



(19) 대한민국특허청(KR)  
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2018-0067590  
(43) 공개일자 2018년06월20일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)  
H01L 33/32 (2010.01) H01L 33/00 (2010.01)  
H01L 33/06 (2010.01) H01L 33/14 (2010.01)  
(52) CPC특허분류  
H01L 33/32 (2013.01)  
H01L 33/0075 (2013.01)  
(21) 출원번호 10-2018-7013012  
(22) 출원일자(국제) 2016년10월07일  
심사청구일자 없음  
(85) 번역문제출일자 2018년05월08일  
(86) 국제출원번호 PCT/US2016/056157  
(87) 국제공개번호 WO 2017/062889  
국제공개일자 2017년04월13일  
(30) 우선권주장  
62/239,122 2015년10월08일 미국(US)  
15/287,384 2016년10월06일 미국(US)

(71) 출원인  
오스텐도 테크놀로지스 인코포레이티드  
미국 캘리포니아 92011 칼스배드 스위트 200 파  
세오 델 노르트 6185  
(72) 발명자  
예 예아찬 밀턴  
미국 캘리포니아 92011 칼스배드 스위트 200 파세  
오 델 노르트 6185  
엘-고루리 허세인 에스  
미국 캘리포니아 92011 칼스배드 스위트 200 파세  
오 델 노르트 6185  
(74) 대리인  
(뒷면에 계속)  
특허법인신성

전체 청구항 수 : 총 23 항

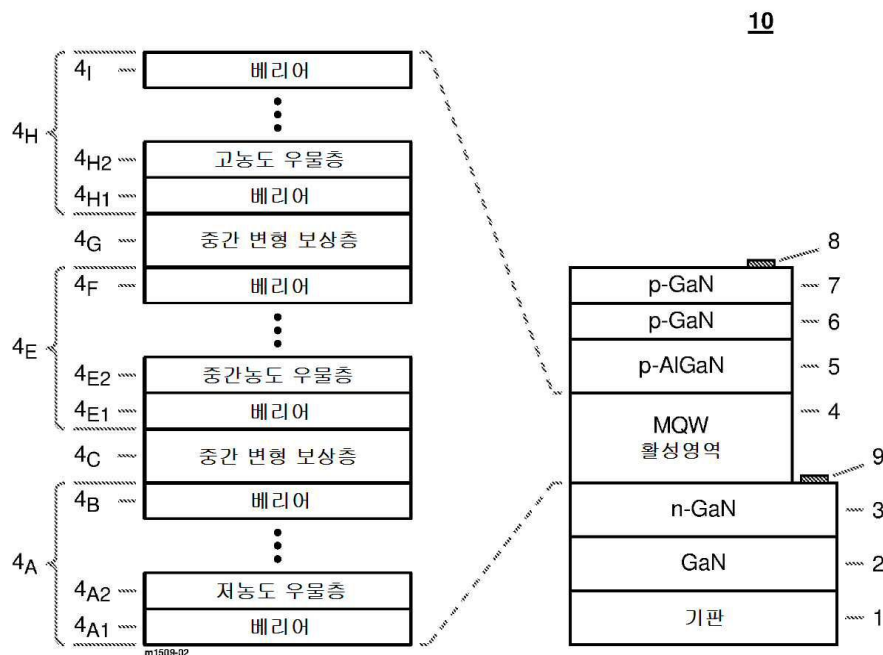
(54) 발명의 명칭 앰버 내지 레드 광방출(>600 nm)을 갖는 III-나이트라이드 반도체 발광 장치 및 그 제조방법

(57) 요약

n-형 III-나이트라이드 클래딩층, 인듐 함유 III-나이트라이드 발광 영역 및 p-형 III-나이트라이드 클래딩층을 포함하는 III-나이트라이드 반도체 발광 장치. 발광 영역은 n- 및 p-형 III-나이트라이드 클래딩층 사이에 삽입되며, 다중 양자 우물(MQWs)의 다중 세트를 포함한다. n-형 클래딩층 상에 형성된 제1 MQW 세트는 상대적으로

(뒷면에 계속)

대표도 - 도1



로 낮은 인듐 농도를 포함한다. 제2 MQW 세트는 상대적으로 중간 인듐 농도를 포함한다. p-형 클래딩층에 인접한 제3 MQW 세트는 3개의 MQW 세트 중 상대적으로 가장 높은 인듐 농도를 포함하고, 앰버 내지 레드 광을 방출할 수 있다. 처음 두 개의 MQW 세트는 예비-변형층으로 이용된다. MQW 세트 사이에, 중간 변형 보상층(ISCLs)이 추가된다. 처음 두 개의 MQW 세트와 ISCLs의 조합은 제3 MQW 세트에서의 상분리를 방지하고, 인듐 흡수를 증강시킨다. 결과적으로, 제3 MQW 세트는 충분히 높은 인듐 농도를 유지하여, 상분리와 관련된 문제 없이 높은 출력 전력으로 앰버 내지 레드 광을 방출한다.

(52) CPC특허분류

**H01L 33/06** (2013.01)

**H01L 33/12** (2013.01)

**H01L 33/145** (2013.01)

(72) 발명자

**리 썬**

미국 캘리포니아 92011 칼스배드 스위트 200 파세  
오 텔 노르트 6185

**첸 지치아**

미국 캘리포니아 92011 칼스배드 스위트 200 파세  
오 텔 노르트 6185

**창 처리**

미국 캘리포니아 92011 칼스배드 스위트 200 파세  
오 텔 노르트 6185

## 명세서

### 청구범위

#### 청구항 1

기관 상에 적층된 복수의 다중 양자 우물 세트(multiple quantum well sets);

기관에 인접하고 낮은 인듐 농도를 갖는 제1 다중 양자 우물 세트;

점진적으로 증가하는 인듐 농도를 갖는, 상기 제1 다중 양자 우물 세트 상의 각각의 다중 양자 우물 세트;

앰버 내지 레드 광(amber-to-red light)을 방출하도록 선택된, 가장 높은 인듐 농도를 갖는 상부 다중 양자 우물 세트; 및

$\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x \leq 1$ ) 중간 변형 보상층(intermediate strain compensation layer)에 의해 분리되는 인접한 다중 양자 우물 세트를 포함하며,

각각의  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x \leq 1$ ) 중간 변형 보상층은, 상부 다중 양자 우물 세트에서 총 변형(total strain)을 감소시키기 위하여, 각각의  $\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0 < x \leq 1$ ) 중간 변형 보상층의 상부 및 하부에 베리어층을 갖는

III-나이트라이드 반도체 LED.

#### 청구항 2

제1항에 있어서,

상기 제1 다중 양자 우물 세트 하부의 베리어층;

상기 상부 다중 양자 우물 세트 상부의 전자 차단층;

상기 전자 차단층 상부의 클래딩층; 및

상기 클래딩층 상부의 콘택층을 더 포함하는

III-나이트라이드 반도체 LED.

#### 청구항 3

제1항에 있어서,

상기 제1 및 제2 다중 양자 우물 세트는 예비-변형 효과(pre-strain effect)를 생성하는

III-나이트라이드 반도체 LED.

#### 청구항 4

제1항에 있어서,

상기 기관 상에 적층된 복수의 다중 양자 우물 세트는 상기 기관 상에 적층된 3개 이상의 다중 양자 우물 세트를 포함하는

III-나이트라이드 반도체 LED.

#### 청구항 5

제4항에 있어서,

낮은 인듐 농도를 갖는 상기 제1 다중 양자 우물 세트는 17% 이하의 인듐 농도를 갖는

III-나이트라이드 반도체 LED.

#### 청구항 6

제4항에 있어서,

상기 제1 다중 양자 우물 세트와 상기 상부 다중 양자 우물 세트 사이의 다중 양자 우물 세트는 20%를 초과하는 인듐 농도를 갖는

III-나이트라이드 반도체 LED.

#### 청구항 7

제4항에 있어서,

상기 상부 다중 양자 우물 세트는 30%를 초과하는 인듐 농도를 갖는

III-나이트라이드 반도체 LED.

