



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년03월29일
(11) 등록번호 10-1843513
(24) 등록일자 2018년03월23일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

H01L 33/04 (2010.01)

(21) 출원번호 10-2012-0019011

(22) 출원일자 2012년02월24일

심사청구일자 2016년07월18일

(65) 공개번호 10-2013-0097390

(43) 공개일자 2013년09월03일

(56) 선행기술조사문헌

JP2011187621 A*

(뒷면에 계속)

(73) 특허권자

서울바이오시스 주식회사

경기도 안산시 단원구 산단로163번길 65-16, 1블럭 36호 (원시동)

미쯔비시 케미컬 주식회사

일본 도쿄도 치요다구 마루노우치 1초메 1방 1고

(72) 발명자

최승규

경기 안산시 단원구 산단로163번길 65-16, 36호 (원시동)

김재현

경기 안산시 단원구 산단로163번길 65-16, 36호 (원시동)

(뒷면에 계속)

(74) 대리인

특허법인에이아이피

전체 청구항 수 : 총 13 항

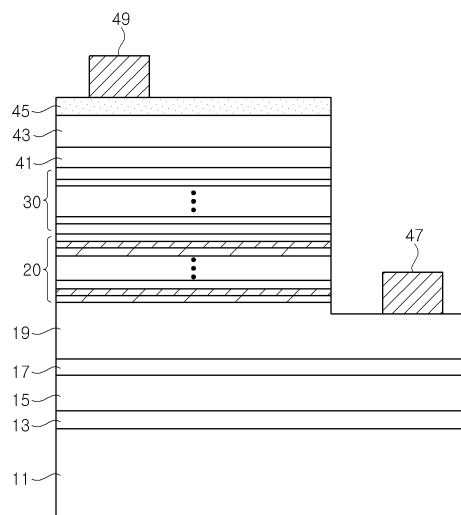
심사관 : 윤난영

(54) 발명의 명칭 질화갈륨계 발광 다이오드

(57) 요약

발광 다이오드가 개시된다. 이 발광 다이오드는, 질화갈륨 기판; 질화갈륨 기판 상에 위치하는 질화갈륨계 제1 콘택층; 질화갈륨계 제2 콘택층; 제1 콘택층과 제2 콘택층 사이에 위치하는 다중양자우물 구조의 활성층; 및 제1 콘택층과 활성층 사이에 위치하는 다층 구조의 초격자층을 포함한다. 질화갈륨 기판을 채택함으로써 반도체층들의 결정질을 개선할 수 있으며, 나아가, 제1 콘택층과 활성층 사이에 초격자층을 배치함으로써 활성층 내에서 생성될 수 있는 결정 결함을 방지할 수 있다.

대표도 - 도1



(72) 발명자

정정환

경기 안산시 단원구 산단로163번길 65-16, 36호 (원시동)

남기범

경기 안산시 단원구 산단로163번길 65-16, 36호 (원시동)

시모야마 켄지

일본 이바라키현 우시구 히가시 마미아나 1000 미쓰비시 가가꾸 가부시킴가이사

쿠리하라 카오리

일본 이바라키현 우시구 히가시 마미아나 1000 미쓰비시 가가꾸 가부시킴가이사

(56) 선행기술조사문헌

JP2003023216 A*

JP2006135001 A*

KR100835116 B1*

JP2006332365 A*

W02010150809 A1*

*는 심사관에 의하여 인용된 문헌

명세서

청구범위

청구항 1

m면 성장면을 갖는 질화갈륨 기판;

상기 질화갈륨 기판 상에 위치하는 질화갈륨계 제1 콘택층;

상기 제1 콘택층 상부에 위치하는 질화갈륨계 제2 콘택층;

상기 제1 콘택층과 상기 제2 콘택층 사이에 위치하는 다중양자우물 구조의 활성층;

상기 제1 콘택층과 상기 활성층 사이에 위치하는 다층 구조의 초격자층; 및

상기 기판과 상기 제1 콘택층 사이에 위치하는 증온 버퍼층을 포함하되,

상기 증온 버퍼층은 상기 질화갈륨 기판 상에서 700~800℃ 범위 내의 성장 온도에서 성장된 버퍼층이고,

상기 질화갈륨 기판과 상기 증온 버퍼층은 동일 재료로 형성된 발광 다이오드.

