



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2011-0031957  
(43) 공개일자 2011년03월29일

(51) Int. Cl.

*H01L 33/44* (2010.01) *H01L 33/50* (2010.01)

(21) 출원번호 10-2011-7001595

(22) 출원일자(국제출원일자) 2009년06월03일  
심사청구일자 없음

(85) 번역문제출일자 2011년01월21일

(86) 국제출원번호 PCT/US2009/046083

(87) 국제공개번호 WO 2009/158159  
국제공개일자 2009년12월30일

(30) 우선권주장

61/075,935 2008년06월26일 미국(US)

(71) 출원인

쓰리엠 이노베이티브 프로퍼티즈 컴파니

미국 55133-3427 미네소타주 세인트 폴 피.오.박스 33427 쓰리엠 센터

(72) 발명자

스미스 테리 엘

미국 55133-3427 미네소타주 세인트 폴 포스트 오피스 박스 33427 쓰리엠 센터

하세 마이클 에이

미국 55133-3427 미네소타주 세인트 폴 포스트 오피스 박스 33427 쓰리엠 센터

장 준-링

미국 55133-3427 미네소타주 세인트 폴 포스트 오피스 박스 33427 쓰리엠 센터

(74) 대리인

양영준, 김영

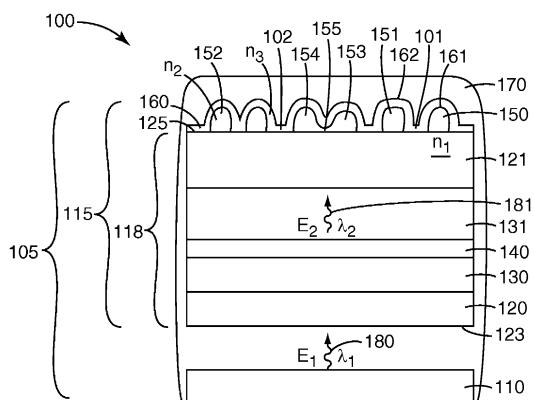
전체 청구항 수 : 총 27 항

## (54) 광 변환 구조물

## (57) 요 약

광 변환 구조물이 개시된다. 광 변환 구조물은 제1 파장의 광의 적어도 일부를 더 긴 제2 파장의 광으로 변환하기 위한, 제1 굴절률을 갖는 인광체 슬래브; 및 인광체 슬래브 상에 배치되며 제1 굴절률보다 작은 제2 굴절률을 갖는 구조화된 층을 포함한다. 구조화된 층은 인광체 슬래브 상에 직접 배치되는 복수의 구조체 및 인광체 슬래브를 노출시키는 복수의 개방부를 포함한다. 광 변환 구조물은 적어도 구조화된 층의 일부분 및 복수의 개방부 내의 인광체 슬래브의 일부분 상에 직접 배치되는 구조화된 오버코트를 추가로 포함한다. 구조화된 오버코트는 제2 굴절률보다 큰 제3 굴절률을 갖는다.

## 대 표 도 - 도1



## 특허청구의 범위

### 청구항 1

제1 파장의 광의 적어도 일부를 더 긴 제2 파장의 광으로 변환하기 위한, 제1 굴절률을 갖는 인광체 슬래브(phosphor slab);

인광체 슬래브 상에 배치되며 제1 굴절률보다 작은 제2 굴절률을 갖고, 인광체 슬래브 상에 직접 배치되는 복수의 구조체 및 인광체 슬래브를 노출시키는 복수의 개방부를 포함하는 구조화된 층; 및

적어도 구조화된 층의 일부분 및 복수의 개방부 내의 인광체 슬래브의 일부분 상에 직접 배치되며, 제2 굴절률보다 큰 제3 굴절률을 갖는 구조화된 오버코트(overcoat)

를 포함하는 광 변환 구조물.

### 청구항 2

제1항에 있어서, 구조화된 오버코트는 인광체 슬래브로부터의 제2 파장의 광의 추출을 향상시키는 광 변환 구조물.

### 청구항 3

제1항에 있어서, 구조화된 층은 실질적으로 제2 파장에서 광학적으로 투명한 광 변환 구조물.

### 청구항 4

제1항에 있어서, 구조화된 오버코트는 실질적으로 제2 파장에서 광학적으로 투명한 광 변환 구조물.

### 청구항 5

제1항에 있어서, 구조화된 층 내의 복수의 구조체는 복수의 이산된 구조체를 포함하는 광 변환 구조물.

### 청구항 6

제1항에 있어서, 구조화된 층 내의 복수의 구조체는 복수의 상호연결된 구조체를 포함하는 광 변환 구조물.

### 청구항 7

제1항에 있어서, 구조화된 층 내의 복수의 구조체는 복수의 입자를 포함하는 광 변환 구조물.

### 청구항 8

제7항에 있어서, 복수의 입자의 상당한 분율이 실질적으로 구형(spherical)인 광 변환 구조물.

### 청구항 9

제1항에 있어서, 구조화된 층은 유기 재료를 포함하는 광 변환 구조물.

### 청구항 10

제9항에 있어서, 구조화된 층은 포토레지스트(photoresist)를 포함하는 광 변환 구조물.

### 청구항 11

제1항에 있어서, 구조화된 층은 무기 재료를 포함하는 광 변환 구조물.

### 청구항 12

제11항에 있어서, 구조화된 층은  $\text{SiO}_2$ 를 포함하는 광 변환 구조물.

### 청구항 13

제1항에 있어서, 구조화된 오버코트는 하나 이상의 섬(island)을 포함하는 광 변환 구조물.

#### 청구항 14

제1항에 있어서, 구조화된 오버코트는  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{ZnS}$ ,  $\text{ZnSe}$ ,  $\text{ZnSSe}$ , ITO,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ,  $\text{HfO}_2$ , 및 실리케이트 중 적어도 하나를 포함하는 반도체 광 변환 구조물.

#### 청구항 15

제1항에 있어서, 구조화된 오버코트는 반도체를 포함하는 광 변환 구조물.

#### 청구항 16

제1항에 있어서, 제1 굴절률과 제2 굴절률 사이의 차이는 적어도 0.3인 광 변환 구조물.

#### 청구항 17

제1항에 있어서, 제1 굴절률과 제2 굴절률 사이의 차이는 적어도 0.5인 광 변환 구조물.

#### 청구항 18

제1항에 있어서, 제1 굴절률과 제2 굴절률 사이의 차이는 적어도 0.7인 광 변환 구조물.

#### 청구항 19

제1항에 있어서, 제1 굴절률과 제2 굴절률 사이의 차이는 적어도 0.9인 광 변환 구조물.

#### 청구항 20

제1항에 있어서, 제3 굴절률과 제2 굴절률 사이의 차이는 적어도 0.3인 광 변환 구조물.

#### 청구항 21

제1항에 있어서, 제3 굴절률과 제2 굴절률 사이의 차이는 적어도 0.5인 광 변환 구조물.

#### 청구항 22

제1항에 있어서, 제3 굴절률과 제2 굴절률 사이의 차이는 적어도 0.7인 광 변환 구조물.

#### 청구항 23

제1항에 있어서, 제3 굴절률과 제2 굴절률 사이의 차이는 적어도 0.9인 광 변환 구조물.

#### 청구항 24

제1항에 있어서, 구조화된 오버코트의 구조화된 외부 표면은 구조화된 층의 외부 표면과 정합하는 광 변환 구조물.

#### 청구항 25

제1항에 있어서, 광 변환 구조물을 봉지하는 봉지재(encapsulant)를 추가로 포함하는 광 변환 구조물.

#### 청구항 26

제1항에 있어서, 제2 파장에서의 구조화된 오버코트의 굴절률은 약 1.35 내지 약 2.2 범위인 광 변환 구조물.

#### 청구항 27

제1항의 광 변환 구조물과;

광 변환 구조물에 의해 제2 파장의 광으로 적어도 일부가 변환되는 제1 파장의 광을 방출하는 LED  
를 포함하는 전계발광 요소(electroluminescent element); 및

전계발광 요소를 봉지하는 봉지재를 포함하는 발광 시스템.

명세서

기술분야

- 본 발명은 일반적으로 반도체 발광 소자(semiconductor light emitting device)에 관한 것이다. 본 발명은 특히 개선된 휘도를 갖는 반도체 발광 소자에 적용될 수 있다.

배경기술

- 별광 소자는 프로젝션 디스플레이 시스템, 액정 디스플레이용 백라이트 등을 포함하는 많은 상이한 응용에 사용된다. 프로젝션 시스템은 전형적으로 고압 수은 램프와 같은 하나 이상의 백색 광원을 사용한다. 백색 광 빔은 보통 3개의 원색(primary color), 즉 적색, 녹색 및 청색으로 분리되며, 각각의 원색에 대한 이미지를 생성하도록 각각의 이미지 형성 공간 광 변조기로 지향된다. 생성된 원색 이미지 빔들이 조합되고 시청을 위한 프로젝션 스크린 상에 투영된다.

- 보다 최근에는, 백색 광원에 대한 대안으로서 발광 다이오드(light emitting diode, LED)가 고려되었다. LED는 종래의 광원에 필적하는 휘도 및 동작 수명을 제공하는 가능성을 갖는다. 그러나, 현재 LED는, 예를 들어 고굴 절률 영역에서의 광 인트랩먼트(light entrainment)로 인해 상대적으로 비효율적이다.

발명의 내용

- 일반적으로, 본 발명은 반도체 발광 소자에 관한 것이다. 일 실시 형태에서, 반도체 광 변환 구조물 (semiconductor light converting construction)은 제1 파장의 광의 적어도 일부를 더 긴 제2 파장의 광으로 변환하기 위한 반도체 포텐셜 웰(potential well); 반도체 포텐셜 웰 상에 배치되며 제1 굴절률을 갖는 외부 층; 및 외부 층 상에 배치되며 제1 굴절률보다 작은 제2 굴절률을 갖는 구조화된 층을 포함한다. 구조화된 층은 외부 층 상에 직접 배치되는 복수의 구조체 및 외부 층을 노출시키는 복수의 개방부를 포함한다. 반도체 광 변환 구조물은 적어도 구조화된 층의 일부분 및 복수의 개방부 내의 외부 층의 일부분 상에 직접 배치되는 구조화된 오버코트(overcoat)를 추가로 포함한다. 오버코트는 제2 굴절률보다 큰 제3 굴절률을 갖는다. 몇몇 경우에, 구조화된 오버코트의 평균 두께는 약 1000 nm 이하, 또는 약 700 nm 이하이다. 몇몇 경우에, 오버코트의 외부 표면은 구조화된 층의 외부 표면과 정합한다.

- 다른 실시 형태에서, 발광 시스템은 LED 및 LED에 의해 방출된 광을 하향 변환(down convert)하여 구조화된 최외측 표면을 갖는 광 변환 구조물을 포함한다. 구조화된 표면은 광 변환 구조물의 내부 층을 노출시키는 복수의 개방부를 갖는다. 발광 시스템은 구조화된 최외측 표면 및 내부 층의 노출된 영역 상에 형성되는 구조화된 오버코트를 추가로 포함한다. 구조화된 오버코트는 광 변환 구조물로부터의 광 추출을 향상시킨다. 오버코트의 외부 표면은 구조화된 최외측 표면과 정합한다. 몇몇 경우에, 오버코트의 굴절률은 약 1.8 내지 약 2.7 범위이다.

- 다른 실시 형태에서, 반도체 광 변환 구조물은 제1 파장의 광의 적어도 일부를 흡수하기 위한 제1 반도체 층; 제1 파장에서 흡수된 광의 적어도 일부를 더 긴 제2 파장의 광으로 변환하기 위한 반도체 포텐셜 웨л; 및 제1 파장의 광의 적어도 일부를 흡수할 수 있는 제2 반도체 층을 포함한다. 제1 반도체 층은 제2 파장에서의 최대 제1 굴절률을 갖는다. 제2 반도체 층은 최대 제1 굴절률보다 큰 제2 파장에서의 제2 굴절률을 갖는다. 몇몇 경우에, 제1 반도체 층의 밴드 갭 에너지(band gap energy)는 제2 파장에서의 광자(photon)의 에너지보다 크다. 몇몇 경우에, 제2 반도체 층의 밴드 갭 에너지는 제2 파장에서의 광자의 에너지보다 크다. 몇몇 경우에, 제2 반도체 층의 밴드 갭 에너지는 제1 반도체 층의 최소 밴드 갭 에너지보다 작다. 몇몇 경우에, 제1 반도체 층의 밴드 갭 에너지는 반도체 포텐셜 웨일 전이 에너지(transition energy)보다 크다. 몇몇 경우에, 제2 반도체 층의 밴드 갭 에너지는 반도체 포텐셜 웨일의 전이 에너지보다 크다. 몇몇 경우에, 제1 파장에서 중심이며 제1 파장보다 긴 파장  $\lambda_e$ 를 포함하는 스펙트럼을 갖는 입사 광으로 조명될 때, 제1 반도체 층은 제1 파장의 광을 흡수하지만,  $\lambda_e$ 의 광은 흡수하지 않으며, 제2 반도체 층은  $\lambda_e$ 의 광을 흡수한다.

- 다른 실시 형태에서, 반도체 광 변환 구조물은 제1 파장의 광의 적어도 일부를 흡수하기 위한 제1 반도체 층; 제1 파장에서 흡수된 광의 적어도 일부를 더 기 제2 파장의 광으로 변화하기 위한 반도체 포텐셜 웨; 및 제1 파

장의 광의 적어도 일부를 흡수할 수 있는 제2 반도체 층을 포함한다. 제2 반도체 층은 제1 반도체 층의 최소 밴드 갭 에너지보다 작은 밴드 갭 에너지를 갖는다. 몇몇 경우에, 제1 반도체 층의 밴드 갭 에너지는 제2 광장에서의 광자의 에너지보다 크다. 몇몇 경우에, 제2 반도체 층의 밴드 갭 에너지는 제2 광장에서의 광자의 에너지보다 크다. 몇몇 경우에, 제2 광장에서의 제2 반도체 층의 굴절률은 제2 광장에서의 제1 반도체 층의 최대 굴절률보다 크다. 몇몇 경우에, 제1 반도체 층의 밴드 갭 에너지는 반도체 포텐셜 웨일 전이 에너지보다 크다. 몇몇 경우에, 제2 반도체 층의 밴드 갭 에너지는 반도체 포텐셜 웨일 전이 에너지보다 크다. 몇몇 경우에, 반도체 광 변환 구조물은 동일한 전이 에너지를 갖는 복수의 반도체 포텐셜 웨일을 포함한다. 몇몇 경우에, 반도체 광 변환 구조물은 상이한 전이 에너지를 갖는 복수의 반도체 포텐셜 웨일을 포함한다.

[0008] 다른 실시 형태에서, 광학 구조물은 가시 광장인 제1 광장에서 굴절률  $n_1$ 을 갖는 제1 반도체 층; 제1 반도체 층 상에 배치되며 제1 광장에서 굴절률  $n_2$  - 여기서,  $n_2$ 는  $n_1$ 보다 작음 - 를 갖는 제2 반도체 층; 제2 반도체 층 상에 배치되며 제1 광장에서 굴절률  $n_3$  - 여기서,  $n_3$ 는  $n_2$ 보다 큼 - 를 갖는 제3 반도체 층; 제3 반도체 층 상에 직접 배치되는 구조화된 층; 및 구조화된 층의 적어도 일부분 상에 직접 배치되는 오버코트를 포함한다. 광학 구조물은 제1 광장에서 실질적으로 투파성이다. 몇몇 경우에, 오버코트는 광자 결정(photonic crystal)을 포함한다. 몇몇 경우에, 제1 반도체 층은 포텐셜 웨일이다. 몇몇 경우에, 제2 반도체 층은 실질적으로 제1 광장의 광을 흡수하지만, 제2 광장의 광은 흡수하지 않는다. 몇몇 경우에, 제3 반도체 층은 실질적으로 제1 광장의 광을 흡수하지만, 제2 광장의 광은 흡수하지 않는다.

[0009] 다른 실시 형태에서, 발광 시스템은 제1 광장 및 더 긴 제2 광장의 광을 방출하는 광원; 제1 광장의 광을 흡수 할 수 있지만 제2 광장의 광은 흡수하지 않는 하나 이상의 제1 반도체 광 흡수 층을 포함한다. 하나 이상의 제1 반도체 광 흡수 층은 광원에 의해 방출된 광의 적어도 80%를 흡수한다. 발광 시스템은 하나 이상의 제1 반도체 광 흡수 층에 의해 흡수된 광의 적어도 일부를 더 긴 광장의 출력 광으로 변환하는 반도체 포텐셜 웨일; 및 제2 광장의 광을 흡수할 수 있는 하나 이상의 제2 반도체 광 흡수 층을 추가로 포함한다. 하나 이상의 제2 반도체 광 흡수 층은 광원에 의해 방출된 광의 적어도 90%를 흡수한다. 몇몇 경우에, 하나 이상의 제1 반도체 광 흡수 층은 광원에 의해 방출된 광의 적어도 95%를 흡수한다. 몇몇 경우에, 발광 시스템은 동일하거나 상이한 전이 에너지를 갖는 복수의 반도체 포텐셜 웨일을 포함한다.