#### 청구항 8

제4항에 있어서,

상기  $Al_xGa_{1-x}N(0 < x \leq 1)$  중간 변형 보상층의 Al 농도는, 상기 기판에 가장 가까운  $Al_xGa_{1-x}N(0 < x \leq 1)$  중간 변형 보상층이 다른  $Al_xGa_{1-x}N(0 < x \leq 1)$  중간 변형 보상층보다 더 높은 Al 농도를 갖도록 변화되는

III-나이트라이드 반도체 LED.

#### 청구항 9

제4항에 있어서,

$Al_xGa_{1-x}N(0 < x \leq 1)$  중간 변형 보상층의 적어도 하나의 Al 농도는, 상기 층 내에서 연속적인 변화의 불연속적인 단계들로 변화되는

III-나이트라이드 반도체 LED.

#### 청구항 10

제4항에 있어서,

각각의  $Al_xGa_{1-x}N(0 < x \leq 1)$  중간 변형 보상층의 상부 및 하부의 베리어층의 각각은 GaN을 포함하고, 다중 양자 우물 세트의 각각은 InGaN을 포함하는

III-나이트라이드 반도체 LED.

#### 청구항 11

III-나이트라이드 반도체 LED의 제조 방법으로서,

상기 방법은 기판 상에 복수의 다중 양자 우물 세트를 갖는 활성 영역을 형성하는 단계를 포함하며,

상기 단계는,

상기 기판 상에 인듐 농도를 갖는 다중 양자 우물의 제1 세트를 형성하는 단계; 및

상기 다중 양자 우물의 제1 세트 상에 적어도 하나의 추가적인 세트의 다중 양자 우물을 형성하는 단계에 의해 이루어지고,

각각의 추가적인 세트의 다중 양자 우물을 형성하기 전에, 선행하는 세트의 다중 양자 우물 상에  $Al_xGa_{1-x}N(0 < x \leq 1)$  중간 변형 보상층을 형성하는 단계가 이루어지며,

다중 양자 우물의 상부 세트는 다중 양자 우물의 제1 세트보다 더 높은 인듐 농도를 갖는

III-나이트라이드 반도체 LED의 제조 방법.

## 청구항 12

제11항에 있어서,

상기 다중 양자 우물의 상부 세트에 있어서 인듐 농도는 앰버 내지 레드 광을 방출하도록 선택되는 방법.

## 청구항 13

제11항에 있어서,

다중 양자 우물 세트의 수는 적어도 3개인 방법.

## 청구항 14

제13항에 있어서,

각각의  $Al_xGa_{1-x}N(0 < x \leq 1)$  중간 변형 보상층의 상부 및 하부에 베리어층을 형성하는 단계를 더 포함하며,

각각의 베리어층은 GaN을 포함하고, 각각의 다중 양자 우물 세트는 InGaN을 포함하며,

상기 기판에 가장 가까운 제1  $Al_xGa_{1-x}N(0 < x \leq 1)$  중간 변형 보상층은 제2  $Al_xGa_{1-x}N(0 < x \leq 1)$  중간 변형 보상층보다 더 높은 Al 농도를 함유하며,

상기 제1 다중 양자 우물 세트는 17% 이하의 인듐 농도를 갖고, 제2 다중 양자 우물 세트는 20%를 초과하는 인듐 농도를 갖고, 제3 또는 상부 다중 양자 우물 세트는 30%를 초과하는 인듐 농도를 갖는

방법.

## 청구항 15

제1, 제2 및 제3 층의 적층된 다중 양자 우물 세트;

제1 인듐 농도를 갖는 적층된 다중 양자 우물의 제1 세트;

상기 제1 인듐 농도보다 큰 제2 인듐 농도를 갖는 적층된 다중 양자 우물의 제2 세트;

상기 제2 인듐 농도보다 큰 제3 인듐 농도를 갖는 적층된 다중 양자 우물의 제3 세트;

상기 제1 층 및 상기 제2 층의 적층된 다중 양자 우물 세트 사이에 배치되며,  $Al_xGa_{1-x}N(0 < x \leq 1)$ 를 포함하는 제1 중간 변형 보상층; 및

상기 제2 층 및 상기 제3층의 적층된 다중 양자 우물 세트 사이에 배치되며,  $Al_xGa_{1-x}N(0 < x \leq 1)$ 를 포함하는 제2 중간 변형 보상층을 포함하며,

상기 제1 및 제2 중간 변형 보상층의 각각은 2개의 베리어층 사이에 배치되며,

상기 제3층의 적층된 다중 양자 우물 세트는 약 600 nm 내지 약 660 nm 범위의 파장에서 피크 방출을 갖는 광을 방출하도록 구성되는

다층 III-나이트라이드 반도체 LED.

#### 청구항 16

제15항에 있어서,

상기 제1 인듐 농도는 약 17%보다 작은

다층 III-나이트라이드 반도체 LED.

#### 청구항 17

제15항에 있어서,

상기 제2 인듐 농도는 약 20%보다 큰

다층 III-나이트라이드 반도체 LED.

#### 청구항 18

제15항에 있어서,

상기 제3 인듐 농도는 약 30%보다 크고, 제3층의 적층된 다중 양자 우물 세트가 앰버 내지 레드 광을 방출하도록 선택되는

다층 III-나이트라이드 반도체 LED.

#### 청구항 19

제15항에 있어서,

상기 중간 변형 보상층의 적어도 하나의  $Al_xGa_{1-x}N(0 < x \leq 1)$  조성은 변화되고, 상기 제1 중간 변형 보상층은 상기 제2 중간 변형 보상층보다 더 높은 Al 농도를 갖는

다층 III-나이트라이드 반도체 LED.

#### 청구항 20

제15항에 있어서,

$Al_xGa_{1-x}N(0 < x \leq 1)$  중간 변형 보상층의 적어도 하나에 있어서 Al 농도는 상기 층 내에서 연속적인 변화의 불연속적인 단계들로 변화되는

다층 III-나이트라이드 반도체 LED.

## 청구항 21

제15항에 있어서,

상기 베리어층의 적어도 하나는 GaN을 포함하고, 상기 적층된 다중 양자 우물 세트의 적어도 하나는 InGaN을 포함하는

다층 III-나이트라이드 반도체 LED.

## 청구항 22

제1 베리어층을 정의하는 단계;

상기 제1 베리어층 상에, 제1 인듐 농도를 포함하는 제1 층의 적층된 다중 양자 우물 세트를 정의하는 단계;

상기 제1 층의 적층된 다중 양자 우물 세트 상에 제2 베리어층을 정의하는 단계;

상기 제2 베리어층 상에,  $Al_xGa_{1-x}N(0 < x \leq 1)$ 을 포함하는 제1 중간 변형 보상층을 정의하는 단계;

상기 제1 중간 변형 보상층 상에 제3 베리어층을 정의하는 단계;

상기 제3 베리어층 상에, 상기 제1 인듐 농도보다 큰 제2 인듐 농도를 포함하는 제2 층의 적층된 다중 양자 우물 세트를 정의하는 단계;

상기 제2 층의 적층된 다중 양자 우물 세트 상에 제4 베리어층을 정의하는 단계;

상기 제4 베리어층 상에,  $Al_xGa_{1-x}N(0 < x \leq 1)$ 을 포함하는 제2 중간 변형 보상층을 정의하는 단계;

상기 제2 중간 변형 보상층 상에 제5 베리어층을 정의하는 단계; 및

약 600 nm 내지 약 660 nm 범위의 파장에서 피크 방출을 갖는 광을 방출하도록 구성된, 상기 제2 인듐 농도보다 큰 제3 인듐 농도를 포함하는 제3 층의 적층된 다중 양자 우물 세트를 정의하는 단계를 포함하는

III-나이트라이드 반도체 LED의 제조 방법.

## 청구항 23

제22항에 있어서,

상기 베리어층의 적어도 하나는 GaN을 포함하고, 상기 적층된 다중 양자 우물 세트의 적어도 하나는 InGaN을 포함하고, 상기 제1 중간 변형 보상층은 상기 제2 중간 변형 보상층보다 더 높은 Al 농도를 포함하고, 상기 제1 층의 적층된 다중 양자 우물 세트는 약 17% 이하의 큰 인듐 농도를 포함하고, 상기 제2 층의 적층된 다중 양자 우물 세트는 약 20%보다 큰 인듐 농도를 포함하고, 상기 제3 층의 적층된 다중 양자 우물 세트는 약 30%보다 큰 인듐 농도를 포함하는

방법.

