



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2024년08월07일
(11) 등록번호 10-2692575
(24) 등록일자 2024년08월01일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
C09K 11/06 (2006.01) C07F 5/00 (2024.01)
H10K 50/00 (2023.01)
(52) CPC특허분류
C09K 11/06 (2022.01)
C07F 5/00 (2024.01)
(21) 출원번호 10-2016-0044256
(22) 출원일자 2016년04월11일
심사청구일자 2021년02월25일
(65) 공개번호 10-2017-0116630
(43) 공개일자 2017년10월20일
(56) 선행기술조사문헌
JP2008227330 A*
JP2014082377 A*
KR1020160008946 A*
*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

(73) 특허권자
삼성디스플레이 주식회사
경기도 용인시 기흥구 삼성로 1 (농서동)
(72) 발명자
김동찬
경기도 용인시 기흥구 삼성로 1 (농서동)
조윤형
경기도 용인시 기흥구 삼성로 1 (농서동)
(74) 대리인
리앤목특허법인
(뒷면에 계속)

전체 청구항 수 : 총 16 항

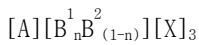
심사관 : 송이화

(54) 발명의 명칭 페로브스카이트 화합물, 이를 포함한 박막 및 이를 포함한 광전자 장치

(57) 요약

하기 화학식 1로 표시되는 페로브스카이트 화합물, 이를 포함한 박막 및 이를 포함한 광전자 장치가 개시된다. 화학식 1에 대한 설명은 발명의 상세한 설명을 참조한다.

<화학식 1>



대표도 - 도1

<u>10</u>
190
170
150
130
110

(52) CPC특허분류

H10K 50/115 (2023.02)

H10K 50/15 (2023.02)

H10K 50/16 (2023.02)

C09K 2211/18 (2013.01)

(72) 발명자

김원종

경기도 용인시 기흥구 삼성로 1 (농서동)

김응도

경기도 용인시 기흥구 삼성로 1 (농서동)

서동규

경기도 용인시 기흥구 삼성로 1 (농서동)

이종혁

경기도 용인시 기흥구 삼성로 1 (농서동)

이지혜

경기도 용인시 기흥구 삼성로 1 (농서동)

임상훈

경기도 용인시 기흥구 삼성로 1 (농서동)

한원석

경기도 용인시 기흥구 삼성로 1 (농서동)

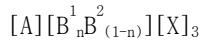
명세서

청구범위

청구항 1

하기 화학식 1로 표시된 페로브스카이트 (perovskite) 화합물:

<화학식 1>



상기 화학식 1 중

A는 $(R_1R_2R_3R_4N)^+$, $(R_1R_2R_3R_4P)^+$, $(R_1R_2R_3R_4As)^+$, $(R_1R_2R_3R_4Sb)^+$, $(R_1R_2N=C(R_3)-NR_4R_5)^+$, 치환 또는 비치환된 합질소 5원환의 1가 양이온, 치환 또는 비치환된 합질소 6원환의 1가 양이온, Li^+ , Na^+ , K^+ , Rb^+ , Cs^+ , Fr^+ 또는 이의 임의의 조합이고,

상기 R_1 내지 R_5 , 상기 치환된 합질소 5원환의 1가 양이온 중 치환기 및 상기 치환된 합질소 6원환의 1가 양이온 중 치환기는, 서로 독립적으로, 수소, 중수소, -F, -Cl, -Br, -I, 히드록실기, 치환 또는 비치환된 C_1-C_{60} 알킬기, 치환 또는 비치환된 C_2-C_{60} 알케닐기, 치환 또는 비치환된 C_2-C_{60} 알키닐기, 치환 또는 비치환된 C_1-C_{60} 알콕시기, 치환 또는 비치환된 C_6-C_{60} 아릴기 및 $-N(Q_1)(Q_2)(Q_3)$ 중에서 선택되고,

상기 Q_1 내지 Q_3 는 서로 독립적으로, 수소, 중수소, 히드록실기, C_1-C_{60} 알킬기, C_2-C_{60} 알케닐기, C_2-C_{60} 알키닐기, C_1-C_{60} 알콕시기 및 C_6-C_{60} 아릴기 중에서 선택되고,

B^1 은 Tm^{+2} 이온이고,

B^2 는 희토류 금속의 2가 양이온, 알칼리토 금속의 2가 양이온 또는 이의 임의의 조합이고, B^2 는 Tm^{+2} 이온을 비포함하고,

n은 $0.05 \leq n \leq 0.4$ 를 만족하는 실수이고,

X는 적어도 1종의 할라이드 음이온이다.

청구항 2

삭제

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 A가 $(R_1R_2R_3R_4N)^+$, $(R_1R_2R_3R_4P)^+$, $(R_1R_2R_3R_4As)^+$, $(R_1R_2R_3R_4Sb)^+$ 또는 이의 임의의 조합이고,

상기 R_1 내지 R_4 는 서로 독립적으로, 수소, 중수소, -F, -Cl, -Br, -I, 히드록실기, C_1-C_{20} 알킬기, C_1-C_{20} 알콕시기 및 $-N(Q_1)(Q_2)(Q_3)$ 중에서 선택되고,

상기 Q_1 내지 Q_3 는 서로 독립적으로, 수소, 중수소, 히드록실기, C_1-C_{20} 알킬기 및 C_1-C_{20} 알콕시기 중에서 선택된, 페로브스카이트 화합물.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 A가 $(\text{CH}_3\text{NH}_3)^+$, $(\text{C}_2\text{H}_6\text{PH}_2)^+$, $(\text{CH}_3\text{AsH}_3)^+$, $(\text{NH}_4)^+$, $(\text{CH}_3\text{SbH}_3)^+$, $(\text{PH}_4)^+$, $(\text{PF}_4)^+$, $(\text{CH}_3\text{PH}_3)^+$, $(\text{SbH}_4)^+$, $(\text{AsH}_4)^+$, $(\text{NCI}_4)^+$, $(\text{NH}_3\text{OH})^+$, $(\text{NH}_3\text{NH}_2)^+$, $(\text{CH}(\text{NH}_2)_2)^+$, $(\text{C}_3\text{N}_2\text{H}_5)^+$, $((\text{CH}_3)_2\text{NH}_2)^+$, $(\text{NC}_4\text{H}_8)^+$, $((\text{CH}_3\text{CH}_2)\text{NH}_3)^+$, $((\text{NH}_2)_3\text{C})^+$ 또는 이의 임의의 조합인, 페로브스카이트 화합물.

청구항 5

삭제

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 B²가 La⁺², Ce⁺², Pr⁺², Nd⁺², Pm⁺², Eu⁺², Gd⁺², Tb⁺², Ho⁺², Er⁺², Yb⁺², Lu⁺², Be⁺², Mg⁺², Ca⁺², Sr⁺², Ba⁺², Ra⁺² 또는 이의 임의의 조합인, 페로브스카이트 화합물.

청구항 7

제1항에 있어서,

상기 B²가 Eu⁺²인, 페로브스카이트 화합물.

청구항 8

삭제

청구항 9

제1항에 있어서,

상기 n이 $0.05 \leq n \leq 0.14$ 를 만족하는 실수이고, 청색광을 방출하거나;

상기 n이 $0.15 \leq n \leq 0.34$ 를 만족하는 실수이고, 녹색광을 방출하거나; 또는

상기 n이 $0.35 \leq n \leq 0.4$ 를 만족하는 실수이고, 적색광을 방출하는, 페로브스카이트 화합물.

청구항 10

삭제

청구항 11

제1항에 있어서,

상기 X가 I⁻인, 페로브스카이트 화합물.

청구항 12

제1항, 제3항, 제4항, 제6항, 제7항, 제9항 및 제11항 중 어느 한 항의 페로브스카이트 화합물을 포함한, 박막(thin layer).

청구항 13

제1항, 제3항, 제4항, 제6항, 제7항, 제9항 및 제11항 중 어느 한 항의 페로브스카이트 화합물을 포함한 광전자 장치(optoelectronic device).

청구항 14

제13항에 있어서,

상기 광전자 장치가, 광전변환 장치(photovoltaic device), 포토다이오드(photodiode), 포토트랜지스터(phototransistor), 광전자 증배관(photomultiplier), 광저항기(photo resistor), 광검출기(photo detector),

감광성 검출기(light sensitive detector), 고상 3극관(solid-state triode), 배터리 전극, 발광 장치(light emitting device), 발광 소자(light emitting diode), 트랜지스터, 태양 전지, 레이저, 또는 다이오드 주입 레이저(diode injection laser)인, 광전자 장치.

청구항 15

제13항에 있어서,
 상기 광전자 장치가 발광 소자이고,
 상기 발광 소자는,
 제1전극;
 상기 제1전극에 대향된 제2전극; 및
 상기 제1전극과 제2전극 사이에 배치된 발광층;
 을 포함하고,
 상기 페로브스카이트 화합물은 상기 발광층에 포함되어 있는, 광전자 장치.

청구항 16

제15항에 있어서,
 상기 제1전극과 상기 발광층 사이에 배치된 정공 수송 영역 및 상기 발광층과 상기 제2전극 사이에 배치된 전자 수송 영역 중 적어도 하나를 더 포함하고,
 상기 정공 수송 영역 및 전자 수송 영역 중 적어도 하나는, 서로 독립적으로, 금속 할로겐화물, 금속 산화물, 금속 갈코게나이드, 금속 셀레나이드, 또는 이의 임의의 조합을 포함한, 광전자 장치.

청구항 17

제15항에 있어서,
 상기 제1전극과 상기 발광층 사이에 배치된 정공 수송 영역 및 상기 발광층과 상기 제2전극 사이에 배치된 전자 수송 영역 중 적어도 하나를 더 포함하고,
 상기 정공 수송 영역 및 전자 수송 영역 중 적어도 하나는, 서로 독립적으로, IV족 화합물 반도체, III-V족 반도체, II-VI족 반도체, I-VII족 반도체, IV-VI족 반도체, V-VI족 반도체, II-V족 반도체, 3원(ternary) 또는 4원(quaternary) 반도체, 또는 이의 임의의 조합을 포함한, 광전자 장치.

청구항 18

제15항에 있어서,
 상기 제1전극과 상기 발광층 사이에 배치된 정공 수송 영역 및 상기 발광층과 상기 제2전극 사이에 배치된 전자 수송 영역 중 적어도 하나를 더 포함하고,
 상기 정공 수송 영역은 아민계 화합물을 포함하거나,
 상기 전자 수송 영역은, π 전자 결핍성 합질소 고리를 적어도 하나 포함한 금속-비함유 화합물을 포함한, 광전자 장치.

청구항 19

제15항에 있어서,
 상기 발광층과 상기 제2전극 사이에 배치된 전자 수송 영역을 더 포함하고,
 상기 전자 수송 영역은 전자 주입층을 포함하고,
 상기 전자 주입층은 알칼리 금속, 알칼리 토금속, 희토류 금속, 알칼리 금속 화합물, 알칼리 토금속 화합물, 희토류 금속 화합물, 알칼리 금속 착체, 알칼리 토금속 착체, 희토류 금속 착체 또는 이들 중 임의의 조합을 포함

한, 광전자 장치.

청구항 20

제13항에 있어서,

상기 광전자 장치가 발광 소자이고,

상기 발광 소자는,

제1전극;

상기 제1전극에 대향된 제2전극;

상기 제1전극과 제2전극 사이에 배치된 발광층; 및

상기 제1전극과 상기 발광층 사이에 배치된 정공 수송 영역 및 상기 발광층과 상기 제2전극 사이에 개재된 전자 수송 영역 중 적어도 하나;

을 포함하고,

상기 페로브스카이트 화합물은 상기 정공 수송 영역 및 상기 전자 수송 영역 중 적어도 하나에 포함되어 있는, 광전자 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 페로브스카이트 화합물, 이를 포함한 박막 및 이를 포함한 광전자 장치에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 페로브스카이트 화합물은 CaTiO_3 의 결정 구조와 관련된 3차원 결정 구조를 갖는 물질의 통칭으로서, 다양한 전자 장치에 사용될 수 있다.

[0003] 상기 페로브스카이트 화합물은 광전자 장치의 발광 재료, 전극 재료, 감광성 재료, 흡광 재료 등으로 사용될 수 있다.

[0004] 그러나, 종래의 페로브스카이트 화합물로는 고효율 및 장수명을 갖는 광전자 장치 구현에 한계가 있는 바, 이의 개선이 필요하다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 고품위의 광전자 장치를 구현할 수 있는 신규 페로브스카이트 화합물을 제공하고, 상기 페로브스카이트 화합물을 채용한 박막 및 광전자 장치를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0006] 일 측면에 따르면,

[0007] 하기 화학식 1로 표시된 페로브스카이트 화합물이 제공된다:

[0008] <화학식 1>



[0010] 상기 화학식 1 중

[0011] A는 적어도 1종의 1가 유기-양이온(at least one monovalent organic-cation), 1가 무기-양이온 또는 이의 임의의 조합(any combination thereof)이고,

- [0012] B^1 은 Tm^{+2} 이온이고,
- [0013] B^2 는 적어도 1종의 2가 무기-양이온이고, B^2 는 Tm^{+2} 이온을 비포함하고,
- [0014] n 은 $0 < n \leq 1$ 을 만족하는 실수이고,
- [0015] X 는 적어도 1종의 1가 음이온이다.
- [0016] 다른 측면에 따르면, 상기 페로브스카이트 화합물을 포함한 박막이 제공된다.
- [0017] 또 다른 측면에 따르면, 상기 페로브스카이트 화합물을 포함한 광전자 장치가 제공된다.