청구항 2

청구항 1에 있어서,

상기 다층 구조의 초격자층은 InGa_N층, AlGa_N층 및 Ga_N층을 복수 주기로 반복 적층한 구조를 갖는 발광 다이오드.

청구항 3

청구항 2에 있어서, 상기 다층 구조의 초격자층은 각 주기 내에서 InGa_N층과 AlGa_N층 사이에 Ga_N층을 더 포함하는 발광 다이오드.

청구항 4

청구항 1에 있어서,

상기 다중양자우물 구조의 활성층은 상기 제1 콘택층에 가장 가까운 제1 우물층과 상기 제2 콘택층에 가장 가까운 제n 우물층 사이에 (n-1)개의 복수의 장벽층을 포함하고,

상기 (n-1)개의 복수의 장벽층들에서, 이들 장벽층들의 평균 두께보다 두꺼운 장벽층들은 상기 제1 우물층에 더 가깝게 위치하고, 상기 평균 두께보다 얇은 장벽층들은 상기 제n 우물층에 더 가깝게 위치하는 발광 다이오드.

청구항 5

청구항 4에 있어서,

상기 평균 두께보다 두꺼운 장벽층들의 개수가 상기 평균 두께보다 얇은 장벽층들의 개수보다 더 많은 발광 다이오드.

청구항 6

청구항 4에 있어서,

상기 각 우물층의 두께는 상기 평균 두께보다 얇은 각 장벽층의 두께보다 더 얇은 발광 다이오드.

청구항 7

청구항 4에 있어서,

상기 평균 두께보다 두꺼운 장벽층들 사이에 위치하는 우물층들의 두께는 상기 평균 두께보다 얇은 장벽층들 사

이에 위치하는 우물층들의 두께와 동일하거나 그보다 두꺼운 발광 다이오드.

청구항 8

청구항 1에 있어서,

상기 활성층 내의 장벽층들은 AlGa_N 또는 AlInGa_N으로 형성된 발광 다이오드.

청구항 9

청구항 8에 있어서,

상기 발광 다이오드는 청색 또는 근자외선(near UV) 영역의 광을 방출하는 발광 다이오드.

청구항 10

삭제

청구항 11

청구항 8에 있어서,

상기 장벽층들 내의 Al의 조성비는 0보다 크고 0.1보다 작은 발광 다이오드.

청구항 12

청구항 11에 있어서,

상기 장벽층들 내의 Al의 조성비는 0.02 내지 0.05인 발광 다이오드.

청구항 13

삭제

청구항 14

청구항 1에 있어서,

상기 중온 버퍼층은 Ga_N층인 발광 다이오드.

청구항 15

청구항 1에 있어서,

상기 기판과 상기 제1 콘택층 사이에 위치하는 하부 Ga_N층; 및

상기 제1 콘택층과 상기 하부 Ga_N층 사이에 위치하는 중간층을 더 포함하되,

상기 중간층은 AlInGa_N층 또는 AlGa_N층인 발광 다이오드.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 질화갈륨계 발광 다이오드에 관한 것으로, 특히 질화갈륨 기판을 성장기판으로 사용한 질화갈륨계 발광 다이오드에 관한 것이다.

배경 기술

[0002] 일반적으로 질화갈륨(GaN)과 같은 III족 원소의 질화물은 열적 안정성이 우수하고 직접 천이형의 에너지 밴드(band) 구조를 가지므로, 최근 가시광선 및 자외선 영역의 발광소자용 물질로 많은 각광을 받고 있다. 특히, 질화인듐갈륨(InGa_N)을 이용한 청색 및 녹색 발광 소자는 대규모 천연색 평판 표시 장치, 신호등, 실내 조명, 고밀도광원, 고해상도 출력 시스템과 광통신 등 다양한 응용 분야에 활용되고 있다.

