(19)대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) 。Int. Cl.
H01S 5/30 (2006.01)

(45) 공고일자 2007년04월09일
(11) 등록번호 10-0705886
(24) 등록일자 2007년04월03일

(21) 출원번호	10-2002-7000602	(65) 공개번호	10-2002-0012630
(22) 출원일자	2002년01월15일	(43) 공개일자	2002년02월16일
심사청구일자	2005년05월31일		
번역문 제출일자	2002년01월15일		
(86) 국제출원번호	PCT/US2000/019387	(87) 국제공개번호	WO 2001/06608
국제출원일자	2000년07월14일	국제공개일자	2001년01월25일

(81) 지정국 국내특허 : 중국, 대한민국, 미국,

EP 유럽특허 : 오스트리아, 벨기에, 스위스, 사이프러스, 독일, 덴마크, 스페인, 핀란드, 프랑스, 영국, 그리스, 아일랜드, 이탈리아, 룩셈부르크, 모나코, 네덜란드, 포르투칼, 스웨덴,

(30) 우선권주장 JP-P-1999-00203930 1999년07월16일 일본(JP)

(73) 특허권자
아바고 테크놀로지스 이씨비유 아이피 (싱가포르) 피티이 리미티드
싱가포르 768923 애비뉴 7 이순 1

(72) 발명자
다케우치데츠야
미국캘리포니아주94040마운틴뷰#119이스트엘카미노리얼870

와타나베사토시
일본가나가와켄요코하마시츠즈키쿠기타야마다3-7-2-101

가네코야와라
일본가나가와켄치가사키시도모에2-4-17

야마다노리히데
일본도쿄도고쿠분지니치-고이가쿠보1-9-47

아마노히로시
일본아이치켄나고야시메이토쿠야마노테2-104-508

아카사키이사무
일본아이치켄나고야시니시쿠죠신1-1-38-805

(74) 대리인
김창세

(56) 선행기술조사문헌
US5146465 US5530715
JP09199759
* 심사관에 의하여 인용된 문헌

심사관 : 이용배

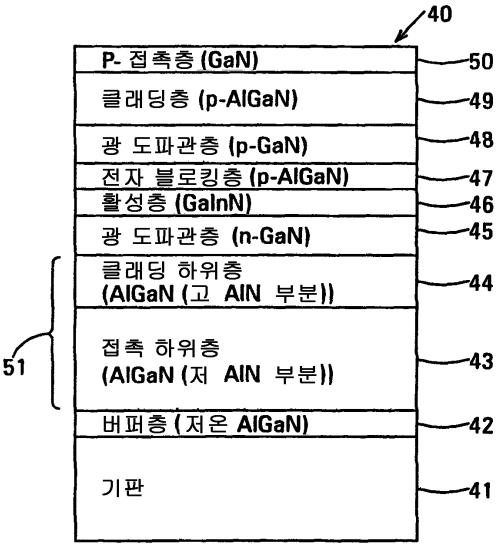
전체 청구항 수 : 총 19 항

(54) 질화물 반도체층 구조물 및 질화물 반도체 레이저

(57) 요약

질화물 반도체층 구조물은 버퍼층과 버퍼층 상의 복합층을 포함한다. 버퍼층은 AlN을 포함하는 저온 증착형 질화물 반도체 물질층이다. 복합층은 AlN을 포함하는 단결정 질화물 반도체 물질층이다. 복합층은 버퍼층에 인접하여 제 1 하위층을 포함하고 그 제 1 하위층 위에 제 2 하위층을 포함한다. 복합층의 단결정 질화물 반도체 물질은 제 1 하위층에서 제 1 AlN 몰분율을 가지며 제 2 하위층에서 제 2 AlN 몰분율을 갖는다. 제 2 AlN 몰분율은 제 1 AlN 몰분율보다 더 크다. 질화물 반도체 레이저는 전술된 질화물 반도체층 구조물 일부를 포함하고, 복합층 상에 광 도파관층과 그 광 도파관층 상에 활성층을 추가적으로 포함한다.

대표도



특허청구의 범위

청구항 1.

질화물 반도체층 구조물(nitride semiconductor layer structure)로서,

단결정 성장이 시작되는 온도보다 낮은 온도에서 증착된 AlN을 포함하는 저온 증착형 질화물 반도체 물질(low-temperature-deposited nitride semiconductor material)의 버퍼층(buffer layer)과,

상기 버퍼층 상에서 AlN을 포함하는 단결정(single-crystal) 질화물 반도체 물질의 복합층(composite layer)- 상기 복합층은 상기 버퍼층에 인접한 제 1 하위층(sub-layer)과, 상기 제 1 하위층 상에 제 2 하위층을 포함함-을 포함하되,

상기 단결정 질화물 반도체 물질은 상기 제 1 하위층(a first sub-layer)에서 제 1 AlN 몰분율(molar fraction)을 가지고 상기 제 2 하위층(a second sub-layer)에서 제 2 AlN 몰분율을 가지며, 상기 제 2 AlN 몰분율은 상기 제 1 AlN 몰분율보다 더 큰

질화물 반도체층 구조물.

청구항 2.

제 1 항에 있어서,

단결정 질화물 반도체 물질의 추가적 복합층- 상기 추가적 복합층은 제 1 추가적 하위층과, 제 2 추가적 하위층을 포함함 -과,

상기 복합층 및 상기 추가적 복합층 사이에서 활성층(active layer)을 더 포함하되,

상기 제 2 추가적 하위층은 상기 제 1 추가적 하위층보다 상기 활성층에 더 가깝고,

상기 추가적 복합층의 상기 단결정 질화물 반도체 물질은 상기 제 1 추가적 하위층에서 제 1 추가적 AlN 몰분율을 가지고 상기 제 2 추가적 하위층에서 제 2 추가적 AlN 몰분율을 가지며, 상기 제 2 추가적 AlN 몰분율이 상기 제 1 추가적 AlN 몰분율보다 더 큰

질화물 반도체층 구조물.

청구항 3.

제 1 항에 있어서,

상기 제 2 AlN 몰분율은 상기 제 1 AlN 몰분율과 단지 0.1만큼 차이가 나는

질화물 반도체층 구조물.

청구항 4.

제 3 항에 있어서,

상기 제 2 AlN 몰분율은 상기 제 1 AlN 몰분율과 단지 0.03만큼 차이가 나는

질화물 반도체층 구조물.

청구항 5.

제 1 항에 있어서,

상기 버퍼층 아래 사파이어(sapphire) 기판을 더 포함하는

질화물 반도체층 구조물.

청구항 6.

제 1 항에 있어서,

상기 버퍼층 아래 기판을 더 포함하되, 상기 기판은 SiC와 GaN 중 하나를 포함하는

질화물 반도체층 구조물.

청구항 7.

제 1 항에 있어서,

상기 버퍼층 아래에 기판 구조물을 더 포함하되, 상기 기판 구조물은

기판과,

GaN 층과,

상기 기판 및 상기 GaN 층 사이에 삽입된 저온 증착형 반도체 물질층을 포함하는

질화물 반도체층 구조물.

청구항 8.

제 1 항에 있어서,

상기 버퍼층의 상기 저온 증착형 반도체 물질 및 상기 복합층의 상기 단결정 질화물 반도체 물질이 동일한 도펀트(dopant)로 도핑되는

질화물 반도체층 구조물.

청구항 9.

제 1 항에 있어서,

상기 버퍼층은 100nm 이하의 두께를 가지며,

상기 버퍼층의 상기 저온 증착형 질화물 반도체 물질은 $Al_yGa_{1-y}N$ ($0 < y \leq 1$)이고,

상기 복합층의 상기 단결정 질화물 반도체 물질은 $Al_xGa_{1-x}N$이고,

상기 제 2 하위층은 최소한 600nm의 두께를 가지며 상기 제 2 AlN 몰분율 x의 범위는 ($0.05 < x \leq 1$)인

질화물 반도체층 구조물.

청구항 10.

제 1 항에 있어서,

상기 버퍼층의 상기 저온 증착형 질화물 반도체 물질이 최소한 0.01의 AlN 몰분율을 가지는

질화물 반도체층 구조물.

청구항 11.

제 10 항에 있어서,

상기 복합층의 상기 단결정 질화물 반도체 물질이 최소한 0.03의 AlN 몰분율을 가지는

질화물 반도체층 구조물.

청구항 12.

제 1 항에 있어서,

상기 복합층은 추가적으로 상기 제 1 하위층 및 상기 제 2 하위층 사이에 그래디언트 하위층(gradient sub-layer)을 포함하고,

상기 복합층의 상기 단결정 질화물 반도체 물질의 AlN 몰분율은 상기 그래디언트 하위층에서 상기 제 1 AlN 몰분율로부터 상기 제 2 AlN 몰분율로 변화하는

질화물 반도체층 구조물.

청구항 13.

제 12 항에 있어서,

상기 복합층의 상기 단결정 질화물 반도체 물질의 AlN 몰분율은 상기 그래디언트 하위층에서 상기 제 1 AlN 몰분율로부터 상기 제 2 AlN 몰분율로 선형 또는 포물선형으로(parabolically) 변화하는

질화물 반도체층 구조물.

청구항 14.

질화물 반도체 레이저(laser)로서,

청구항 1에 따른 질화물 반도체층 구조물 부분과,

상기 복합층 상의 광 도파관층(optical waveguide layer)과,

상기 광 도파관층 상의 활성층(active layer)을 포함하는

질화물 반도체 레이저.

청구항 15.

제 14 항에 있어서,

상기 제 2 하위층은 두께를 가지며,

상기 제 2 하위층의 상기 두께 또는 상기 제 2 AlN 몰분율은, 상기 레이저가 단일 피크(single peak)를 나타내는 원시야 패턴(far-field pattern)을 갖는 광선을 발생시키는 값을 가지는

질화물 반도체 레이저.

청구항 16.

질화물 반도체 레이저(laser)로서,

청구항 2에 따른 질화물 반도체층 구조물 부분과,

상기 복합층 상의 광 도파관층(optical waveguide layer)과,

상기 광 도파관층 상의 활성층(active layer)을 포함하는

질화물 반도체 레이저.

청구항 17.

