(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2021-0022247
(43) 공개일자 2021년03월03일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)
H01L 33/50 (2010.01) *C09K 11/08* (2006.01)
C09K 11/77 (2006.01) *H01L 33/00* (2010.01)
H01L 33/44 (2010.01) *H01L 33/56* (2010.01)
(52) CPC특허분류
H01L 33/504 (2013.01)
C09K 11/085 (2013.01)
(21) 출원번호 10-2019-0101440
(22) 출원일자 2019년08월20일
심사청구일자 2019년08월20일

(71) 출원인
고려대학교 산학협력단
서울특별시 성북구 안암로 145, 고려대학교 (안암동5가)
(72) 발명자
김웅
서울특별시 송파구 양재대로 1218, 310동 709호 (올림픽선수기자촌아파트)
박성남
서울특별시 강남구 개포로 303, 102동 802호(개포동, 현대1차아파트)
(뒷면에 계속)
(74) 대리인
백두진, 김정연, 유광철, 강일신

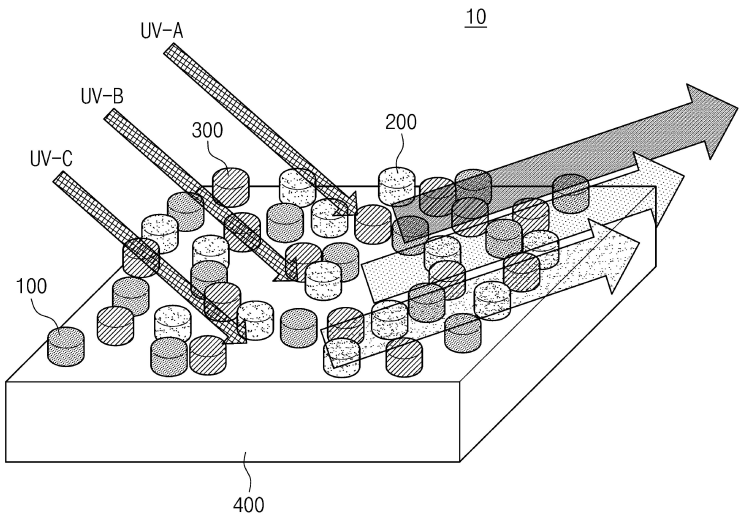
전체 청구항 수 : 총 20 항

(54) 발명의 명칭 **하향변환 발광 조합체 및 이를 제조하는 제조 방법**

(57) 요 약

본 발명은 자외선이 입사되면 가시광선을 발생시키는 하향변환 발광 조합체에 관한 것이다. 본 발명의 일 실시예에 따른 하향변환 발광 조합체는, 자외선이 입사되면 제 1 색상의 가시광선을 발생시키는 제 1 물질로 이루어지는 제 1 구조체와; 자외선이 입사되면 상기 제 1 색상과 상이한 제 2 색상의 가시광선을 발생시키는 제 2 물질로 이루어지는 제 2 구조체를 포함하되, 상기 제 1 물질 및 상기 제 2 물질은 입사되는 자외선의 파장에 따라 발생되는 가시광선의 세기의 분포가 상이하다.

대 표 도 - 도1



(52) CPC특허분류
C09K 11/77 (2013.01)
H01L 33/005 (2013.01)
H01L 33/44 (2013.01)
H01L 33/56 (2013.01)

(72) 발명자
손원배
서울특별시 강남구 역삼로 309, 105동 801호(역삼동, 래미안펜타빌)
유강열
서울특별시 동대문구 약령시로2길 44
이치호
경기도 안양시 동안구 흥안대로414번길 39, 202동 1803호 (인덕원대림2차아파트)

이 발명을 지원한 국가연구개발사업

과제고유번호	1711048738
부처명	미래창조과학부
과제관리(전문)기관명	한국연구재단
연구사업명	미래유망융합기술파이오니어사업
연구과제명	스펙트럼 제어 플랫폼 적용을 위한 고효율 스펙트럼 변환 나노물질 합성
기 여 율	1/1
과제수행기관명	고려대학교
연구기간	2013.09.17 ~ 2019.02.28

명 세 서

청구범위

청구항 1

자외선이 입사되면 제 1 색상의 가시광선을 발생시키는 제 1 물질로 이루어지는 제 1 구조체와;

자외선이 입사되면 상기 제 1 색상과 상이한 제 2 색상의 가시광선을 발생시키는 제 2 물질로 이루어지는 제 2 구조체를 포함하되,

상기 제 1 물질 및 상기 제 2 물질은 입사되는 자외선의 파장에 따라 발생되는 가시광선의 세기의 분포가 상이한 하향변환 발광 조합체.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 구조체 및 상기 제 2 구조체를 지지하는 기판을 더 포함하되,

상기 제 1 구조체 및 상기 제 2 구조체는 상기 기판 상에 나노 패턴으로 형성되는 하향변환 발광 조합체.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 제 1 물질 및 상기 제 2 물질은 자외선이 입사되면 가시광선을 발생시키는 하향변환 발광 특성을 가지도록 란탄족 이온이 도핑되는 이트륨 바나디움 옥사이드(YVO_4) 또는 이트륨 옥사이드(Y_2O_3)로 제공되는 하향변환 발광 조합체.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

자외선이 입사되면 상기 제 1 색상 및 상기 제 2 색상과 상이한 제 3 색상의 가시광선을 발생시키는 제 2 물질로 이루어지는 제 3 구조체를 더 포함하되,

상기 제 1 물질, 상기 제 2 물질 및 상기 제 3 물질은 입사되는 자외선의 파장에 따라 발생되는 가시광선의 세기의 분포가 상이한 하향변환 발광 조합체.

청구항 5

제 4 항에 있어서,

상기 제 1 구조체, 상기 제 2 구조체 및 상기 제 3 구조체를 지지하는 기판을 더 포함하되,

상기 제 1 구조체, 상기 제 2 구조체 및 상기 제 3 구조체는 상기 기판 상에 나노 패턴으로 형성되는 하향변환 발광 조합체.

청구항 6

제 4 항에 있어서,

상기 제 1 물질, 상기 제 2 물질 및 상기 제 3 물질은 자외선이 입사되면 가시광선을 발생시키는 하향변환 발광 특성을 가지도록 란탄족 이온이 도핑되는, 이트륨 바나디움 옥사이드(YVO_4) 또는 이트륨 옥사이드(Y_2O_3)로 제공되는 하향변환 발광 조합체.

청구항 7

제 3 항 또는 제 6 항에 있어서,

상기 란탄족 이온은 유로피움(Eu^{3+}) 이온, 비스무쓰(Bi^{3+}) 이온 또는 어븀(Er^{3+}) 이온으로 제공되는 하향변환 발광 조합체.

청구항 8

제 4 항에 있어서,

상기 제 1 색상, 상기 제 2 색상 및 상기 제 3 색상은 각각 적색, 녹색 및 청색 중 하나의 색상인 하향변환 발광 조합체.

청구항 9

제 1 항 또는 제 5 항에 있어서,

상기 각각의 구조체에 따른 나노 패턴의 크기를 조절함으로써 발생되는 가시광선의 색상의 범위를 조절할 수 있는 하향변환 발광 조합체.

청구항 10

자외선이 입사되면 가시광선을 발생시키는 하향변환 발광 조합체를 제조하는 방법에 있어서,

기판 상에 자외선이 입사되면 제 1 색상의 가시광선을 발생시키는 제 1 물질로 이루어지는 제 1 구조체를 형성하는 제 1 구조체 형성 단계와;

상기 제 1 구조체가 형성된 상기 기판 상에, 자외선이 입사되면 상기 제 1 색상과 상이한 제 2 색상의 가시광선을 발생시키는 제 2 물질로 이루어지는 제 2 구조체를 형성하는 제 2 구조체 형성 단계를 포함하는 하향변환 발광 조합체 제조 방법.

청구항 11

제 10 항에 있어서,

상기 제 1 구조체 형성 단계는,

기판 상에 상기 제 1 물질을 구성하는 성분이 용해된 제 1 용액을 도포하는 제 1 도포 단계와;

이 후, 상기 제 1 용액이 도포된 상기 기판 상에 PDMS 몰드를 안착시키는 제 1 PDMS 몰드 안착 단계와;

이 후, 상기 기판 상에 도포된 상기 제 1 용액의 용매를 증발시키는 제 1 용매 증발 단계를 포함하는 하향변환 발광 조합체 제조 방법.

청구항 12

제 11 항에 있어서,

상기 제 1 구조체 형성 단계는,

상기 제 1 용매 증발 단계 후, 상기 기판 상에서 상기 PDMS 몰드를 제거하는 제 1 PDMS 제거 단계와;

이 후, 상기 기판을 열처리하는 제 1 열처리 단계를 더 포함하는 하향변환 발광 조합체 제조 방법.

청구항 13

제 11 항에 있어서,

상기 제 1 용액을 제조하는 제 1 용액 제조 단계를 더 포함하되,

상기 제 1 용액 제조 단계에서는, $Y(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$ 및 구연산(Citric acid)과, $Eu(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$, $Bi(NO_3)_3 \cdot 4H_2O$ 또는 $Er(NO_3)_3 \cdot 5H_2O$를 2-methoxyethanol 용매에 혼합하여 상기 제 1 용액을 제조하는 하향변환 발광 조합체 제조 방법.

청구항 14

제 13 항에 있어서,

상기 제 1 용액 제조 단계에서는, $VO(acac)_2$를 상기 2-methoxyethanol 용매에 더 혼합하여 상기 제 1 용액을 제조하는 하향변환 발광 조합체 제조 방법.

청구항 15

제 10 항에 있어서,

상기 제 2 구조체 형성 단계는,

상기 제 1 구조체가 형성된 상기 기판 상에 상기 제 2 물질을 구성하는 성분이 용해된 제 2 용액을 도포하는 제 2 도포 단계와;

이 후, 상기 제 2 용액이 도포된 상기 기판 상에 PDMS 몰드를 안착시키는 제 2 PDMS 몰드 안착 단계와;

이 후, 상기 기판 상에 도포된 상기 제 2 용액의 용매를 증발시키는 제 2 용매 증발 단계를 포함하는 하향변환 발광 조합체 제조 방법.

청구항 16

제 15 항에 있어서,

상기 제 2 구조체 형성 단계는,

상기 제 2 용매 증발 단계 후, 상기 기판 상에서 상기 PDMS 몰드를 제거하는 제 2 PDMS 제거 단계와;

이 후, 상기 기판을 열처리하는 제 2 열처리 단계를 더 포함하는 하향변환 발광 조합체 제조 방법.

청구항 17

제 15 항에 있어서,

상기 제 2 용액을 제조하는 제 2 용액 제조 단계를 더 포함하되,

상기 제 2 용액 제조 단계에서는, $Y(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$ 및 구연산(Citric acid)과, $Eu(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$, $Bi(NO_3)_3 \cdot 4H_2O$ 또는 $Er(NO_3)_3 \cdot 5H_2O$를 2-methoxyethanol 용매에 혼합하여 상기 제 2 용액을 제조하는 하향변환 발광 조합체 제조 방법.

청구항 18

제 17 항에 있어서,

상기 제 2 용액 제조 단계에서는, $VO(acac)_2$를 상기 2-methoxyethanol 용매에 더 혼합하여 상기 제 2 용액을 제조하는 하향변환 발광 조합체 제조 방법.

청구항 19

제 15 항에 있어서,

상기 제 2 PDMS 몰드 안착 단계에서는 상기 PDMS 몰드를 상기 제 1 PDMS 몰드 안착 단계에서 안착된 상기 PDMS 몰드에 대해 일정 각도로 회전시켜 상기 제 2 용액이 도포된 상기 기판 상에 안착시키는 하향변환 발광 조합체 제조 방법.

청구항 20

제 10 항에 있어서,

상기 제 1 구조체 및 상기 제 2 구조체가 형성된 상기 기판 상에, 자외선이 입사되면 상기 제 1 색상 및 상기 제 2 색상과 상이한 제 3 색상의 가시광선을 발생시키는 제 3 물질로 이루어지는 제 3 구조체를 형성하는 제 3 구조체 형성 단계를 포함하는 하향변환 발광 조합체 제조 방법.

발명의 설명

기 술 분 야

[0001] 본 발명은 자외선이 입사되면 가시광선을 발생시키는 하향변환 발광 조합체 및 이를 제조하는 제조 방법에 관한 것이다.

배 경 기 술

[0002] 자외선이 입사되면 가시광선으로 하향변환 발광시키는 하향변환 발광 박막을 제조하는 종래의 기술은 나노 크기보다 큰 단위인 마이크로패턴 박막으로 하향변환 발광 박막을 제조했으며, 할라이드 페로브스카이트 물질의 나노구조를 이용한 하향변환 발광 박막에 대한 연구결과는 존재하나 이들의 경우, 발광 효율, 발광 품질 및 응용 범위에 있어서 한계가 있었다.

[0003] 또한, 자외선을 검출하는 종래 기술은 주로 광전 효과를 통한 전기적인 신호를 이용하였고, 자외선의 가시광선 변환기술 역시 입사되는 자외선의 파장에 관계없이 단색 가시광선으로의 변환에 머물러 CCD 카메라에 적용되는 경우 촬영되는 자외선의 파장을 구분하는 것이 쉽지 않다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0004] 본 발명은 발광 세기, 발광 효율, 발광 품질 및 응용 범위가 개선된 하향변환 발광 조합체 및 이를 제조하는 제조 방법을 제공하기 위한 것이다.

[0005] 또한, 본 발명은 입사되는 자외선의 파장에 따라 다른 색의 가시광선을 발생시킬 수 있는 하향변환 발광 조합체 및 이를 제조하는 제조 방법을 제공하기 위한 것이다.

[0006] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는 여기에 제한되지 않으며, 언급되지 않은 또 다른 과제들은 아래의 기재로부터 통상의 기술자에게 명확하게 이해될 수 있을 것이다.

과제의 해결 수단

[0007] 본 발명은 자외선이 입사되면 가시광선을 발생시키는 하향변환 발광 조합체를 제공한다. 일 실시 예에 따르면 하향변환 발광 조합체는, 자외선이 입사되면 제 1 색상의 가시광선을 발생시키는 제 1 물질로 이루어지는 제 1 구조체와; 자외선이 입사되면 상기 제 1 색상과 상이한 제 2 색상의 가시광선을 발생시키는 제 2 물질로 이루어지는 제 2 구조체를 포함하되, 상기 제 1 물질 및 상기 제 2 물질은 입사되는 자외선의 파장에 따라 발생되는 가시광선의 세기의 분포가 상이하다.

[0008] 상기 제 1 구조체 및 상기 제 2 구조체를 지지하는 기판을 더 포함하되, 상기 제 1 구조체 및 상기 제 2 구조체는 상기 기판 상에 나노 패턴으로 형성될 수 있다.