[0003] 이러한 III족 원소의 질화물 반도체층은 그것을 성장시킬 수 있는 동종의 기판을 제작하는 것이 어려워, 유사한

결정 구조를 갖는 이종 기판에서 금속유기화학기상증착법(MOCVD) 또는 분자선 증착법(molecular beam epitaxy; MBE) 등의 공정을 통해 성장되어 왔다. 이종기판으로는 육방 정계의 구조를 갖는 사파이어(Sapphire) 기판이 주로 사용된다.

[0004] 그러나, 이종 기판 상에 성장된 에피층은 성장 기판과의 격자 부정합 및 열팽창 계수 차이에 기인하여 전위 밀도가 상대적으로 높다. 사파이어 기판 상에 성장된 에피층은 일반적으로 $1E8/cm^2$ 이상의 전위밀도를 갖는 것으로 알려져 있다. 이러한 높은 전위밀도를 갖는 에피층으로는 발광 다이오드의 발광 효율을 개선하는데 한계가 있다.

[0005] 나아가, 고전류에서 발광 다이오드를 동작시킬 경우, 전위를 통해 전류가 집중되기 때문에 저전류에서 동작하는 경우에 비해, 발광 효율이 더욱 감소된다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0006] 본 발명이 해결하고자 하는 과제는, 개선된 발광 효율을 갖는 발광 다이오드를 제공하는 것이다.

[0007] 본 발명이 해결하고자 하는 또 다른 과제는, 고전류 하에서 구동할 수 있는 발광 다이오드를 제공하는 것이다.

[0008] 본 발명이 해결하고자 하는 또 다른 과제는, 순방향 전압을 낮출 수 있는 발광 다이오드를 제공하는 것이다.

과제의 해결 수단

[0009] 본 발명의 실시예들에 따른 발광 다이오드는, 질화갈륨 기판; 상기 질화갈륨 기판 상에 위치하는 질화갈륨계 제1 콘택층; 상기 제1 도전형 질화갈륨계 콘택층 상부에 위치하는 질화갈륨계 제2 콘택층; 상기 제1 콘택층과 상기 제2 콘택층 사이에 위치하는 다중양자우물 구조의 활성층; 및 상기 제1 콘택층과 상기 활성층 사이에 위치하는 다층 구조의 초격자층을 포함한다.

[0010] 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 다층 구조의 초격자층은 InGa_N층, AlGa_N층 및 Ga_N층을 복수 주기로 반복 적층한 구조를 갖는다. 상기 다층 구조의 초격자층은 각 주기 내에서 InGa_N층과 AlGa_N층 사이에 Ga_N층을 더 포함할 수 있다.

[0011] 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 다중양자우물 구조의 활성층은 상기 n형 콘택층에 가장 가까운 제1 우물층과 상기 p형 콘택층에 가장 가까운 제n 우물층 사이에 (n-1)개의 복수의 장벽층을 포함하고, 상기 (n-1)개의 복수의 장벽층들에서, 이들 장벽층들의 평균 두께보다 두꺼운 장벽층들은 상기 제1 우물층에 더 가깝게 위치하고, 상기 평균 두께보다 얇은 장벽층들은 상기 제n 우물층에 더 가깝게 위치할 수 있다. 나아가, 상기 평균 두께보다 두꺼운 장벽층들의 개수가 상기 평균 두께보다 얇은 장벽층들의 개수보다 더 많을 수 있다.