제 16 항에 있어서,

상기 제 2 하위층은 두께를 가지며,

상기 제 2 하위층의 상기 두께 또는 상기 제 2 AlN 몰분율은, 상기 레이저가 단일 피크(single peak)를 나타내는 원시야 패턴(far-field pattern)을 갖는 광선을 발생시키는 값을 가지는

질화물 반도체 레이저.

청구항 18.

질화물 반도체 레이저(laser)로서,

청구항 5에 따른 질화물 반도체층 구조물 부분과,

상기 복합층 상의 광 도파관층(optical waveguide layer)과,

상기 광 도파관층 상의 활성층(active layer)을 포함하는

질화물 반도체 레이저.

청구항 19.

제 18 항에 있어서,

상기 제 2 하위층은 두께를 가지며,

상기 제 2 하위층의 상기 두께 또는 상기 제 2 AlN 몰분율은, 상기 레이저가 단일 피크(single peak)를 나타내는 원시야 패턴(far-field pattern)을 갖는 광선을 발생시키는 값을 가지는

질화물 반도체 레이저.

명세서

기술분야

본 발명은 질화물 반도체층 구조물(nitride semiconductor layer structure)에 관한 것이며, 보다 구체적으로는 AlN을 포함하는 저온 증착형(low-temperature-deposited) 질화물 반도체 물질의 버퍼층(buffer layer) 상의, 역시 AlN을 포함하는 단결정(single-crystal) 질화물 반도체 물질의 비교적 두꺼운 복합층(composite layer)을 포함하는 질화물 반도체층 구조물에 관한 것이다. 본 발명은 또한 그러한 질화물 반도체층 구조물 부분을 포함하는 질화물 반도체 레이저에 관련된다.

배경기술

그룹 Ⅲ-질화물 반도체 물질로 구성된 질화물 반도체 장치는 레이저 및 발광 다이오드(light-emitting diode)와 같은 전자광학 장치(electro-optical device)로서 상당히 유망하다. 이러한 물질의 일반식은 $Al_xGa_{1-x-y}In_yN$(여기서, Al은 알루미늄(aluminum)이고, Ga는 갈륨(gallium)이고, In은 인듐(indium)이고, N은 질소(nitrogen)이고, x 및 y는 복합 비율(compositional ratio))이다. 예컨대, 이러한 물질은 스펙트럼의 자외선 부분(ultraviolet part)을 통하여 청색대에서 광선을 발생시키는 레이저를 제조하는데 이용되는 것으로 알려져 왔다. 그러나, 질화물 반도체 물질을 이용하여 제조된 통상적 구조의 레이저와 관련된 실제로 중요한 문제점은 이러한 레이저에 의하여 생성되는 광선의 원시야 패턴(far-field pattern)이 하나보다 많은 피크(peak)를 나타낸다는 점이다. 원시야 패턴은 그 광선의 근시야 패턴을 푸리에 변환(Fourier transform of the near-field pattern)한 것이다. 예컨대, D. Hofstetter et al., *Excitation of a Higher Order Transverse Mode in an Optically-Pumped $In_{0.15}Ga_{0.85}N/In_{0.05}Ga_{0.95}N$ Multi Quantum Well Laser Structure*, 70 APPL. PHYS. LETT., 1650(1997)을 참조하기 바란다. 다수(multiple) 피크를 나타내는 원시야 패턴을 갖는 광선을 생성하는 레이저는 단일 피크를 나타내는 원시야 패턴을 갖는 광선을 생성하는 레이저에 비하여 실제적으로 그 실용적 애플리케이션이 더 적다.

이와 같은 통상적 레이저에 의하여 생성된 광선의 원시야 패턴은, 그 레이저 내의 광학 도파관층(optical waveguide layer) 및 하위 클래딩층(underlying cladding layer)에 의하여 형성된 광 집중 구조(optical confinment structure)가 불충분한 광 집중을 제공하기 때문에, 바람직한 단일 피크가 아닌 다수 피크를 나타낸다. 광 집중 구조는 광선이 광학 도파관층으로부터 클래딩층 아래의 접촉층(contact layer)으로 누설되는 것을 허용한다. 그런 다음, 접촉층은 고차 모드(high-order mode)에서 의사 레이저 발진(spurious laser oscillation)을 야기하는 기생 광 도파관(parasitic optical waveguide)으로서 동작한다. 접촉층은 레이저의 활성층(active layer)으로 전류를 주입(inject)하는데 이용된다.

충분한 광 집중을 달성하기 위한 방법에서는, 두께가 더 두꺼워진 클래딩층을 이용하면서, 또한 광 도파관층 및 클래딩층의 반도체 물질 사이에서 굴절률(refractive index) 차이를 증가시킨다. 그러나, 통상적으로 구현되는 경우, 이러한 방법들은 레이저 구조에서 균열 발생(incidence of crack)을 증가시킨다. 이는 그 생산 수율을 크게 줄인다.

도 1은 통상적 질화물 반도체 레이저가 구성될 수 있는 통상적 질화물 반도체층 구조물(10)의 개략적 측면도이다. 반도체층 구조물 및 반도체 레이저를 설명하고 있는 본 명세서에 관련된 도면 전체에서, 층의 두께는 그 폭에 비하여 훨씬 확대되어 있으며, 얇은 층일수록 두꺼운 층에 비하여 더 확대되어 그 층이 명백하게 도시될 수 있도록 하고 있다.

질화물 반도체층 구조물(10)은 저온 증착형 GaN 버퍼층(12), n-타입 GaN n-접촉층(13), n-타입 AlGaN 클래딩층(14), n-타입 GaN 광 도파관층(15), GaInN 활성층(16), p-타입 AlGaN 전자 블로킹층(17), p-타입 GaN 광 도파관층(18), p-타입 AlGaN 클래딩층(19), 그리고 p-타입 GaN p-접촉층(20)으로 구성된다. 층(12 내지 20)들은 기판(11) 상에 연속적으로 형성된다. 기판 물질은 사파이어(sapphire), SiC, 스피넬(spinel), MgO, GaAs, 실리콘, 또는 기타 적합한 물질이다.

버퍼층(12)은 550℃의 온도(즉, 단결정 성장(single crystal growth)이 발생하는 온도보다 낮은 온도)에서 증착된 35nm 두께의 GaN 층이다. n-접촉층(13)은 약 $1\times10^{18}cm^{-3}$의 Si로 n-타입 도핑된 4㎛ 두께의 GaN 층이다. 클래딩층(14)은 약 $1\times10^{18}cm^{-3}$의 Si로 n-타입 도핑되고 0.06의 AlN 몰분율을 갖는 600nm 두께의 AlGaN 층이다. 광 도파관층(15)은 약 $1\times10^{18}cm^{-3}$의 Si로 n-타입 도핑된 100nm 두께의 GaN 층이다. 활성층(16)은 5개의 하위층 쌍으로 구성된다. 각각의 하

위층 쌍은 0.1의 InN 몰분율을 갖는 3nm 두께의 GaInN 하위층과 0.03의 InN 몰분율을 갖는 6nm 두께의 GaInN 하위층으로 구성된다. 전자 블로킹층(17)은 5×10^{19} cm^{-3}의 Mg로 p-타입 도핑되고 0.15의 AlN 몰분율을 갖는 15nm 두께의 AlGaN 층이다. 광 도파관층(18)은 약 $5\times10^{19}cm^{-3}$의 Mg로 p-타입 도핑된 100nm 두께의 GaN 층이다. 클래딩층(19)은 약 $5\times10^{19}cm^{-3}$의 Mg로 p-타입 도핑되고 0.06의 AlN 몰분율을 갖는 500nm 두께의 AlGaN 층이다. p-접촉층(20)은 약 $1\times10^{20}cm^{-3}$의 Mg로 p-타입 도핑된 100nm 두께의 GaN 층이다.

단일 피크를 나타내는 원시야 패턴을 갖는 광선을 발생시키는 질화물 반도체 레이저를 구성할 수 있는, 개선된 질화물 반도체층 구조물이 일본 특허 출원 제 H10-313933(선출원)에서 설명되고 있다. 당해 선출원은 본 출원인에게 양도되어 1998년 10월 16일에 출원되었다. 선출원의 영어 번역문이 국제 출원 WO 00/24097호로서 공개되었다. 당해 선출원은 본 명세서에서 참조로써 인용된다.

선출원에서 설명되는 질화물 반도체층 구조물은 도 1에 도시된 층 구조에서 전자 블로킹층(17)이 없는 반면, n-타입 GaN 접촉층(13)과 n-타입 AlGaN 클래딩층(14) 사이에 배치된 추가적 버퍼층을 포함한다. 추가적 버퍼층은 AlN을 포함하는 저온 증착형 반도체 물질층이다. 추가적 버퍼층은 그 위에서 성장된 n-타입 AlGaN 클래딩층(14)이 더 증가된 두께를 가지도록 하고 균열 발생을 더 낮춘다. 선출원에서 설명되고 있는 질화물 반도체층 구조물에 있어서, 클래딩층의 두께나 그 AlN 몰분율 또는 양자 모두는, 그 층 구조를 이용하여 제조된 레이저에 의하여 방출된 광선이 단일 피크를 나타내는 원시야 패턴(즉, 원거리 장(far field)에 걸쳐 세기 분포(intensity distribution))을 가지도록 조정될 수 있다.

선출원에서 설명된 층 구조가, 그 원시야 패턴이 단일 피크를 나타내는 광선을 생성하며, 통상적 질화물 반도체 레이저보다 더 큰 효율성을 갖는 레이저를 제조하는데 이용될 수 있을지라도, 단순한 구조를 갖는 고품질 레이저에 대한 필요성이 여전히 존재한다.

그러므로, 단순한 구조를 가지며, 그 원시야 패턴이 단일 피크를 나타내는 광선을 생성하는 질화물 반도체 레이저가 제조될 수 있는, 임계 전류(threshold current)가 낮고 전력 소모(power consumption)가 낮은, 질화물 반도체층 구조물이 필요로 된다.

또한, 제조 비용이 줄어들고 광전기 장치 기타 도파관 구조 및 기타 반도체 장치에서 성능을 개선시키는, 증가된 광 집중을 제공할 수 있는, 질화물 반도체층 구조물이 필요로 된다.

