



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2013-0133081
(43) 공개일자 2013년12월05일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 51/50 (2006.01) H01L 51/56 (2006.01)
H05B 33/14 (2006.01) H05B 33/10 (2006.01)
(21) 출원번호 10-2013-7029632(분할)
(22) 출원일자(국제) 2005년10월21일
심사청구일자 2013년11월27일
(62) 원출원 특허 10-2007-7009170
원출원일자(국제) 2005년10월21일
심사청구일자 2010년10월06일
(85) 번역문제출일자 2013년11월07일
(86) 국제출원번호 PCT/US2005/037744
(87) 국제공개번호 WO 2006/135435
국제공개일자 2006년12월21일
(30) 우선권주장
60/620,967 2004년10월22일 미국(US)
60/629,579 2004년11월22일 미국(US)

(71) 출원인
매사추세츠 인스티튜트 오브 테크놀로지
미합중국, 매사추세츠 02142-1324, 캠브리지, 매
사추세츠 애비뉴 77
(72) 발명자
코에-철리반, 세스
미국, 매사추세츠 02478, 벨몬트, 해리에트 예비
뉴 60
스텍셀, 조나단, 에스.
미국, 매사추세츠 02141, 캠브리지, 에이퍼티. 2,
5스 스트리트 41
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
박경재

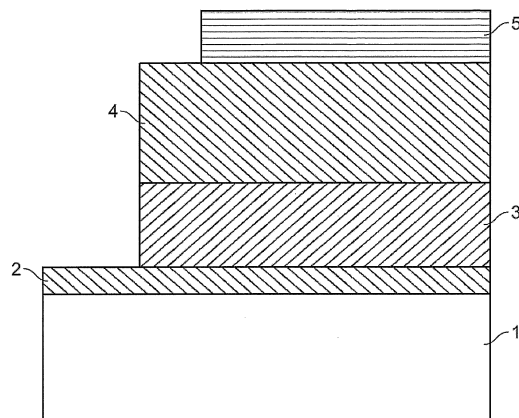
전체 청구항 수 : 총 12 항

(54) 발명의 명칭 반도체 나노결정을 포함하는 발광 디바이스

(57) 요약

발광 디바이스는 층에 반도체 나노결정을 포함한다. 층은 반도체 나노결정 분자막일 수 있다. 분자막은 기판 상에 패턴을 형성할 수 있다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

김, 리안

미국, 매사추세츠 02030, 도버, 케다 힐 로드 9

바웬디, 마운지, 쥐.

미국, 매사추세츠 02138, 캠브리지, 로웰 스트리트
17

블로빅, 블라디미르

미국, 매사추세츠 02420, 렉싱턴, 릴리안 로드 16

특허청구의 범위

청구항 1

발광 디바이스 형성방법에 있어서,

기관과 접촉하는 도포기로부터 적어도 일부분의 복수의 콜로이드성 성장된 반도체 나노결정들을 릴리즈하기 위하여 상기 도포기 표면을 수정하기 위해 선택된 조합물과 상기 도포기의 표면을 접촉하여, 상기 도포기의 표면에 복수의 콜로이드성 성장된 반도체 나노결정들을 배치하기 이전에 상기 도포기의 표면에 층을 증착시키는 단계;

상기 도포기 표면에 상기 복수의 콜로이드성 성장된 반도체 나노결정들을 배치하는 단계;

상기 기관에 적어도 일부분의 상기 복수의 콜로이드성 성장된 반도체 나노결정들을 전달하도록 제1 전극을 포함하는 기관으로 상기 도포기 표면을 접촉시키는 단계; 및

상기 제1 전극에 마주하여 제2 전극을 배열하는 단계를 포함하고,

상기 복수의 콜로이드성 성장된 반도체 나노결정들은 상기 제1 전극과 상기 제2 전극 사이에 배치되는,

발광 디바이스 형성방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 도포기 표면은 돌출 및 함몰을 갖는 패턴을 포함하고, 상기 복수의 콜로이드성 성장된 반도체 나노결정들은 상기 기관상에 패턴을 형성하는,

발광 디바이스 형성방법.

청구항 3

제 1 항 또는 제 2 항에 있어서,

상기 복수의 콜로이드성 성장된 반도체 나노결정들은 상기 기관상에 적어도 하나의 층을 형성하는,

발광 디바이스 형성방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 구성물은 방향성 유기 중합체를 포함하는,

발광 디바이스 형성방법.

청구항 5

제 1 항 내지 제 4 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 기관에 적어도 일부분의 상기 제2 복수의 콜로이드성 성장되는 반도체 나노결정들을 전달하기 위해, 제2 도포기의 표면에 제2 복수의 콜로이드성 성장되는 반도체 나노결정들을 배치하는 단계 및 상기 기관으로 상기 제2 도포기 표면을 접촉시키는 단계를 더 포함하고,

상기 제1 복수의 콜로이드성 성장되는 반도체 나노결정들은 상기 제2 복수의 콜로이드성 성장되는 반도체 나노결정들로부터 구별되는 방출파장을 가지는,

발광 디바이스 형성방법.

청구항 6

제 5 항에 있어서,

상기 기판에 적어도 일부분의 상기 제3 복수의 콜로이드성 성장되는 반도체 나노결정들을 전달하기 위해, 제3 도포기의 표면상에 제3 복수의 콜로이드성 성장되는 반도체 나노결정들을 배치하는 단계 및 상기 기판으로 상기 제3 도포기 표면을 접촉시키는 단계를 더 포함하고,

상기 제3 복수의 콜로이드성 성장되는 반도체 나노결정들은 상기 제1 복수의 콜로이드성 성장되는 반도체 나노결정들로부터 구별되고 상기 제2 복수의 콜로이드성 성장되는 반도체 나노결정들로부터 구별되는 방출파장을 가지는,

발광 디바이스 형성방법.

청구항 7

제 6 항에 있어서,

상기 제1, 제2 및 제3 복수의 콜로이드성 성장되는 반도체 나노결정들은 상기 기판의 비중첩되는 미리 결정된 영역들에 도포되고, 상기 제1, 제2 및 제3 복수의 콜로이드성 성장되는 반도체 나노결정들의 방출 파장들은 자외, 청색, 녹색, 적색, 혹은 적외 방출 파장, 혹은 이들의 조합 중에서 선택되는,

발광 디바이스 형성방법.

청구항 8

제 1 항 내지 제 7 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 기판은 상기 제1 전극에 위에 정공수송물질을 갖는 층을 포함하는,

발광 디바이스 형성방법.

청구항 9

제 8 항에 있어서,

상기 복수의 콜로이드성 성장되는 반도체 나노결정에 걸쳐 전자수송물질을 갖는 층을 형성하는 단계를 더 포함하고, 상기 제2 전극은 상기 전자수송물질을 갖는 층 위에 도포되는,

발광 디바이스 형성방법.

청구항 10

제 1 항 내지 제 9 항 중 어느 한 항에 있어서,

상기 도포기의 표면상에 상기 복수의 콜로이드성 성장되는 반도체 나노결정을 배치하는 단계는 스핀 코팅, 블레이드 코팅, 슬롯 코팅, 딥 코팅, 스프레이 코팅, 로드 코팅, 리버스 롤 코팅, 포워드 롤 코팅, 에어 나이프 코팅, 나이프 오버 롤 코팅, 그라비아, 마이크로그라비아, 압출 코팅, 슬라이드 코팅, 커튼 코팅 또는 이들의 조합을 포함하는,

발광 디바이스 형성방법.

청구항 11

제 1 항에 있어서,

상기 도포기의 상기 표면은 실질적으로 돌출 및 함몰이 없는,

발광 디바이스 형성방법.

청구항 12

제 1 항 내지 제 11 항 중 어느 한 항에 있어서,

도포기는 회전가능한 드럼상에 장착되는,

발광 디바이스 형성방법.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 반도체 나노결정들을 포함하는 발광 디바이스들에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 발광 디바이스들은 예를 들면 디스플레이들(예를 들면, 평판 디스플레이들), 스크린들(예를 들면, 컴퓨터 스크린들), 및 조명을 요하는 그 외의 아이템들에서 사용될 수 있다. 따라서, 발광 디바이스의 밝기는 디바이스의 한 중요한 특징이다. 또한, 저 동작 전압들 및 고효율성들은 발광성 디바이스들의 바람직한 특징들일 수 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0003] 발광 디바이스들은 디바이스의 활성성분의 여기에 의하여 광자들을 방출할 수 있다. 방출은 디바이스의 활성성분(예를 들면, 전장발광 성분)에 전압을 인가함으로써 자극이 가해질 수 있다. 전장발광 성분은 공액 유기 중합체 혹은 전자발광성 모이티(moiety)를 함유한 중합체와 같은 중합체, 혹은 유기 분자들의 층들일 수 있다. 통상적으로, 방출은 여기된 전하가 디바이스의 층들 사이에서 방광성 재결합에 의해 일어날 수 있다. 방출된 광은 최대 방출파장, 및 휘도(칸델라/제곱미터(cd/m^2) 혹은 파워 플럭스(W/m^2))로 측정되는 방출 세기를 포함하는 방출 프로파일을 갖는다. 디바이스의 방출 프로파일, 및 그 외 물리적 특성은 물질의 전자적 구조(예를 들면, 에너지 갭들)에 의해 영향을 받을 수 있다. 발광 디바이스들의 밝기, 방출되는 색들의 범위, 효율성, 동작전압, 및 동작 반감기는 디바이스의 구조에 따라 달라질 수 있다.

과제의 해결 수단

[0004] <요약>

[0005] 일반적으로, 발광 디바이스는 복수의 반도체 나노결정들을 포함할 수 있다. 반도체 나노결정들은 통상적으로 유기 리간드의 층 내에 장식되는 나노미터-스케일의 무기 반도체 입자들이다. 이들 제로-차원의 반도체 구조들은 나노결정들의 크기 및 구성에 의해 조율될 수 있는 전자적 및 광학적 특성들을 가진 복합 헤테로구조를 생성하기 위한 버텀-업 화학적 방법들을 설계시 활용될 수 있는 강한 양자 구속 효과들을 보인다.

[0006] 반도체 나노결정들은 발광 디바이스에서 루모포(lumophore)로서 사용될 수 있다. 반도체 나노결정들은 협 방출 라인 폭들을 가져, 광발광이 효율적이고 방출파장이 조율될 수 있기 때문에, 이들은 바람직한 루모포일 수 있다. 반도체 나노결정들은 용액 내 분산될 수 있으므로 스핀-캐스팅, 드롭-캐스팅 및 딥-코팅과 같은 박막 피착기술에 사용될 수 있다. 그러나, 이들 피착기술들에 기인한 니트 반도체 나노결정 고체들은 고체상태 발광 디바이스들에서 전기적 수송특성들이 좋지 않다. 니트 고체보다는 발광 디바이스에는 반도체 나노결정 분자막(monolayer)이 사용될 수 있다. 분자막은 전기적 수송에 영향을 최소화하면서 반도체 나노결정의 잇점있는 광 방출 특성들을 제공한다.

[0007] 반도체 나노결정 분자막들은 스핀-캐스팅, 랭뮤어-브로젯 기술, 혹은 드롭 캐스팅과 같은 것에 의해, 용액으로부터 자체 어셈블된다. 반도체 나노결정 분자막을 피착시키기 위한 일부 기술들은 사용되는 기판에 제약을 둘 수 있고, 층의 전기적 혹은 광학적 특성들을 달성하는 화학물들의 추가를 요구하며, 기판에 가혹한 조건이 가해지고, 혹은 어떻게 하든 성장될 수 있는 디바이스들의 유형들을 제약시킬 수 있다. 또한, 이들 기술들로는 분자막을 측방향에서 패터닝하지 못한다. 이들 두가지 특성은 가용 기술들을 단일 기판 상에 복수의 유색 LED들의 조립 혹은 디바이스 엔지니어링에 있어 이상적이지 못하게 한다.