발명의 효과

- [0018] 상기 페로브스카이트 화합물 및/또는 상기 페로브스카이트 화합물을 채용한 박막을 구비한 광전자 장치는 고효율 및/또는 장수명을 가질 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0019] 도 1은 상기 광전자 장치의 일 구현예인 발광 소자(10)의 구조를 개략적으로 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0020] 상기 페로브스카이트 화합물은 하기 화학식 1로 표시된다:
- [0021] <화학식 1>
- [0022] $[A][B_n^1 B_{(1-n)}^2][X]_3$
- [0023] 상기 화학식 1 중 A는 적어도 1종의 1가 유기-양이온(at least one monovalent organic-cation), 1가 무기-양이온 또는 이의 임의의 조합(any combination thereof)일 수 있다.
- [0024] 예를 들어, 상기 A는 i) 1종의 1가 유기-양이온이거나, ii) 1종의 1가 무기-양이온이거나, iii) 서로 상이한 2종 이상의 1가 유기-양이온의 조합이거나, iv) 서로 상이한 2종 이상의 1가 무기-양이온의 조합이거나, 또는 v) 1가 유기-양이온과 1가-무기-양이온의 조합일 수 있다.
- [0025] 일 구현예에 따르면, 상기 화학식 1 중 A는 $(R_1R_2R_3R_4N)^+$, $(R_1R_2R_3R_4P)^+$, $(R_1R_2R_3R_4As)^+$, $(R_1R_2R_3R_4Sb)^+$, $(R_1R_2N=C(R_3)-NR_4R_5)^+$, 치환 또는 비치환된 함질소 5원환의 1가 양이온, 치환 또는 비치환된 함질소 6원환의 1가 양이온, Li^+ , Na^+ , K^+ , Rb^+ , Cs^+ , Fr^+ 또는 이의 임의의 조합이고,
- [0026] 상기 R_1 내지 R_5 , 상기 치환된 함질소 5원환의 1가 양이온 중 치환기 및 상기 치환된 함질소 6원환의 1가 양이온 중 치환기는, 서로 독립적으로, 수소, 중수소, -F, -Cl, -Br, -I, 히드록실기, 치환 또는 비치환된 C_1-C_{60} 알킬기, 치환 또는 비치환된 C_2-C_{60} 알케닐기, 치환 또는 비치환된 C_2-C_{60} 알키닐기, 치환 또는 비치환된 C_1-C_{60} 알콕시기, 치환 또는 비치환된 C_6-C_{60} 아릴기 및 $-N(Q_1)(Q_2)(Q_3)$ 중에서 선택되고,
- [0027] 상기 Q_1 내지 Q_3 는 서로 독립적으로, 수소, 중수소, 히드록실기, C_1-C_{60} 알킬기, C_2-C_{60} 알케닐기, C_2-C_{60} 알키닐기, C_1-C_{60} 알콕시기 및 C_6-C_{60} 아릴기 중에서 선택될 수 있다.
- [0028] 상기 "함질소 5원환" 및 "함질소 6원환"은 고리 구성 원자로서 적어도 하나의 N 및 적어도 하나의 C를 포함한 유기 시클릭 그룹을 의미한다. 예를 들어, 상기 "함질소 5원환"는, 이미다졸, 피라졸, 티아졸, 옥사졸, 피롤리딘, 피롤린, 피롤 또는 트리아졸일 수 있고, 상기 "함질소 6원환"은 피리딘, 피리다진, 피리미딘, 피라진 또는 피페리딘일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0029] 예를 들어, 상기 화학식 1 중 A는 $(R_1R_2R_3R_4N)^+$, $(R_1R_2R_3R_4P)^+$, $(R_1R_2R_3R_4As)^+$, $(R_1R_2R_3R_4Sb)^+$, $(R_1R_2N=C(R_3)-NR_4R_5)^+$, 치환 또는 비치환된 이미다졸륨(imidazolium), 치환 또는 비치환된 피리디늄(pyridinium), 치환 또는 비치환된 피리다지늄, 치환 또는 비치환된 피리미디늄, 치환 또는 비치환된 피라지늄, 치환 또는 비치환된 피라졸륨, 치

환 또는 비치환된 티아졸륨, 치환 또는 비치환된 옥사졸륨, 치환 또는 비치환된 피페리디늄, 치환 또는 비치환된 피롤리디늄(pyrrolidinium), 치환 또는 비치환된 피롤리늄(pyrrolinium), 치환 또는 비치환된 피롤륨(pyrrolium) 및 치환 또는 비치환된 트리아졸륨, Li^+ , Na^+ , K^+ , Rb^+ , Cs^+ , Fr^+ 또는 이의 임의의 조합이고,

- [0030] 상기 R_1 내지 R_5 , 상기 치환된 이미다졸륨의 치환기, 상기 치환된 피리디늄의 치환기, 상기 치환된 피리다지늄의 치환기, 상기 치환된 피리미디늄의 치환기, 상기 치환된 피라지늄의 치환기, 상기 치환된 피라졸륨의 치환기, 상기 치환된 티아졸륨의 치환기, 상기 치환된 옥사졸륨의 치환기, 상기 치환된 피페리디늄의 치환기, 상기 치환된 피롤리디늄의 치환기, 상기 치환된 피롤리늄의 치환기, 상기 치환된 피롤륨의 치환기 및 상기 치환된 트리아졸륨의 치환기는 서로 독립적으로,
- [0031] 수소, 중수소, -F, -Cl, -Br, -I, 히드록실기, C_1 - C_{20} 알킬기 및 C_1 - C_{20} 알콕시기;
- [0032] 중수소, -F, -Cl, -Br, -I 및 히드록실기 중에서 선택된 적어도 하나로 치환된, C_1 - C_{20} 알킬기 및 C_1 - C_{20} 알콕시기;
- [0033] 페닐기, 나프틸기, 비페닐기 및 터페닐기;
- [0034] 중수소, -F, -Cl, -Br, -I, 히드록실기, C_1 - C_{20} 알킬기 및 C_1 - C_{20} 알콕시기 중에서 선택된 적어도 하나로 치환된, 페닐기, 나프틸기, 비페닐기 및 터페닐기; 및
- [0035] $-\text{N}(\text{Q}_1)(\text{Q}_2)(\text{Q}_3)$;
- [0036] 중에서 선택되고,
- [0037] 상기 Q_1 내지 Q_3 는 서로 독립적으로, 수소, 중수소, 히드록실기, C_1 - C_{20} 알킬기, C_1 - C_{20} 알콕시기, 페닐기, 나프틸기, 비페닐기 및 터페닐기 중에서 선택될 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0038] 또 다른 구현예에 따르면, 상기 화학식 1 중 A는 $(\text{R}_1\text{R}_2\text{R}_3\text{R}_4\text{N})^+$, $(\text{R}_1\text{R}_2\text{R}_3\text{R}_4\text{P})^+$, $(\text{R}_1\text{R}_2\text{R}_3\text{R}_4\text{As})^+$, $(\text{R}_1\text{R}_2\text{R}_3\text{R}_4\text{Sb})^+$ 또는 이의 임의의 조합이고,
- [0039] 상기 R_1 내지 R_4 는 서로 독립적으로, 수소, 중수소, -F, -Cl, -Br, -I, 히드록실기, C_1 - C_{20} 알킬기, C_1 - C_{20} 알콕시기 및 $-\text{N}(\text{Q}_1)(\text{Q}_2)(\text{Q}_3)$ 중에서 선택되고,
- [0040] 상기 Q_1 내지 Q_3 는 서로 독립적으로, 수소, 중수소, 히드록실기, C_1 - C_{20} 알킬기 및 C_1 - C_{20} 알콕시기 중에서 선택될 수 있다.
- [0041] 또 다른 구현예에 따르면, 상기 화학식 1 중 A는 $(\text{R}_1\text{R}_2\text{R}_3\text{R}_4\text{N})^+$ 일 수 있다.
- [0042] 또 다른 구현예에 따르면, 상기 화학식 1 중 A는 $(\text{CH}_3\text{NH}_3)^+$, $(\text{C}_2\text{H}_6\text{PH}_2)^+$, $(\text{CH}_3\text{AsH}_3)^+$, $(\text{NH}_4)^+$, $(\text{CH}_3\text{SbH}_3)^+$, $(\text{PH}_4)^+$, $(\text{PF}_4)^+$, $(\text{CH}_3\text{PH}_3)^+$, $(\text{SbH}_4)^+$, $(\text{AsH}_4)^+$, $(\text{NCI}_4)^+$, $(\text{NH}_3\text{OH})^+$, $(\text{NH}_3\text{NH}_2)^+$, $(\text{CH}(\text{NH}_2)_2)^+$, $(\text{C}_3\text{N}_2\text{H}_5)^+$, $((\text{CH}_3)_2\text{NH}_2)^+$, $(\text{NC}_4\text{H}_8)^+$, $((\text{CH}_3\text{CH}_2)\text{NH}_3)^+$, $((\text{NH}_2)_3\text{C})^+$ 또는 이의 임의의 조합일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0043] 상기 화학식 1 중 B^1 은 Tm^{+2} 이온이다.
- [0044] 상기 화학식 1 중 B^2 는 적어도 1종의 2가 무기-양이온이고, B^2 는 Tm^{+2} 이온을 비포함한다.
- [0045] 예를 들어, 상기 화학식 1 중 B^2 는 i) 1종의 2가 무기-양이온이거나, ii) 서로 상이한 2종 이상의 무기-양이온의 조합일 수 있다.
- [0046] 일 구현예에 따르면, 상기 화학식 1 중 B^2 는 희토류 금속의 2가 양이온, 알칼리토 금속의 2가 양이온 또는 이의 임의의 조합일 수 있다.
- [0047] 다른 구현예에 따르면, 상기 화학식 1 중 B^2 는 La^{+2} , Ce^{+2} , Pr^{+2} , Nd^{+2} , Pm^{+2} , Eu^{+2} , Gd^{+2} , Tb^{+2} , Ho^{+2} , Er^{+2} , Yb^{+2} , Lu^{+2} , Be^{+2} , Mg^{+2} , Ca^{+2} , Sr^{+2} , Ba^{+2} , Ra^{+2} 또는 이의 임의의 조합일 수 있다.

- [0048] 또 다른 구현예에 따르면, 상기 화학식 1 중 B^2 는 Eu^{+2} 일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0049] 상기 화학식 1 중 n 은 $0 < n \leq 1$ 을 만족하는 실수이다. 즉, 상기 화학식 1 중 n 은 0이 아니므로, 상기 화학식 1로 표시되는 페로브스카이트 화합물은 Tm^{+2} 를 반드시 포함한다.
- [0050] 일 구현예에 따르면, 상기 화학식 1 중 n 은 $0 < n \leq 0.6$ 를 만족하는 실수, 예를 들면, $0.001 \leq n \leq 0.6$ 를 만족하는 실수, 또 다른 예로서, $0.05 \leq n \leq 0.4$ 를 만족하는 실수일 수 있다. 화학식 1 중 n 이 상술한 바와 같은 범위를 만족할 경우, 상기 페로브스카이트 화합물을 채용한 광전자 장치, 예를 들면, 상기 페로브스카이트 화합물을 채용한 발광 소자는 가시 광선 영역의 광을 효과적으로 방출할 수 있다.
- [0051] 다른 구현예에 따르면, 상기 화학식 1 중 n 의 범위를 조절함으로써, 상기 페로브스카이트 화합물로부터의 발광 컬러 조절이 가능할 수 있다.
- [0052] 예를 들어, i) 상기 화학식 1 중 n 은 $0.01 \leq n \leq 0.14$ 를 만족하는 실수이고, 페로브스카이트 화합물은 청색광을 방출할 수 있거나, ii) 상기 화학식 1 중 n 은 $0.15 \leq n \leq 0.34$ 를 만족하는 실수이고, 상기 페로브스카이트 화합물은 녹색광을 방출할 수 있거나, 또는 iii) 상기 화학식 1 중 n 은 $0.35 \leq n \leq 0.5$ 를 만족하는 실수이고, 페로브스카이트 화합물은 적색광을 방출할 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0053] 상기 화학식 1 중 X 는 적어도 1종의 1가 음이온일 수 있다.
- [0054] 예를 들어, 상기 화학식 1 중 X 는 i) 1종의 1가 음이온이거나, 또는 ii) 서로 상이한 2종 이상의 1가 음이온의 조합일 수 있다.
- [0055] 일 구현예에 따르면, 상기 화학식 1 중 X 는 적어도 1종의 할라이드 음이온(예를 들면, F^- , Cl^- , Br^- , I^-)일 수 있다.
- [0056] 예를 들어, 상기 화학식 1 중 X 는 i) 1종의 할라이드 음이온이거나, 또는 ii) 서로 상이한 2종 이상의 할라이드 음이온의 조합일 수 있다.
- [0057] 다른 구현예에 따르면, 상기 화학식 1 중 X 는 I^- 일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0058] 상기 화학식 1로 표시되는 페로브스카이트 화합물은, 4eV 이하의 에너지 밴드갭을 가질 수 있다.
- [0059] 상기 화학식 1 중 n 은 0이 아니다. 즉, 상기 화학식 1로 표시되는 페로브스카이트 화합물은 Tm^{+2} 를 반드시 포함한다. 이로써, 상기 화학식 1로 표시되는 페로브스카이트 화합물의 Goldschmidt's tolerance factor (페로브스카이트의 구조 지표)는 실질적으로 약 1이 될 수 있다. 특정 이론에 의하여 한정되려는 것은 아니나, $(\text{CH}_3\text{NH}_3)\text{EuI}_3$ 의 tolerance factor는 약 0.917이고, $(\text{CH}_3\text{NH}_3)\text{TmI}_3$ 의 tolerance factor는 약 0.957인 바, 상기 화학식 1로 표시되는 페로브스카이트 화합물은 높은 구조적 안정성을 가질 수 있다.
- [0060] 따라서, 예를 들어, 상기 화학식 1로 표시되는 페로브스카이트 화합물을 채용한 박막은 높은 양자 효율(PLQY) 및 좁은 반치폭(FWHM)을 가질 수 있고, 상기 화학식 1로 표시되는 페로브스카이트 화합물을 채용한 광전자 장치(예를 들면, 발광 소자, 태양 전지 등)는 우수한 효율(외부 양자 효율, 광효율 등) 및 /또는 장수명을 가질 수 있다.
- [0061] 다른 측면에 따르면, 상기 화학식 1로 표시되는 페로브스카이트 화합물을 포함한, 박막(thin layer)이 제공된다.
- [0062] 상기 박막에 포함된 페로브스카이트 화합물에 대한 설명은 본 명세서에 기재된 바를 참조한다.
- [0063] 상기 박막은, 소정의 기판(예를 들면, 상기 박막이 형성될 영역) 상에 A-함유 전구체, B^1 -함유 전구체 및 B^2 -함유 전구체를 제공 및 열처리하여, 상기 화학식 1로 표시된 페로브스카이트 화합물을 포함한 박막을 형성함으로써, 제조될 수 있다.
- [0064] 상기 A-함유 전구체, B^1 -함유 전구체 및 B^2 -함유 전구체 중 A, B^1 및 B^2 에 대한 설명은 각각, 본 명세서 중 화학식 1에 대한 설명 중 A, B^1 및 B^2 에 대한 설명을 참조한다.
- [0065] 상기 A-함유 전구체는 A의 할로겐화물(예를 들면, $(\text{A})(\text{X}^1)$) 중에서 선택되고, 상기 B^1 -함유 전구체는 B^1 의 할로