발명의 개요

본 발명은 버퍼층과 버퍼층 상의 복합층을 포함하는 질화물 반도체층 구조물을 제공한다. 버퍼층은 AlN을 포함하는 저온 증착형 질화물 반도체 물질층이다. 복합층은 AlN을 포함하는 단결정 질화물 반도체 물질층이다. 복합층은 버퍼층에 인접한 제 1 하위층 및 제 1 하위층상의 제 2 하위층을 포함한다. 복합층의 단결정 질화물 반도체 물질은 제 1 하위층에서 제 1 AlN 몰분율을 가지며 제 2 하위층에서 제 2 AlN 몰분율을 갖는다. 제 2 AlN 몰분율은 제 1 AlN 몰분율보다 더 크다.

본 발명은 전술된 질화물 반도체층 구조물의 일부를 포함하고, 복합층상에 광 도파관층을 더 포함하고 광 도파관층상에 활성층을 더 포함하는 질화물 반도체 레이저를 제공한다.

본 발명에 의하여 제공되는 단순한 질화물 반도체층 구조물에서, 두꺼운 AlGaN 복합층은 p-타입이나 n-타입으로 도핑될 수 있다. AlGaN 복합층은 그 AlGaN 복합층에서 두 개의 하위층을 정의하기 위하여 그 층의 두께에 따라 변화하는 AlN 몰분율을 갖는다. 하위층에서의 서로 다른 AlN 몰분율은 각 하위층의 특성을 최적화하여 각각이 클래딩층 및 접촉층으로서 기능하도록 한다. 따라서, 하위층은 각각 클래딩 하위층 및 접촉 하위층으로 불릴 것이다. AlGaN 복합층 상에 배치된 클래딩 하위층 및 광 도파관층은 적절한 광 집중을 제공하는 광 집중 구조를 형성한다. AlGaN 복합층은 클래딩 하위층에서 비교적 높은 AlN 몰분율을 갖는다. AlGaN 복합층은 접촉 하위층에서 비교적 낮은 AlN 몰분율을 가져 그 접촉 하위층에 대하여 과잉 포워드 전압 강하(excessive forward voltage drop)없이 측면 전류 주입(lateral current injection)을 달성하는데 요구되는 높은 도전성을 제공한다. 복합층에서 AlN 몰분율만 다른 물질로 구성된 접촉층 및 클래딩층의 기능 제공은 실제적으로 질화물 반도체층 구조물에서 균열 발생을 줄인다.

전술된 질화물 반도체층 구조물로 제조되는 본 발명에 따른 질화물 반도체 레이저는, 그 AlGaN 복합층이 그 실제적 두께에도 불구하고 균열 발생이 낮기 때문에, 높은 생산 수율을 보인다. AlGaN 복합층에서 비교적 큰 AlN 몰분율 및 클래딩 하

위층 두께를 야기하는 충분한 광 집중 때문에, 이러한 레이저는 그 원시야 패턴이 단일 피크를 나타내는 광선을 생성한다. 이와 같은 레이저는 또한 AlGaN 복합층의 n-접촉 하위층의 높은 도전성 및 실제적 두께 때문에 낮은 포워드 전압 강하를 갖는다.

본 발명에 따른 레이저는 그 원시야 패턴이 단일 피크를 나타내는 광선을 생성하기 때문에, 이러한 레이저는 단일 피크 방출 프로파일을 요구하는 광학 정보 기록 장치 및 기타 애플리케이션에서 이용하는 것이 이상적이다. 또한, 그러한 레이저에서는 그 포워드 전압 강하가 크게 줄어들고 전력 소모가 적으며 열을 덜 분산시키기 때문에, 크게 증가된 서비스 수명을 갖는다.

발명의 상세한 설명

도 1에 도시된 통상적 질화물 반도체 레이저 구조(10)에 있어서, 클래딩층(14)의 AlGaN 및 접촉층(13)의 GaN 사이의 격자 부정합(lattice mismatch)은 클래딩층 및 이 층 위에 성장되는 층들에서 균열이 발생하게 할 수 있다. 이와 같은 균열은 도시된 통상적 레이저 구조로 구성된 레이저의 제조 수율을 크게 줄인다. 균열 발생을 줄이기 위하여, 클래딩층(14)의 두께가 통상적으로 600nm로 제한되고, 클래딩층(14)의 반도체 물질의 AlN 몰분율이 통상적으로 0.06으로 제한된다. 그러나, 광 도파관층(15) 및 전술된 제한에 따른 예시적 클래딩층(14)은, 도 2에 도시된 바와 같이, 부적절한 광 집중을 갖는 광 집중 구조를 형성한다.

도 2는 클래딩층(14)이 전술된 제한에 따른 통상적 질화물 반도체층 구조물(10)로 구성된 예시적 레이저에 의하여 방출되는 광선의 원시야 패턴을 도시하는 그래프이다. 도 2에서, 레이저에 의하여 방출되는 광선의 세기는, 임의의 단위로, y축 상에 표시되고, 광선이 레이저에 의하여 방출되는 각도(레이저 광축(optical axis)에 대한 각도)가 x 축 상에 표시된다. 원시야 패턴은 다수 피크를 나타낸다. 이는 전술된 광 집중 구조에 의하여 제공되는 광 집중이 있고, 광선은 n-접촉층(13)에 있음을 나타내고 있다. 원시야 패턴이 도 2에 도시된 바와 같은 예시적 레이저는 2.7%의 광 집중 인수를 갖는다.

앞서 언급된 선출원은 질화물 반도체 레이저를 제조하는데 이용될 수 있는 질화물 반도체층 구조물을 설명하고 있다. 선출원에서 설명된 층 구조에 있어서, GaN n-접촉층(13) 및 AlGaN 클래딩층(14) 사이에 저온 증착형 반도체 물질로 구성된 30nm 두께의 추가적 버퍼층을 삽입함으로써 균열 발생이 줄어들었다. 추가적 버퍼층은 클래딩층에서 큰 균열을 발생시키지 않으면서 클래딩층(14)의 두께가 1㎛로 증가되도록 하고 클래딩층(14)의 반도체 물질 AlN 몰분율이 0.1로 증가되도록 한다. 이와 같은 클래딩층은 레이저에 대하여 충분한 광집중을 제공하여 그 레이저로 하여금 원시야 패턴이 단일 피크를 나타내는 광선을 생성하도록 한다. 그럼에도 불구하고, 전술된 바와 같이, 선출원에서 설명된 것보다 더 단순한 구조 및 제조 과정을 이용해서 유사한 결과를 달성하는 것이 바람직하다.

선출원에서 설명된 구조 및 제조 과정의 이점을 여전히 보유하면서 한편으로 이를 단순화하는 제 1 방법은 GaN n-접촉층과, 추가적 버퍼층과, AlGaN 클래딩층을 결합형 n-접촉층 및 클래딩층으로서 기능하는 n-타입 단결정 AlGaN 반도체 물질로 구성된, 단일의, 두꺼운, 균질 층으로 교체하는 것이다. AlGaN 단일층의 물질은 비교적 높은 AlN 몰분율을 가져 그 AlGaN 단일층 및 광 도파관층(15)이 적절한 광 집중을 제공하는 광 집중 구조를 형성하도록 할 것이다. 이를 설명하기 위하여, 광 집중 구조는, 그 광 집중 구조를 포함하는 레이저가 원시야 패턴이 단일 피크를 나타내는 광선을 생성하는 경우 적절한 광 집중을 제공하는 것으로 간주될 것이다.

그러나, AlGaN 단일층(AlGaN 단일층은 이러한 층이, 적절한 광 집중을 제공하는 광 집중 구조를 형성하기에 충분할 만큼 높은 AlN 몰분율을 가짐)의 물질은 그 물질의 벌크 저항(bulk resistance) 및 AlGaN 단일층의 접촉 저항률(contact resistivity)이 수용할 수 없을 만큼 높아지게 할 것이다. 이는 AlGaN 단일층이 효과적인 측면 전류 주입 층(effective lateral current injection layer)으로 기능하지 못하도록 할 것이며 레이저를 가로질러 수용 가능할 만큼 높은 전압 강하를 야기할 것이다.

본 발명은 n-접촉층 및 클래딩층으로서 기능하는 AlGaN 복합층을 이용함으로써 이러한 문제점을 극복한다. 이와 같은 AlGaN 복합층은 *AlGaN 복합층*이라고 불린다. AlGaN 복합층은 각각 서로 다른 AlN 몰분율을 가지는 하위층, 즉, 보다 낮은 AlN 몰분율을 가지는 단결정 AlGaN 반도체 물질로 구성된 하위층 및 보다 높은 AlN 몰분율을 가지는 단결정 AlGaN 반도체 물질로 구성된 하위층을 포함한다. 보다 낮은 AlN 몰분율을 가지는 하위층은 상대적으로 낮은 저항을 가지며, 저온 증착형 AlGaN의 버퍼층에 인접하여 배치되고, 레이저에 대하여 측면 전류 주입을 수행하는 접촉층으로서 기능하여, *AlGaN n-접촉 하위층*이라고 불릴 것이다. 보다 높은 AlN 몰분율을 가지는 하위층은 n-타입 GaN 광 도파관층에 인접하여 배치되고 n-타입 GaN 광학 도파관층과 함께 광 집중 구조를 형성한다. 이러한 하위층은 *AlGaN 클래딩 하위층*이라고 불릴 것이다. AlGaN 클래딩 하위층은 AlGaN n-접촉 하위층보다 더 높은 저항과 실제적으로 더 적은 두께를 갖는다.

AlGaN 클래딩 하위층의 물질이 AlGaN p-접촉 하위층보다 더 큰 AlN 몰분율과, 그에 따른 더 높은 저항률을 가지더라도, 실제적으로 더 적은 두께의 AlGaN 클래딩 하위층은 이 하위층의 보다 높은 저항률이 n-전극과 활성 영역사이 경로의 전체적 저항을 크게 증가시키지 않도록 한다.

AlGaN 복합층에서, AlN 몰분율은 AlGaN n-접촉 하위층 및 AlGaN 클래딩 하위층 사이에서 급작스럽게 변화하여, 사실상 두 개의 별도의 AlGaN 층(각각은 서로 다른 AlN 몰분율을 가짐)을 형성할 수 있다. 이와 달리, AlN 몰분율은 AlGaN n-접촉 하위층 및 AlGaN 클래딩 하위층 사이에서 점진적으로 변화하여 그 층의 두께에 따라 AlN 몰분율이 달라지는 단일의 층을 생성할 수도 있다. AlN 몰분율이 변화하는 방법에 관계없이, AlGaN 클래딩 하위층의 두께는 적절한 광 집중을 제공하는데 필요한 것보다 결코 더 커서는 안된다.

