



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2025-0024243
(43) 공개일자 2025년02월18일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H10H 20/851 (2025.01) C09K 11/08 (2006.01)

H10H 20/854 (2025.01) H10H 20/855 (2025.01)

(52) CPC특허분류

H10H 20/8512 (2025.01)

C09K 11/08 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2023-0105479

(22) 출원일자 2023년08월11일

심사청구일자 2023년08월11일

(71) 출원인

한림대학교 산학협력단

강원도 춘천시 한림대학길 1, 한림대학교(옥천동)

(72) 발명자

고재현

강원특별자치도 춘천시 동면 춘천순환로 338-11

홍승찬

경기도 평택시 평남로 996 소사벌푸르지오 아파트
106동 703호

(74) 대리인

특허법인본

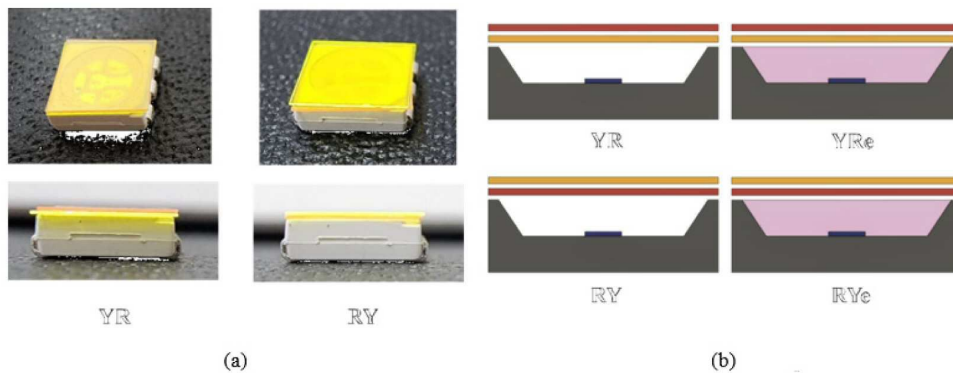
전체 청구항 수 : 총 13 항

(54) 발명의 명칭 연색성이 우수한 퀀텀닷 LED 적층체 및 이의 제조 방법

(57) 요약

본 발명은 연색성이 우수한 퀀텀닷 LED 적층체 및 이의 제조 방법에 관한 것이다. 본 발명은 청색 LED 칩; 상기 청색 LED 칩의 상부에 위치하는 적색 퀀텀닷 필름; 및 상기 적색 퀀텀닷 필름의 상부에 위치하는 황색 형광체 판을 포함하는, 퀀텀닷 LED 적층체를 제공한다.

대표도 - 도1



(52) CPC특허분류

H10H 20/0361 (2025.01)
H10H 20/0362 (2025.01)
H10H 20/0363 (2025.01)
H10H 20/854 (2025.01)
H10H 20/855 (2025.01)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1415176668
과제번호	P0013743
부처명	산업통상자원부
과제관리(전문)기관명	한국산업기술진흥원
연구사업명	스마트특성화기반구축(R&D)
연구과제명	퀀텀닷 나노소재 기반연계 플랫폼 사업
기 여 율	1/1
과제수행기관명	(재)칠원플라즈마산업기술연구원
연구기간	2021.01.01 ~ 2022.12.31

명세서

청구범위

청구항 1

청색 LED 칩;

상기 청색 LED 칩의 상부에 상기 청색 LED 칩으로부터 이격되어 위치하는 적색 퀀텀닷 필름; 및

상기 적색 퀀텀닷 필름의 상부에 위치하는 황색 형광체 판을 포함하는, 퀀텀닷 LED 적층체.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 적색 퀀텀닷 필름의 퀀텀닷은 양자코어 및 상기 양자코어를 감싸는 양자셸을 포함하는 것인, 퀀텀닷 LED 적층체.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 황색 형광체 판은 Ce(세슘)가 0.5% 농도로 도핑된 YAG(이트륨 알루미늄 가넷) 판이며, 두께는 0.10~0.20mm 인, 퀀텀닷 LED 적층체.

청구항 4

제1항에 있어서,

상기 청색 LED 칩과 상기 적색 퀀텀닷 필름 사이에 투명 소재가 위치하고 있는, 퀀텀닷 LED 적층체.

청구항 5

제4항에 있어서,

상기 투명 소재는 에폭시계 수지, 아크릴계 수지, 우레탄계 수지, 우레탄-아크릴계 공중합체, 에스테르계 수지, 에테르계 수지, 아미드계 수지, 멜라민 수지, 실리콘 수지 중 선택된 적어도 하나 이상의 물질을 포함하는 것인, 퀀텀닷 LED 적층체.

청구항 6

제1항에 있어서,

상기 적색 퀀텀닷 필름의 상부에 위치하는 확산판을 추가로 포함하는, 퀀텀닷 LED 적층체.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 확산판은 이산화티탄 입자가 분산되어 있는 폴리카보네이트를 포함하는, 퀀텀닷 LED 적층체.

청구항 8

청색 LED 칩을 준비하는 단계;

상기 청색 LED 칩의 상부에 상기 청색 LED 칩으로부터 이격되어 적색 퀀텀닷 필름을 위치시키는 단계; 및

상기 적색 퀀텀닷 필름의 상부에 황색 형광체 판을 위치시키는 단계;를 포함하는, 퀀텀닷 LED 적층체의 제조 방법.

청구항 9

제8항에 있어서,

상기 적색 퀀텀닷 필름의 퀀텀닷은 양자코어 및 상기 양자코어를 감싸는 양자셸을 포함하는 것인, 퀀텀닷 LED 적층체의 제조 방법.

청구항 10

제8항에 있어서,

상기 황색 형광체 판은 Ce(세슘)가 0.5% 농도로 도핑된 YAG(이트륨 알루미늄 가넷) 판이며, 두께는 0.10~0.20mm 인, 퀀텀닷 LED 적층체의 제조 방법.

청구항 11

제8항에 있어서,

상기 청색 LED 칩과 상기 적색 퀀텀닷 필름 사이에 투명 소재가 위치시키는 단계를 추가로 포함하는, 퀀텀닷 LED 적층체의 제조 방법.

청구항 12

제1항의 퀀텀닷 LED 적층체와,

하우징, 커버 및 지지대 중 어느 하나를 포함하는 조명 장치.

청구항 13

제1항의 퀀텀닷 LED 적층체와,

배선전극을 포함하는 기판, 상기 적층체와 상기 기판 사이에 위치하는 접착층을 포함하는 디스플레이 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 연색성이 우수한 퀀텀닷 LED 적층체 및 이의 제조 방법에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 백색 발광 다이오드(White light-emitting diodes; W-LED)는 디스플레이 기술과 일반 조명 응용 분야 모두에서 확산되고 있다. W-LED는 일반적으로 GaN 기반 청색 LED 칩과 형광체 및 양자점(Quantum dot; QD)과 같은 색상 변환 재료로 구성된다. 비용 문제 때문에 기존의 W-LED는 유일한 색 변환 물질로 황색 형광체를 채택해 왔으며, Ce-도핑된 이트륨 알루미늄 가넷(YAG, $Y_3Al_5O_{12}$)이 가장 대표적인 물질이다. 이 경우 발광 스펙트럼은 청색 LED 칩에서 나오는 날카로운 파란색 피크와 YAG 형광체에서 방출되는 넓은 황색 피크로 구성된다. 이 접근 방식은 고효율, 저비용, 간단한 제조 공정 등과 같은 몇 가지 장점이 있다. 그러나 방출 스펙트럼에는 W-LED가 낮은 연 색 지수(CRI)를 갖도록 하는 진한 적색 스펙트럼 구성 요소가 부족하다. 최근 코로나19로 인해 사람들이 집에서 보내는 시간이 늘어남에 따라 조명 장치의 연색성 특성이 실내 생활에 더욱 중요해짐에 따라 이러한 문제가 더욱 중요해졌다.

[0003] 녹색 및 적색 형광체(또는 황색 및 적색 형광체)를 모두 포함하여 방출 스펙트럼에서 짙은 적색 성분을 향상시켜 CRI를 개선하는 등 W-LED의 연색성을 개선하는 여러 가지 방법이 있다. 나노미터 크기의 반도체인 QD는 색 변환 재료로서 형광체 재료의 대안이 될 수 있다. QD의 주 발광 파장은 크기에 의해 결정되기 때문에 QD의 양자 구속 효과는 발광 특성에 중요한 역할을 하다. 따라서 QD에서 방출되는 색상은 화학 조성을 변경하지 않고도 크기 측면에서 쉽게 제어할 수 있다. QD의 색 순도가 높기 때문에 LCD(Liquid Crystal Display) 백라이트 및 RGB 서브픽셀 구조의 색 변환 재료와 같은 디스플레이 기술에 처음 채택되었다.

