 확인 후 반응을 종료하고, 용매 제거 후 MC/H₂O로 추출한다. column (MC: HEX = 1:6)하고 methylene chloride/petroleum ether로 석출하여 1-bromo-4-(2-ethylhexyl)benzene 1.4 g을 얻었다(수율: 77.6%).

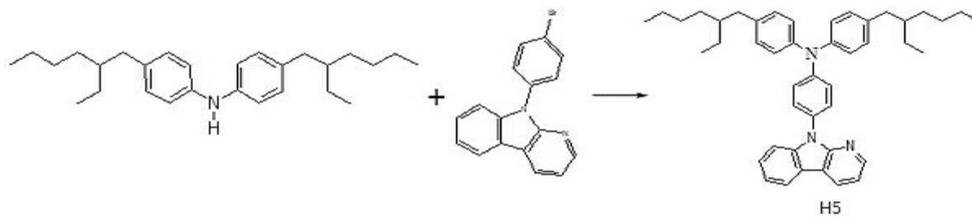
[0196] (3) bis(4-(2-ethylhexyl)phenyl)amine 합성



[0197]

[0198] Round bottom flask에 1-bromo-4-(2-ethylhexyl)benzene(1.0 g, 3.75 mmol), 4-(2-ethylhexyl)benzenamine(1.15 g, 5.6 mmol), sodium tert-butoxide(0.54 g, 5.6 mmol), Tris(dibenzylideneacetone)dipalladium(0)(0.14 g, 0.15 mmol)를 넣고 toluene 50 mL로 녹인 뒤 tri-tert-butylphosphine(0.03 g, 0.15 mmol)을 넣고 24시간 환류, 교반시킨다. HPLC 및 LC-MASS로 확인 후 반응을 종료시키고, 용매 제거 후 MC/H2O로 추출한다. Column(EA: HEX = 1:4)하고 MC/hexane에 재 침전 후 진공 건조하여 bis(4-(2-ethylhexyl)phenyl)amine 1.2 g을 얻었다(수율: 81%).

[0199] (4) H5 합성



[0200]

[0201] Round bottom flask에 bis(4-(2-ethylhexyl)phenyl)amine(1.2 g, 3.55 mmol), 9-(4-bromophenyl)-9H-pyrido[2,3-b]indole(1.25 g, 3.9 mmol), sodium tert-butoxide(0.48 g, 4.97 mmol), Tris(dibenzylideneacetone)dipalladium(0)(0.065 g, 0.071 mmol)를 toluene 50 mL에 녹인 뒤 tri-tert-butylphosphine(0.03 g, 0.14 mmol)을 넣고 24시간 환류, 교반시킨다. HPLC 및 LC-MASS로 확인 후 반응을 종료시키고, 용매 제거 후 MC/H2O로 추출한다. Column(EA: HEX = 1:4)하고 MC/hexane에 재 침전 후 진공 건조 및 승화 정제하여, H5 1.2 g을 얻었다(수율: 53%).

[0202] 실험예 1: 유기 화합물의 발광 관련 물성 평가

[0203] 합성예 1 내지 합성예 5에서 각각 합성된 H1 내지 H5 화합물에 대하여, spartan'10 소프트웨어를 사용하여 발광과 관련한 물성을 모의 평가하였다. 각각의 유기 화합물에 대한 HOMO 에너지 준위(eV), LUMO 에너지 준위(eV), 밴드갭 에너지(eV, LUMO-HOMO), 삼중항 에너지 준위(E_T , eV)를 평가하였으며, 평가 결과를 하기 표 1에 나타낸다.

표 1

유기 화합물의 물성 평가

[0204]

| 화합물 | HOMO(eV) | LUMO(eV) | 밴드갭(eV) | E_T (eV) |
|-----|----------|----------|---------|------------|
| H1 | -5.81 | -1.98 | 3.83 | 2.96 |
| H2 | -5.89 | -1.56 | 4.33 | 2.97 |
| H3 | -5.81 | -1.98 | 3.83 | 2.98 |
| H4 | -5.82 | -1.96 | 3.86 | 3.04 |
| H5 | -5.81 | -2.0 | 3.81 | 3.04 |