[0010] 다른 실시 형태에서, 반도체 광 변환 구조물은 입사 광의 전부는 아니더라도 일부를 흡수하기 위한, 밴드 갭 에너지  $E_{abs}$ 를 갖는 제1 반도체 층; 흡수된 입사 광의 적어도 일부를 하향 변환하기 위한,  $E_{abs}$ 보다 작은 전이 에너지  $E_{tr}$ 를 갖는 반도체 포텐셜 웨일; 및 나머지 입사 광을 흡수하기 위한,  $E_{abs}$ 보다 작으며  $E_{tr}$ 보다 큰 밴드 갭 에너지  $E_{lb}$ 를 갖는 제2 반도체 층을 포함한다. 몇몇 경우에, 제1 반도체 층에 의해 흡수된 입사 광의 부분 및 제2 반도체 층에 의해 흡수된 나머지 입사 광은 상이한 광장의 스펙트럼 영역을 포함한다. 몇몇 경우에, 반도체 광 변환 구조물은  $E_{abs}$ 보다 큰 밴드 갭 에너지  $E_w$ 를 갖는 반도체 윈도우(window)를 추가로 포함한다. 몇몇 경우에,  $E_w$ 는 입사 광의 광자 에너지보다 크다. 몇몇 경우에, 제1 반도체 층은 반도체 포텐셜 웨일에 가깝게 인접해 있다. 몇몇 경우에, 제1 반도체 층은 반도체 포텐셜 웨일에 바로 인접해 있다. 몇몇 경우에, 제1 반도체 층은 반도체 포텐셜 웨일과 제2 반도체 층 사이에 배치된다. 몇몇 경우에, 제1 및 제2 반도체 층 각각은 반도체 포텐셜 웨일에 바로 인접해 있다.

[0011] 다른 실시 형태에서, 기판으로부터 광을 추출하기 위한 광학 구조물을 제조하는 방법은 (a) 표면을 갖는 기판을 제공하는 단계; (b) 기판의 표면을 노출시키는 개방 영역을 형성하는 복수의 구조체를 기판의 표면 상에 배치하는 단계; (c) 구조체들 중 적어도 일부를 수축시키는 단계; 및 (d) 수축된 구조체 및 개방 영역 내의 기판의 표면을 덮도록 오버코트를 적용하는 단계를 포함한다. 몇몇 경우에, 단계 (c)는 복수의 구조체에 에칭제(etchant)를 가함으로써 수행된다. 몇몇 경우에, 복수의 구조체에 의한 기판의 표면의 폐복율(percent coverage)은 에칭제를 가한 후에 감소한다. 몇몇 경우에, 복수의 구조체는 폴리스티렌을 포함한다. 몇몇 경우에, 복수의 구조체는 복수의 입자를 포함한다. 몇몇 경우에, 복수의 입자는 에칭제를 가하기 전에 실질적으로 구형(spherical)이고, 에칭제를 가한 후에는 실질적으로 원추형(cone-like)이다. 몇몇 경우에, 단계 (a) 내지 단계 (d)는 순차적으로 수행된다. 몇몇 경우에, 방법은 구조체들 중 적어도 일부를 재유동(reflowing)시키는 단계를 추가로 포함하며, 몇몇 경우에, 구조체들 중 적어도 일부를 재유동시키는 단계는 복수의 구조체에 열을 가함으로써 수행된다. 몇몇 경우에, 입자들 중 적어도 일부를 수축 및 재유동시키는 단계는 동시에 수행된다. 몇몇 경우에, 구조체는 단계 (c)에서 적어도 20%, 또는 적어도 40% 수축된다. 몇몇 경우에, 단계 (d)에서의 오

버코드는 구조화된 오버코드를 포함한다. 몇몇 경우에, 단계 (d)에서의 오버코드는 복수의 구조체의 외부 표면과 정합하는 외부 구조화된 표면을 갖는다.

[0012] 다른 실시 형태에서, 기판으로부터 광을 추출하기 위해 기판의 표면 상에 복수의 구조체를 제조하는 방법은 (a) 표면을 갖는 기판을 제공하는 단계; (b) 기판의 표면의 원하는 제1 면적 피복율을 확인하는 단계; (c) 원하는 제1 면적 피복율보다 큰 제2 면적 피복율이 되도록 기판의 표면 상에 복수의 구조체를 배치하는 단계; 및 (d) 면적 피복율을 원하는 제1 면적 피복율로 감소시키도록 구조체들 중 적어도 일부를 수축시키는 단계를 포함한다. 몇몇 경우에, 방법은 수축된 구조체 및 덮이지 않은 영역 내의 기판의 표면을 덮도록 구조화된 오버코드를 적용하는 단계를 추가로 포함한다. 몇몇 경우에, 방법은 복수의 구조체 중 적어도 일부를 재유동시키는 단계를 추가로 포함한다.

[0013] 다른 실시 형태에서, 광 변환 구조물은 제1 파장의 광의 적어도 일부를 더 긴 제2 파장의 광으로 변환하기 위한, 제1 굴절률을 갖는 인광체 슬래브(phosphor slab); 및 인광체 슬래브 상에 배치되며 제1 굴절률보다 작은 제2 굴절률을 갖는 구조화된 층을 포함한다. 구조화된 층은 인광체 슬래브 상에 직접 배치되는 복수의 구조체 및 인광체 슬래브를 노출시키는 복수의 개방부를 포함한다. 광 변환 구조물은 적어도 구조화된 층의 일부분 및 복수의 개방부 내의 인광체 슬래브의 일부분 상에 직접 배치되는 구조화된 오버코드를 추가로 포함한다. 구조화된 오버코드는 제2 굴절률보다 큰 제3 굴절률을 갖는다. 몇몇 경우에, 구조화된 오버코드는 인광체 슬래브로부터의 제2 파장의 광의 추출을 향상시킨다. 몇몇 경우에, 구조화된 오버코드는  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{ZnS}$ ,  $\text{ZnSe}$ ,  $\text{ZnSSe}$ ,  $\text{ITO}$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ,  $\text{HfO}_2$ , 및 실리케이트 중 적어도 하나를 포함한다. 몇몇 경우에, 제1 굴절률과 제2 굴절률 사이의 차이는 적어도 0.3, 또는 적어도 0.5, 또는 적어도 0.7, 또는 적어도 0.9이다. 몇몇 경우에, 제3 굴절률과 제2 굴절률 사이의 차이는 적어도 0.3, 또는 적어도 0.5, 또는 적어도 0.7, 또는 적어도 0.9이다. 몇몇 경우에, 구조화된 오버코드의 구조화된 외부 표면은 구조화된 층의 외부 표면과 정합한다. 몇몇 경우에, 광 변환 구조물은 광 변환 구조물을 봉지하는 봉지재(encapsulant)를 추가로 포함한다. 몇몇 경우에, 제2 파장에서의 구조화된 오버코드의 굴절률은 약 1.35 내지 약 2.2 범위이다.

## 도면의 간단한 설명

[0014] 본 발명은 첨부 도면과 관련된 본 발명의 다양한 실시 형태의 이하의 상세한 설명을 고려하여 더욱 완전하게 이해되고 인식될 수 있다.

도 1은 발광 시스템의 개략적인 측면도.

도 2는 구조화된 층과 오버코드의 개략적인 측면도.

도 3은 다른 구조화된 층과 다른 오버코드의 개략적인 측면도.

도 4는 다른 구조화된 층과 다른 오버코드의 개략적인 측면도.

도 5a 및 도 5b는 각각 나노입자의 단일 층 및 나노입자의 다층의 주사 전자 현미경(SEM) 이미지.

도 6a 및 도 6b는 각각 나노입자의 오버코팅된 단일 층 및 나노입자의 오버코팅된 다층의 SEM 이미지.

도 7은 나노입자의 다른 오버코팅된 단일 층의 SEM 이미지.

도 8은 발광 시스템의 개략적인 측면도.

도 9는 방출된 광의 개략적인 세기 스펙트럼.

도 10은 광 변환기의 개략적인 밴드 다이어그램.

도 11은 다른 광 변환기의 개략적인 밴드 다이어그램.

도 12는 다른 광 변환기의 개략적인 밴드 다이어그램.

도 13은 다른 광 변환기의 개략적인 밴드 다이어그램.

도 14는 다른 광 변환기의 개략적인 밴드 다이어그램.

도 15는 다른 광 변환기의 개략적인 밴드 다이어그램.

도 16은 다른 광 변환기의 개략적인 밴드 다이어그램.

도 17은 다른 광 변환기의 개략적인 밴드 다이어그램.

도 18은 광학 구조물의 개략적인 측면도.

도 19는 발광 시스템의 개략적인 측면도.

도 20은 오버코트 굴절률의 함수로서 계산된 퍼센트 추출 효율의 선도.

도 21a 내지 도 21c는 광학 구조물을 제조하기 위한 공정의 중간 스테이지 또는 단계에서의 소자의 개략도.

도 22a는 폴리스티렌 입자의 단일 층의 SEM 이미지.

도 22b는 에칭 및 재유동된 도 22a의 입자의 SEM 이미지.

도 22c는 ZnS로 오버코팅된 도 22b의 입자의 SEM 이미지.

도 23은 광원의 개략적인 측면도.

도 24는 오버코트 굴절률의 함수로서 계산된 퍼센트 추출 효율의 선도.

다수의 도면에 사용된 동일한 도면 부호는 동일하거나 유사한 특성 및 기능을 갖는 동일하거나 유사한 요소를 지칭한다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0015]

본 출원은 반도체 광원 및 하나 이상의 파장 변환기(wavelength converter)를 포함하는 반도체 발광 소자를 개시하며, 여기서 변환기는 반도체 파장 변환기일 수 있다. 본 출원은 또한 광 추출을 향상시키기 위한 구조체를 개시한다.

[0016]

몇몇 개시된 소자는 III-V 족과 같은 동일한 반도체 족으로부터의 광원과 광 변환 층을 갖는다. 이러한 경우, 예를 들어 III-V LED와 같은 III-V 광원 상에서 직접 III-V 파장 변환기를 모노리식(monolithically) 성장시키고 제조하는 것이 실현가능할 수 있다. 그러나, 몇몇 경우에, 원하는 출력 파장, 높은 변환 효율 또는 기타 원하는 특성을 갖는 파장 변환기는 LED가 속한 반도체 족과 상이한 반도체 족으로부터의 것일 수 있다. 이러한 경우에는, 고품질로 하나의 구성요소를 다른 구성요소 상에서 성장시키는 것이 가능하지 않을 수 있거나 실현가능하지 않을 수 있다. 예를 들어, 고효율 파장 변환기는 II-VI 족으로부터의 것일 수 있고, LED와 같은 광원은 III-V 족으로부터의 것일 수 있다. 이러한 경우, 광원에 광 변환기를 부착하기 위한 다양한 방법이 채용될 수 있다. 몇몇 이러한 방법은 2007년 12월 10일자로 출원된 미국 특허 출원 제61/012608호에 기술되어 있다.

[0017]

본 출원에 개시된 파장 변환기는 광원에 의해 방출된 광을 하향 변환한다. 본 명세서에서 사용되는 바와 같이, 하향 변환은 변환된 광의 파장이 변환되지 않은 광 또는 입사 광의 파장보다 큰 것을 의미한다.

[0018]

도 19는 광원(1910), 광 변환 층(1920) 및 광 추출 층(1930)을 포함하는 발광 시스템(1900)의 개략적인 측면도이다. 광원(1910)은 전형적으로 UV 또는 청색 스펙트럼 영역의 제1 파장  $\lambda_1$ 의 광(1915)을 방출한다. 광 변환 층(1920)은 광(1915)의 적어도 일부를 전형적으로 녹색 또는 적색 스펙트럼 영역의 더 긴 제2 파장  $\lambda_2$ 의 광(1925)으로 변환한다. 광 추출 층(1930)은 광 변환 층(1920)으로부터의 광(1925)의 추출을 향상시킴으로써 발광 시스템의 출력 광의 휘도 또는 세기를 개선한다. 예를 들어, 광 추출 층(1930)은, 그렇지 않을 경우 광 변환 층(1920)에 같거나 달리 광 변환 층에 의해 투과되지 않을 광을 추출한다.

[0019]

일반적으로, 광 변환 층(1920)은 제1 파장의 광의 적어도 일부를 제2 파장의 광으로 변환할 수 있는 임의의 요소 또는 재료를 포함할 수 있다. 예를 들어, 층(1920)은 인광체, 형광 염료, 콘쥬게이트된(conjugated) 발광 유기 재료, 예컨대 폴리플루오렌, 축광(photoluminescent) 반도체 층, 반도체 포텐셜 웨, 또는 반도체 양자점(quantum dot)들의 어셈블리나 복수의 반도체 양자점을 포함할 수 있다. 광 변환 층(1920)에 사용될 수 있는 예시적인 인광체는 스트론튬 티오갈레이트, 도핑된 GaN, 구리-활성화된 황화아연, 및 은-활성화된 황화아연을 포함한다. 다른 유용한 인광체는 도핑된 YAG, 실리케이트, 옥시질화규소(silicon oxynitride), 질화규소, 및 알루미네이트 기반 인광체를 포함한다. 이러한 인광체의 예는 Ce:YAG, SrSiON:Eu, SrBaSiO:Eu, SrSiN:Eu, 및 BaSrSiN:Eu를 포함한다.

[0020]

몇몇 경우에, 광 변환 층(1920)은 Ce:YAG 슬래브와 같은 슬래브 인광체를 포함할 수 있다. Ce:YAG 슬래브는, 예를 들어 미국 특허 제7,361,938호에 기술된 바와 같이, 예컨대 상승된 온도 및 압력에서 Ce:YAG 인광체 입자

를 소결하여 실질적으로 광학적으로 투명하고 산란이 없는 슬래브를 형성함으로써 제조될 수 있다.

[0021] 광 추출 층(1930)은 광 변환 층(1920) 상에 직접 배치된 구조화된 층(1940), 및 구조화된 층 상에 배치된 구조화된 오버코트(1950)와 같은 오버코트(1950)를 포함한다. 구조화된 층(1940)은 광 변환 층(1920) 상에 직접 배치된 복수의 구조체를 포함한다. 몇몇 경우에, 오버코트의 외부 표면은 구조화된 층의 외부 표면과 정합한다.

[0022] 몇몇 경우에,  $\lambda_2$ 에서의 구조체의 굴절률은 동일한 파장에서의 광 변환 층(1920) 내의 최외측 층의 굴절률보다 낮다. 저굴절률의 구조화된 층(1940)이 광 변환 층의 출력 표면(1921) 상에 형성될 수 있는데, 예를 들어 출력 표면 상에 포토레지스트(photoresist)를 광패터닝(photopatterning)하는 것과 같이 패터닝함으로써, 또는 출력 표면 상에 나노입자와 같은 입자들의 부분적인 또는 완전한 단층(monolayer) 또는 입자들의 다층(multilayer)을 증착함으로써 형성될 수 있다. 몇몇 경우에, 구조화된 층은, 예를 들어  $\lambda_2$ 에서의 구조화된 층의 굴절률을 낮추기 위해 공기를 포함할 수 있다. 예를 들어, 몇몇 경우에, 구조화된 층은 출력 표면(1921) 상에 중공형(hollow) 구조체 또는 입자를 포함할 수 있다. 공기 또는 공기 포켓을 포함하는 구조화된 층(1940)은, 예를 들어 출력 표면 상에 유기 재료와 같은 재료를 패터닝하고, 패터닝된 재료를 오버코트로 오버코팅하고, 예를 들어 상승된 온도에서 오버코팅된 패터닝된 재료의 일부를 분해함으로써 공기 영역을 형성하도록 이러한 오버코팅된 패터닝된 재료의 일부를 제거함으로써, 출력 표면 상에 형성될 수 있다. 몇몇 경우에, 구조화된 층(1940) 내의 구조체의 굴절률은 구조화된 층에 바로 인접해 있는 광 변환 층(1920) 내의 최외측 층의 굴절률보다 작다.

[0023] 오버코트(1950)는 광 변환 층(1920)으로부터의 광의 추출을 향상시킨다. 몇몇 경우에, 오버코트는 유리질(glassy) 재료 또는 금속 산화물, 예컨대  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{La}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ,  $\text{HfO}_2$ , 실리케이트, 질화규소, 옥시질화규소, 또는 산화인듐주석을 포함할 수 있다. 몇몇 경우에, 오버코트는  $\text{ZnS}$ ,  $\text{ZnSe}$ ,  $\text{ZnO}$  또는 반도체 합금, 예컨대  $\text{ZnS}_{x}\text{Se}_{1-x}$ 를 함유하는 오버코트와 같은 반도체 오버코트일 수 있다. 몇몇 경우에, 오버코트는 콜-겔(sol-gel), 예컨대 치밀화된(densified) 콜-겔일 수 있다. 몇몇 경우에, 오버코트의 굴절률은 구조화된 층에 바로 인접해 있는 광 변환 층(1920) 내의 최외측 층의 굴절률보다 크다.

[0024] 도 1은 광자 에너지  $E_1$ 을 갖는 제1 파장  $\lambda_1$ 의 광을 방출하는 전계발광 소자(electroluminescent device)(110), 및 제1 파장의 광의 적어도 일부를 광자 에너지  $E_2$ 를 갖는 더 긴 제2 파장  $\lambda_2$ 의 광으로 변환하기 위한 반도체 광 변환 구조물(115)을 포함하는 반도체 발광 요소(105)의 개략적인 측면도이다.

[0025] 반도체 광 변환 구조물(115)은 전계발광 소자(110)를 향한 제1 원도우(120), 제1 원도우 상에 배치된 제1 흡수 층(130), 제1 흡수 층 상에 배치된 포텐셜 웨(140), 포텐셜 웨 상에 배치된 제2 흡수 층(131), 제2 흡수 층 상에 배치된 제2 원도우(121), 제2 원도우 상에 직접 배치된 구조화된 층(150), 구조화된 층 상에 배치된 오버코트(160), 및 오버코트 상에 배치되며 반도체 전계발광 요소(105)를 봉지하는 봉지재(170)를 포함한다.