[0004] W-LED의 또 다른 문제는 색상 변환 재료의 장기적인 안정성이다. 핫 LED 칩으로 인한 높은 열 부하의 영향을 받는다. 높은 온도는 형광체와 QD에서 비방사 전이의 가능성을 증가시켜 발광 효율을 낮추고 W-LED의 수명을 단축시킨다. 또한 색변환 물질이 균일하게 분산된 투명 에폭시 수지는 고온에 장시간 노출되면 열화될 수 있다. 이 문제를 해결하기 위해 몇 가지 원격 형광체 디자인이 채택되었으며, 원격 형광체는 그들 사이에 일정한 거리를

두고 청색 LED 칩 위에 배치된다. QD는 성능 저하를 방지하기 위해 원격 구성 요소로 설계할 수도 있다. 예를 들어, QD 입자는 다양한 형태의 합성물로서 폴리머 또는 유리에 통합되었다. 또한 대형 QD 필름 또는 QD 캡은 디스플레이 및 조명 분야의 실용적인 응용 분야를 위해 개발될 수 있다. 이러한 디자인은 W-LED의 효율성, 컬러 렌더링 특성 및 장기 안정성을 성공적으로 개선할 수 있다. 그러나 원격 설계에 채택된 최소 두 가지 이상의 색 변환 재료로 구성된 W-LED의 최적화를 위해서는 보다 자세한 조사가 필요하다. 특히 W-LED에서 색변환 물질의 순서와 위치는 핵심 조명 성능 관점에서 실험 및 시뮬레이션 측면에서 조사가 필요하다. 본 연구는 투명 에폭시 수지가 있거나 없는 청색 LED 칩 위에 황색 형광체 판과 적색 QD 필름의 두 개의 원격 구성 요소가 배치된 수직 적층 W-LED를 최적화하는 것을 목표로 한다. 특히 원격 구성이 연색성에 미치는 영향에 대해 자세히 연구하였다. 또한 위의 최적화를 기반으로 광선 추적 시뮬레이션을 통해 원격 설계의 고전력 하향 조명 W-LED 조명기구도 연구했다.

선행기술문헌

[0005] 등록특허 제10-2461403호

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명은 연색성이 우수한 퀀텀닷 LED 적층체를 제공하는 것을 목적으로 한다.

[0007] 본 개시의 목적들은 이상에서 언급한 목적으로 제한되지 않으며, 언급되지 않은 본 개시의 다른 목적 및 장점들은 하기의 설명에 의해서 이해될 수 있고, 본 개시의 실시 예에 의해 보다 분명하게 이해될 것이다. 또한, 본 개시의 목적 및 장점들은 특허 청구 범위에 나타난 수단 및 그 조합에 의해 실현될 수 있음을 쉽게 알 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0008] 본 발명은 청색 LED 칩; 상기 청색 LED 칩의 상부에 상기 청색 LED 칩으로부터 이격되어 위치하는 적색 퀀텀닷 필름; 및 상기 적색 퀀텀닷 필름의 상부에 위치하는 황색 형광체 판을 포함하는, 퀀텀닷 LED 적층체를 제공한다.

[0009] 상기 적색 퀀텀닷 필름의 퀀텀닷은 양자코어 및 상기 양자코어를 감싸는 양자셸을 포함하는 것일 수 있다.

[0010] 상기 황색 형광체 판은 Ce(세슘)가 0.5% 농도로 도핑된 YAG(이트륨 알루미늄 가넷) 판이며, 두께는 0.10~0.20mm 일 수 있다.

[0011] 상기 퀀텀닷 LED 적층체는 상기 청색 LED 칩과 상기 적색 퀀텀닷 필름 사이에 투명 소재가 위치할 수 있다.

[0012] 상기 투명 소재는 에폭시계 수지, 아크릴계 수지, 우레탄계 수지, 우레탄-아크릴계 공중합체, 에스테르계 수지, 에테르계 수지, 아미드계 수지, 멜라민 수지, 실리콘 수지 중 선택된 적어도 하나 이상의 물질을 포함하는 것일 수 있다.

[0013] 상기 퀀텀닷 LED 적층체는 상기 황색 형광체 판의 상부에 위치하는 확산판을 추가로 포함할 수 있다.

[0014] 상기 확산판은 이산화티탄 입자가 분산되어 있는 폴리카보네이트를 포함할 수 있다.

[0015] 본 발명은 또한, 청색 LED 칩을 준비하는 단계; 상기 청색 LED 칩의 상부에 상기 청색 LED 칩으로부터 이격되어 적색 퀀텀닷 필름을 위치시키는 단계; 및 상기 적색 퀀텀닷 필름의 상부에 황색 형광체 판을 위치시키는 단계; 를 포함하는, 퀀텀닷 LED 적층체의 제조 방법을 제공한다.

[0016] 상기 적색 퀀텀닷 필름의 퀀텀닷은 양자코어 및 상기 양자코어를 감싸는 양자셸을 포함하는 것일 수 있다.

[0017] 상기 황색 형광체 판은 Ce(세슘)가 0.5% 농도로 도핑된 YAG(이트륨 알루미늄 가넷) 판이며, 두께는 0.10~0.20mm 일 수 있다.

[0018] 상기 퀀텀닷 LED 적층체의 제조 방법은 상기 청색 LED 칩과 상기 적색 퀀텀닷 필름 사이에 투명 소재가 위치시키는 단계를 추가로 포함할 수 있다.

[0019] 상기 퀀텀닷 LED 적층체의 제조 방법은 상기 황색 형광체 판의 상부에 확산판을 위치시키는 단계를 추가로 포함

할 수 있다.

[0020] 본 발명은 또한, 상기 퀀텀닷 LED 적층체와, 하우징, 커버 및 지지대 중 어느 하나를 포함하는 조명 장치를 제공한다.

[0021] 본 발명은 또한, 상기 퀀텀닷 LED 적층체와, 배선전극을 포함하는 기판, 상기 적층체와 상기 기판 사이에 위치하는 접착층을 포함하는 디스플레이 장치를 제공한다.

발명의 효과

[0023] 본 발명에 따르면, 연색성이 우수한 퀀텀닷 LED 적층체를 제공할 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0024] 도 1은, 수직으로 쌓인 4개의 W-LED 구조를 나타내며, (a)는 실험에 사용한 YR 및 RY 구조의 적층체, (b)는 YR, RY, YRe 및 RYe 구조의 개략 단면도를 나타낸다.

도 2는, 수직으로 쌓인 W-LED 구조의 시뮬레이션 모델을 나타내며, (a)는 청색 LED 패키지, (b)는 수직으로 쌓인 W-LED 적층체를 나타낸다.

도 3은, 고출력 조명 기구의 시뮬레이션 모델을 나타내며, (a)는 조명 기구의 시뮬레이션 모델, (b)는 황색 형광체 판(Y), 적색 퀀텀닷 필름(R) 및 확산판(D)의 8가지 적층체를 나타낸다.

도 4는, 형광체 판의 두께에 따른 적층체의 방출 스펙트라를 나타내며, (a)는 0.1mm, (b)는 0.15mm, (c)는 0.2mm이다.

도 5는, 적층체의 형광체 판의 두께에 따른 휘도를 나타낸다.

도 6은, 형광체 두께의 변화에 따른 색도도 상의 색좌표 변화를 나타낸다.

도 7은, 형광체 두께가 0.14mm로 고정되었을 때 적층체의 방출 스펙트라를 나타낸다.

도 8은, 형광체 두께 변화에 의한 색도도 상의 색좌표 변화를 나타낸다.

도 9는, 고출력 조명 시뮬레이션에서 적층체의 방출 스펙트라를 나타낸다.

도 10은, 고출력 조명 시뮬레이션에서 적층체의 휘도 및 연색성을 나타낸다.

도 11은, 고출력 조명 시뮬레이션에서 얻은 적층체의 (a) 수직 및(b) 수평 방향에서의 CCT 각도 분포를 나타낸다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0025] 본 발명은 청색 LED 칩; 상기 청색 LED 칩의 상부에 상기 청색 LED 칩으로부터 이격되어 위치하는 적색 퀀텀닷 필름; 및 상기 적색 퀀텀닷 필름의 상부에 위치하는 황색 형광체 판을 포함하는, 퀀텀닷 LED 적층체를 제공한다.

[0026] 상기 적색 퀀텀닷 필름은 퀀텀닷과 퀀텀닷이 함침되어 있는 필름으로 구성되며, 바람직하게는 0.01~3mm 두께이며, 바람직하게는 0.01~0.3mm, 더욱 바람직하게는 0.01~0.1mm이다. 여기서 필름은 퀀텀닷을 수용할 수 있는 필름이면 특별히 제한되지 않으며, 예를 들어 폴리메틸렌테레프탈레이트, 폴리카보네이트, 폴리에스테르 필름 등일 수 있다.

[0027] 퀀텀닷은 코어와 셸을 포함할 수 있다. 셸은 코어 상에 도포될 수 있는데 코어 및 셸 각각은 단일층 또는 2 이상의 층으로 이루어질 수 있다. 예를 들어, 퀀텀닷은 코어-셸-셸 구조를 가질 수 있으며, 예를 들어 CdSe/CdS/ZnS로 구성될 수 있다. 또한, 퀀텀닷은 나노 크기의 반도체 물질로서 양자 제한 효과(Quantum confinement effect)를 갖는 물질이다.