## 발명의 설명

## 기술 분야

관련 출원의 상호 참조

본 출원은 2015년 10월 8일에 출원된 미국 가출원 제62/239,122호의 이익을 청구한다.

[0003] 본 발명은 일반적으로 앰버 내지 레드(amber-to-red) 영역에서 가시광을 방출하는 III-나이트라이드 반도체 발광 장치에 관한 것이다. 그 장치의 제조방법이 개시된다.

## 배경 기술

[0004] 발광 다이오드(LEDs) 및 레이저 다이오드(LD)(간략화를 위하여, LEDs 및 LDs는 본 명세서에서 각각 LEDs로 나타내어질 수 있음)와 같은 종래기술의 III-나이트라이드 기반 블루 발광 구조는 피크 외부 양자 효율(peak external quantum efficiency, 'EQE')이 80%를 초과하는 것이 상업적으로 입수가능하다. 그린 스펙트럼 영역에서 작동하면, 종래기술의 LEDs의 EQE는 블루 LEDs의 EQE의 절반 이하로 떨어진다. III-나이트라이드 반도체 발광 장치의 EQE는 앰버 및 레드 스펙트럼 영역으로 매우 급격히 떨어진다. III-나이트라이드 발광 장치의 효율 저하에는 두 가지 공통적인 이유가 있다: (1) 더 긴 파장에 대하여 요구되는 훨씬 더 높은 인듐 농도에 의해 혼합성(miscibility)이 현저해지는, III-나이트라이드 발광 구조의 InGaN 층 및 GaN 층 사이의 큰 격자 미스매치; 및 (2) c-평면 극성 GaN에서 성장된 InGaN QWs는 강한 압전장(piezoelectric field)으로 인한 양자 구속 스타크 효과(quantum-confined Stark effect, 'QCSE')를 겪게 되고, 이는 특히 높은 인듐 농도가 요구되는 장파장 영역에서 방사 재결합률(radiative recombination rate)의 감소를 일으킨다.

[0005] 예를 들어, LEDs와 같은 III-나이트라이드 발광 장치에서 InGaN계 장파장(600 nm보다 긴 파장에서 앰버 내지 레드)을 얻는 것은 어렵지만, 그러한 장치는 단일 칩, 고체 상태 조명 및 모놀리식 멀티컬러 광변조 장치를 실현하기 위하여 매우 바람직하다 Ref [1]. 또한, LEDs 및 LDs와 같은 InGaN계 발광 구조의 장치 성능은 AlInGaP 물질계에 기반하는 발광 장치와 같은 다른 장파장 발광 구조보다 높은 밴드갭 오프셋(bandgap off세트)으로 인해 온도 의존성이 낮다. 또한, GaN-기반 레드 파장 발광 LED 물질 구조는 GaN-기반 블루 및 그린 LEDs에 유리하게 온도 팽창 매치되어(temperature-expansion matched), 웨이퍼 본딩을 이용하는 GaN-기반 적층 LED 발광 구조와 호환될 수 있도록 하여, 멀티컬러 고체 상태 발광 장치를 생성한다 Ref [2-4]. 따라서, LEDs 및 LDs와 같은 InGaN계 장파장 발광 구조는 많은 응용 분야에서 우수할 수 있다.

[0006] 결정질 c-축을 따라 성장된, LEDs 및 LDs와 같은 종래기술의 InGaN계 레드 파장 발광 장치 분야에서는, 모두 열악한 재료 품질로 인하여 "상분리(phase separation)(통상의 기술자에게 인듐 분리(indium segregation)로도 알려져 있음)"를 나타낸다. 예를 들어, "Method for forming a GaN-based quantum well LED with red light" 명칭의, 미국특허출원공개공보 제2011-0237011A1호 (R. Zhang et al.) 및 "Development of InGaN-based red LED grown on (0001) polar surface" 명칭의 App. Phys. Express 7, 071003 (2015)(Jong-Il Hwang et al.) 참조. 이 상분리는 스펙트럼 상의 단파장 영역에서 일 이상의 추가적인 방출 피크로 나타나며, 이는 도 2b 및 2c에 나타내어진 바와 같이 필연적으로 색순도(color purity)를 감소시킨다. 따라서, 재료 품질 및 장치 성능을 해하지 않으면서 인듐 혼입(incorporation)을 증가시키기 위한 접근은 LEDs 및 LDs와 같은, 긴 파장 방출, 앰버 내지 레드, III-나이트라이드 기반 발광 구조를 달성하는데 중요하다. 본 명세서에 개시된 방법 및 장치는 고체 상태 조명, 디스플레이 시스템 및 600 nm보다 큰 파장의 고체 상태 발광 장치를 필요로 하는 많은 다른 응용 분야에서 사용될 수 있는 고성능 장파장 III-나이트라이드 반도체 발광 장치를 위한 길을 열었다.

## 발명의 내용

[0007] 본 발명은 에피택셜 성장 과정 동안 발광 활성 영역 내의 결정 변형(crystalline strain)을 조작함으로써 제조된 LEDs 및 LDs와 같은, 장파장 발광 III-나이트라이드 기반 반도체 발광 구조에 관한 것이다. 본 발명의 III-나이트라이드 반도체 발광 구조는 LED 장치 구조와 관련하여 본 명세서에서 제한 없이 설명되었지만, 통상의 기술자는 제한 없이 LDs를 포함하는 다른 III-나이트라이드 반도체 발광 구조의 설계에 본 발명의 방법이 적용되는 방식을 인식할 것이다.

[0008] 본 발명은 과도한 상분리를 겪지 않아 높은 스펙트럼 순도로 앰버 광 내지 레드 광을 방출할 수 있는, LEDs 및 LDs와 같은, III-나이트라이드 기반 발광 구조의 혁신적인 제조 방법을 개시한다. 본 발명의 추가적인 이점 및 다른 특징은 후술되는 설명에 제공되며, 부분적으로 하기 검토시에 통상의 기술자에게 명백해질 것이며, 또는 본 발명의 실시로부터 배울 수 있을 것이다. 본 출원에 대하여 우선권을 주장하는 임의의 출원의 청구범위에서 특히 지적된 바와 같이, 이점들이 실현되고 획득될 수 있다.

[0009] 본 발명의 일 실시예에 따르면, III-나이트라이드 반도체 발광 다이오드(LED)에 있어서, 제1 클래딩층은 n-형 III-나이트라이드 반도체 층을 포함한다. 발광 활성 영역은 인듐 함유 III-나이트라이드 층을 포함하는 n-형 클래딩층 상에 형성된다. p-형 AlGaIn은 전자 차단층(EBL)으로 기능하는 발광 활성 영역 상에 형성된다. 이어서,



제2 p-형 III-나이트라이드 클래딩층이 AlGaIn 층 상에 형성된다.