[0012] 상기 활성층 내의 장벽층들은 AlGa_N 또는 AlInGa_N으로 형성될 수 있다. 또한, 상기 장벽층들 내의 Al의 조성비는 0보다 크고 0.1보다 작을 수 있으며, 특히, 상기 장벽층들 내의 Al의 조성비는 바람직하게는 0.01 이상, 더 바람직하게는 0.02 이상일 수 있으며, 바람직하게는 0.05 이하일 수 있다.

[0013] 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 발광 다이오드는 상기 기판과 상기 n형 콘택층 사이에 위치하는 중온 버퍼층을 더 포함할 수 있다. 여기서, 상기 중온 버퍼층은 상기 질화갈륨 기판 상에서 700~800℃ 범위 내의 성장 온도에서 성장된 질화갈륨계층으로 Ga_N층일 수 있다.

[0014] 몇몇 실시예들에 있어서, 상기 발광 다이오드는, 상기 기판과 상기 n형 콘택층 사이에 위치하는 하부 Ga_N층, 및 상기 n형 콘택층과 상기 하부 Ga_N층 사이에 위치하는 중간층을 더 포함할 수 있다. 여기서, 상기 중간층은 AlIn_N층 또는 AlGa_N층으로 형성될 수 있다.

발명의 효과

[0015] 본 발명에 따르면, 질화갈륨 기판을 채택함으로써 그 위에 성장된 반도체층들의 결정질을 개선할 수 있으며, 나아가, 제1 콘택층과 활성층 사이에 초격자층을 배치함으로써 활성층 내에서 생성될 수 있는 결정 결함을 방지할 수 있다. 따라서, 발광 다이오드의 발광 효율을 대폭 향상시킬 수 있으며, 또한 전위 밀도를 낮추어 고전류 하에서 구동할 수 있는 발광 다이오드를 제공할 수 있다.

[0016] 또한, 상기 초격자층을 InGa_N층, AlGa_N층 및 Ga_N층을 복수 주기로 반복 적층한 구조로 함으로써, 전자를 활성층

내로 원활하게 주입함과 아울러 정공을 활성층 내에 가둘 수 있다. 이에 따라, 구동 전압을 증가시키지 않고도 발광 효율을 개선할 수 있다.

[0017] 나아가, 상대적으로 얇은 장벽층들을 p형 콘택층에 가깝게 배치함으로써, 발광 효율을 감소시키지 않으면서 순방향 전압을 감소시킬 수 있다.

[0018] 또한, 중온 버퍼층 및/또는 중간층을 채택함으로써 결정 결함을 더욱 감소시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

[0019] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 발광 다이오드를 설명하기 위한 단면도이다.

도 2는 본 발명의 일 실시예에 따른 초격자층을 설명하기 위한 단면도이다.

도 3은 본 발명의 다른 실시예에 따른 초격자층을 설명하기 위한 단면도이다.

도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 활성층을 설명하기 위한 단면도이다.

도 5는 도 4의 활성층을 설명하기 위한 에너지 밴드를 나타낸다.

도 6은 중온 버퍼층 사용에 따른 에피층의 표면 모폴로지를 설명하기 위한 광학 사진이다.

도 7은 중간층 사용에 따른 에피층의 표면 모폴로지를 설명하기 위한 광학 사진이다.

도 8은 질화갈륨 기판 사용에 따른 광 출력 증가를 설명하기 위한 그래프이다.

도 9는 장벽층 내 Al 조성비에 따른 광 출력 및 순방향 전압의 변화를 설명하기 위한 그래프이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0020] 이하, 첨부한 도면들을 참조하여 본 발명의 실시예들을 상세히 설명하기로 한다. 다음에 소개되는 실시예들은 당업자에게 본 발명의 사상이 충분히 전달될 수 있도록 하기 위해 예로서 제공되는 것이다. 따라서, 본 발명은 이하 설명되는 실시예들에 한정되지 않고 다른 형태로 구체화될 수도 있다. 그리고, 도면들에 있어서, 동일한 참조번호는 동일한 구성요소를 나타내며, 구성요소의 폭, 길이, 두께 등은 편의를 위하여 과장되어 표현될 수 있다.