[0009] 상기 제 1 물질 및 상기 제 2 물질은 자외선이 입사되면 가시광선을 발생시키는 하향변환 발광 특성을 가지도록 란탄족 이온이 도핑되는 이트륨 바나디움 옥사이드(YVO_4) 또는 이트륨 옥사이드(Y_2O_3)로 제공될 수 있다.

[0010] 자외선이 입사되면 상기 제 1 색상 및 상기 제 2 색상과 상이한 제 3 색상의 가시광선을 발생시키는 제 2 물질로 이루어지는 제 3 구조체를 더 포함하되, 상기 제 1 물질, 상기 제 2 물질 및 상기 제 3 물질은 입사되는 자외선의 파장에 따라 발생되는 가시광선의 세기의 분포가 상이할 수 있다.

[0011] 상기 하향변환 발광 구조체는 상기 제 1 구조체, 상기 제 2 구조체 및 상기 제 3 구조체를 지지하는 기판을 더 포함하되, 상기 제 1 구조체, 상기 제 2 구조체 및 상기 제 3 구조체는 상기 기판 상에 나노 패턴으로 형성될 수 있다.

[0012] 상기 제 1 물질, 상기 제 2 물질 및 상기 제 3 물질은 자외선이 입사되면 가시광선을 발생시키는 하향변환 발광 특성을 가지도록 란탄족 이온이 도핑되는, 이트륨 바나디움 옥사이드(YVO_4) 또는 이트륨 옥사이드(Y_2O_3)로 제공되는 하향변환 발광 조합체.

[0013] 상기 란탄족 이온은 유로피움(Eu^{3+}) 이온, 비스무쓰(Bi^{3+}) 이온 또는 어븀(Er^{3+}) 이온으로 제공될 수 있다.

[0014] 상기 제 1 색상, 상기 제 2 색상 및 상기 제 3 색상은 각각 적색, 녹색 및 청색 중 하나의 색상일 수 있다.

[0015] 상기 하향변환 발광 조합체는 상기 각각의 구조체에 따른 나노 패턴의 크기를 조절함으로써 발생되는 가시광선의 색상의 범위를 조절할 수 있다.

[0017] 또한, 본 발명은 자외선이 입사되면 가시광선을 발생시키는 하향변환 발광 조합체를 제조하는 하향변환 발광 조합체 제조 방법을 제공한다. 일 실시 예에 따르면 하향변환 발광 조합체 제조 방법은, 기판 상에 자외선이 입사되면 제 1 색상의 가시광선을 발생시키는 제 1 물질로 이루어지는 제 1 구조체를 형성하는 제 1 구조체 형성 단계와; 상기 제 1 구조체가 형성된 상기 기판 상에, 자외선이 입사되면 상기 제 1 색상과 상이한 제 2 색상의 가시광선을 발생시키는 제 2 물질로 이루어지는 제 2 구조체를 형성하는 제 2 구조체 형성 단계를 포함한다.

[0018] 상기 제 1 구조체 형성 단계는, 기판 상에 상기 제 1 물질을 구성하는 성분이 용해된 제 1 용액을 도포하는 제 1 도포 단계와; 이 후, 상기 제 1 용액이 도포된 상기 기판 상에 PDMS 몰드를 안착시키는 제 1 PDMS 몰드 안착 단계와; 이 후, 상기 기판 상에 도포된 상기 제 1 용액의 용매를 증발시키는 제 1 용매 증발 단계를 포함할 수 있다.

[0019] 상기 제 1 구조체 형성 단계는, 상기 제 1 용매 증발 단계 후, 상기 기판 상에서 상기 PDMS 몰드를 제거하는 제 1 PDMS 제거 단계와; 이 후, 상기 기판을 열처리하는 제 1 열처리 단계를 더 포함할 수 있다.

[0020] 상기 하향변환 발광 조합체 제조 방법은 상기 제 1 용액을 제조하는 제 1 용액 제조 단계를 더 포함하되, 상기 제 1 용액 제조 단계에서는, $Y(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$ 및 구연산(Citric acid)과, $Eu(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$, $Bi(NO_3)_3 \cdot 4H_2O$ 또는 $Er(NO_3)_3 \cdot 5H_2O$를 2-methoxyethanol 용매에 혼합하여 상기 제 1 용액을 제조할 수 있다.

[0021] 상기 제 1 용액 제조 단계에서는, $VO(acac)_2$를 상기 2-methoxyethanol 용매에 더 혼합하여 상기 제 1 용액을 제조할 수 있다.

[0022] 상기 제 2 구조체 형성 단계는, 상기 제 1 구조체가 형성된 상기 기판 상에 상기 제 2 물질을 구성하는 성분이 용해된 제 2 용액을 도포하는 제 2 도포 단계와; 이 후, 상기 제 2 용액이 도포된 상기 기판 상에 PDMS 몰드를 안착시키는 제 2 PDMS 몰드 안착 단계와; 이 후, 상기 기판 상에 도포된 상기 제 2 용액의 용매를 증발시키는 제 2 용매 증발 단계를 포함할 수 있다.

[0023] 상기 제 2 구조체 형성 단계는, 상기 제 2 용매 증발 단계 후, 상기 기판 상에서 상기 PDMS 몰드를 제거하는 제 2 PDMS 제거 단계와; 이 후, 상기 기판을 열처리하는 제 2 열처리 단계를 더 포함할 수 있다.

[0024] 상기 하향변환 발광 조합체 제조 방법은 상기 제 2 용액을 제조하는 제 2 용액 제조 단계를 더 포함하되, 상기 제 2 용액 제조 단계에서는, $Y(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$ 및 구연산(Citric acid)과, $Eu(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$, $Bi(NO_3)_3 \cdot 4H_2O$ 또는 $Er(NO_3)_3 \cdot 5H_2O$를 2-methoxyethanol 용매에 혼합하여 상기 제 2 용액을 제조할 수 있다.

[0025] 상기 제 2 용액 제조 단계에서는, $VO(acac)_2$를 상기 2-methoxyethanol 용매에 더 혼합하여 상기 제 2 용액을 제조할 수 있다.

[0026] 상기 제 2 PDMS 몰드 안착 단계에서는 상기 PDMS 몰드를 상기 제 1 PDMS 몰드 안착 단계에서 안착된 상기 PDMS 몰드에 대해 일정 각도로 회전시켜 상기 제 2 용액이 도포된 상기 기판 상에 안착시킬 수 있다.

[0027] 상기 하향변환 발광 조합체 제조 방법은 상기 제 1 구조체 및 상기 제 2 구조체가 형성된 상기 기판 상에, 자외선이 입사되면 상기 제 1 색상 및 상기 제 2 색상과 상이한 제 3 색상의 가시광선을 발생시키는 제 3 물질로 이루어지는 제 3 구조체를 형성하는 제 3 구조체 형성 단계를 더 포함할 수 있다.

발명의 효과

[0028] 본 발명의 일 실시 예에 따른 하향변환 발광 조합체는 발광 세기, 발광 효율, 발광 품질 및 응용 범위가 개선될 수 있다.

[0029] 또한, 본 발명의 일 실시 예에 따른 하향변환 발광 조합체는 입사되는 자외선의 파장에 따라 다른 색의 가시광선을 발생시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0030] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 하향변환 발광 조합체를 개략적으로 나타낸 사시도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시 예에 따른 하향변환 발광 조합체 제조 방법을 나타낸 순서도이다.

도 3은 도 2의 제 1 구조체 형성 단계를 나타낸 순서도이다.

도 4는 도 2의 제 2 구조체 형성 단계를 나타낸 순서도이다.

도 5는 도 2의 제 3 구조체 형성 단계를 나타낸 순서도이다.

도 6은 평평하게 형성된 란탄족 이온이 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드 박막의 형태, 구조분석을 하기 위한 사진 및 그래프들이다.

도 7은 평평하게 형성된 란탄족 이온이 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드 박막의 흡발광 특성을 나타내는 그래프들이다.

도 8은 본 발명의 일 실시 예에 따른 유로피움이 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드 나노패턴 박막 및 비스무쓰가 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드 나노패턴 박막의 형태와 일반(평평한) 박막에 비한 발광특성 향상을 나타내는 사진 및 그래프들이다.

도 9는 본 발명의 일 실시 예에 따른 나노패터닝에 의한 발광특성 향상의 원인을 분석한 그래프들이다.

도 10은 본 발명의 일 실시 예에 따른 더블 프린트의 형태 및 발광특성을 나타낸 사진 및 그래프들이다.

도 11은 본 발명의 일 실시 예에 따른 더블 프린트의 자외선 여기파장에 따른 다색 가시광선 변환을 나타내는 사진, 그래프 및 도표들이다.

도 12는 본 발명의 일 실시 예에 따른 트리플 프린트의 자외선 여기파장에 따른 다색 가시광선 변환을 나타내는 사진, 그래프 및 도표들이다.

도 13은 여러가지 부피의 $YVO_4:Er^{3+}$ 나노패턴들의 (a) SEM 촬영이미지. (b) 투과율 스펙트럼 및 (c) 부피 대 Mie 공명파장 간 그래프를 나타낸다.

도 14는 $Y_2O_3:Eu^{3+}$의 나노패턴의 크기를 변화시킨 $YVO_4:Er^{3+}/Y_2O_3:Eu^{3+}$ 더블프린트들의 (a) SEM 촬영이미지, (b) 254 nm 자외선 램프 조사 시의 발광사진, (c) 312 nm 자외선 램프 조사 시의 발광사진. (d) 254 nm 여기 시의 PL 스펙트럼 및 (e) CIE 색 좌표이다.

도 15는 $YVO_4:Er^{3+}$ 나노패턴의 크기를 변화시킨 $YVO_4:Er^{3+}/Y_2O_3:Eu^{3+}$ 더블프린트들의 (a) SEM 촬영이미지, (b) 254 nm 자외선 램프 조사 시의 발광사진 (c) 312 nm 자외선 램프 조사 시의 발광사진. (d) 254 nm 여기 시의 PL 스펙트럼 및 (e) CIE 색 좌표이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0031] 이하, 본 발명의 실시 예를 첨부된 도면들을 참조하여 더욱 상세하게 설명한다. 본 발명의 실시 예는 여러 가지 형태로 변형할 수 있으며, 본 발명의 범위가 아래의 실시 예들로 한정되는 것으로 해석되어서는 안 된다. 본 실시 예는 당업계에서 평균적인 지식을 가진 자에게 본 발명을 더욱 완전하게 설명하기 위해 제공되는 것이다. 따라서 도면에서의 요소의 형상은 보다 명확한 설명을 강조하기 위해 과장되었다.

[0032] 도 1은 본 발명의 일 실시 예에 따른 하향변환 발광 조합체를 개략적으로 나타낸 사시도이다. 도 1을 참조하면, 하향변환 발광 조합체(10)는 자외선이 입사되면 가시광선을 발생시킨다. 하향변환 발광 조합체(10)는 입사되는 자외선의 파장에 따라 상이한 색상의 가시광선을 발생시킨다. 일 실시 예에 따르면, 하향변환 발광 조합체(10)는 제 1 구조체(100), 제 2 구조체(200), 제 3 구조체(300) 및 기판(400)을 포함한다.

[0033] 제 1 구조체(100)는 제 1 물질로 이루어진다. 제 1 물질은 자외선이 입사되면 제 1 색상의 가시광선을 발생시키는 물질이다.

[0034] 제 2 구조체(200)는 제 2 물질로 이루어진다. 제 2 물질은 자외선이 입사되면 제 2 색상의 가시광선을 발생시키

는 물질이다. 제 2 색상은 제 1 색상과 상이한 색상이다.

[0035] 제 3 구조체(300)는 제 3 물질로 이루어진다. 제 3 물질은 자외선이 입사되면 제 3 색상의 가시광선을 발생시키는 물질이다. 제 3 색상은 제 1 색상 및 제 2 색상과 상이한 색상이다. 일 실시 예에 따르면, 제 1 색상, 제 2 색상 및 제 3 색상은 각각 적색, 녹색 및 청색 중 하나의 색상일 수 있다.

[0036] 일 실시 예에 따르면, 제 1 물질, 제 2 물질 및 제 3 물질은 자외선이 입사되면 가시광선을 발생시키는 하향변환 발광 특성을 가지도록 란탄족 이온이 도핑되는, 이트륨 바나디움 옥사이드(YVO_4) 또는 이트륨 옥사이드(Y_2O_3)로 제공된다. 제 1 물질, 제 2 물질 및 제 3 물질은 입사되는 자외선의 파장에 따라 발생되는 가시광선의 세기의 분포가 상이하다. 일 실시 예에 따르면, 란탄족 이온은 유로피움(Eu^{3+}) 이온, 비스무쓰(Bi^{3+}) 이온 또는 어븀(Er^{3+}) 이온으로 제공될 수 있다. 일 실시 예에 따르면, 제 1 물질은 유로피움 이온이 도핑된 이트륨 옥사이드(Y_2O_3:Eu^{3+}) 또는 유로피움 이온이 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드(YVO_4:Eu^{3+})로 제공될 수 있다. 제 2 물질은 어븀 이온이 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드(YVO_4: Er^{3+}) 또는 비스무쓰 이온이 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드(YVO_4:Bi^{3+})로 제공될 수 있다. 제 3 물질은 비스무쓰 이온이 도핑된 이트륨 옥사이드(Y_2O_3: Bi^{3+})로 제공될 수 있다.

[0037] 기판(400)은 제 1 구조체(100), 제 2 구조체(200) 및 제 3 구조체(300)를 지지한다. 제 1 구조체(100), 제 2 구조체(200) 및 제 3 구조체(300)는 기판(400) 상에 나노 패턴으로 형성된다. 일 실시 예에 따르면, 실리콘 옥사이드(SiO_2)/실리콘(Si) 또는 석영(Quartz) 재질로 제공될 수 있다.

[0038] 따라서, 자외선이 입사하면 제 1 구조체(100), 제 2 구조체(200) 및 제 3 구조체(300)가 각각 상이한 색상의 가시광선을 발생시키고, 입사되는 자외선의 파장에 따라 각각 상이한 세기로 가시광선을 발생시키므로, 본 발명의 하향변환 발광 조합체(10)가 발생시키는 가시광선의 색상을 통해 입사되는 자외선의 파장을 판단할 수 있다.

[0039] 선택적으로, 제 3 구조체(300)는 제공되지 않을 수 있다. 이 경우, 제 1 색상 및 제 2 색상 적색, 녹색, 청색 중 서로 다른 하나의 색상으로 제공된다. 또한, 제 1 구조체(100) 및 제 2 구조체(200)는 상술한 실시 예와 달리, 서로 다른 색상을 가지도록 각각 유로피움 이온이 도핑된 이트륨 옥사이드(Y_2O_3:Eu^{3+}), 유로피움 이온이 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드(YVO_4:Eu^{3+}), 어븀 이온이 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드(YVO_4: Er^{3+}), 비스무쓰 이온이 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드(YVO_4:Bi^{3+}) 및 비스무쓰 이온이 도핑된 이트륨 옥사이드(Y_2O_3: Bi^{3+}) 중 하나의 물질로 제공될 수 있다. 제 3 구조체(300)가 제공되지 않는 경우에도 입사되는 자외선의 파장에 따라 강도가 상이한 두 가지 색상의 조합에 의해 자외선의 파장을 판단할 수 있다. 다만, 제 3 구조체(300)가 제공되는 경우가 제 3 구조체(300)가 제공되지 않는 경우에 비해 판단할 수 있는 자외선 파장의 범위 및 정밀도 등이 우수할 수 있다.