[0008] 반도체 나노결정들은 마이크로접촉 인쇄를 사용하여 기판 상에 피착될 수 있다. 잇점이 있게, 마이크로접촉 인쇄는 표면상의 특징물들을 마이크로 스케일로(예를 들면 1mm 이하, 500 μm 이하, 200 μm 이하, 혹은 100 μm 이하) 패터닝할 수 있게 한다. 패턴 특징물들은 보다 큰 스케일, 이를테면 1mm 이상, 1cm 이상, 1m 이상, 혹은 10m 이상으로 적용될 수 있다. 특히, 반도체 나노결정 분자막은 마이크로접촉 인쇄에 의해 피착될 수 있다. 이 방법은 패터닝된 반도체 나노결정 막을 기판에 건식으로(즉, 용매 없이) 도포할 수 있게 하므로, 기판을 용해성 및 표면 화학적 요건들로부터 자유롭게 한다.

- [0009] 반도체 나노결정 분자막의 마이크로접촉 인쇄는 반도체 나노결정들을 포함한 포화된 색의 적색, 녹색 및 청색의 LED들을 제작하고, 단일 기판에 서로 다른 색들의 복수의 이러한 LED들을 배치하고, 마이크론 스케일로(<100 μ m) LED 패턴들을 형성하는데 사용될 수 있다. 피착 프로세스는 스케일러블하므로 큰 표면 영역 상에 LED들을 저렴하게 제조할 수 있게 한다.
- [0010] 일 면에서, 디바이스를 형성하는 방법은 도포기의 표면상에 나노물질을 배치하는 단계; 제1 전극을 포함한 기판에 상기 도포기의 표면을 접촉시키고, 그림으로써 상기 기판에 상기 나노물질의 적어도 일부를 전사시키는 단계; 및 상기 제1 전극에 대하여 제2 전극을 배열하는 단계를 포함한다.
- [0011] 도포기의 표면은 돌출 혹은 함몰을 포함한 패턴을 포함할 수 있다. 나노물질은 복수의 반도체 나노결정들을 포함할 수 있다. 복수의 반도체 나노결정들은 기판 상에 층을 형성할 수 있다. 층은 복수층, 분자막, 혹은 반도체 나노결정의 부분적 분자막일 수 있다. 상기 나노물질은 상기 기판 상에 층을 형성할 수 있다. 상기 층은 복수층, 분자막, 반도체 나노결정의 부분적 분자막일 수 있다. 나노물질은 상기 기판 상에 패턴을 형성할 수 있다.
- [0012] 방법은 상기 도포기의 표면상에 나노물질을 배치하기 전에 상기 도포기의 표면을 수정하는 단계를 포함할 수 있다. 상기 도포기를 수정하는 단계는 기판과 접촉시켜 상기 도포기로부터 상기 나노물질의 적어도 일부를 릴리즈하도록 선택된 조성물에 상기 도포기의 표면에 접촉시키는 단계를 포함할 수 있다. 상기 조성물은 방향성 유기 중합체를 포함할 수 있다.
- [0013] 방법은 제2 나노물질을 제2 도포기의 표면에 배치하는 단계; 및 상기 기판에 상기 제2 도포기의 표면을 접촉시켜 상기 기판에 상기 나노물질의 적어도 일부를 전사시키는 단계를 포함할 수 있다. 상기 제1 물질 및 상기 제2 나노물질은 각각 독립적으로 복수의 반도체 나노물질들을 포함할 수 있다. 상기 제1 복수의 반도체 나노결정들은 상기 제2 복수의 반도체 나노결정들로부터 구별될 수 있는 방출 파장을 가질 수 있다.
- [0014] *방법은 제3 복수의 반도체 나노물질을 제3 도포기의 표면에 배치하는 단계; 및 상기 기판에 상기 제3 도포기의 표면을 접촉시켜 상기 기판에 상기 제3의 복수의 반도체 나노물질의 적어도 일부를 전사시키는 단계를 포함할 수 있다. 상기 제3 복수의 반도체 나노물질들은 상기 제1 복수의 반도체 나노물질들로부터 구별될 수 있고, 상기 제2 복수의 반도체 나노물질들로부터 구별될 수 있는 방출 파장을 가질 수 있다. 상기 제1, 제2 및 제3의 복수의 반도체 나노결정들은 상기 기판의 사전 규정된 비중첩 영역들에 도포될 수 있다. 상기 제1, 제2, 및 제3의 복수의 반도체 나노결정들의 상기 방출 파장들은 자외, 청색, 녹색, 황색, 적색, 혹은 적외 방출 파장, 혹은 이들의 조합 중에서 선택될 수 있다.
- [0015] 패턴의 특징물은 10mm 이하, 1mm 이하, 100 마이크로미터 이하, 혹은 1마이크로미터 이하의 치수를 가질 수 있다. 패턴의 특징물은 적어도 1cm, 적어도 10cm, 혹은 적어도 100cm의 치수를 가질 수 있다.
- [0016] 기판은 전극 상에 정공수송물질을 포함하는 층을 포함할 수 있다. 방법은 상기 나노물질 상에 전자수송물질을 포함한 층을 형성하는 단계를 포함할 수 있다. 상기 제2 전극은 상기 전자수송물질을 포함한 층 상에 도포될 수 있다.
- [0017] 상기 도포기의 표면 상에 나노물질을 배치하는 단계는 스핀 코팅, 블레이드 코팅, 슬롯 코팅, 딥 코팅, 스프레이 코팅, 로드 코팅, 리버스 롤 코팅, 포워드 롤 코팅, 에어 나이프 코팅, 나이프 오버 롤 코팅, 그라비아, 마이크로그라비아, 압출 코팅, 슬라이드 코팅, 커튼 코팅, 혹은 이들의 조합을 포함할 수 있다. 상기 도포기의 표면은 실질적으로 돌출 및 함몰이 없을 수 있다. 상기 도포기는 회전가능 드럼 상에 장착될 수 있다.
- [0018] 또 다른 면에서, 발광 디바이스는 제1 전극; 상기 제1 전극에 대향한 제2 전극; 및 상기 제1 전극과 상기 제2 전극 사이에 배치된 반도체 나노결정 분자막을 포함한 사전 규정된 영역을 포함한다.
- [0019] 상기 사전 규정된 영역은 패턴을 형성할 수 있다. 상기 디바이스는 제2 반도체 나노결정 분자막을 포함하는 제2 사전 규정된 영역을 포함할 수 있다. 상기 제1 반도체 나노결정 분자막은 상기 제2 분자막의 방출 파장과는 구별되는 방출 파장을 가질 수 있다.
- [0020] 디바이스는 상기 제1 전극에 인접하여 배치되고 상기 제1 전극과 상기 제2 전극 사이에 배치되는 정공수송물질을 포함할 수 있다. 디바이스는 또한, 상기 제2 전극에 인접하여 배치되고 상기 제1 전극과 상기 제2 전극 사이에 배치되는 전자수송물질을 포함한 층을 포함할 수 있다. 상기 반도체 나노결정 분자막을 포함하는 상기 사전

규정된 영역은 정공수송물질을 포함하는 층과 전자수송물질을 포함하는 층 사이에 배치될 수 있다.

- [0021] 또 다른 면에서, 광 발생 방법은, 제1 전극, 상기 제1 전극에 대향한 제2 전극, 및 상기 제1 전극과 상기 제2 전극 사이에 배치된 반도체 나노결정 분자막을 포함하는 사전 규정된 영역을 포함하는 디바이스를 제공하는 단계; 및 상기 제1 전극 및 상기 제2 전극에 전압을 인가하는 단계를 포함한다. 전압을 인가하는 단계는 상기 제1 전극과 상기 제2 전극간에 전류를 흘리는 단계를 포함할 수 있다.
- [0022] 또 다른 면에서, 복수의 발광 디바이스들을 포함하는 디스플레이에 있어서, 적어도 한 발광 디바이스는, 제1 전극; 상기 제1 전극에 대향한 제2 전극; 및 상기 제1 전극과 상기 제2 전극 사이에 배치된 반도체 나노결정 분자막을 포함하는 사전 규정된 영역을 포함한다. 디스플레이는 제1 전극; 상기 제1 전극에 대향한 제2 전극; 및 상기 제1 전극과 상기 제2 전극 사이에 배치된 반도체 나노결정 분자막을 포함하는 사전 규정된 영역을 포함하는 제2 발광 디바이스를 포함할 수 있다.
- [0023] 상기 제1 발광 디바이스는 상기 제2 발광 디바이스의 방출 파장과는 구별될 수 있는 방출 파장을 가질 수 있다. 디스플레이는 제1 전극; 상기 제1 전극에 대향한 제2 전극; 및 상기 제1 전극과 상기 제2 전극 사이에 배치된 반도체 나노결정 분자막을 포함하는 사전 규정된 영역을 포함하는 제3 발광 디바이스를 포함할 수 있다. 상기 제3 발광 디바이스는 상기 제2 발광 디바이스의 방출 파장과, 상기 제1 발광 디바이스의 방출 파장과는 구별될 수 있는 방출 파장을 갖는다.
- [0024] 디스플레이는 제1 전극; 상기 제1 전극에 대향한 제2 전극; 및 상기 제1 전극과 상기 제2 전극 사이에 배치된 반도체 나노결정 분자막을 포함하는 사전 규정된 영역을 포함하는 제4 발광 디바이스를 포함할 수 있다. 상기 제4 발광 디바이스는 상기 제3 발광 디바이스의 방출 파장과, 상기 제2 발광 디바이스의 방출 파장과, 상기 제1 발광 디바이스의 방출 파장과는 구별될 수 있는 방출 파장을 갖는다.
- [0025] 상기 발광 디바이스는 10mm 이하, 1mm 이하, 혹은 10마이크로미터 이하의 치수를 가질 수 있다. 디스플레이는 능동 매트릭스 혹은 수동 매트릭스 전자장치를 포함할 수 있는 백플레인을 포함할 수 있다.
- [0026] 또 다른 면에서, 디스플레이는 제1 전극; 상기 제1 전극에 대향한 제2 전극; 상기 제1 전극과 상기 제2 전극간에 배치된 반도체 나노결정 분자막을 포함하는 사전 규정된 영역을 포함하는, 복수의 발광 디바이스들을 포함한다. 각각의 발광 디바이스의 상기 반도체 나노결정들은 자외, 청색, 녹색, 황색, 적색, 혹은 적외 방출 파장, 혹은 이들의 조합에서 선택된 방출 파장을 가질 수 있다.
- [0027] 발명의 다른 특징들, 목적들, 및 잇점들은 설명 및 도면, 및 청구항들로부터 명백할 것이다.