[0205] 표 1에 나타난 바와 같이, 합성예 1 내지 합성예 5에 따라 합성된 유기 화합물의 HOMO 에너지 준위는 발광물질 층의 발광 재료로 사용될 수 있는 양자점 또는 양자 막대의 셀(예를 들어, ZnSe나 ZnS)의 HOMO 에너지 준위에 대응되는 가전자대 에너지 준위와, 정공수송층에 사용되는 정공 수송 재료의 HOMO 에너지 준위 사이의 값을 가지고 있다. 또한, 합성예 1 내지 합성예 5에 따라 합성된 유기 화합물의 에너지 밴드갭은, 무기 발광 재료의 코

어(예를 들어 InP)의 에너지 밴드갭보다 크다는 것을 확인하였다.

[0206] 따라서 합성에 1 내지 합성에 5에서 합성된 유기 화합물을 무기 발광 재료와 병용하여 발광물질층에 사용하게 되면, 발광물질층의 HOMO(또는 가전자대) 에너지 준위를 상승시켜, 정공수송층과 발광물질층 사이의 HOMO 에너지 장벽을 제거하여 발광물질층으로의 정공 주입을 향상시킬 수 있다. 뿐만 아니라, 합성에 1 내지 합성에 5에서 합성된 유기 화합물은 발광물질층의 호스트로 사용하고, 무기 발광 재료를 도펀트(게스트)로 병용하는 경우, 엑시톤을 형성하기 위한 에너지 전달에 있어서 유리하게 작용할 수 있다는 것을 또한 확인하였다.

[0207] 실시예 1: 발광다이오드 제작

[0208] 합성에 2에 따라 합성된 H2 화합물을 발광물질층에 적용하여 발광다이오드를 제작하였다. ITO 기판의 발광 면적이 3 mm X 3 mm 크기가 되도록 patterning하고, 오존으로 세척하고 발광다이오드 제작에 사용하였다. ITO 기판을 발광물질층까지 용액 공정을 진행한 뒤, 그 상부에 전자수송층, 전자주입층 및 음극을 증착할 수 있도록 진공 챔버 내로 이송되었다. 증착 공정은 약 10^{-7} Torr 진공 하에 가열 보트로부터 증발에 의해 형성하였다. ITO 기판 상부의 발광층 및 음극은 다음과 같은 순서에 따라 적층하였다.

[0209] 정공주입층(HIL, PEDOT:PSS, 스핀 코팅(7000 rpm, 60초) 이후 170°C에서 30분 가열; 150 Å), 정공수송층(HTL, TFB in chlorobenzene(8 mg/ml), 스핀 코팅(4000 rpm, 45초) 이후 130°C에서 30분 가열; 200 Å), 발광물질층(EML, H2: InP/ZnSe/ZnS(1:1) in octane(25 mg/ml), 스핀 코팅(2000 rpm, 45초) 이후 70°C에서 60분 가열; 200 Å), 전자수송층(ETL, 2-phenyl-9-(3-(2-phenyl-1,10-phenanthroline-9-yl)phenyl)-1,10-phenanthroline, 0.6 Å/s at 300°C; 500 Å), 전자주입층(EIL, LiF, 12 Å), 음극(Al, 800 Å).

[0210] 증착 후 피막 형성을 위해 증착 챔버에서 건조 박스 내로 옮기고 후속적으로 UV 경화 에폭시 및 수분 게터를 사용하여 인캡슐레이션을 하였다. 이 발광다이오드는 9 mm²의 방출 영역을 갖는다.

[0211] 실시예 2: 발광다이오드 제작

[0212] 합성에 5에 따라 합성된 H5 화합물을 발광물질층에 적용한 것을 제외하고 실시예 1의 절차를 반복하여 발광다이오드를 제작하였다.

[0213] 비교예: 발광다이오드 제작

[0214] 발광물질층에 무기 발광 재료인 양자점(InP/ZnSe/ZnS)만을 사용한 것을 제외하고 실시예 1의 절차를 반복하여 발광다이오드를 제작하였다.