[0040] 이하, 상술한 본 발명의 실시 예에 따른 하향변환 발광 조합체(10)를 제조하는 하향변환 발광 조합체 제조 방법에 대해 설명한다.

[0041] 도 2는 본 발명의 일 실시 예에 따른 하향변환 발광 조합체 제조 방법을 나타낸 순서도이다. 도 1 및 도 2를 참조하면, 하향변환 발광 조합체 제조 방법은 제 1 구조체 형성 단계(S10), 제 2 구조체 형성 단계(S20) 및 제 3 구조체 형성 단계(S30)를 포함한다. 제 1 구조체 형성 단계(S10), 제 2 구조체 형성 단계(S20) 및 제 3 구조체 형성 단계(S30)는 서로 순차적으로 수행된다.

[0042] 도 3은 도 2의 제 1 구조체 형성 단계(S10)를 나타낸 순서도이다. 도 1 및 도 3을 참조하면, 제 1 구조체 형성 단계(S10)에서는 기판(400) 상에 제 1 구조체(100)를 형성한다. 일 실시 예에 따르면, 제 1 구조체 형성 단계(S10)는 제 1 도포 단계(S11), 제 1 PDMS(Polydimethyl siloxane) 몰드 안착 단계(S12), 제 1 용매 증발 단계(S13), 제 1 PDMS 몰드 제거 단계(S14) 및 제 1 열처리 단계(S15)를 포함한다.

[0043] 제 1 도포 단계(S11)에서는 기판(400) 상에 제 1 용액을 도포한다. 제 1 용액은 제 1 물질을 구성하는 성분이 용해된 용액이다.

[0044] 제 1 PDMS 몰드 안착 단계(S12)는 제 1 도포 단계(S11) 이후 수행된다. 제 1 PDMS 몰드 안착 단계(S12)에서는

제 1 도포 단계(S11)에서 제 1 용액이 도포된 기판(400) 상에 PDMS 몰드를 안착시킨다. 일 실시 예에 따르면, PDMS 몰드는 높이는 1.2 μm, 직경은 650 nm이고, 간격은 제 3 구조체가 제공되지 않는 경우에는 1.0 μm, 제 3 구조체가 제공되는 경우에는 2.0 μm로 복수개의 원기둥형 나노 패턴이 형성되도록 제작된 실리콘 옥사이드 마스터 상에 실리콘탄성코팅제(Sylgard 184(Dow corning))를 경화시켜 제조된다. 이와 같이 제조된 PDMS 몰드의 기판(400)에 도포된 제 1 용액에 접촉되는 저면에는 상기 실리콘 옥사이드 마스터에 형성된 나노 패턴과 맞물리는 패턴이 형성된다.

[0045] 제 1 용매 증발 단계(S13)는 제 1 PDMS 몰드 안착 단계(S12) 이후에 수행된다. 제 1 용매 증발 단계(S13)에서는 기판(400) 상에 도포된 제 1 용액의 용매를 증발시킨다. 일 실시 예에 따르면, 제 1 용매 증발 단계(S13)에서는 170 ℃에서 20분 동안 전기로 안에서 용매를 증발시킴으로써 전구체 나노패턴을 형성한다.

[0046] 제 1 PDMS 제거 단계(s14)는 제 1 용매 증발 단계(S13) 이후에 수행된다. 제 1 PDMS 제거 단계(s14)에서는 제 1 용매 증발 단계(S13)가 완료된 기판(400) 상에서 PDMS 몰드를 제거한다.

[0047] 제 1 열처리 단계(S15)는 제 1 PDMS 제거 단계(S14) 이후에 수행된다. 제 1 열처리 단계(S15)에서는 기판(400)을 열처리한다. 일 실시 예에 따르면, 제 1 열처리 단계(S15)에서는 상술한 바와 같이 전구체 나노패턴이 형성된 기판(400)을 튜브 전기로 안에서 800 내지 1000 ℃의 온도에서 2시간 동안 열처리 후 상온으로 식힘으로써 나노패턴의 제 1 구조체를 형성한다.

[0048] 도 4는 도 2의 제 2 구조체 형성 단계(S20)를 나타낸 순서도이다. 도 1 및 도 4를 참조하면, 제 2 구조체 형성 단계(S20)에서는 제 1 구조체 형성 단계(S10)에서 제 1 구조체(100)가 형성된 기판(400) 상에 제 2 구조체(200)를 형성한다. 일 실시 예에 따르면, 제 2 구조체 형성 단계(S20)는 제 2 도포 단계(S21), 제 2 PDMS 몰드 안착 단계(S22), 제 2 용매 증발 단계(S23), 제 2 PDMS 몰드 제거 단계(S24) 및 제 2 열처리 단계(S25)를 포함한다. 제 2 도포 단계(S21), 제 2 PDMS 몰드 안착 단계(S22), 제 2 용매 증발 단계(S23), 제 2 PDMS 몰드 제거 단계(S24) 및 제 2 열처리 단계(S25)는 서로 순차적으로 수행된다.

[0049] 제 2 도포 단계(S21)에서는 제 1 구조체 형성 단계(S10)에서 제 1 구조체(100)가 형성된 기판(400) 상에 제 2 물질을 구성하는 성분이 용해된 제 2 용액을 도포한다.

[0050] 제 2 PDMS 몰드 안착 단계(S22)에서는 제 2 도포 단계(S21)에서 제 2 용액이 도포된 기판(400) 상에 PDMS 몰드를 안착시킨다. 이 때, PDMS 몰드를 제 1 PDMS 몰드 안착 단계(S12)에서 안착된 PDMS 몰드에 대해 기판(400)의 상면의 임의의 일 지점으로부터 기판(400)의 상면에 수직으로 연장되는 가상의 축을 중심으로 일정 각도로 회전시켜 제 2 용액이 도포된 기판(400) 상에 안착시킨다. 예를 들면, 하향변환 발광 조합체(10)에 제 3 구조체(300)가 제공되지 않는 경우에는 PDMS 몰드를 제 1 PDMS 몰드 안착 단계(S12)에서 안착된 PDMS 몰드에 대해 π/6 회전시켜 제 2 용액이 도포된 기판(400) 상에 안착시킨다. 이와 달리, 하향변환 발광 조합체(10)에 제 3 구조체(300)가 제공되는 경우에는 PDMS 몰드를 제 1 PDMS 몰드 안착 단계(S12)에서 안착된 PDMS 몰드에 대해 π/9 회전시켜 제 2 용액이 도포된 기판(400) 상에 안착시킨다. 제 2 PDMS 몰드 안착 단계(S22)에서 PDMS 몰드는 제 1 PDMS 몰드 안착 단계(S12)에서 사용된 PDMS 몰드와 동일한 형상의 PDMS 몰드가 사용될 수 있다. PDMS 몰드 자체가 탄성을 가지므로, 제 2 PDMS 몰드 안착 단계(S22)에서 사용되는 PDMS 몰드의 이미 생성된 제 1 구조체(100)와 접촉되는 부분은 자연스럽게 수축됨으로써, PDMS 몰드의 안착에 의해 제 1 구조체(100)가 파손되거나, PDMS 몰드가 제 1 구조체(100)에 의해 들뜨거나 하는 등의 문제는 발생되지 않는다.

[0051] 제 2 용매 증발 단계(S23)에서는 제 2 PDMS 몰드 안착 단계(S22)가 완료된 기판(400)의 제 2 용액의 용매를 증발시킨다.

[0052] 제 2 PDMS 제거 단계(S24)에서는 제 2 용매 증발 단계(S23)가 완료된 기판(400) 상에서 PDMS 몰드를 제거한다.

[0053] 제 2 열처리 단계(S25)에서는 제 2 용매 증발 단계(S23)가 완료된 기판(400)을 열처리한다.

[0054] 제 2 도포 단계(S21), 제 2 PDMS 몰드 안착 단계(S22), 제 2 용매 증발 단계(S23), 제 2 PDMS 제거 단계(S24) 및 제 2 열처리 단계(S25)의 그 외 구체적인 방법은 상술한 제 1 도포 단계(S11), 제 1 PDMS 몰드 안착 단계(S12), 제 1 용매 증발 단계(S13), 제 1 PDMS 제거 단계(S14) 및 제 1 열처리 단계(S15)와 동일할 수 있다.

[0055] 도 5는 도 2의 제 3 구조체 형성 단계(S30)를 나타낸 순서도이다. 도 1 및 도 5를 참조하면, 제 3 구조체 형성 단계(S30)에서는 제 1 구조체 형성 단계(S10) 및 제 2 구조체 형성 단계(S20)에서 제 1 구조체(100) 및 제 2 구조체(200)가 형성된 기판(400) 상에 제 3 구조체(300)를 형성한다. 제 3 구조체 형성 단계(S30)는 선택적으로 제 3 구조체(300)가 제공되지 않는 경우에는 수행되지 않는다. 일 실시 예에 따르면, 제 3 구조체 형성 단계

(S30)는 제 3 도포 단계(S31), 제 3 PDMS 몰드 안착 단계(S32), 제 3 용매 증발 단계(S33), 제 3 PDMS 제거 단계(S34) 및 제 3 열처리 단계(S35)를 포함한다. 제 3 도포 단계(S31), 제 3 PDMS 몰드 안착 단계(S32), 제 3 용매 증발 단계(S33), 제 3 PDMS 제거 단계(S34) 및 제 3 열처리 단계(S35)는 서로 순차적으로 수행된다.

[0056] 제 3 도포 단계(S31)에서는 제 1 구조체 형성 단계(S10) 및 제 2 구조체 형성 단계(S20)에서 제 1 구조체(100) 및 제 2 구조체(200)가 형성된 기판(400) 상에 제 3 물질을 구성하는 성분이 용해된 제 3 용액을 도포한다.

[0057] 제 3 PDMS 몰드 안착 단계(S32)에서는 제 3 도포 단계(S31)에서 제 3 용액이 도포된 기판(400) 상에 PDMS 몰드를 안착시킨다. 이 때, PDMS 몰드를 제 2 PDMS 몰드 안착 단계(S22)에서 안착된 PDMS 몰드에 대해 일정 각도로 회전시켜 제 3 용액이 도포된 기판(400) 상에 안착시킨다. 예를 들면, PDMS 몰드를 제 2 PDMS 몰드 안착 단계(S22)에서 안착된 PDMS 몰드에 대해 기판(400)의 상면의 임의의 일 지점으로부터 기판(400)의 상면에 수직으로 연장되는 가상의 축을 중심으로 π/9 회전시켜 제 3 용액이 도포된 기판(400) 상에 안착시킨다. 이 때, PDMS 몰드는 제 1 PDMS 몰드 안착 단계(S12) 및/또는 제 2 PDMS 몰드 안착 단계(S22)에서 사용된 PDMS 몰드와 동일한 형상의 PDMS 몰드가 사용될 수 있다.

[0058] 제 3 용매 증발 단계(S33)에서는 제 3 PDMS 몰드 안착 단계(S32)가 완료된 기판(400)의 제 2 용액의 용매를 증발시킨다.

[0059] 제 3 PDMS 제거 단계(S34)에서는 제 3 용매 증발 단계(S33)가 완료된 기판(400) 상에서 PDMS 몰드를 제거한다.

[0060] 제 3 열처리 단계(S35)에서는 제 3 용매 증발 단계(S33)가 완료된 기판(400)을 열처리한다.

[0061] 제 3 도포 단계(S31), 제 3 PDMS 몰드 안착 단계(S32), 제 3 용매 증발 단계(S33), 제 3 PDMS 제거 단계(S34) 및 제 3 열처리 단계(S35)의 그 외 구체적인 방법은 상술한 제 1 도포 단계(S11), 제 1 PDMS 몰드 안착 단계(S12), 제 1 용매 증발 단계(S13), 제 1 PDMS 제거 단계(S14) 및 제 1 열처리 단계(S15)와 동일할 수 있다.

[0062] 일 실시 예에 따르면, 제 1 용액, 제 2 용액 및 제 3 용액은 $Y(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$ 및 구연산(Citric acid)과, $Eu(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$, $Bi(NO_3)_3 \cdot 4H_2O$ 또는 $Er(NO_3)_3 \cdot 5H_2O$를 2-methoxyethanol 용매에 혼합하여 제조된다. 이와 달리, 제 1 용액, 제 2 용액 및 제 3 용액은 2-methoxyethanol 용매에 상술한 용질들과 함께 $VO(acac)_2$를 더 혼합하여 제조될 수 있다. 예를 들면, 제 1 물질, 제 2 물질 또는 제 3 물질은 아래와 같은 방법으로 제조된다.

[0063] 제 1 물질, 제 2 물질 또는 제 3 물질이 란탄족 이온이 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드 중 $YVO_4:Eu^{3+}$로 제조되는 경우에는 1.637 g(4.275 mmol), $YVO_4:Bi^{3+}$로 제조되는 경우에는 1.689 g(4.410 mmol)의 $Y(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$와, 1.729 g(9.0 mmol)의 citric acid와, 1.193 g(4.5 mmol)의 $VO(acac)_2$를 3 ml의 2-methoxyethanol 용매에 섞고, 100 mg(225 mmol)의 $Eu(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$, 105 mg(225 mmol)의 $Bi(NO_3)_3 \cdot 4H_2O$ 또는 40 mg(90 mmol)의 $Er(NO_3)_3 \cdot 5H_2O$를 도핑을 위해 위 용액에 첨가하고, 이와 달리, 제 1 물질, 제 2 물질 또는 제 3 물질이 란탄족 이온이 도핑된 이트륨 옥사이드로 제조되는 경우, 3.562 g(9.3 mmol)의 $Y(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$를 1 ml의 2-methoxyethanol 및 1 ml의 acetic acid 의 혼합용매에 섞고, 312 mg(700 mmol)의 $Eu(NO_3)_3 \cdot 6H_2O$ 또는 93 mg(200 mmol)의 $Bi(NO_3)_3 \cdot 4H_2O$를 도핑을 위해 위 용액에 첨가한다.

[0064] 이 후, 상기 단락과 같이 혼합된 용액을 90 ℃ 의 온도로 1시간 동안 마그네틱 교반을 통해 투명한 제 1 용액, 제 2 용액 또는 제 3 용액으로 제조한다.