도 1에 도시된 층 구조와 비교하면, 전술된 바와 같이, 서로 다른 AlN 몰분율을 갖는 하위층들을 포함하는 단일의 AlGaN 복합층을 갖는 질화물 반도체층 구조물은 실제적으로 증가된 광 집중을 제공한다. 또한, 복합층의 하위층 사이의 격자 부정합이 적어서, 층 구조에서의 균열 발생이 실제적으로 적어진다. 이러한 이점은 n-접촉 및 활성 영역 사이의 경로에서 전기적 저항을 약간 증가시키는 것만으로 달성된다.

본 발명에 따른 질화물 반도체층 구조물에서 균열 발생을 줄이기 위하여, AlGaN n-접촉 하위층, 즉 더 적은 AlN 몰분율을 가지는 하위층의 AlN 몰분율이 적어도 0.01이 되는 것이 바람직하다. 또한, 균열 발생을 줄이고, n-접촉 및 활성층 사이 경로의 저항을 줄이기 위하여, AlGaN 클래딩 하위층의 AlN 몰분율과 AlGaN n-접촉 하위층의 AlN 몰분율 사이의 차이는 0.03 내지 0.10의 범위에 있는 것이 바람직하다. 실제 바람직한 차이는 AlGaN 클래딩 하위층의 AlN 몰분율에 의존한다. AlGaN 클래딩 하위층의 AlN 몰분율은 적어도 0.05여야 하고, 유니티(1) 만큼 높을 수 있다.

전술된 바와 같이, 서로 다른 AlN 몰분율을 가지는 두 개의 AlGaN 하위층을 포함하는 AlGaN 복합층으로 구성된 질화물 반도체층 구조물이 형성된 경우, 반응성 이온 에칭(reactive ion etching : RIE) 또는 소정의 기타 적합한 에칭 과정을 이용해서 n-AlGaN 접촉 하위층의 일부 위에서 성장된 층의 일부가 에칭되어 AlGaN n-접촉 하위층을 노출시킨다. 그 에칭 과정에 의하여 노출된 AlGaN n-접촉 하위층의 표면상에 n-전극이 증착될 수 있다. p-접촉층의 표면상에 p-전극이 증착될 수 있다. 층 구조가 더 에칭되어 p-접촉층, p-타입 클래딩층 및 p-타입 광 도파관의 일부를 제거하여 리지(ridge) 구조를 정의한다. 그런 다음 본 층 구조는 개별적 레이저를 형성하도록 절단된다. 전술된 바에 따라 형성된 각각의 질화물 반도체 레이저는 질화물 반도체 레이저 구조의 일부분을 포함하고 있다.

AlN 몰분율이 AlGaN n-접촉 하위층 및 AlGaN 클래딩 하위층 사이에서 급작스럽게 변화하는, 본 발명에 따른 질화물 반도체층 구조물의 일예에서, AlGaN n-접촉 하위층, 즉, 더 적은 AlN 몰분율을 가지는 AlGaN 층의 두께는 3㎛이고, 이 층에서 AlN 몰분율은 0.03이다. AlGaN 클래딩 하위층, 즉 더 높은 AlN 몰분율을 가지는 AlGaN 층의 두께는 1㎛이고, 이 층에서의 AlN 몰분율은 0.06이다. 50mm 직경의 기판에 제조된 이와 같은 층 구조의 테스트 샘플의 표면에서 균열 발생이 더 적게 관찰된다.

이제, 도 3을 참조하여, 본 발명에 따른 질화물 반도체층 구조물의 일예를 설명할 것이다. 도 3은 본 발명에 따른 질화물 반도체층 구조물의 제 1 실시예의 개략적 측면도(40)이다. 본 발명에 따른 질화물 반도체 레이저 및 기타 반도체 장치는, 이하 설명되는 바와 같이, 층 구조(40)로 구성될 수 있다. 도시된 예에서, AlGaN 복합층(51)의 AlN 몰분율은, 도 9a를 참조하여 이하에서 설명되는 바와 같이, AlGaN n-접촉 하위층(43) 및 AlGaN 클래딩 하위층(44) 사이에서 급작스럽게 변화한다.

층 구조(40)는 C-평면(0001) 표면을 갖는 사파이어 기판(41)으로 구성된다. 그 표면 위에, 저온 증착형 AlGaN 버퍼층(42)과, n-접촉 하위층(43)(여기서 AlGaN은 보다 낮은 AlN 몰분율을 가짐) 및 AlGaN 클래딩 하위층(44)(여기서 AlGaN은 보다 높은 AlGaN 몰분율을 가짐)으로 구성된 n-타입 AlGaN 복합층(51)과, n-타입 GaN 광 도파관층(45)과, GaInN 활성층(46)과, p-타입 전자 블로킹층(47)과, p-타입 GaN 광 도파관층(48)과, p-타입 AlGaN 클래딩층(49)과, p-타입 GaN p-접촉층(50)이 금속 유기 기상 에피택시(metal-organic vapor phase epitaxy)에 의해서 연속적으로 증착된다.

다음은, 질화물 반도체층 구조물(40)을 상세히 설명한다. 버퍼층(42)은 0.03의 AlN 몰분율을 가지며 온도 500℃에서 증착된 30nm 두께의 저온 증착형 AlGaN 층이다. 버퍼층 물질은 단결정 성장이 일어나는 온도보다 더 낮은 온도에서 증착된다. 증착시, 버퍼층은 비정질(amorphous) 물질 및 다결정(polycrystalline) 물질의 혼합으로 구성된다. 이하에서 보다 상세히 설명되는 바와 같이, AlGaN 복합층(51)을 증착하기 이전에 기판 및 버퍼층은 단결정 성장이 일어나는 것보다 더 높은 온도로 가열된다. 이는 버퍼층의 저온 증착형 물질을 어닐링하고(anneal), 버퍼층에서 단결정 영역이 전개되도록 한다.

그 결과로서, AlGaN 복합층은 버퍼층 상에 에피택시얼(epitaxially) 성장한다. 그러나, 완성된 층 구조(40)에서는, 잔류 다결정, 비정질, 또는 다결정 및 비정질 물질 영역이 버퍼층상에 증착된 AlGaN 복합층(51)의 단결정 물질로부터 버퍼층(42)을 구별한다.

앞서 버퍼층(42)이 0.03의 AlN 몰분율을 갖는 30nm 두께의 저온 증착형 AlGaN 층으로 설명되었으나, 버퍼층의 두께는 100nm 만큼 커질 수 있고 AlN 몰분율은 유니티(1)만큼 커질 수 있다.

AlGaN 복합층(51)은 약 $1\times10^{18}cm^{-3}$의 Si로 n-타입 도핑되고 온도 1050℃에서 증착된 4μ 두께의 AlGaN 층이다. 복합층은 n-AlGaN 접촉층(43)(이는 0.03의 AlN 몰분율을 가지는 3㎛ 두께의 AlGaN 층임)과, AlGaN 클래딩 하위층(44)(이는 0.06의 AlN 몰분율을 가지는 1㎛ 두께의 AlGaN 층임)으로 구성된다. 도시된 예에서는, AlGaN n-접촉 하위층(43)과 AlGaN 클래딩 하위층(44) 사이에서 AlN 몰분율 변화가 급작스럽게 일어난다.

광 도파관층(45)은 약 $1\times10^{18}cm^{-3}$의 Si로 n-타입 도핑되고 온도 1050℃에서 증착된 100nm 두께의 GaN 층이다.

활성층(46)은 온도 800℃에서 증착된 비도핑형 GaInN 층 다섯 쌍으로 구성된다. 층 쌍 각각은 0.1의 InN 몰분율을 갖는 3nm 두께의 GaInN 층과 0.03의 InN 몰분율을 갖는 6nm 두께의 GaInN 층으로 구성된다.

전자 블로킹층(47)은 약 $5\times10^{19}cm^{-3}$의 Mg로 p-타입 도핑되고 온도 800℃에서 증착된 0.15의 AlN 몰분율을 갖는 15nm 두께의 AlGaN 층이다.

광 도파관층(48)은 약 $5\times10^{19}cm^{-3}$의 Mg로 p-타입 도핑되고 온도 1050℃에서 증착된 100nm 두께의 GaN 층이다.

클래딩층(49)은 약 $5\times10^{19}cm^{-3}$의 Mg로 p-타입 도핑되고 온도 1050℃에서 증착된 0.06의 AlN 몰분율을 갖는 500nm 두께의 AlGaN 층이다.

p-접촉층(50)은 약 $1\times10^{20}cm^{-3}$의 Mg로 p-타입 도핑되고 온도 1050℃에서 증착된 100nm 두께의 GaN 층이다.

도 4는 질화물 반도체 레이저(60)의 개략적 측면도이다. 레이저(60)는 질화물 반도체층 구조물(40)로부터 제조된 많은 레이저(각각의 레이저는 그 층 구조(40)의 일부를 포함하고 있음)중 하나이다. 레이저에 나타나는 층 구조의 요소는 동일한 참조 번호를 이용해서 표시된다.

레이저(60)에서, AlGaN n-접촉 하위층(43)의 일부를 덮는 층 구조의 일부가 에칭되어 그 표면(61)을 노출시키고, n-전극(62)이 표면(61)위에 형성된다. 레이저는 p-접촉층(50)의 표면상에 p-전극(63)을 추가적으로 배치한다. 마지막으로, 광 도파관층(48)과, 클래딩층(49)과, p-접촉층(50)의 일부분이 에칭되어 활성층(46)을 통해서 흐르는 전류를 집중시키는 리지 구조(64)를 형성한다.

본 발명에 따라 질화물 반도체층 구조물을 형성하는데 이용될 수 있는 예시적 방법이 도 3을 참조하여 설명될 것이다.

기판(41)(바람직하게는 0001(C) 표면을 가지는 사파이어 기판임)이 제공된다. 본 기판은 불화수소산(hydrofluoric acid) 및 왕수(aqua regia)에 각각 5분간 담가서 클리닝되며, 순수(pure water)로 5분간 린스된다. 본 기판은 각각 5분 동안 메탄올(methanol) 및 아세톤(acetone)으로 세척되고, 그런 다음 또 5분 동안 순수로 린스된다. 지금 설명된 동작들은 모두 실온에서 수행된다.