[0021] 도 1은 본 발명의 일 실시예에 따른 발광 다이오드를 설명하기 위한 단면도이다.

[0022] 도 1을 참조하면, 상기 발광 다이오드는, 질화갈륨 기판(11), n형 콘택층(19), 초격자층(20), 활성층(30) 및 p형 콘택층(43)을 포함한다. 나아가, 상기 발광 다이오드는, 중온 버퍼층(13), 하부 GaN층(15), 중간층(17), p형 클래드층(41), 투명 전극층(45), 제1 전극(47) 및 제2 전극(49)을 포함할 수 있다.

[0023] 상기 질화갈륨 기판(11)은 c면, m면 또는 a면의 성장면을 가질 수 있다. 또한, 상기 질화갈륨 기판(11)의 성장면은 에피층의 성장을 돕기 위한 경사각을 가질 수 있다. 이러한 질화갈륨 기판(11)은 예컨대 HVPE 기술을 사용하여 제조될 수 있다.

[0024] 상기 질화갈륨 기판(11) 상에 중온 버퍼층(13)이 형성될 수 있다. 중온 버퍼층(13)은 약 700~800℃ 온도 범위에서 약 2 내지 10nm의 두께로 형성될 수 있다.

[0025] 종래 사파이어 기판 상에 질화갈륨 계열의 에피층을 성장시키기 위해 600℃ 이하의 온도에서 저온 버퍼층을 형성하는 기술이 사용되어 왔다. 상기 저온 버퍼층에 의해 격자부정합과 열팽창 계수 차이가 큰 사파이어 기판 위에 질화갈륨 계열의 에피층을 성장시킬 수 있다. 그러나 질화갈륨 기판(11)은 질화갈륨 에피층과 동종 기판으로 저온 버퍼층을 필요로 하지 않는다. 더욱이, 질화갈륨 기판(11) 상에 저온 버퍼층을 형성할 경우, 그 위에 성장되는 질화갈륨층 내에 생성되는 전위 밀도가 오히려 증가될 수 있어 바람직하지 않다.

[0026] 한편, 상기 질화갈륨 기판(11) 상에 직접 900℃ 이상의 고온에서 질화갈륨 에피층을 성장시키는 것을 고려할 수 있다. 그러나, 상기 질화갈륨 기판(11)이 특히 m면 또는 a면과 같은 비극성 성장면을 가질 경우, 질화갈륨 기판(11) 상에 고온에서 성장된 에피층은 매우 거친 표면을 갖는다. 이에 반해, 700~800℃의 온도에서 버퍼층(13)을 성장시키고 그 위에 에피층을 성장시킴으로써, 버퍼층(13) 상에 성장된 에피층이 매끄러운 표면을 갖게 할 수 있다.

[0027] 상기 하부 GaN층(15)은 언도프트 GaN 또는 Si이 도핑된 GaN으로 형성될 수 있다. 상기 하부 GaN층(15)은 중온

버퍼층(13)이 형성된 경우, 중온 버퍼층(13) 상에 성장될 수 있으며, 중온 버퍼층(13)이 생략된 경우, 질화갈륨 기판(11) 상에 직접 성장될 수도 있다.

[0028] 상기 하부 GaN층(15) 상에 중간층(17)이 위치한다. 상기 중간층(17)은 질화갈륨 기판(11)의 조성과는 다른 조성을 갖는 질화갈륨 계열의 에피층으로 형성되며, 다중양자우물 구조의 우물층에 비해 넓은 밴드갭을 갖는다. 예컨대, 상기 중간층(17)은 AlInN, AlGaIn 또는 AlInGaIn으로 형성될 수 있다. n형 콘택층(19)과 하부 GaN층(15)은 약 1000℃의 고온에서 성장되나, 상기 중간층(17)은 약 800 내지 900℃의 온도범위에서 성장된다. GaN과 다른 조성의 중간층(17)을 GaN층들(15, 19) 사이에 형성함으로써 중간층(17) 위에 형성되는 n형 콘택층(19)에 스트레인을 유발할 수 있고, 이를 이용하여 다중양자우물 구조의 결정질을 향상시킬 수 있다.