도면의 간단한 설명

- [0028] 도 1은 발광 디바이스를 도시한 개략도이다.
- 도 2는 발광 디바이스를 형성하는 방법을 도시한 도면이다.
- 도 3은 기판에 물질을 도포하는 방법을 도시한 도면이다.
- 도 4a-4c는 표면들의 AFM(atomic force microscope) 이미지들이다.
- 도 5a-5d는 발광 디바이스의 성능을 도시한 그래프이다.
- 도 6a-6c는 발광 디바이스들의 사진들이다.
- 도 7a-7h는 발광 디바이스들의 특성들을 도시한 것이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0029] 발광 디바이스는 디바이스의 두 개의 전극들을 격리시키는 2개의 층들(혹은 그 이상)을 포함할 수 있다. 한 층의 물질은 정공들을 수송하는 물질의 능력, 혹은 전공 수송층(HTL)에 기초하여 선택될 수 있다. 다른 층의 물질은 전자들을 수송하는 물질의 능력, 혹은 전자 수송층(ETL)에 기초하여 선택될 수 있다. 통상적으로 전자수송층은 전장발광성 층을 포함한다. 전압이 인가되었을 때, 한 전극은 정공들(양전하 캐리어들)을 정공수송층에 주입하며, 다른 전극은 전자들을 전자수송층에 주입한다. 주입된 정공들 및 전자들 각각은 서로 반대로 하전된 전극을 향하여 이동한다. 전자 및 정공이 동일 분자에 모일 때, 여기자(exciton)가 형성되고, 이것은 재결합하여 광을 방출할 수 있다.

- [0030] 발광 디바이스는 제1 전극(2), 전극(2)과 접촉한 제1층(3), 층(3)과 접촉한 제2층(4), 및 제2층(4)과 접촉한 제2 전극(5)의 도 1에 도시한 바와 같은 구조를 가질 수 있다. 제1층(3)이 정공수송층일 수 있고 제2층(4)이 전자수송층일 수 있다. 적어도 한 층은 비중합체일 수 있다. 대안적으로, 정공수송층과 전자수송층 사이에 별도의 방출층(도 1에 도시없음)이 포함될 수 있다. 이 구조의 전극들 중 하나는 기관(1)과 접촉하여 있다. 각 전극은 구조에 전압을 제공하기 위한 전원과 접촉할 수 있다. 전장발광은 적합한 극성의 전압이 헤테로구조에 인가될 때 헤테로구조의 방출층에 의해 생성될 수 있다. 제1층(3)은 복수의 반도체 나노결정들, 예를 들면, 나노결정들의 실질적으로 단순분산된 집단을 포함할 수 있다. 대안적으로, 별도의 방출층은 복수의 나노결정들을 포함할 수 있다. 나노결정들을 포함하는 층은 나노결정들로 된 분자막일 수 있다.
- [0031] 반도체 나노결정들을 포함하는 발광 디바이스들은 HTL 유기 반도체 분자들 및 반도체 나노결정들을 함유한 용액을 스핀-캐스팅함으로써 만들어질 수 있는데, 여기서 HTL은 상분리(phase separation)를 통해 반도체 나노결정 분자막 밑에 형성된다(예를 들면, 각각 여기 참조문헌으로 포함시키는 2003년 3월 28일 출원된 미국특허출원 10/400,907 및 10/400,908을 참조할 수 있다). 이 상분리 기술은 유기 반도체 HTL과 ELT 사이에 반도체 나노결정 분자막을 재현가능하게 놓여지게 하여, 그럼으로써 반도체 나노결정들의 유리한 광 방출 특성들을 효과적으로 활용하면서도 이들이 전기적 수행에 미치는 영향을 최소화한다. 이 기술에 의해 제작된 디바이스들은 용매 내 불순물들에 의해서, 그리고 반도체 나노결정들과 동일한 용매에 용해될 수 있는 유기 반도체 분자들을 사용할 필요성에 의해 한계가 있었다. 상분리 기술은 HTL 및 HIL의 상부에 반도체 분자막을 피착시키기에는 적합하지 않았다(용매가 하지의 유기 박막을 파괴시키기 때문에). 또한 상분리 방법은 동일 기관 상에서 서로 다른 색상들을 방출하는 반도체 나노결정들의 위치의 제어를 할 수 있게 하지 못한다. 유사하게, 상분리 방법은 동일 기관 상에 서로 다른 색을 방출하는 나노결정들을 패터닝할 수 있게 하지 못하였다.
- [0032] 기관은 불투명 혹은 투명할 수 있다. 기관은 단단할 수도 있고 유연할 수도 있다. 기관은 플라스틱, 금속 혹은 유리일 수 있다. 제1 전극은 예를 들면 고 일함수의 정공주입 도체, 이를테면 인듐 주석 산화물(ITO)층일 수 있다. 이외 제1 전극물질들은 갈륨 인듐 주석 산화물, 아연 인듐 주석 산화물, 질화티탄, 혹은 폴리아닐린을 포함할 수 있다. 제2 전극은 예를 들면 낮은 일함수(예를 들면, 4.0eV 이하)의 전자주입 금속으로서 이를테면 Al, Ba, Yb, Ca, 리튬-알루미늄 합금(Li:Al), 혹은 마그네슘-은 합금(Mg:Ag)일 수 있다. 제2 금속에는, 이를테면 Mg:Ag은 불투명한 보호 금속층, 예를 들면, 캐소드층을 대기의 산화로부터 보호하기 위한 Ag 층, 혹은 비교적 얇은 실질적으로 투명한 ITO 박층이 피복될 수 있다. 제1 전극은 약 500 옴스트롬 내지 4000 옴스트롬 두께를 가질 수 있다. 제1층은 약 50옴스트롬 내지 약 1000 옴스트롬의 두께를 가질 수 있다. 제2 층은 약 50 옴스트롬 내지 약 1000 옴스트롬의 두께를 가질 수 있다. 제2 전극은 약 50 옴스트롬 내지 약 1000 옴스트롬 이상의 두께를 가질 수 있다.
- [0033] 전자수송층(ETL)은 분자 매트릭스일 수 있다. 분자 매트릭스는 비중합체일 수 있다. 분자 매트릭스는 작은 분자, 예를 들면 금속착물일 수 있다. 예를 들면, 금속착물은 8-하이드록시퀴놀린 금속착물일 수 있다. 8-하이드록시퀴놀린 금속착물은 알루미늄, 갈륨, 인듐, 아연, 혹은 마그네슘 착물, 예를 들면 알루미늄 트리스(-하이드록시퀴놀린)(Alq₃)일 수 있다. ETL 내 다른 부류들의 물질들로서는 금속 티옥시노이드 화합물, 옥사디아졸 금속 킬레이트, 트리아졸, 섹시티오펜 유도체, 피라진, 및 스티릴안트라센 유도체를 포함할 수 있다. 정공수송층은 유기 발색단을 포함할 수 있다. 유기 발색단은 페닐 아민, 이를테면 N,N'-디페닐-N,N'-비스(3-메틸페닐)-(1,1'-바이페닐)-4,4'-디아민(TPD)일 수 있다. HTL은 폴리아닐린, 폴리피롤, 폴리(페닐렌 비닐렌), 구리 프탈로시아닌, 방향성 제3 아민 혹은 다핵 방향성 제3 아민, 4,4'-비스(9-카바졸릴)-1,1'-바이페닐 화합물, 혹은 N,N,N',N'-테트라아릴벤지다인을 포함할 수 있다.
- [0034] 층들은 스핀 코팅, 딥 코팅, 증기증착, 혹은 이외 박막증착 방법들에 의해 전극들 중 한 전극의 표면 상에 증착될 수 있다. 예를 들면, M.C.Schlamp, et al, J.Appl. Phys., 82, 5837-5842, (1997); V. Santhanam, et al, Langmuir, 19, 7881-7887, (2003); X. Lin, et al, J. Phys. Chem. B, 105, 3353-3357, (2001)을 참조할 수 있고, 그 각각은 전체를 참조문헌으로 여기 포함시킨다. 제2 전극은 고체층의 노출된 표면에 개재되거나, 스퍼터링되거나, 증발될 수 있다. 전극들 중 하나 혹은 두 전극들이 패터닝될 수 있다. 디바이스의 전극들은 전기적 도전성의 경로들에 의해 전압원에 접속될 수 있다. 전압의 인가시, 광이 디바이스로부터 발생된다.
- [0035] 마이크로접촉 인쇄는 기관의 사전 규정된 영역에 물질을 도포하는 방법을 제공한다. 예를 들면, A. Kumar 및 G. Whitesides, Applied Physics Letters, 63, 2002-2004, (1993); V. Santhanam and R. P. Andres, Nano Letters, 4, 41- 44, (2004)를 참조할 수 있고, 그 각각은 전체를 참조문헌으로 여기 포함시킨다. 사전 규정된 영역은 물질이 선택적으로 도포되는 기관 상의 영역이다. 물질 및 기관은 소정의 영역 내 실질적으로 전체적으

로 물질이 남아있게 선택될 수 있다. 패턴을 형성하는 사전 규정된 영역을 선택함으로써, 물질이 패턴을 형성하게 기관에 물질이 도포될 수 있다. 패턴은 규칙적인 패턴(이들테면, 어레이, 혹은 일련의 라인들)이거나 불규칙한 패턴일 수 있다. 일단 한 패턴의 물질이 기관 상에 형성되면, 기관은 물질을 포함하는 영역(사전 규정된 영역) 및 실질적으로 물질이 없는 영역을 구비할 수 있다. 어떤 상황에서, 물질은 기관 상에 분자막을 형성한다. 사전 규정된 영역은 불연속한 영역일 수 있다. 즉, 물질이 기관의 사전 규정된 영역에 도포될 때, 물질을 포함하는 위치들은 실질적으로 물질이 없는 다른 위치들에 의해 분리될 수 있다.

[0036] 일반적으로, 마이크로접촉 인쇄는 패턴닝된 몰드를 형성함으로써 시작한다. 몰드는 돌출과 함몰로 된 패턴을 가진 표면을 갖는다. 예를 들면, 패턴닝된 몰드 표면과 접촉하고 있는 중에 경화되는 액체 중합체 프리커서를 몰드의 패턴닝된 표면에 코팅함으로써, 돌출 및 함몰의 보상적 패턴을 가진 스탬프가 형성된다. 이어서 스탬프에 잉크를 칠할 수 있는데, 즉 스탬프는 기관 상에 피착시킬 물질과 접촉한다. 물질은 스탬프에 역으로 부착하게 된다. 잉크가 칠해진 스탬프는 기관이 접촉하게 된다. 스탬프의 돌출된 영역들은 기관과 접촉할 수 있고 스탬프의 함몰된 영역들은 기관으로부터 분리될 수 있다. 잉크가 칠해진 스탬프가 기관과 접촉할 경우, 잉크 물질(혹은 적어도 일부)이 스탬프에서 기관으로 옮겨진다. 이렇게 하여, 돌출 함몰 패턴이 스탬프로부터 기관 상에 물질을 포함하는 영역과 물질이 없는 영역으로서 기관에 전사된다. 마이크로패턴 인쇄 및 관련 기술들은 예를 들면 미국특허 5,512,131; 6,180,239; 및 6,518,168에 개시되어 있고, 그 각각은 전체를 참조문헌으로 여기 포함시킨다.