[0215] 실험예 2: 발광다이오드의 물성 평가

[0216] 실시예 1 내지 2와, 비교예에서 각각 제조된 발광다이오드를 외부 전력 공급원에 연결하고, 본 발명에서 제조된 모든 소자들의 EL 특성을 일정한 전류 공급원 (KEITHLEY) 및 광도계 PR 650 를 사용하여 실온에서 평가하였다. 구체적으로, 실시예 1 내지 2와, 비교예에서 각각 제작된 발광다이오드의 구동 전압, 최대 휘도에서 전압, 전류, 전류밀도(mA/cm²), 외부양자효율(external quantum efficiency, EQE), 휘도(cd/m²)를 측정하였으며, 전류밀도를 10 J(mA/cm²)로 고정한 상태에서 발광다이오드의 전압, EQE, 휘도 및 발광 파장에 대한 색 좌표(CIE_x, CIE_y), 최대 EL(EL Max, nm), 반치폭(full width at half maximum; FWHM, nm)을 측정하였다. 표 2는 각각의 발광다이오드에서 구동 전압 및 최대 휘도에서의 발광 특성을 나타내고, 표 3은 전류 밀도를 10 J로 설정한 상태에서 발광다이오드의 발광 특성을 나타낸다. 또한, 도 8과 도 9는 각각의 발광다이오드에 대한 전압-전류밀도와 전압-휘도 측정 결과를 나타낸다.

표 2

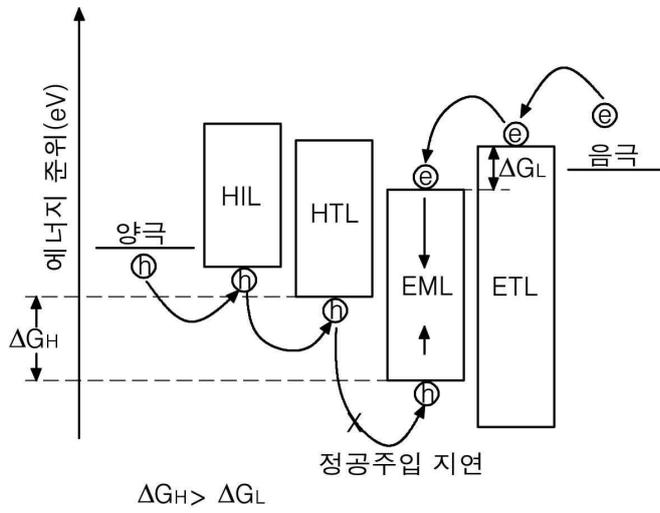
발광다이오드의 최대 휘도에서의 발광 특성

[0217]

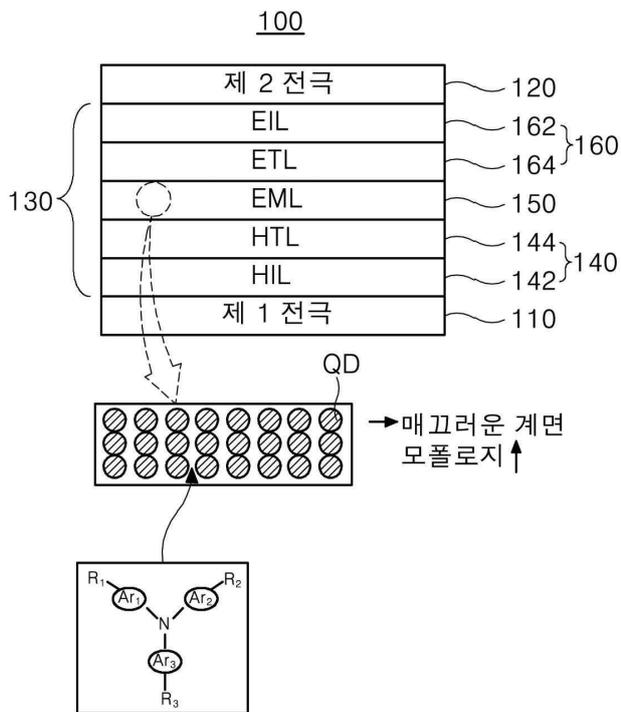
| 샘플 | 구동 전압 (V) | Max | | | | |
|-------|-----------|-----|------|------------------------|-----|-------------------|
| | | V | A | J(mA/cm ²) | EQE | cd/m ² |
| 비교예 | 5 | 7 | 0.04 | 513.2 | 1.2 | 4025 |
| 실시예 1 | 4 | 8 | 0.05 | 649.5 | 2.1 | 6626 |
| 실시예 2 | 4 | 7 | 0.03 | 340.2 | 3.0 | 6668 |