기판(41)은 금속-유기 기상 에피택시(MOVPE) 장치의 리액터(reactor)로 운송된다. 리액터에서 대기(atmosphere)는 건조 질소로 교체되어 산소와 수증기를 제거한다. 그런 다음, 수소가 유입되고 기판은 10분 동안 1100℃로 가열함으로써 클리닝된다.

기판(41)의 온도는 500℃로 줄어든다. 트리메틸알루미늄(trimethylaluminum : TMAI), 트리메틸갈륨(trimethylgallium : TMGa) 및 암모니아(ammonia)가 리액터로 공급되어 기판(41) 상에서 저온 증착형 AlGaN의 버퍼층(42)을 증착하기 시작한다.

GaN 기판의 경우(GaN 층을 포함하는 기판 구조), 또는 SiC 기판의 경우와 같이, 기판(41) 물질이 도전성인 경우는, 실란(silane)이 리액터로 추가적으로 공급되어 저온 증착형 AlGaN 버퍼층(42)을 실리콘으로 n-타입 도핑한다. 실란의 유속은 약 5×10^{17} 내지 약 5×10^{19} cm^{-3} 범위의 실리콘 농도를 제공하도록 설정되어 있다. 일실시예에서, 실란의 유속은 약 1×10^{18} cm^{-3}의 실리콘 농도를 제공하도록 설정되어 있다. 버퍼층(42) 도핑은 레이저(60)를 위한 구동 전류가 무시할 정도의 전압 강하와 함께 버퍼층을 통하여 흐르도록 하는 값까지 그 버퍼층의 전기 저항률을 줄인다.

리액터로의 가스 흐름은 대략 3분간 지속되어 버퍼층(42)을 기판(41) 상에서 30nm 두께까지 증착시킨다.

버퍼층(42)은 그 목표 두께 30nm에 도달하면, TMAI 및 TMGa 공급(리액터로 공급되었다면)과, 실란 공급이 중단된다. 기판(41)의 온도가 1050℃까지 상승되고 대략 5분 동안 이 온도로 유지된다.

TMAI, TMGa 및 실란의 공급이 재개되어 AlGaN 복합층(51)을 성장시키기 시작한다. 먼저, 가스가 0.03의 AlN 몰분율을 갖는 AlGaN n-접촉 하위층(43)을 생성했던 상대적 유속으로 공급된다. 가스의 흐름은 AlGaN n-접촉 하위층(43)이 3㎛ 두께에 도달하기까지 지속된다. TMAI 및 TMGa 사이의 상대적 유속이 변화되어 0.06의 AlN 몰분율을 갖는 n-AlGaN 클래딩 하위층(44)을 성장시키기 시작한다. 가스의 흐름은 n-AlGaN 클래딩 하위층이 1㎛의 두께에 도달하기까지 지속된다.

완료되면, AlGaN 복합층(51)은 전체 4㎛의 두께를 갖는다. 이와 같은 전체 두께를 갖는 층은, 그 바로 아래 배치된 저온 증착형 AlGaN 버퍼층(42) 때문에, 그리고 그 복합층을 구성하는 AlGaN n-접촉 하위층(43) 및 AlGaN 접촉 하위층(44)사이의 적은 격자 부정합 때문에, 균열 발생이 별로 없이 형성될 수 있다.

리액터로의 실란의 유속이 조정되어 약 5×10^{17} 내지 5×10^{17} cm^{-3} 범위의 농도의 실리콘으로 AlGaN 복합층(51)을 도핑한다. 바람직한 실시예에서, 유속은 1×10^{18} cm^{-3} 농도의 실리콘 도펀트를 제공하도록 설정된다. 도핑된 층의 도전성은 도펀트 농도 및 캐리어 이동도(mobility)의 합에 의존한다. 결과적으로, 그 층의 저항은 단순히 도펀트 농도를 올림으로써 감소될 수 없다. 최적의 도펀트 농도는 층의 저항을 최소화하는 농도이다.

AlGaN 클래딩 하위층(44)이 그 목표 두께에 도달하면, 기판(41)의 온도가 1050℃로 유지되고 TMAI 공급만이 정지되어 n-타입 GaN 광 도파관층(45)을 성장시킨다. 실란의 유속이 조정되어 1×10^{18} cm^{-3} 농도의 실리콘으로 광 도파관층(45)을 도핑한다. 성장 속도는 분당 40nm 정도이다. 가스의 흐름은 광 도파관층(45)이 100nm의 두께에 도달하기까지 지속된다. 광 도파관층(45)이 그 목표 두께에 도달하면, TMGa 및 실란의 공급이 정지되지만, 암모니아의 공급은 계속된다. 사파이어 기판의 온도는 800℃로 줄어든다.

지금 설명된 실시예에서, n-타입 GaN 광 도파관층(45)은 1×10^{18} cm^{-3} 농도의 실리콘으로 도핑된다. 더 높은 농도의 실리콘을 이용하면 광 도파관층의 저항률이 줄어들 것이나 그 층의 결정성(crystallinity)을 열화시킬 것이다. 이러한 관점에서, 실리콘 농도는 약 2×10^{18} cm^{-3}을 중심으로, 약 5×10^{17} cm^{-3} 내지 1×10^{19} cm^{-3}의 범위 정도가 바람직하다.

AlGaN n-접촉 하위층(43), AlGaN 클래딩 하위층(44) 및 광 도파관층(45)에서 도펀트의 농도가 서로 다를 수 있고, 또는 그 중 두 개나 그 이상이 서로 동일할 수도 있다. 그러나, 모든 층에서 도펀트 농도가 대체로 동일하다면 제조 과정이 간단해진다.

기판(41)의 온도가 800℃에 도달하면, TMGa 및 트리메틸인듐(trimethylindium)이 리액터로 공급되어 활성층(46)을 성장시킨다. 활성층은 다섯 쌍의 하위층을 성장시켜 형성된 다수의 양자 우물(quantum well)로 구성된다. 각각의 하위층 쌍은 0.1의 InM 몰분율을 갖는 3nm 두께의 GaInN 하위층 및 0.03의 InN 몰분율을 갖는 6nm 두께의 GaInN 하위층으로 구성된다. InN 몰분율은 그 층 구조(40)로 제조될 레이저에 의하여 생성되는 광선의 파장으로 결정된다. 본 실시예에서 보여진 InN 몰분율은 파장 400nm에 대응한다. 가스는 보여진 것과 같은 InN 몰분율을 갖는 활성층의 하위층들을 생성한 상대적 유속으로 리액터로 공급된다. 성장 속도는 전형적으로 분당 3 내지 6nm이지만, 여기서 설명된 조건하에서는 분당 5nm이다.

일단 활성층(46)의 마지막 하위층이 그 목표 두께에 도달하면, TMIn의 공급이 중단되고, TMAI 및 Cp_2Mg (biscyclopentadienyl magnesium)이 리액터로 공급되어 p-타입 AlGaN 전자 블로킹층(47)을 성장시킨다. 가스는 AlN

몰분율 0.15를 갖는 전자 블로킹층을 형성하는 상대적 유속으로 공급한다. Cp_2Mg의 유속은 약 1×10^{18} 내지 1×10^{20} cm^{-3} 범위의 마그네슘 농도를 제공하도록 조정된다. 바람직한 실시예에서, Cp_2Mg 유속은 5×10^{19} cm^{-3} 농도의 마그네슘 도펀트를 제공하도록 설정된다. 마그네슘 농도의 범위는 실리콘 농도에 관하여 전술된 바와 동일한 방법으로 판정된다.

가스의 흐름은 p-타입 AlGaN 전자 블로킹층(47)이 15nm의 두께에 도달하기까지 지속된다.

p-타입 AlGaN 전자 블로킹층(47)이 그 목표 두께에 도달하면, TMAI 및 Cp_2Mg의 공급이 정지되고 기판(41)의 온도가 증가된다. 기판의 온도가 1050℃에 도달하면, TMGa 및 Cp_2Mg가 리액터로 공급되어 p-타입 GaN 광 도파관층(48)을 성장시키기 시작한다. 전술된 조건하에서, p-타입 GaN 광 도파관층(48)의 성장 속도는 시간당 2㎛이다. Cp_2Mg의 유속은 1×10^{18} 내지 1×10^{20} cm^{-3} 범위의 마그네슘 농도를 제공하도록 조정된다. 지나치게 높은 마그네슘 농도는 p-타입 GaN 광 도파관층 물질의 결정성을 열화시킬 것이다. 바람직한 실시예에서, Cp_2Mg의 유속은 약 5×10^{19} cm^{-3}의 마그네슘 농도를 제공하도록 설정된다.

가스의 흐름은 p-타입 GaN 광 도파관층(48)이 100nm의 두께에 도달하기까지 지속된다.

p-타입 GaN 광 도파관층(48)이 그 목표 두께에 도달하면, TMAI가 리액터로 추가적으로 공급되어 p-타입 AlGaN 클래딩층(49)을 성장시키기 시작한다. TMAI 및 TMGa의 상대적 유속은 AlN 몰분율 0.06을 제공하도록 설정된다. Cp_2Mg의 유속은 1×10^{18} 내지 1×10^{20} cm^{-3} 의 범위의 마그네슘 농도를 제공하도록 설정된다. 바람직한 실시예에서, Cp_2Mg의 유속은 약 5×10^{19} cm^{-3}의 마그네슘 농도를 제공하도록 설정된다.

마그네슘 도펀트 농도는 p-타입 GaN 광 도파관층(48) 및 p-타입 AlGaN 클래딩층(49)에서 서로 다를 수 있으나, 도펀트 농도가 동일한 경우 제조 과정이 더 단순해진다.