[0029] 상기 n형 콘택층(19)은 Si이 도핑된 GaN으로 형성될 수 있다. 상기 n형 콘택층(19)은 중간층(17) 상에서 성장될 수 있으나, 이에 한정되는 것은 아니다. 상기 n형 콘택층(19)이 중온 버퍼층(13) 상에 또는 질화갈륨 기판(11) 상에서 직접 성장될 수도 있다. 상기 n형 콘택층(19) 상에 제1 전극(47)이 오믹 콘택한다.

[0030] 한편, 상기 n형 콘택층(19) 상에 다층 구조의 초격자층(20)이 위치한다. 상기 초격자층(20)은 n형 콘택층(19)과 활성층(30) 사이에 위치하며, 따라서 전류 경로 상에 위치한다. 상기 초격자층(20)은 InGaIn/GaN의 쌍을 복수 주기(예컨대, 15 내지 20 주기) 반복 적층하여 형성할 수 있으나, 이에 한정되지 않는다. 예컨대, 도 2에 도시한 바와 같이, 상기 초격자층(20)은 InGaIn층(21)/AlGaIn층(22)/GaN층(23)의 3층 구조가 복수 주기(예컨대, 약 10 내지 20 주기) 반복 적층된 구조를 가질 수 있다. AlGaIn층(22)과 InGaIn층(21)의 순서는 서로 바뀔 수도 있다. 여기서, 상기 InGaIn층(21)은 활성층(30) 내의 우물층에 비해 넓은 밴드갭을 갖는다. 또한, 상기 AlGaIn층(22)은 활성층(30) 내의 장벽층에 비해 넓은 밴드갭을 갖는 것이 바람직하다. 나아가, 상기 InGaIn층(21) 및 AlGaIn층(22)은 불순물을 의도적으로 도핑하지 않은 언도프트층으로 형성되고, 상기 GaN층(23)은 Si 도핑층으로 형성될 수 있다. 상기 초격자층(20)의 최상층은 불순물이 도핑된 GaN층(23)인 것이 바람직하다.

[0031] 초격자층(20) 내에 AlGaIn층(22)을 포함함으로써 활성층(30) 내의 정공이 n형 콘택층(19) 쪽으로 이동하는 것을 차단할 수 있어, 활성층(30)의 내의 발광 재결합율을 향상시킬 수 있다. 상기 AlGaIn층(22)은 1nm 미만의 두께로 형성될 수 있다.

[0032] 한편, 상기 초격자층(20)은 InGaIn층(21) 상에 AlGaIn층(22)을 형성하기 때문에, 이들 사이의 격자부정합이 커서 계면에 결정 결함이 형성되기 쉽다. 따라서, 상기 InGaIn층(21)과 AlGaIn층(22) 사이에 도 3에 도시한 바와 같이 GaN층(24)을 삽입할 수 있다. 상기 GaN층(24)은 언도프트층 또는 Si 도핑된 층으로 형성될 수 있다.

[0033] 상기 초격자층(20) 상에 다중양자우물 구조의 활성층(30)이 위치한다. 상기 활성층(30)은, 도 4에 잘 도시된 바와 같이, 장벽층(31a, 31b) 및 우물층(33n, 33, 33p)이 교대로 적층된 구조를 갖는다. 여기서, 33n은, 초격자층(20) 또는 n형 콘택층(19)에 가장 가까운 우물층(제1 우물층)을 나타내고, 33p는 p형 클래드층(41) 또는 p형 콘택층(23)에 가장 가까운 우물층(제n 우물층)을 나타낸다. 한편, 도 5는 상기 활성층(30)의 에너지 밴드를 나타낸다.