표 3

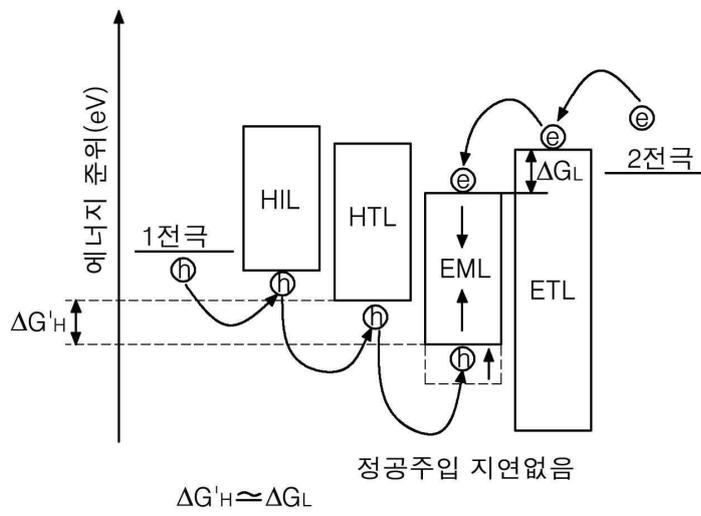
도면2



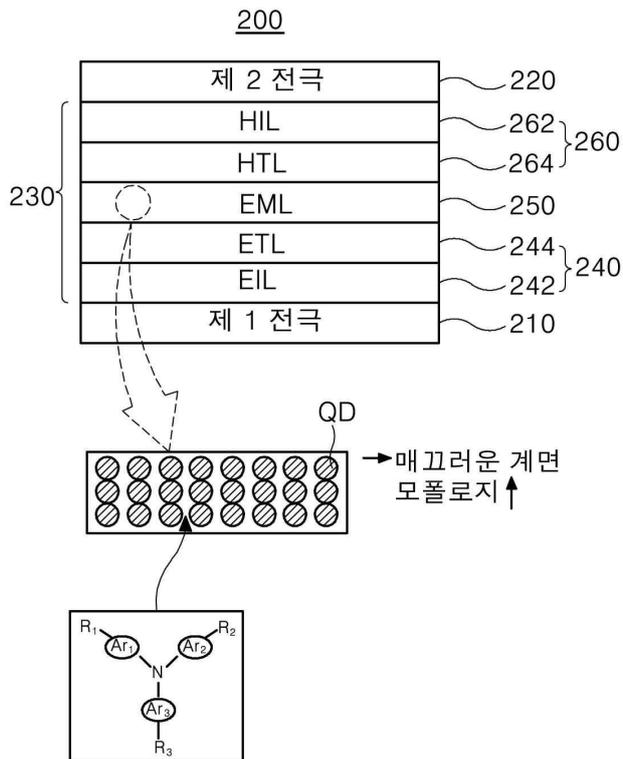
도면3



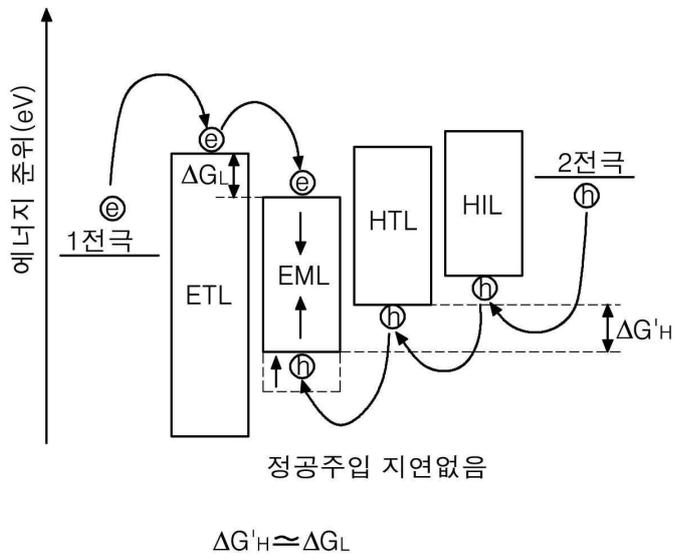