[0026] 일반적으로, 광 변환기(118)는 제1 파장  $\lambda_1$ 의 광의 적어도 일부를 제2 파장  $\lambda_2$ 의 광으로 변환할 수 있는 임의의 요소를 포함할 수 있다. 예를 들어, 광 변환기(118)는 인광체, 형광 염료, 콘쥬게이트된 발광 유기 재료, 예컨대 폴리플루오렌을 포함할 수 있다. 광 변환기(118)에 사용될 수 있는 예시적인 인광체는 스트론튬 티오갈레이트, 도핑된 GaN, 구리-활성화된 황화아연, 및 은-활성화된 황화아연을 포함한다.

[0027] 몇몇 경우에, 층(140)은 포텐셜 웨, 양자 웨, 양자점, 또는 이들 각각의 다수 또는 복수를 포함할 수 있다. 무기 포텐셜 및 양자 웨, 예컨대 무기 반도체 포텐셜 및 양자 웨는 전형적으로, 예를 들어 유기 재료와 비교하여 증가된 광 변환 효율을 가지며, 수분과 같은 환경 요소에 덜 민감하여 신뢰성이 보다 높다. 또한, 무기 포텐셜 및 양자 웨는 더 좁은 출력 스펙트럼을 갖는 경향이 있으며, 그 결과 예를 들어 색역(color gamut)이 개선된다.

[0028] 본 명세서에 사용되는 바와 같이, 포텐셜 웨은 한 차원에서만 캐리어(carrier)를 구속하도록 설계된 다층 반도체 구조의 반도체 층(들)을 의미하며, 여기서 반도체 층(들)은 주변 층보다 낮은 전도대 에너지(conduction band energy) 및/또는 주변 층보다 높은 가전자대 에너지(valence band energy)를 갖는다. 양자 웨은 일반적으로 양자화 효과가 웨에서의 전자-정공 쌍 재결합을 위한 에너지를 증가시키기에 충분히 얇은 포텐셜 웨를 의미한다. 양자 웨는 전형적으로 약 100 nm 이하, 또는 약 10 nm 이하의 두께를 갖는다. 양자점은 전형적으로 약 100 nm 이하, 또는 약 10 nm 이하의 최대 치수를 갖는다.

[0029] 몇몇 경우에, 포텐셜 또는 양자 웨(140)은 전계발광 소자(110)에 의해 방출된 광자의 에너지  $E_1$ 보다 작은 전이 에너지  $E_{\text{pw}}$ 를 갖는 II-VI 반도체 포텐셜 또는 양자 웨를 포함한다. 일반적으로, 포텐셜 또는 양자 웨(140)의 전

이 에너지는 포텐셜 또는 양자 웨이 의해 재방출되는 광자의 에너지  $E_2$ 와 실질적으로 동일하다.

[0030] 몇몇 경우에, 포텐셜 웨(140)은 합금의 3가지 구성성분으로서 화합물 ZnSe, CdSe, 및 MgSe를 갖는 CdMgZnSe 합금을 포함할 수 있다. 몇몇 경우에, Cd, Mg, 및 Zn 중 하나 이상, 특히 Mg가 합금에 없을 수 있다. 예를 들어, 포텐셜 웨(140)은 적색으로 재방출할 수 있는 Cd<sub>0.70</sub>Zn<sub>0.30</sub>Se 양자 웨, 또는 녹색으로 재방출할 수 있는 Cd<sub>0.33</sub>Zn<sub>0.67</sub>Se 양자 웨를 포함할 수 있다. 다른 예로서, 포텐셜 웨(140)은 Cd, Zn, Se, 및 선택적으로 Mg의 합금을 포함할 수 있고, Mg의 경우에 합금 시스템은 Cd(Mg)ZnSe로 나타낼 수 있다. 또 다른 예로서, 포텐셜 웨(140)은 Cd, Mg, Se, 및 선택적으로 Zn의 합금을 포함할 수 있다. 몇몇 경우에, 포텐셜 웨은 ZnSeTe를 포함할 수 있다. 몇몇 경우에, 양자 웨(140)은 약 1 nm 내지 약 100 nm, 또는 약 2 nm 내지 약 35 nm 범위의 두께를 갖는다.

[0031] 일반적으로, 포텐셜 웨(140)은 임의의 전도대 및/또는 가전자대 프로파일을 가질 수 있다. 예시적인 프로파일은, 예를 들어 미국 특허 출원 제60/893804호에 기술되어 있다.

[0032] 몇몇 경우에, 포텐셜 웨(140)은 n-도핑 또는 p-도핑될 수 있으며, 여기서 도핑은 임의의 적합한 방법에 의해 그리고 임의의 적합한 도핀트의 포함에 의해 달성될 수 있다. 몇몇 경우에, 전계발광 소자(110) 및 포텐셜 웨(140)은 2개의 상이한 반도체 층으로부터의 것일 수 있다. 예를 들어, 그러한 경우, 전계발광 소자(110)는 III-V 반도체 소자일 수 있으며, 포텐셜 웨(140)은 II-VI 포텐셜 웨일 수 있다. 몇몇 경우에, 전계발광 소자(110)는 AlGaInN 반도체 합금을 포함할 수 있고, 포텐셜 웨(140)은 Cd(Mg)ZnSe 반도체 합금을 포함할 수 있으며, 팔호 안에 포함된 재료는 선택적 재료이다.

[0033] 일반적으로, 반도체 광 변환 구조물(115)은 하나 이상의 포텐셜 웨를 가질 수 있다. 몇몇 경우에, 구조물(115)은 다수의 포텐셜 웨를 가질 수 있다. 예를 들어, 그러한 경우, 구조물(115)은 적어도 2개의 포텐셜 웨, 또는 적어도 5개의 포텐셜 웨, 또는 적어도 10개의 포텐셜 웨를 가질 수 있다. 몇몇 경우에, 구조물(115)은 상이한 전이 에너지를 갖는, 적어도 2개의 포텐셜 웨, 또는 적어도 3개의 포텐셜 웨, 또는 적어도 4개의 포텐셜 웨를 가질 수 있다.

[0034] 몇몇 경우에, 포텐셜 웨(140)은 실질적으로 제1 파장  $\lambda_1$ 의 광을 흡수한다. 예를 들어, 그러한 경우에, 포텐셜 웨(140)은 제1 파장  $\lambda_1$ 의 광의 적어도 30%, 또는 적어도 40%, 또는 적어도 50%를 흡수한다. 몇몇 경우에, 포텐셜 웨(140)은 실질적으로 제1 파장  $\lambda_1$ 에서 광학적으로 투과성이다. 예를 들어, 그러한 경우에, 포텐셜 웨(140)은 제1 파장  $\lambda_1$ 의 광의 적어도 60%, 또는 적어도 70%, 또는 적어도 80%, 또는 적어도 90%를 투과시킨다.

[0035] 광 흡수 층(130, 131)은 반도체 광 변환 구조물(115)에서 광(180)의 흡수 및 캐리어의 생성을 보조한다. 몇몇 경우에, 광 흡수 층(130, 131)은 광(180)의 적어도 일부를 흡수하고, 그 결과 전자-정공 캐리어와 같은 광-생성 캐리어(photo-generated carrier) 쌍을 생성한다. 캐리어는 광 흡수 층으로부터 포텐셜 웨(140)로 확산하거나 이동하며, 여기서 이들은 재결합하여 제2 파장  $\lambda_2$ 의 광을 방출한다.

[0036] 광 흡수 층(130, 131)은 캐리어의 재결합 및 제2 파장  $\lambda_2$ 의 광의 방출을 위해 광-생성 캐리어가 포텐셜 웨로 효율적으로 확산할 수 있도록 포텐셜 웨에 근접하게 배치된다.

[0037] 몇몇 경우에, 반도체 광 변환 구조물(115) 내의 광 흡수 층은 포텐셜 웨(140)에 바로 인접해 있을 수 있으며, 이는 흡수 층과 포텐셜 웨 사이에 어떠한 개재 층도 배치되지 않음을 의미한다. 예를 들어, 도 1에서, 각각의 제1 및 제2 광 흡수 층(130, 131)은 포텐셜 웨(140)에 바로 인접해 있다. 몇몇 경우에, 반도체 광 변환 구조물(115) 내의 광 흡수 층은 포텐셜 웨(140)에 가깝게 인접해 있을 수 있으며, 이는 하나 또는 몇 개의 개재 층이 흡수 층과 포텐셜 웨 사이에 배치될 수 있음을 의미한다. 예를 들어, 몇몇 경우에, 도 1에 도시되지 않은 하나 이상의 개재 층이 제1 광 흡수 층(130)과 포텐셜 웨(140) 사이에 배치될 수 있다.

[0038] 몇몇 경우에, 광 흡수 층은 무기 반도체, 예컨대 II-VI 반도체와 같은 반도체를 포함할 수 있다. 예를 들어, 하나 이상의 흡수 층(130, 131)은 Cd(Mg)ZnSe 반도체 합금을 포함할 수 있다.

[0039] 몇몇 경우에, 광 흡수 층은 전계발광 소자(110)에 의해 방출된 광자의 에너지  $E_1$ 보다 작은 밴드 갭 에너지  $E_{abs}$ 를 갖는다. 이러한 경우에, 광 흡수 층은 전계발광 소자에 의해 방출되는 광을 흡수할 수 있는데, 예를 들어 강하게 흡수할 수 있다. 몇몇 경우에, 광 흡수 층은 포텐셜 웨(140)의 전이 에너지보다 큰 밴드 갭 에너지를 갖는다. 이러한 경우에, 광 흡수 층은 제2 파장  $\lambda_2$ 에서 포텐셜 웨에 의해 재방출되는 광(181)에 대해 실질적

으로 광학적으로 투명하다.

[0040] 몇몇 경우에, 제2 광 흡수 층(131)과 같은 광 흡수 층은 제2 파장  $\lambda_2$ 에서 방출된 광(181)의 광자 에너지보다 작은 밴드 갭 에너지를 갖는다. 이러한 경우에, 광 흡수 층은 광(181)의 적어도 일부를 흡수할 수 있다. 이러한 경우에, 흡수된 광의 적어도 일부는 더 긴 제3 파장  $\lambda_3$ 의 광으로 하향 변환될 수 있다.

[0041] 몇몇 경우에, 반도체 광 변환 구조물(115) 내의 적어도 하나의 광 흡수 층은 도편트로 도핑된다. 광 흡수 층이 Cd(Mg)ZnSe 합금을 포함할 때와 같은 몇몇 경우에, 도편트는 VII 족 n형 도편트일 수 있다. 몇몇 경우에, 도편트는 염소 또는 요오드를 포함할 수 있다. 몇몇 경우에, 도편트의 수 밀도(number density)는 약  $10^{17} \text{ cm}^{-3}$  내지 약  $10^{18} \text{ cm}^{-3}$  범위이다. 다른 예시적인 도편트는 Al, Ga, In, F, Br, I, 및 N을 포함한다.

[0042] 예시적인 반도체 광 변환 구조물(115)은 2개의 광 흡수 층(130, 131)을 포함한다. 일반적으로, 반도체 광 변환 구조물은 흡수 층을 전혀 갖지 않거나, 하나, 둘, 또는 둘 초과로 가질 수 있다. 몇몇 경우에, 반도체 광 변환 구조물(115)은 상이한 밴드 갭 에너지를 갖는, 적어도 2개, 또는 적어도 3개, 또는 적어도 4개의 광 흡수 층을 가질 수 있다.

[0043] 일반적으로, 광 흡수 층은 대응하는 포텐셜 웨일에 충분히 가깝게 있어서, 광 흡수 층 내의 광-생성 캐리어는 포텐셜 웨일로 확산할 적절한 기회를 갖는다. 반도체 다층 스택이 광 흡수 층을 포함하지 않는 경우에, 포텐셜 웨일(들)은 실질적으로 제1 파장  $\lambda_1$ 의 광을 흡수할 수 있다.

[0044] 제1 및 제2 윈도우(120, 121)는 주로, 흡수 층 및/또는 포텐셜 웨일에서 광-생성되는 전자-정공 쌍과 같은 캐리어가 구조물(115)의 자유 또는 외부 표면으로 이동할 기회가 전혀 없거나 아주 적도록 하는 배리어(barrier)를 제공하도록 설계된다. 예를 들어, 제1 윈도우(120)는 주로 제1 흡수 층(130) 내에 생성된 캐리어가, 이들이 비방사성으로(non-radiatively) 재결합할 수 있는 표면(123)으로 이동하는 것을 방지하도록 설계된다. 몇몇 경우에, 윈도우(120, 121)는 전계발광 소자(110)에 의해 방출된 광자의 에너지  $E_l$ 보다 큰 밴드 갭 에너지  $E_w$ 를 갖는다. 이러한 경우에, 윈도우(120, 121)는 전계발광 소자(110)에 의해 방출된 광 및 포텐셜 웨일(140)에 의해 재방출된 광에 대해 실질적으로 광학적으로 투명하다.

[0045] 예시적인 반도체 광 변환 구조물(115)은 2개의 윈도우를 포함한다. 일반적으로, 광 변환 구조물은 윈도우를 전혀 갖지 않거나, 하나 또는 두 개를 가질 수 있다. 예를 들어, 몇몇 경우에, 반도체 광 변환 구조물(115)은 전계발광 소자(110)와 포텐셜 웨일(140) 사이 또는 전계발광 소자(110)와 흡수 층(130) 사이에 배치된 단일 윈도우를 가질 수 있다.

[0046] 몇몇 경우에, 반도체 광 변환 구조물(115) 내의 2개의 인접한 층들 사이의 계면의 위치는 명확하거나 뚜렷한 계면일 수 있다. 층 내의 재료 조성이 두께 방향에 따른 거리의 함수로서 변할 때와 같은 몇몇 경우에, 2개의 인접한 층들 사이의 계면은 명확하지 않을 수 있으며, 예를 들어 구배형(graded) 영역을 한정하는 구배형 계면일 수 있다. 예를 들어, 몇몇 경우에, 제1 흡수 층(130) 및 제1 윈도우(120)는 동일한 재료 성분을 갖지만 상이한 재료 농도를 가질 수 있다. 이러한 경우에, 흡수 층의 재료 조성은 윈도우 층의 재료 조성으로 점차적으로 변할 수 있어서, 2개 층들 사이의 구배형 계면 또는 영역이 될 수 있다. 예를 들어, 두 층 모두가 Mg를 포함하는 경우, Mg의 농도는 흡수 층에서 윈도우로 점차 이동함에 따라 증가될 수 있다.

[0047] 제2 윈도우(121)는 파장  $\lambda_2$ 를 포함하는 관심 파장 영역에서 굴절률  $n_1$ 을 갖는다. 몇몇 경우에,  $\lambda_1$ 은 UV 또는 청색 파장이고,  $\lambda_2$ 는 약 420 nm 내지 약 650 nm 범위의 가시 파장이다. 이러한 경우에,  $n_1$ 은 스펙트럼의 가시 영역의 굴절률일 수 있다. 몇몇 경우에,  $n_1$ 은 파장  $\lambda_2$  또는 그 부근에서의 굴절률이다.

[0048] 예시적인 반도체 광 변환 구조물(115)에서, 제2 윈도우(121)는 포텐셜 웨일(140) 상에 배치되며, 반도체 광 변환 구조물의 외부 층(121) 및 광 변환기(118)의 최외측 층을 형성한다. 구조화된 층(150)은, 예를 들어  $\lambda_2$ 에서 굴절률  $n_2$ 를 가지며, 외부 층 또는 제2 윈도우(121) 상에 직접 배치된다. 굴절률  $n_2$ 는 제2 윈도우(121)의 굴절률  $n_1$ 보다 작다. 몇몇 경우에,  $n_1$ 과  $n_2$  사이의 차이는 적어도 0.2, 또는 적어도 0.3, 또는 적어도 0.4, 또는 적어도 0.5, 또는 적어도 0.6, 또는 적어도 0.7, 또는 적어도 0.8, 또는 적어도 0.9이다.

[0049] 구조화된 층(150)은 구조체(151 내지 154)와 같은 복수의 구조체를 포함한다. 복수의 구조체 중 일부 구조체는 구조체(151, 152)와 같이 이산되어 있을 수 있다. 일부 구조체는 베이스(155)를 통해 서로 연결되어 있는 구조체이다.

체(153, 154)와 같이 베이스를 통해 연결될 수 있다. 구조화된 층(150)은 제2 윈도우(121)를 노출시키는 개방부(101, 102)와 같은 복수의 개방부를 포함한다.

[0050] 몇몇 경우에, 구조화된 층(150)은 실질적으로 제2 파장  $\lambda_2$ 에서 광학적으로 투명하다. 예를 들어, 그러한 경우, 파장  $\lambda_2$ 에서의 구조화된 층의 총 광학 투과율은 적어도 50%, 또는 적어도 60%, 또는 적어도 70%, 또는 적어도 80%이다.

[0051] 몇몇 경우에, 구조화된 층(150) 내의 복수의 구조체는 구조체들의 규칙적인 어레이를 형성한다. 몇몇 경우에, 구조체들은 제2 윈도우(121)의 상부 표면(125)에 걸쳐 랜덤으로 배치된다. 몇몇 경우에, 구조화된 층(150)은, 예를 들어 와플(waffle) 패턴과 유사하게 구조체들 중 적어도 일부 사이에 개방부를 갖는 상태로 연결되어 있는 복수의 구조체 또는 구조체들의 어레이를 포함하는 연속적인 층이다.