가스의 흐름은 p-타입 AlGaN 클래딩층(49)이 500nm의 두께에 도달하기까지 지속된다.

p-타입 AlGaN 클래딩층(50)이 그 목표 두께에 도달하면, TMAI의 공급이 중단되고 p-타입 GaN p-접촉층(50)을 성장시키기 시작한다. 전술된 조건하에서는, p-접촉층의 성장 속도가 시간당 2.5㎛이다. Cp_2Mg의 유속은 약 1×10^{20} cm^{-3}의 마그네슘 농도를 제공하도록 설정된다. 가스의 흐름은 p-접촉층이 100nm의 두께에 도달하기까지 지속된다.

p-타입 AlGaN p-접촉층(50)이 그 목표 두께에 도달하면, TMAI, TMGa 및 Cp_2Mg의 리액터에 대한 공급이 중단되고 기판(41)의 온도가 줄어든다. 리액터에 대한 암모니아 공급은 기판의 온도가 100℃ 이하로 떨어질 경우 중단되며, 층 구조(40)가 리액터에서 제거된다. 균열을 체크하기 위한 차동 간섭 현미경(differential interference microscope)을 이용하여 층 구조의 표면이 관찰된다.

도 4에 도시된 레이저와 유사한 레이저는 다음과 같이 층 구조(40)로 제조된다. 층 구조가 선택적으로 에칭되어 각각의 레이저의 AlGaN n-접촉 하위층(43) 표면(61)을 노출시키고 추가적으로 에칭되어 각각의 레이저의 리지 구조(64)를 형성한다. 리지 구조는 활성층(46)을 통한 전류 흐름을 집중시킨다. 레이저의 n-전극(62)은 증기 증착에 의한 통상적 방식으로 형성된다. 바람직한 실시예에서, 티타늄/알루미늄 n-전극이 형성된다.

레이저의 p-전극(63)을 형성하기 이전에, 통상적 열 어닐링 또는 전자 빔 복사(electron beam irradiation)를 이용해서 마그네슘 도핑형 층의 p-타입 변환이 촉진된다. n-전극(62)이 형성되기 이전에 어닐링이 수행될 수도 있지만, 본 실시예에서는 n-전극이 형성된 다음 어닐링이 수행된다. 어닐링 프로세스는, 본 출원인에게 양도되었으며 본 명세서에서 참조로써 인용되고 있는 일본 특허 출원 H9-37705 호에서 설명된 방법에 의하여 수행될 수 있다. 이 출원의 영어 번역문은 국제 출원 WO 98/37586호에서 공개되어 있다. 레이저의 p-전극(63)은 레이저의 p-타입 GaN 접촉층(49)상에 형성된다. 바람직한 실시예에서, p-전극은 Ni/Au로 형성되며 각각은 5㎛의 폭과 500㎛의 길이를 갖는다.

n-전극 및 p-전극이 형성된 다음, 절단 동작이 수행되어 층 구조(40)를 개별적 레이저(60)(각각은 공진기(resonator) 구조를 가짐)로 분할한다.

도 5는 도 4에 도시된 예시적 레이저(60)(전술된 층 구조(40)로 제조됨)에 의하여 방출되는 광선의 원시야 패턴을 도시하는 그래프이다. 도 5에서, 레이저에 의하여 방출되는 광선의 세기는, 임의의 단위로, y-축 상에 플로팅되고, 그 광선의 상대적 방출 각도가 x-축에 플로팅된다. 상대적 방출 각도는, 레이저의 광축에 대한 각도로서, 레이저에 의하여 광선이 방출되는 각도이다. 원시야 패턴은 단일 피크를 나타내는데, 이는 AlGaN 복합층(51)의 광 도파관층(45) 및 AlGaN 클래딩 하위층(44)으로 구성된 광 집중 구조가 적절한 광 집중을 제공함을 나타낸다. 도시된 예에서, 광 집중 인수는 3.2%이다.

레이저(60)의 또 다른 특성이 도 6 및 도 7에 도시되어 있다. 도 6은 레이저의 포워드 도전 특성을 도시하는 그래프이다. 여기서, 레이저를 가로지르는 전압 강하가 y-축을 따라 플로팅되고 레이저를 통과하는 전류가 x-축을 따라 플로팅된다. 레이저(60)의 포워드 특성이 커브(a)로써 표시된다. 도 7은 레이저의 임계 특성의 그래프이다. 여기서, 임의의 단위로 레이저에 의하여 방출되는 광선의 강도가 y-축 상에 플로팅되고 레이저를 통과하는 전류가 x-축을 따라 플로팅된다. 레이저(60)의 임계 특성이 커브(a)로써 표시된다.

두 개의 추가적 레이저가 레이저(60)와 비교하기 위하여 제조된다. 비교용으로 제조된 제 1 레이저, 소위 비교예 1은, 도 4에 도시된 구조를 갖는다. 그러나, AlGaN n-접촉 하위층(43)의 AlN 몰분율 및 저온 증착형 AlGaN 버퍼층(42)의 AlN 몰분율이 모두 0.06이다. 레이저(60)에서, 이들 AlN 몰분율은 모두 0.03이다. 비교예 1의 포워드 특성은 도 6에서 커브(b)로 도시된다. 도 6에서 커브 (a)(본 발명에 따른 레이저(60))를 커브 (b)(비교예 1)와 비교하면 AlGaN n-접촉 하위층(43)에서의 낮은 AlN 몰분율에 의하여 레이저(60)에서 얻어지는 실제적 이점을 알 수 있다. 주어진 전류에 대하여, 본 발명에 따른 레이저(60)를 가로지르는 전압 강하는 비교예 1을 가로지르는 전압 강하보다 실제적으로 더 적다.

비교용으로 제조된 제 2 레이저, 소위 비교예 2는 도 1에 도시된 구조를 갖는다. n-타입 GaN 접촉층(13)은 4㎛의 두께를 갖는다. n-타입 GaN 접촉층의 GaN 물질은 이 층 위에 증착된 n-타입 AlGaN 클래딩층(14)의 두께를 600nm로 제한하며, 이는 레이저(60)에서 AlGaN n-접촉 하위층(43) 상에 증착된 n-타입 AlGaN 클래딩 하위층(44)의 1000nm 두께와 비교된다. 비교예 2에서 클래딩층의 두께는 600nm로 제한되어, 전술된 바와 같이, 클래딩층에서의 균열 발생을 줄인다. 비교예 2의 임계 특성은 도 7의 커브 (b)로 도시된다. 도 7의 커브 (b)는 비교예 2의 임계 전류가 대략 300mA임을 표시하는 것에 비하여 도 7의 커브 (a)는 본 발명에 따른 레이저(60)의 임계 전류가 대략 200mA임을 표시한다. 또한, 비교예 2에 의하여 방출되는 광선의 원시야 패턴은, 도 2에 도시된 바와 같이, 다수 피크를 나타내는 반면, 본 발명에 따른 레이저(60)에 의하여 방출되는 광선은 도 5에 도시된 단일 피크를 나타낸다.

층 구조(40) 및 레이저(60)의 기판(41)으로 이용되는, 사파이어 기판은 많이 연구되어 있으며, 가격이 저렴하다. 이와 달리, 실리콘 카바이드(silicon carbide : SiC)도 기판(41)으로 이용될 수 있다. SiC는 보다 비싼 기판 물질이지만, 저항률이 더 낮고 보다 안정적이며 우수한 절단 특성을 갖는다. 또한 이와 달리, GaN의 도전성 기판이 이용되어 탁월한 성능을 제공할 수 있다. 나아가, 기판 상에 증착된 GaN 층으로 구성된 기판 구조가 도전성 기판으로서 이용될 수 있다. 그러한 기판 구조는, 일본 특허 출원 H9-306215에 개시된 바와 같이, 기판과 GaN 층 사이에 저온 증착형 질화물 반도체 물질의 버퍼층을 추가적으로 포함할 수 있다. 이 출원은 본 출원인에게 양도되었으며, 본 출원에서 참조로써 인용되고 있다. 이 출원의 영어 번역문은 국제 출원 WO 99/25030으로 공개되어 있다. 이용될 수 있는 기타 기판 물질로는 스피넬, MgO, GaAs, 실리콘 등이 포함된다.

전술된 예시적 레이저(60)에 있어서, 광 집중 인수를 증가시키고, 레이저에 의하여 방출되는 광선의 원시야 패턴을 개선하고, 임계 전류를 낮추도록 AlN 몰분율 및 AlGaN 클래딩 하위층의 두께를 변화시키는데 관하여 앞서의 출원의 설명이 참조로써 이용될 수 있다.

층 구조(40) 및 레이저(60)는 기판(41)과 활성층(46) 사이에 배치된 n-타입 AlGaN 복합층(51)을 포함하는 것으로 설명되고 있다. 층 구조와 그 대응 레이저는, 도 8에 도시된 바와 같이, 활성층상에 배치된 추가적 p-타입 AlGaN 복합층을 추가적으로 포함할 수 있다.

도 8은 본 발명에 따른 질화물 반도체층 구조물의 제 2 실시예를 도시하는 개략적 측면도(80)이다. 층 구조(80)는 n-타입 AlGaN 복합층(51)과, p-타입 AlGaN 복합층(71)과, p-타입 GaN p-접촉층(72)을 포함한다. 층 구조(40)에 대응하는 층 구조(80)의 구성 요소는 동일한 참조번호를 이용하여 표시되고 여기서 재차 설명되지는 않을 것이다. 당업자라면 전술된 바와 유사한 처리가 층 구조(80)에 적용되어 레이저(60)와 유사한 구조의 레이저를 생성할 수 있음을 알 것이다.

층 구조(80)에 있어서, p-타입 AlGaN 복합층(71)은 대략 동일한 두께의 두 하위층(각각은 서로 다른 AlGaN 몰분율을 가짐)을 포함한다. p-타입 AlGaN 복합층은 보다 낮은 AlN 몰분율을 갖는 단결정 AlGaN 반도체 물질의 하위층과 보다 높은 AlN 몰분율을 갖는 단결정 AlGaN 반도체 물질의 하위층을 포함한다. 더 높은 AlN 몰분율을 갖는 하위층은 p-타입 GaN

광 도파관층에 인접하여 배치되고 p-타입 GaN 광 도파관층과 함께 광 집중 구조를 형성한다. 이러한 하위층은 AlGaN p-클래딩 하위층(69)이라고 불릴 것이다. AlGaN p-클래딩 하위층(69)의 더 큰 AlN 몰분율은 광 집중 구조가 적절한 광 집중을 제공할 수 있게 한다.