[0034] 도 4 및 도 5를 참조하면, 상기 우물층(33n)과 우물층(33p) 사이에 (n-1)개의 복수의 장벽층들(31a, 31b) 및 (n-2)개의 복수의 우물층들(33)이 서로 교대로 적층되어 있다. 장벽층들(31a)은 이들 (n-1)개의 복수의 장벽층들(31a, 31b)의 평균 두께보다 더 두꺼운 두께를 가지며, 장벽층들(31b)은 상기 평균 두께보다 더 얇은 두께를 갖는다. 또한, 도시한 바와 같이, 장벽층들(31a)이 제1 우물층(33n)에 가깝게 배치되고, 장벽층들(31b)이 제n 우물층(33p)에 가깝게 배치된다.

[0035] 나아가, 장벽층(31a)이 초격자층(20)의 최상부층에 접하여 위치할 수 있다. 즉, 초격자층(20)과 제1 우물층(33n) 사이에 장벽층(31a)이 위치할 수 있다. 또한, 제n 우물층(33p) 상에 장벽층(35)이 위치할 수 있다. 장벽층(35)은 장벽층(31a)에 비해 상대적으로 더 두꺼운 두께를 가질 수 있다.

[0036] 제n 우물층(33p)에 가까운 장벽층들(31b)의 두께를 상대적으로 얇게 함으로써 활성층(30)의 저항 성분을 감소시키고 또한 p형 콘택층(43)에서 주입된 정공을 활성층(30) 내의 우물층들(33)에 분산시킬 수 있으며, 이에 따라 발광 다이오드의 순방향 전압을 낮출 수 있다. 또한, 장벽층(35)의 두께를 상대적으로 두껍게 함으로써, 활성층(30), 특히 우물층들(33n, 33, 33p)을 성장시키는 동안 생성된 결정 결함을 치유하여 그 위에 형성되는 에피층들의 결정질을 개선할 수 있다. 다만, 상기 장벽층들(31a)의 개수보다 장벽층들(31b)의 개수를 더 많이 형성할 경우, 활성층(30) 내에 결함 밀도가 증가하여 발광 효율이 감소될 수 있다. 따라서, 상기 장벽층들(31a)의 개수를 장벽층들(31b)의 개수보다 더 많이 형성하는 것이 바람직하다.

[0037] 한편, 상기 우물층들(33n, 33, 33p)은 서로 거의 동일한 두께를 가질 수 있으며, 이에 따라 반치폭이 매우 작은

광을 방출할 수 있다. 이와 달리, 우물층들(33n, 33, 33p)의 두께를 서로 다르게 조절하여 상대적으로 넓은 반치폭을 갖는 광을 방출할 수도 있다. 나아가, 상기 장벽층들(31a) 사이에 위치하는 우물층(33)에 비해 장벽층들(31b) 사이에 위치하는 우물층(33)의 두께를 상대적으로 얇게 함으로써 결정 결함이 생성되는 것을 방지할 수 있다. 예컨대, 상기 우물층들(33n, 33, 33p)의 두께는 예컨대, 10 내지 30Å 범위 내이고, 상기 장벽층들(31a)의 두께는 50 내지 70Å 범위 내이고, 상기 장벽층들(31b)의 두께는 30 내지 50Å 범위 내일 수 있다.

[0038] 또한, 상기 우물층들(33n, 33, 33p)은 근자외선 또는 청색 영역의 광을 방출하는 질화갈륨계 층으로 형성될 수 있다. 예컨대, 상기 우물층들(33n, 33, 33p)은 InGaN으로 형성될 수 있으며, In 조성비는 요구되는 파장에 따라 조절된다.