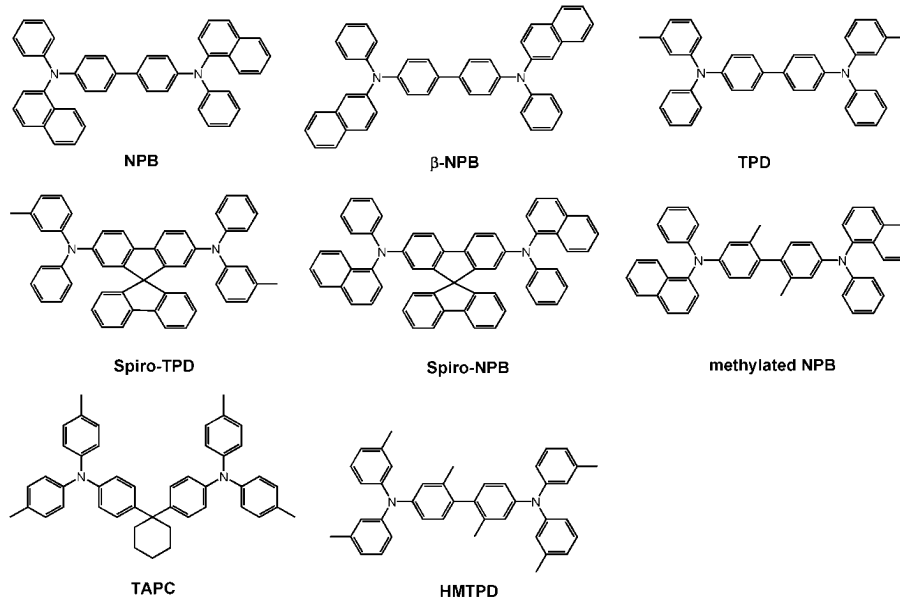
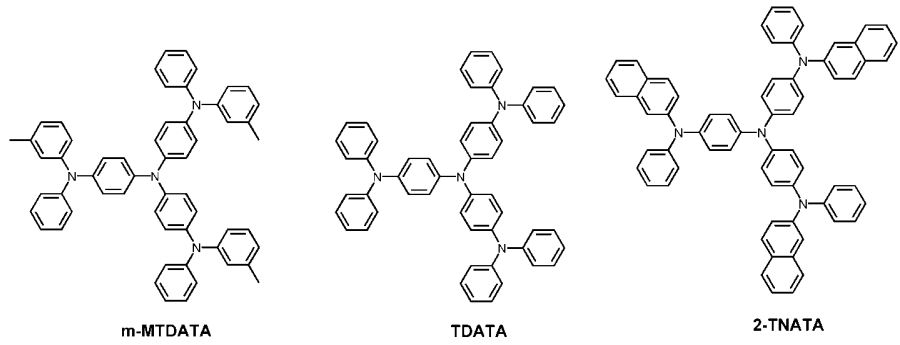
겐화물(예를 들면, $(B^1)(X^2)_2$) 중에서 선택되고, 상기 B^2 -함유 전구체는 B^2 의 할로겐화물(예를 들면, $(B^2)(X^3)_2$) 중에서 선택될 수 있다. 상기 $(A)(X^1)$, $(B^1)(X^2)_2$ 및 $(B^2)(X^3)_2$ 중 A, B^1 및 B^2 에 대한 설명은 본 명세서에 기재된 바를 참조하고, X^1 내지 X^3 는 서로 독립적으로, F^- , Cl^- , Br^- 및 I^- 중에서 선택될 수 있다.

- [0066] 일 구현예에 따르면, 상기 A-함유 전구체는 CH_3NH_3I 일 수 있고, 상기 B^1 -함유 전구체는 TmI_2 일 수 있고, B^2 -함유 전구체는 EuI_2 일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0067] 일 구현예에 따르면, 상기 화학식 1로 표시되는 페로브스카이트 화합물을 포함한 박막은, 소정의 기판 상에 A-함유 전구체, B^1 -함유 전구체 및 B^2 -함유 전구체를 제공하면서, 동시에, 열처리하여, 상기 화학식 1로 표시된 페로브스카이트 화합물을 포함한 박막을 형성(즉, 원-스텝 방법)함으로써, 제조될 수 있다.
- [0068] 다른 구현예에 따르면, 상기 화학식 1로 표시되는 페로브스카이트 화합물을 포함한 박막은, 소정의 기판 상에 A-함유 전구체, B^1 -함유 전구체 및 B^2 -함유 전구체를 제공하여 전구체-함유막을 형성한 다음, 이어서, 상기 전구체-함유막을 열처리하여, 상기 화학식 1로 표시된 페로브스카이트 화합물을 포함한 박막을 형성(즉, 투-스텝 방법)함으로써, 제조될 수 있다.
- [0069] 상기 박막 제조 방법 중 열처리 조건은 상기 A-전구체 중 A가 1가 무기-양이온을 포함하는지 여부에 따라 상이한 조건에서 선택될 수 있다.
- [0070] 예를 들어, i) 상기 A가 1가 무기-양이온을 비포함할 경우, 상기 박막 제조 방법 중 열처리 조건은 15분 내지 1시간의 시간 범위 및 100℃ 내지 400℃의 온도 범위 중에서 선택될 수 있고, ii) 상기 A가 1가 무기-양이온을 포함할 경우, 상기 박막 제조 방법의 열처리 조건은 2시간 내지 48시간의 시간 범위 및 400℃ 내지 800℃의 온도 범위 중에서 선택될 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0071] 이와는 별개로, 상기 화학식 1로 표시되는 페로브스카이트 화합물을 포함한 박막은, 상기 화학식 1로 표시되는 페로브스카이트 화합물을 포함한 혼합물을 소정의 기판 상에 제공한 다음, 이를 열처리함으로써 제조될 수 있는 등, 다양한 변형예가 가능하다.
- [0072] 또 다른 측면에 따르면, 상기 화학식 1로 표시되는 페로브스카이트 화합물을 포함한 광전자 장치(optoelectronic device)가 제공된다.
- [0073] 상기 광전자 장치는, 광전변환 장치(photovoltaic device), 포토다이오드(photodiode), 포토트랜지스터(phototransistor), 광전자 증배관(photomultiplier), 광저항기(photo resistor), 광검출기(photo detector), 감광성 검출기(light sensitive detector), 고상 3극관(solid-state triode), 배터리 전극, 발광 장치(light emitting device), 발광 소자(light emitting diode), 트랜지스터, 태양 전지, 레이저, 또는 다이오드 주입 레이저(diode injection laser)일 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0074] 상기 페로브스카이트 화합물은 상기 광전자 장치의 발광 재료(예를 들면, 발광층을 구비한 발광 소자의 발광 재료로 사용될 수 있음), 전하 수송 재료(예를 들면, 정공 수송 영역을 구비한 발광 소자의 정공 수송층 재료로 사용될 수 있음), 전극 재료, 감광성 재료, 광흡수 재료(예를 들면, 태양 전지의 활성층 재료로 사용될 수 있음), 광변환 재료(예를 들면, 발광 소자가 컬러 필터를 포함할 경우, 컬러 필터 재료로 사용될 수 있음) 등으로 사용될 수 있다.
- [0075] 일 구현예에 따르면, 상기 광전자 장치는 발광 소자이고,
- [0076] 상기 발광 소자는, 제1전극; 상기 제1전극에 대향된 제2전극; 및 상기 제1전극과 제2전극 사이에 배치된 발광층;을 포함하고,
- [0077] 상기 페로브스카이트 화합물은 상기 발광층에 포함되어 있을 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0078] 상기 발광 소자는 상기 제1전극과 상기 발광층 사이에 배치된 정공 수송 영역 및 상기 발광층과 상기 제2전극 사이에 배치된 전자 수송 영역 중 적어도 하나를 더 포함할 수 있다.
- [0079] 상기 발광 소자의 정공 수송 영역 및 전자 수송 영역 중 적어도 하나는, 무기물을 포함할 수 있다.
- [0080] 예를 들어, 상기 발광 소자의 정공 수송 영역 및 전자 수송 영역 중 적어도 하나는, 서로 독립적으로, 금속 할

로겐화물, 금속 산화물, 금속 칼코게나이드, 금속 셀레나이드, 또는 이의 임의의 조합을 포함할 수 있다.

- [0081] 또는, 상기 발광 소자의 정공 수송 영역 및 전자 수송 영역 중 적어도 하나는, 서로 독립적으로,
- [0082] IV족 화합물 반도체 (예를 들면, 실리콘 카바이드);
- [0083] III-V족 반도체 (예를 들면, 갈륨 아세나이드);
- [0084] II-VI족 반도체 (예를 들면, 카드뮴 셀레나이드);
- [0085] I-VII족 반도체 (예를 들면, 구리(I) 클로라이드 또는 CuI);
- [0086] IV-VI족 반도체 (예를 들면, 납 셀레나이드);
- [0087] V-VI족 반도체 (예를 들면, 비스무트 텔루라이드);
- [0088] II-V족 반도체 (예를 들면, 카드뮴 아세나이드);
- [0089] 3원(ternary) 또는 4원(quaternary) 반도체 (예를 들어, 구리 인듐 셀레나이드, 구리 인듐 갈륨 디셀레나이드, 구리 아연 주석 술피드 또는 구리 아연 주석 술피드 셀레나이드 (CZTSSe)); 또는
- [0090] 이의 임의의 조합;
- [0091] 을 포함할 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0092] 예를 들어, 상기 발광 소자의 정공 수송 영역 및 전자 수송 영역 중 적어도 하나는, 서로 독립적으로,
- [0093] 티타늄, 니오븀, 주석, 아연, 카드뮴, 구리, 납, 또는 이의 임의의 조합(예를 들면, 합금 등)의 산화물;
- [0094] 안티몬, 구리, 아연, 철, 비스무트 또는 이의 임의의 조합(예를 들면, 합금 등)의 칼코게나이드(예를 들면, 구리 술피드 또는 철 술피드);
- [0095] 구리 아연 주석 칼코게나이드(예를 들면, Cu_2ZnSnS_4 (CZTS)와 같은 구리 아연 주석 술피드 및 $Cu_2ZnSn(S_{1-x}Se_x)_4$ (CZTSSe)와 같은 구리 아연 주석 황-셀레나이드);
- [0096] 구리 인듐 셀레나이드 (CIS)와 같은 구리 인듐 칼코게나이드;
- [0097] 구리 인듐 갈륨 셀레나이드 ($CuIn_{1-x}Ga_xSe_2$) (CIGS)와 같은 구리 인듐 갈륨 셀레나이드;
- [0098] 구리 인듐 갈륨 디셀레나이드; 또는
- [0099] 이의 임의의 조합;
- [0100] 을 포함할 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다. 상기 x는 0보다 크고 1 이하인 실수 중에서 선택될 수 있다.
- [0101] 또는, 상기 정공 수송 영역 및 전자 수송 영역 중 적어도 하나는, 유기물을 포함할 수 있다.
- [0102] 일 구현예에 따르면, 상기 정공 수송 영역은 아민계 화합물을 포함하거나, 상기 전자 수송 영역은, π 전자 결핍성 함질소 고리를 적어도 하나 포함한 금속-비함유 화합물을 포함할 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0103] 상기 정공 수송 영역 및 전자 수송 영역에 포함될 수 있는 유기물 및 추가 재료에 대한 설명은 후술하는 바를 참조한다.
- [0104] 다른 측면에 따르면, 상기 광전자 장치는 발광 소자이고,
- [0105] 상기 발광 소자는, 제1전극; 상기 제1전극에 대향된 제2전극; 상기 제1전극과 제2전극 사이에 배치된 발광층; 및 상기 제1전극과 상기 발광층 사이에 배치된 정공 수송 영역 및 상기 발광층과 상기 제2전극 사이에 개재된 전자 수송 영역 중 적어도 하나;를 포함하고,
- [0106] 상기 페로브스카이트 화합물은 상기 정공 수송 영역 및 상기 전자 수송 영역 중 적어도 하나에 포함될 수 있다.
- [0107] 상기 발광 소자는, 상기 정공 수송 영역 및 전자 수송 영역 외에, 상기 발광층에도 상기 페로브스카이트 화합물을 추가로 포함할 수 있는 등 다양한 변형이 가능하다.