[0037] 도 2는 마이크로접촉 인쇄 프로세스에서 기본 단계들을 개괄한 흐름도이다. 먼저, 실리콘 기관 상에 패턴으로서 예를 들면 돌출 함몰 패턴을 정의하는 표준 반도체 가공기술들을 사용하여 실리콘 마스터를 만든다(대안적으로, 패턴이 없는 피착을 위해서, 블랭크 Si 마스터가 사용될 수 있다). 폴리 디메칠 실록산(PDMS, 예를 들면, Sylgard1 184) 프리커서들을 혼합하고, 가스를 제거하고, 마스터에 부어넣고, 다시 가스를 제거하고, 실온(혹은 보다 빠른 경화시간을 위해 실온 이상)에서 경화되게 한다(단계 1). 실리콘 마스터의 패턴을 포함한 표면을 갖는 PDMS 스탬프를 마스터에서 제거하고, 원하는 형상 및 크기로 자른다. 이어서 이 스탬프는 옵션으로, 필요시 잉크를 쉽게 부착 및 릴리즈하기 위해 선택되는 표면 화학층으로 수정될 수도 있다(단계 2). 표면 화학층은 잉크 용매에 의한 스탬프 팽창(swelling)에 대한 배리어, 및 잉크에 대한 부착/릴리즈 층일 수 있다. 화학기상증착에 의해 증착되는 방향성 유기 중합체들을 표면 화학층으로서 사용할 수 있다. 예를 들면, S.Coe-Sullivan, et al, Advanced Functional Materials, 15, 1117-1124 (2005)을 참조할 수 있고, 이 전체를 참조문헌으로 포함시킨다. 화학기상증착에 의한 표면 화학층 도포는 형상화된 스탬프의 컨포멀 코팅이 될 수 있게 한다. 표면 화학층은 클로로포름에 용해되는 잉크를 칠할 수 있는 것이 선택될 수 있다. 이어서 잉크를 스탬프에 도포한다(단계 3). 잉크가 도포된 스탬프는 기관과 접촉될 수 있고, 새로운 기관에 잉크를 옮기기 위해 30초동안 완만한 압력이 가해진다(단계 4).

[0038] 잉크는 나노물질을 포함할 수 있다. 나노물질은 100nm보다 작은 치수의 임의의 물질일 수 있다. 나노물질은 예를 들면 나노입자(예를 들면, 실리카 나노입자, 티타니아 나노입자, 혹은 금속 나노입자), 반도체 나노결정, 나노튜브(이를테면 단벽 혹은 다벽 탄소 나노튜브), 나노와이어, 나노로드, 혹은 중합체일 수 있다.

[0039] 예를 들면, 표면 화학층은 화학기상증착되는 Parylene-C 층일 수 있다. Parylene-C 층은 예를 들면 재현될 패턴에 따라 0.1 내지 2 μ m의 두께일 수 있다(단계 2). 이어서 이 스탬프에 반도체 나노결정 용액을 스핀-캐스팅하여 도포된다(단계 3). 용액은 예를 들면 클로로포름에 분산된 1-10mg/mL 농도의 반도체 나노결정들을 가질 수 있다. 농도는 원하는 결과물에 따라 달라질 수 있다. 잉크가 도포된 스탬프는 기관과 접촉될 수 있고, 새로운 기관에 완전히 잉크를 옮기기 위해(즉, 반도체 나노결정 분자막) 30초간 완만한 압력을 가한다(단계 4). 도 2a 및 도 2b는 ITO가 코팅된 유리기관의 준비를 도시한 것이다. 유기 반도체를 포함하는 정공수송 및/또는 정공주입층(각각 HTL 및 HIL)이 ITO기관 상에 열적으로 증발된다. 패턴닝된 반도체 나노결정 분자막은 이 HTL 층에 옮겨지고, 이어서 디바이스의 나머지(예를 들면, 전자수송층(ETL), 전자주입층(EIL), 및 금속접촉들)이 추가될 수 있다(단계 5)

[0040] 도 3은 기관 상에 물질의 패턴을 형성하기 위한 시스템을 도시한 것이다. 액체 도포기(100)는 잉크 스폿들(120)을 형성하는 잉크 액적들(110)을 스탬프(135)의 인쇄표면(130) 상에 옮긴다. 잉크 액적들(110)은 연속적으로 혹은 간헐적으로 도포될 수 있다. 연속도포는 기관 상에 연속적인 잉크 특징물이 되게 할 수 있고, 간헐적 도포는 기관 상에 잉크 패턴이 형성되게 할 수 있다. 패턴의 특징은 도포기(100)에 의해 적용되는 타이밍 및 액적 크기들을 제어함으로써 제어될 수 있다. 스탬프(135)는 예를 들면 회전드럼(140)의 원주 상에 장착된 원통형 스탬프일 수 있다. 스탬프(135)(텍스처된 혹은 특징물이 없는 스탬프일 수 있는)는 접촉점(160)에서 기관(150)의 표면(155)과 접촉한다. 회전드럼(140)이 회전할 때(곡선 화살표로 표시된), 잉크 스폿들(120)이 접촉점(160)에

도달하고, 이 곳에서 이들 잉크스팟들이 기관(150)(곧은 화살표로 표시된 방향으로 움직이는)의 표면(155)으로 옮겨져, 옮겨진 잉크 스팟들(170)을 형성한다. 드림(140) 및 스탬프(135)는 잉크 스팟들(120)이 용이하게 옮겨 지게 하기 위해서 접촉점(160)에서 기관(150)에 압력을 인가하게 구성될 수 있다. 시스템은 연속적으로 동작될 수 있다.

[0041] 전자 및 정공이 나노결정에 모였을 때, 방출 파장의 방출이 일어날 수 있다. 방출은 양자구속 반도체 물질의 밴드갭에 대응하는 주파수를 갖는다. 밴드갭은 나노결정의 크기의 함수이다. 작은 직경들을 갖는 나노결정들은 물질의 분자형태와 벌크 형태간의 중간적 특징들을 가질 수 있다. 예를 들면, 작은 직경들 갖는 반도체 물질들에 기초한 나노결정들은 3개의 차원 전부에서 전자 및 정공 둘 다의 양자구속을 보일 수 있고, 이는 결정자(crystallite) 크기 감소에 따라 물질의 효과적인 밴드갭의 증가를 가져올 수 있다. 결국, 결정자들의 크기가 감소함에 따라, 나노결정들의 광학적 흡수 및 방출 둘 다는 청색으로 혹은 보다 높은 에너지들로 옮겨진다.

[0042] 나노결정들로부터의 방출은 나노결정의 크기, 나노결정의 조성, 혹은 이들 둘 다를 가변시킴으로써 스펙트럼의 자외영역, 가시영역, 혹은 적외영역의 완전한 파장범위에 걸쳐 조율될 수 있는 협 가우시안 방출 대역일 수 있다. 예를 들면, CdSe는 가시영역에서 조율될 수 있고 InAs는 적외영역에서 조율될 수 있다. 나노결정 집단의 협 크기 분포로 의해서 협 스펙트럼 범위의 광이 방출될 수 있다. 집단은 단일분산일 수 있고 나노결정들의 직경에 있어서 15%이하의 rms 편차, 바람직하게는 10%이하, 보다 바람직하게는 5%이하를 보일 수 있다. FWHM(full width at half max)으로 약 75nm, 바람직하게는 60nm, 보다 바람직하게는 40nm, 가장 바람직하게는 30nm이하의 협 범위에서의 스펙트럼 방출이 관찰될 수 있다. 방출 폭은 나노결정 직경들의 분산이 감소함에 따라 감소한다. 반도체 나노결정들은 이를테면 10%, 20%, 30%, 40%, 50%, 60%, 70%, 혹은 80%보다 큰 고 방출 양자 효율들을 가질 수 있다.

[0043] 나노결정들을 형성하는 반도체는 II-VI족 화합물들, II-V족 화합물들, III-VI족 화합물들, III-V족 화합물들, IV-VI족 화합물들, I-III-VI족 화합물들, II-IV-VI족 화합물들, 혹은 II-IV-V족 화합물들로서, 예를 들면, ZnS, ZnSe, ZnTe, CdS, CdSe, CdTe, HgS, HgSe, HgTe, AlN, AlP, AlAs, AlSb, GaN, GaP, GaAs, GaSb, GaSe, InN, InP, InAs, InSb, TiN, TiP, TiAs, TiSb, PbS, PbSe, PbTe, 혹은 이들의 혼합물들을 포함할 수 있다.

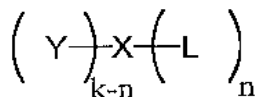
[0044] 단순분산 반도체 나노결정들을 준비하는 방법들은 고온의 조정 용매 내에 주입되는 디메틸 카드뮴과 같은 유기 금속 시약의 열분해를 포함한다. 이것은 분리된 핵형성을 가능하게 하고 거시적 량의 나노결정들에 대한 제어된 성장을 하게 한다. 나노결정들의 준비 및 조작은 예를 들면 전체를 참조문헌으로 포함시키는 미국특허 6,322,901 및 6,576,291, 특허출원 60/550,314에 개시되어 있다. 나노결정을 제조하는 방법은 콜로이드성 성장 프로세스이다. 콜로이드성 성장은 고온 조정 용매에 M 도너와 X 도너를 신속하게 주입함으로써 행해진다. 주입은 나노결정을 형성하기 위해 제어된 방식으로 성장될 수 있는 핵을 생성한다. 반응 혼합물은 나노결정을 성장시켜 어닐링하기 위해 완만하게 가열될 수 있다. 샘플 내 나노결정들의 평균 크기 및 크기 분포는 성장온도에 좌우된다. 꾸준한 성장을 유지하는데 필요한 성장온도는 평균 결정 크기를 증가시킴에 따라 증가한다. 나노결정은 나노결정들 집단의 멤버이다. 분리된 핵형성 및 제어된 성분의 결과로서, 얻어진 나노결정 집단은 직경들의 협, 단순분산 분포를 갖는다. 직경들의 단순분산 분포는 크기라고도 언급될 수 있다. 핵형성 이후 조정 용매에서의 나노결정들의 제어된 성장 및 어닐링의 프로세스는 균일한 표면 유도체화 및 규칙적 핵 구조들을 가져올 수 있다. 크기 분포가 첨예해질 때 꾸준한 성장을 유지하기 위해서 온도를 높일 수 있다. 보다 많은 M 도너 혹은 X 도너를 추가함으로써, 성장기간이 단축될 수 있다.

[0045] M 도너는 무기 화합물, 유기금속 화합물, 혹은 원소 금속일 수 있고, M은 카드뮴, 아연, 마그네슘, 수소, 알루미늄, 갈륨, 인듐 혹은 탈륨이다. X 도너는 M 도너와 반응하여 일반식 MX을 갖는 물질을 형성할 수 있는 화합물이다. 통상적으로, X 도너는 칼코게나이드 도너 혹은 pnictide 도너, 이를테면 포리핀 칼코게나이드, 비스(실릴) 칼코게나이드, 디옥시전, 알루미늄염, 혹은 트리스(실릴) pnictide이다. 적합한 X 도너들은 디옥시전, 비스(트리메틸시릴)셀레나이드((TMS)₂Se), 트리알킬 포스핀 셀레나이드로서 이를테면 (트리-n-옥틸포스핀)셀레나이드(TOPSe) 혹은 (트리-n-부틸포스핀)셀레나이드(TBPSe), 트리알킬 포스핀 텔루라이드들로서 이를테면 (트리-n-옥틸포스핀)텔루라이드(TOPTe) 혹은 헥사프로필포스포루스트리아미드 텔루라이드(HPPTe), 비스(트리니에칠시릴)텔루라이드((TMS)₂Te), 비스(트리메틸시릴)설파이드((TMS)₂S), 트리알킬 포스핀 설파이드로서 이를테면 (트리-n-옥틸포스핀)설파이드(TOPS), 이를테면 암모늄 할라이드(예를 들면, NH₄Cl)가 같은 암모늄염, 트리스(트리메틸시릴)포스핀((TMS)₃P), 트리스(트리메틸시릴)아스나이드((TMS)₃As), 혹은 트리스(트리메틸시릴)안티모나이드((TMS)₃Sb)을 포함한다. 어떤 실시예들에서, M 도너 및 X 도너는 동일 분자 내 모이티들일 수

있다.