[0052] 몇몇 경우에, 구조화된 층(150) 내의 복수의 구조체는 복수의 이산된 구조체를 형성한다. 예를 들어, 몇몇 경우에, 구조화된 층은 복수의 입자를 포함할 수 있다. 예를 들어, 도 3의 구조화된 층(350)은 입자(351, 352)와 같은 복수의 입자를 갖는다. 몇몇 경우에, 입자는 실질적으로 마이크로입자 또는 나노입자이다. 예를 들어, 그러한 경우에, 입자의 평균 크기는 2000 nm 이하, 또는 1500 nm 이하, 또는 1000 nm 이하, 또는 750 nm 이하이다. 구조화된 층(350) 내의 입자들은 임의의 규칙적이거나 불규칙적인 형상과 같은 임의의 형상을 가질 수 있다.

[0053] 몇몇 경우에, 도 1의 구조화된 층(150)은 입자들의 상당한 분율이 실질적으로 구형인 복수의 입자를 포함한다. 예를 들어, 그러한 경우에, 입자의 최소 치수에 대한 최대 치수의 비는 1.3 이하, 또는 1.25 이하, 또는 1.2 이하, 또는 1.15 이하, 또는 1.1 이하이다.

[0054] 몇몇 경우에, 구조화된 층(150)은 패터닝 가능한 또는 광패터닝 가능한 유기 재료 또는 중합체, 예컨대 포토레지스트와 같은 유기 재료를 포함할 수 있다. 몇몇 경우에, 구조화된 층(150)은 폴리스티렌, 예컨대 폴리스티렌 미소구체(microsphere)를 포함할 수 있다. 몇몇 경우에, 구조화된 층(150)은 무기 재료, 예컨대 금속 산화물 또는 유리를 포함할 수 있다. 무기 재료의 예는 SiO<sub>2</sub>, GeO<sub>2</sub>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MgF<sub>2</sub>, 및 실리케이트 유리를 포함한다.

[0055] 몇몇 경우에, 구조화된 층(150)은 상부 표면(125)에 걸쳐 조밀하게 패킹된(closely packed) 단일 구조체 또는 구조체들의 단층을 포함할 수 있다. 몇몇 경우에, 구조화된 층(150)은 구조체들의 서브-단층(sub-monolayer)을 포함할 수 있으며, 이는 구조체들이 조밀하게 패킹되지 않고, 그리고/또는 구조체를 전혀 포함하지 않거나 아주 적게 포함하는, 구조체의 공칭 또는 평균 크기보다 상당히 큰 영역이 있음을 의미한다. 이러한 경우에, 서브-단층 구조화된 층(150)의 개방 영역은 단일 입자와 같은 단일 구조체의 평균 크기보다 상당히 클 수 있다.

[0056] 몇몇 경우에, 구조화된 층(150)은 구조체들의 다층을 포함할 수 있다. 예를 들어, 도 4는 입자들(451)의 다층을 포함하는, 제2 윈도우(121) 상에 직접 배치된 구조화된 층(450)의 개략적인 측면도이다. 구조화된 층은 연속적인 오버코트(460)로 코팅되고, 봉지재(470)가 오버코트를 덮는다.

[0057] 구조화된 오버코트(160)는 적어도 구조화된 층(150)의 일부분 및 구조화된 층(150) 내의 개방부를 통해 윈도우가 노출되어 있는 영역 내의 제2 윈도우(121)의 일부분 상에 직접 배치된다. 오버코트(160)는, 예를 들어 제2 굴절률  $n_2$ 보다 큰 파장  $\lambda_2$ 에서의 제3 굴절률  $n_3$ 를 갖는다. 몇몇 경우에,  $n_3$ 는  $n_1$ 보다 작다. 몇몇 경우에,  $n_3$ 는  $n_1$ 보다 크다. 몇몇 경우에,  $n_3$ 와  $n_2$  사이의 차이는 적어도 0.2, 또는 적어도 0.3, 또는 적어도 0.4, 또는 적어도 0.5, 또는 적어도 0.6, 또는 적어도 0.7 또는 적어도 0.8, 또는 적어도 0.9이다.

[0058] 몇몇 경우에, 오버코트(160)는, 그렇지 않을 경우 제2 윈도우의 표면(125)에서 내부 전반사될 광(181)을 추출할 수 있다. 이러한 경우에, 오버코트는 반도체 광 변환 구조물(115)로부터의 제2 파장  $\lambda_2$ 의 광(181)의 추출을 향상시킨다.

[0059] 몇몇 경우에, 구조화된 오버코트(160)의 외부 표면(162)은 구조화된 층(150)의 외부 표면(161)과 실질적으로 정합한다. 예를 들어, 몇몇 경우에, 오버코트(160)는 진공 증착 기술을 사용하여 구조화된 층(150) 상에 배치될 수 있다. 이러한 경우에, 외부 표면(162)은 외부 표면(161)과 정합할 수 있다. 몇몇 경우에, 구조화된 오버코트의 평균 두께는 구조화된 층(150) 내의 구조체의 평균 크기보다 크지 않다. 몇몇 경우에, 오버코트(160)의 평균 두께는 1000 nm 이하, 또는 800 nm 이하, 또는 700 nm 이하, 또는 600 nm 이하, 또는 500 nm 이하, 또는 400 nm 이하이다.

- [0060] 몇몇 경우에, 오버코트(160)는 실질적으로 제2 파장  $\lambda_2$ 에서 광학적으로 투명하다. 예를 들어, 그러한 경우에, 파장  $\lambda_2$ 에서의 오버코트의 총 광학 투과율은 적어도 50%, 또는 적어도 60%, 또는 적어도 70%, 또는 적어도 80%이다.
- [0061] 몇몇 경우에, 오버코트(160)는, 예를 들어 하나 이상의 섬(island)을 포함함으로써, 불연속적인 층일 수 있다. 예를 들어, 도 2에서, 구조화된 층(250)은 제2 윈도우(121) 상에 직접 배치되고, 구조체(251, 252)들 사이에 개방부(255)를 한정한다. 오버코트(260)는 구조화된 층(250) 상에 그리고 개방 영역에서는 제2 윈도우(121) 상에 직접 배치되어, 개방 및 노출된 영역(255) 내에 섬(261)을 형성한다. 몇몇 경우에, 오버코트(160)는 연속적인 층일 수 있다. 예를 들어, 도 3에서, 구조화된 층(350) 상에 직접 배치된 오버코트(360)는 연속적인 층을 형성한다.
- [0062] 몇몇 경우에, 오버코트(160)는 반도체, 금속 산화물, 또는 세라믹을 포함할 수 있다. 몇몇 경우에, 오버코트는  $\text{Si}_3\text{N}_4$ , 옥시질화규소, 실리케이트,  $\text{ZnS}$ ,  $\text{ZnSe}$ ,  $\text{ZnTe}$ ,  $\text{ZnSSe}$ ,  $\text{ZnSeTe}$ ,  $\text{ZnSTe}$ ,  $\text{CdS}$ ,  $\text{CdSe}$ ,  $\text{CdSSe}$ , ITO,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ , 및  $\text{HfO}_2$  중 적어도 하나를 포함할 수 있다.
- [0063] 봉지재(170)는 오버코트(160) 상에 배치되어, 반도체 발광 요소(105)를 봉지하며, 요소를 예를 들어 환경의 수분으로부터 보호한다. 몇몇 경우에, 봉지재는, 예를 들어 광(181)이 반도체 발광 요소를 빠져나갈 때 이 광을 시준하기 위한 광학 파워(optical power)와 같은 광학 기능을 가질 수 있다.
- [0064] 전계발광 소자(110)는 전기 신호에 응답하여 광을 방출할 수 있는 임의의 소자일 수 있다. 예를 들어, 전계발광 소자는 전류에 응답하여 광자를 방출할 수 있는 발광 다이오드(LED) 또는 레이저 다이오드일 수 있다. LED 전계발광 소자(110)는 소정 응용에서 바람직할 수 있는 임의의 파장의 광을 방출할 수 있다. 예를 들어, LED는 UV 파장, 가시 파장, 또는 IR 파장의 광을 방출할 수 있다. 몇몇 경우에, LED는 UV 광자를 방출할 수 있는 단파장 LED일 수 있다. 일반적으로, LED는 유기 반도체 또는 무기 반도체 - IV 족 원소, 예컨대 Si 또는 Ge; III-V 화합물, 예컨대 InAs, AlAs, GaAs, InP, AlP, GaP, InSb, AlSb, GaSb, GaN, AlN, InN 및 III-V 화합물의 합금, 예컨대 AlGaInP 및 AlGaInN; II-VI 화합물, 예컨대 ZnSe, CdSe, BeSe, MgSe, ZnTe, CdTe, BeTe, MgTe, ZnS, CdS, BeS, MgS 및 II-VI 화합물의 합금, 또는 상기 열거한 임의의 화합물들의 합금을 포함함 - 와 같은 임의의 적합한 재료로 구성될 수 있다.
- [0065] 몇몇 경우에, 전계발광 소자(110)는 하나 이상의 p형 및/또는 n형 반도체 층, 하나 이상의 포텐셜 및/또는 양자웰을 포함할 수 있는 하나 이상의 활성 층, 베퍼 층, 기판 층, 및 덮개 층(superstrate layer)을 포함할 수 있다. 몇몇 경우에, 전계발광 소자(110)는 III-V LED와 같은 III-V 반도체 광원일 수 있고, AlGaInN 반도체 합금을 포함할 수 있다. 예를 들어, 전계발광 소자(110)는 GaN 기반 LED일 수 있다. 다른 예로서, 전계발광 소자(110)는 ZnO 기반 LED와 같은 II-VI LED일 수 있다.
- [0066] 개시된 구성들의 이점들 중 일부는 하기의 실시예에 의해 추가로 예시된다. 이러한 실시예에 언급된 특정 재료, 양 및 치수뿐만 아니라 다른 조건 및 상세 사항은 본 발명을 과도하게 제한하는 것으로 해석되어서는 안 된다.
- [0067] 실시예 1:
- [0068] 도 1의 광 변환기(118)와 유사한 반도체 광 변환 구조물을 제조하였다. 여러 층들에 대한 상대적인 층 순서와 재료 조성 및 두께의 추정 값이 표 I에 요약되어 있다.

[0069]

[표 I]

실시예 1의 구조물 내의 다양한 층의 상세 사항:

층 번호	재료	두께 (Å)	설명
1	InP	-	기판
2	Ga <sub>0.47</sub> In <sub>0.53</sub> As	2000	버퍼
3	Cd <sub>0.37</sub> Mg <sub>0.22</sub> Zn <sub>0.41</sub> Se	10924	흡수기
4	Cd <sub>0.47</sub> Zn <sub>0.53</sub> Se	20	양자 웨
5	Cd <sub>0.37</sub> Mg <sub>0.22</sub> Zn <sub>0.41</sub> Se	1178	흡수기
6	Cd <sub>0.47</sub> Zn <sub>0.53</sub> Se	20	양자 웨
7	Cd <sub>0.37</sub> Mg <sub>0.22</sub> Zn <sub>0.41</sub> Se	1178	흡수기
8	Cd <sub>0.47</sub> Zn <sub>0.53</sub> Se	20	양자 웨
9	Cd <sub>0.37</sub> Mg <sub>0.22</sub> Zn <sub>0.41</sub> Se	1178	흡수기
10	Cd <sub>0.47</sub> Zn <sub>0.53</sub> Se	20	양자 웨
11	Cd <sub>0.37</sub> Mg <sub>0.22</sub> Zn <sub>0.41</sub> Se	589	흡수기
12	흡수기 층: Cd <sub>0.37</sub> Mg <sub>0.22</sub> Zn <sub>0.41</sub> Se 원도우 층: Cd <sub>0.32</sub> Mg <sub>0.44</sub> Zn <sub>0.34</sub> Se	2500	구배 층
13	Cd <sub>0.32</sub> Mg <sub>0.44</sub> Zn <sub>0.34</sub> Se	5000	원도우

[0070]

II-VI 성장을 위한 표면을 제조하기 위해 먼저 GaInAs 버퍼 층을 분자 범 에피택시(molecular beam epitaxy, MBE)에 의해 InP 기판 상에 성장시켰다. 그 다음, 광 변환을 위한 II-VI 에피택셜 층(epitaxial layer)의 성장을 위해 구조물을 초-고진공 전자 시스템(ultra-high vacuum transfer system)을 통해 다른 MBE 챕버로 이동시켰다. 변환기(118)는 4개의 CdZnSe 양자 웨(140)을 포함하였다. 각각의 양자 웨(140)을 GaInN 기반 레이저 다이오드에 의해 방출된 440 nm의 청색 광을 흡수할 수 있는 CdMgZnSe 흡수 층(130, 131)들 사이에 개재시켰다.

[0072]

구조물을 유리 현미경 슬라이드에 접착식으로 부착시킨 후에 3HCl:1H<sub>2</sub>O 용액을 이용해 InP 기판을 제거하였다. 에칭제는 GaInAs 버퍼 층(총 #2)에서 정지하였다. 그 후, 버퍼 층을 30 ml 수산화암모늄(30 중량%), 5 ml 과산화수소(30 중량%), 40g 아디프산, 및 200 ml 물의 교반된 용액 내에서 제거하여, 현미경 슬라이드에 부착된 II-VI 광 변환기(118)만을 남겨 두었다.

[0073]

실시예 2:

[0074]

실시예 1에서 제조한 구조물의 외부 양자 효율(external quantum efficiency, EQE)을, 이 구조물이  $\lambda_{in} = 440$  nm에서 청색 광을 방출하는 레이저 다이오드에 의해 구조물의 원도우측으로부터 조명될 때 계산하였다. 측정된 재방출된 파장은  $\lambda_{out} = 539$  nm였다. 식  $(P_{out}/P_{in}) \times (\lambda_{in}/\lambda_{out})$ 으로부터 EQE를 계산하였으며, 여기서  $P_{in}$ 은 입사 파워였고,  $P_{out}$ 은 구조물에서 출사하는 변환된 광의 출력 파워였다. 계산된 EQE는 23%였다.

[0075]

실시예 3:

[0076]

실시예 1에서 제조한 구조물의 흡수기측을 SiO<sub>2</sub> 나노입자로 코팅하여, 구조화된 층(150)과 유사한 구조화된 층으로 형성하였다. 입자는 약 440 nm의 평균 직경을 가졌으며, 낫산 케미칼 아메리카 코포레이션(Nissan Chemical America Corporation)(미국 텍사스주 휴스턴)으로부터 입수하였다. 입자를 5 중량% 고형물 함량으로 1-메톡시-2-프로판올 중에 분산시켰다. 딥 코팅(dip coating) 방법을 사용하여 약 65 nm/분의 속도로 용액을 구조물 상에 코팅하였다. 하나의 이러한 샘플(샘플 A)을 단일 회 딥 코팅하였다. 두 번째 이러한 샘플(샘플 B)은 다수 회 딥 코팅하였다. 도 5a 및 도 5b는 각각 샘플 A 및 샘플 B의 측면 주사 전자 현미경(scanning electron microscope, SEM) 이미지이다. 실시예 2에 약술한 방법을 사용하면, 샘플 A 및 샘플 B의 EQE는 각각 30.7% 및 38.2%로 계산되었다.

[0077]

실시예 4:

[0078]

실시예 3으로부터의 샘플 A 및 샘플 B를 플라즈마 화학 기상 증착(plasma enhanced chemical vapor deposition, PECVD) 공정을 사용해 Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 오버코트로 코팅하여, 각각 오버코팅된 샘플 A<sub>1</sub> 및 샘플 B<sub>1</sub>을 형성하였다. 오버코트의 두께는 약 300 nm였고, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub>의 굴절률은 약 1.8이었다. 도 6a 및 도 6b는 각각 오버코팅된 샘플 A<sub>1</sub> 및 샘플 B<sub>1</sub>의 측면 SEM 이미지이다. 실시예 2에 약술한 방법을 사용하면, 샘플 A<sub>1</sub> 및 샘플 B<sub>1</sub>의 EQE는 각각 41.2% 및 41.5%로 계산되었다. 단일-딥 입자 코팅된 샘플의 경우, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 오버코트의 추가는 EQE를 30.7%에서 41.2%로 증가시켰으며, 이는 약 34%의 증가이다. 다중-딥 입자 코팅된 샘플의 경우, Si<sub>3</sub>N<sub>4</sub> 오버코트의 추가는 EQE를 38.2%에서 41.5%로 증가시켰으며, 이는 약 8.6%의 증가이다.

[0079] 실시예 5:

[0080] 실시예 3에 약술한 공정을 반복하여 새로운 샘플 C(단일 딥)를 제조하였다. 실시예 2에 약술한 방법을 사용하면, 샘플 C의 계산된 EQE는 33.45%였다.

[0081] 다음으로, 샘플 C를 진공 승화 공정을 사용해 ZnS로 오버코팅하여, 오버코팅된 샘플 C<sub>1</sub>을 형성하였다. 오버코트의 두께는 약 400 nm였고, ZnS 오버코트의 굴절률은 2.4인 것으로 추정되었다. 도 7은 샘플 C<sub>1</sub>의 측면 SEM 이미지이다. 실시예 2에 약술한 방법을 사용하면, 샘플 C<sub>1</sub>의 계산된 EQE는 45.13%였다. 따라서, ZnS 오버코트의 추가는 EQE를 33.45%에서 45.13%로 증가시켰으며, 이는 약 34.9%의 증가이다.