- [0108] [도 1에 대한 설명]
- [0109] 도 1은 상기 광전자 장치의 일 구현예인 발광 소자(10)의 일구현예의 단면도를 개략적으로 도시한 것이다. 상기 발광 소자(10)는 제1전극(110), 정공 수송 영역(130), 유기층(150), 전자 수송 영역(170) 및 제2전극(190)을 포함한다.
- [0110] 이하, 도 1을 참조하여 본 발명의 일 구현예를 따르는 발광 소자(10)의 구조 및 제조 방법을 설명하면 다음과 같다.
- [0111] [제1전극(110)]
- [0112] 도 1의 제1전극(110)의 하부 또는 제2전극(190)의 상부에는 기관이 추가로 배치될 수 있다. 상기 기관으로는, 기계적 강도, 열안정성, 투명성, 표면 평활성, 취급 용이성 및 방수성이 우수한 유리 기관 또는 플라스틱 기관을 사용할 수 있다.
- [0113] 상기 제1전극(110)은, 예를 들면, 기관 상부에, 제1전극용 물질을 증착법 또는 스퍼터링법 등을 이용하여 제공 함으로써 형성될 수 있다. 상기 제1전극(110)이 애노드일 경우, 정공 주입이 용이하도록, 제1전극용 물질은, 높은 일함수를 갖는 물질 중에서 선택될 수 있다.
- [0114] 상기 제1전극(110)은 반사형 전극, 반투과형 전극 또는 투과형 전극일 수 있다. 투과형 전극인 제1전극(110)을 형성하기 위하여, 제1전극용 물질은, 산화인듐주석(ITO), 산화인듐아연(IZO), 산화주석(SnO₂), 산화아연(ZnO) 및 이의 임의의 조합 중에서 선택될 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다. 또는, 반투과형 전극 또는 반사형 전극인 제1전극(110)을 형성하기 위하여, 제1전극용 물질은, 마그네슘(Mg), 은(Ag), 알루미늄(Al), 알루미늄-리튬(Al-Li), 칼슘(Ca), 마그네슘-인듐(Mg-In), 마그네슘-은(Mg-Ag) 및 이의 임의의 조합 중에서 선택될 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0115] 상기 제1전극(110)은 단일층인 단층 구조 또는 복수의 층을 갖는 다층 구조를 가질 수 있다. 예를 들어, 상기 제1전극(110)은 ITO/Ag/ITO의 3층 구조를 가질 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0116] [정공 수송 영역(130)]
- [0117] 상기 정공 수송 영역(130)은, i) 단일 물질로 이루어진 단일층으로 이루어진 단층 구조, ii) 복수의 서로 다른 물질로 이루어진 단일층으로 이루어진 단층 구조 또는 iii) 복수의 서로 다른 물질로 이루어진 복수의 층을 갖는 다층 구조를 가질 수 있다.
- [0118] 상기 정공 수송 영역은, 정공 주입층(HIL), 정공 수송층(HTL), 발광 보조층 및 전자 저지층(EBL) 중에서 선택된 적어도 하나의 층을 포함할 수 있다.
- [0119] 예를 들어, 상기 정공 수송 영역은, 1종의 물질로 이루어진 단일층으로 이루어진 단층 구조를 갖거나(예를 들면, 1종의 물질로 이루어진 정공 수송층으로 이루어짐), 복수의 서로 다른 물질로 이루어진 단일층으로 이루어진 단층 구조를 갖거나, 제1전극(110)으로부터 차례로 적층된 정공 주입층/정공 수송층, 정공 주입층/정공 수송층/발광 보조층, 정공 주입층/발광 보조층, 정공 수송층/발광 보조층 또는 정공 주입층/정공 수송층/전자 저지층의 다층 구조를 가질 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0120] 상기 정공 수송 영역은, 상술한 바와 같은 무기물을 포함할 수 있다.
- [0121] 또는, 상기 정공 수송 영역은, 상술한 바와 같은 화학식 1로 표시되는 페로브스카이트 화합물을 포함할 수 있다.
- [0122] 또는, 상기 정공 수송 영역은 유기물을 포함할 수 있다.
- [0123] 상기 유기물의 예로는, m-MTDATA, TDATA, 2-TNATA, NPB(NPD), β-NPB, TPD, Spiro-TPD, Spiro-NPB, 메틸화된-NPB, TAPC, HMTPD, TCTA(4,4',4"-tris(N-carbazolyl)triphenylamine (4,4',4"-트리스(N-카바졸일)트리페닐아민)), Pani/DBSA (Polyaniline/Dodecylbenzenesulfonic acid (폴리아닐린/도데실벤젠설포닉산)), PEDOT/PSS(Poly(3,4-ethylenedioxythiophene)/Poly(4-styrenesulfonate) (폴리(3,4-에틸렌디옥시티오펜)/폴리(4-스티렌설포네이트))), Pani/CSA (Polyaniline/Camphor sulfonic acid (폴리아닐린/캄페르설포닉산)), Pani/PSS (Polyaniline/Poly(4-styrenesulfonate) (폴리아닐린/폴리(4-스티렌설포네이트))) 등을 들 수 있다.



[0124]

[0125]

[0126]

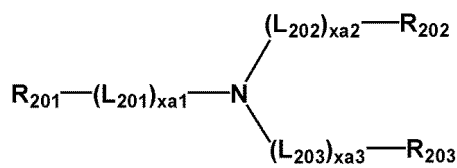
[0127]

[0128]

또는, 상기 유기물의 예로는, 아민계 화합물을 들 수 있다.

예를 들어, 상기 정공 수송 영역은, 하기 화학식 201로 표시되는 화합물 및 하기 화학식 202로 표시되는 화합물 중에서 선택된 적어도 하나를 포함할 수 있다:

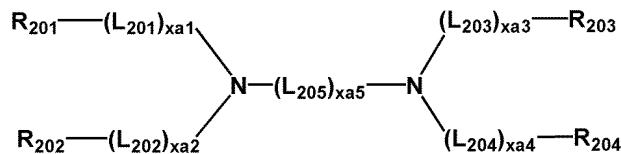
<화학식 201>



[0129]

[0130]

<화학식 202>



[0131]

[0132]

상기 화학식 201 및 202 중,

[0133]

L₂₀₁ 내지 L₂₀₄는 서로 독립적으로, 치환 또는 비치환된 C₃-C₁₀시클로알킬렌기, 치환 또는 비치환된 C₁-C₁₀헤테로시클로알킬렌기, 치환 또는 비치환된 C₃-C₁₀시클로알케닐렌기, 치환 또는 비치환된 C₁-C₁₀헤테로시클로알케닐렌기, 치환 또는 비치환된 C₆-C₆₀아릴렌기, 치환 또는 비치환된 C₁-C₆₀헤테로아릴렌기, 치환 또는 비치환된 2가 비-방향족 축합다환 그룹 및 치환 또는 비치환된 2가 비-방향족 헤테로축합다환 그룹 중에서 선택되고,

- [0134] L₂₀₅은, *-O-*', *-S-*', *-N(Q₂₀₁)-*', 치환 또는 비치환된 C₁-C₂₀알킬렌기, 치환 또는 비치환된 C₂-C₂₀알케닐렌기, 치환 또는 비치환된 C₃-C₁₀시클로알킬렌기, 치환 또는 비치환된 C₁-C₁₀헥테로시클로알킬렌기, 치환 또는 비치환된 C₃-C₁₀시클로알케닐렌기, 치환 또는 비치환된 C₁-C₁₀헥테로시클로알케닐렌기, 치환 또는 비치환된 C₆-C₆₀아릴렌기, 치환 또는 비치환된 C₁-C₆₀헥테로아릴렌기, 치환 또는 비치환된 2가 비-방향족 축합다환 그룹 및 치환 또는 비치환된 2가 비-방향족 헥테로축합다환 그룹 중에서 선택되고,
- [0135] xa1 내지 xa4는 서로 독립적으로, 0 내지 3의 정수 중에서 선택되고,
- [0136] xa5는 1 내지 10의 정수 중에서 선택되고,
- [0137] R₂₀₁ 내지 R₂₀₄ 및 Q₂₀₁은 서로 독립적으로, 치환 또는 비치환된 C₃-C₁₀시클로알킬기, 치환 또는 비치환된 C₁-C₁₀헥테로시클로알킬기, 치환 또는 비치환된 C₃-C₁₀시클로알케닐기, 치환 또는 비치환된 C₁-C₁₀헥테로시클로알케닐기, 치환 또는 비치환된 C₆-C₆₀아릴기, 치환 또는 비치환된 C₆-C₆₀아릴옥시기, 치환 또는 비치환된 C₆-C₆₀아릴티오기, 치환 또는 비치환된 C₁-C₆₀헥테로아릴기, 치환 또는 비치환된 1가 비-방향족 축합다환 그룹 및 치환 또는 비치환된 1가 비-방향족 헥테로축합다환 그룹 중에서 선택될 수 있다.
- [0138] 예를 들어, 상기 화학식 202 중 R₂₀₁과 R₂₀₂는, 선택적으로(optionally), 단일 결합, 디메틸-메틸렌기 또는 디페닐-메틸렌기를 통하여 서로 연결될 수 있고, R₂₀₃과 R₂₀₄는, 선택적으로, 단일 결합, 디메틸-메틸렌기 또는 디페닐-메틸렌기를 통하여 서로 연결될 수 있다.
- [0139] 일 구현예에 따르면, 상기 화학식 201 및 202 중,
- [0140] L₂₀₁ 내지 L₂₀₅는 서로 독립적으로,
- [0141] 페닐렌기, 펜탈레닐렌기, 인데닐렌기, 나프틸렌기, 아줄레닐렌기, 헵탈레닐렌기, 인다세닐렌기, 아세나프틸렌기, 플루오레닐렌기, 스파이로-비플루오레닐렌기, 벤조플루오레닐렌기, 디벤조플루오레닐렌기, 페날레닐렌기, 페난트레닐렌기, 안트라세닐렌기, 플루오란테닐렌기, 트리페닐레닐렌기, 파이레닐렌기, 크라이세닐렌기, 나프타세닐렌기, 피세닐렌기, 페틸레닐렌기, 펜타페닐렌기, 헥사세닐렌기, 펜타세닐렌기, 루비세닐렌기, 코로네닐렌기, 오발레닐렌기, 티오페닐렌기, 퓨라닐렌기, 카바졸일렌기, 인돌일렌기, 이소인돌일렌기, 벤조퓨라닐렌기, 벤조티오페닐렌기, 디벤조퓨라닐렌기, 디벤조티오페닐렌기, 벤조카바졸일렌기, 디벤조카바졸일렌기, 디벤조실롤일렌기 및 피리디닐렌기; 및
- [0142] 중수소, -F, -Cl, -Br, -I, 히드록실기, 시아노기, 니트로기, 아미디노기, 히드라지노기, 히드라조노기, C₁-C₂₀알킬기, C₁-C₂₀알콕시기, 시클로펜틸기, 시클로헥실기, 시클로헵틸기, 시클로펜테닐기, 시클로헥세닐기, 페닐기, 비페닐기, 터페닐기, C₁-C₁₀알킬기로 치환된 페닐기, -F로 치환된 페닐기, 펜탈레닐기, 인데닐기, 나프틸기, 아줄레닐기, 헵탈레닐기, 인다세닐기, 아세나프틸기, 플루오레닐기, 스파이로-비플루오레닐기, 벤조플루오레닐기, 디벤조플루오레닐기, 페날레닐기, 페난트레닐기, 안트라세닐기, 플루오란테닐기, 트리페닐레닐기, 파이레닐기, 크라이세닐기, 나프타세닐기, 피세닐기, 페틸레닐기, 펜타페닐기, 헥사세닐기, 펜타세닐기, 루비세닐기, 코로네닐기, 오발레닐기, 티오페닐기, 퓨라닐기, 카바졸일기, 인돌일기, 이소인돌일기, 벤조퓨라닐기, 벤조티오페닐기, 디벤조퓨라닐기, 디벤조티오페닐기, 벤조카바졸일기, 디벤조카바졸일기, 디벤조실롤일기, 피리디닐기, -Si(Q₃₁)(Q₃₂)(Q₃₃) 및 -N(Q₃₁)(Q₃₂) 중에서 선택된 적어도 하나로 치환된, 페닐렌기, 펜탈레닐렌기, 인데닐렌기, 나프틸렌기, 아줄레닐렌기, 헵탈레닐렌기, 인다세닐렌기, 아세나프틸렌기, 플루오레닐렌기, 스파이로-비플루오레닐렌기, 벤조플루오레닐렌기, 디벤조플루오레닐렌기, 페날레닐렌기, 페난트레닐렌기, 안트라세닐렌기, 플루오란테닐렌기, 트리페닐레닐렌기, 파이레닐렌기, 크라이세닐렌기, 나프타세닐렌기, 피세닐렌기, 페틸레닐렌기, 펜타페닐렌기, 헥사세닐렌기, 펜타세닐렌기, 루비세닐렌기, 코로네닐렌기, 오발레닐렌기, 티오페닐렌기, 퓨라닐렌기, 카바졸일렌기, 인돌일렌기, 이소인돌일렌기, 벤조퓨라닐렌기, 벤조티오페닐렌기, 디벤조퓨라닐렌기, 디벤조티오페닐렌기, 벤조카바졸일렌기, 디벤조카바졸일렌기, 디벤조실롤일렌기 및 피리디닐렌기;
- [0143] 중에서 선택되고,
- [0144] 상기 Q₃₁ 내지 Q₃₃은 서로 독립적으로, C₁-C₁₀알킬기, C₁-C₁₀알콕시기, 페닐기, 비페닐기, 터페닐기 및 나프틸기 중에서 선택될 수 있다.