도면4



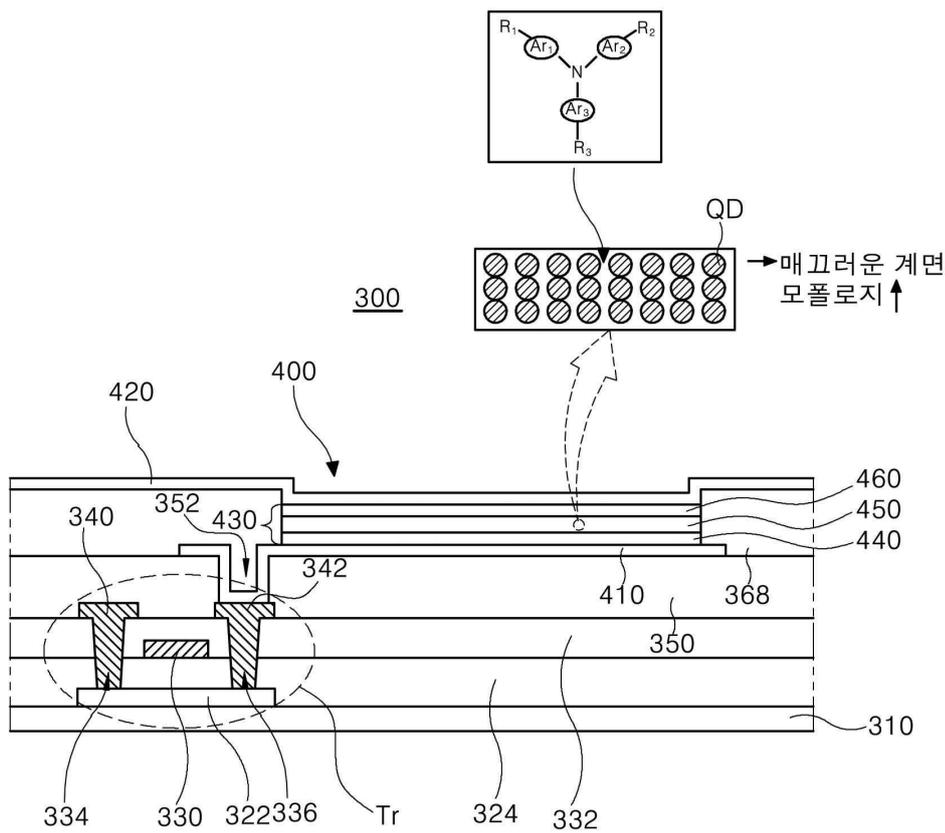
도면5



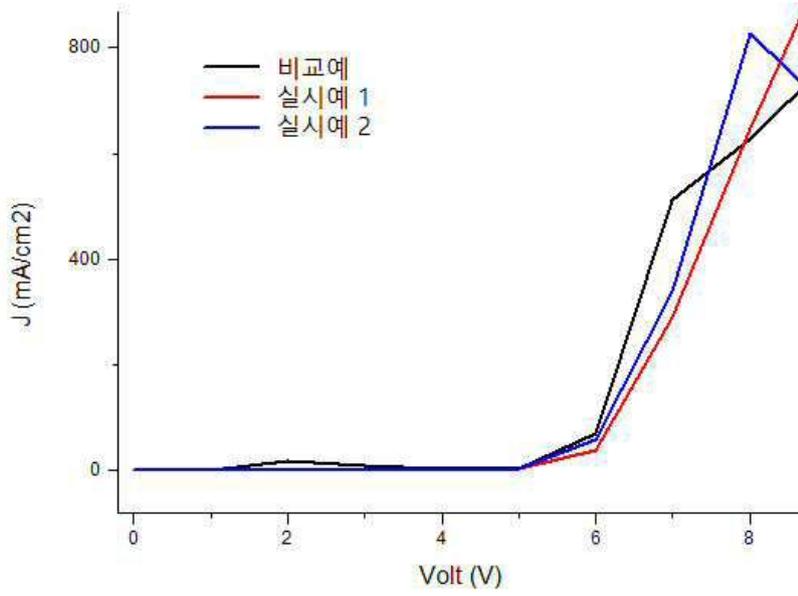
도면6



도면7



도면8



도면9