[0082] 실시예 6:

[0083] 실시예 1에 약술한 공정을 반복하여 새로운 샘플 D<sub>1</sub> 내지 샘플 D<sub>4</sub>를 제조하였다. 실시예 2에 약술한 방법을 사용하면, 샘플 D<sub>1</sub> 내지 샘플 D<sub>4</sub>의 계산된 EQE는 각각 22.1%, 19.93%, 21.25% 및 25.7%였다. 다음으로, 실시예 3에 약술한 공정을 사용하여, 샘플들을 상이한 딥핑 속도에서 SiO<sub>2</sub> 입자들의 단층으로 코팅하였다. 샘플 D<sub>1</sub> 내지 샘플 D<sub>4</sub>에 대한 그 결과의 추정된 면적 피복율은 각각 30%, 40%, 50% 및 70%였다. 생성된 샘플들에 대한 계산된 EQE는 각각 29.47%, 33.45%, 31.76% 및 41.5%였다. 따라서, SiO<sub>2</sub> 입자의 추가는 샘플 D<sub>1</sub> 내지 샘플 D<sub>4</sub>의 EQE를 각각 33%, 68%, 49% 및 61%만큼 증가시켰다.

[0084] 도 8은 광자 에너지 E<sub>1</sub>을 갖는 제1 파장 λ<sub>1</sub>의 광(850)을 방출하는 LED와 같은 광원(810), 및 제1 파장의 광의 적어도 일부를 광자 에너지 E<sub>2</sub>를 갖는 λ<sub>2</sub>의 광으로 변환하기 위한 반도체 광 변환 구조물(815)을 포함하는 발광시스템(800)의 개략적인 측면도이다.

[0085] 반도체 광 변환 구조물(815)은 광 변환기(818), 구조물(818) 상에 직접 배치된 구조화된 층(150), 및 구조화된 층 상에 배치된 구조화된 오버코트(160)와 같은 오버코트(160)를 포함한다.

[0086] 광 변환기(818)는 광원(810)을 향한 제1 윈도우(120); 각각 제1, 제2, 제3 및 제4 포텐셜 웨(840, 841, 842, 843); 4개의 포텐셜 웨를 둘러싸는 각각 제1, 제2, 제3, 제4, 및 제5 광 흡수 층(830, 831, 832, 833, 834); 및 보조 광 흡수 층(870)을 포함한다.

[0087] 광 흡수 층(830 내지 834)은 광 흡수 층(130, 131)과 유사하고, 광(850)의 적어도 일부를 흡수하여, 그 결과 광-생성 전자-정공 쌍과 같은 광-생성 캐리어를 생성하며, 이는 광 흡수 층으로부터 포텐셜 웨(840 내지 843)로 확산하거나 이동하고, 여기서 이들은 재결합하여 제2 파장 λ<sub>2</sub>의 광을 방출한다. 광 흡수 층(830 내지 834)은 캐리어의 재결합 및 제2 파장 λ<sub>2</sub>의 광(852)의 방출을 위해 광-생성 캐리어가 포텐셜 웨로 효율적으로 확산할 수 있도록 포텐셜 웨에 근접하게 배치된다. 몇몇 경우에, 광 흡수 층(830 내지 834)은 예를 들어 제2 파장에서 포텐셜 웨(840 내지 843)보다 낮은 굴절률을 갖는다.

[0088] 몇몇 경우에, 광(850)의 일부는 흡수 층(830 내지 834) 및/또는 포텐셜 웨(840 내지 843)에 의해 흡수되지 않고, 흡수 층 및 포텐셜 웨에 의해 광(851)으로서 투과된다. 예를 들어, 몇몇 경우에, 방출된 광(850)은 도 9에 개략적으로 도시된 세기 스펙트럼(910)을 가질 수 있으며, 여기서 수평 축은 파장이고 수직 축은 임의 단위의 세기이다. 이러한 경우에, 파장 λ<sub>1</sub>은 피크 세기 I<sub>0</sub>를 갖는 피크 방출 파장일 수 있고, 광 흡수 층(830 내지 834)의 밴드 캡 파장은 예를 들어 λ<sub>1</sub>보다 충분히 큰 λ<sub>abs</sub>일 수 있어서, 광(850)의 상당 부분이 흡수 층에 의해 흡수된다. 몇몇 경우에, 포텐셜 웨로 확산하는 광-생성 캐리어 쌍에 대해 상승된 온도에서도 충분한 구속을 제공하도록 λ<sub>abs</sub>는 충분히 작다. 이러한 경우에, 대체로 도 9의 λ<sub>abs</sub>의 오른쪽에 위치되어 있는 스펙트럼(910)의 밀단부에 대응하는 광(850)의 일부는 광 흡수 층(830 내지 834) 및/또는 포텐셜 웨(840 내지 843)에 의해 흡수되지 않고, 제1 파장의 광(851)으로서 광 흡수 층 및 포텐셜 웨에 의해 투과된다. 이러한 경우에, 보조 광 흡수 층(870)은 다른 층들에 의해 흡수되지 않은 잔여 또는 나머지 광(851)을 흡수할 수 있다. 몇몇 경우에, 보조 광 흡수 층(870)의 밴드 캡 파장 λ<sub>1b</sub>는 λ<sub>abs</sub>보다 충분히 커서, 본질적으로 모든 광(851)이 보조 광 흡수 층에 의해 흡수된다. 이러한 경우에, 발광 시스템(800)의 출력 광(860)은 본질적으로 λ<sub>2</sub>에 있으며, λ<sub>1</sub>의 광의 함량이 전혀 없거나 아주 적다. 이러한 경우에, 보조 광 흡수 층의 밴드 캡 에너지 E<sub>1b</sub>는 광 흡수 층(830 내지 834)의 밴드 캡 에너지 E<sub>abs</sub>보다 작다. 예를 들어, 도 10은 더 작은 E<sub>1b</sub>와 더 큰 E<sub>abs</sub>를 도시하는, 도 8로부터의

광 변환기(818)의 개략적인 밴드 다이어그램(band diagram)이다. 도 10에서,  $E_c$  및  $E_v$ 는 각각 전도대 및 가전 자대를 나타낸다. 출력 광(860)의 광 세기를 최적화하는 것이 바람직한 때와 같은 몇몇 경우에, 보조 광 흡수 층의 밴드 캡 에너지  $E_{lb}$ 는 도 10에 도시된 바와 같이 포텐셜 웨(840 내지 843)의 전이 에너지  $E_{pw}$ 보다 크다. 이러한 경우에,  $E_{lb}$ 는  $\lambda_2$ 에서의 광자의 에너지  $E_2$ 보다 크다.

[0089] 보조 광 흡수 층(870)의 밴드 캡 에너지가 제5 흡수 층(834)의 밴드 캡 에너지  $E_{abs}$ 보다 작을 때와 같은 몇몇 경우에, 파장  $\lambda_2$ 에서의 보조 광 흡수 층(870)의 굴절률은 광 흡수 층(834)의 굴절률보다 크다. 이러한 경우에, 광 변환기(818) 내에서 도파되거나 간하는  $\lambda_2$ 에서의 광학 모드의 전기장은 구조화된 층(150)을 향해 이동한다. 이는 광학 모드의 순간적인 말단을 구조화된 층(150) 및/또는 오버코트(160)로 추가로 확장시킬 수 있으며, 이어서 구조화된 층 및 오버코트에 의해 광(852)의 추출을 향상시키게 된다.

[0090] 몇몇 경우에, 펌프 광원(810)(도 8 및 도 9 참조)은 제1 파장  $\lambda_d$  및 더 긴 제2 파장  $\lambda_e$ 의 광을 방출한다. 제1 파장은, 몇몇 경우에, 펌프 광원의 피크 방출 파장  $\lambda_1$ 일 수 있다. 광 흡수 층(830 내지 834)은 파장  $\lambda_d$ 의 광을 흡수할 수 있다. 그러나, 광 흡수 층은 파장  $\lambda_e$ 의 광을 흡수할 수 없는데, 이는  $\lambda_e$ 는 광 흡수 층의 밴드 캡 파장  $\lambda_{abs}$ 보다 길기 때문이다. 몇몇 경우에, 광 흡수 층은 광(850)의 상당 부분을 흡수할 수 있다. 예를 들어, 그러한 경우에, 광 흡수 층은 광(850)의 적어도 80%, 또는 적어도 85%, 또는 적어도 90%, 또는 적어도 95%를 흡수할 수 있다. 포텐셜 웨(840 내지 843)은 광 흡수 층에 의해 흡수된 광의 적어도 일부를 더 긴 파장의 출력 광(860)으로 변환한다. 보조 광 흡수 층(870)은 제1 파장  $\lambda_d$  및 제2 파장  $\lambda_e$ 의 광을 흡수할 수 있고, 광원(810)에 의해 방출된 나머지 광을 흡수한다.

[0091] 몇몇 경우에, 반도체 광 변환 구조물(815)은 보조 광 흡수 층(870)으로부터 광을 추출하도록 구조화된 층(150) 및 오버코트(160) 내의 구조체 이외의 또는 이에 추가되는 수단을 포함할 수 있다. 예를 들어, 광은 보조 광 흡수 층의 상부 표면을 패터닝 또는 텍스처화(texturing), 예를 들어 조화(roughening)함으로써 추출될 수 있다. 다른 예로서, 광은 보조 광 흡수 층의 외부 표면 상에 광자 결정을 형성함으로써 추출될 수 있다. 예시적인 광자 결정은, 예를 들어 미국 특허 제6,987,288호 및 제7,161,188호에 기술되어 있다. 몇몇 경우에, 광은 보조 광 흡수 층의 출력 표면 상에 광학 요소를 형성함으로써 추출될 수 있으며, 여기서 광학 요소는 임의의 요소일 수 있고, 그렇지 않을 경우 예를 들어 내부 전반사로 인해 보조 광 흡수 층을 빠져나가지 못할 광의 적어도 일부를 추출할 수 있는 임의의 형상을 가질 수 있다. 예시적인 광 추출기는, 예를 들어 공동 소유의 미국 특허 공개 제2007/0284565호; 2006년 11월 17일자로 출원된 공동 소유의 미국 특허 출원 제60/866,265호; 및 2006년 6월 12일자로 출원된 공동 소유의 미국 특허 출원 제60/804,544호에 기술되어 있다.

[0092] 몇몇 경우에, 광 흡수 층(834)과 보조 광 흡수 층(870) 중 적어도 하나는 구배형 재료일 수 있다. 이러한 경우, 흡수 층의 두께 방향에 따른 적어도 하나의 위치에서 보조 광 흡수 층(870)의 밴드 캡 에너지  $E_{lb}$ 는 광 흡수 층(834)의 최소 밴드 캡 에너지보다 작다. 예를 들어, 도 11은 일정한 밴드 캡 에너지  $E_{abs}$ 를 갖는 광 흡수 층(1120) 및 선형 구배형 보조 광 흡수 층(1130)을 포함하는 광 변환기(1100)의 개략적인 밴드 다이어그램이다. 위치 "X"에서 보조 광 흡수 층(870)의 밴드 캡 에너지  $E_{lb}$ 는 광 흡수 층(834)의 밴드 캡 에너지  $E_{abs}$ 보다 작다. 몇몇 경우에, 층의 두께 방향에 따른 적어도 하나의 위치에서  $\lambda_2$ 에서의 보조 광 흡수 층(870)의 굴절률은  $\lambda_2$ 에서의 광 흡수 층(834)의 최대 굴절률보다 크다.

[0093] 일반적으로, 광 변환기(818) 내의 보조 광 흡수 층(870) 및 광 흡수 층(830 내지 834)과 같은 광 흡수 층은 소정 응용에서 실현가능하고 그리고/또는 바람직할 수 있는 임의의 형상의 밴드 다이어그램을 가질 수 있다. 예를 들어, 도 12는 포텐셜 웨(1210), 일정한 밴드 캡 에너지  $E_{abs}$ 를 갖는 광 흡수 층(1220), 및 선형 구배형 밴드 캡을 갖는 보조 광 흡수 층(1230)을 포함하는, 광 변환기(818)와 유사한 광 변환기(1218)의 개략적인 밴드 다이어그램이다. 위치 "X"에서 보조 광 흡수 층(1230)의 밴드 캡 에너지  $E_{lb}$ 는  $E_{abs}$ 보다 작고 포텐셜 웨(1210)의 전이 에너지  $E_{tr}$ 보다 크다.

[0094] 다른 예로서, 도 13은 포텐셜 웨(1310), 일정한 밴드 캡 에너지  $E_{abs}$ 를 갖는 광 흡수 층(1320), 및 내장된 포텐셜 또는 양자 웨(1360)을 포함하는 일정한 밴드 캡 에너지  $E_{lb}$ 를 갖는 보조 광 흡수 층(1330)을 포함하는 광 변환기(1318)의 개략적인 밴드 다이어그램이다. 밴드 캡 에너지  $E_{lb}$ 는  $E_{abs}$ 보다 작고 포텐셜 웨(1310)의 전이 에너

지  $E_{tr}$ 보다 크다. 또 다른 예로서, 도 14는 포텐셜 웨(1410), 일정한 밴드 캡 에너지  $E_{abs}$ 를 갖는 광 흡수 층(1420), 및 포텐셜 또는 양자 웨(1460)을 포함하는 곡선형 밴드 다이어그램을 갖는 보조 광 흡수 층(1430)을 포함하는 광 변환기(1418)의 개략적인 밴드 다이어그램이다. 보조 광 흡수 층은 위치 "X"에서,  $E_{abs}$ 보다 작고 포텐셜 웨(1410)의 전이 에너지  $E_{tr}$ 보다 큰 밴드 캡 에너지  $E_{lb}$ 를 갖는다.

[0095]

몇몇 경우에, 도 8의 광 변환기 층(818)은, 광-생성 캐리어가 예를 들어 광 변환기의 외부 표면 또는 내부 영역으로 이동하거나 확산하는 것을 방지하기 위해, 원도우(120)와 같은 또는 원도우에 더하여 하나 이상의 캐리어 차단 층을 포함할 수 있다. 예를 들어, 도 15는 포텐셜 웨(1510), 일정한 밴드 캡 에너지  $E_{abs}$ 를 갖는 광 흡수 층(1520), 일정한 밴드 캡 에너지  $E_{lb}$ 를 갖는 보조 광 흡수 층(1530), 및 층(1520, 1530)들 사이에 배치되며 광 흡수 층(1520) 내의 캐리어가 보조 광 흡수 층(1530)으로 이동, 예를 들어 확산하는 것을 차단하기 위한, 일정한 밴드 캡 에너지  $E_{cb}$ 를 갖는 캐리어 배리어 층(1540)을 포함하는 광 변환기(1518)의 개략적인 밴드 다이어그램이다. 밴드 캡 에너지  $E_{lb}$ 는  $E_{abs}$ 보다 작고 포텐셜 웨(1510)의 전이 에너지  $E_{tr}$ 보다 크다. 다른 예로서, 도 16은 포텐셜 웨(1610), 일정한 밴드 캡 에너지  $E_{abs}$ 를 갖는 광 흡수 층(1620), 및 보조 광 흡수 층(1630)과, 예를 들어 포텐셜 웨(1610) 및 광 흡수 층(1620) 내의 캐리어가 보조 광 흡수 층(1630)으로 이동하는 것을 차단하기 위한 캐리어 배리어 층(1640)을 포함하는 선형 구배형 영역(1670)을 포함하는 광 변환기(1618)의 개략적인 밴드 다이어그램이다. 위치 "X"에서 보조 광 흡수기의 밴드 캡 에너지  $E_{lb}$ 는  $E_{abs}$ 보다 작고 포텐셜 웨(1610)의 전이 에너지  $E_{tr}$ 보다 크다. 또 다른 예로서, 도 17은 포텐셜 웨(1710), 일정한 밴드 캡 에너지  $E_{abs}$ 를 갖는 광 흡수 층(1720), 및 보조 광 흡수 층(1730)과, 예를 들어 광 흡수 층(1720) 및/또는 보조 광 흡수 층(1730) 내의 캐리어가 예를 들어 도면에는 명확하게 도시되지 않은 광 변환기(1718)의 출력 표면으로 이동하는 것을 차단하기 위한 캐리어 배리어 층 또는 원도우(1740)를 포함하는 비-선형 구배형 영역(1770)을 포함하는 광 변환기(1718)의 개략적인 밴드 다이어그램이다. 위치 "X"에서 보조 광 흡수기의 밴드 캡 에너지  $E_{lb}$ 는  $E_{abs}$ 보다 작고 포텐셜 웨(1710)의 전이 에너지  $E_{tr}$ 보다 크다.

[0096]

실시예 7:

[0097]

도 1의 광 변환기(118)와 유사한 반도체 광 변환 구조물을 제조하였다. 여러 층들에 대한 상대적인 층 순서와 재료 조성, 두께, 벌크 밴드 캡 에너지, 및 굴절률의 추정 값이 표 II에 요약되어 있다.