- [0145] 다른 구현예에 따르면, xa1 내지 xa4는 서로 독립적으로, 0, 1 또는 2일 수 있다.
- [0146] 또 다른 구현예에 따르면, xa5는 1, 2, 3 또는 4일 수 있다.
- [0147] 또 다른 구현예에 따르면, R₂₀₁ 내지 R₂₀₄ 및 Q₂₀₁은 서로 독립적으로, 페닐기, 비페닐기, 터페닐기, 펜탈레닐기, 인테닐기, 나프틸기, 아줄레닐기, 헵탈레닐기, 인다세닐기, 아세나프틸기, 플루오레닐기, 스파이로-비플루오레닐기, 벤조플루오레닐기, 디벤조플루오레닐기, 페날레닐기, 페난트레닐기, 안트라세닐기, 플루오란테닐기, 트리페닐레닐기, 파이레닐기, 크라이세닐기, 나프타세닐기, 피세닐기, 페틸레닐기, 펜타페닐기, 헥사세닐기, 펜타세닐기, 루비세닐기, 코로네닐기, 오발레닐기, 티오페닐기, 퓨라닐기, 카바졸일기, 인돌일기, 이소인돌일기, 벤조퓨라닐기, 벤조티오페닐기, 디벤조퓨라닐기, 디벤조티오페닐기, 벤조카바졸일기, 디벤조카바졸일기, 디벤조실롤일기 및 피리디닐기; 및
- [0148] 중수소, -F, -Cl, -Br, -I, 히드록실기, 시아노기, 니트로기, 아미디노기, 히드라지노기, 히드라조노기, C₁-C₂₀알킬기, C₁-C₂₀알콕시기, 시클로펜틸기, 시클로헥실기, 시클로헵틸기, 시클로펜테닐기, 시클로헥세닐기, 페닐기, 비페닐기, 터페닐기, C₁-C₁₀알킬기로 치환된 페닐기, -F로 치환된 페닐기, 펜탈레닐기, 인테닐기, 나프틸기, 아줄레닐기, 헵탈레닐기, 인다세닐기, 아세나프틸기, 플루오레닐기, 스파이로-비플루오레닐기, 벤조플루오레닐기, 디벤조플루오레닐기, 페날레닐기, 페난트레닐기, 안트라세닐기, 플루오란테닐기, 트리페닐레닐기, 파이레닐기, 크라이세닐기, 나프타세닐기, 피세닐기, 페틸레닐기, 펜타페닐기, 헥사세닐기, 펜타세닐기, 루비세닐기, 코로네닐기, 오발레닐기, 티오페닐기, 퓨라닐기, 카바졸일기, 인돌일기, 이소인돌일기, 벤조퓨라닐기, 벤조티오페닐기, 디벤조퓨라닐기, 디벤조티오페닐기, 벤조카바졸일기, 디벤조카바졸일기, 디벤조실롤일기, 피리디닐기, -Si(Q₃₁)(Q₃₂)(Q₃₃) 및 -N(Q₃₁)(Q₃₂) 중에서 선택된 적어도 하나로 치환된, 페닐기, 비페닐기, 터페닐기, 펜탈레닐기, 인테닐기, 나프틸기, 아줄레닐기, 헵탈레닐기, 인다세닐기, 아세나프틸기, 플루오레닐기, 스파이로-비플루오레닐기, 벤조플루오레닐기, 디벤조플루오레닐기, 페날레닐기, 페난트레닐기, 안트라세닐기, 플루오란테닐기, 트리페닐레닐기, 파이레닐기, 크라이세닐기, 나프타세닐기, 피세닐기, 페틸레닐기, 펜타페닐기, 헥사세닐기, 펜타세닐기, 루비세닐기, 코로네닐기, 오발레닐기, 티오페닐기, 퓨라닐기, 카바졸일기, 인돌일기, 이소인돌일기, 벤조퓨라닐기, 벤조티오페닐기, 디벤조퓨라닐기, 디벤조티오페닐기, 벤조카바졸일기, 디벤조카바졸일기, 디벤조실롤일기 및 피리디닐기;
- [0149] 중에서 선택될 수 있고,
- [0150] 상기 Q₃₁ 내지 Q₃₃에 대한 설명은 본 명세서에 기재된 바를 참조한다.
- [0151] 상기 정공 수송 영역의 두께는 약 100Å 내지 약 10000Å, 예를 들면, 약 100Å 내지 약 1000Å일 수 있다. 상기 정공 수송 영역이 정공 주입층 및 정공 수송층 중 적어도 하나를 포함한다면, 상기 정공 주입층의 두께는 약 100Å 내지 약 9000Å, 예를 들면, 약 100Å 내지 약 1000Å이고, 상기 정공 수송층의 두께는 약 50Å 내지 약 2000Å, 예를 들면 약 100Å 내지 약 1500Å일 수 있다. 상기 정공 수송 영역, 정공 주입층 및 정공 수송층의 두께가 전술한 바와 같은 범위를 만족할 경우, 실질적인 구동 전압 상승없이 만족스러운 정도의 정공 수송 특성을 얻을 수 있다.
- [0152] 상기 발광 보조층은 발광층에서 방출되는 광의 파장에 따른 광학적 공진 거리를 보상하여 광 방출 효율을 증가시키는 역할을 하는 층이고, 상기 전자 저지층은 전자 수송 영역으로부터의 전자 주입을 방지하는 역할을 하는 층이다. 상기 발광 보조층 및 전자 저지층에는 상술한 바와 같은 물질이 포함될 수 있다.
- [0153] 상기 정공 수송 영역은 상술한 바와 같은 물질 외에, 도전성 향상을 위하여 전하-생성 물질을 더 포함할 수 있다. 상기 전하-생성 물질은 상기 정공 수송 영역 내에 균일하게 또는 불균일하게 분산되어 있을 수 있다.
- [0154] 상기 전하-생성 물질은 예를 들면, p-도펀트일 수 있다.
- [0155] 일 구현예에 따르면, 상기 p-도펀트의 LUMO는 -3.5eV 이하일 수 있다.
- [0156] 상기 p-도펀트는, 퀴논 유도체, 금속 산화물 및 시아노기-함유 화합물 중에서 선택된 적어도 하나를 포함할 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0157] 예를 들어, 상기 p-도펀트는,
- [0158] TCNQ (Tetracyanoquinodimethane) 및 F4-TCNQ (2,3,5,6-Tetrafluoro-7,7,8,8-tetracyanoquinodimethane) 등과

같은 귀는 유도체;

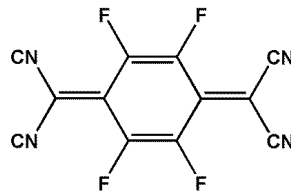
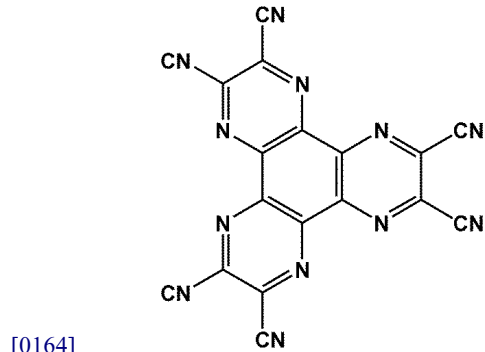
[0159] 텅스텐 산화물 및 몰리브덴 산화물 등과 같은 금속 산화물;

[0160] HAT-CN (1,4,5,8,9,11-hexaazatriphenylene-hexacarbonitrile); 및

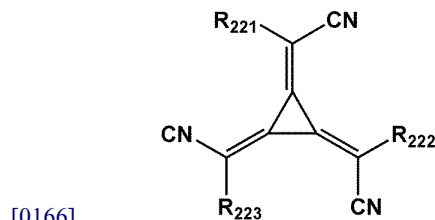
[0161] 하기 화학식 221로 표시되는 화합물;

[0162] 중에서 선택된 적어도 하나를 포함할 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다:

[0163] <HAT-CN> <F4-TCNQ>



[0165] <화학식 221>



[0167] 상기 화학식 221 중,

[0168] R₂₂₁ 내지 R₂₂₃은 서로 독립적으로, 치환 또는 비치환된 C₃-C₁₀시클로알킬기, 치환 또는 비치환된 C₁-C₁₀헤테로시클로알킬기, 치환 또는 비치환된 C₃-C₁₀시클로알케닐기, 치환 또는 비치환된 C₁-C₁₀헤테로시클로알케닐기, 치환 또는 비치환된 C₆-C₆₀아릴기, 치환 또는 비치환된 C₁-C₆₀헤테로아릴기, 치환 또는 비치환된 1가 비-방향족 축합다환 그룹 및 치환 또는 비치환된 1가 비-방향족 헤테로축합다환 그룹 중에서 선택되며, 상기 R₂₂₁ 내지 R₂₂₃ 중 적어도 하나는 시아노기, -F, -Cl, -Br, -I, -F로 치환된 C₁-C₂₀알킬기, -Cl로 치환된 C₁-C₂₀알킬기, -Br로 치환된 C₁-C₂₀알킬기 및 -I로 치환된 C₁-C₂₀알킬기 중에서 선택된 적어도 하나의 치환기를 갖는다.

[0169] [발광층(150)]

[0170] 상기 발광층(150)에는 상기 화학식 1로 표시되는 페로브스카이트 화합물이 포함될 수 있다. 상기 발광층(150) 형성 방법을 본 명세서 중 상기 페로브스카이트 화합물을 포함한 박막 제조 방법에 대한 설명을 참조한다.

[0171] 상기 발광층(150)의 두께는 약 100Å 내지 약 1000Å, 예를 들면 약 200Å 내지 약 600Å일 수 있다. 상기 발광층(150)의 두께가 전술한 바와 같은 범위를 만족할 경우, 실질적인 구동 전압 상승없이 우수한 발광 특성을 나타낼 수 있다.

[0172] [전자 수송 영역(170)]

[0173] 상기 전자 수송 영역(170)은 i) 단일 물질로 이루어진 단일층으로 이루어진 단층 구조, ii) 복수의 서로 다른 물질로 이루어진 단일층으로 이루어진 단층 구조 또는 iii) 복수의 서로 다른 물질로 이루어진 복수의 층을 갖는 다층 구조를 가질 수 있다.

[0174] 상기 전자 수송 영역(170)은, 버퍼층, 정공 저지층, 전자 조절층, 전자 수송층(ETL) 및 전자 주입층 중에서 선택된 적어도 하나의 층을 포함할 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.

- [0175] 예를 들어, 상기 전자 수송 영역(170)은, 발광층(150)으로부터 차례로 적층된 전자 수송층/전자 주입층, 정공 저지층/전자 수송층/전자 주입층, 전자 조절층/전자 수송층/전자 주입층, 또는 버퍼층/전자 수송층/전자 주입층 등의 구조를 가질 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0176] 상기 전자 수송 영역(170)은 무기물을 포함할 수 있다. 상기 무기물에 대한 설명은 상술한 바를 참조한다.
- [0177] 또는, 상기 전자 수송 영역(170)은 상기 화학식 1로 표시되는 페로브스카이트 화합물을 포함할 수 있다.
- [0178] 또는, 상기 전자 수송 영역(170)은 유기물을 포함할 수 있다.
- [0179] 상기 전자 수송 영역(170)에 포함될 수 있는 유기물은, π 전자 결핍성 함질소 고리를 적어도 하나 포함한 금속-비함유 화합물일 수 있다.
- [0180] 상기 " π 전자 결핍성 함질소 고리"는, 고리-형성 모이어티로서, 적어도 하나의 *-N=* 모이어티를 갖는 C₁-C₆₀헤테로시클릭 그룹을 의미한다.
- [0181] 예를 들어, 상기 " π 전자 결핍성 함질소 고리"는, i) 적어도 하나의 *-N=* 모이어티를 갖는 5원 내지 7원 헤테로모노시클릭 그룹이거나, ii) 적어도 하나의 *-N=* 모이어티를 갖는 5원 내지 7원 헤테로모노시클릭 그룹 중 2 이상이 서로 축합되어 있는 헤테로폴리시클릭 그룹이거나, 또는 iii) 적어도 하나의 *-N=* 모이어티를 갖는 5원 내지 7원 헤테로모노시클릭 그룹 중 적어도 하나와, 적어도 하나의 C₅-C₆₀카보시클릭 그룹이 서로 축합되어 있는 헤테로폴리시클릭 그룹일 수 있다.
- [0182] 상기 π 전자 결핍성 함질소 고리의 구체예로는, 이미다졸, 피라졸, 티아졸, 이소티아졸, 옥사졸, 이속사졸, 피리딘, 피라진, 피리미딘, 피리다진, 인다졸, 푸린(purine), 퀴놀린, 이소퀴놀린, 벤조퀴놀린, 프탈라진, 나프티리딘, 퀴놀살린, 퀴나졸린, 시놀린, 페난트리딘, 아크리딘, 페난트롤린, 페나진, 벤조이미다졸, 이소벤조티아졸, 벤조옥사졸, 이소벤조옥사졸, 트리아졸, 테트라졸, 옥사디아졸, 트리아진, 티아디아졸, 이미다조피리딘, 이미다조피리미딘, 아자카바졸 등을 들 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0183] 예를 들어, 상기 전자 수송 영역(170)은 하기 화학식 601로 표시되는 화합물을 포함할 수 있다.
- [0184] <화학식 601>
- [0185] $[Ar_{601}]_{xe11}-[(L_{601})_{xe1}-R_{601}]_{xe21}$
- [0186] 상기 화학식 601 중,
- [0187] Ar₆₀₁은 치환 또는 비치환된 C₅-C₆₀카보시클릭 그룹 또는 치환 또는 비치환된 C₁-C₆₀헤테로시클릭 그룹이고,
- [0188] xe11은 1, 2 또는 3이고,
- [0189] L₆₀₁은, 치환 또는 비치환된 C₃-C₁₀시클로알킬렌기, 치환 또는 비치환된 C₁-C₁₀헤테로시클로알킬렌기, 치환 또는 비치환된 C₃-C₁₀시클로알케닐렌기, 치환 또는 비치환된 C₁-C₁₀헤테로시클로알케닐렌기, 치환 또는 비치환된 C₆-C₆₀아릴렌기, 치환 또는 비치환된 C₁-C₆₀헤테로아릴렌기, 치환 또는 비치환된 2가 비-방향족 축합다환 그룹 및 치환 또는 비치환된 2가 비-방향족 헤테로축합다환 그룹 중에서 선택되고,
- [0190] xe1는 0 내지 5의 정수 중에서 선택되고,
- [0191] R₆₀₁은, 치환 또는 비치환된 C₃-C₁₀시클로알킬기, 치환 또는 비치환된 C₁-C₁₀헤테로시클로알킬기, 치환 또는 비치환된 C₃-C₁₀시클로알케닐기, 치환 또는 비치환된 C₁-C₁₀헤테로시클로알케닐기, 치환 또는 비치환된 C₆-C₆₀아릴기, 치환 또는 비치환된 C₆-C₆₀아릴옥시기, 치환 또는 비치환된 C₆-C₆₀아릴티오기, 치환 또는 비치환된 C₁-C₆₀헤테로아릴기, 치환 또는 비치환된 1가 비-방향족 축합다환 그룹, 치환 또는 비치환된 1가 비-방향족 헤테로축합다환 그룹, -Si(Q₆₀₁)(Q₆₀₂)(Q₆₀₃), -C(=O)(Q₆₀₁), -S(=O)₂(Q₆₀₁) 및 -P(=O)(Q₆₀₁)(Q₆₀₂) 중에서 선택되고,
- [0192] 상기 Q₆₀₁ 내지 Q₆₀₃은 서로 독립적으로, C₁-C₁₀알킬기, C₁-C₁₀알콕시기, 페닐기, 비페닐기, 터페닐기 또는 나프틸기이고,
- [0193] xe21는 1 내지 5의 정수 중에서 선택된다.