- [0046] 조정 용매는 나노결정의 성장을 제어하는데 도움을 줄 수 있다. 조정 용매는 예를 들면 론(lone) 전자쌍을 성장하는 나노결정의 표면에 대해 조정하는데 사용할 수 있게 하는 도너 론 쌍을 갖는 화합물이다. 용매 조정은 성장하는 나노결정을 안정화시킬 수 있다. 전형적인 조정 용매로서는 알킬 포스핀, 알킬 포스핀 산화물, 알킬 포스포닉산, 혹은 알킬 포스포닉산을 포함하나, 그 외 다른 조정 용매들로서 이를테면 피리딘, 푸란, 및 아민이 나노결정 생성에 적합할 수 있다. 적합한 조정 용매의 예로서는 피리딘, 트리-n-옥틸 포스핀(TOP), 트리-n-옥틸 포스핀 산화물(TOPO) 및 트리스-하이드로옥실프로필포스핀(tHPP)를 포함한다. 기술적 그레이드 TOPO가 사용될 수 있다.
- [0047] 반응의 성장단계 동안에 크기 분포는 입자들의 흡수 선 폭들을 모니터함으로써 추정될 수 있다. 입자들의 흡수 스펙트럼의 변화들에 응하여 반응온도를 수정함으로써 성장동안 첨예한 입자 크기 분포를 유지할 수 있다. 보다 큰 결정들을 성장시키기 위해서 결정성장 동안에 핵형성 용액에 반응물이 첨가될 수 있다. 특정 나노결정 평균 직경에서 성장을 중지시키고 반도체 물질의 적합한 조성을 선택함으로써, 나노결정들의 방출 스펙트럼들이 CdSe 및 CdTe에 대해 300nm 내지 5미크론, 혹은 400nm 내지 800nm의 파장 범위에 대해 연속적으로 조율될 수 있다. 나노결정은 150Å 이하의 직경을 갖는다. 나노결정 집단은 15Å 내지 125Å의 범위 내 평균 직경들을 갖는다.
- [0048] 나노결정은 좁은 크기 분포를 갖는 나노결정 집단의 멤버일 수 있다. 나노결정은 구, 봉, 원반 혹은 다른 형상일 수 있다. 나노결정은 반도체 물질 코어를 포함할 수 있다. 나노결정은 화학식 MX를 갖는 코어를 포함할 수 있고, 여기서 M은 카드뮴, 아연, 마그네슘, 수소, 알루미늄, 갈륨, 인듐, 탈륨 혹은 이들의 혼합물이고, X는 산소, 황, 셀레늄, 텔루르, 질소, 인, 비소, 안티몬, 혹은 이들의 혼합물이다.
- [0049] 코어는 코어의 표면 상에 오버코팅을 가질 수 있다. 오버코팅은 코어의 조성과는 다른 조성을 갖는 반도체 물질일 수 있다. 나노결정의 표면 상의 반도체 물질의 오버코트는 II-VI족 화합물, II-V족 화합물, III-VI족 화합물, III-V족 화합물, IV-VI족 화합물, I-III-VI족 화합물, II-IV-VI족 화합물, II-IV-V족 화합물, 예를 들면, ZnS, ZnSe, ZnTe, CdS, CdSe, CdTe, HgS, HgSe, HgTe, AlN, AlP, AlAs, AlSb, GaN, GaP, GaAs, GaSb, GaSe, InN, InP, InAs, InSb, TiN, TiP, TiAs, TiSb, PbS, PbSe, PbTe, 혹은 이들의 혼합물을 포함할 수 있다. 예를 들면, ZnS, ZnSe 혹은 CdS 오버코팅들은 CdSe 혹은 CdTe 나노결정들 상에 성장될 수 있다. 오버코팅 프로세스는 예를 들면 미국특허 6,322,901에 기재되어 있다. 오버코팅 동안에 반응 혼합물의 온도를 조정하고 코어의 흡수 스펙트럼을 모니터함으로써, 고 방출 양자 효율 및 협 크기 분포들을 갖는 오버코팅이 된 물질들이 얻어질 수 있다. 오버코팅은 1 내지 10 분자막 두께일 수 있다.
- [0050] 입자 크기 분포는 미국특허 6,322,901에 기재된 바와 같이 메탄올/부탄올과 같은 나노결정들에 대한 비작용성 용매에 의한 크기 선택성 침전에 의해 더욱 정밀해질 수 있다. 예를 들면, 나노결정들은 헥산에 10% 부탄올의 용액에 분산될 수 있다. 유백광이 지속될 때까지 상기 교반용액에 메탄올을 한 방울씩 첨가할 수 있다. 원심분리에 의한 상정액과 응집물의 분리는 샘플 내 가장 큰 결정자들이 풍부한 침전물을 생성한다. 이 과정은 첨예한 광학적 흡수 스펙트럼이 더 이상 나타나지 않을 때까지 반복될 수 있다. 크기 선택성 침전은 피리딘/헥산 및 클로로포름/메탄올을 포함한, 다양한 용매/비용매 쌍들에서 수행될 수 있다. 크기가 선택된 나노결정 집단은 평균 직경에서 단지 15%만의 편차, 바람직하게는 10% rms 이하의 편차, 보다 바람직하게는 5% rms 이하의 편차를 가질 수 있다.
- [0051] 나노결정의 외표면은 성장 프로세스 동안 사용되는 조정 용매로부터 유도된 화합물층을 포함할 수 있다. 표면은 오버층을 형성하기 위해 여분의 경합 조정 그룹에 반복된 노출에 의해 수정될 수 있다. 캡이 씌워진 나노결정의 분산은 예를 들면, 피리딘, 메탄올, 방향족에서는 쉽게 분산하나 알리파틱 용매들에선 더 이상 분산되지 않는 결정자들을 생성하기 위해서 이를테면 피리딘과 같은 조정 유기 화합물로 처리될 수 있다. 이러한 표면 교환 프로세스는 예를 들면 포스핀, 티올, 아민 및 포스페이트를 포함하는, 나노결정의 외표면을 조정하거나 이에 결합할 수 있는 임의의 화합물로 수행될 수 있다. 나노결정은 표면에 대해 친화력을 보이며 현탁매질 혹은 분산매질에 대해 친화력을 갖는 모이티에 중단을 이루는 단쇄 중합체에 노출될 수 있다. 이러한 친화력은 현탁액의 안정성을 향상시키며 나노결정의 응집을 저지한다. 나노결정 외층들은 전체를 참조문헌에 포함시키는 미국특허 6,251,303에 개시되어 있다.

[0052] 구체적으로, 조정 리간드는 다음의 화학식을 가질 수 있다.



[0053]

[0054] k는 2, 3 혹은 5이고, n은 k-n이 제로 이하이 되지 않게 하는 1, 2, 3, 4 혹은 5이고, X는 O, S, S=O, SO₂, Se, Se=O, N, N=O, P, P=O, As, 혹은 As=O이며, Y 및 L 각각은 독립적으로 아릴, 헤테로아릴, 혹은 적어도 하나의 이중결합, 적어도 하나의 3중결합, 혹은 적어도 하나의 이중결합과 하나의 3중결합을 선택적으로 포함한 직 혹은 분지 C₂₋₁₂ 탄화수소 사슬이다. 탄화수소 사슬은 하나 이상의 C₁₋₄ 알킬, C₂₋₄ 알케닐, C₂₋₄ 알키닐, C₁₋₄ 알콕시, 히드록실, 할로, 아미노, 니트로, 시아노, C₃₋₅ 사이클로알킬, 3-5 멤버 헤테로사이클로알킬, 아릴, 헤테로아릴, C₁₋₄ 알킬카보닐옥시, C₁₋₄ 알킬옥시카보닐, C₁₋₄ 알킬카보닐, 혹은 포밀로 선택적으로 치환될 수 있다. 탄화수소 사슬은 -O-, -S-, -N(R^a)-, -N(R^a)-C(O)-O-, -O-C(O)-N(R^a)-, -N(R^a)-C(O)-N(R^b)-, -O-C(O)-O-, -P(R^a)-, 혹은 -P(O)(R^a)-에 의해 선택적으로 단속될 수 있다. R^a 및 R^b 각각은, 독립적으로, 수소, 알킬, 알케닐, 알키닐, 알콕시, 하이드록실알킬, 하이드록실, 혹은 할로알킬이다.

[0055] 아릴기는 치환된 혹은 비치환된 순환 방향족 기이다. 예로서는 페닐, 벤질, 나프틸, 톨릴, 안트라실, 니트로페닐, 혹은 할로페닐을 포함한다. 헤테로아릴기는 고리에 하나 이상의 헤테로원자들을 가진 아릴기이며 예를 들면 푸릴, 피리리디, 피롤릴, 페난트릴이다.

[0056] 적합한 조정 리간드는 구입하거나 아니면 예를 들면 전체를 참조문헌으로 포함시키는 J. March, Advanced Organic Chemistry에 기재된 바와 같은 통상의 합성 유기 기술들에 의해 준비될 수 있다.

[0057] 투과형 전자 현미경(TEM)은 나노결정 집단의 크기, 형상, 및 분포에 관한 정보를 제공할 수 있다. 분말 X선 회절(XRD) 패턴들은 나노결정들의 결정구조의 유형 및 질에 관한 가장 완전한 정보를 제공할 수 있다. 입자 직경이 X선 코히어런스 길이를 통해 피크 폭에 역으로 관계되기 때문에 크기의 추정들도 가능하다. 예를 들면, 나노결정의 직경은 투과형 전자 현미경에 의해 직접적으로 측정되거나 예를 들면 세리 식을 사용하여 X선 회절 데이터로부터 추정될 수 있다. UV/Vis 흡수 스펙트럼으로부터 추정될 수도 있다.

[0058] 디바이스는 제어된(산소가 없고 습기가 없는) 환경에서 제작되어 제조 프로세스 동안에 발광효율의 권칭을 방지할 수 있다. 디바이스의 성능을 향상시키기 위해서 그 외 복수층 구조들이 사용될 수도 있다(예를 들면, 전체를 참조문헌으로 포함시키는 미국특허출원 10/400,908 및 10/400,908을 참조한다). 이를테면 전자차단층(EBL), 정공차단층(HBL) 혹은 정공 및 전자 차단층(eBL)과 같은 차단층이 구조에 도입될 수 있다. 차단층은 3-(4-바이페닐릴)-4-페닐-5-tert-부틸페닐-1,2,4-트리아졸(TAZ), 3,4,5-트리페닐-1,2,4-트리아졸, 3,5-비스(4-tert-부틸페닐)-4-페닐-1,2,4-트리아졸, 마토쿠프로인(BCP), 4,4',4"-트리스{N-(3-메틸페닐)-N-페닐아미노}트리페닐아민(m-MTDATA), 폴리에틸렌 디옥시티오펜(PEDOT), 1,3-비스(5-(4-디페닐아미노)페닐-1,3,4-옥사디아졸-2-일)벤젠, 2-(4-바이페닐릴)-5-(4-tert-부틸페닐)-1,3,4-옥사디아졸, 1,3-비스[5-(4-(1,1-디메틸에틸)페닐)-1,3,4-옥사디아졸-2-일]벤젠, 1,4-비스(5-(4-디페닐아미노)페닐-1,3,4-옥사디아졸-2-일)벤젠, 혹은 1,3,5-트리스[5-(4-(1,1-디메틸에틸)페닐)-1,3,4-옥사디아졸-2-일]벤젠을 포함할 수 있다.

[0059] 유기 발광 디바이스들의 성능은 이들의 효율을 증가시키거나, 이들의 방출 스펙트럼들을 좁히거나 혹은 넓히거나, 이들의 방출을 극성을 갖게 함으로써 향상될 수 있다. 예를 들면, 각각의 전체를 참조문헌으로 여기 포함시키는, Bulovic et al, Semiconductors and Semimetals 64, 255 (2000), Adachi et al, Appl. Phys. Lett. 78, 1622 (2001), Yamasaki et al, Appl. Phys. Lett. 76, 1243 (2000), Dirr et al, Jpn. J. Appl. Phys. 37, 1457 (1998), D'Andrade et al, MRS Fall Meeting, BB6.2 (2001)을 참조할 수 있다. 나노결정들은 효율적인 혼성 유기/무기 발광 디바이스들에 포함될 수 있다.