[0066] 이하, 상술한 란탄족 이온이 도핑된 이트륨 바나디움, 이트륨 옥사이드 박막, 나노패턴으로 형성된 박막, 그리고 더블 프린트(제 3 구조체가 제공되지 않는 경우), 트리플 프린트(제 3 구조체가 제공되는 경우)에 대한 평가를 기술한다.

[0067] 평평한 박막과 나노패턴 박막 그리고 더플 프린트 및 트리플 프린트의 모양의 촬영은 주사 전자현미경(SEM, Hitachi, S-4800, S-4700)을 이용하였다. 이트륨 바나디움 옥사이드 박막의 결정학적 구조 분석을 위하여 X-선 회절 분석기(Rigaku D, max-250 V/PC)가 이용되었다. 표면성분분석을 위해서 X-선 광전자 분석기(XPS, ULVAC-PHI, X-TOOL) 가 이용되었다. 라만 분광 스펙트럼 측정을 위해 라만 분광기(Horiba Jobin Yvon, LabRam ARAMIS IR2) 가 이용되었다. 평평하게 형성된 박막과 나노패턴으로 형성된 박막의 하향변환 발광 스펙트럼들은 Nd:YAG 1064 nm 레이저(Continuum, Powerlite Precision laser Ⅱ 8000) 의 주파수 3중조절을 통한 355 nm 펄스 레이

저와 분광기(Ocean optics, HR2000+)를 통해 측정되었다. 더블 프린트된 경우 및 트리플 프린트된 경우의 나노패턴의 하향변환 발광 스펙트럼은 형광분광광도계(Agilent, Cary Eclipse)를 통해 측정되었다. 시간분해 발광감쇠 스펙트럼 측정에는 Nd:YAG 1064 nm 레이저의 주파수 4중조절을 통한 266 nm 펄스 레이저, 단색분광기(Andor technology, SR-303i) 및 광전자증폭관(Hamamatsu, R955)이 이용되었다. 투과율 측정을 위해서 UV-VIS-NIR 분광기(Agilent, Cary 5000) 가 이용되었다.

[0068] 도 6은 평평하게 형성된 란탄족 이온이 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드 박막의 형태, 구조분석을 하기 위한 사진 및 그래프들이다. 도 6a는 주사전자현미경을 통해 관찰한 유로피움이 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드 박막의 평면 모습이다. 도 6b는 주사전자현미경을 통해 관찰한 비스무쓰가 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드 박막의 평면 모습이다. 도 6c는 주사전자현미경을 통해 관찰한 유로피움이 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드 박막의 측면 모습이다. 도 6d는 주사전자현미경을 통해 관찰한 비스무쓰가 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드 박막의 측면 모습이다. 도 6e는 유로피움, 비스무쓰가 각각 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드 박막의 X선 회절 패턴이다. 도 6f는 유로피움 및 비스무쓰가 각각 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드 박막의 라만 분광 스펙트럼이다. 도 6을 참조하면, 평평한 즉, 균일한 구조의 표면과 두께를 갖는 이트륨 바나디움 옥사이드 박막의 형상을 확인할 수 있다. 또한, 상기 박막들이 모두 정방형 결정구조를 갖는다는 것을 확인할 수 있다.

[0069] 도 7은 평평하게 형성된 란탄족 이온이 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드 박막의 흡발광 특성을 나타내는 그래프들이다. 도 7a는 유로피움이 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드 박막 및 비스무쓰가 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드 박막의 흡광 스펙트럼을 로그 스케일로 나타낸 그래프이다. 도 7b는 유로피움이 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드 박막의 발광 스펙트럼이다. 도 7c는 비스무쓰가 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드 박막의 발광 스펙트럼이다. 도 7d는 유로피움이 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드 및 비스무쓰가 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드의 에너지 준위와 에너지 전이를 나타내는 모식도이다. 도 7a를 참조하면, 상기 박막들이 자외선 영역을 흡수할 수 있음을 확인할 수 있다. 도 7b 및 도 7c를 참조하면, 상기 박막들이 흡수한 자외선으로 가시광선을 발광시킴을 확인할 수 있다. 도 7d를 참조하면, 상기 박막들의 흡발광 특성과 메커니즘을 확인할 수 있다.

[0070] 도 8은 본 발명의 일 실시 예에 따른 유로피움이 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드 나노패턴 박막 및 비스무쓰가 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드 나노패턴 박막의 형태와 일반(평평한) 박막에 비한 발광특성 향상을 나타내는 사진 및 그래프들이다. 도 8a는 주사전자현미경을 통해 관찰한 유로피움이 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드 나노패턴 박막의 기울인 이미지이다. 도 8b는 주사전자현미경을 통해 관찰한 비스무쓰가 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드 나노패턴 박막의 기울인 이미지이다. 도 8c는 유로피움이 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드 일반 박막 및 나노패턴 박막의 355 nm 레이저 조사아래 발광 스펙트럼이다. 도 8d는 비스무쓰가 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드 일반 박막 및 나노패턴 박막의 355 nm 레이저 조사아래 발광 스펙트럼이다. 도 8e는 유로피움이 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드 일반 박막 및 나노패턴 박막의 365 nm 자외선 램프조사 아래 발광의 사진 이미지이다. 도 8f는 비스무쓰가 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드 일반 박막 및 나노패턴 박막의 365 nm 자외선 램프조사 아래 발광의 사진 이미지이다. 도 8a 및 도 8b를 참조하면, 나노패턴 박막의 형상을 확인할 수 있다. 도 8c 및 도 8d를 참조하면, 나노패터닝을 통해 박막의 발광특성이 평평한 일반 박막에 대비 매우 향상된다는 것을 확인할 수 있다. 도 e 및 도 8f를 참조하면, 나노패터닝을 통해 박막의 발광세기가 평평한 일반 박막에 비해 높음을 육안으로 확인할 수 있다.

[0071] 도 9는 본 발명의 일 실시 예에 따른 나노패터닝에 의한 발광특성 향상의 원인을 분석한 그래프들이다. 도 9a는 유로피움이 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드 및 비스무쓰가 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드의 일반 박막 및 나노패턴 박막의 투과율 그래프이다. 도 9b는 유로피움이 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드의 일반 박막 및 나노패턴 박막의 시간분해 발광감쇠 스펙트럼이다. 도 9c는 비스무쓰가 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드 일반 박막 및 나노패턴 박막의 시간분해 발광감쇠 스펙트럼이다. 도 9a를 참조하면, 평평한 박막의 스팩트럼 2개와는 다르게, 나노패턴 박막은 250 내지 650 nm의 구간에서 negative peak를 통해 Mie 공명(Mie resonance)이 발생했다는 것을 확인할 수 있다. 나노패턴 박막의 Mie 공명으로 인한 산란을 확인할 수 있다. 즉, Mie 공명에 의한 산란으로 투과율이 감소하는 peak가 생성된다. 또한, 도 9b 및 도 9c를 참조하면, 나노패턴 박막의 radiative decay curve를 통해 평평한 박막에 대비하여 나노패턴 박막의 감쇠속도가 빠른 것을 알 수 있고, 이로 인해, 나노패턴에서는 Mie 공명으로 인해 물질내 광자(빛)들이 더 빠르게 잘 빠져나와 흡수율과 발광효율이 증가하였음을 확인할 수 있다.

[0072] 도 10은 본 발명의 일 실시 예에 따른 더블 프린트의 형태 및 발광특성을 나타낸 사진 및 그래프들이다. 도 10a는 비스무쓰가 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드 및 유로피움이 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드 더블프린트의 주사전자현미경 촬영 이미지이다. 도 10b는 비스무쓰가 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드 및 유로피움이 도핑된

이트륨 바나디움 옥사이드 더블프린트의 발광 스펙트럼이다. 도 10c는 유로피움이 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드 나노패턴 박막, 비스무쓰가 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드 나노패턴 박막 그리고 비스무쓰가 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드 및 유로피움이 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드 더블프린트의 254 nm 자외선 램프 조사 아래 발광사진이다. 도 10d는 비스무쓰가 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드 및 유로피움이 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드 더블프린트의 617 nm 발광 피크에서의 시간분해 발광감쇠 스펙트럼이다. 도 10e는 비스무쓰가 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드 및 유로피움이 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드 더블프린트의 540 nm 발광 피크에서의 시간분해 발광감쇠 스펙트럼이다. 도 10a를 참조하면, 더블 프린트된 비스무쓰가 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드 및 유로피움이 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드의 나노 패턴의 형상을 확인할 수 있다. 도 10b를 참조하면, 더블 프린트의 경우 두 가지 물질의 발광 스팩트럼이 동시에 검출됨을 확인할 수 있다. 도 10c를 참조하면, 더블 프린트의 경우, 두 가지 물질의 혼합된 색상이 발광함을 확인할 수 있다. 도 10d 및 도 10e를 참조하면, 두 가지 물질에 의한 감쇠특성이 동시에 검출됨을 확인할 수 있다. 즉, 도 5를 참조하면, 더블프린트가 유로피움, 비스무쓰에 의한 발광특성을 모두 갖고 있고, 이를 통해 적색과 녹색이 혼합되어 주황색의 빛을 발광한다는 사실을 확인할 수 있다.

[0073] 도 11은 본 발명의 일 실시 예에 따른 더블 프린트의 자외선 여기파장에 따른 다색 가시광선 변환을 나타내는 사진, 그래프 및 도표들이다. 도 11a는 비스무쓰가 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드 및 유로피움이 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드 더블프린의 254 nm 및 365 nm 자외선 램프 조사 아래 발광 사진 이미지이다. 도 11b는 비스무쓰가 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드 및 유로피움이 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드 더블프린트의 250 내지 340 nm의 자외선 여기 시 발광 스펙트럼이다. 도 11c는 유로피움 이온의 617 nm 발광과 비스무쓰 이온의 540 nm 발광의 여기파장에 따른 상대적인 발광세기이다. 도 11d는 여기파장에 따른 싱글프린트(제 2 구조체 및 제 3 구조체가 제공되지 않은 경우) 및 더블프린트의 CIE 색도도이다. 도 11e는 유로피움이 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드 싱글프린트, 비스무쓰가 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드 싱글프린트 그리고 상기 두 가지 물질의 더블프린트를 통한 'KU' 문자 프린팅의 254 nm 및 365 nm 자외선 램프 조사 아래 발광 사진이다. 도 11을 참조하면, 자외선 여기파장에 따라 더블프린트의 발광색 조절이 가능하다는 것을 발광 스펙트럼, CIE 색도도 및 자외선 램프 조사 아래 발광색 육안확인을 통해 확인할 수 있다. 특히, 도 11를 참조하면, 더블 프린트와 싱글 프린트를 같이 도포하여 자외선 파장에 따라 발광 색상이 변하는 보안문자에 적용할 수 있음을 확인할 수 있다.

[0074] 도 12는 본 발명의 일 실시 예에 따른 트리플 프린트의 자외선 여기파장에 따른 다색 가시광선 변환을 나타내는 사진, 그래프 및 도표들이다. 도 12a는 어븀이 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드, 비스무쓰가 도핑된 이트륨 옥사이드 및 유로피움이 도핑된 이트륨 옥사이드 트리플 프린트의 주사전자현미경 저배율 촬영 이미지이다. 도 12b는 어븀이 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드, 비스무쓰가 도핑된 이트륨 옥사이드 및 유로피움이 도핑된 이트륨 옥사이드 트리플 프린트의 주사전자현미경 중배율 촬영 이미지이다. 도 12c는 어븀이 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드 싱글 프린트, 비스무쓰가 도핑된 이트륨 옥사이드 싱글 프린트 및 유로피움이 도핑된 이트륨 옥사이드 싱글 프린트의 흡광 스펙트럼들이다. 도 12d는 어븀이 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드, 비스무쓰가 도핑된 이트륨 옥사이드 및 유로피움이 도핑된 이트륨 옥사이드 트리플 프린트의 254 nm, 312 nm 및 365 nm 자외선 램프 조사 시 발광사진들이다. 도 12e는 어븀이 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드, 비스무쓰가 도핑된 이트륨 옥사이드 및 유로피움이 도핑된 이트륨 옥사이드 트리플 프린트의 250 내지 370 nm의 자외선 여기 시 발광 스펙트럼들이다. 도 12f는 어븀이 도핑된 이트륨 바나디움 옥사이드, 비스무쓰가 도핑된 이트륨 옥사이드 및 유로피움이 도핑된 이트륨 옥사이드 트리플 프린트의 250 내지 370 nm의 자외선 여기 시 발광 스펙트럼들의 CIE 색도도이다. 도 12a 및 도 12b를 참조하면, 트리플 프린트의 형상을 확인할 수 있다. 도 12c를 참조하면, 제공된 3 가지 물질이 각각 다른 파장 영역의 자외선을 흡수하는 것을 확인할 수 있다. 도 12d를 참조하면, 트리플 프린트가 입사되는 자외선의 파장에 따라 다른 색의 가시광선을 발생시키는 것을 육안으로 확인할 수 있다. 도 12e 및 도 12f를 참조하면, 250 내지 370 nm 범위의 자외선에 따라 스펙트럼 모양이 변화하는 것을 확인할 수 있다. 도 12를 참조하면, 자외선 여기파장에 따라 트리플 프린트의 발광색 조절이 가능하다는 것을 발광 스펙트럼, CIE 색도도 및 자외선 램프 조사 아래 발광색 육안확인을 통해 확인할 수 있다.

[0075] 도 13은 여러가지 부피의 $YVO_4:Er^{3+}$ 나노패턴들의 (a) SEM 촬영이미지. (b) 투과율 스펙트럼 및 (c) 부피 대 Mie 공명파장 간 그래프를 나타낸다. 도 13a 상의 scale bar 는 300 nm 를 나타낸다. 도 13b를 참조하면, 위 데이터는 나노패턴의 크기에 따라 Mie 공명파장이 변함을 보여준다. 8개의 나노패턴 부피가 증가함에 따라 투과율 스펙트럼 상의 Mie 공명파장(별표)이 증가함을 확인할 수 있다. 도 13c를 참조하면, 나노패턴의 부피와 Mie 공명파장 간의 관계는 대체적으로 비례관계임을 확인할 수 있다.