[0028] 이러한 양자 제한 효과에 기초하여 퀀텀닷은 빛을 방출할 수 있다. 상기 퀀텀닷은 여기원(Excitation source)으로부터 빛을 흡수하여 에너지 여기 상태에 이르면, 자체적으로 퀀텀닷의 에너지 밴드 갭(Energy band gap)에 해당하는 에너지를 방출하게 된다. 상기 퀀텀닷은 소정의 빛을 인가받아 활성전자(Excitation electron)를 갖게

되고, 상기 활성전자가 안정화됨으로써 에너지를 방출하게 된다.

- [0029] 퀀텀닷은 상기 퀀텀닷의 크기, 또는 물질 조성에 따라 다양한 에너지 밴드 갭을 가질 수 있다. 이때 상기 퀀텀닷은 에너지 밴드 갭에 대응하는 특정 파장 대역의 빛을 방출할 수 있다. 따라서 본 발명에서는 퀀텀닷이 연색성이 떨어지는 영역에 대응하는 적색 계열 특정 파장 대역의 빛을 방출할 수 있도록, 퀀텀닷의 크기 또는 물질 조성이 변경되는 것이 바람직하다. 즉, 본 발명의 적색 퀀텀닷은 적색 계열 파장 대역, 예를 들어 600~750nm의 빛을 방출하는 퀀텀닷이다.
- [0030] 한편, 퀀텀닷은 소정의 화합물로 구현될 수 있다. 상기 소정의 화합물은 II-VI족 화합물, III-V족 화합물, 또는 IV-VI족 화합물 중 적어도 하나의 화합물일 수 있다.
- [0031] 상기 II-VI족 화합물은 CdSe, CdTe, ZnS, ZnSe, ZnTe, ZnO, HgS, HgSe, HgTe 등의 이원소 화합물 또는 CdSeS, CdSeTe, CdSTe, ZnSeS, ZnSeTe, ZnSTe, HgSeS, HgSeTe, HgSTe, CdZnS, CdZnSe, CdZnTe, CdHgS, CdHgSe, CdHgTe, HgZnS, HgZnSe 등의 삼원소 화합물 또는 HggZnTe, CdZnSeS, CdZnSeTe, CdZnSTe, CdHgSeS, CdHgSeTe, CdHgSTe, HgZnSeS, HgZnSeTe, HgZnSTe 등의 사원소 화합물로 이루어진 군에서 선택될 수 있다.
- [0032] 또한, 상기 III-V족 화합물은 GaN, GaP, GaAs, GaSb, AlN, AlP, AlAs, AlSb, InN, InP, InAs, InSb 등의 이원소 화합물 또는 GaNP, GaNAs, GaNSb, GaPAs, GaPSb, AlNP, AlNAs, AlNSb, AlPAs, AlPSb, InNP, InNAs, InNSb, InPAs, InPSb, GaAlNP 등의 삼원소 화합물 또는 GaAlNAs, GaAlNSb, GaAlPAs, GaAlPSb, GaInNP, GaInNAs, GaInNSb, GaInPAs, GaInPSb, InAlNP, InAlNAs, InAlNSb, InAlPAs, InAlPSb 등의 사원소 화합물로 이루어진 군에서 선택될 수 있다.
- [0033] 또한, 상기 IV-VI족 화합물은 SnS, SnSe, SnTe, PbS, PbSe, PbTe 등의 이원소 화합물 또는 SnSeS, SnSeTe, SnSTe, PbSeS, PbSeTe, PbSTe, SnPbS, SnPbSe, SnPbTe 등의 삼원소 화합물 또는 SnPbSSe, SnPbSeTe, SnPbSTe 등의 사원소 화합물로 이루어진 군에서 선택될 수 있다.
- [0034] 또한, 상기 IV족 화합물은 Si, Ge 등의 단일 원소 화합물 또는 SiC, SiGe 등의 이원소 화합물로 이루어진 군에서 선택될 수 있다.
- [0035] 한편, 상기 퀀텀닷은 코어-셸(Core-Shell) 구조를 가질 수 있는데, 코어-셸 구조의 퀀텀닷은 양자코어(Quantum-core) 및 양자셸 (Quantum-shell)를 포함하며, 추가로 리간드를 포함할 수 있다. 양자코어는 양자 제한 효과에 기초하여 빛을 방출할 수 있고, 양자셸은 양자코어를 덮어 양자코어를 보호할 수 있다. 또한 양자셸은 양자코어의 에너지 밴드가 변경되는 것을 방지할 수 있다.
- [0036] 한편, 리간드는 퀀텀닷의 표면에 무기 리간드가 형성될 수 있다. 또한, 양자코어 및 상기 양자셸은 전술한 화합물들로 구현될 수 있다.
- [0037] 이 때 무기 리간드는 에테르계 화합물, 불포화 탄화수소류 및 유기산 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 무기 리간드로 사용되는 용매는 에테르계 화합물, 불포화 탄화수소류, 또는 유기산 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0038] 이 경우에 에테르계 화합물은 트리옥틸 포스핀 옥사이드(tri-n-Octylphosphine oxide, TOPO), 알킬포스핀(Alkylphosphine), 옥틸 에테르(Octyl ether), 또는 벤질 에테르(Benzyl ether) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 또한, 불포화 탄화수소류는 옥테인(Octane) 또는 옥타데케인(Octadecane) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0039] 또한, 상기 유기산은 올레산(Oleic acid), 스테아르산(Stearic acid), 미리스트산(Myristic acid), 또는 헥사데카노익산(Hexadecanoic acid) 중 적어도 하나를 포함할 수 있다. 퀀텀닷에 포함된 이러한 리간드에 의해 열안정성이 향상될 수 있다. 또한, 상기 리간드는 복수의 퀀텀닷들이 서로 응집되는 것을 방지하여, 광효율의 저하도 방지하게 된다. 리간드는 소정의 길이를 가지는데 길이는 리간드에 포함된 탄소(C)의 수에 비례한다. 리간드에 포함된 탄소(C)의 수가 많을수록, 리간드의 길이는 길어진다.
- [0040] 본 발명의 퀀텀닷 LED 적층체에서 적색 퀀텀닷 필름은 청색 LED 칩으로부터 이격되어 위치하고 있어, 퀀텀닷 LED 적층체는 원격형(remote type) 적층체이다.
- [0041] 상기 황색 형광체 판은 플라스틱 수지 및 황색 무기 형광체를 포함한다. 상기 황색 형광체 판은 사출, 압출, 웨트 코팅, 캐스팅 등의 통상적인 시트 또는 필름의 제조방법에 의해 제조될 수 있다.
- [0042] 상기 플라스틱 수지는 열경화성 수지, UV 경화성 수지, 수분경화성 수지 또는 이들의 혼합물일 수 있으며, 상기

열경화성 수지, UV 경화성 수지 또는 수분경화성 수지는, 예컨대 에폭시계, 페놀계, 우레탄계, 폴리에스테르계, 아미노계 등의 열경화성 수지, 아크릴계, 비닐계 등의 UV 경화성 수지, 일액형 실리콘 등의 실리콘기를 함유한 수분경화성 수지일 수 있고, 이의 구체적인 예로는 (메트)아크릴레이트 수지, 불포화 폴리에스테르 수지, 폴리에스테르 (메트)아크릴레이트 수지, 실리콘 우레탄 (메트)아크릴레이트 수지, 실리콘 폴리에스테르 (메트)아크릴레이트 수지, 불소 우레탄 (메트)아크릴레이트 수지, 페놀 수지, 에폭시 수지, 우레아 포름알데히드 수지, 멜라민 포름알데히드 수지 및 이들의 혼합물을 들 수 있다.

[0043] 황색 무기 형광체는 청색 파장을 갖는 광원(LED)으로부터 발광된 빛의 일부분을 흡수하여 상기 발광된 빛의 파장과는 다른 파장의 빛을 발광하고 나머지는 투과시킴으로써, 황색의 세기를 강화시키는 역할을 한다. 바람직하게는, 상기 황색 무기 형광체는 청색 파장의 빛을 흡수한 후 더 긴 파장을 갖는 빛을 발광할 수 있다. 상기 황색 무기 형광체의 예로는 $\text{La}_3\text{Si}_6\text{N}_{11}:\text{Ce}$ 형광체, $(\text{La}, \text{Y})_3\text{Si}_6\text{N}_{11}:\text{Ce}$ 형광체, $\text{YAG}:\text{Ce}(\text{Y}_3\text{Al}_5\text{O}_{12}:\text{Ce}^{3+})$ 형광체, 사이알론(SiAlON) 형광체, $(\text{Ca}_2\text{BO}_3\text{Cl}:\text{Eu}^{2+})$ 형광체 및 $(\text{Ca}_2\text{BO}_3\text{Cl}:\text{Ce}^{3+})$ 형광체로 이루어진 군으로부터 선택되는 것을 들 수 있다.