[0060] 나노결정들의 협 FWHM은 포화된 색 방출로 될 수 있다. 이것은 나노결정 방출 디바이스들에서는 어떠한 광자들도 적외 및 UV 방출로 손실되지 않기 때문에, 가시 스펙트럼의 적색부분 및 청색부분에서도 효율적인 나노결정 발광 디바이스들이 되게 할 수 있다. 단일 물질 시스템의 전체 가시 스펙트럼에 걸쳐 광범하게 조율될 수 있는, 포화된 색 방출은 임의의 부류의 유기 발색단에 의해서 매칭되지 않는다(예를 들면, 전체를 참조문헌으로 포함시키는 Dabbousi et al, J. Phys. Chem. 101, 9463 (1997) 참조). 나노결정들의 단순분산 집단은 협 범위의 파장들에 걸친 광을 방출할 것이다. 2이상의 나노결정들을 포함하는 디바이스는 2이상의 협 범위의 파장들의

광을 방출할 수 있다. 뷰어에 의해 인지되는 방출된 광의 색은 나노결정 크기 및 디바이스 내 물질들의 적합한 조합들을 선택함으로써 제어될 수 있다. 또한, 코히런트하게 결합된 무기 나노결정들의 환경적 안정성은 나노결정들이 발광 센터들로서 사용될 때 혼성 유기/무기 발광 디바이스들의 디바이스 수명들이 모든 유기 발광 디바이스들의 수명에 같거나 이를 초과할 것임을 암시한다. 나노결정들의 밴드 에지 에너지 레벨들의 하강은 직접적인 전하 주입에 의해 발생되든 아니면 에너지 전달에 의해 발생되든, 모든 가능한 여기자들의 캡처 및 발광성 재결합을 용이하게 한다. 그러므로 최대 이론적 나노결정 발광 디바이스의 효율들은 인광성 유기 발광 디바이스들의 단위 효율에 필적한다. 나노결정의 여기된 상태 수명(τ)은 전형적인 인광체($\tau > 0.5 \mu s$)보다 훨씬 짧아($\tau \sim 10 ns$), 나노결정 발광 디바이스들이 고 전류밀도에서도 효율적으로 동작할 수 있게 한다.

[0061] 가시 혹은 적외광을 방출하는 디바이스들이 준비될 수 있다. 나노결정이 선택된 파장의 가시 혹은 적외광을 방출하게 반도체 나노결정의 크기 및 물질이 선택될 수 있다. 파장은 300nm 내지 2,500nm 이상, 예를 들면 300nm 내지 400nm, 400nm 내지 700nm, 700nm 내지 1100nm, 1100nm 내지 2500nm, 혹은 2500nm 이상일 수 있다.

[0062] 개개의 디바이스들은 디스플레이를 형성하기 위해 단일 기관 상의 복수의 위치들에 형성될 수 있다. 디스플레이는 서로 다른 파장들에서 방출하는 디바이스들을 포함할 수 있다. 서로 다른 색을 방출하는 반도체 나노결정들의 어레이들로 기관을 패터닝함으로써, 서로 다른 색들의 화소들을 포함하는 디스플레이가 형성될 수 있다. 어떤 적용들에서, 기관은 백플레인을 포함할 수 있다. 백플레인은 개개의 화소들에의 파워를 제어 혹은 스위칭하기 위한 능동 혹은 수동 전자장치들을 포함한다. 백플레인은 포함하는 것은 이를테면 디스플레이들, 센서들, 혹은 이미지저들과 같은 적용들에 유용할 수 있다. 특히, 백플레인은 능동 매트릭스, 수동 매트릭스, 고정된 포맷, 직접적인 드라이브, 혹은 혼성으로서 구성될 수 있다. 디스플레이는 정지 이미지들, 동화상들, 혹은 조명을 위해 구성될 수 있다. 조명 디스플레이는 백색광, 단색광, 혹은 색 조율가능한 광을 제공할 수 있다.

[0063] 도 4는 AFM(atomic force microscopy)에 의해 측정된 마이크로접촉 인쇄 프로세스의 각 단계에서 관찰되는 표면 기복을 도시한 것이다. 도 4a는 평탄한(패터닝되지 않은) 마스터에 캐스트되었을 때 PDMS 스탬프 자체의 평탄성을 보여준다. 도 4b 및 도 4c는 각각 반도체 나노결정들로 잉크가 칠해진 스탬프와, 유기 반도체 정공수송층 상에 옮겨진 반도체 나노결정들을 도시한 것이다. 반도체 나노결정들은 도 4c에서 표면영역의 30-40%를 덮은 서브-분자막(즉, 가용 영역 전부를 덮지 않는 분자막)을 형성하였다. 도 4b 및 도 4c에서, 서브-분자막을 구성하는 반도체 나노결정들의 섬들이 육안으로 관찰되었지만, 개개의 반도체 나노결정들은 이들이 다른 반도체 나노결정들로부터 이격되어 있을 때에만 관찰될 수 있었다. 도 4b 및 도 4c에서 관찰된 총 피크-피크 높이는 10nm 이하이었으며, 이는 실제로 피착이 단지 하나의 분자막(이 실험에서 사용된 반도체 나노결정들은 직경이 6-8nm이었다)일뿐이었음을 나타낸다. 90%보다 큰 막 영역 피복성의 분자막들은 스탬프에 잉크를 칠하는데 사용되었던 원클로로포름 용액 내 반도체 나노결정들의 농도를 증가시킴으로써 달성되었다.

[0064] 대조적으로, 반도체 나노결정들의 마이크로접촉 인쇄는 디바이스 제조에 불순물들을 도입하지 않았던 건식 프로세스(즉, 용매를 요구하지 않는다)이었다. 디바이스 내 유기층들 전부는 초고 진공 조건 하에서 피착되었다. 유기층들은 반도체 나노결정층들의 피착을 위해 질소 환경에 단지 한번 노출되었다. 디바이스 제조의 어떤 단계에서도 유기 반도체 물질들 어느 것도 용매에 노출되지 않았다. 반도체 나노결정 피착에 이어 정공차단층(HBL) 3-(4-바이페닐릴)-4-페닐-5-tert-부틸페닐-1, 2, 4-트리아졸(TAZ) 및 ETL, 트리스-(8 하이드록시퀴놀린)알루미늄(Alq_3), 및 최종으로 증발된Mg:Ag/Ag 캐소드(Mg: Ag 중량으로 50:1)이 연속적으로 피착되었다.

[0065] 도 5는 반도체 나노결정 마이크로접촉 인쇄 기술을 사용하여 제조된 적색, 녹색 및 청색 발광 디바이스들에 대한 디바이스 특성들을 도시한 것이다. 적색, 녹색, 및 청색 방출 반도체 나노결정들은 모두가 개별적으로, 열적으로 증발된 정공수송물질 4,4'-N,N'-디카바졸릴-바이페닐(CBP) 박막에 인쇄되었다.

[0066] 도 5a-5d는 적색, 녹색, 및 청색 방출 발광 디바이스들의 디바이스 특성들을 나타낸다. 적색, 녹색, 및 청색 방출 디바이스들의 전장발광(EL) 스펙트럼들을, 개개의 적색, 녹색, 및 청색 디바이스들을 촬영한 디지털 사진들과 함께 도 5a에 도시하였다. 외부 양자효율 및 전류-전압 곡선들을 각각 도 5a, 도 5c에 나타내었다. 각 플롯에서 선들의 색들은 디바이스가 방출하고 있는 광의 색에 대응한다. 도 5d는 각각의 디바이스들에 의해 방출되는 이들 색들이 HDTV 표준 색 삼각형에 대한 CIE 색도도에 포함되는 것을 도시한 것이다.

[0067] 반도체 나노결정에 관한 이전의 연구는 많은 다른 HTL 후보들에 비해 N,N'-디페닐-N,N'-비스(3-메틸페닐)-(1,1'-바이페닐)-4,4'-디아민(TPD)이 HTL로서 클로로포름 및 클로로벤젠(반도체 나노결정들에 사용가능한 용매)에서 좋은 용해성에 기인해서 이들을 채용하였다. 마이크로접촉 인쇄 방법은 HTL/HIL 물질이 반도체 나노결정에 호환되는 용매일 것을 요구하지 않는다. 그러므로, 다른 HTL/HIL 물질들이 조사되었으며, 광대역 갭 유기 반도체 CBP가 채용되었다. 도 5a 및 도 5d에서 볼 수 있는 바와 같이 보다 큰 대역 갭의 CBP 분자는 디바이스들

에서 훨씬 나은 색 포화를 내었다. 색 포화는 색이 사람의 눈에 얼마나 순수하게 보이는가를 지칭하며 CIE(Commission International d'Eclairage) 색도 좌표에서 정량화되는 것으로서, 방출 파장 및 대역폭(FWHM)으로부터 계산되고 이어서 도 5d에 도시한 바와 같이 CIE도 상에 작도될 수 있다.

[0068] 보다 큰 색 포화는 CBP의 사용으로 이제 가능하게 된 보다 큰 수월한 에너지 전달 프로세스에 기인할 수 있고, 이에 따라 유기 방출의 세기는 감소되고 반도체 나노결정 방출의 세기는 증가하게 되어, 반도체 나노결정 EL과 유기 EL간의 비가 더 커지게 된다.

[0069] 적색 및 녹색 반도체 나노결정 디바이스들의 우수한 색 포화는 도 5d에 도시한 바와 같이 현재의 고상세 텔레비전(HDTV) 표준 색 삼각형에 대한 CIE도 상의 위치에 의해 표현되었다. 청색 디바이스의 CIE 색 좌표들은 HDTV 표준 색 삼각형 내에 놓여져 있고 청색 디바이스(도 5a)의 EL 스펙트럼에 보여진 적색 말미의 결과였다. 이 적색 말미는 엑시플렉스 방출, 즉 본 디바이스 구조에서 두 개의 큰 대역값 HTL과 HBL간의 혼합된 상태의 결과일 수 있다. 이 엑시플렉스 방출은 적색 디바이스에서는 보이지 않았는데, 이는 아마도 엑시플렉스로부터 이들 에너지 상태들이 적색 방출 반도체 나노결정들에 전달되는 포스터 에너지 때문일 것이다. 녹색 디바이스는 이 엑시플렉스 방출의 매우 작은 양만을 나타내었으며 이는 아마도 HTL을 HBL로부터 분리시키고 따라서 이들의 상호작용을 분리시키는 녹색 방출 반도체 나노결정들의 분자막의 고도의 막 피복도와, 유기 엑시플렉스 EL에 대한 큰 나노결정 EL 세기에 기여하는 나노결정들 자체들의 고 PL 양자 효율(40%)에 기인한다. 또 다른 기여하는 요소는, 디바이스들이 고 전류($\sim 100 \mu A$)에서 동작할 때, 녹색 나노결정 방출 피크에 대해 우측에 있어 녹색 나노결정 방출에 의해 완전히 가려지거나 녹색 방출 나노결정들에 전달되는 포스터 에너지인 $\sim 620nm$ 에서 $\sim 520nm$ 로 엑시플렉스 방출 피크가 옮겨지는 것이다. 청색 디바이스들은 청색 방출 반도체 나노결정 PL 양자 효율이 증가함에 따라(현재는 20%) 향상될 것이다. 도 5b는 적색, 녹색, 및 청색 반도체 나노결정 디바이스들의 외부 양자 효율(EQE)을 도시한 것으로 반도체 나노결정들의 PL 양자효율에 따라 디바이스들의 EQE가 어떻게 스케일링되는가를 보이고 있다. 현재 적색 방출 디바이스의 EQE는 디바이스 사용을 위한 처리 및 준비 후에 70%의 PL 양자 효율들을 갖는 반도체 나노결정들을 사용하여 1.2%이었다. 녹색 방출 나노결정 디바이스들은 40%의 PL 양자 효율들을 가진 반도체 나노결정들을 사용하여 0.5%의 EQE들을 가졌다. 청색 EQE는 20%의 PL 양자효율들을 가진 반도체 나노결정들을 사용하여 0.25%이었다. 나노결정 디바이스들의 모든 3개의 색들은 2-5V의 턴 온 전압들과 8-12V의 동작전압에서, 도 5c에 도시한 바와 같은 재현가능의 안정된 전류-전압(IV) 특성들을 가졌다. 디스플레이 밝기(100 cd/m^2)는 나노결정 발광 디바이스들의 모든 3개의 색들에 대해서 $\sim 2 \text{ mA/cm}^2$ 및 $\sim 10V$ 에서 달성되었다.