[0076] 이를 통해 나노패턴의 크기를 조절함으로써 Mie 공명파장 조절이 가능하다는 점을 확인할 수 있다. 도 14는 $Y_2O_3:Eu^{3+}$의 나노패턴의 크기를 변화시킨 $YVO_4:Er^{3+}/Y_2O_3:Eu^{3+}$ 더블프린트들의 (a) SEM 촬영이미지, (b) 254 nm 자외선 램프 조사 시의 발광사진, (c) 312 nm 자외선 램프 조사 시의 발광사진. (d)254 nm 여기 시의 PL 스펙트럼 및 (e) CIE 색 좌표이다. 상술한 바와 같이, 제 1 구조체(100), 제 2 구조체(200) 및 제 3 구조체(300) 중 2가지의 물질을 동시에 나노패터닝(더블프린트)하면 입사되는 자외선의 파장에 따른 다색발광이 구현 가능하다. 도 14를 참조하면, 더블프린트를 구성하는 각각의 물질 나노패턴의 크기를 조절하면 발광색상을 조절할 수 있다. 이를 통해 가장 최적화된 나노패턴 사이즈를 갖는 더블프린트를 제작할 수 있다. 도 14a를 참조하면, 나노패턴 크기에 따른 발광색상 변화를 관찰하기 위해 $Y_2O_3:Eu^{3+}$ 나노패턴의 크기를 변화시킨 $YVO_4:Er^{3+}/Y_2O_3:Eu^{3+}$ 더블프린트들을 제작하였다. 샘플 #1으로부터 #6으로 갈수록 $YVO_4:Er^{3+}$ 나노패턴의 크기는 일정하게 유지되고 $Y_2O_3:Eu^{3+}$ 나노패턴의 크기가 증가하는 것을 관찰할 수 있다. 도 14b를 참조하면, 254 nm 자외선 램프 조사 시 샘플 #1으로부터 #6으로 갈수록 $Y_2O_3:Eu^{3+}$의 적색발광이 강해지는 것을 확인할 수 있다. 도 14d를 참조하면, PL 스펙트럼 상에서 샘플 #1으로부터 #6으로 갈수록 $Y_2O_3:Eu^{3+}$ 의 611 nm 픽(Peak) 세기가 점점 증가함을 확인할 수 있다. 도 14e를 참조하면, 도 14d를 CIE 색 좌표로 변환 시 $Y_2O_3:Eu^{3+}$ 나노패턴의 크기가 증가할수록 점점 적색영역의 색으로 좌표가 이동하는 것이 관찰된다. $Y_2O_3:Eu^{3+}$ 나노패턴의 크기가 증가할수록 적색발광의 세기가 증가하는 것은 Mie 공명파장이 $Y_2O_3:Eu^{3+}$ 발광파장과 점점 가까워져 발광효율이 증가하기 때문이며, 이는 단순 부피증가에 따른 발광세기 증가가 아니다. 도 14c를 참조하면, 312 nm 자외선 조사 시에는 $Y_2O_3:Eu^{3+}$ 나노패턴의 크기에 관계없이 녹색 발광하는 것이 관찰된다. 이는 해당 자외선 영역에서는 $YVO_4:Er^{3+}$ 만이 광을 흡수하기 때문이다. 위 결과들을 종합하였을 때, 샘플들 중에서는 샘플 #6 이 입사파장에 따른 발광색상 범위가 가장 넓기 때문에, 가장 최적화된 샘플이라 볼 수 있다.

[0077] 도 15는 $YVO_4:Er^{3+}$ 나노패턴의 크기를 변화시킨 $YVO_4:Er^{3+}/Y_2O_3:Eu^{3+}$ 더블프린트들의 (a) SEM 촬영이미지, (b) 254 nm 자외선 램프 조사 시의 발광사진 (c) 312 nm 자외선 램프 조사 시의 발광사진. (d)254 nm 여기 시의 PL 스펙트럼 및 (e) CIE 색 좌표이다. 도 15a를 참조하면, 도14와는 반대로 $YVO_4:Er^{3+}$ 나노패턴의 크기를 변화시킨 $YVO_4:Er^{3+}/Y_2O_3:Eu^{3+}$ 더블프린트들을 제작하였다. 샘플 #1로부터 #6으로 갈수록 $Y_2O_3:Eu^{3+}$ 나노패턴의 크기는 일정하게 유지되고 $YVO_4:Er^{3+}$ 나노패턴의 크기가 증가하는 것을 관찰할 수 있다. 도 15b를 참조하면, 254 nm 자외선 램프 조사 시 샘플 #1로부터 #6으로 갈수록 $YVO_4:Er^{3+}$ 의 녹색발광이 강해지는 것을 확인할 수 있다. 도 15d를 참조하면, PL 스펙트럼 상에서 샘플 #1로부터 #6으로 갈수록 $YVO_4:Er^{3+}$의 554 및 524 nm 픽(Peak) 세기가 점점 증가하는 것을 확인할 수 있다. 도 15e를 참조하면, 도 15d를 CIE 색 좌표로 변환 시 $YVO_4:Er^{3+}$ 나노패턴의 크기가 증가할수록 점점 녹색영역의 색으로 좌표가 이동하는 것이 관찰된다. $YVO_4:Er^{3+}$ 나노패턴의 크기가 증가할수록 녹색발광의 세기가 증가하는 것은 도 14 와 마찬가지로 Mie 공명파장이 $YVO_4:Er^{3+}$ 발광파장과 점점 가까워져 발광효율이 증가하기 때문이며, 이는 단순 부피증가에 따른 발광세기 증가가 아니다. 도 15c를 참조하면, 312 nm 자외선 조사 시에는 모든 샘플들이 오로지 녹색 발광만 하는 것이 관찰된다. 이는 해당 자외선 영역에서는 $YVO_4:Er^{3+}$ 만이 광을 흡수하기 때문이다. 위 결과들을 종합하였을 때, 샘플들 중에서는 샘플 #1 이 입사파장에 따른 발광색상 범위가 가장 넓기 때문에, 가장 최적화된 샘플이라 볼 수 있다.

[0078] 도 13 내지 도 15의 결과들을 종합 시, 나노패턴의 크기에 따라 Mie 공명파장이 조절되고, 이 공명파장을 조절하여 발광세기 조절을 구현할 수 있음을 확인할 수 있다. 이를 이용하여 더블프린트 내 나노패턴들의 크기를 조절하여 입사된 자외선 파장에 따라 가장 넓은 영역의 다색발광을 구현할 수 있는 최적화된 소자를 제작할 수 있다. 또한, 이는 트리플 프린트의 경우에도 동일하게 적용될 수 있을 것이다. 따라서, 본 발명의 실시 예에 따른

하향변환 발광 조합체(10)는 제 1 구조체(100) 및 제 2 구조체(200), 또는 제 1 구조체(100), 제 2 구조체(200) 및 제 3 구조체(300)의 나노 패턴의 크기를 각각 조절함으로써 발생되는 가시광선의 색상의 범위를 조절할 수 있다.

[0080] 상술한 바와 같이 본 발명의 하향변환 발광 조합체(10)는 자외선이 입사되면 서로 다른 색상의 가시 광선을 자외선의 파장에 따라 서로 다른 세기로 발광하는 2개 또는 3개의 구조체가 나노 패턴으로 제공된다. 따라서, 나노패턴으로 인한 빛과 물질간 Mie 공명(Mie resonance)현상으로 인해 빛의 흡수율과 발광 효율이 증가하여 결과적으로 발광 세기 및 발광 품질이 향상된다. 또한, 본 발명의 하향변환 발광 조합체(10)는 나노패턴을 통해 박막의 발광효율을 개선시켜 소자 적용 시 그 성능을 향상시킬 수 있고, 입사되는 자외선의 파장에 따라 다른 색의 가시광선을 발생시켜 육안으로 자외선의 파장을 쉽게 확인할 수 있다. 이는 자외선 카메라 같은 자외선 이미징 시스템에 적용 시 파장에 따른 다색이미징 구현, 제조단가 절감 등 다양한 분야에 응용될 수 있다.

[0081] 특히, 본 발명의 하향변환 발광 조합체(10)는 불필요한 자외선을 태양전지에 필요한 가시광선으로 변환시켜주어 태양전지의 효율을 향상시킬 수 있다. 또한, 본 발명의 하향변환 발광 조합체(10)는 불필요한 자외선을 광촉매 작용에 필요한 빛의 파장으로 변환시켜 광촉매의 효율을 향상시킬 수 있다.

[0083] 이상의 상세한 설명은 본 발명을 예시하는 것이다. 또한 전술한 내용은 본 발명의 바람직한 실시 형태를 나타내어 설명하는 것이며, 본 발명은 다양한 다른 조합, 변경 및 환경에서 사용할 수 있다. 즉 본 명세서에 개시된 발명의 개념의 범위, 저술한 개시 내용과 균등한 범위 및/또는 당업계의 기술 또는 지식의 범위내에서 변경 또는 수정이 가능하다. 저술한 실시예는 본 발명의 기술적 사상을 구현하기 위한 최선의 상태를 설명하는 것이며, 본 발명의 구체적인 적용 분야 및 용도에서 요구되는 다양한 변경도 가능하다. 따라서 이상의 발명의 상세한 설명은 개시된 실시 상태로 본 발명을 제한하려는 의도가 아니다. 또한 첨부된 청구범위는 다른 실시 상태도 포함하는 것으로 해석되어야 한다.

부호의 설명

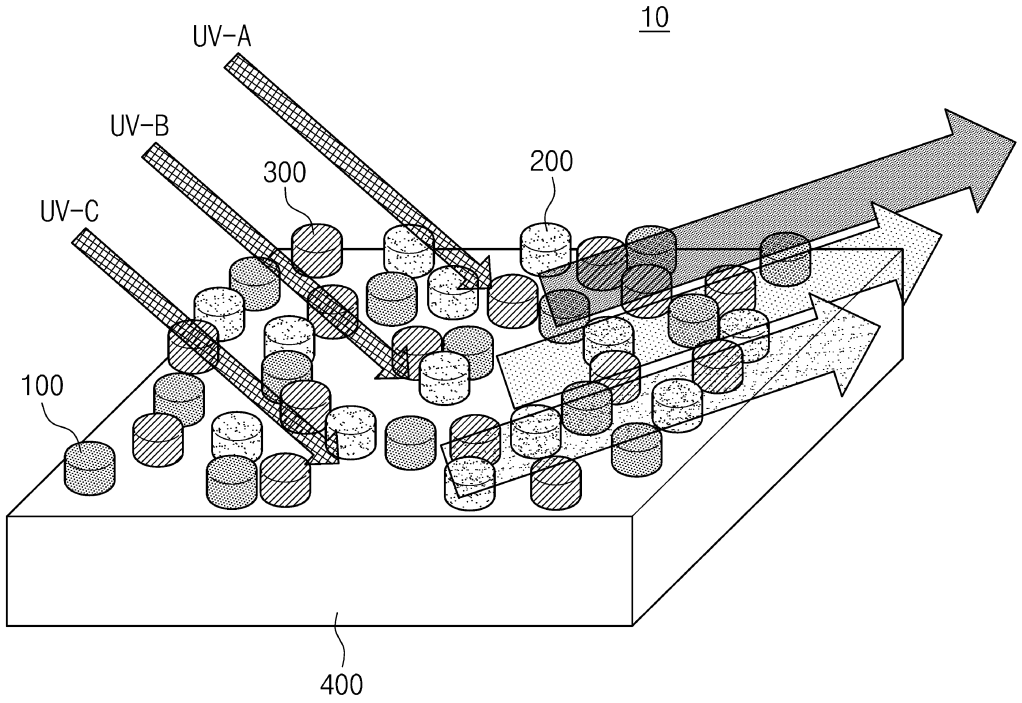
[0084] 10: 하향변환 발광 조합체 100: 제 1 구조체

200: 제 2 구조체 300: 제 3 구조체

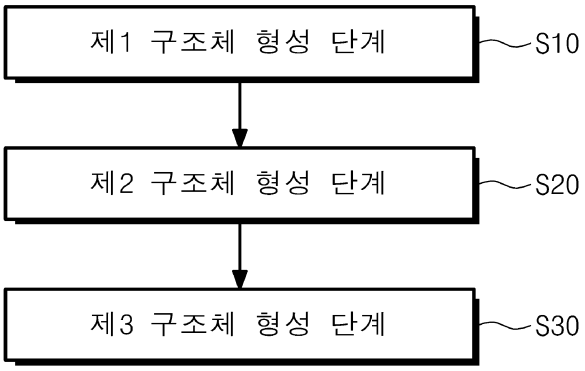
400: 기판

도면

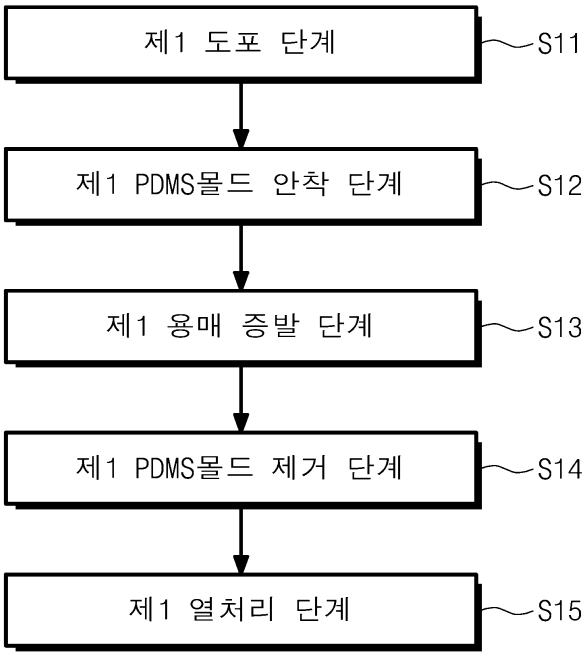
도면1


10
UV-A
UV-B
UV-C
300
200
100
400

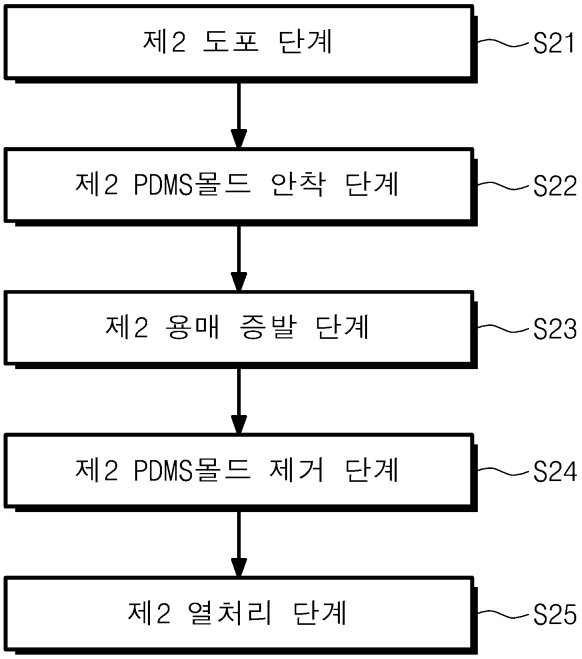
도면2


제1 구조체 형성 단계
S10
제2 구조체 형성 단계
S20
제3 구조체 형성 단계
S30

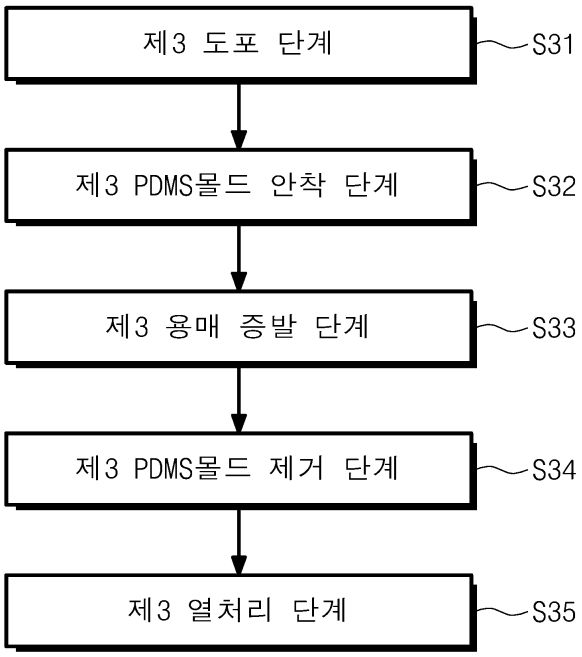
도면3


제1 도포 단계
S11
제1 PDMS몰드 안착 단계
S12
제1 용매 증발 단계
S13
제1 PDMS몰드 제거 단계
S14
제1 열처리 단계
S15