더 낮은 AlN 몰분율을 갖는 하위층은 AlGaN p-클래딩 하위층(69)보다 더 낮은 저항을 가지며, p-타입 GaN 광학 GaN 광 도파관층(48)으로부터 멀리 떨어져 배치되고 레이저로의 전류 주입을 수행한다. 이러한 하위층은 AlGaN p-접촉 하위층(70)으로 불릴 것이다. AlGaN p-접촉층의 더 적은 AlN 몰분율이 저 저항 전류 도전 경로를 제공한다.

n-타입 AlGaN 복합층(51) 및 p-타입 AlGaN 복합층(71)은 광 도파관층(45,48)에 대하여 동일한 방향을 취하는바, 즉 각각의 AlGaN 복합층에서, 더 높은 AlN 몰분율을 갖는 클래딩 하위층이 각각의 광 도파관층에 인접하여 배치되어 각각의 광 집중 구조를 형성한다. 결과적으로, n-타입 AlGaN 복합층(51) 및 p-타입 AlGaN 복합층(71)의 하위층들은 층 구조(80)와 그 순서가 반대이다.

p-타입 AlGaN 복합층(71)에 있어서, AlN 몰분율은 AlGaN p-클래딩 하위층(69) 및 AlGaN p-접촉 하위층(70) 사이에서 급격하게 변화하여, 실제적으로 두 개의 별도의 AlGaN 층(각각은 서로 다른 몰분율을 가짐)을 형성할 수 있다. 이와 달리, AlN 몰분율은 AlGaN p-클래딩 하위층 및 AlGaN p-접촉 하위층 사이에서 점진적으로 변화하여, 그 층의 두께에 따라 달라지는 AlN 몰분율을 갖는 p-타입 단일층을 생성할 수 있다. AlN 몰분율이 변화하는 방법에 관계없이, p-클래딩 하위층(69)의 두께는 적절한 광 집중을 제공하기 위하여 필요로 되는 정도보다 더 커서는 안된다.

질화물 반도체층 구조물(80)의 바람직한 실시예에서, AlGaN p-클래딩 하위층(69)은 500nm의 두께 및 0.06의 AlN 몰분율을 가지며, AlGaN p-접촉 하위층(70)은 500nm의 두께 및 0.03의 AlN 몰분율을 가지며 p-타입 GaN p-접촉층(72)은 50nm의 두께를 갖는다. 이와 다른 층의 두께 및 구성은 층 구조(40)에서와 동일하다. 당업자라면 층 구조(40) 형성에 관하여 전술된 방법이 변형되어 층 구조(80)를 생성할 수 있음을 명백히 알 것이다.

층 구조(40) 또는 층 구조(80)가 변형되어 n-up 레이저 및 기타 질화물 반도체 장치를 구성하기 위하여 이용될 수 있다. 이러한 변형된 층 구조에서, 기판(41)과 활성층(46) 사이의 층이 p-타입 도핑되고, 활성층상의 층(임의의 추가적 AlGaN 복합층(71) 포함)은 n-타입 도핑된다.

전술된 층 구조(40,80)와 레이저(60)는, 여전히 남아있는 균열의 영향을 줄이기 위하여, p-타입 GaN 광 도파관층(48) 및 p-타입 AlGaN 클래딩층(49) 사이에 샌드위치되거나 또는 p-타입 GaN 광 도파관층(48) 및 p-타입 AlGaN 복합층(71) 사이에 샌드위치된 저온 증착형 AlGaN 추가적 버퍼층(도시되지 않음)을 포함할 수 있다. 추가적 버퍼층의 저온 증착형 AlGaN은 약 1×10^{18} 내지 약 1×10^{20} cm^{-3} 범위의 농도의 마그네슘으로 도핑되어 이러한 물질을 p-타입으로 만들 수 있다. 예컨대, 약 1×10^{20} cm^{-3}의 마그네슘 농도가 선택될 수 있다.

층 구조(40,80)를 구성하는 층들은 금속 유기 기상 에피택시(MOVPE)를 이용해서 바람직하게 증착된다. 그러나, 이는 본 발명에서 반드시 그러해야 하는 것은 아니다. 이와 달리, 이들 층은 분자 빔 에피택시(molecular beam epitaxy : MBE), 할로겐 기상 에피택시(halide vapor phase epitaxy : HVPE) 또는 기타 적합한 에피택시얼 증착 기법을 이용해서 증착될 수 있다.

도 9a 내지 도 9c는 AlGaN 복합층(51)의 두께에 따라 AlN 몰분율이 변화할 수 있는 방법의 일부를 도시하는 그래프이다. AlN 몰분율은 y-축을 따라서 플로팅되고, AlGaN 복합층의 두께의 백분율이 x-축을 따라서 플로팅되는데, 여기서 0%는 AlGaN 복합층 및 버퍼층(42) 사이의 인터페이스에 대응하고 100%는 AlGaN 복합층과 n-GaN 광 도파관층(45) 사이의 인터페이스에 대응한다. AlN 몰분율이 변화하는 두께의 실제적 백분율은 AlGaN n-접촉 하위층(43) 및 AlGaN 클래딩 하위층(44)의 상대적 두께에 의존한다.

전술된 바와 같이, AlN 몰분율은 AlGaN n-접촉 하위층(43) 및 AlGaN 클래딩 하위층(44) 사이에서 급작스럽게 변화하여, 실제적으로 두 개의 별도의 AlGaN 하위층(도 9a에 도시된 바와 같이, 각각은 서로 다른 AlN 몰분율을 가짐)을 생성할 수 있다.

이와 달리, AlGaN n-접촉 하위층(43) 및 AlGaN 클래딩 하위층(44) 사이의 그래디언트 하위층(55)에서 AlN 몰분율이 점진적으로 변화할 수 있다. 도 9b는 AlN 몰분율이 그래디언트 하위층을 통하여 선형으로 변화하는 실시예를 도시하고 있

다. 이러한 경우에, 그래디언트 하위층은 약 20nm 두께이다. 도 9c는 AlN 몰분율이 그래디언트 하위층을 통하여 실제적으로 포물선형으로 변화하는 실시예를 도시하고 있다. AlN 몰분율이 점진적으로 변화시켜 그래디언트 하위층을 생성하는 과정에서 이에 관련된 갭(gap)을 줄여야 하며, 이는 장치 저항을 줄일 것이다.

추가적 AlGaN 복합층(71)에서 AlN 몰분율은, 도 9a 내지 도 9c에 도시된 방법과 유사한 방법으로, p-클래딩 하위층(69) 및 p-접촉 하위층(70) 사이에서 변화할 수 있다.

본 발명에 따른 질화물 반도체층 구조물(40,80)은 두꺼운, 저 저항 AlGaN 복합층(51)을 포함하며, 균열이나 기타 결함 발생이 비교적 적다. 이들 층 구조는 구조에 관하여, 레이저 다이오드와 같은 전자 광학 장치뿐만 아니라, 그룹 Ⅲ-질화물 반도체를 포함하는 기타 장치의 특성을 개선하는데 이용될 수 있다. 그러한 장치들은 포토 다이오드(photodiode)와, 발광 다이오드(light emitting diode)와, 평면 발광 다이오드(planar light emitting diode)와, 고전자 이동성 트랜지스터(high electron mobility transistor)와, 전계 효과 트랜지스터(field-effect transistor)를 포함한다.

본 명세서에서는 본 발명을 예시적 실시예에 의하여 상세히 설명하였으나, 본 발명은 설명된 실시예만으로 제한되지 않으며, 첨부된 청구 범위로 정의되는 본 발명의 영역 내에서 다양한 변형이 이루어질 수 있다.

도면의 간단한 설명

도 1은 통상적 질화물 반도체 레이저가 구성될 수 있는 통상적 GaN 기반형 층 구조의 개략적 층 측면도,

도 2는 도 1에 도시된 통상적 층 구조로 구성되는 예시적 레이저에 의하여 방출되는 광선의 원시야 패턴을 도시하는 그래프,

도 3은 본 발명에 따른 질화물 반도체층 구조물의 제 1 실시예의 개략적 측면도,

도 4는 도 3에 도시된 질화물 반도체층 구조물로 제조되는, 본 발명에 따른 질화물 반도체 레이저의 개략적 측면도,

도 5는 본 발명에 따른 질화물 반도체층 구조물을 이용해서 제조되는, 본 발명에 따른 예시적 질화물 반도체 레이저에 의하여 방출되는 광선의 원시야 패턴을 도시하는 그래프,

도 6은 본 발명에 따른 예시적 질화물 반도체 레이저(커브 (a))와 비교 레이저(커브 (b)))의 포워드 특성을 도시하는 그래프,

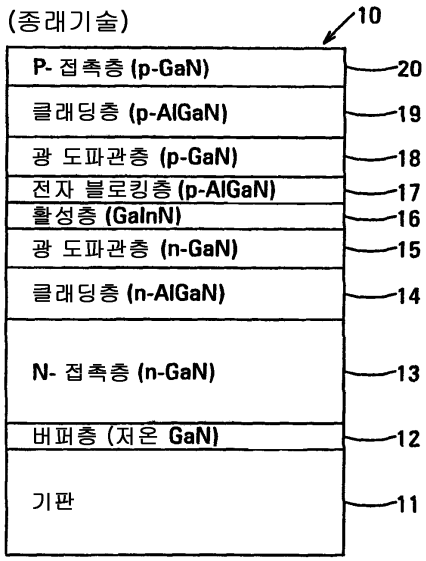
도 7은 본 발명에 따른 예시적 질화물 반도체 레이저(커브 (a))와 비교 레이저(커브 (b))의 임계 특성을 도시하는 그래프,

도 8은 추가적 AlN 복합층을 포함하는, 본 발명에 따른 질화물 반도체층 구조물의 제 2 실시예의 개략적 측면도,

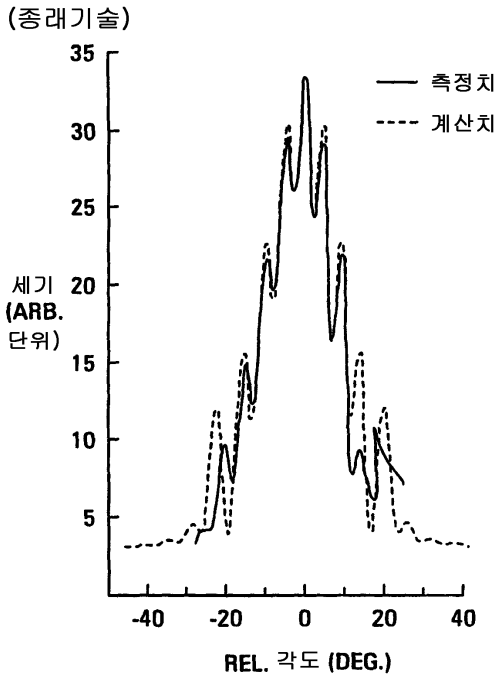
도 9a-9c는 AlGaN 복합층의 AlN 몰분율이 그 AlGaN 복합층의 두께에 따라 변화하도록 하는 서로 다른 방법들을 도시하는 그래프.