[0098]

[표 II]

실시예 6의 구조물 내의 다양한 층의 상세 사항:

층 번호	재료	두께 ( $\text{\AA}$ )	밴드 캡 (eV)	굴절률	설명
1	InP	-	-	-	기판
2	Ga <sub>0.47</sub> In <sub>0.53</sub> As	2000	0.77	-	버퍼
3	Cd <sub>0.38</sub> Mg <sub>0.21</sub> Zn <sub>0.41</sub> Se:Cl	5600	2.49	2.64	보조 흡수기
4	보조 흡수기 층: Cd <sub>0.31</sub> Mg <sub>0.21</sub> Zn <sub>0.41</sub> Se:Cl 흡수기 층: Cd <sub>0.33</sub> Mg <sub>0.26</sub> Zn <sub>0.39</sub> Se:Cl	500	2.49 – 2.578	2.59	구배 층
5	Cd <sub>0.31</sub> Mg <sub>0.26</sub> Zn <sub>0.39</sub> Se:Cl	4880	2.578	2.59	흡수기
6	Cd <sub>0.47</sub> Zn <sub>0.53</sub> Se	20	2.15	2.69	양자 웨
7	Cd <sub>0.35</sub> Mg <sub>0.26</sub> Zn <sub>0.39</sub> Se:Cl	1180	2.578	2.59	흡수기
8	Cd <sub>0.47</sub> Zn <sub>0.53</sub> Se	20	2.15	2.69	양자 웨
9	Cd <sub>0.35</sub> Mg <sub>0.26</sub> Zn <sub>0.39</sub> Se:Cl	1180	2.578	2.59	흡수기
10	Cd <sub>0.47</sub> Zn <sub>0.53</sub> Se	20	2.15	2.69	양자 웨
11	Cd <sub>0.35</sub> Mg <sub>0.26</sub> Zn <sub>0.39</sub> Se:Cl	1180	2.578	2.59	흡수기
12	Cd <sub>0.47</sub> Zn <sub>0.53</sub> Se	20	2.15	2.69	양자 웨
13	Cd <sub>0.35</sub> Mg <sub>0.26</sub> Zn <sub>0.39</sub> Se:Cl	80	2.578	2.59	흡수기
14	흡수기 층: Cd <sub>0.31</sub> Mg <sub>0.26</sub> Zn <sub>0.39</sub> Se:Cl 원도우 층: Cd <sub>0.23</sub> Mg <sub>0.44</sub> Zn <sub>0.34</sub> Se	2500	2.578 – 3.0	2.59 – 2.41	구배 층
15	Cd <sub>0.19</sub> Mg <sub>0.49</sub> Zn <sub>0.32</sub> Se	5000	3.0	2.41	원도우

[0099]

II-VI 성장을 위한 표면을 제조하기 위해 먼저 GaInAs 버퍼 층을 MBE에 의해 InP 기판 상에 성장시켰다. 그 다음, 광 변환을 위한 II-VI 에피택셜 층의 성장을 위해 구조물을 초-고진공 전사 시스템을 통해 다른 MBE 챔버로 이동시켰다. 변환기(118)는 4개의 CdZnSe 양자 웨(140)을 포함하였다. 각각의 양자 웨(140)을 GaInN 기반 레이저 다이오드에 의해 방출된 440 nm의 청색 광을 흡수할 수 있는 CdMgZnSe 흡수 층들 사이에 개재시켰다.

- [0101] 구조물을 유리 현미경 슬라이드에 접착식으로 부착시킨 후에  $3\text{HCl}:1\text{H}_2\text{O}$  용액을 이용해 InP 기판을 제거하였다. 예청제는 GaInAs 버퍼 층(총 #2)에서 정지하였다. 그 후, 버퍼 층을 30 ml 수산화암모늄(30 중량%), 5 ml 과산화수소(30 중량%), 40g 아디프산, 및 200 ml 물의 교반된 용액 내에서 제거하여, 현미경 슬라이드에 부착된 II-VI 광 변환기(118)만을 남겨 두었다.
- [0102] 도 9의 스펙트럼(910)과 유사한 스펙트럼 및 453 nm에서 피크 방출을 갖는 GaInN 청색 펌프 LED를 이용해 원도 우측으로부터 생성된 구조물을 조명할 수 있다. 구조물의 재방출된 출력 광은 양자 웰에 대한 2.305 eV의 전이 에너지에 대응하는 538 nm에서의 피크 방출을 가질 수 있다. 표 II에 나타낸 바와 같이, 광 흡수 층은 스펙트럼(910)에서 481 nm의 파장  $\lambda_{abs}$ 에 대응하는 2.578 eV의 밴드 캡 에너지를 가졌다.  $\lambda_{abs}$ 의 왼쪽에 있는 스펙트럼(910) 아래의 영역에 대응하는 입사 광의 약 96%는 흡수 층에 의해 흡수될 수 있고,  $\lambda_{abs}$ 의 오른쪽에 있는 영역에 대응하는 나머지 4%는 보조 광 흡수기에 의해 흡수될 수 있다.
- [0103] 구조물의 캐리어 구속 에너지(포텐셜 웨의 총 깊이)는 0.273 eV (2.578-2.305)였다. 이러한 구조물과 유사하지만 보조 광 흡수 층과 동일한 재료를 갖는 광 흡수 층을 갖는 구조물은 본질적으로 모든 펌프 광을 흡수할 것이지만, 0.185 eV (2.490-2.305)의 감소된 구속 에너지를 가질 것이다. 그 결과, 광 흡수 층 및 보조 광 흡수 층의 조합된 사용은 구속 에너지를 0.185 eV에서 0.273 eV로 증가시켰으며, 이는 거의 48%의 증가이고, 한편 보조 광 흡수 층은 입사 펌프 광의 약 4%만을 흡수하였다.
- [0104] 도 1을 다시 참조하면, 도 18에 측면도가 개략적으로 도시되어 있는 광학 구조물(1800)에 대하여 다양한 시스템 파라미터의 함수로서 구조화된 층(150)과 오버코트(160)의 추출 효율을 수치적으로 분석하였다. 광학 구조물은 기판(1810), 기판(1810)의 상부 표면(1812) 상에 직접 배열된 구형 입자들(1855)의 사각 어레이를 포함한 구조화된 층(1850), 및 구조화된 층 상에 그리고 기판의 노출된 영역 상에 직접 배치된 오버코트(1820)를 포함하였다. 기판의 굴절률  $n_1$ 은 2.646이었다. 입자(1855)의 직경 D는 200 nm였고, 입자의 굴절률  $n_2$ 는 예를 들어  $\text{SiO}_2$  입자에 대응하는 1.45였다. 이웃하는 입자들 사이의 간격 P는 500 nm였다. 입자는 기판(1810)의 상부 표면(1812)의 50%를 덮었다. 오버코트의 경우, 랜드(land) 두께  $t_1$ 은 100 nm였고, 치수  $t_2$  및  $t_3$ 는 각각 100 nm였으며,  $t_4$ 는 300 nm였다. 오버코트의 굴절률  $n_3$ 는 수치 시뮬레이션 동안 변화되었다.
- [0105] 광원(1805)은 기판의 하부 표면(1814)에 배치하였고, 540 nm에서 균일한 광(1807)을 방출하였다. 광학 구조물(1800)의 추출 효율을 모델링하였고, 유효 2차원 유한 차분 시간 영역(Finite Difference Time Domain, FDTD) 접근법을 사용하여 수치적으로 계산하였다. 추출 효율은 방출된 입사 광(1807)의 파워에 대한 출력 광(1840)의 파워의 비로서 정의하였다. 구조화된 층과 오버코트가 없는 경우의 추출 효율은 16.4%였다.
- [0106] 도 20은 구조화된 층과 구조화된 오버코트의 존재 시에  $n_3$ 의 함수로서 광학 구조물(1800)의 추출 효율을 도시한다. 공기 오버코트(도 20의 점  $P_1$ 에 대응하는  $n_3=1$ )에 대한 추출 효율은 19.2%였다. 따라서, 오버코트 없이(또는 공기 오버코트에 의해), 입자는 추출 효율을 16.4%에서 19.2%로 증가시켰고, 이는 약 17.1%의 증가이다.  $\text{SiO}_2$  오버코트에 대응하는 점  $P_2$  ( $n_3=1.45$ )에서의 추출 효율은 19.8%였으며, 이는 오버코트가 없는 것으로부터는 약 20.7%의 증가이다. 도 20의 점  $P_3$  내지  $P_5$ 는 각각  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{ZnS}$ , 및  $\text{ZnSe}$  오버코트에 대응한다. 추출 효율은 일반적으로 영역  $Q_1$ 에서 선  $L_1$ , 영역  $Q_2$ 에서 선  $L_2$ , 및 영역  $Q_3$ 에서 선  $L_3$ 를 따른다.  $Q_2$ 에서의 선  $L_2$ 는 약 2.0 내지 약 2.7 범위인 오버코트 굴절률  $n_3$ 에 대응하고, 선  $L_1$  및  $L_3$ 보다 큰 기울기를 갖는다. 영역  $Q_2$ 는 추출 효율의, 구조화된 오버코트의 굴절률에 대한 더 큰 의존도를 나타낸다.
- [0107] 몇몇 경우에, 구조화된 층(150)은 오버코트(170)를 적용하기 전에 변형될 수 있다. 예를 들어, 몇몇 경우에, 구조화된 층이 오버코트(170)로 코팅되기 전에 구조화된 층(150) 내의 구조체들 중 적어도 일부의 형상 및/또는 크기가 변형될 수 있다. 하나의 그러한 예시적인 공정이 도 21a 내지 도 21c를 참조하여 설명된다. 도 21a는 반도체 기판(2110) 및 반도체 기판 상에 직접 배치된 구조화된 층(2120)을 포함하는 광학 구조물(2100)의 개략적인 측면도이다. 기판은, 예를 들어 도 1의 제2 원도우(121) 또는 도 8의 보조 흡수 층(870)과 유사할 수 있다. 몇몇 경우에, 기판(2120)은 다층일 수 있으며, 그 중 하나의 층은 예컨대 보조 흡수 층(870)과 유사할 수 있다.
- [0108] 구조화된 층(2120)은, 예를 들어 도 1의 구조화된 층(150)과 유사할 수 있다. 구조화된 층(2120)은 기판(2110) 상에 직접 배치된 복수의 이산된 입자(2122)를 포함한다. 몇몇 경우에, 입자(2122)는 유기물, 예컨대 중합체일

수 있다. 예시적인 중합체는 폴리스티렌, 폴리카르보네이트, 폴리(메트)아크릴레이트(예를 들어, 폴리메틸 메타크릴레이트(PMMA)), 폴리올레핀(예를 들어, 폴리프로필렌(PP)), 폴리우레탄, 폴리에스테르(예를 들어, 폴리에틸렌 테레프탈레이트(PET)), 폴리아미드, 폴리아이미드, 폐놀 수지, 셀룰로오스 다이아세테이트, 셀룰로오스 트라이아세테이트, 스티렌-아크릴로니트릴 공중합체, 에폭시 등을 포함한다.

[0109] 입자(2122)는 기판(2110)의 상부 표면(2126) 상에 단층을 형성한다. 단층은 개방 영역(2124)과 같은 개방 영역을 포함하여, 기판의 상부 표면을 노출시킨다. 몇몇 경우에, 입자는 에칭제에 입자를 노출시킴으로써 크기가 감소되거나 수축될 수 있다. 예를 들어, 에칭제는 각각의 입자의 일부분을 에칭 제거하여 더 작거나 수축된 입자가 되게 할 수 있다. 예시적인 에칭 방법은 습식 또는 건식 화학적 에칭, 및 반응성 이온 에칭을 포함한다. 몇몇 경우에, 입자는 폴리스티렌이고, 에칭 방법은 산소 플라즈마 또는 반응성 이온 에칭이다.

[0110] 몇몇 경우에, 입자(2122)는 입자를 충분한 열에 노출시킴으로써 재유동(reflow)되게 된다. 예를 들어, 중합체 입자(2122)는 입자의 용점 또는 그 부근의 온도에서 재유동될 수 있다. 몇몇 경우에, 에칭제와 열이 동시에 입자에 가해짐으로써 입자들 중 적어도 일부를 수축 및 재유동시킬 수 있다. 몇몇 경우에, 에칭 공정은 열을 발생시키며, 이 열이 약간의 추가의 열과 함께 또는 추가의 열 없이 입자를 재유동시킬 수 있다.

[0111] 몇몇 경우에, 구조체(2122)의 평균 크기가 실질적으로 구조체의 표면 밀도를 결정할 수 있고, 에칭 시간과 같은 에칭 정도가 에칭 단계 후의 구조체(구조체(2132))에 의한 면적 피복율을 결정할 수 있다. 몇몇 경우에, 요구되는 초기 평균 구조체 크기 및 에칭 정도가 원하는 표면 구조체 밀도 및 표면 피복율에 기초하여 계산되거나 달리 결정될 수 있다. 예를 들어, 주어진 원하는 입자 밀도에 대하여, 평균 입자 직경 R이 결정될 수 있고, 주어진 원하는 면적 피복율에 대하여 그리고 예를 들어 실험 데이터에 기초하여, 예를 들어 에칭 시간과 같은 에칭 파라미터가 결정될 수 있다. 다음으로, 평균 직경 R을 갖는, 예컨대 조밀 패킹된 입자들의 단층이 표면에 적용되어 원하는 표면 입자 밀도를 제공할 수 있다. 그 다음에, 결정된 에칭 파라미터에 따라 입자가 에칭되어 에칭된 입자에 의한 원하는 표면 피복율을 형성할 수 있다. 몇몇 경우에, 입자는 오버코팅될 수 있다.

[0112] 몇몇 경우에, 원하는 최종 표면 피복율을 달성하기 위해, 먼저 원하는 최종 면적 피복율보다 큰 초기 면적 피복율이 되도록 복수의 구조체가 상부 표면(2126) 상에 배치된다. 다음으로, 구조체들 중 적어도 일부가 초기 면적 피복율을 원하는 최종 면적 피복율로 감소시키도록 충분하게 수축된다. 몇몇 경우에, 구조체들 중 적어도 일부는 재유동될 수 있다. 몇몇 경우에, 그 다음, 구조체는 수축된 구조체 및 덮이지 않은 영역의 상부 표면을 덮도록 오버코트로 코팅된다.

[0113] 충분한 열과 하나 이상의 에칭제를 가한 후에, 광학 구조물(2100)은 도 21b에 개략적으로 도시된 광학 구조물(2150)로 변형된다. 특히, 구조화된 층(2120)은, 층(2120) 내의 입자(2122)가 부분적으로 에칭되고 재유동된 후에, 구조화된 층(2130)으로 변경 또는 변형된다. 구조화된 층(2130)은, 대응하는 입자(2122)보다 작으며 열에의 노출로 인해 재유동된 입자(2132)를 포함한다. 재유동 후에, 입자(2132)는 평평한 하면(2134)을 갖는다. 몇몇 경우에, 입자(2132)는 돔형 또는 원추형이다. 몇몇 경우에, 입자를 재유동 및 수축시키는 단계는 동시에 또는 일제히 수행될 수 있다. 몇몇 경우에, 두 단계는 순차적으로 수행될 수 있다. 예를 들어, 입자가 에칭제에 의해 크기가 감소된 후에, 에칭된 입자를 재유동시키도록 가열 단계가 이어질 수 있다.

[0114] 몇몇 경우에, 복수의 입자에 의한 기판(2110)의 상부 표면(2126)의 피복율은 입자에 에칭제 및 열을 가한 후에 감소한다. 예를 들어, 그러한 경우에, 입자(2122)는 도 21a의 상부 표면(2126)을 제1 피복율로 덮고, 입자(2132)는 도 21b의 상부 표면(2126)을 제2 피복율로 덮으며, 여기서 제2 피복율은 제1 피복율보다 작다.

[0115] 몇몇 경우에, 수축 단계는 입자의 평균 측방향 크기와 같은 평균 크기를 적어도 10%, 또는 적어도 20%, 또는 적어도 30%, 또는 적어도 40%, 또는 적어도 50%, 또는 적어도 60%, 또는 적어도 70%만큼 감소시킬 수 있다. 몇몇 경우에, 복수의 구조체에 의한 기판의 상부 표면의 면적 피복율은 수축 단계 후에 감소한다. 예를 들어, 그러한 경우, 면적 피복율은 적어도 10%, 또는 적어도 20%, 또는 적어도 30%, 또는 적어도 40%, 또는 적어도 50%만큼 감소할 수 있다.

[0116] 몇몇 경우에, 광학 구조물(2150)은 오버코트(2160)로 코팅되어, 도 21c에 개략적으로 도시된 광학 구조물(2180)을 형성한다. 오버코트(2160)는 복수의 입자(2132) 및 개방 영역(2124)과 같은 개방 영역 내의 기판(2110)의 상부 표면을 덮는다.

[0117] 기판(2110)은, 예를 들어 스펙트럼의 가시 영역에서 굴절률  $n_1$ 을 가지며, 구조화된 층(2130) 내의 입자(2132)는 굴절률  $n_2$ 를 갖고, 오버코트(2160)는 굴절률  $n_3$ 를 갖는다. 몇몇 경우에,  $n_2$ 는  $n_1$ 보다 작다. 예를 들어, 그러한

경우, 기판(2110)은 약 2 내지 약 2.7, 또는 약 2 내지 약 2.5 범위의 굴절률을 갖는 반도체 재료를 포함하고, 입자(2132)는 약 1.5 내지 약 1.8 범위의 굴절률을 갖는 중합체를 포함한다. 몇몇 경우에,  $n_3$ 는  $n_1$ 보다 크다. 예를 들어, 그러한 경우, 기판(2110)은 약 2 내지 약 2.3 범위의 굴절률을 갖는 반도체 재료를 포함하고, 오버코트(2160)는 약 2.3 내지 약 2.7 범위의 굴절률을 갖는 상이한 반도체를 포함한다.