- [0194] 일 구현예에 따르면, 상기 xe11개의 Ar₆₀₁ 및 xe21개의 R₆₀₁ 중 적어도 하나는, 상술한 바와 같은 π 전자 결핍성 함질소 고리를 포함할 수 있다.
- [0195] 일 구현예에 따르면, 상기 화학식 601 중 고리 Ar₆₀₁은,
- [0196] 벤젠 그룹, 나프탈렌 그룹, 플루오렌 그룹, 스파이로-비플루오렌 그룹, 벤조플루오렌 그룹, 디벤조플루오렌 그룹, 페날렌 그룹, 페난트렌 그룹, 안트라센 그룹, 플루오란텐 그룹, 트리페닐렌 그룹, 파이렌 그룹, 크라이센 그룹, 나프타센 그룹, 피센 그룹, 페릴렌 그룹, 펜타펜 그룹, 인데노안트라센 그룹, 디벤조퓨란 그룹, 디벤조티오펜 그룹, 카바졸 그룹, 이미다졸 그룹, 피라졸 그룹, 티아졸 그룹, 이소티아졸 그룹, 옥사졸 그룹, 이속사졸 그룹, 피리딘 그룹, 피라진 그룹, 피리미딘 그룹, 피리다진 그룹, 인다졸 그룹, 푸린 그룹, 퀴놀린 그룹, 이소퀴놀린 그룹, 벤조퀴놀린 그룹, 프탈라진 그룹, 나프티리딘 그룹, 퀴놀살린 그룹, 퀴나졸린 그룹, 시놀린 그룹, 페난트리딘 그룹, 아크리딘 그룹, 페난트롤린 그룹, 페나진 그룹, 벤조이미다졸 그룹, 이소벤조티아졸 그룹, 벤조옥사졸 그룹, 이소벤조옥사졸 그룹, 트리아졸 그룹, 테트라졸 그룹, 옥사디아졸 그룹, 트리아진 그룹, 티아디아졸 그룹, 이미다조피리딘 그룹, 이미다조피리미딘 그룹 및 아자카바졸 그룹; 및
- [0197] 중수소, -F, -Cl, -Br, -I, 히드록실기, 시아노기, 니트로기, 아미디노기, 히드라지노기, 히드라조노기, C₁-C₂₀알킬기, C₁-C₂₀알콕시기, 페닐기, 비페닐기, 터페닐기, 나프틸기, -Si(Q₃₁)(Q₃₂)(Q₃₃), -S(=O)₂(Q₃₁) 및 -P(=O)(Q₃₁)(Q₃₂) 중에서 선택된 적어도 하나로 치환된, 벤젠 그룹, 나프탈렌 그룹, 플루오렌 그룹, 스파이로-비플루오렌 그룹, 벤조플루오렌 그룹, 디벤조플루오렌 그룹, 페날렌 그룹, 페난트렌 그룹, 안트라센 그룹, 플루오란텐 그룹, 트리페닐렌 그룹, 파이렌 그룹, 크라이센 그룹, 나프타센 그룹, 피센 그룹, 페릴렌 그룹, 펜타펜 그룹, 인데노안트라센 그룹, 디벤조퓨란 그룹, 디벤조티오펜 그룹, 카바졸 그룹, 이미다졸 그룹, 피라졸 그룹, 티아졸 그룹, 이소티아졸 그룹, 옥사졸 그룹, 이속사졸 그룹, 피리딘 그룹, 피라진 그룹, 피리미딘 그룹, 피리다진 그룹, 인다졸 그룹, 푸린 그룹, 퀴놀린 그룹, 이소퀴놀린 그룹, 벤조퀴놀린 그룹, 프탈라진 그룹, 나프티리딘 그룹, 퀴놀살린 그룹, 퀴나졸린 그룹, 시놀린 그룹, 페난트리딘 그룹, 아크리딘 그룹, 페난트롤린 그룹, 페나진 그룹, 벤조이미다졸 그룹, 이소벤조티아졸 그룹, 벤조옥사졸 그룹, 이소벤조옥사졸 그룹, 트리아졸 그룹, 테트라졸 그룹, 옥사디아졸 그룹, 트리아진 그룹, 티아디아졸 그룹, 이미다조피리딘 그룹, 이미다조피리미딘 그룹 및 아자카바졸 그룹;
- [0198] 중에서 선택될 수 있고,
- [0199] 상기 Q₃₁ 내지 Q₃₃은 서로 독립적으로, C₁-C₁₀알킬기, C₁-C₁₀알콕시기, 페닐기, 비페닐기, 터페닐기 및 나프틸기 중에서 선택될 수 있다.
- [0200] 상기 화학식 601 중 xe11이 2 이상일 경우 2 이상의 Ar₆₀₁은 단일 결합을 통하여 서로 연결될 수 있다.
- [0201] 일 구현예에 따르면, 상기 화학식 601 중 L₆₀₁ 및 L₆₁₁ 내지 L₆₁₃은 서로 독립적으로,
- [0202] 페닐렌기, 나프틸렌기, 플루오레닐렌기, 스파이로-비플루오레닐렌기, 벤조플루오레닐렌기, 디벤조플루오레닐렌기, 페난트레닐렌기, 안트라세닐렌기, 플루오란테닐렌기, 트리페닐레닐렌기, 파이레닐렌기, 크라이세닐렌기, 페릴레닐렌기, 펜타페닐렌기, 헥사세닐렌기, 펜타세닐렌기, 티오펜레닐렌기, 퓨라닐렌기, 카바졸일렌기, 인돌일렌기, 이소인돌일렌기, 벤조퓨라닐렌기, 벤조티오펜레닐렌기, 디벤조퓨라닐렌기, 디벤조티오펜레닐렌기, 벤조카바졸일렌기, 디벤조카바졸일렌기, 디벤조실롤일렌기, 피리디닐렌기, 이미다졸일렌기, 피라졸일렌기, 티아졸일렌기, 이소티아졸일렌기, 옥사졸일렌기, 이속사졸일렌기, 티아디아졸일렌기, 옥사디아졸일렌기, 피라지닐렌기, 피리미디닐렌기, 피리다지닐렌기, 트리아지닐렌기, 퀴놀리닐렌기, 이소퀴놀리닐렌기, 벤조퀴놀리닐렌기, 프탈라지닐렌기, 나프티리디닐렌기, 퀴놀살리닐렌기, 퀴나졸리닐렌기, 시놀리닐렌기, 페난트리디닐렌기, 아크리디닐렌기, 페난트롤리닐렌기, 페나지닐렌기, 벤조이미다졸일렌기, 이소벤조티아졸일렌기, 벤조옥사졸일렌기, 이소벤조옥사졸일렌기, 트리아졸일렌기, 테트라졸일렌기, 이미다조피리디닐렌기, 이미다조피리미디닐렌기 및 아자카바졸일렌기; 및
- [0203] 중수소, -F, -Cl, -Br, -I, 히드록실기, 시아노기, 니트로기, 아미디노기, 히드라지노기, 히드라조노기, C₁-C₂₀알킬기, C₁-C₂₀알콕시기, 페닐기, 비페닐기, 터페닐기, 나프틸기, 플루오레닐렌기, 스파이로-비플루오레닐렌기, 벤조플루오레닐렌기, 디벤조플루오레닐렌기, 페난트레닐렌기, 안트라세닐렌기, 플루오란테닐렌기, 트리페닐레닐렌기, 파이레닐렌기, 크라이세닐렌기, 페릴레닐렌기, 펜타페닐렌기, 헥사세닐렌기, 펜타세닐렌기, 티오펜레닐렌기, 퓨라닐렌기, 카바졸일기, 인돌

일기, 이소인돌일기, 벤조푸라닐기, 벤조티오페닐기, 디벤조푸라닐기, 디벤조티오페닐기, 벤조카바졸일기, 디벤조카바졸일기, 디벤조실롤일기, 피리디닐기, 이미다졸일기, 피라졸일기, 티아졸일기, 이소티아졸일기, 옥사졸일기, 이속사졸일기, 티아디아졸일기, 옥사디아졸일기, 피라지닐기, 피리미디닐기, 피리다지닐기, 트리아지닐기, 퀴놀리닐기, 이소퀴놀리닐기, 벤조퀴놀리닐기, 프탈라지닐기, 나프티리디닐기, 퀴녹살리닐기, 퀴나졸리닐기, 시놀리닐기, 페난트리디닐기, 아크리디닐기, 페난트롤리닐기, 페나지닐기, 벤조이미다졸일기, 이소벤조티아졸일기, 벤조옥사졸일기, 이소벤조옥사졸일기, 트리아졸일기, 테트라졸일기, 이미다조피리디닐기, 이미다조피리미디닐기 및 아자카바졸일기 중에서 선택된 적어도 하나로 치환된, 페닐렌기, 나프틸렌기, 플루오레닐렌기, 스퀴airo-비플루오레닐렌기, 벤조플루오레닐렌기, 디벤조플루오레닐렌기, 페난트레닐렌기, 안트라세닐렌기, 플루오란테닐렌기, 트리페닐레닐렌기, 파이레닐렌기, 크라이세닐렌기, 페틸레닐렌기, 펜타페닐렌기, 헥사세닐렌기, 펜타세닐렌기, 티오페닐렌기, 퓨라닐렌기, 카바졸일렌기, 인돌일렌기, 이소인돌일렌기, 벤조푸라닐렌기, 벤조티오페닐렌기, 디벤조푸라닐렌기, 디벤조티오페닐렌기, 벤조카바졸일렌기, 디벤조카바졸일렌기, 디벤조실롤일렌기, 피리디닐렌기, 이미다졸일렌기, 피라졸일렌기, 티아졸일렌기, 이소티아졸일렌기, 옥사졸일렌기, 이속사졸일렌기, 티아디아졸일렌기, 옥사디아졸일렌기, 피라지닐렌기, 피리미디닐렌기, 피리다지닐렌기, 트리아지닐렌기, 퀴놀리닐렌기, 이소퀴놀리닐렌기, 벤조퀴놀리닐렌기, 프탈라지닐렌기, 나프티리디닐렌기, 퀴녹살리닐렌기, 퀴나졸리닐렌기, 시놀리닐렌기, 페난트리디닐렌기, 아크리디닐렌기, 페난트롤리닐렌기, 페나지닐렌기, 벤조이미다졸일렌기, 이소벤조티아졸일렌기, 벤조옥사졸일렌기, 이소벤조옥사졸일렌기, 트리아졸일렌기, 테트라졸일렌기, 이미다조피리디닐렌기, 이미다조피리미디닐렌기 및 아자카바졸일렌기;

[0204] 중에서 선택될 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.

[0205] 다른 구현예에 따르면, 상기 화학식 601 중 xe1 및 xe611 내지 xe613은 서로 독립적으로, 0, 1 또는 2일 수 있다.