[0044] 상기 황색 형광체 판은 바람직하게는 Ce (세슘)가 0.5% 농도로 도핑된 YAG(이트륨 알루미늄 가넷) 판이며, 두께는 0.10~0.20mm일 수 있다. 상기 황색 형광체 판의 두께가 하한값 미만인 경우 색 변환 효율이 낮아져 광효율이 낮아지며, 상기 상한값 초과인 경우에는 과도한 산란 현상으로 인해 광효율이 감소한다.

[0045] 상기 퀀텀닷 LED 적층체는 상기 청색 LED 칩과 상기 적색 퀀텀닷 필름 사이에 투명 소재가 위치할 수 있다.

[0046] 상기 투명 소재는 에폭시계 수지, 아크릴계 수지, 우레탄계 수지, 우레탄-아크릴계 공중합체, 에스테르계 수지, 에테르계 수지, 아미드계 수지, 멜라민 수지, 실리콘 수지 중 선택된 적어도 하나 이상의 물질을 포함하는 것일 수 있다.

[0047] 상기 퀀텀닷 LED 적층체는 상기 황색 형광체 판의 상부에 위치하는 확산판을 추가로 포함할 수 있다.

[0048] 상기 확산판은 LED 칩에서 방출되는 빛을 분산시키는 역할을 하며, 이산화티탄 입자가 분산되어 있는 폴리카보네이트를 포함하며, 1~3mm의 두께일 수 있다. 본 발명에서 상기 확산판은 색변환 필름의 광경로 길이 차이로 인한 색분산을 방지하기 위해, 색변환 필름의 위에 위치한다.

[0049] 본 발명은 또한, 청색 LED 칩을 준비하는 단계; 상기 청색 LED 칩의 상부에 적색 퀀텀닷 필름을 위치시키는 단계; 및 상기 적색 퀀텀닷 필름의 상부에 황색 형광체 판을 위치시키는 단계;를 포함하는, 퀀텀닷 LED 적층체의 제조 방법을 제공한다.

[0050] 상기 퀀텀닷 LED 적층체의 제조 방법은 상기 청색 LED 칩과 상기 적색 퀀텀닷 필름 사이에 투명 소재가 위치시키는 단계를 추가로 포함할 수 있다.

[0051] 상기 퀀텀닷 LED 적층체의 제조 방법은 상기 황색 형광체 판의 상부에 확산판을 위치시키는 단계를 추가로 포함할 수 있다.

[0052] 본 발명은 또한, 상기 퀀텀닷 LED 적층체와, 하우징, 커버 및 지지대 중 어느 하나를 포함하는 조명 장치를 제공한다.

[0053] 상기 LED 적층체의 응용예로서는 실내의 조명용 천장등을 들 수 있다. 천장등에는 천장 직부형이나 천장 매립형 등이 있다. 또한 이와 같은 조명 장치는 LED 적층체를 하우징이나 커버와 조합함으로써 구성된다.

[0054] 그 외에도, 바닥에 빛을 조사하여 발밑의 안전성을 높일 수 있는 풋라이트 등으로의 응용도 가능하다. 풋라이트는, 예를 들어 침실, 계단, 또는 통로 등에 사용하는 것이 효과적이다. 그 경우, 방의 크기나 구조에 따라 크기나 형상을 적절히 변경할 수 있다. 또한 LED 적층체와 지지대를 조합하여 구성되는 거치형 조명 장치로 할 수도 있다.

[0055] 또한 시트형 조명 장치(시트형 조명)로서 응용할 수도 있다. 시트형 조명은 벽면에 붙여서 사용하기 때문에, 장소를 크게 차지하지 않고 폭넓은 용도에 사용할 수 있다. 또한 대면적화도 용이하다. 또한 곡면을 가지는 벽면이나 하우징에 사용할 수도 있다.

[0056] 본 발명은 또한, 상기 퀀텀닷 LED 적층체와, 배선전극을 포함하는 기판, 상기 적층체와 상기 기판 사이에 위치하는 접착층을 포함하는 디스플레이 장치를 제공한다.

[0058] 이하 본원을 실시예 및 실험예를 통하여 보다 상세하게 설명한다. 그러나 이들 실시예 및 시험예는 본 발명을 예시적으로 설명하기 위한 것으로 본원의 범위가 이들 실시예 및 시험예에 한정되는 것은 아니다.

[0060] 재료 및 방법

[0061] $5.4 \times 5.0 \times 1.6 \text{ mm}^3$ 크기의 전형적인 청색 LED 패키지(IWS-L5056-UB-K3, Itswell Co., 인천, 한국)를 형광체 및 양자점의 여기원으로 사용하였다. Ce 농도가 $0.5 \pm 0.02\%$ 이고 면적이 $5.0 \times 5.0 \text{ mm}^2$ 인 YAG 플레이트를 0.1, 0.15 및 0.2 mm의 세 가지 두께로 구입했다(Baikowski Japan, Narashino, Japan). PL (photoluminescence), 흡수 및 투과 스펙트럼은 형광 및 흡광도 분광계 (Duetta, Horiba Co., Kyoto, Japan)를 사용하여 측정하였으며, 그 결과 청색 LED 칩의 발광 파장(~460nm)에서 흡수대가 최대이다. 두 표면 모두 광학 품질로 연마되었다.

[0062] CdSe/ZnS 코어-셸 QD는 기존의 핫 인젝션 방법을 사용하여 제작되었다. 성장된 QD의 평균 직경은 약 6nm였다. 균질한 분산을 위해 QD 입자를 불규칙 중공 실리카(SG-HS40, Sukgyung At Co., Ansan, Korea)와 혼합했으며 대략적인 크기는 ~40 nm였다. 이들 입자를 롤투를 슬롯다이 방식으로 PET(폴리에틸렌 테레프탈레이트) 기재에 코팅한 트리아진 에폭시 수지와 혼합하였다. PL 스펙트럼은 ~630nm의 파장에서 피크를 나타낸다.

[0063] 도 1과 같이 수직 적층 구조의 네 가지 디자인을 실험적으로 연구했다. "YR" 구조는 황색 형광체가 적색 QD 필름 아래에 배치되었음을 나타내는 반면 "RY" 구조는 반대의 경우, 즉 적색 QD 필름이 황색 형광체 아래에 있는 경우를 나타낸다. 이 경우 청색 LED 칩과 2개의 원적 색상 변환 구성 요소 사이의 공간을 채우는 에폭시 수지가 없다. 이 공간을 투명한 광중합체로 채우면 두 구조는 "YRe"와 "RYe"로 표시되며 여기서 "e"는 에폭시를 나타낸다. 투명 에폭시는 일반적으로 LED 칩 위에 형성되어 장기 작동을 보호한다. 에폭시는 대표적인 광수지(NoA63, Norland Co., Jamesburg, NJ, USA)를 사용하였으며, 자외선 램프(S30365FL, Skycare Co., Gimpo, Korea)를 사용하여 20분간 경화시켰다. 광학적 특성(발광 효율, 강도, 휘도 등), 색좌표, 발광 스펙트럼 및 CRI는 광도계(LED626, Everfine Co., Hangzhou, china), 분광방사계(PR-670, Photo Research Co., Chatsworth, CA, USA) 및 조도계(SPIC-200A, Everfine Co., 중국 항저우)를 이용하여 측정하였다.

[0064] 동일한 구조가 광선 추적 시뮬레이션에서 모델링되었다. 시판 소프트웨어(LightTools, ver.9.1.0, Synopsys Co., Mountain View, USA)를 시뮬레이션에 사용하였다. 도 2는 LED 패키지와 수직 적층 W-LED 구조를 보여준다. LED 패키지의 크기는 $5 \times 5 \times 1.6 \text{ mm}^3$ 이었다. 하단 및 상단 개구부의 직경은 각각 3.5mm 및 4.55mm이다. 굴절률이 2.4이고 치수가 $0.2 \times 0.2 \times 0.01 \text{ mm}^3$ 인 파란색 LED 칩을 바닥면 중앙에 배치했다. 청색 LED의 발광 스펙트럼은 피크 파장이 450nm이고 반치폭(FWHM)이 25nm로 실험과 유사하였다. 방출 분포는 Lambertian이었다. LED 프레임은 굴절률 1.4936의 PMMA(Polymethyl methacrylate)였다. 확산 가우시안 반사 분포(가우시안 각도 15°)를 갖는 15%의 흡수 및 85%의 반사율을 갖는 반사층이 프레임 상에 형성되었다. 다른 모든 치수는 실험과 동일했다. 시뮬레이션 조건의 세부 사항은 표 1-3에 나와 있다.