[0118] 실시예 8:

[0119] 실시예 1에 약술한 공정을 사용하여 반도체 광 변환 구조물을 제조하였다. 구조물의 계산된 EQE는 15.29%였다. 도 21a의 구조화된 층(2120)과 유사한 구조화된 층이 되도록, 구조물의 흡수기측을 폴리스티렌(PS) 미소구체로 코팅하였다. 미소구체는 약 1000 nm의 평균 직경을 가졌고, 브이더블유알 사이언티픽 프로덕츠(VWR Scientific Products)(미국 뉴저지주 사우스 플레인필드)로부터 입수하였다. 미소구체의 굴절률은 약 1.59였고, 구조물의 흡수기의 굴절률은 약 2.6이었다. 미소구체를 10 중량%의 고형물 함량으로 H<sub>2</sub>O 중에 분산시켰다. 스핀-온(spin-on) 코팅 방법을 사용하여 약 200 rpm의 속도에서 약 20초 동안 그리고 이어서 약 5000 rpm의 속도에서 약 5초 동안 용액을 흡수기의 상부 표면(도 21a의 상부 표면(2126))에 적용하였다. 도 22a는 광 변환 구조물의 상부 표면 상의 조밀 패킹된 미소구체 PS 입자를 도시하는 생성된 샘플의 SEM 이미지이다. 미소구체에 의한 상부 표면의 면적 피복율은 약 90%였고, 생성된 샘플의 계산된 EQE는 22.9%였다. 따라서, PS 입자는 EQE를 15.29%에서 22.9%로 증가시켰고, 이는 약 49.8%의 증가이다. 그 다음, 샘플을 산소 플라즈마(6 mT, 80 W의 RF 전력, 및 1200 W의 유도 결합 플라즈마 전력)로 에칭하여 재유동시켰고 입자의 크기를 감소시켰다. 입자에 의한 그 결과의 표면 피복율은 약 64%였다. 따라서, 에칭 단계는 면적 피복율을 약 90%에서 약 64%로 감소시켰다. 도 22b는 생성된 샘플의 SEM 이미지이다. 입자는 평평한 하면을 갖는 원추형 또는 돔형이었다. 생성된 샘플의 계산된 EQE는 27.8%였다. 다음으로, 샘플을 진공 증발 공정을 사용하여 ZnS로 오버코팅하였다. 오버코트의 두께는 약 400 nm였고, ZnS 오버코트의 굴절률은 약 2.4였다. 도 22c는 생성된 샘플의 SEM 이미지이다. 생성된 샘플의 계산된 EQE는 37.8%였다. 따라서, ZnS 오버코트의 추가는 EQE를 27.8%에서 37.8%로 증가시켰고, 이는 약 36%의 증가이다.

[0120] 실시예 9:

[0121] 실시예 1에 약술한 공정을 사용하여 반도체 광 변환 구조물을 제조하였다. 구조물의 계산된 EQE는 17.65%였다. 도 21a의 구조화된 층(2120)과 유사한 구조화된 층이 되도록, 구조물의 흡수기측을 폴리스티렌(PS) 미소구체로 코팅하였다. 미소구체는 약 500 nm의 평균 직경을 가졌고, 브이더블유알 사이언티픽 프로덕츠(미국 뉴저지주 사우스 플레인필드)로부터 입수하였다. 미소구체의 굴절률은 약 1.59였고, 구조물의 흡수기의 굴절률은 약 2.6이었다. 미소구체를 1.5 중량%의 고형물 함량으로 H<sub>2</sub>O 중에 분산시켰다. 딥 코팅 방법을 사용하여 약 65 mm/분의 속도에서 용액을 흡수기의 상부 표면(도 21a의 상부 표면(2126))에 적용하였다. 샘플을 단일 회 딥 코팅하였다. 생성된 샘플의 계산된 EQE는 26.40%였다. 따라서, PS 입자는 EQE를 17.65%에서 26.40%로 증가시켰고, 이는 약 49.6%의 증가이다. 그 다음, 샘플을 산소 플라즈마(200 mT, 200 mW, 및 20.32 cm (8 인치) 직경 평판(platen))로 에칭하여 입자를 약간 수축시켰고 재유동시켰다. 생성된 입자는 평평한 하면을 갖는 원추형 또는 돔형이었다. 다음으로, 샘플을 진공 증발 공정을 사용하여 ZnS로 오버코팅하였다. 오버코트의 두께는 약 400 nm였고, ZnS 오버코트의 굴절률은 약 2.4였다. 생성된 샘플의 계산된 EQE는 35.5%였다. 따라서, ZnS 오버코트의 추가는 EQE를 26.4%에서 35.5%로 증가시켰고, 이는 약 34.5%의 증가이다.

[0122] 도 23은 제1 파장  $\lambda_1$ 의 광(850)을 방출하는 LED 광원, 및 광(850)의 적어도 일부를 더 긴 제2 파장  $\lambda_2$ 의 광(852)으로 변환하는 광 변환 층(2315)을 포함하는 광원(2300)의 개략적인 측면도이다. 광 변환 구조물(2315)은 기판(2320) 상에 배치된, 제1 굴절률  $n_1$ 을 갖는 인광체 슬래브(2330)를 포함한다. 인광체 슬래브(2330)는 광(850)의 적어도 일부를 흡수하고, 흡수된 광의 적어도 일부를 파장  $\lambda_2$ 의 광(852)으로서 재방출한다. 인광체 슬래브(2330)에 사용될 수 있는 예시적인 인광체는 스트론튬 티오갈레이트, 도핑된 GaN, 구리-활성화된 황화아연, 및 은-활성화된 황화아연을 포함한다. 다른 유용한 인광체는 도핑된 YAG, 실리케이트, 옥시질화규소, 질화규소, 및 알루미네이트 기반 인광체를 포함한다. 이러한 인광체의 예는 Ce:YAG, SrSiO<sub>4</sub>:Eu, SrBaSiO<sub>4</sub>:Eu, SrSiN<sub>3</sub>:Eu, 및 BaSrSiN<sub>3</sub>:Eu를 포함한다.

[0123] 기판(2320)은 응용에 적합할 수 있는 임의의 재료를 포함할 수 있다. 예시적인 재료는 유리, 중합체, 세라믹, 예컨대 알루미나, 사파이어, 및 금속, 예컨대 광이 통과할 수 있게 하는 하나 이상의 투명 개방부 또는 개구를 포함하는 금속을 포함한다. 몇몇 경우에, 기판(2320)은 실질적으로 제1 파장에서 광학적으로 투과성이다. 몇

몇 경우에, 기판은  $\lambda_1$ 에서 불투명할 수 있다. 이러한 경우에, 기판은 광(850)이 기판을 통과할 수 있는 하나 이상의 광학적 또는 다른 개방부를 포함할 수 있다. 몇몇 경우에, 기판(2320)은 히트 싱크 또는  $\lambda_2$ 의 반사기와 같이 도 23에서는 명확하게 도시되지 않은 다른 기능 층을 포함할 수 있다.

[0124] 광 변환 구조물(2315)은 인광체 슬래브(2330) 상에 배치된 구조화된 층(150)을 추가로 포함한다. 구조화된 층(150)은 인광체 슬래브의 제1 굴절률  $n_1$ 보다 작은 제2 굴절률  $n_2$ 를 갖는다. 구조화된 층은 인광체 슬래브 상에 직접 배치된 복수의 구조체(151) 및 인광체 슬래브를 노출시키는 복수의 개방부(2305)를 포함한다. 광 변환 구조물(2315)은 적어도 구조화된 층(150)의 일부분 및 개방부(2305)와 같은 복수의 개방부 내의 인광체 슬래브의 일부분 상에 직접 배치된, 오버코트(160)와 유사한 구조화된 오버코트(2360)를 추가로 포함한다. 구조화된 오버코트(2360)는 제2 굴절률  $n_2$ 보다 큰 제3 굴절률  $n_3$ 를 갖는다.

[0125] 몇몇 경우에, 구조화된 오버코트(2360)는, 간힌 광의 순간적인 말단을 구조화된 오버코트로 더 확장시킴으로써, 인광체 슬래브에 갇히는 제2 파장  $\lambda_2$ 의 광의 추출을 향상시킬 수 있다. 말단 확장은 구조체(151)에 의해 갇힌 광의 산란을 증가시킬 수 있어서, 인광체 슬래브로부터의 갇힌 광의 추출이 증가된다.

[0126] 몇몇 경우에, 구조화된 층(150)은 실질적으로 제2 파장에서 광학적으로 투명하다. 몇몇 경우에, 구조화된 오버코트(2360)는 실질적으로 제2 파장에서 광학적으로 투명하다. 몇몇 경우에, 구조화된 층(150) 내의 복수의 구조체는 이산된 입자들과 같은 복수의 이산된 구조체를 포함하며, 여기서 몇몇 경우에 복수의 이산된 입자의 상당한 분율은 실질적으로 구형이다. 몇몇 경우에, 구조화된 층(150) 내의 복수의 구조체는 복수의 상호연결된 구조체를 포함한다.

[0127] 몇몇 경우에, 구조화된 오버코트(2360)는  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ,  $\text{ZnS}$ ,  $\text{ZnSe}$ ,  $\text{ZnSSe}$ , ITO,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{ZrO}_2$ ,  $\text{Ta}_2\text{O}_5$ ,  $\text{HfO}_2$ , 및 실리케이트, 예컨대 실리케이트 유리 중 적어도 하나를 포함한다. 몇몇 경우에, 구조화된 오버코트(2360)는 반도체를 포함한다. 몇몇 경우에, 구조화된 오버코트(2360)의 구조화된 외부 표면(2361)은 구조화된 층(150)의 구조화된 외부 표면(2362)과 정합한다.

[0128] 도 18의 광학 구조물(1800)을 사용하여 다양한 시스템 파라미터의 함수로서 광 변환 구조물(2315)의 추출 효율을 수치적으로 분석하였다. 기판의 굴절률  $n_1$ 은 1.84였으며, 이는 인광체 슬래브(2330)와 같은 인광체 슬래브에 대한 전형적인 값이다. 입자(1855)의 직경 D는 200 nm였고, 입자의 굴절률  $n_2$ 는 예를 들어  $\text{SiO}_2$  입자에 대응하는 1.45였다. 이웃하는 입자들 사이의 간격 P는 500 nm였다. 입자는 기판(1810)의 상부 표면(1812)의 50%를 덮었다. 오버코트의 경우, 랜드 두께  $t_1$ 은 100 nm였고, 치수  $t_2$  및  $t_3$ 는 각각 100 nm였으며,  $t_4$ 는 300 nm였다. 오버코트의 굴절률  $n_3$ 는 수치 시뮬레이션 동안 변화되었다.

[0129] 광원(1805)은 기판의 하부 표면(1814)에 배치하였고, 540 nm에서 균일한 광(1807)을 방출하였다. 광학 구조물(1800)의 추출 효율을 모델링하였고, 유효 2차원 유한 차분 시간 영역(FDTD) 접근법을 사용하여 수치적으로 계산하였다.

[0130] 도 24는 구조화된 층과 오버코트의 존재 시에  $n_3$ 의 함수로서 광학 구조물(1800)의 추출 효율을 도시한다.  $\text{SiO}_2$  오버코트에 대응하는 점  $Q_1$  ( $n_3=1.45$ )에서의 추출 효율은 40.5%였다. 도 24의 점  $Q_2$  및  $Q_3$ 는 각각  $\text{Si}_3\text{N}_4$  및  $\text{TiO}_2$  오버코트에 대응한다. 약 1.35 내지 약 2.2, 또는 약 1.45 내지 약 2.2 범위의  $n_3$ 에 대하여, 추출 효율은 적어도 약 40%이다. 몇몇 경우에, 오버코트는 약 1.38 내지 약 1.39 범위의 굴절률을 갖는  $\text{MgF}_2$ 를 포함할 수 있다. 몇몇 경우에, 오버코트는 다공성 코팅을 포함할 수 있다. 예를 들어, 오버코트는 약 1.45 미만의 굴절률, 예를 들어 약 1.4, 또는 약 1.35, 또는 약 1.30, 또는 약 1.29의 굴절률을 갖는 다공성  $\text{SiO}_2$  코팅을 포함할 수 있다.

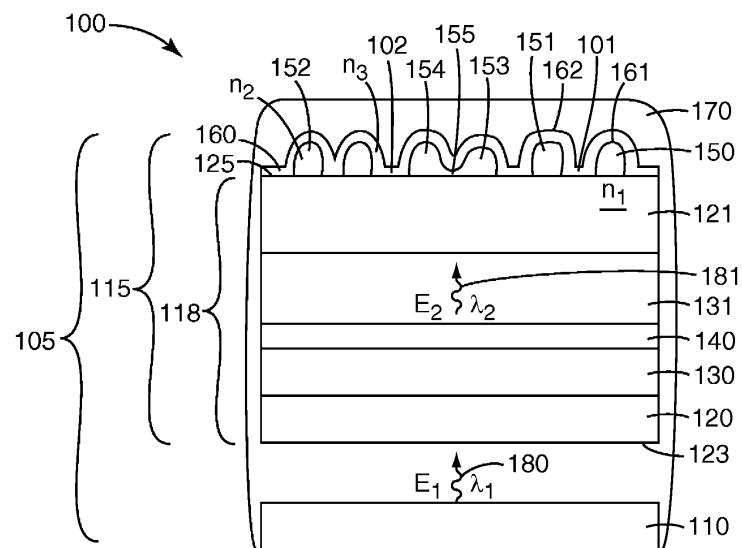
[0131] 본 명세서에 사용되는 바와 같이, "수직", "수평", "위", "아래", "좌측", "우측", "상부"와 "하부", "상단"과 "하단" 및 기타 유사 용어와 같은 용어는 도면에 도시된 바와 같은 상대 위치를 지칭한다. 일반적으로, 물리적 실시 형태들이 상이한 배향을 가질 수 있고, 그 경우에, 용어는 소자의 실제 배향에 대해 변형된 상대 위치를 지칭하는 것으로 의도된다. 예를 들어, 도 1의 구성이 도면의 배향에 비교할 때 역전되어 있더라도, 제1 흡수 층(130)은 여전히 포텐셜 웨(140) "아래에" 있는 것으로 고려된다.

[0132] 본 발명의 다양한 태양의 설명을 용이하게 하기 위해 본 발명의 특정 실시예들이 상기에 상세하게 기술되었지만, 실시예들의 상세 사항으로 본 발명을 제한하고자 하는 것이 아님을 이해하여야 한다. 오히려,

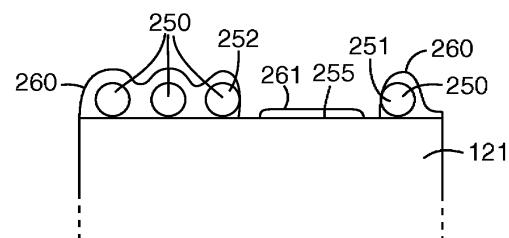
첨부된 특허청구범위에 의해 한정된 바와 같은 본 발명의 사상 및 범위 내에 속하는 모든 변형, 실시 형태, 및 대안들을 포함하고자 한다.