[0206] 또 다른 구현예에 따르면, 상기 화학식 601 중 R₆₀₁ 및 R₆₁₁ 내지 R₆₁₃은 서로 독립적으로,

[0207] 페닐기, 비페닐기, 터페닐기, 나프틸기, 플루오레닐기, 스퀴airo-비플루오레닐기, 벤조플루오레닐기, 디벤조플루오레닐기, 페난트레닐기, 안트라세닐기, 플루오란테닐기, 트리페닐레닐기, 파이레닐기, 크라이세닐기, 페틸레닐기, 펜타페닐기, 헥사세닐기, 펜타세닐기, 티오페닐기, 퓨라닐기, 카바졸일기, 인돌일기, 이소인돌일기, 벤조푸라닐기, 벤조티오페닐기, 디벤조푸라닐기, 디벤조티오페닐기, 벤조카바졸일기, 디벤조카바졸일기, 디벤조실롤일기, 피리디닐기, 이미다졸일기, 피라졸일기, 티아졸일기, 이소티아졸일기, 옥사졸일기, 이속사졸일기, 티아디아졸일기, 옥사디아졸일기, 피라지닐기, 피리미디닐기, 피리다지닐기, 트리아지닐기, 퀴놀리닐기, 이소퀴놀리닐기, 벤조퀴놀리닐기, 프탈라지닐기, 나프티리디닐기, 퀴녹살리닐기, 퀴나졸리닐기, 시놀리닐기, 페난트리디닐기, 아크리디닐기, 페난트롤리닐기, 페나지닐기, 벤조이미다졸일기, 이소벤조티아졸일기, 벤조옥사졸일기, 이소벤조옥사졸일기, 트리아졸일기, 테트라졸일기, 이미다조피리디닐기, 이미다조피리미디닐기 및 아자카바졸일기;

[0208] 중수소, -F, -Cl, -Br, -I, 히드록실기, 시아노기, 니트로기, 아미디노기, 히드라지노기, 히드라조노기, C₁-C₂₀알킬기, C₁-C₂₀알콕시기, 페닐기, 비페닐기, 터페닐기, 나프틸기, 플루오레닐기, 스퀴airo-비플루오레닐기, 벤조플루오레닐기, 디벤조플루오레닐기, 페난트레닐기, 안트라세닐기, 플루오란테닐기, 트리페닐레닐기, 파이레닐기, 크라이세닐기, 페틸레닐기, 펜타페닐기, 헥사세닐기, 펜타세닐기, 티오페닐기, 퓨라닐기, 카바졸일기, 인돌일기, 이소인돌일기, 벤조푸라닐기, 벤조티오페닐기, 디벤조푸라닐기, 디벤조티오페닐기, 벤조카바졸일기, 디벤조카바졸일기, 디벤조실롤일기, 피리디닐기, 이미다졸일기, 피라졸일기, 티아졸일기, 이소티아졸일기, 옥사졸일기, 이속사졸일기, 티아디아졸일기, 옥사디아졸일기, 피라지닐기, 피리미디닐기, 피리다지닐기, 트리아지닐기, 퀴놀리닐기, 이소퀴놀리닐기, 벤조퀴놀리닐기, 프탈라지닐기, 나프티리디닐기, 퀴녹살리닐기, 퀴나졸리닐기, 시놀리닐기, 페난트리디닐기, 아크리디닐기, 페난트롤리닐기, 페나지닐기, 벤조이미다졸일기, 이소벤조티아졸일기, 벤조옥사졸일기, 이소벤조옥사졸일기, 트리아졸일기, 테트라졸일기, 이미다조피리디닐기, 이미다조피리미디닐기 및 아자카바졸일기 중에서 선택된 적어도 하나로 치환된, 페닐기, 비페닐기, 터페닐기, 나프틸기, 플루오레닐기, 스퀴airo-비플루오레닐기, 벤조플루오레닐기, 디벤조플루오레닐기, 페난트레닐기, 안트라세닐기, 플루오란테닐기, 트리페닐레닐기, 파이레닐기, 크라이세닐기, 페틸레닐기, 펜타페닐기, 헥사세닐기, 펜타세닐기, 티오페닐기, 퓨라닐기, 카바졸일기, 인돌일기, 이소인돌일기, 벤조푸라닐기, 벤조티오페닐기, 디벤조푸라닐기, 디벤조티오페닐기, 벤조카바졸일기, 디벤조카바졸일기, 디벤조실롤일기, 피리디닐기, 이미다졸일기, 피라졸일기, 티아졸일기, 이소티아졸일기, 옥사졸일기, 이속사졸일기, 티아디아졸일기, 옥사디아졸일기, 피라지닐기, 피리미디닐기, 피리다지닐기, 트리아지닐기, 퀴놀리닐기, 이소퀴놀리닐기,

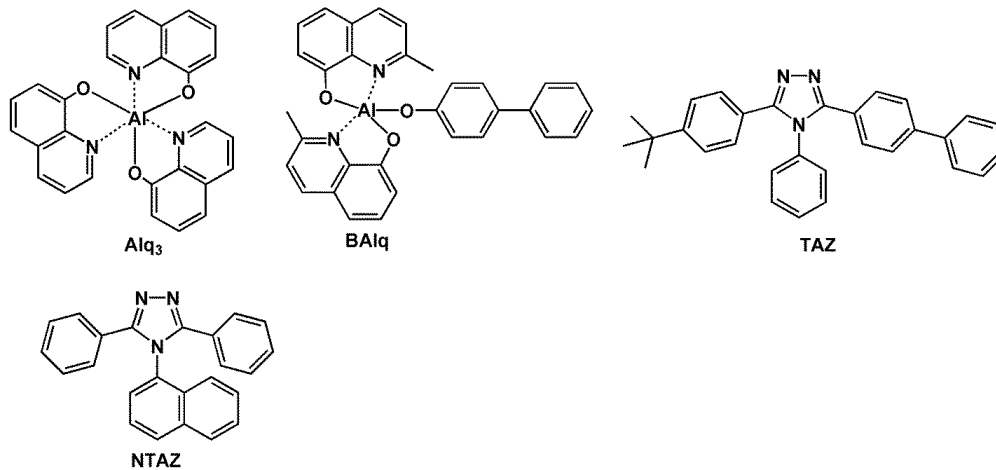
벤조퀴놀리닐기, 프탈라지닐기, 나프티리디닐기, 퀴녹살리닐기, 퀴나졸리닐기, 시놀리닐기, 페난트리디닐기, 아크리디닐기, 페난트롤리닐기, 페나지닐기, 벤조이미다졸일기, 이소벤조티아졸일기, 벤조옥사졸일기, 이소벤조옥사졸일기, 트리아졸일기, 테트라졸일기, 이미다조피리디닐기, 이미다조피리미디닐기 및 아자카바졸일기; 및

[0209] $-S(=O)_2(Q_{601})$ 및 $-P(=O)(Q_{601})(Q_{602})$;

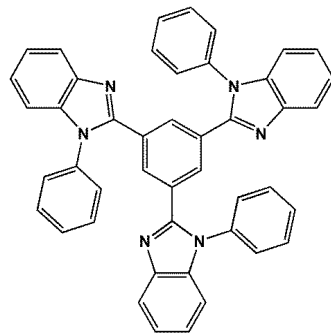
[0210] 중에서 선택되고,

[0211] 상기 Q_{601} 및 Q_{602} 에 대한 설명은 본 명세서에 기재된 바를 참조한다.

[0212] 일 구현예에 따르면, 상기 전자 수송 영역(170)은, BCP(2,9-Dimethyl-4,7-diphenyl-1,10-phenanthroline), Bphen(4,7-Diphenyl-1,10-phenanthroline), Alq₃, BAlq, TAZ(3-(Biphenyl-4-yl)-5-(4-tert-butylphenyl)-4-phenyl-4H-1,2,4-triazole), NTAZ 및 TPBi 중에서 선택된 적어도 하나의 화합물을 포함할 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다:



[0213] <TPBi>



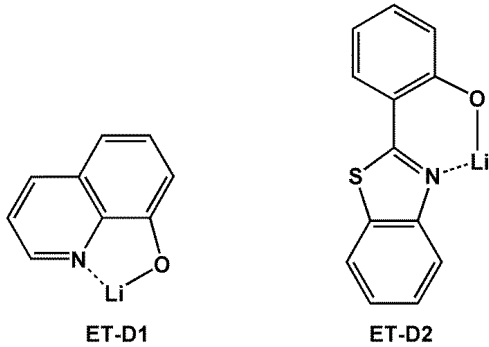
[0215] 상기 전자 수송층의 두께는 약 100Å 내지 약 1000Å, 예를 들면 약 150Å 내지 약 700Å일 수 있다. 상기 전자 수송층의 두께가 전술한 바와 같은 범위를 만족할 경우, 실질적인 구동 전압 상승없이 만족스러운 정도의 전자 수송 특성을 얻을 수 있다.

[0216] 상기 전자 수송 영역(170)(예를 들면, 상기 전자 수송 영역 중 전자 수송층)은 상술한 바와 같은 물질 외에, 금속-함유 물질을 더 포함할 수 있다.

[0217] 상기 금속-함유 물질은 알칼리 금속 착체 및 알칼리 토금속 착체 중에서 선택된 적어도 하나를 포함할 수 있다. 상기 알칼리 금속 착체의 금속 이온은, Li 이온, Na 이온, K 이온, Rb 이온 및 Cs 이온 중에서 선택될 수 있고, 상기 알칼리 토금속 착체의 금속 이온은 Be 이온, Mg 이온, Ca 이온, Sr 이온 및 Ba 이온 중에서 선택될 수 있다. 상기 알칼리 금속 착체 및 알칼리 토금속 착체의 금속 이온에 배위된 리간드는, 서로 독립적으로, 히드록시퀴놀린, 히드록시이소퀴놀린, 히드록시벤조퀴놀린, 히드록시아크리딘, 히드록시페난트리딘, 히드록시페닐옥사졸, 히드록시페닐티아졸, 히드록시디페닐옥사디아졸, 히드록시디페닐티아디아졸, 히드록시페닐피리딘, 히드록시페닐벤조이미다졸, 히드록시페닐벤조티아졸, 비피리딘, 페난트롤린 및 시클로펜타다이엔 중에서 선택될 수 있다.

나, 이에 한정되는 것은 아니다.

[0219] 예를 들면, 상기 금속-함유 물질은 Li 착체를 포함할 수 있다. 상기 Li 착체는, 예를 들면, 하기 화합물 ET-D1(리튬 퀴놀레이트, LiQ) 또는 ET-D2를 포함할 수 있다.



- [0220]
- [0221] 상기 전자 수송 영역(170)은, 제2전극(190)으로부터의 전자 주입을 용이하게 하는 전자 주입층을 포함할 수 있다. 상기 전자 주입층은 상기 제2전극(190)과 직접(directly) 접촉할 수 있다.
- [0222] 상기 전자 주입층은 i) 단일 물질로 이루어진 단일층으로 이루어진 단층 구조, ii) 복수의 서로 다른 물질로 이루어진 단일층으로 이루어진 단층 구조 또는 iii) 복수의 서로 다른 물질로 이루어진 복수의 층을 갖는 다층 구조를 가질 수 있다.
- [0223] 상기 전자 주입층은 알칼리 금속, 알칼리 토금속, 희토류 금속, 알칼리 금속 화합물, 알칼리 토금속 화합물, 희토류 금속 화합물, 알칼리 금속 착체, 알칼리 토금속 착체, 희토류 금속 착체 또는 이들 중 임의의 조합을 포함할 수 있다.
- [0224] 상기 알칼리 금속은, Li, Na, K, Rb 및 Cs 중에서 선택될 수 있다.
- [0225] 상기 알칼리 토금속은, Mg, Ca, Sr, 및 Ba 중에서 선택될 수 있다.
- [0226] 상기 희토류 금속은 Sc, Y, Ce, Yb, Gd 및 Tb 중에서 선택될 수 있다.
- [0227] 상기 알칼리 금속 화합물, 알칼리 토금속 화합물 및 상기 희토류 금속 화합물은, 상기 알칼리 금속, 상기 알칼리 토금속 및 희토류 금속의 산화물 및 할로겐화물(예를 들면, 불화물, 염화물, 브롬화물, 요오드화물 등) 중에서 선택될 수 있다.
- [0228] 상기 알칼리 금속 화합물은, Li₂O, Cs₂O, K₂O 등과 같은 알칼리 금속 산화물 및 LiF, NaF, CsF, KF, LiI, NaI, CsI, KI, RbI 등과 같은 알칼리 금속 할로겐화물 중에서 선택될 수 있다. 일 구현예에 따르면, 상기 알칼리 금속 화합물은, LiF, Li₂O, NaF, LiI, NaI, CsI, KI 및 RbI 중에서 선택될 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0229] 상기 알칼리 토금속 화합물은, BaO, SrO, CaO, Ba_xSr_{1-x}O(0<x<1), Ba_xCa_{1-x}O(0<x<1) 등과 같은 알칼리 토금속 화합물 중에서 선택될 수 있다. 일 구현예에 따르면, 상기 알칼리 토금속 화합물은, BaO, SrO 및 CaO 중에서 선택될 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0230] 상기 희토류 금속 화합물은, YbF₃, ScF₃, ScO₃, Y₂O₃, Ce₂O₃, GdF₃, 및 TbF₃ 중에서 선택될 수 있다. 일 구현예에 따르면, 상기 희토류 금속 화합물은 YbF₃, ScF₃, TbF₃, YbI₃, ScI₃, TbI₃ 중에서 선택될 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0231] 예를 들어, 상기 전자 주입층은 알칼리 금속 화합물(예를 들면, RbI 등) 및 희토류 금속(예를 들면, Yb)를 포함할 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.
- [0232] 상기 알칼리 금속 착체, 알칼리 토금속 착체 및 희토류 금속 착체는, 상술한 바와 같은 알칼리 금속, 알칼리 토금속 및 희토류 금속의 이온을 포함하고, 상기 알칼리 금속 착체, 알칼리 토금속 착체 및 희토류 금속 착체의 금속 이온에 배위된 리간드는, 서로 독립적으로, 히드록시퀴놀린, 히드록시이소퀴놀린, 히드록시벤조퀴놀린, 히드록시아크리딘, 히드록시페난트린, 히드록시페닐옥사졸, 히드록시페닐티아졸, 히드록시디페닐옥사디아졸, 히드록시디페닐티아디아졸, 히드록시페닐피리딘, 히드록시페닐벤조이미다졸, 히드록시페닐벤조티아졸, 비피리딘,

페난트롤린 및 시클로펜타다이엔 중에서 선택될 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다.