- [0010] 본 발명의 다른 실시예에 따르면, III-나이트라이드 발광 장치의 발광 영역은 결정 변형을 최소화하기 위하여 일 이상의 중간 변형 보상층(intermediate strain compensation layers, 이하 ISCLs로 나타내어짐)에 의해 분리된 복수의 다중 양자 우물(multiple quantum wells, 'MQW') 세트를 포함한다. 복수의 MQW 세트 및/또는 ISCLs는 기판의 표면에 수직으로 적층될 수 있으며, 이에 의해 기판 상에 MQW 세트의 다층 스택이 형성된다. 다층 스택은 낮은(lower) 인듐 농도를 갖는 GaN/InGaIn를 포함하는 제1 MQW 세트, 제1 MQW 세트의 인듐 농도보다 높은 중간(moderate) 인듐 농도를 갖는 GaN/InGaIn를 포함하는 제2 MQW 세트 및 원하는 앰버 내지 레드 파장 광을 방출할 수 있는 가장 높은 인듐 농도를 갖는 GaN/InGaIn를 포함하는 제3 MQW 세트를 포함할 수 있다. 처음 2개의 MQW 세트는 III-나이트라이드 발광 구조의 상기 III-나이트라이드 반도체 층에 예비-변형 효과(pre-strain effect)를 생성하는데 이용된다. 그러나, 가변 인듐 농도를 갖는 2개를 넘는 MQW 세트가 2개의 MQW 세트가 하는 것과 동등한 예비-변형 효과를 생성하는데 이용될 수 있으며, 이는 본 개시의 비제한적인 예로 제시된다. 또한, AlGaIn 층은 발광 영역에서 총 변형을 최소화하기 위하여 중간 변형 보상층(ISCLs)으로 삽입된다. 2개(본 실시예적 실시예에서) 이상의 예비-변형된 MQW GaN/InGaIn 세트 및 이 세트를 분리하는 AlGaIn ISCL의 조합을 통하여, III-나이트라이드 LEDs의 발광 파장은 높은 스펙트럼 순도(spectral purity) 및 높은 출력 전력(output power)으로 앰버 및 레드 영역으로 확장된다.
- [0011] 본 발명의 바람직한 실시예에서, 본 발명의 III-나이트라이드 발광 구조의 발광 영역은 일 이상의 III-나이트라이드 베리어층 및 저농도 인듐 다중 양자 우물층(제1 MQW 세트), 일 이상의 III-나이트라이드 베리어층을 함유하는 제1 ISCL 및 중간농도 인듐 다중 양자 우물층(제2 MQW 세트), 제2 ISCL, 일 이상의 베리어층 및 앰버 내지 레드 광을 방출하는 고농도 인듐 함유 다중 양자 우물층(제3 MQW 세트), 및 상부 베리어층을 포함하며, 각각의 베리어층은 GaN을 주로 포함하며; 각각의 인듐 함유 양자 우물층은 InGaIn를 포함하며; 각각의 ISCL은 AlGaIn를 포함한다.
- [0012] 본 발명의 제1 측면에서, 층상 MQW 세트의 제1, 제2 및 제3 세트를 포함할 수 있는 다층 III-나이트라이드 반도체 LED가 개시된다. 제1 세트는 제1 인듐 농도를 포함할 수 있다. 제2 세트는 제1 인듐 농도보다 큰 제2 인듐 농도를 포함할 수 있다. 제3 세트는 제2 인듐 농도보다 큰 제3 인듐 농도를 포함할 수 있다. 제1 세트 및 제2 세트의 적어도 하나는 예비-변형 층(pre-strain layer)으로 기능하도록 구성될 수 있다. 제1 중간 변형 보상층이 제공될 수 있으며, 제1 중간 변형 보상층은 제1 세트 및 제2 세트 사이에 배치되는  $Al_xGa_{1-x}N(0 < x \leq 1)$ 를 포함할 수 있다. 제2 중간 변형 보상층이 제공될 수 있으며, 제2 중간 변형 보상층은 제2 세트 및 제3 세트 사이에 배치되는  $Al_xGa_{1-x}N(0 < x \leq 1)$ 를 포함할 수 있다. 제1 및 제2 중간 변형 보상층은 2개의 베리어층 사이에 배치될 수 있으며, 제3 세트는 앰버 내지 레드 가시 영역에서 약 600 nm 내지 약 660 nm 범위의 파장을 갖는 광을 방출하도록 구성될 수 있다.
- [0013] 본 발명의 제2 측면에서, 제1 인듐 농도는 약 17%보다 작을 수 있다.
- [0014] 본 발명의 제3 측면에서, 제2 인듐 농도는 약 20%보다 클 수 있다.
- [0015] 본 발명의 제4 측면에서, 제3 인듐 농도는 약 30%보다 클 수 있으며, 약 600 nm 내지 약 660 nm 범위의 파장을 갖는 앰버 내지 레드 광을 방출하도록 구성될 수 있다.
- [0016] 본 발명의 제5 측면에서, 중간 변형 보상층의 적어도 하나는  $Al_xGa_{1-x}N$ 을 포함할 수 있으며, x는 0보다 크고 1 이하이다.
- [0017] 본 발명의 제6 측면에서, 중간 변형 보상층의 적어도 하나의 Al 농도는 변화될 수 있으며, 제1 중간 변형 보상층은 제2 중간 변형 보상층보다 더 높은 Al 농도를 포함할 수 있다.
- [0018] 본 발명의 제7 측면에서, 베리어층의 적어도 하나는 GaN을 포함할 수 있으며, 세트의 적어도 하나는 InGaIn를 포함할 수 있으며, 중간 변형 보상층의 적어도 하나는  $Al_xGa_{1-x}N(0 < x \leq 1)$ 를 포함할 수 있다.
- [0019] 본 발명의 제8 측면에서, 제1 베리어층을 정의하는 단계, 제 1베리어층 상에 제1 인듐 농도를 포함하는 MQW 세트의 제1 세트를 정의하는 단계, 제1 세트 상에 제2 베리어층을 정의하는 단계, 제2 베리어층 상에  $Al_xGa_{1-x}N(0 < x \leq 1)$ 를 포함하는 제1 중간 변형 보상층을 정의하는 단계, 제1 중간 변형 보상층을 상에 제3 베리어층을 정의하는 단계, 제3 베리어층 상에, 제1 인듐 농도보다 큰 제2 인듐 농도를 포함하는 MQW 세트의 제2 세트를 정의하는 단계, 제2 세트 상에 제4 베리어층을 정의하는 단계, 상기 제4 베리어층 상에,  $Al_xGa_{1-x}N(0 < x \leq 1)$ 을 포함

하는 제2 중간 변형 보상층을 정의하는 단계; 및 약 600 nm 내지 약 660 nm 범위의 파장을 갖는 광을 방출하도록 구성된, 제2 인듐 농도보다 큰 제3 인듐 농도를 갖는 MQW 세트의 제3 세트를 정의하는 단계를 포함하는, 앰버 내지 레드 광을 방출하는 III-나이트라이드 반도체 LED의 제조 방법이 개시된다.

[0020] 본 발명의 제9 측면에서, 상기 방법에 의해 제조된 베리어층의 적어도 하나는 GaN을 포함하고, 세트의 적어도 하나는 InGaN을 포함하고, 제1 중간 변형 보상층은 제2 중간 변형 보상층보다 더 높은 Al 농도를 포함할 수 있으며, 제1 세트는 약 17% 이하의 인듐 농도를 포함할 수 있으며, 제2 세트는 약 20%보다 큰 인듐 농도를 포함할 수 있으며, 제3 세트는 앰버 내지 레드 광을 방출하기 위한 약 30%보다 큰 인듐 농도를 포함할 수 있다.

### 도면의 간단한 설명

[0021] 이하, 다양한 실시예가 도면을 참조하여 설명되며, 동일한 참조부호는 몇몇 도면 전체에 있어 동일 또는 유사한 부분을 나타낸다.

도 1은 본 개시에 따른 III-나이트라이드 반도체 LED 장치(10)의 예시적인 비제한적 실시예의 일부의 단면도이다.

도 2a는 30 mA의 전류 주입에서 앰버 광 및 레드 광을 방출하는 도 1의 III-나이트라이드 반도체 LED 장치(10)의 EL 스펙트럼을 나타내는 그래프이다. 삽입 부분은 30 mA 및 100 mA 주입 전류에서 단파장 스펙트럼 영역 내에서의 도 1의 앰버 및 레드 LEDs(10)의 EL 스펙트럼을 나타낸다.

도 2b는 종래기술 미국특허출원공개공보 제2011-0237011A1호의 광발광(photoluminescence, 'PL') 스펙트럼을 나타낸다.

도 2c는 종래기술 App. Phys. Express 7, 071003 (2015)의 전류 의존적 EL 스펙트럼을 나타낸다.

도 3은 레드 광을 방출하는 도 1의 III-나이트라이드 반도체 LED 장치(10)에 있어서 전류의 함수로 출력 전력(output power) 및 상대적인 EQE를 나타내는 그래프이다(측정은 온-웨이퍼 구성에서 이루어짐).

도 4는 레드 광을 방출하는 도 1의 III-나이트라이드 반도체 LED 장치(10)에 있어서 전류의 함수로 피크 파장 쉬프트(peak wavelength shift) 및 반값전폭(full width at half maximum, 'FWHM')을 나타내는 그래프이다.