표 1

	Dimension (mm ³) (Length, Width, Height)	Material	Optical Property
Frame	5.0 × 5.0 × 1.6	PMMA ($n = 1.4936$)	Inside: Gaussian scattering (Sigma 15°, Reflection 85%, Absorption 15%) Outside: Optical absorber
Chip	0.2 × 0.2 × 0.01	GaN ($n = 2.4$)	Fresnel loss
Epoxy	3.5 × 4.55 × 0.8 (Base, Top, Height)	NOA63 ($n = 1.5637$)	
YAG plate	5 × 5 × 0.12~0.21	MgAl ₂ O ₄ ($n = 1.7188$)	
QD film	5 × 5 × 0.03	PET ($n = 1.5733$)	

[0065]

표 2

	Dimension (mm ³) (Length, Width, Height)	Material	Optical Property
Frame	380 × 380 × 20 (Top of the Lighting)	Aluminum ($n = 1.0122$)	Inside: Gaussian scattering (Sigma 15°, Reflection 85%, Absorption 15%) Outside: Optical absorber
Diffuser plate	368 × 368 × 2	PolycarbonateLED2045 ($n = 1.5896$), TiO ₂ ($n = 2.4358$)	Fresnel loss
YAG, QD film	368 × 368 × 0.1	PET ($n = 1.5733$)	

[0066]

표 3

	Emission Peak (nm)	FWHM (nm)	Weight Percent (wt%)	Mean Free Path (mm)
LED	450	25	-	-
YAG	540	100 (below 540 nm) 170 (above 540 nm)	16 (W-LED) 50 (Lighting)	-
QD	632	30	-	0.01 (W-LED) 0.12 (Lighting)

[0067]

[0069]

YAG 형광체 판은 직경이 23 μm 이고 굴절률이 1.8인 형광체 입자로 모델링되었다. 이들 입자는 16wt%에서 굴절률이 1.7188인 세라믹 MgAl_2O_4 에 균일하게 분산되었다. 형광체 판의 두께는 0.12~0.21mm 범위에서 조절하였다. 적색 QD 필름은 평균 자유 경로(MFP)가 0.1mm인 PET(폴리에틸렌 테레프탈레이트)에 분산된 QD 입자로 모델링되었다. QD의 방출 스펙트럼은 30nm의 FWHM에서 632nm의 피크 파장을 가졌다. QD 필름의 두께는 30 μm 였다. YAG 형광체 판과 적색 QD 필름 사이의 거리는 0.01mm로 설정되어 실험에 사용된 두 구성 요소 사이의 에어 갭의 존재를 모방했다. 실험에서 얻은 YAG 형광체와 QD의 PL 및 흡수 스펙트럼을 시뮬레이션에 사용하였고, YAG 형광체의 내장된 여기 스펙트럼과 소프트웨어에 있는 적색 CdSe/ZnS 양자점의 양자 수율을 사용하였다.

[0070]

원격형 고효율 LED 조명의 구현 및 최적화 가능성을 알아보기 위해 도 3과 같이 다양한 구성을 연구하였다. 도 3a와 같이, 정사각형 LED 조명기구는 20mm 피치의 청색 LED 100개를 10×10배열로 구성하였다. 조명기구의 모든 치수는 도 3a에 나와 있으며, 여기서 고정구 프레임은 거울 반사경 역할을 하는 알루미늄으로 설정되었다. 도 3의 b는 Y, R 및 D가 각각 황색 형광체 필름, 적색 QD 필름 및 확산판을 나타내는 8가지 구성을 보여준다. 모든 매트릭스 재료는 PET였다. YAG 입자는 황색 형광체 필름에 50wt%로 포함되었다. 필름에서 QD 입자의 평균 자유 경로(MFP)는 0.12mm였다. "혼합(mix)"은 황색 형광체와 적색 QD 입자가 개별 필름에 사용된 동일한 농도로 무작위로 혼합된 필름을 나타낸다. 3가지 색상 변환 필름의 치수는 368 × 368 × 0.1 mm³이다. 치수가 368 × 368 × 2 mm³인 확산판에서 중심 반경이 225 nm이고 FWHM이 155 nm인 TiO₂ 구형 입자가 호스트 재료(폴리카보네이트)에 0.1 wt%로 균일하게 분산되어 있다.

[0071]

결과

[0072]

도 4는 황색 형광체 판의 세 가지 두께에서 도 1에 표시된 4개의 W-LED의 방출 스펙트럼을 보여준다. RY 및 RYe 구성의 경우, 630nm 부근의 적색 성분의 피크 높이는 YR 및 YRe 구성에 비해 상당히 높다. 전자에서는 LED 칩에서 나오는 청색 여기광이 먼저 적색 QD 필름을 여기시킨 다음 그 일부가 추가 여기를 위해 황색 형광체 판에 당

을 수 있다. QD 필름에서 나오는 적색광은 황색 형광체 판의 흡수 대역을 벗어나기 때문에 QD 필름에서 나오는 적색광은 쉽게 황색 형광체 판을 통과하여 발광 스펙트럼에 기여할 수 있다. 반면에 YR 및 YRe 구성은 강하고 넓은 황색 피크를 나타내는 반면 QD 필름의 적색 피크는 매우 약하다. 이는 황색 형광체를 통과한 후 남아있는 청색광의 양이 필름의 적색 QD를 여기시키기에 충분하지 않음을 나타낸다. 청색 피크의 높이는 증가하는 색 변환 효율을 반영하여 형광체 판의 두께가 증가함에 따라 실질적으로 감소한다. 도 4에 나타난 또 다른 흥미로운 결과는 황색 형광체 판의 두께가 증가함에 따라 적색 피크가 더 강해진다는 것이다. 형광체 두께가 증가함에 따라 형광체 판에서 적색 QD 필름 쪽으로 반사되는 빛의 부분이 증가하여 적색 QD를 더욱 여기시켜 더 높은 적색 피크를 생성한다.

[0073] 도 5는 네 가지 구성에 대한 형광체 판의 두께에 대한 휘도의 의존성을 보여준다. 청색 LED 칩의 소비전력을 일정하게 유지하였기 때문에 휘도값은 발광효율에 선형적으로 비례한다. YR 구조는 형광체 두께에 관계없이 4가지 구성 중 가장 높은 휘도를 보인다. 휘도는 발광 스펙트럼의 분광 성분에 민감하며 광감응이 최대가 되는 녹색 성분 강도가 강할 때 커진다. 이러한 맥락에서 YR 구성은 도 4에서 실제로 관찰되는 발광 스펙트럼의 황색 구성 요소가 더 강하기 때문에 RY 구성보다 유리하다. 반면에 YR 및 RY 구성은 각각 YRe 및 RYe보다 더 높은 휘도 값을 나타낸다. 예폭시 수치가 도 1b와 같이 LED 패키지의 공간을 채우면 LED 칩에서 방출되는 청색광이 TIR(Total Internal Reflection)을 통해 수지-공기 계면에서 부분적으로 반사되어 형광체 및 QD 재료의 여기 확률이 낮아진다.

[0074] 도 5에서 얻은 또 다른 특성은 중간두께 0.15mm에서 효율이 가장 크다는 점이다. 초기에 YAG 판이 두꺼워지면 색 변환 확률이 높아져 높은 광속에 기여하므로 광효율도 높아진다. 그러나 훨씬 두꺼운 형광체 판에서는 형광체 판에서 발생하는 빛의 탈출을 방해하는 과도한 산란 현상으로 인해 효율이 감소한다. 이를 통해 현재 Ce 농도에서 광효율이 가장 우수한 YAG 형광체 판의 두께는 약 0.15mm라는 결론을 내릴 수 있다.

[0075] 도 6은 CIE1931 색도 다이어그램에서 세 가지 다른 형광체 두께에서 네 가지 구성의 색 좌표 변화를 보여준다. 색 좌표는 YR/YRe 및 RY/RYe의 두 가지 범주로 그룹화할 수 있다. YR/YRe 구성에 비해 RY/RYe 구성에서 적색 분광 성분이 더 강하기 때문에 이들의 색좌표는 색도 다이어그램에서 적색 영역에 더 가깝게 위치한다. 또한, 모든 경우의 색좌표는 형광체 판의 두께가 두꺼워질수록 황색 영역을 향하여 우측 상단 방향으로 이동하며, 이는 형광체 판이 두꺼울수록 색 변환이 더 큰 것을 의미한다. 이러한 경향은 상관 색온도(correlated color temperature; CCT)의 변화에서 분명히 알 수 있다. CCT는 가장 얇은 형광체 판(0.1mm)에서 6400~7600K 범위에 있으며 두꺼운 형광체 판에서 향상된 색 변환으로 인해 형광체 두께가 증가함에 따라 감소한다. RY/RYe 구성은 방출 스펙트럼에서 더 강한 적색 성분으로 인해 ~3000K의 가장 낮은 CCT 값을 나타낸다. 방출 스펙트럼의 수정은 연색 특성에 현저한 영향을 미친다. RY 및 RYe 구성에서 형광체 판이 두꺼워질수록 황색 및 적색 피크가 모두 강해지며, 두께가 0.2mm일 때 CRI 값은 90 이상이다. 이러한 높은 연색성을 위해서는 기존 W-LED에서 부족한 적색 스펙트럼 영역을 적색 QD로 보완하는 것이 중요하다. 높은 연색성을 확보하기 위해서는 녹색(황색)과 적색의 분광 성분을 고르게 증가시키는 것이 중요하다.