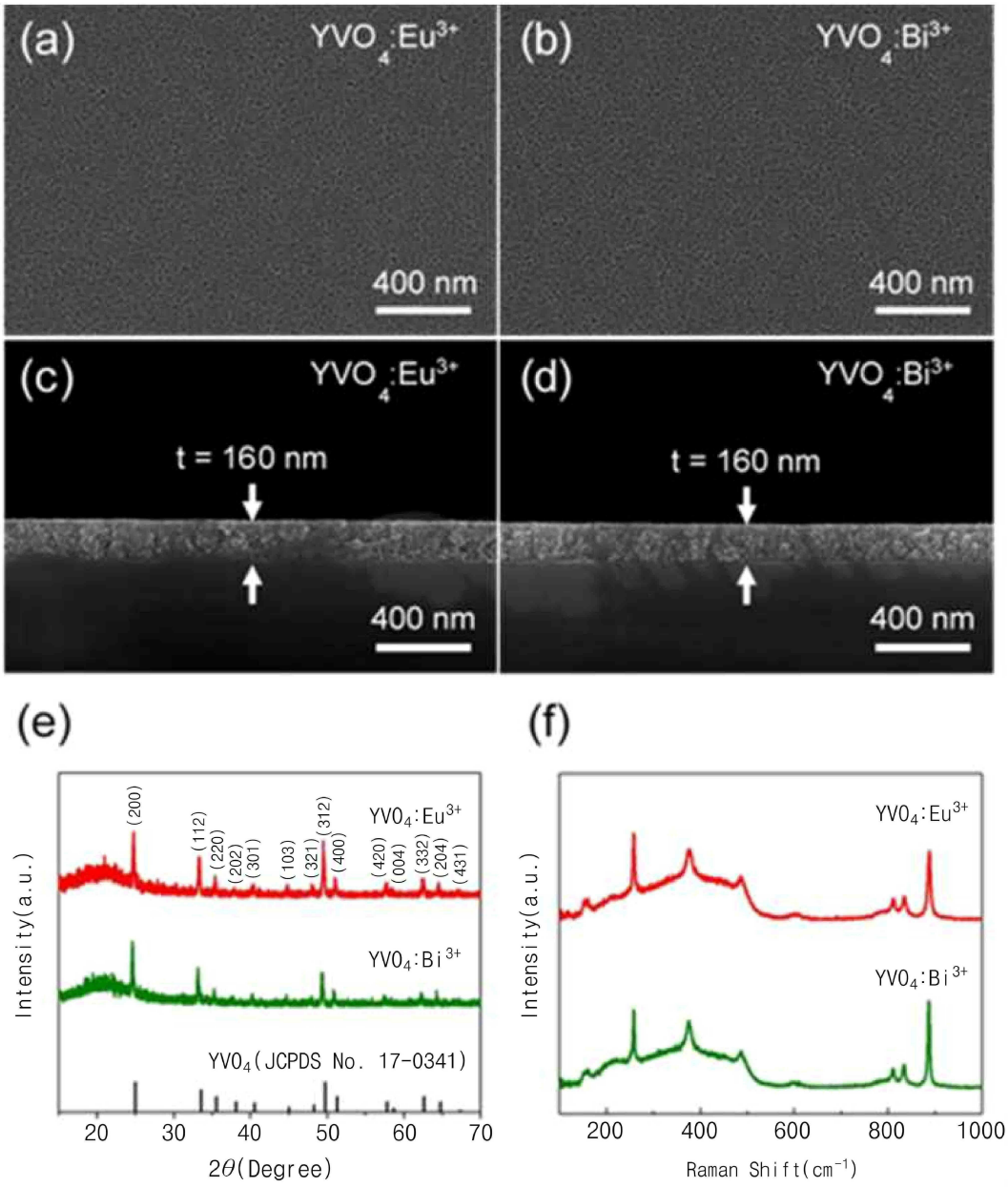
도면4


제2 도포 단계
S21
제2 PDMS몰드 안착 단계
S22
제2 용매 증발 단계
S23
제2 PDMS몰드 제거 단계
S24
제2 열처리 단계
S25

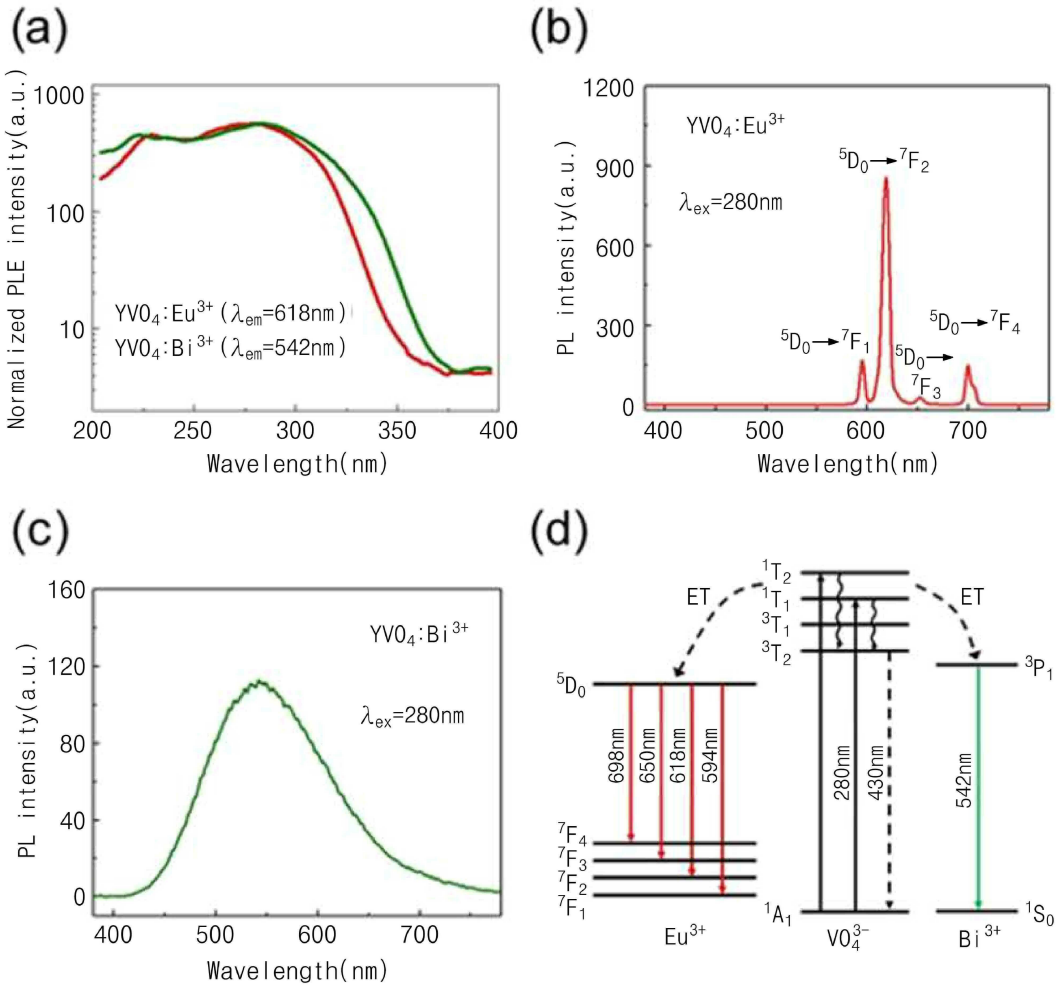
도면5


제3 도포 단계
S31
제3 PDMS몰드 안착 단계
S32
제3 용매 증발 단계
S33
제3 PDMS몰드 제거 단계
S34
제3 열처리 단계
S35

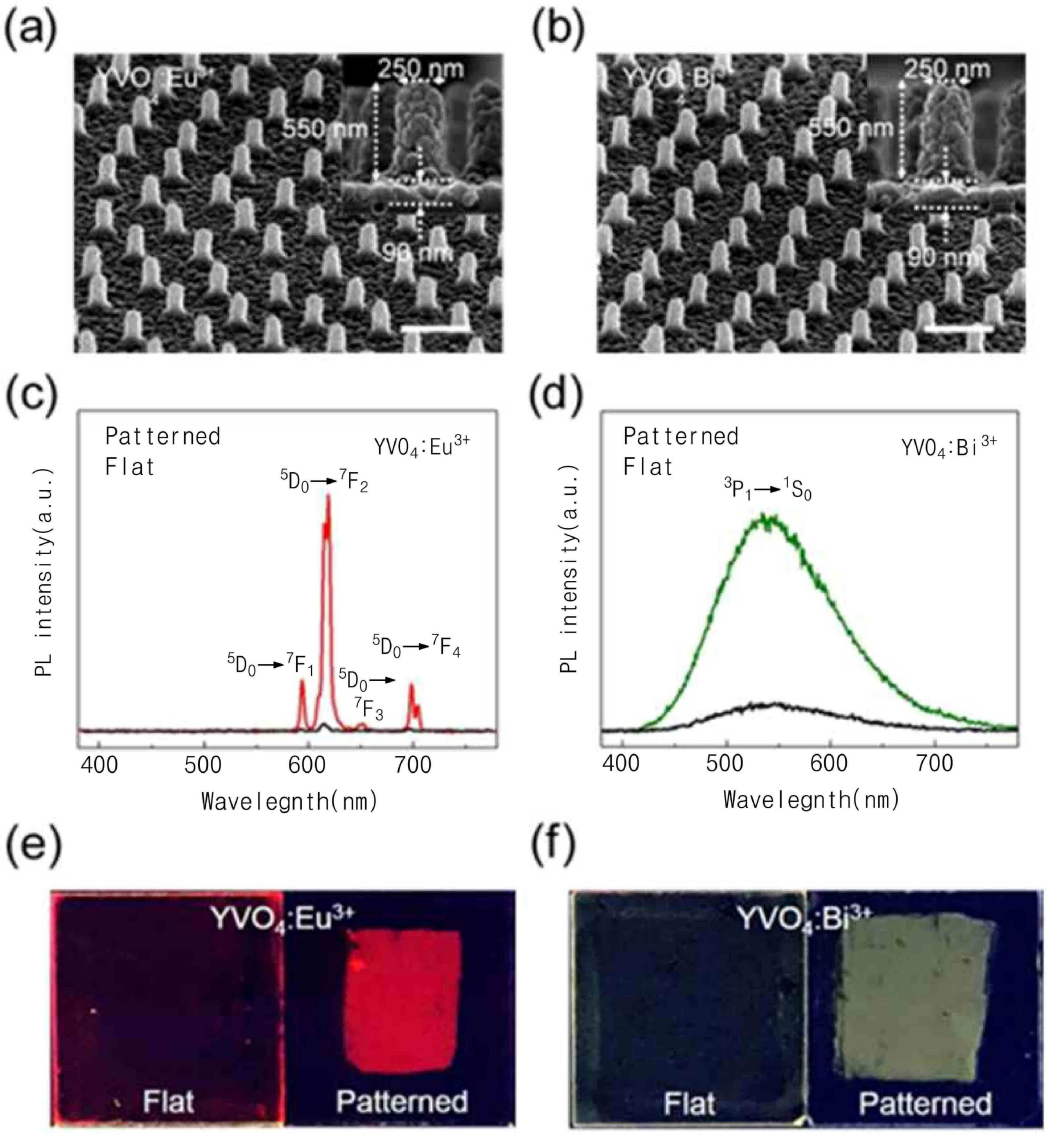
도면6


(a)
YVO4:Eu3+
400 nm
(b)
YVO4:Bi3+
400 nm
(c)
YVO4:Eu3+
t = 160 nm
400 nm
(d)
YVO4:Bi3+
t = 160 nm
400 nm
(e)
Intensity(a.u.)
YVO4:Eu3+
YVO4:Bi3+
YVO4(JCPDS No. 17-0341)
(200)
(112)
(220)
(202)
(301)
(103)
(321)
(312)
(400)
(420)
(004)
(332)
(204)
(431)
20
30
40
50
60
70
2θ(Degree)
(f)
Intensity(a.u.)
YVO4:Eu3+
YVO4:Bi3+
200
400
600
800
1000
Raman Shift(cm-1)