도 5는 앰버 광을 방출하는 도 1의 III-나이트라이드 반도체 LED 장치(10)에 있어서 전류의 함수로 출력 전력 및 상대적인 EQE를 나타내는 그래프이다.

도 6은 앰버 광을 방출하는 도 1의 III-나이트라이드 반도체 LED 장치(10)에 있어서 전류의 함수로 피크 파장 쉬프트 및 FWHM을 나타내는 그래프이다.

### 발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0022] 본 발명은 앰버 내지 레드 파장 광을 방출하는, LEDs 및 LDs와 같은 혁신적인 LED 장치 및 III-나이트라이드 고체 상태 발광 구조의 제조 방법을 제공한다. III-나이트라이드 고체 상태 발광 장치는 본 발명의 방법을 이용하여 에피택셜 성장되고, 앰버 및 레드 파장 광 방출을 독특하게 이룰 수 있으며, 이는 높은 출력 전력 및 높은 스펙트럼 순도를 나타내고 장파장에서 종래기술의 III-나이트라이드 발광 구조를 피복하는 상분리가 일어나지 않는다.

[0023] 본 발명의 III-나이트라이드 반도체 앰버 내지 레드 파장 발광 장치는 본 발명의 예시적인 실시예로 도 1에 도시된 LED 장치 구조와 관련하여 본 명세서에서 설명된다. 도 1은 본 발명에 따른 앰버 내지 레드 III-나이트라이드 LED(10)의 예시적인 실시예의 일부의 단면도를 나타낸다. 앰버 내지 레드 III-나이트라이드 LED 장치(10)는 통상적인 에피택셜 방법, 예를 들어, 유기 금속 화학 증착법(metalorganic chemical vapor deposition, 'MOVPE')으로도 알려져 있는 유기 금속 기상 에피택시(metalorganic vapor phase epitaxy, 'MOVPE')에 의해 제조될 수 있다. 도 1에 도시된 바와 같이, 약 2  $\mu\text{m}$ 의 GaN 버퍼층(2)이 기판(1), 예를 들어, 삽입된 핵형성층(도시되지 않음)을 갖는 사파이어 기판 상에 성장된다. Si가 도핑된, 약 3  $\mu\text{m}$  두께의 n-형 GaN 클래딩층(3)이 GaN 버퍼층(2) 상에서 성장된다. 앰버 내지 레드 III-나이트라이드 LED(10)의 예시적인 실시예는 적합한 기판(1) 결정 배향(crystallographic orientation)을 이용하여, 극성, 반-극성 또는 비극성 결정 배향으로 에피택셜 성장될 수 있다.

[0024] 도 1을 참조하면, III-나이트라이드 LED 구조는, n-형 GaN 클래딩층(3) 상에 성장된 인듐-함유 III-나이트라이드 반도체 층을 포함하는 발광 영역 또는 다중 양자 우물(MQW) 활성 영역(4)을 포함한다. 도 1에 나타내어진 바와

같이, 활성 영역(4)은 하부 MQW 세트(4<sub>A</sub>)로부터 상부 MQW 세트(4<sub>H</sub>)로 점진적으로 증가되는 인듐 농도를 갖는 3종의 MQW 세트를 포함할 수 있다. 각각의 MQW 세트는 일 이상의 2-3 nm 두께(결정 배향에 따라 더 두꺼울 수 있음)의 InGa<sub>N</sub> 양자 우물층(4<sub>A2</sub>, ..., 4<sub>E2</sub>, ..., 4<sub>H2</sub> ...) 및 GaN으로 주로 구성되는 일 이상의 5-20 nm 두께의 베리어층(4<sub>A1</sub>, ..., 4<sub>B</sub>, 4<sub>E1</sub>, ..., 4<sub>F</sub>, 4<sub>H1</sub>, ..., 4<sub>I</sub>)을 포함하며, 이들은 서로 교대로 적층되어 각각의 InGa<sub>N</sub> 양자 우물층이 2개의 베리어층 사이에 삽입된다. 따라서, 도 1에 나타내어진 바와 같이, MQW 세트(4<sub>A</sub>, 4<sub>E</sub>, 4<sub>H</sub>)는 수직으로 적층되어 MQW 세트(4)의 다층 스택을 형성할 수 있다. III-나이트라이드 기반 베리어층(4<sub>A1</sub>, ..., 4<sub>B</sub>, 4<sub>E1</sub>, ..., 4<sub>F</sub>, 4<sub>H1</sub>, ..., 4<sub>I</sub>)은 그 개별적인 양자 우물층(4<sub>A2</sub>, ..., 4<sub>E2</sub>, ..., 4<sub>H2</sub> ...)의 양자 구속 수준(quantum confinement levels)을 조정하기 위하여 필요에 따라 추가량의 인듐 및/또는 알루미늄을 포함할 수 있다. 제1 MQW 세트(4<sub>A</sub>) 및 제2 MQW 세트(4<sub>E</sub>)에 있어서 인듐 농도는 설명된 실시예에서 각각 7-13% 및 20-25%인 것이 바람직하다. 처음 2개의 MQW 세트(4<sub>A</sub>, 4<sub>E</sub>)는, 앰버 내지 레드 광 방출에 바람직한 30%보다 큰 인듐 농도를 함유할 수 있는 상부 MQW 세트(4<sub>H</sub>)에 대하여 예비-변형 효과를 생성한다.

[0025] 본 발명의 일 실시예에서, 높은 인듐 농도는 도 1의 III-나이트라이드 앰버 내지 레드 발광 구조의 상부 MQW 세트(4<sub>H</sub>)의 높은 인듐 함유 양자 우물층(4<sub>H2</sub>, ...)의 변형을 신중하게 제어함으로써 상분리를 야기하지 않고 달성된다. 이 실시예에서, 점진적으로 증가하는 인듐 농도를 갖는 하부의 2개의 MQW 세트(4<sub>A</sub>, 4<sub>E</sub>)를 도입함으로써, 베리어층에 예비-변형 효과를 생성하고, 이에 의해 최상부의 MQW 세트(4<sub>H</sub>) 내에 높은 인듐 흡수를 촉진시킨다. III-나이트라이드 발광 구조 내에 낮은 인듐 농도를 갖는 단지 1 또는 2개의 MQW 세트를 포함시키는 것은 높은 스펙트럼 순도 및 높은 출력 전력을 갖는 앰버 내지 레드 영역에서 발광하는 완전한 기능성 III-나이트라이드 반도체 LED를 생성하지 못할 수 있음이 강조되어야 한다. 따라서, 본 발명의 다른 실시예에 따르면, 도 1에 도시된 바와 같이, 중간 변형 보상층(ISCLs)(4<sub>C</sub>, 4<sub>G</sub>)이 각각 2개의 연속하는 MQW 세트 사이에 삽입된다.

[0026] ISCLs는 각각 2개의 연속적인 MQW 세트의 베리어층 사이에 삽입되며, 약 17% 내지 약 25% 범위의 변화하는 Al 농도  $x$ 를 갖는 Al<sub>x</sub>Ga<sub>1-x</sub>N( $0 < x \leq 1$ ) 합금으로 바람직하게 구성된다. ISCLs(4<sub>C</sub>, 4<sub>G</sub>)의 두께 및 Al 농도는 상이한 것이 바람직하다. 본 발명의 일 실시예에서, 층에 크랙이 발생하는 것을 방지하고, 그러한 층 때문에 LED 장치(10)의 과도한 직렬 저항을 방지하기 위하여, 하부 ISCL(4<sub>C</sub>)에 있어서 Al 농도  $x$ 는 상부 ISCL(4<sub>G</sub>)의 Al 농도보다 높을 수 있다. 본 발명의 다른 실시예에서, 높은 인듐 농도의 상부 MQW 세트(4<sub>H</sub>)로의 높은 수준의 캐리어 주입을 촉진하는데 도움이 되도록 하부 2개의 낮은 인듐 농도 MQW 세트(4<sub>A</sub>, 4<sub>E</sub>)로의 캐리어 주입을 억제함으로써, 상부 MQW 세트(4<sub>H</sub>)로부터의 LED 장치 광 방출 비율을 증가시켜, 본 발명의 III-나이트라이드 반도체 발광 장치의 앰버 내지 레드 발광의 반값전폭(FWHM)을 감소시키기 위하여, 하부 ISCL(4<sub>C</sub>)에 있어서 Al 농도  $x$ 는 상부 ISCL(4<sub>G</sub>)의 Al 농도보다 낮을 수 있다. 일반적으로, Al 농도는 ISCL에서 ISCL로 변화하지만, 택일적으로, 개별적인 중간 변형 보상층에서의 Al 농도는 그 중간 변형 보상층내에서, 그 층 내에서 불연속적인 단계로(단계적으로), 또는 개별적인 층에서 연속적인 변동으로서 변화될 수 있다.