[0070] 반도체 나노결정 마이크로접촉 인쇄 기술은 한 패턴으로 동일 기판 상에 서로 다른 색 방출 반도체 나노결정들을 배치할 수 있는 능력을 제공하므로 풀 컬러 디스플레이 적용들을 위한 화소들의 형성할 수 있게 한다. 풀 컬러 디스플레이를 위한 화소의 치수는 통상적으로 $20-30 \mu m$ 정도이다. 패터닝된 반도체 나노결정 발광 디바이스들은 $100 \mu m$ 이하의 스케일로 형성될 수 있다. 도 6a는 동일한 1인치 기판 상에 적색 방출 반도체 나노결정들의 영역 옆의 녹색 방출 반도체 나노결정들의 영역을 스탬핑한 결과를 도시한 것이다. 도 6a에서 턴 온 된 3개의 디바이스들은 인접한 적색 및 녹색 방출 디바이스들과, 어떠한 반도체 나노결정들도 스탬핑되지 않은 영역 상의 디바이스(즉, ITO/CBP/TAZ/Alq3/MgiAg/Ag의 구조를 가진 유기 LED)이었다.

[0071] 도 6b는 나노결정 광 방출 디스플레이들용으로 화소화를 향한 서브- $100 \mu m$ 패터닝을 달성하기 위한 이 기술의 실제적 가능성 시사하는 것이다. 도 6b에 도시한 디바이스를 제작하기 위해서, 녹색 방출 반도체 나노결정들이 전체 영역에 걸쳐 스탬핑되었다. 이어서, 포스트들로 패터닝된 스탬프를 사용하여 녹색 방출 나노결정들의 위에 적색 방출 반도체 나노결정들이 스탬핑되었다. 포스트들은 높이가 $5 \mu m$ 이었으며 직경들 $90 \mu m$ 이었다. 턴 온 된 디바이스는 직경이 $0.5mm$ 이며, 이 디바이스 내 보이는 적색 원들은 서브- $100 \mu m$ 적색 방출 반도체 나노결정들이다. 마이크로접촉 인쇄는 서브마이크론 특징물들을 패터닝하는데 사용될 수 있다(예를 들면, 미국특허 5,512,131; 6,180,239; 6,518,168 참조, 각각은 그 전체를 참조문헌으로 포함시킨다). 도 6c는 반도체 나노결정 분자막의 패터닝된 라인들을 도시한 것이다. 이러한 기술은 풀 컬러 능동 매트릭스 나노결정 발광 디바이스 디스플레이들의 제조에서 채용될 수 있다. 스탬프는 $1 \mu m$ 높이와 $100 \mu m$ 폭의 라인들로 패터닝되었다. 이러한 패터닝된 스탬프를 사용하여 녹색 방출 나노결정들을 스탬핑하고 캐소드(Mg:Ag/Ag)의 크기를 통해 디바이스를 정의함으로써 $1mm$ 의 영역을 턴 온 한 결과는 스탬프된 라인들 사이의 영역에 나노결정들이 없는 결과로서 청색 유기 EL이 개재된 $100 \mu m$ 폭의 라인들로서 가시화되는 녹색 나노결정들의 방출이었다.

[0072] 인쇄된 나노결정 분자막은 도 7a에 도시한 적색, 녹색 및 청색 디바이스들에서 전장발광을 생성하였으며, 이들 모두는 동일 층의 박막구조로서 ITO/CBP (40 nm 두께의 층)/나노결정 분자막/TAZ($15nm$)/Alq3($25nm$)/Mg:Ag/Ag(도 7b의 사진 참조)를 갖는다. 도 7c는 유기 정공수송층에 스탬프된 후에 나노결정 분자막의 AFM 이미지이다. 도

7a에 도시한 디바이스들간의 유일한 차이는 나노결정들의 크기 및 조성에 의해 결정되는 나노결정 분자막의 발광 색이다. 모든 유기 및 금속막들은 10^{-6} Torr에서 열적으로 증발되었다. 도 7f 및 도 7g는 150nm 폭 나노결정 분자막 패턴들(도 7e)이었던, LED 화소들의 25 μ m(1000dpi) 패턴닝이 달성되었음을 보이고 있다. 도 7g에서, 적색 및 녹색 나노결정 분자막의 25 μ m 폭의 교차 스트립들은 TPD(40nm 두께)가 CBP를 대신한 LED 구조에서 서로에 대해 스탬프되었다. 도 7h는 마이크로접촉 인쇄로 복수 컬러 영역 패턴닝을 보여주는 동작하는 나노결정 LED들의 사진이다. 동일 기관 상의 두 개의 인접한 영역들은 적색 및 녹색 방출 나노결정 분자막으로 스탬프되었다. 3개의 서로 다른 디바이스들이 턴 온 되었는데, 한 디바이스는 적색 방출 나노결정들이 스탬프된 영역 상에 제작되고, 또 한 디바이스는 녹색 나노결정들이 스탬프된 영역 상에 제작되고, 또 다른 디바이스는 나노결정들이 스탬프되지 않은(청색 발광) 영역 상에 제작되었다. 적색 및 녹색 나노결정들 및 청색 TDP의 전장발광은 LED가 5V로 바이어스되었을 때 동시에 관찰되었다.

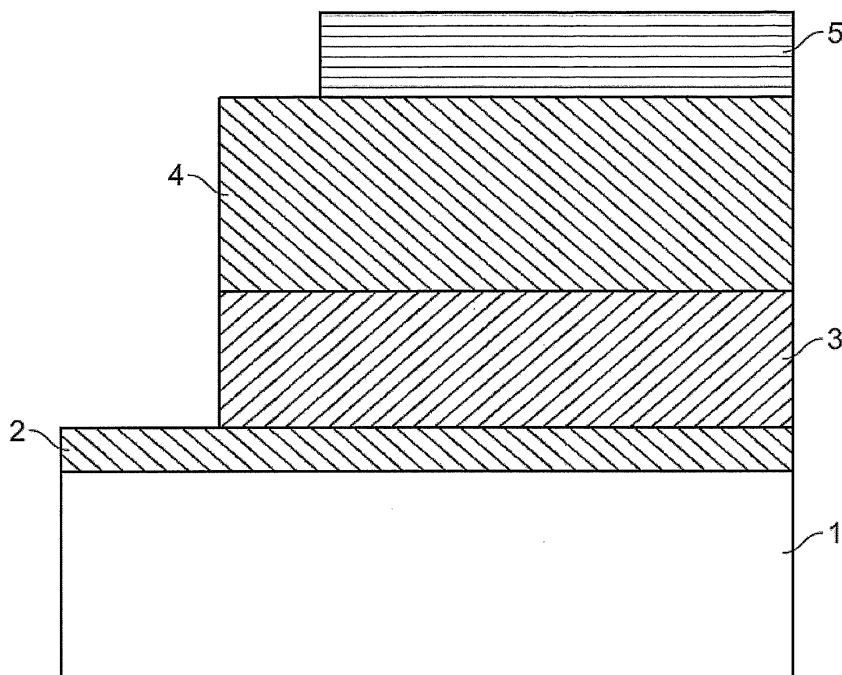
[0073] 나노결정 분자막들을 용매없이 피착함으로써, 열적으로 증발된 유기 반도체를 정공수송층으로서 사용할 수 있게 한다. CBP의 넓은 대역의 갭은 보다 효율적인 전하 구속 및 LED들의 색 포화의 향상에 기여하여 청색, 녹색 및 적색 LED에 대해 각각 CIE 좌표들 (0.18, 0.13), (0.21, 0.70), 및 (0.66, 0.34)과 비디오 밝기(도 7b)에서 0.2%, 0.5%, 1.0%의 대응 외적 양자효율들을 제공하였다. 3개의 서로 다른 색들을 위한 전류/전압이 도 7b에 도시되었다. 나노결정-LED들에 의해 생성되는 넓은 범위의 색들은 액정 디스플레이(LCD) 및 유기 LED(OLED)기술들의 성능을 증가하였으며, 이는 고상색 정밀 색상의 평판 디스플레이들 및 일반적으로 광원들에 나노결정 기반의 LED들의 적합성을 암시한다.

[0074] 적색, 녹색, 및 청색 방출 반도체 나노결정 기반의 발광 디바이스들은 유기 LED들 및 액정 디스플레이들에 비해 효율적이고 고도로 색 포화된 것이며 단일 층들의 나노결정들의 마이크로접촉 인쇄에 의해서 풀 컬러 디스플레이 적용들을 위한 화소화를 위해 패턴닝될 수 있다.

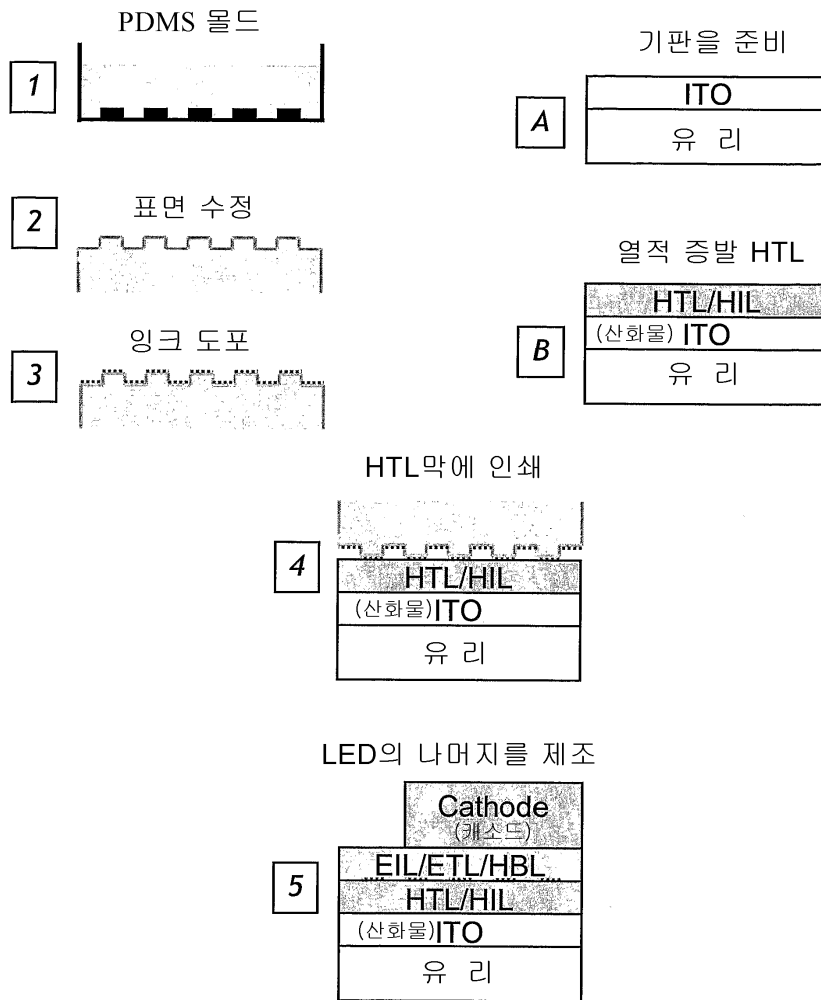
[0075] 이외의 실시예들은 다음의 청구항들의 범위 내이다.