도면

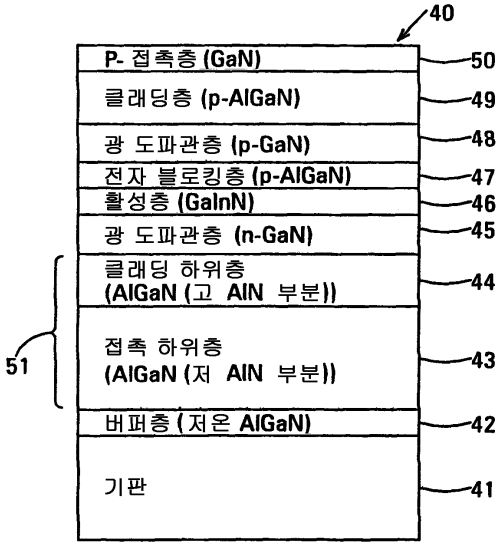
도면1


(종래기술)
10
P- 접촉층 (p-GaN)
20
클래딩층 (p-AlGaN)
19
광 도파관층 (p-GaN)
18
전자 블로킹층 (p-AlGaN)
17
활성층 (GaInN)
16
광 도파관층 (n-GaN)
15
클래딩층 (n-AlGaN)
14
N- 접촉층 (n-GaN)
13
버퍼층 (저온 GaN)
12
기판
11

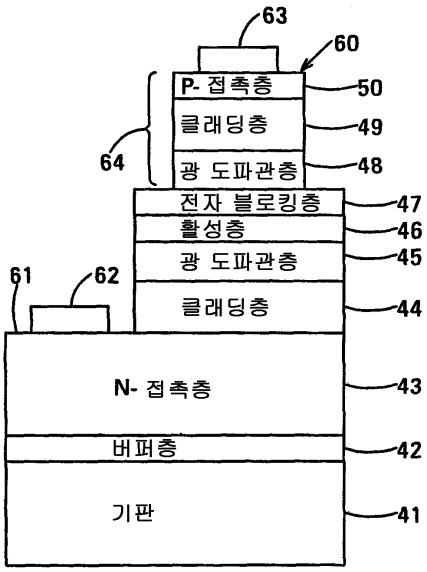
도면2


(종래기술)
35
30
25
20
15
10
5
세기 (ARB. 단위)
측정치
계산치
-40
-20
0
20
40
REL. 각도 (DEG.)

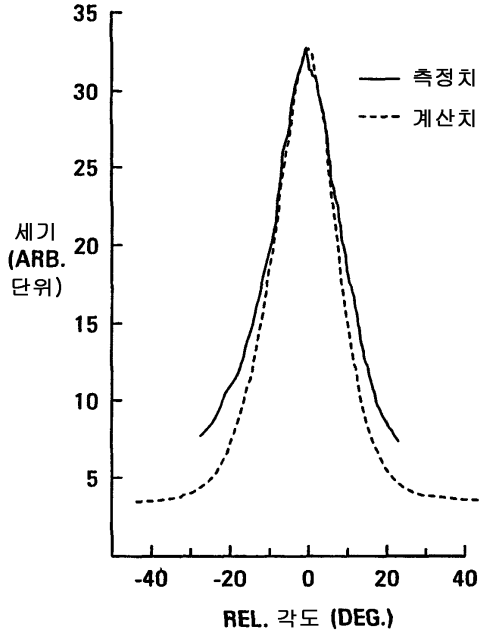
도면3


40
P- 접촉층 (GaN)
50
클래딩층 (p-AlGaN)
49
광 도파관층 (p-GaN)
48
전자 블로킹층 (p-AlGaN)
47
활성층 (GaInN)
46
광 도파관층 (n-GaN)
45
클래딩 하위층
(AlGaN (고 AlN 부분))
44
51
접촉 하위층
(AlGaN (저 AlN 부분))
43
버퍼층 (저온 AlGaN)
42
기판
41

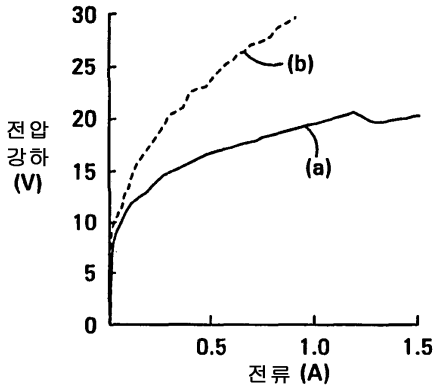
도면4


63
60
P- 접촉층
50
클래딩층
49
64
광 도파관층
48
전자 블로킹층
47
활성층
46
광 도파관층
45
61
62
클래딩층
44
N- 접촉층
43
버퍼층
42
기판
41

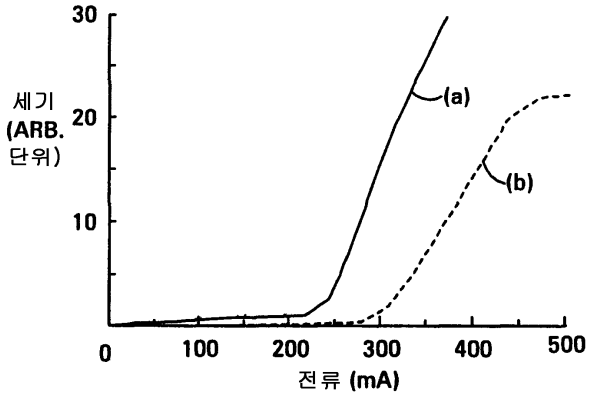
도면5


35
30
25
20
15
10
5
세기
(ARB.
단위)
측정치
계산치
-40
-20
0
20
40
REL. 각도 (DEG.)

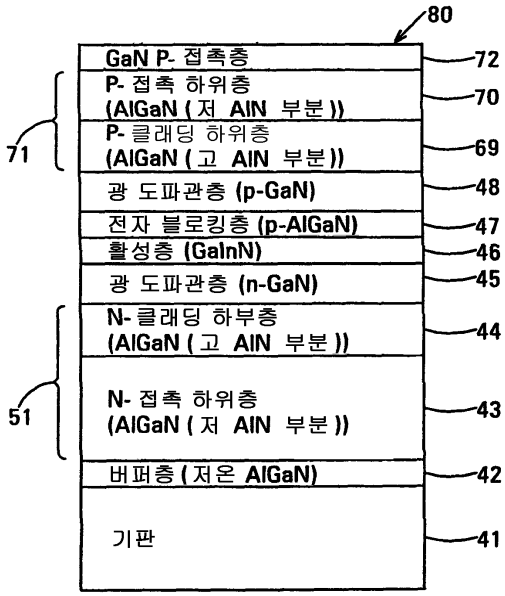
도면6


30
25
20
15
10
5
0
전압
강하
(V)
(b)
(a)
0.5
1.0
1.5
전류 (A)

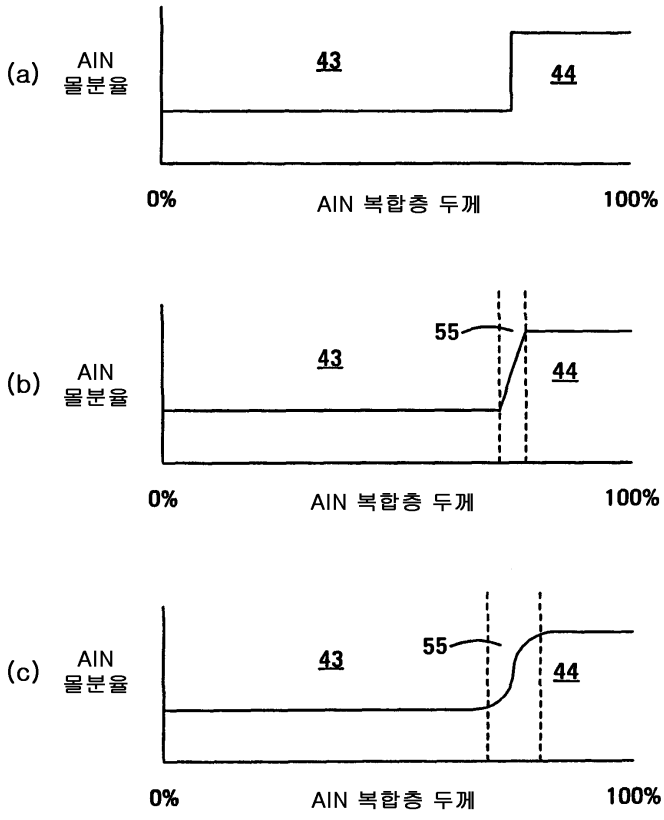
도면7


30
20
10
0
세기
(ARB.
단위)
(a)
(b)
100
200
300
400
500
전류 (mA)

도면8


80
GaN P- 접촉층
72
P- 접촉 하위층
(AlGaN (저 AlN 부분))
70
71
P- 클래딩 하위층
(AlGaN (고 AlN 부분))
69
광 도파관층 (p-GaN)
48
전자 블로킹층 (p-AlGaN)
47
활성층 (GaInN)
46
광 도파관층 (n-GaN)
45
N- 클래딩 하부층
(AlGaN (고 AlN 부분))
44
51
N- 접촉 하위층
(AlGaN (저 AlN 부분))
43
버퍼층 (저온 AlGaN)
42
기판
41

도면9


(a)
AlN
몰분율
43
44
0%
AlN 복합층 두께
100%
(b)
AlN
몰분율
55
43
44
0%
AlN 복합층 두께
100%
(c)
AlN
몰분율
55
43
44
0%
AlN 복합층 두께
100%