[0076] 도 2에 표시된 수직 적층 W-LED 모델의 광학적 특성을 광선 추적 기술을 사용하여 조사했다. 도 7은 형광체 두께가 시뮬레이션 모델에서 0.14mm일 때 4개의 LED 구성의 방출 스펙트럼을 보여준다. 도 4의 스펙트럼과 유사하게 YR/YRe 및 RY/RYe 구성은 상당히 다른 방출 스펙트럼 특성을 나타낸다. RY/RYe 구성은 적색 QD 필름의 강한 여기로 인해 ~630nm에서 뚜렷한 적색 피크를 나타내는 반면, YR/YRe 구성은 여기 소스(파란색 LED) 근처에 위치한 YAG 형광체 피크에서 더 향상된 황색 피크를 나타낸다. 또한 파란색 LED와 색상 변환 재료 사이의 간격을 투명 에폭시로 채우면 스펙트럼이 약간 감소하여 효율이 감소하는 것으로 나타났다. 에폭시-공기 계면에서의 내부 전반사는 여기광의 일부를 청색 LED 칩 쪽으로 되돌리므로 에폭시를 사용하지 않은 경우에 비해 색 변환 효율이 떨어진다. 스펙트럼에 대한 한 가지 주목할 점은 RY 및 RYe 구성의 방출 스펙트럼에서 적색 피크가 해당 실험 구성의 것보다 낮다는 것이다. 이 차이의 주요 원인은 필름에서 적색 QD의 MFP와 직접적으로 관련된다. MFP를 미세 조정하면 시뮬레이션의 방출 스펙트럼이 실험의 방출 스펙트럼과 더 비슷해진다.

[0077] 도 8은 시뮬레이션 모델에서 형광체 두께가 0.12mm에서 0.21mm로 증가함에 따라 네 가지 구성의 색 좌표 변화를 보여준다. 전반적인 동작은 도 6에 표시된 실험 결과와 유사하다. 색 좌표는 YR/YRe 또는 RY/RYe 구성으로 그룹화할 수 있으며 형광체 두께가 증가함에 따라 황색 영역으로 이동한다. 수직으로 쌓인 2개의 색 변환 재료의 순서는 색상 특성에 중요하다.

[0078] 효율은 도 5의 실험 결과에서 제안한 바와 같이 형광체 두께에 민감하다. 형광체 두께가 0.12mm에서 0.21mm로 증가함에 따라 효율이 단조 감소한다. 형광체 판이 두꺼워질수록 판의 다중 산란이 심해져서 빛을 가둘 확률이

높아져 효율이 떨어진다. 또한 시뮬레이션 모델의 최적화된 형광체 두께가 0.12mm 미만에 위치하여 최대 효율을 위해 생성된 빛의 다중 산란 및 색 변환 효율이 손상될 수 있음을 나타낸다. 실험과 시뮬레이션 사이의 최적 두께의 차이는 시뮬레이션 조건이 실험 조건과 동일하지 않기 때문이다. 실험에 사용된 형광체 판은 시뮬레이션 모델에 포함하기 어려운 결정립계 효과도 포함된 세라믹 타입이다. 또한 CCT는 0.12mm 두께에서 ~6440K에서 0.21mm에서 ~4000K로 변경된다. 이것은 더 높은 색상 변환 가능성과 더 큰 형광체 두께에서 전체 방출 스펙트럼에서 더 큰 부분의 황색 피크 때문이다. 이는 황색 형광체의 적절한 두께를 선택하는 것이 램프의 CCT 및 기타 색상 특성을 조정하는 한 가지 방법임을 시사한다.

[0079]

도 7과 8에 표시된 수직 적층 W-LED 모델에 대한 시뮬레이션 결과는 실험에서 얻은 결과와 일치하며 현재 시뮬레이션 모델이 추가 연구에 신뢰할 수 있음을 시사한다. 이러한 맥락에서 광학 시뮬레이션을 통해 2개의 원격형 색변환 필름으로 구성된 고효율 다운라이트 구조를 연구하는 것이 바람직하다. 고연색 성능이 요구되는 박물관, 전시장, 산업 현장 등에서는 고효율 LED 조명을 채택하는 것이 중요하다. 도 3에 표시된 모든 구성은 광학 시뮬레이션으로 연구되었다. 도 9는 모든 구성의 방출 스펙트럼을 보여준다. 630nm 부근의 적색 피크는 적색 QD 필름이 황색 형광체 필름 아래에 있거나 혼합 필름이 확산판 위에 채택된 구성에서 더욱 두드러진다. 한편, 넓은 황색 피크는 황색 형광체 필름이 적색 QD 필름 아래에 위치하는 구성에 대해 더 중요하다. 이는 실험과 시뮬레이션을 통해 연구한 작은 크기의 수직 적층 W-LED에서 얻은 결과와 매우 유사하다.

[0080]

도 10 a,b는 각각 필름 구성에 대한 휘도 및 CRI의 의존성을 보여준다. 휘도는 DMR 구성에서 가장 높고 mixD 구성에서 가장 낮다. DMR 구성의 경우 확산판을 통해 균일하게 혼합된 청색광이 황색 형광체와 적색 QD 필름을 순차적으로 여기시킨다. 따라서 인간의 눈에 가장 민감한 황색 피크가 가장 강하고 효율이 가장 높아진다. 반면, mixD 구성은 혼합 색변환 필름 위에 확산판이 있다. 이 구성의 효율은 일반적으로 확산판의 투과율이 낮기 때문에 낮다. 도 10의 b는 연색성이 필름 구성과 밀접한 관련이 있음을 명확하게 보여준다. 특히 적색 QD 필름이 황색 형광체 필름 위에 있는 경우 개별 CRI 'R9'(진한 적색)가 매우 낮아진다. 이 구성에서 QD 필름의 적색 피크는 일반적으로 도 9와 같이 불충분한 여기로 인해 매우 낮으며, 그 결과 R9가 낮아져 Ra 및 Re가 낮아진다. 도 10의 b에서 가장 높은 Ra는 모든 경우에서 여전히 90보다 약간 낮다는 점에 유의해야 한다. 이는 파란색 피크와 황색 피크 사이의 급격한 딥 때문이다. 이는 도 4에서 실험적으로 입증된 바와 같이 황색 형광체의 방출 스펙트럼을 조정하여 개선할 수 있다. 이 경우 이 고효율 LED 장치의 CRI 값은 실험과 유사하게 90보다 높을 것으로 예상된다.

[0081]

도 11 a,b는 각각 수직 및 수평 방향에 따른 CCT의 각도 분포를 보여준다. 시야각은 법선 방향과 시야 방향 사이의 각도로 정의되며, 수평 및 수직 방향을 따라 일정한 간격으로 변경되었다. 구형 좌표에서 극각은 두 개의 고정된 방위각, 즉 방출면에서 0° 와 90° 에서의 시야각으로 정의됨을 나타낸다. 데이터 세트에서 두 그룹을 인식할 수 있다. 하나는 무시할 수 있는 각도 분산(YRD, YDR, RYD 및 mixD; 이러한 구성은 그룹-I로 표시됨)이고 다른 하나는 상당한 각도 분산(DMR, DRY, Dmix 및 RDY, 이러한 구성은 그룹-II로 표시됨)이다. 그룹-I의 구성은 YDR 구성을 제외하고 확산판이 다른 색 변환 필름 위에 있다는 공통적인 특징을 가지고 있다. 확산판은 빛을 강하게 산란시키고 혼합하여 Lambertian 분포를 만든다. 강력한 확산 기능으로 인해 보는 각도에 관계없이 색상 특성이 동일하게 보인다. YDR 구성의 경우 상단의 적색 QD 필름을 통과하는 빛은 광 경로 길이가 다르기 때문에 시야각이 높을수록 색상 변환 확률이 높아진다. 그러나 QD 필름은 매우 얇기 때문에 경로 길이 차이로 인한 색 분산이 두꺼운 형광체 판에 비해 다소 작을 수 있다. 이것은 QD 필름에서 더 긴 경로 길이를 통해 강화된 적색 성분으로 인해 시야각이 증가함에 따라 YDR 구성의 CCT가 약간 감소하는 도 11에 표시된 데이터에서 실제로 관찰된다. 한편, 그룹 II의 모든 구성은 상당한 색상 분산, 즉 높은 시야각에서 상당히 낮은 CCT 값을 나타낸다. 이것은 주로 여기광에 대한 색 변환 필름의 광경로 길이 차이가 크기 때문이다. RDY의 경우를 제외하고 두 개의 필름을 확산판 위에 올려 놓기 때문에 조명기구를 빠져나가는 빛에 대해 경로 길이 차이의 영향이 두드러질 것으로 예상된다. RDY 구성의 경우 YDR 구성에 비해 각 CCT 분산에 더 큰 영향을 미칠 정도로 두꺼운 황색 형광체 필름에 의해 색 분산이 주로 발생한다.