도면

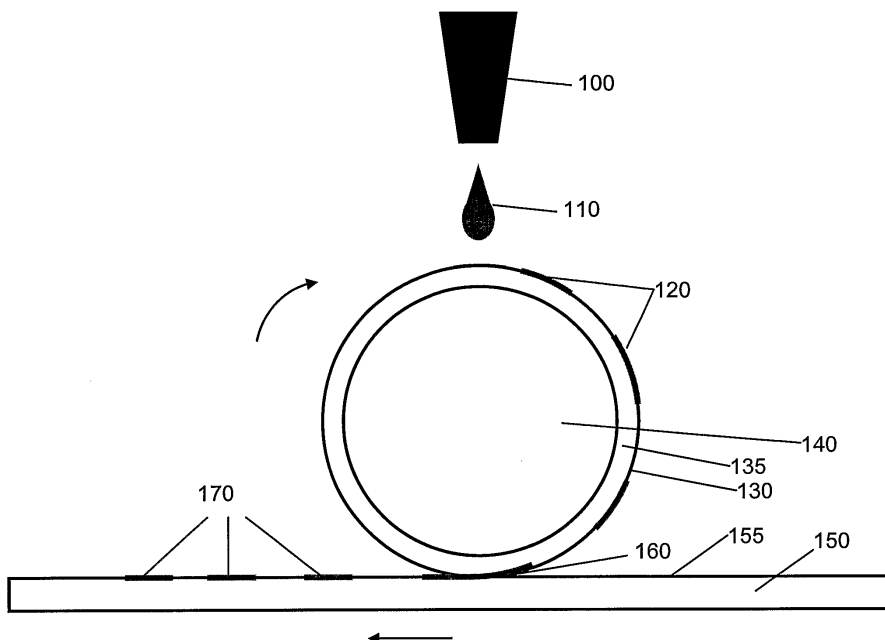
도면1



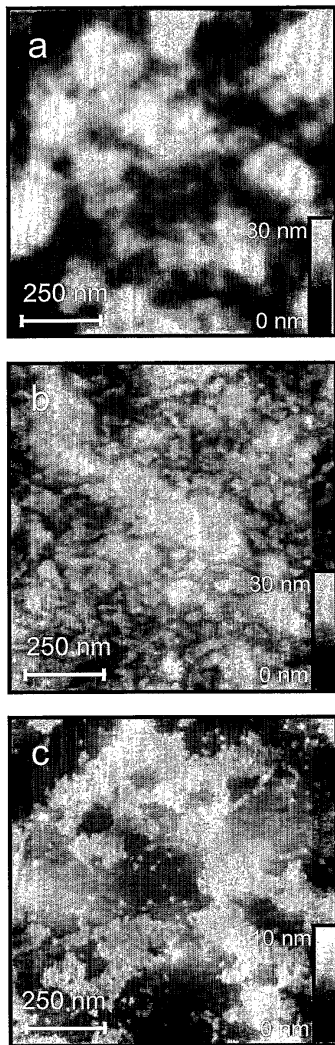
도면2



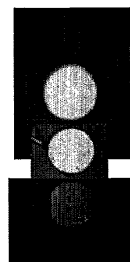
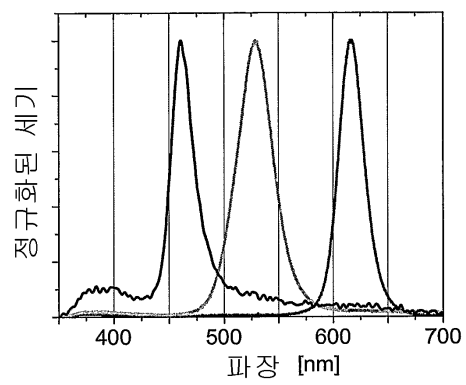
도면3



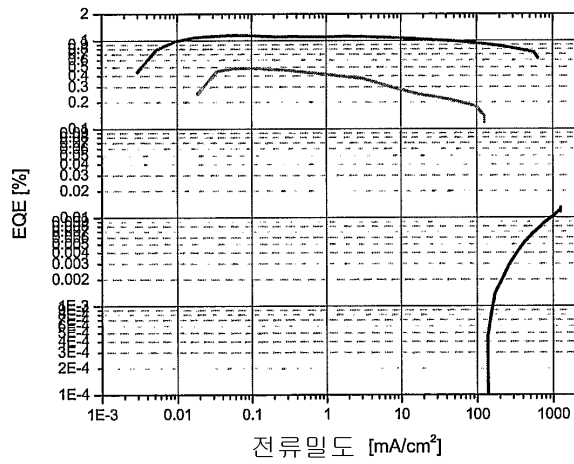
도면4



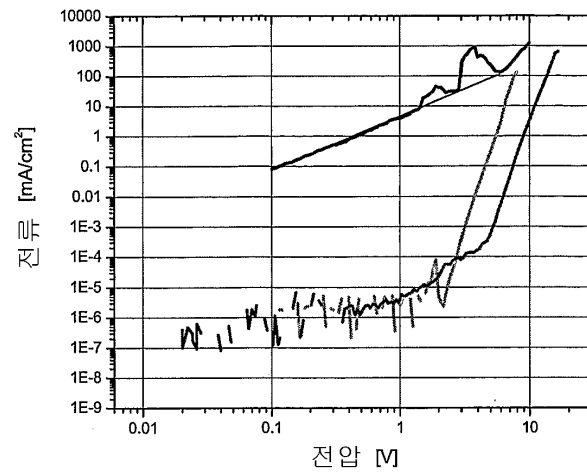
도면5a



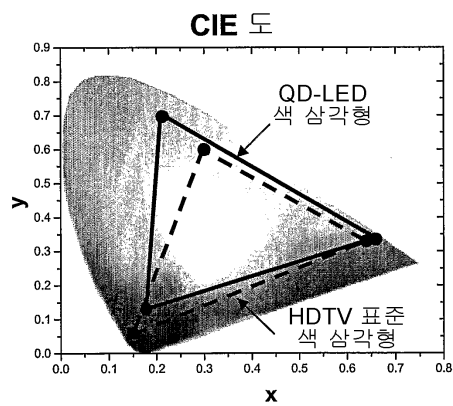
도면5b



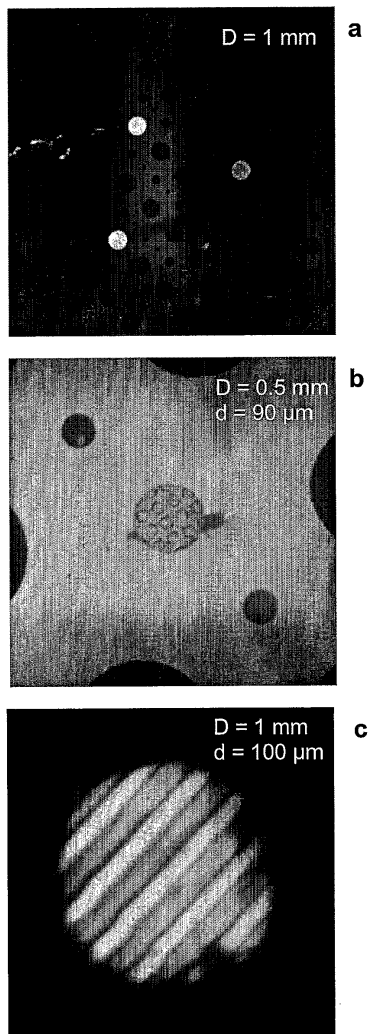
도면5c



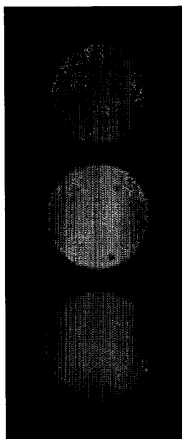
도면5d



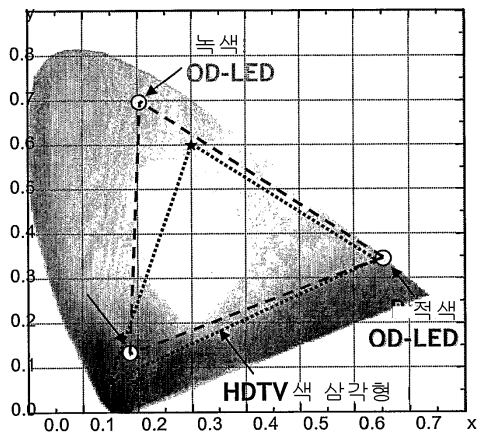
도면6



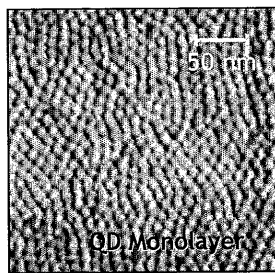
도면7a



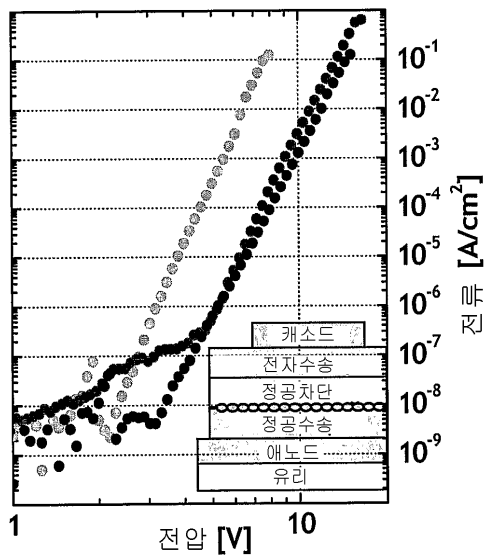
도면7b



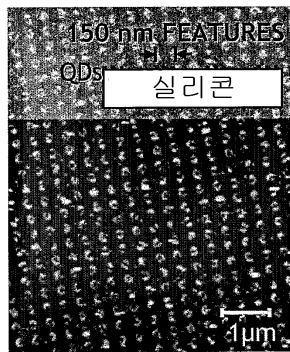
도면7c



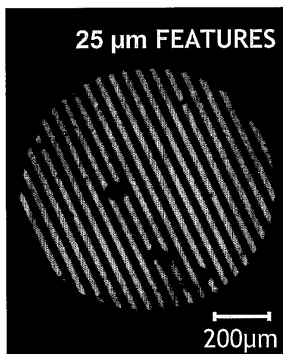
도면7d



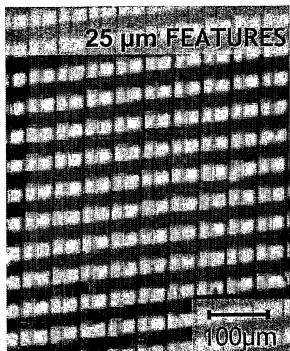
도면7e



도면7f



도면7g



도면7h