[0233] 상기 전자 주입층은 상술한 바와 같은 알칼리 금속, 알칼리 토금속, 희토류 금속, 알칼리 금속 화합물, 알칼리 토금속 화합물, 희토류 금속 화합물, 알칼리 금속 착체, 알칼리 토금속 착체, 희토류 금속 착체 또는 이들 중 임의의 조합만으로 이루어져 있거나, 상기 유기물을 더 포함할 수 있다. 상기 전자 주입층이 유기물을 더 포함할 경우, 상기 알칼리 금속, 알칼리 토금속, 희토류 금속, 알칼리 금속 화합물, 알칼리 토금속 화합물, 희토류 금속 화합물, 알칼리 금속 착체, 알칼리 토금속 착체, 희토류 금속 착체 또는 이들 중 임의의 조합은 상기 유기물로 이루어진 매트릭스에 균일 또는 불균일하게 분산되어 있을 수 있다.

[0234] 상기 전자 주입층의 두께는 약 1Å 내지 약 100Å, 약 3Å 내지 약 90Å일 수 있다. 상기 전자 주입층의 두께가 전술한 바와 같은 범위를 만족할 경우, 실질적인 구동 전압 상승없이 만족스러운 정도의 전자 주입 특성을 얻을 수 있다.

[0235] [제2전극(190)]

[0236] 상술한 바와 같은 전자 수송 영역(170) 상부에는 제2전극(190)이 배치되어 있다. 상기 제2전극(190)은 전자 주입 전극인 캐소드(cathode)일 수 있는데, 이 때, 상기 제2전극(190)용 물질로는 낮은 일함수를 가지는 금속, 합금, 전기전도성 화합물 및 이들의 조합(combination)을 사용할 수 있다.

[0237] 상기 제2전극(190)은, 리튬(Li), 은(Ag), 마그네슘(Mg), 알루미늄(Al), 알루미늄-리튬(Al-Li), 칼슘(Ca), 마그네슘-인듐(Mg-In), 마그네슘-은(Mg-Ag), 은-마그네슘(Ag-Mg), ITO 및 IZO 중에서 선택된 적어도 하나를 포함할 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다. 상기 제2전극(190)은 투과형 전극, 반투과형 전극 또는 반사형 전극일 수 있다.

[0238] 상기 제2전극(190)은 단일층인 단층 구조 또는 복수의 층을 갖는 다층 구조를 가질 수 있다.

[0239] 상기 정공 수송 영역(130)에 포함된 각 층 및 전자 수송 영역(170)에 포함된 각 층은 각각, 진공 증착법, 스핀 코팅법, 캐스트법, LB법(Langmuir-Blodgett), 잉크젯 프린팅법, 레이저 프린팅법, 레이저 열전사법(Laser Induced Thermal Imaging, LITI) 등과 같은 다양한 방법을 이용하여, 소정 영역에 형성될 수 있다.

[0240] 진공 증착법에 의하여 상기 정공 수송 영역(130)에 포함된 각 층 및 전자 수송 영역(170)에 포함된 각 층을 각각 형성할 경우, 증착 조건은, 예를 들면, 약 100 내지 약 500°C의 증착 온도, 약 10^{-8} 내지 약 10^{-3} torr의 진공도 및 약 0.01 내지 약 100Å/sec의 증착 속도 범위 내에서, 형성하고자 하는 층에 포함될 재료 및 형성하고자 하는 층의 구조를 고려하여 선택될 수 있다.

[0241] 스핀 코팅법에 의하여 상기 정공 수송 영역(130)에 포함된 각 층 및 전자 수송 영역(170)에 포함된 각 층을 각각 형성할 경우, 코팅 조건은, 예를 들면, 약 2000rpm 내지 약 5000rpm의 코팅 속도 및 약 80°C 내지 200°C의 열처리 온도 범위 내에서, 형성하고자 하는 층에 포함될 재료 및 형성하고자 하는 층의 구조를 고려하여 선택될 수 있다.

[0242] 이하에서, 실시예를 들어, 본 발명의 일 구현예를 따르는 박막 및 광전자 장치를 보다 구체적으로 설명한다.

[0243] [실시예]

[0244] 실시예 1

[0245] 상기 유리 기판 상에 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}$, TmI_2 및 EuI_2 의 몰비가 1 : 0.05 : 0.95가 되도록 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}$, TmI_2 및 EuI_2 를 공증착하여 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}$, TmI_2 및 EuI_2 를 포함한 전구체-함유막을 형성한 후, 상기 전구체-함유막을 15분 동안 약 100°C에서 열처리하여, $(\text{CH}_3\text{NH}_3)(\text{Tm}_{0.05}\text{Eu}_{0.95})\text{I}_3$ 를 포함한 40nm 두께의 박막을 형성하였다.

[0246] 실시예 2

[0247] 상기 유리 기판 상에 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}$, TmI_2 및 EuI_2 의 몰비가 1 : 0.2 : 0.8이 되도록 전구체-함유막을 형성하였다는 점을 제외하고는, 상기 실시예 1과 동일한 방법을 이용하여, $(\text{CH}_3\text{NH}_3)(\text{Tm}_{0.2}\text{Eu}_{0.8})\text{I}_3$ 를 포함한 40nm 두께의 박막을 형성하였다.

[0248] **실시예 3**

[0249] 상기 유리 기판 상에 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}$, TmI_2 및 EuI_2 의 몰비가 1 : 0.4 : 0.6이 되도록 전구체-함유막을 형성하였다는 점을 제외하고는, 상기 실시예 1과 동일한 방법을 이용하여, $(\text{CH}_3\text{NH}_3)(\text{Tm}_{0.4}\text{Eu}_{0.6})\text{I}_3$ 를 포함한 40nm 두께의 박막을 형성하였다.

[0250] **비교예 1**

[0251] 상기 유리 기판 상에 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}$ 및 PbI_2 의 몰비가 1 : 1이 되도록 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}$ 및 PbI_2 를 공증착하여 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}$ 및 PbI_2 를 포함한 전구체-함유막을 형성하였다는 점을 제외하고는, 상기 실시예 1과 동일한 방법을 이용하여, $(\text{CH}_3\text{NH}_3)\text{PbI}_3$ 를 포함한 40nm 두께의 박막을 형성하였다.

[0252] **비교예 2**

[0253] 상기 유리 기판 상에 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}$ 및 PbBr_2 의 몰비가 1 : 1이 되도록 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}$ 및 PbBr_2 를 공증착하여 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}$ 및 PbBr_2 를 포함한 전구체-함유막을 형성하였다는 점을 제외하고는, 상기 실시예 1과 동일한 방법을 이용하여, $(\text{CH}_3\text{NH}_3)\text{PbBr}_3$ 를 포함한 40nm 두께의 박막을 형성하였다.

[0254] **비교예 3**

[0255] 상기 유리 기판 상에 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}$ 및 EuI_2 의 몰비가 1 : 1이 되도록 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}$ 및 EuI_2 를 공증착하여 $\text{CH}_3\text{NH}_3\text{I}$ 및 EuI_2 를 포함한 전구체-함유막을 형성하였다는 점을 제외하고는, 상기 실시예 1과 동일한 방법을 이용하여, $(\text{CH}_3\text{NH}_3)\text{EuI}_3$ 를 포함한 40nm 두께의 박막을 형성하였다.

[0256] **평가예 1 : 필름 중 양자 효율(PLQY) 및 반치폭(FWHM) 평가**

[0257] 실시예 1 내지 3 및 비교예 1 내지 3에서 제작한 각각의 박막에 대하여, 필름 중 양자 효율(PLQY) 및 반치폭(FWHM)을 평가하여, 그 결과를 표 1에 정리하였다. 필름 중 양자 발광 효율(Luminescence quantum yields in film)은 각각의 박막에 대하여, 제논 광원(xenon light source), 모노크로메터(monochromator), 포토닉 멀티채널 분석기(photonic multichannel analyzer), 및 적분구(integrating sphere)가 장착되어 있고, PLQY measurement software (Hamamatsu Photonics, Ltd., Shizuoka, Japan)를 채용한, Hamamatsu Photonics absolute PL quantum yield measurement system을 이용하여 평가하였고, FWHM은 각각의 박막에 대하여 ISC PC1 스펙트로플로로메터 (Spectrofluorometer)를 이용하여 측정된 PL 스펙트럼을 분석하여 평가하였다.

표 1

	박막 조성	PLQY(%)	FWHM(nm)
[0258] 실시예 1	$(\text{CH}_3\text{NH}_3)(\text{Tm}_{0.05}\text{Eu}_{0.95})\text{I}_3$	91	23
실시예 2	$(\text{CH}_3\text{NH}_3)(\text{Tm}_{0.2}\text{Eu}_{0.8})\text{I}_3$	95	25
실시예 3	$(\text{CH}_3\text{NH}_3)(\text{Tm}_{0.4}\text{Eu}_{0.6})\text{I}_3$	92	27
비교예 1	$(\text{CH}_3\text{NH}_3)\text{PbI}_3$	86	29
비교예 2	$(\text{CH}_3\text{NH}_3)\text{PbBr}_3$	74	31
비교예 3	$(\text{CH}_3\text{NH}_3)\text{EuI}_3$	88	30

[0259] 상기 표 1로부터, 실시예 1 내지 3의 박막은 비교예 1 내지 3의 박막에 비하여 높은 PLQY 및 좁은 FWHM을 가짐을 확인할 수 있다.

[0260] **실시예 11**

[0261] 정공 수송 영역의 형성

[0262] 기판 및 애노드로서 코닝(corning) 15Ω/cm² (100nm) ITO가 형성된 유리 기판을 50mm x 50mm x 0.5mm 크기로 잘라서 아세톤, 이소프로필 알코올과 순수를 이용하여 각 15분 동안 초음파 세정한 후, 30분 동안 자외선을 조사하고 오존에 노출시켜 세정한 다음, 진공 증착 장치에 상기 유리 기판을 설치하였다.

[0263] 상기 ITO 애노드 상에 CuI를 증착하여 80nm 두께의 정공 수송층을 형성하여, 정공 수송 영역을 형성하였다.

[0264] 발광층의 형성

[0265] 상기 정공 수송 영역 상에 실시예 1에서와 동일한 방법을 이용하여, (CH₃NH₃)(Tm_{0.05}Eu_{0.95})I₃를 포함한 40nm 두께의 발광층을 형성하였다.

[0266] 전자 수송 영역의 형성

[0267] 상기 발광층 상에 TPBi를 증착하여 50nm 두께의 전자 수송층을 형성하고, 상기 전자 수송층 상에 RbI와 Yb를 1 : 1의 부피비로 공증착하여 1.5nm 두께의 전자 주입층을 형성하여, 전자 수송 영역을 형성하였다.

[0268] 캐소드의 형성

[0269] 상기 전자 수송 영역 상에 Ag와 Mg를 9 : 1의 부피비로 공증착하여 10nm 두께의 캐소드를 형성하여, ITO (100nm) / CuI (80nm) / (CH₃NH₃)(Tm_{0.05}Eu_{0.95})I₃ (40nm) / TPBi (50nm) / RbI:Yb (1.5nm) / AgMg (Mg 10 vol%, 10nm) 구조의 발광 소자를 제작하였다.

[0270] **실시예 12 및 13과 비교예 11 내지 13**

[0271] 발광층 형성시, 실시예 1 대신, 실시예 2 및 3과 비교예 1 내지 3의 박막 제조 방법을 각각 사용하였다는 점을 제외하고는, 상기 실시예 11과 동일한 방법을 이용하여 발광 소자를 제작하였다.

[0272] **평가예 2**

[0273] 상기 실시예 11 내지 13 및 비교예 11 내지 13에서 제작된 유기 발광 소자의 5mA/cm²에서의 구동 전압, 외부 양자 효율 및 최대 효율을 Keithley MU 236 및 휘도계 PR650을 이용하여 측정하여, 그 결과를 표 2에 나타내었다.

표 2

[0274]

	발광층 조성	구동전압 (V)	외부 양자 효율(EQE) (%)	최대 효율(Max.CE) (cd/A)
실시예 11	(CH ₃ NH ₃)(Tm _{0.05} Eu _{0.95})I ₃	4.2	1.2	1.3
실시예 12	(CH ₃ NH ₃)(Tm _{0.2} Eu _{0.8})I ₃	4.5	2	2.2
실시예 13	(CH ₃ NH ₃)(Tm _{0.4} Eu _{0.6})I ₃	4.7	1.5	1.8
비교예 11	(CH ₃ NH ₃)PbI ₃	5.2	0.21	0.22
비교예 12	(CH ₃ NH ₃)PbBr ₃	4.8	0.83	0.48
비교예 13	(CH ₃ NH ₃)EuI ₃	4.5	0.92	0.8

[0275] 상기 표 2로부터 실시예 11 내지 13의 유기 발광 소자는 비교예 11 내지 13의 유기 발광 소자에 비하여 낮은 구동 전압, 높은 외부 양자 효율 및 높은 효율을 가짐을 확인할 수 있다.

부호의 설명

- [0276] 10: 발광 소자
- 110: 제1전극
- 130: 정공 수송 영역
- 150: 발광층
- 170: 전자 수송 영역
- 190: 제2전극

도면

도면1

10

190
170
150
130
110