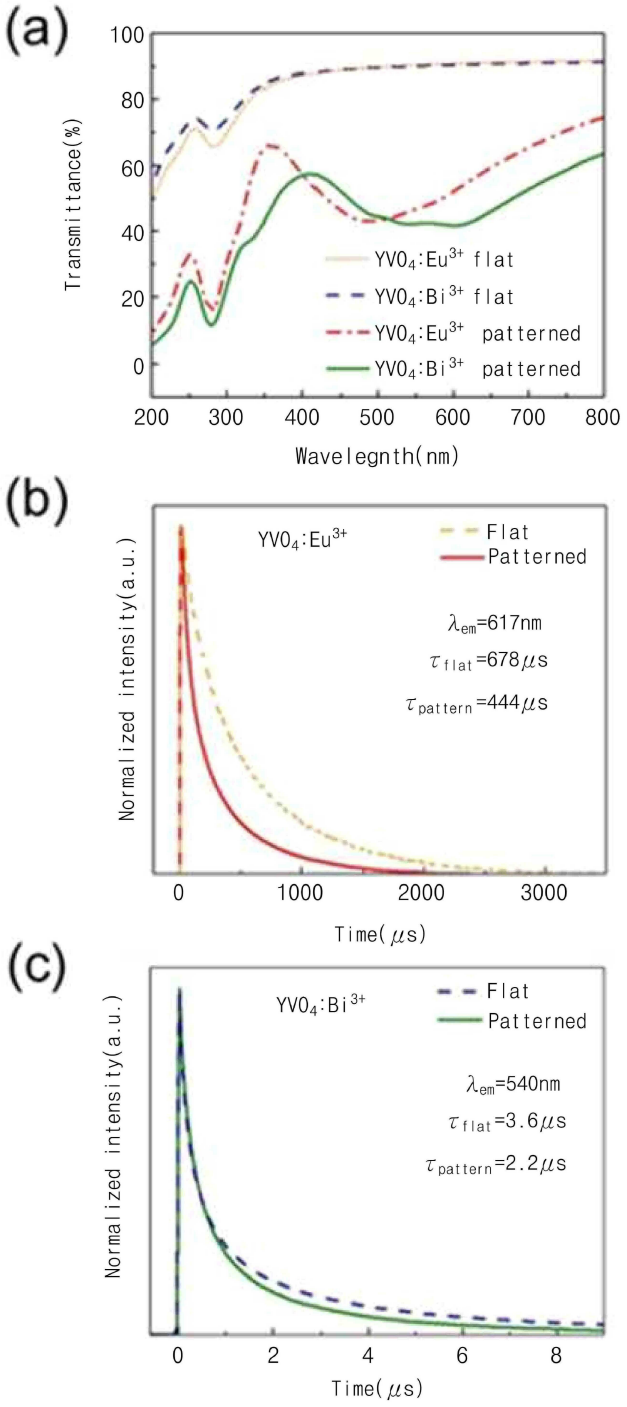
도면7


(a)
Normalized PLE intensity(a.u.)
1000
100
10
200
250
300
350
400
Wavelength(nm)
YVO4:Eu3+ (λem=618nm)
YVO4:Bi3+ (λem=542nm)
(b)
PL intensity(a.u.)
1200
900
600
300
0
400
500
600
700
Wavelength(nm)
YVO4:Eu3+
λex=280nm
5D0→7F2
5D0→7F1
5D0→7F4
5D0→7F3
(c)
PL intensity(a.u.)
160
120
80
40
0
400
500
600
700
Wavelength(nm)
YVO4:Bi3+
λex=280nm
(d)
ET
ET
1T2
1T1
3T1
3T2
5D0
3P1
698nm
650nm
618nm
594nm
280nm
430nm
542nm
7F4
7F3
7F2
7F1
1A1
1S0
Eu3+
VO43−
Bi3+

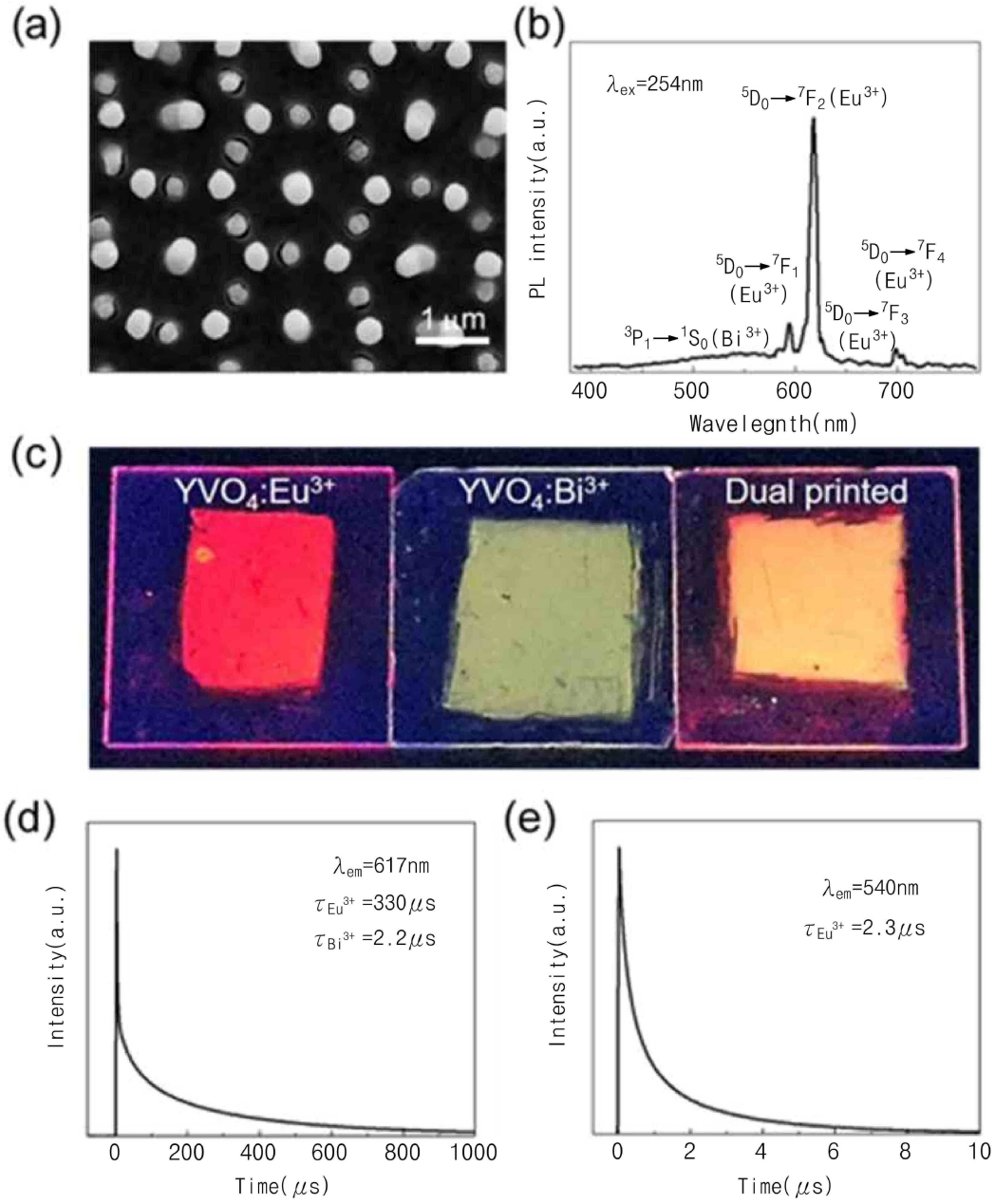
도면8


(a)
YVO4:Eu3+
250 nm
550 nm
90 nm
(b)
YVO4:Bi3+
250 nm
550 nm
90 nm
(c)
Patterned
Flat
YVO4:Eu3+
5D0→7F2
5D0→7F1
5D0→7F4
5D0→7F3
PL intensity(a.u.)
400
500
600
700
Wavelegnth(nm)
(d)
Patterned
Flat
YVO4:Bi3+
3P1→1S0
PL intensity(a.u.)
400
500
600
700
Wavelegnth(nm)
(e)
YVO4:Eu3+
Flat
Patterned
(f)
YVO4:Bi3+
Flat
Patterned

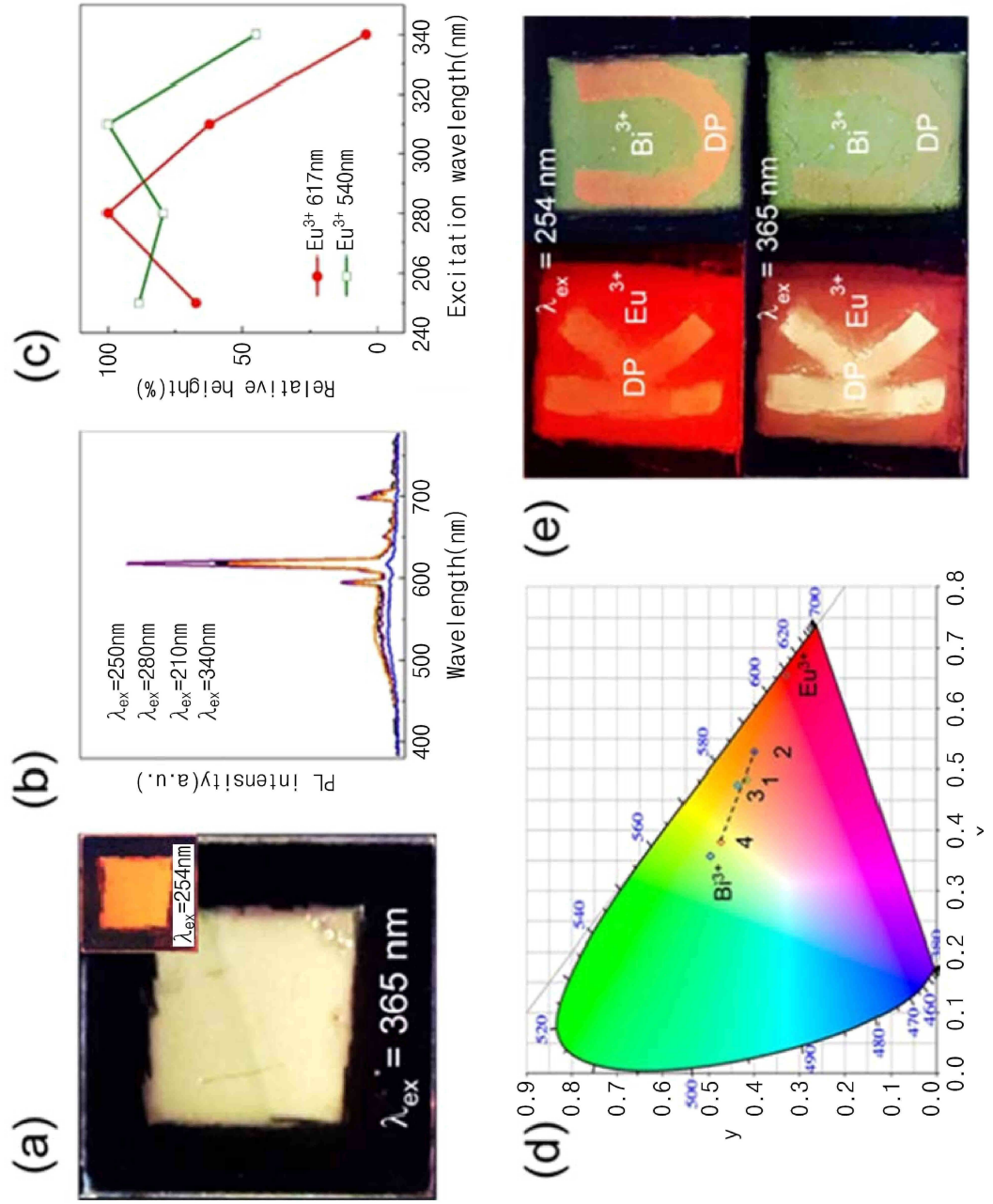
도면9


(a)
Transmittance(%)
Wavelegnth(nm)
YVO4:Eu3+ flat
YVO4:Bi3+ flat
YVO4:Eu3+ patterned
YVO4:Bi3+ patterned
(b)
YVO4:Eu3+
Flat
Patterned
λem=617nm
τflat=678μs
τpattern=444μs
Normalized intensity(a.u.)
Time(μs)
(c)
YVO4:Bi3+
Flat
Patterned
λem=540nm
τflat=3.6μs
τpattern=2.2μs
Normalized intensity(a.u.)
Time(μs)

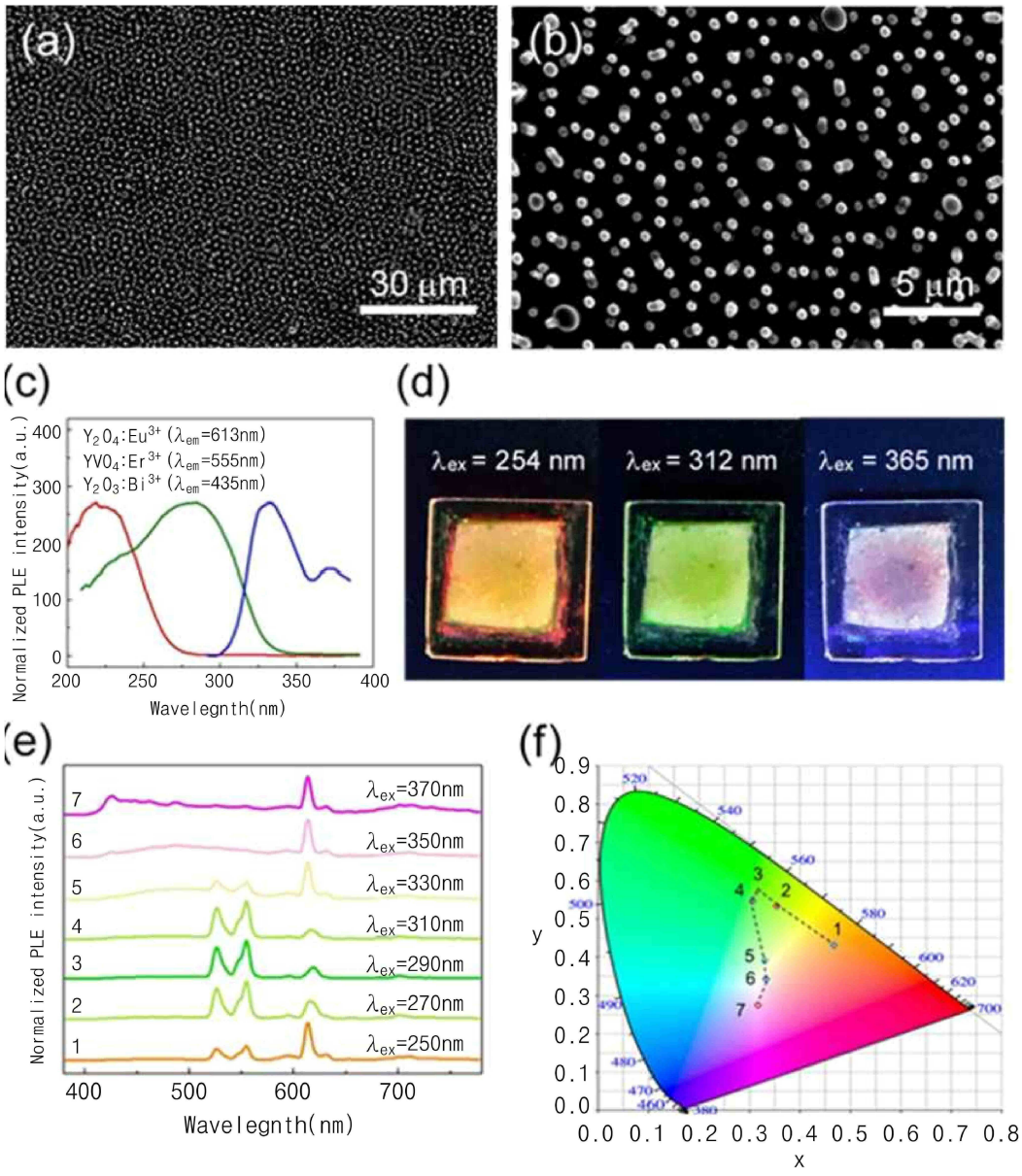
도면10


(a)
1 μm
(b)
λex=254nm
5D0→7F2(Eu3+)
5D0→7F1 (Eu3+)
5D0→7F4 (Eu3+)
5D0→7F3 (Eu3+)
3P1→1S0(Bi3+)
PL intensity(a.u.)
400
500
600
700
Wavelegnth(nm)
(c)
YVO4:Eu3+
YVO4:Bi3+
Dual printed
(d)
λem=617nm
τEu3+ =330μs
τBi3+ =2.2μs
Intensity(a.u.)
0
200
400
600
800
1000
Time(μs)
(e)
λem=540nm
τEu3+ =2.3μs
Intensity(a.u.)
0
2
4
6
8
10
Time(μs)