### 도면

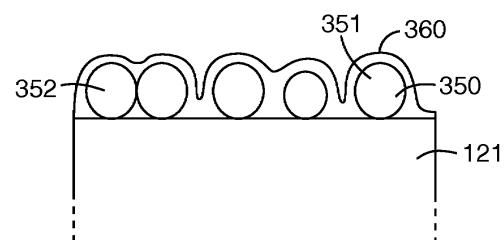
#### 도면1



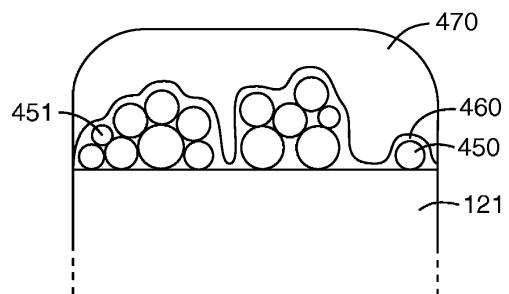
#### 도면2



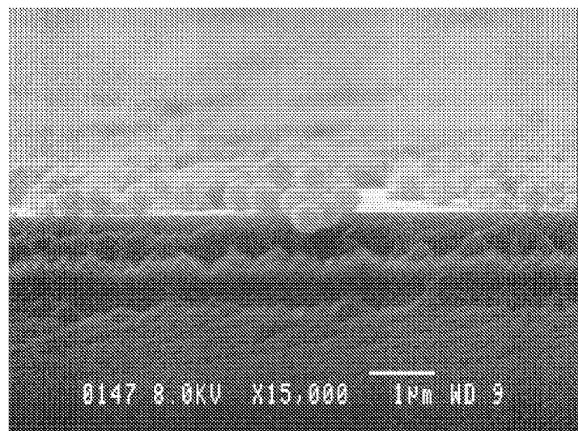
#### 도면3



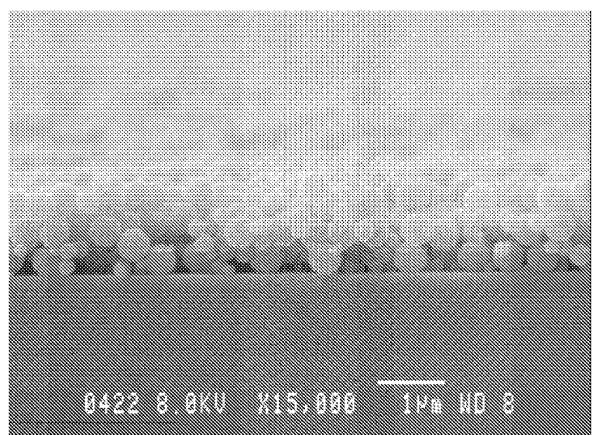
도면4



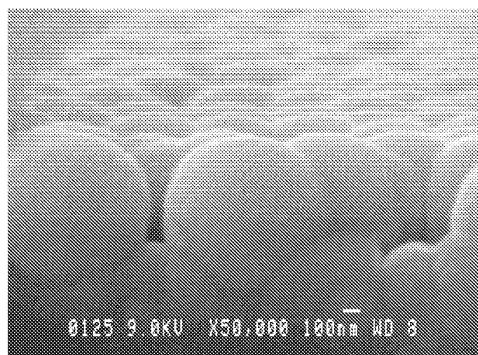
도면5a



도면5b

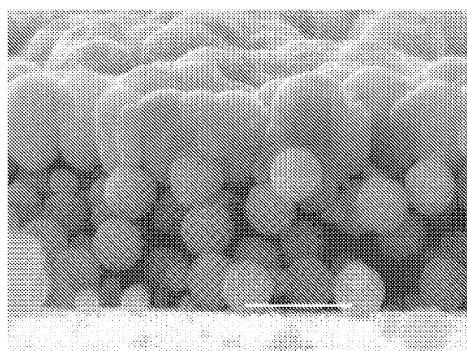


도면6a

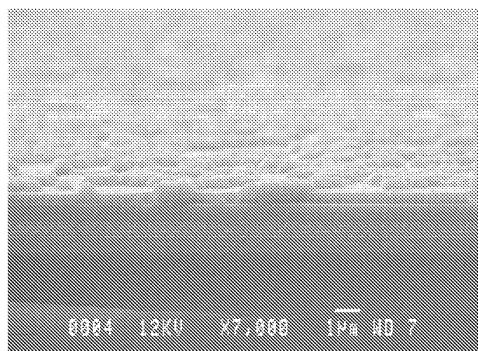


0125 9.0kV X50,000 100nm WD 8

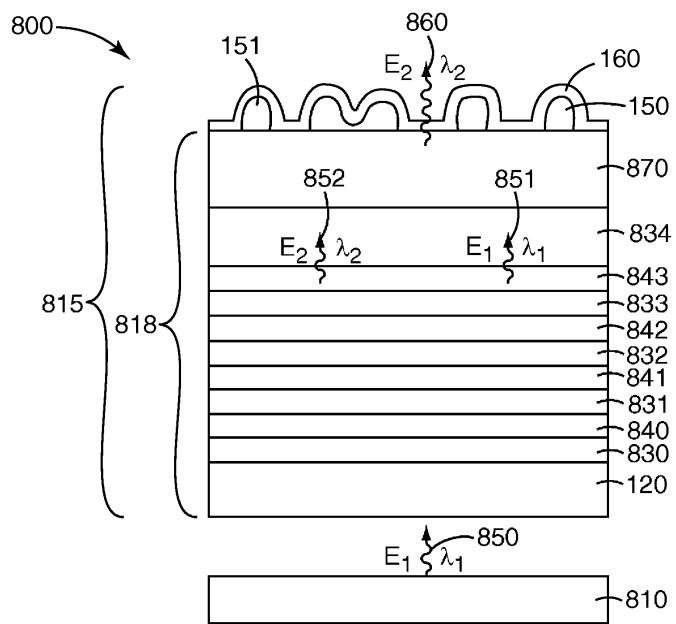
도면6b



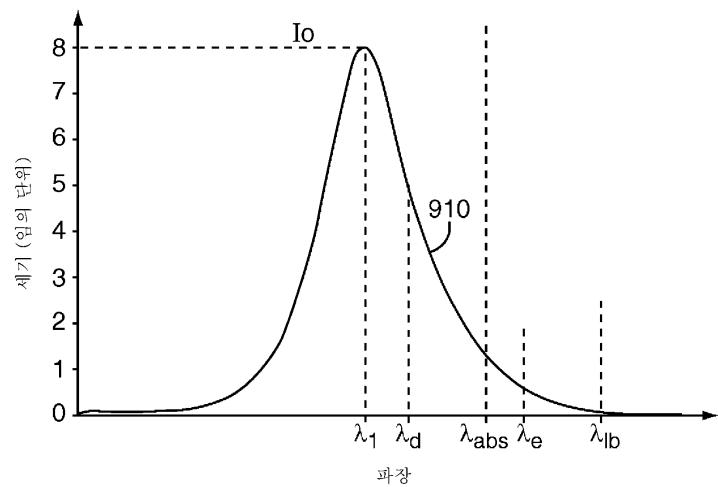
도면7



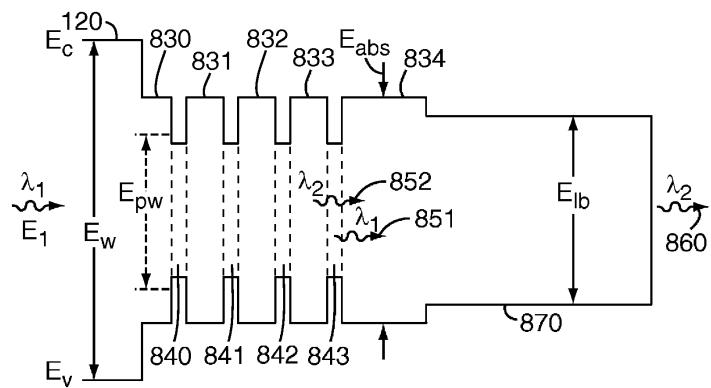
도면8



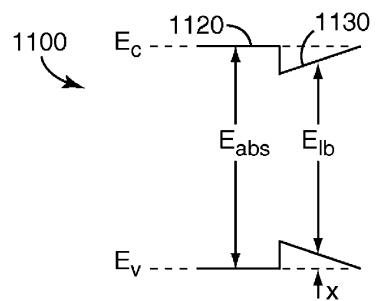
도면9



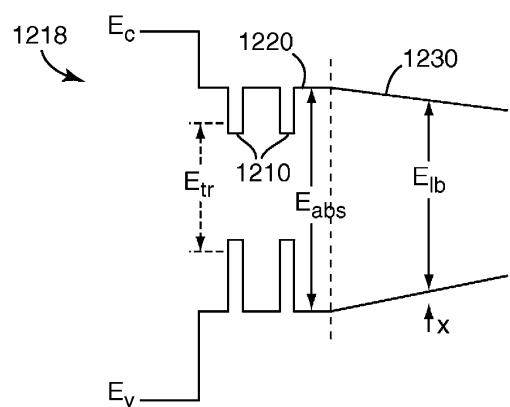
도면10



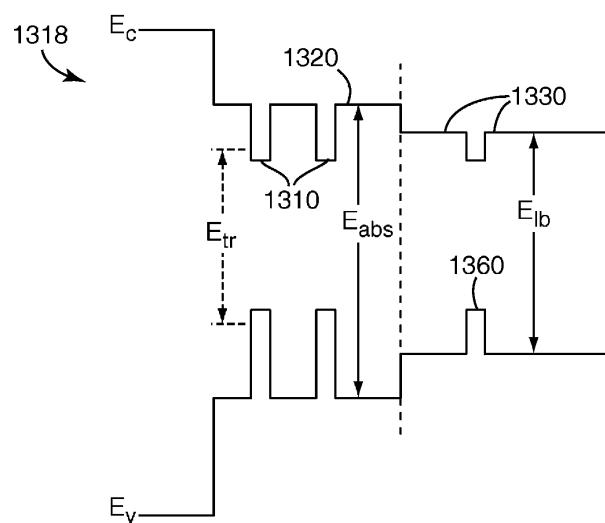
도면11



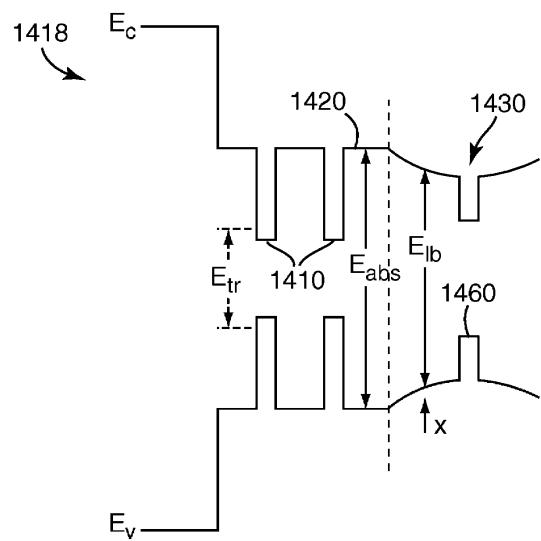
도면12



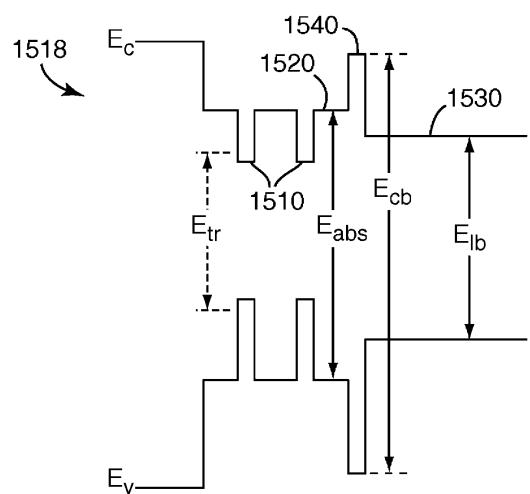
도면13



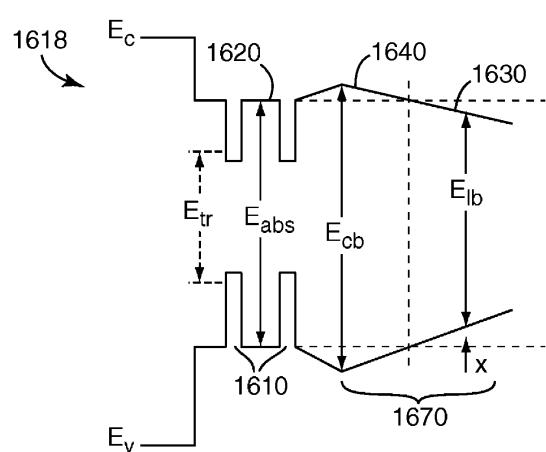
도면14



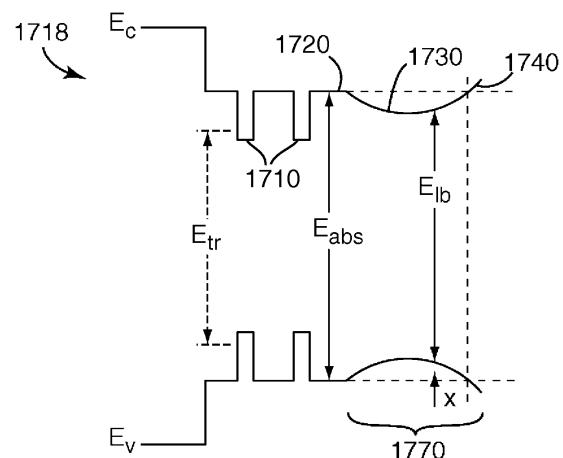
도면15



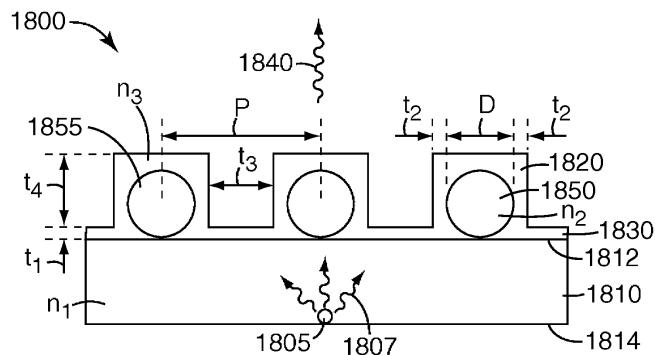
도면16



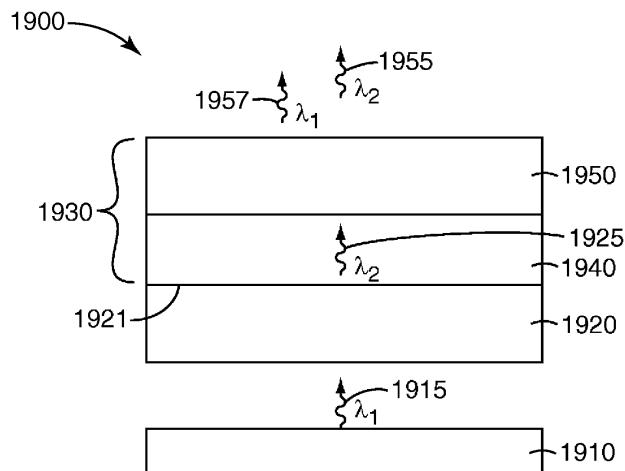
도면17



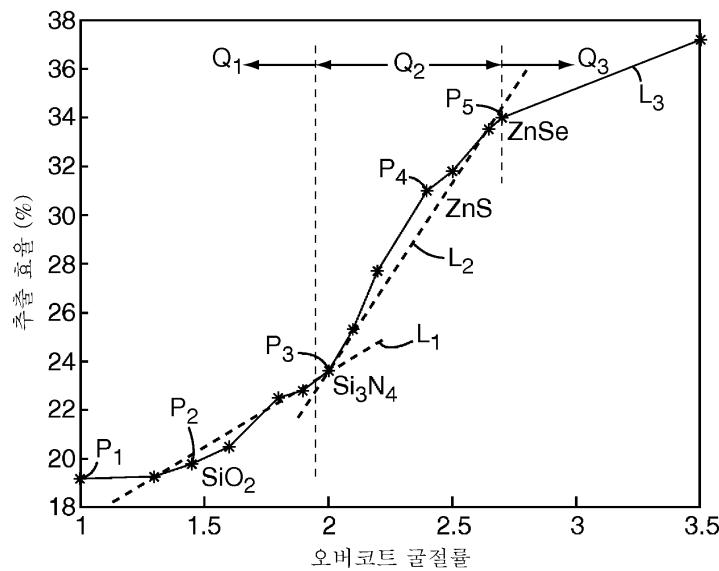
도면18



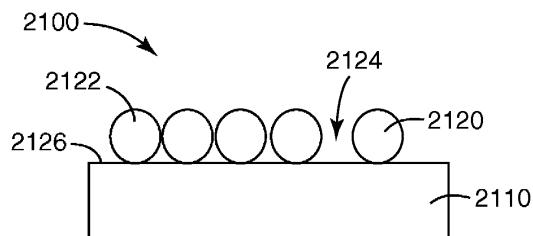
도면19



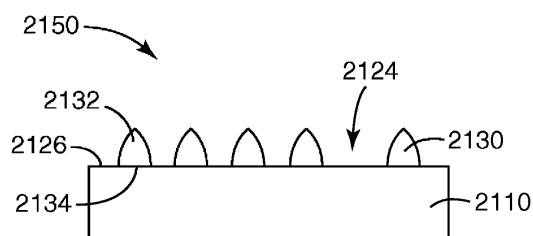
도면20



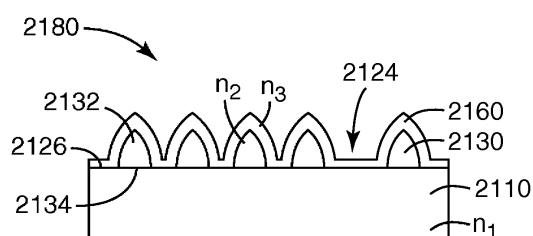
도면21a



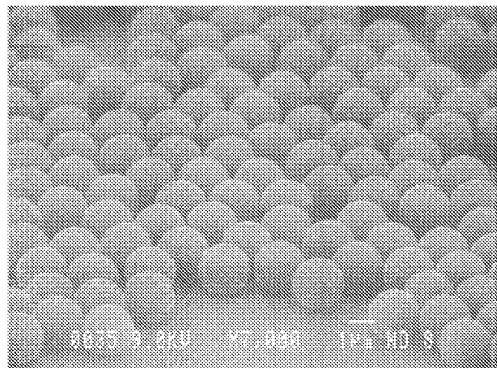
도면21b



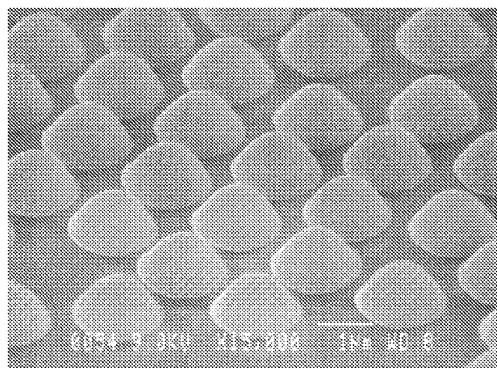
도면21c



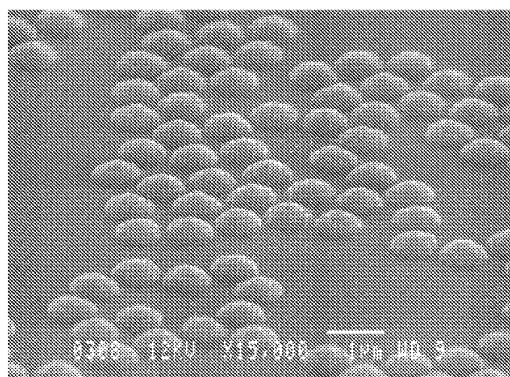
도면22a



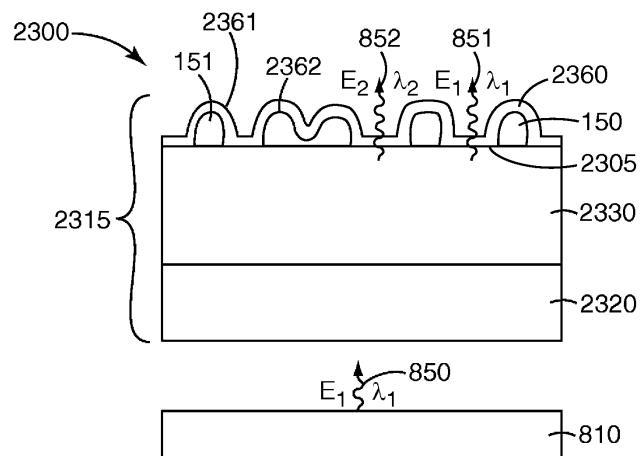
도면22b



도면22c



도면23



도면24