[0082]

본 연구에서 제시된 결과는 고연색 성능의 고효율 백색 LED 조명 장치를 구현하기 위한 몇 가지 설계 규칙을 제공한다. 첫째, 적색 QD 필름을 사용하는 것은 장파장 스펙트럼 영역을 보완하여 높은 CRI 값을 확보하는 데 매우 효과적인 방법이다. 황색 형광체 판과 적색 QD 필름의 조합은 최적화된 구성에서 90 이상의 높은 CRI 값을 확인했다. 원격 설계는 또한 장기적인 안정성을 보장할 수 있다. 둘째, 두 가지 색상 변환 구성 요소의 순서와 두께를 변경하여 색좌표 및 CCT와 같은 색상 속성을 광범위하게 조정할 수 있다. 이러한 변화는 효율성 외에도 CCT, CRI 및 기타 색상 특성에 상당한 영향을 미친다. 구성 요소의 순서를 변경하거나 구성 요소를 두께가 다른 구성 요소로 교체하여 광범위한 CCT 값을 조정할 수 있는 유연성을 제공한다. 이는 동일한 조명 기구가 동일한

공간에서 서로 다른 조명 목적을 위해 매우 다른 색조를 제공할 수 있음을 나타낸다. 예를 들어, 침실의 경우 낮은 CCT, 공부방의 경우 높은 CCT 등이다. 마지막으로 고효율 LED 조명 장치의 색상 분산을 제거하려면 색변환 부품과 확산판의 순서가 중요하다. 특히, 색변환 부품의 광경로 길이 차이로 인한 실질적인 색분산을 피하기 위해 색변환 필름은 확산판 아래에 포함되어야 한다.

[0084]

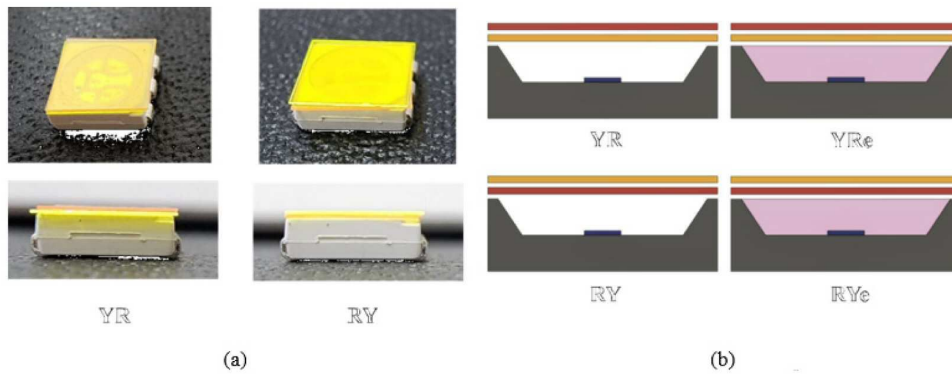
결론

[0085]

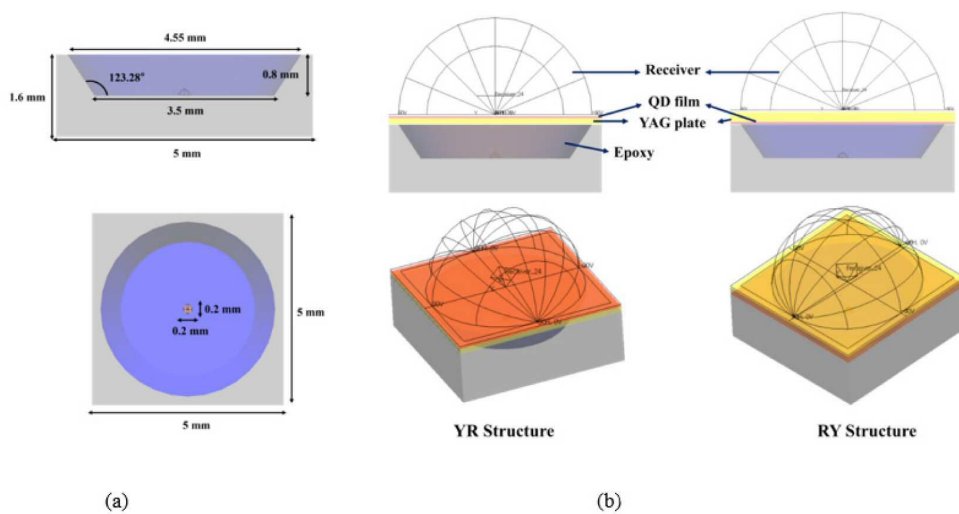
황색 형광체 판과 적색 QD 필름으로 구성된 수직 적층형 백색 LED 구조를 실험과 광학 시뮬레이션을 통해 연구했다. 발광스펙트럼, 연색성, 색좌표는 형광체의 두께뿐만 아니라 수직으로 적층된 2개의 색변환 소자의 순서에 따라 크게 영향을 받았다. 적색 QD 필름을 청색 LED 칩에 가깝게 배치하여 진한 적색 성분을 향상시켜 90 이상의 높은 연색성을 확보하는 것이 중요했다. 2개의 색 변환 부품과 확산판의 순서는 색 분산을 제거하는 데 중요하며, 색 변환 필름은 색 변환 구성 요소의 광학적 경로 길이의 차이로 인한 실질적인 색 분산을 피하기 위해 확산판 아래에 위치해야 함을 보여주었다. 본 연구에서는 잠재적으로 높은 장기 안정성을 가질 수 있는 고효율, 고연색성 및 원격형 백색 LED 장치를 구현하기 위한 설계 방법을 보여준다.

도면

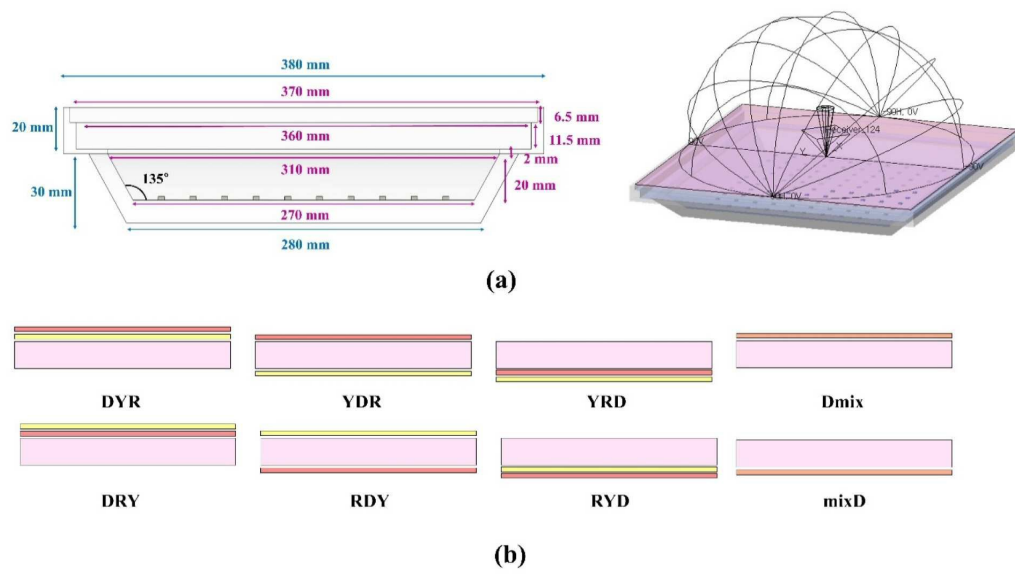
도면1



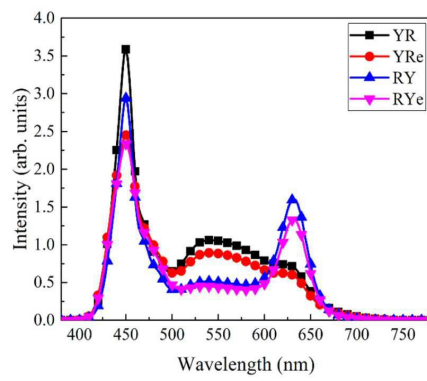
도면2



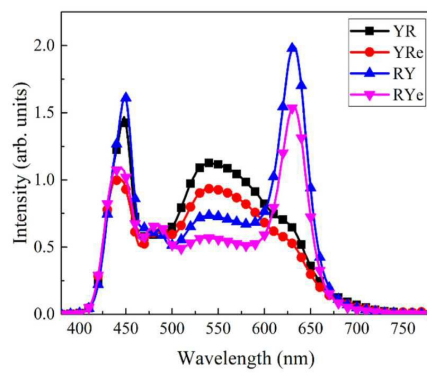
도면3



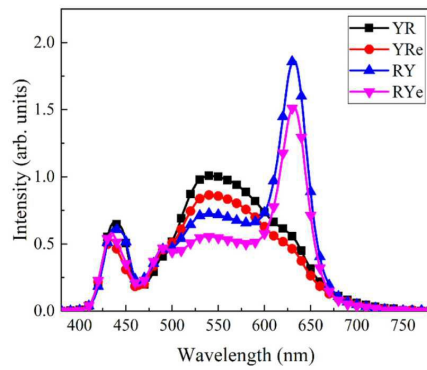
도면4



(a)