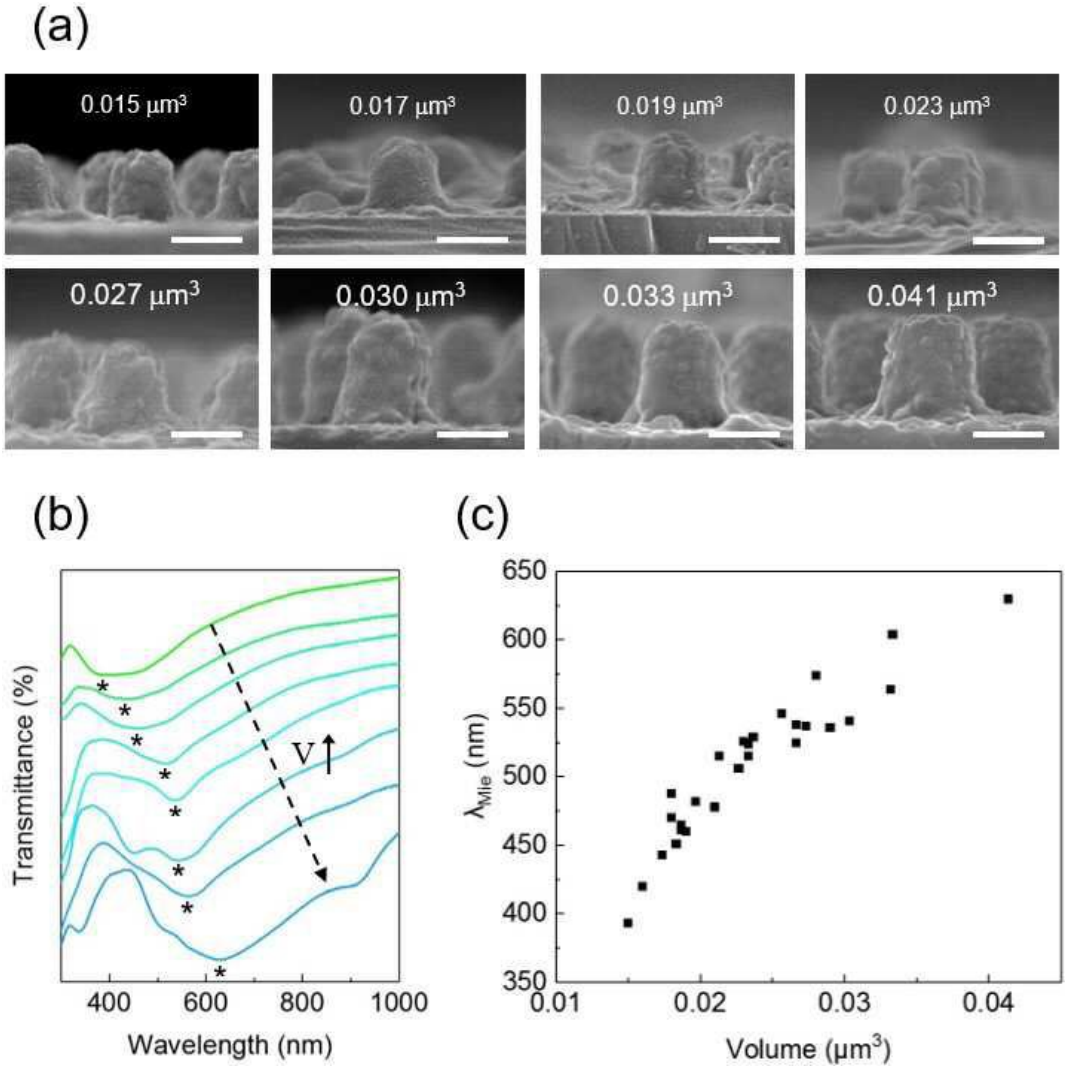
도면11


(a)
λex = 365 nm
λex=254nm
(b)
PL intensity(a.u.)
λex=250nm
λex=280nm
λex=210nm
λex=340nm
400 500 600 700
Wavelength(nm)
(c)
Relative height(%)
100 50 0
240 206 280 300 320 340
Excitation wavelength(nm)
Eu3+ 617nm
Eu3+ 540nm
(d)
0.9 0.8 0.7 0.6 0.5 0.4 0.3 0.2 0.1 0.0
y
0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8
x
Bi3+
Eu3+
1 2 3 4
(e)
λex = 254 nm
λex = 365 nm
DP
Eu3+
Bi3+

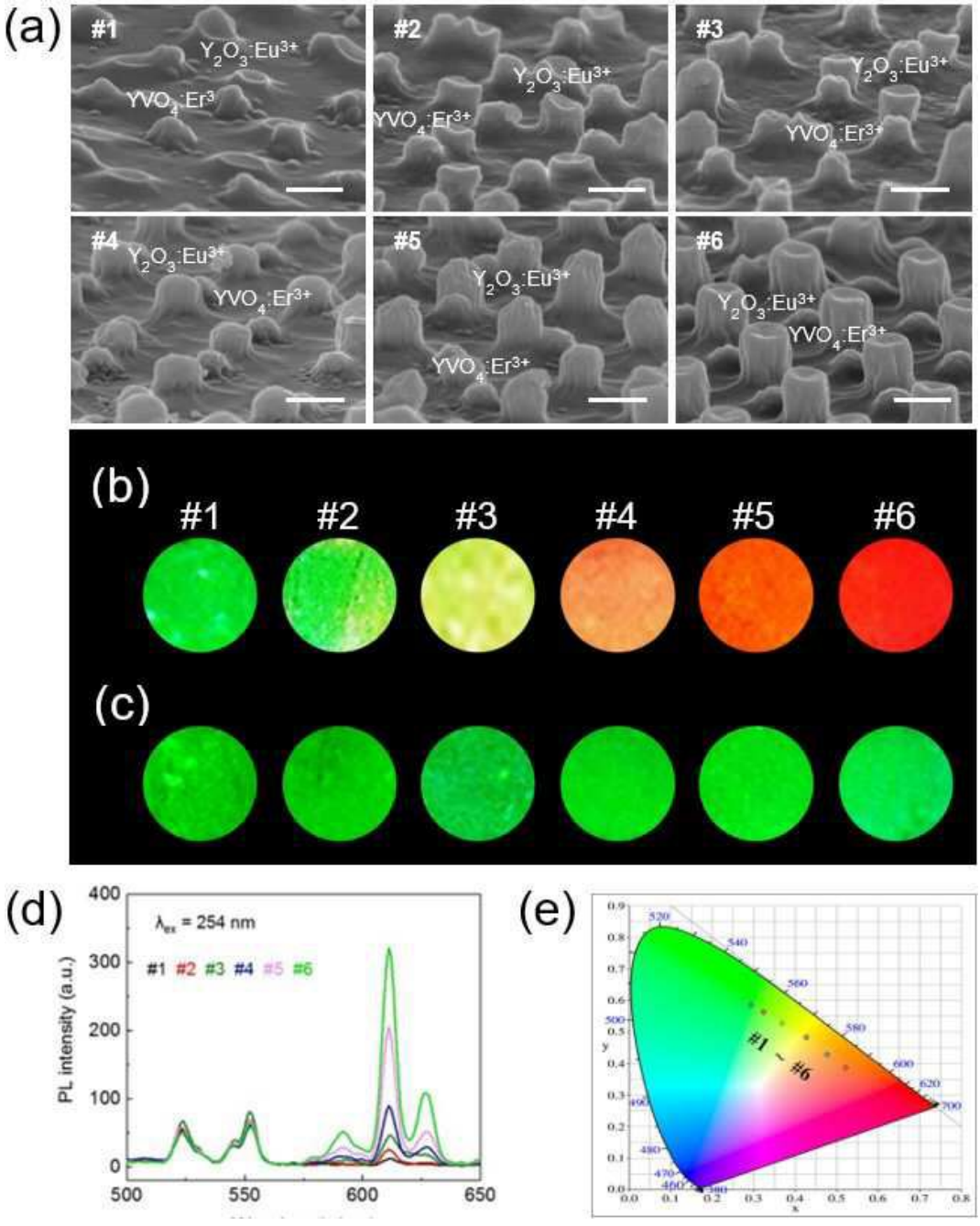
도면12


(a)
30 μm
(b)
5 μm
(c)
Y2O4:Eu3+ (λem=613nm)
YVO4:Er3+ (λem=555nm)
Y2O3:Bi3+ (λem=435nm)
Normalized PLE intensity(a.u.)
Wavelegnth(nm)
(d)
λex = 254 nm
λex = 312 nm
λex = 365 nm
(e)
λex=370nm
λex=350nm
λex=330nm
λex=310nm
λex=290nm
λex=270nm
λex=250nm
Normalized PLE intensity(a.u.)
Wavelegnth(nm)
(f)
x
y

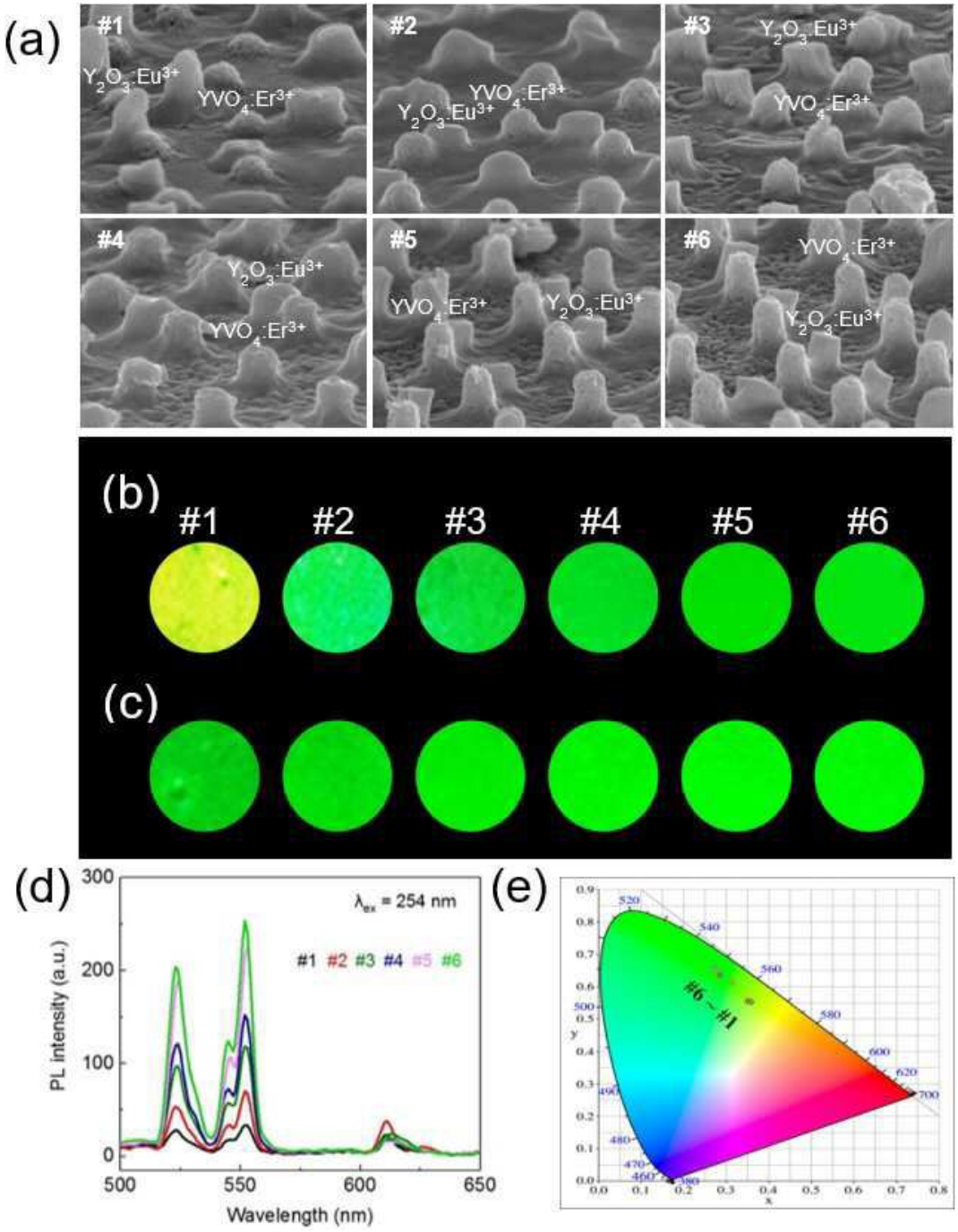
도면13


(a)
0.015 μm³
0.017 μm³
0.019 μm³
0.023 μm³
0.027 μm³
0.030 μm³
0.033 μm³
0.041 μm³
(b)
Transmittance (%)
Wavelength (nm)
400
600
800
1000
V
(c)
λMie (nm)
Volume (μm³)
650
600
550
500
450
400
350
0.01
0.02
0.03
0.04

도면14


(a)
#1
Y_2O_3:Eu^{3+}
YVO_4:Er^3
#2
Y_2O_3:Eu^{3+}
YVO_4:Er^{3+}
#3
Y_2O_3:Eu^{3+}
YVO_4:Er^{3+}
#4
Y_2O_3:Eu^{3+}
YVO_4:Er^{3+}
#5
Y_2O_3:Eu^{3+}
YVO_4:Er^{3+}
#6
Y_2O_3:Eu^{3+}
YVO_4:Er^{3+}
(b)
#1
#2
#3
#4
#5
#6
(c)
(d)
λ_{ex} = 254 nm
#1 #2 #3 #4 #5 #6
PL intensity (a.u.)
400
300
200
100
0
500
550
600
650
(e)
#1 ~ #6
x
y

도면15


(a)
#1
$Y_2O_3:Eu^{3+}$
$YVO_4:Er^{3+}$
#2
$Y_2O_3:Eu^{3+}$
$YVO_4:Er^{3+}$
#3
$Y_2O_3:Eu^{3+}$
$YVO_4:Er^{3+}$
#4
$Y_2O_3:Eu^{3+}$
$YVO_4:Er^{3+}$
#5
$YVO_4:Er^{3+}$
$Y_2O_3:Eu^{3+}$
#6
$YVO_4:Er^{3+}$
$Y_2O_3:Eu^{3+}$
(b)
#1
#2
#3
#4
#5
#6
(c)
(d)
λ_{ex} = 254 nm
#1 #2 #3 #4 #5 #6
PL intensity (a.u.)
Wavelength (nm)
(e)
#6 – #1