[0027] 통상의 기술자는 전술한 본 발명의 방법을 이용하여 III-나이트라이드 반도체 발광 장치의 앰버 내지 레드 발광의 타겟 성능 변수에 따라 ISCLs(4<sub>C</sub>, 4<sub>G</sub>)에 있어서 가장 적합한 두께 및 Al 농도를 선택할 수 있음을 인식할 것이다.

[0028] 도 1을 다시 참조하면, 위에 놓인, LED 장치(10)의 MQW 활성 영역(4)은 각각 약 200 nm의 조합된 두께를 가지며, Mg-도핑된 AlGa<sub>N</sub> 전자 차단층(EBL)(5), Mg-도핑된 GaN 클래딩층(6) 및 Mg-도핑된 GaN 콘택층(7)을 포함하는 p-형 층이다. p-형 AlGa<sub>N</sub> 및 GaN 클래딩층에 있어서 Mg의 원자 농도는 바람직하게, 예를 들면, 1E19 cm<sup>-3</sup> 내지 1E20 cm<sup>-3</sup>의 범위이다. p-형 GaN 콘택층에 있어서 Mg 원자 농도는 바람직하게, 예를 들면, 1E21 cm<sup>-3</sup>의 범위이다.

[0029] 종래기술의 III-나이트라이드 발광 장치에 있어서와 같이, 본 발명의 III-나이트라이드 반도체 앰버 내지 레드 발광 장치는 에피택셜 처리된 웨이퍼의 상부층 p-GaN 층(7) 상에, 옴릭 콘택 금속 스택(ohmic contact metal stack)을 먼저 증착하여 p-층 전극(8)을 형성한 후, 측면 트랜치를 에칭하여 n-GaN 층(3)을 노출시키고, 이어서 에칭된 트랜치 내에, 옴릭 콘택 금속 스택을 증착하여 n-층 전극(9)을 형성함으로써 제조된다. 이어서, 에피택

설 처리된 웨이퍼는 다이싱되어 개별적인 LED 칩을 형성하며, 각각의 칩은 도 1에 도시된 단면을 실질적으로 가지며, 본 발명의 LED 장치를 형성하기 위하여 후속적으로 패키징되고, 각각의 p-전극 및 n-전극에 와이어-본딩된다. 실험실 테스트를 위하여, p-측 전극(또는 오믹 콘택 금속 스택)(8), 예를 들어, 인듐 볼(신속 테스트에서 간략화를 위하여)이 p-형 GaN 콘택층(7) 상에 형성된다.

[0030] 또한, 장치(10)의 일 측부는 p-형 GaN 콘택층(7)으로부터 n-형 GaN 클래드층(3)의 일부까지 에칭된다. 이어서, n-측 전극(또는 오믹 콘택 금속 스택)(9), 예를 들어, 인듐 볼(신속 테스트에서 간략화를 위하여)이 n-형 GaN 클래드층의 노출 부분 상에 형성된다.

[0031] 양의(positive) p-측 전극(8)으로부터 n-측 전극(9)으로의 전류 주입 하에서, 전자 및 정공 재결합 공정을 통해, 가시광이 활성 영역(4)으로부터 방출된다. 본 발명의 방법에 따라 에피택셜 성장된 III-나이트라이드 반도체 LED 장치(10)는, 상부 MQW 세트(4<sub>B</sub>)만이 광을 방출하고, 하부 2개의 MQW 세트(4<sub>A</sub>, 4<sub>E</sub>)는 주로 예비-변형 층으로서 기능하도록 구성되는 것이 바람직하다. 약 30 mA의 전류 주입 하에서, 앰버 내지 레드(앰버-레드) 가시광 스펙트럼 영역 내에서 광을 방출하는 ~1 mW 면적을 갖는 III-나이트라이드 반도체 LED 장치(10)는 강한 앰버-레드 방사를 방출한다.

[0032] 도 2a는 약 30 mA에서 구동된 도 1의 앰버-레드 LEDs(10)에 있어서 전형적인 EL 스펙트럼을 나타내는 그래프이다. 삽입 부분은 30 mA 및 100 mA 주입 전류에서 단파장 스펙트럼 영역 내에서의 본 발명의 도 1의 III-나이트라이드 LED(10)의 앰버 실시예 및 레드 실시예의 EL 스펙트럼을 나타낸다. 도 2a의 삽입 부분에 나타내어진 바와 같이, 100 mA의 높은 구동 전류 하에서도 더 짧은 파장 영역에서 추가적인 피크가 존재하지 않으며, 이는 본 발명의 LED에서 상분리가 없음을 시사한다. 이와 달리, 종래기술의 LED 성능을 설명하는 도 2b 및 2c에 나타내어진 바와 같이, 상분리-유도된 추가적인 방출 피크(~440 nm) 및 실질적으로 더 넓은 FWHM 방출이 종래 기술의 LEDs: 각각 미국특허출원공개공보 제2011-0237011A1호 및 App. Phys. Express 7, 071003 (2015)에서 쉽게 관찰된다.

[0033] 도 3 내지 도 6은 본 발명의 앰버-레드 III-나이트라이드 발광 장치(10)의 성능을 입증한다: 도 3 및 도 4는 장치(10) 활성 영역(4)이 레드(~625 nm) 발광(~45% 인듐 농도)을 위하여 설계된, 본 발명의 하나의 예시적인 실시예의 성능을 입증하며, 도 5 및 도 6은 장치(10) 활성 영역 구조가 앰버(~615 nm) 발광(~45% 인듐 농도)을 위하여 설계된, 본 발명의 다른 예시적인 실시예의 성능을 입증한다.

[0034] 도 3은 레드(~625 nm) 발광에서 피크를 갖도록 설계된 활성 영역(4)을 갖는 본 발명의 III-나이트라이드 LED 장치(10)의 레드 발광에 있어서 출력 전력 및 상대적인 EQE의 측정된 전류 의존성을 나타내는 그래프이다. 모든 측정은 각각 p-측 전극(8) 및 n-측 전극(9)으로 인듐 볼을 갖는 온-웨이퍼(on-wafer) 테스트 구성에서 수행되었다. 설명된 테스트를 수행하는데 있어서 특별한 표면 처리 및/또는 냉각 유닛이 이용되지 않았다. 광은 LED(10) 아래에 배치된 적분구에 의해 수집되었으므로, 모든 광이 수집되지는 않았다. 도 3에 도시된 바와 같이, 출력 전력은 다른 III-나이트라이드 반도체 기반 LEDs에서 관찰된 바와 같은 전력 규칙(power rule)에 따라 인가된 전류에 따라 증가한다. 30 mA에서, 레드 III-나이트라이드 반도체 LED(10)의 출력 전력은 약 211 μW에 이른다. 레드 III-나이트라이드 반도체 LED(10)의 상대적인 EQE는 약 11 mA에서 약 35%에서 피크를 나타내며, 이어서 증가하는 전류에 따라 단조롭게 떨어지기 시작한다. 100 mA에서, 상대적인 EQE는 피크값에 비하여 약 26% 감소하였다. 증가하는 전류에 의한 EQE 감소에 대한 진정한 메커니즘은 여전히 LED 설계 커뮤니티에서 잘 이해되지 않고 있다. 이러한 현상에 대하여 기본적으로 2개의 설명이 있다: (1) 오거 재결합(Auger recombination); 및 (2) 그 상세한 설명은 본 개시의 범위를 벗어나는, 불충분한 홀 이송으로 인한 전자 누출.