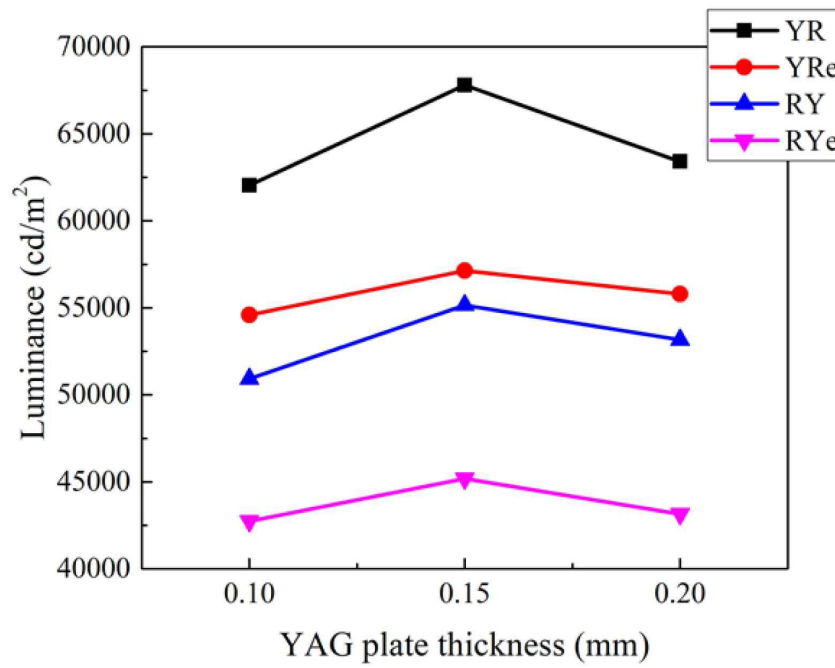


(b)

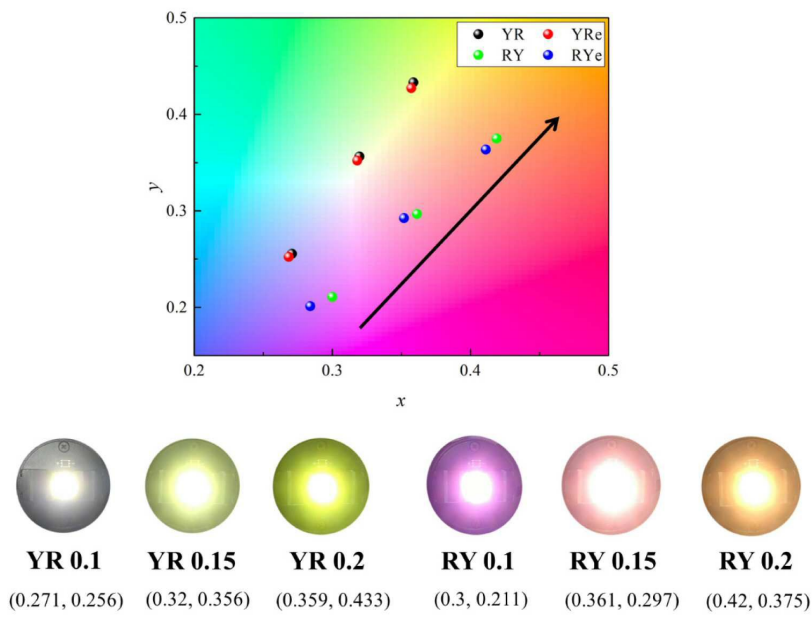


(c)

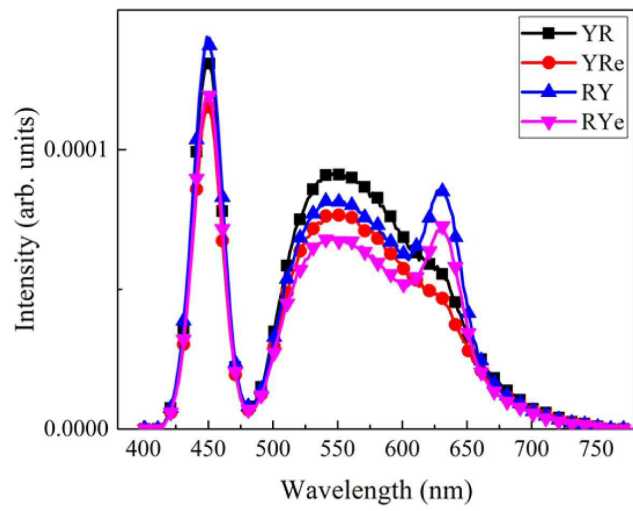
도면5



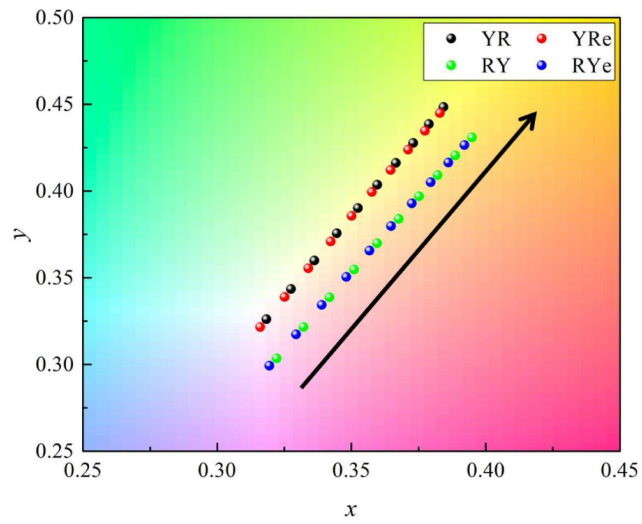
도면6



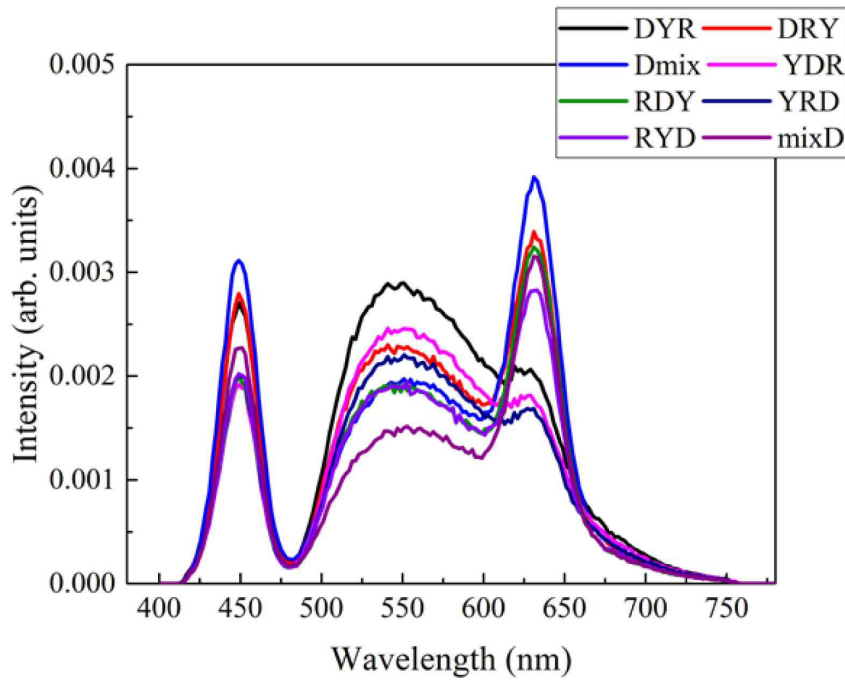
도면7



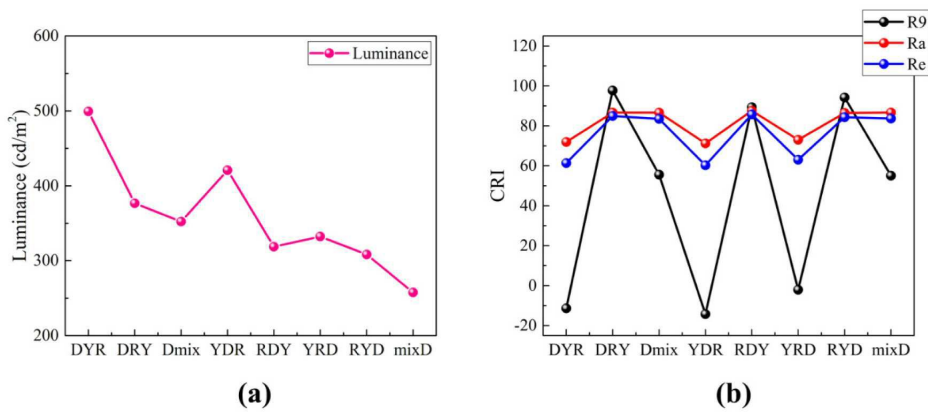
도면8



도면9



도면10



도면11