[0035] 도 4는 도 1의 레드 III-나이트라이드 LED(10)에 있어서 측정된 방출 피크 파장 쉬프트 및 전류에 따른 FWHM의 일 예를 나타내는 그래프이다. 방출 피크 파장은 주입 전류의 증가에 따른 블루 쉬프트(blue shift)를 나타낸다. 이 거동은 III-나이트라이드 기반 반도체 LEDs에서 압전장의 캐리어 스크리닝의 특성이다. 밴드 필링 효과(band-filling effect)도 블루 쉬프트의 다른 요인이다. 방출 피크 파장은 강한 밴드 필링 효과로 인하여 낮은 전류에서 쉬프트하지만, 100 mA에서, 617 nm로 점진적으로 포화된다. 30 mA에서, 방출 피크 파장은 625 nm(레드)이고, FWHM은 ~1 mW 면적을 갖는 장치에 있어서 동일한 전류 수준에서 49 nm의 최소값에 이른다. 본 출원인이 알고 있는 한, 이는 현재까지 달성된 III-나이트라이드 발광 장치로부터의 최고의 레드 방출 성능을 나타낸다.

[0036] 도 5는 앰버 광 방출에서 피크를 나타내도록 설계된, 활성 영역(4)을 갖는 본 발명의 도 1의 III-나이트라이드 반도체 LED 장치(10)의 출력 전력 및 상대적인 EQE의 전류 의존성을 나타내는 그래프이다. 전술한 예시적 실시



예의 레드 III-나이트라이드 반도체 LED와 유사한 거동으로,  $\sim 1 \text{ mm}^2$  면적을 갖는 장치에 있어서, 앰버 III-나이트라이드 반도체 LED의 상대적인 EQE는 약 9 mA에서 45%까지 피크를 나타내고 100 mA에서 약 33%로 감소한다. 앰버 III-나이트라이드 LED에 있어서 측정된 출력 전력은 30 mA에서 266  $\mu\text{W}$ 이었다.

[0037] 도 6은 도 1의 앰버 III-나이트라이드 반도체 LED(10)에 있어서 인가된 전류에 의한 방출 피크 파장 및 FWHM의 측정된 변화의 일예를 나타내는 그래프이다. 레드 III-나이트라이드 LED와 유사한 경향에 따라, 파장은 낮은 전류에서 쉬프트하나, 100 mA에서 599 nm로 점진적으로 포화된다. 30 mA에서, 피크 파장은 617 nm(앰버)이며, FWHM 54 nm이었다.

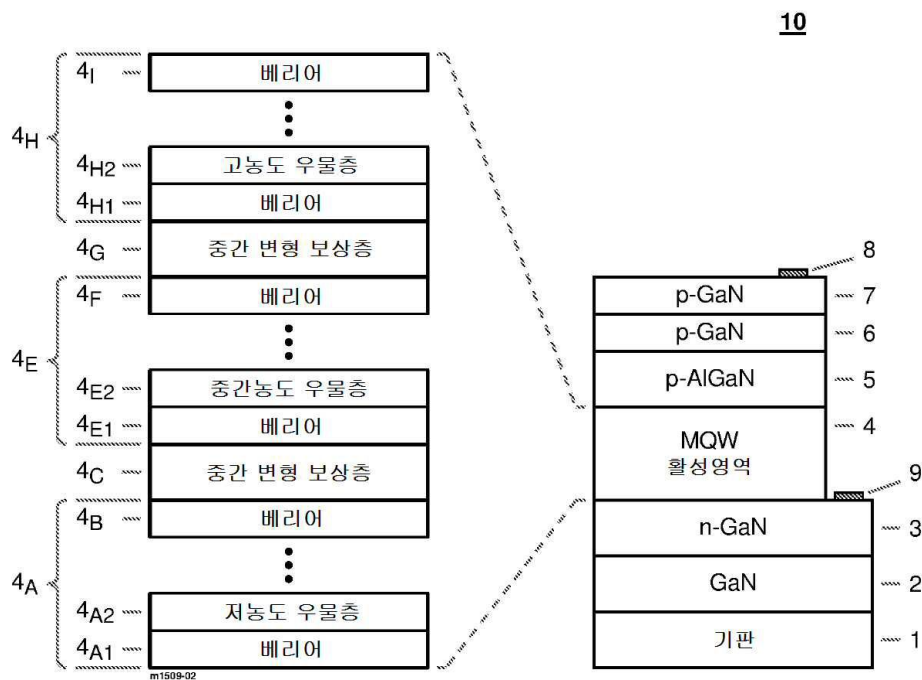
[0038] 전술한 단락에 설명된 바와 같이, 본 발명에 따른, 높은 출력 전력 및 높은 스펙트럼 순도를 갖는 앰버 내지 레드 광을 방출하는 III-나이트라이드 반도체 LEDs는 재료 변형(material strain)에 대하여 세심한 제어를 함으로써 쉽게 제조될 수 있다. 에피택셜 성장법은 III-V 화합물 반도체를 얻기 위한 기술과 호환될 수 있다. 본 개시를 실시하는데 이용될 수 있는 적합한 에피택셜 증착 기술은 MOVPE, 분자 빔 에피택시(molecular beam epitaxy, 'MBE'), 및 하이드라이드 기상 에피택시(hydride vapor phase epitaxy, 'HVPE')를 포함하나, 이에 제한되는 것은 아니다. III-나이트라이드-기반 반도체 층은, 예를 들어,  $\text{Al}_x\text{Ga}_y\text{In}_{1-x-y}\text{N}$ (여기에서,  $0 \leq x \leq 1$  및  $0 \leq y \leq 1$ )를 포함할 수 있다. 기판(1)의 평면 배향(plane orientation)은 c-평면, 반극성 및 비극성 결정질 평면의 어느 하나일 수 있다.

[0039] 또한, 본 개시에 따른 LED 장치(10)는 통상적인 III-V 화합물 반도체 제조방법 및 기술을 이용하여 쉽게 제조될 수 있다.

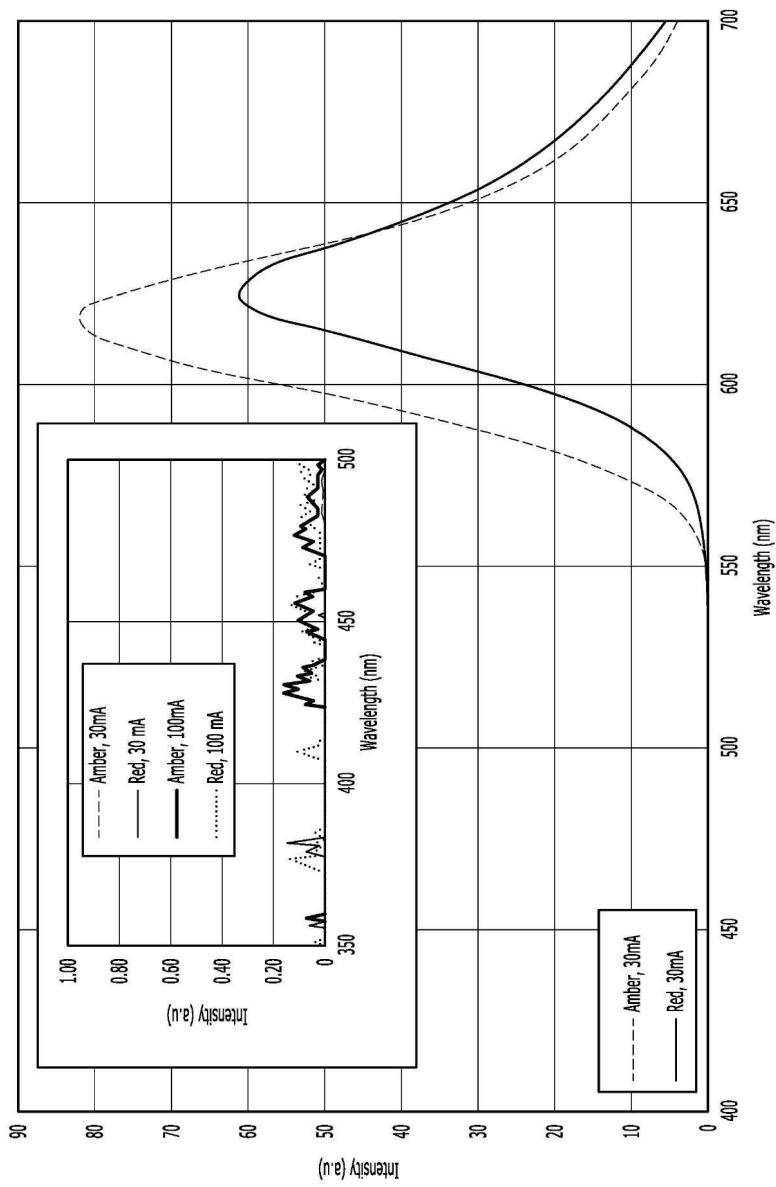
[0040] 전술한 개시는 예시로서 기술된 것이며, 본 개시가 그에 제한되지 않음이 이해되어야 한다. 이는 광범위한 변형 및 유사한 배열을 포함하는 것을 의미한다. 본 개시의 특징 또는 구성요소의 변형은 본 개시의 핵심 개념으로부터 벗어나지 않고 이루어질 수 있다. 결과적으로, 본 개시의 범위는 전술한 설명에 의해 제한되지 않으며, 본 명세서에 표현된 바와 같이 첨부된 청구범위에 의해서만 제한된다.

## 도면

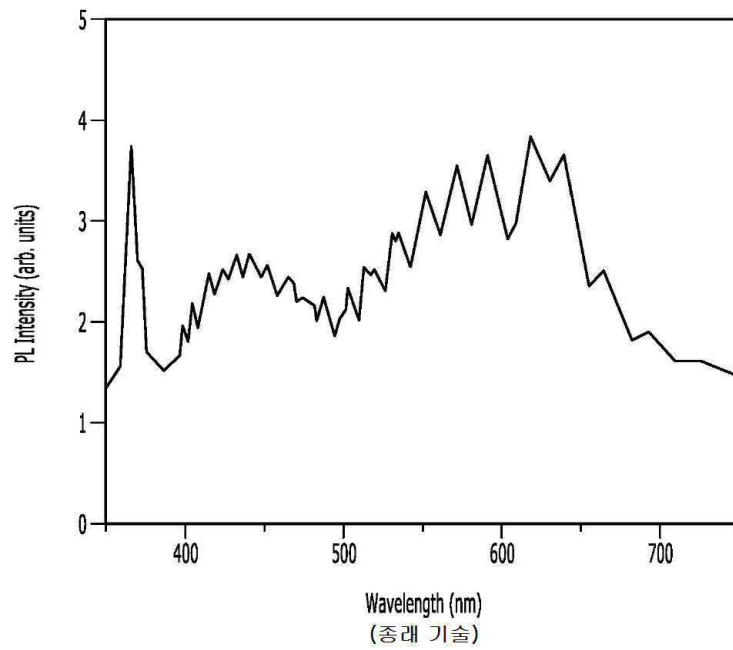
### 도면1



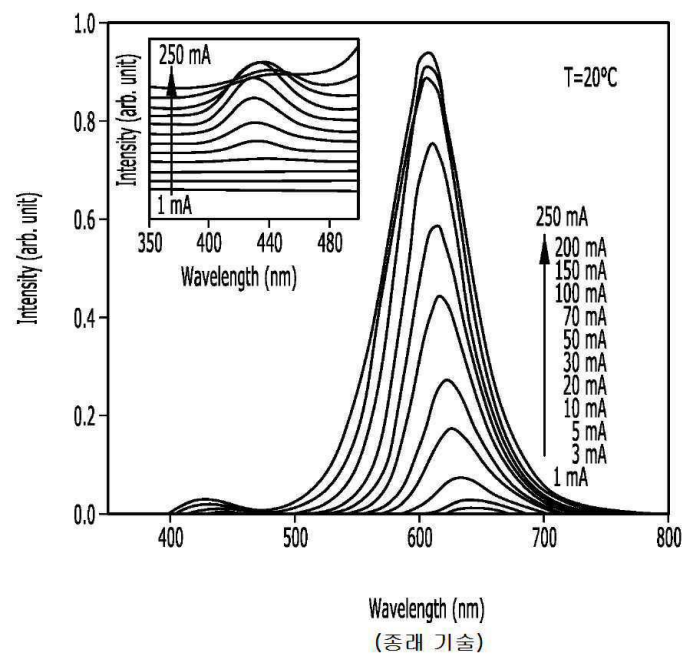
도면2a



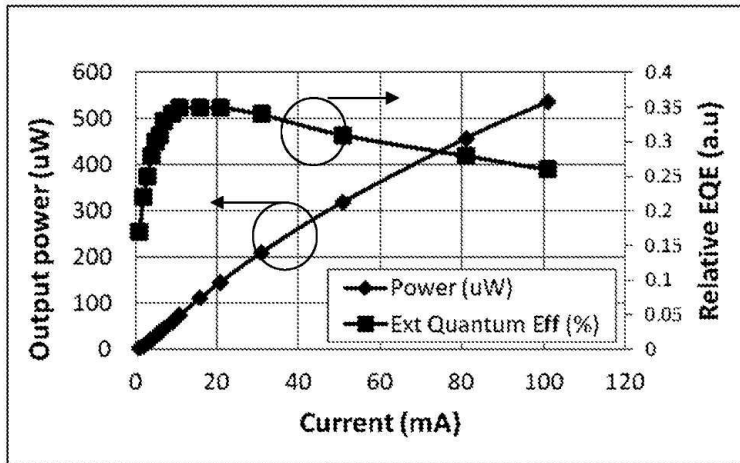
도면2b



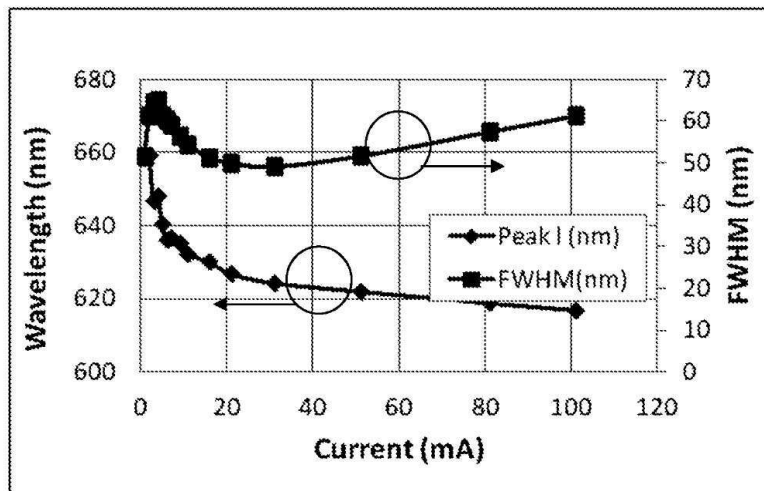
도면2c



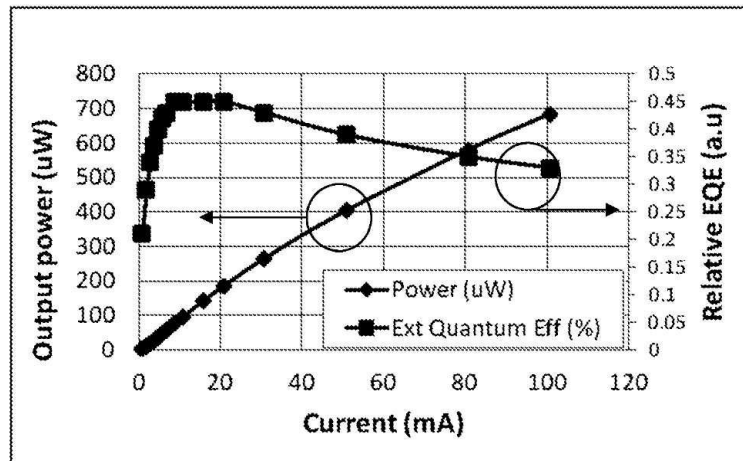
도면3



도면4



도면5





도면6