[0039] 한편, 상기 장벽층들(31a, 31b)은 전자와 정공을 우물층들(33n, 33, 33p) 내에 가두기 위해 상기 우물층들(33n, 33, 33p)보다 넓은 밴드갭을 갖는 질화갈륨계 층으로 형성된다. 예컨대, 상기 장벽층들(31a, 31b)은 GaN, AlGaN 또는 AlInGaN으로 형성될 수 있다. 특히, 상기 장벽층들(31a, 31b)은 Al을 함유하는 질화갈륨계 층으로 형성되어 밴드갭을 더욱 증대시킬 수 있다. 상기 장벽층들(31a, 31b) 내의 Al의 조성비는 0보다 크고 0.1보다 작은 것이 바람직하며, 특히, 0.02 내지 0.05일 수 있다. Al 조성비를 상기 범위 내로 제한함으로써 광 출력을 증가시킬 수 있다.

[0040] 덧붙여, 상기 각 우물층(33n, 33, 33p)과 그 위에 위치하는 장벽층들(31a, 31b) 사이에는 도시하지는 않았지만, 캡층이 형성될 수 있다. 캡층은, 장벽층(31a, 31b)을 성장시키기 위해 챔버 온도를 올리는 동안 우물층이 손상되는 것을 방지하기 위해 형성된다. 예컨대, 상기 우물층들(33n, 33, 33p)은 약 780℃의 온도에서 성장될 수 있으며, 상기 장벽층들(31a, 31b)은 약 800℃의 온도에서 성장될 수 있다.

[0041] 상기 p형 클래드층(41)은 활성층(30) 상에 위치하며, AlGaN으로 형성될 수 있다. 또는, 상기 p형 클래드층(41)은 InGaN/AlGaN을 반복 적층한 초격자 구조로 형성될 수도 있다. 상기 p형 클래드층(41)은 전자 블록층으로서, 전자가 p형 콘택층(43)으로 이동하는 것을 차단하여 발광 효율을 개선한다.

[0042] 다시 도 1을 참조하면, 상기 p형 콘택층(43)은 Mg을 도핑한 GaN로 형성될 수 있다. p형 콘택층(43)은 p형 클래드층(41) 상에 위치한다. 한편, p형 콘택층(43) 상에 ITONa ZnO와 같은 투명 도전층(45)이 형성되어 p형 콘택층(43)에 옴릭 콘택할 수 있다. 제2 전극(49)이 p형 콘택층(43)에 전기적으로 접속된다. 제2 전극(49)은 투명 도전층(45)을 통해 p형 콘택층(43)에 접속될 수 있다.

[0043] 한편, p형 콘택층(43), p형 클래드층(41), 활성층(30) 및 초격자층(20)의 일부를 식각 공정으로 제거하여 n형 콘택층(19)이 노출될 수 있다. 제1 전극(47)은 상기 노출된 n형 콘택층(19) 상에 형성된다.

[0044] 본 실시예에 있어서, 상기 질화갈륨 기관(11) 상에 성장되는 중온 버퍼층(13) 및 에피층들(15 ~ 43)은 MOCVD 기술을 이용하여 형성될 수 있다. 이때, Al, Ga 및 In의 소스로는 TMAI, TMGa 및 TMIIn이 각각 사용될 수 있으며, N의 소스로는 NH₃가 사용될 수 있다. 또한, n형 불순물인 Si의 소스로는 SiH₄가 사용될 수 있고, p형 불순물인 Mg의 소스로는 Cp₂Mg가 사용될 수 있다.

[0045] (실험예 1)

[0046] 도 6은 중온 버퍼층(13) 사용에 따른 에피층의 표면 모폴로지를 설명하기 위한 광학 사진이다. 여기서 (a)는 중온 버퍼층(13) 없이 질화갈륨 기관(11) 상에 성장된 n형 GaN층의 표면 사진이고, (b)는 질화갈륨 기관(11) 상에 중온 버퍼층(13)을 형성한 후, 그 위에 성장된 n형 GaN층의 표면 사진이다.

[0047] 여기서, 질화갈륨 기관(11)은 m면 성장면을 갖는 기관을 사용하였으며, 중온 버퍼층(13)은 약 750℃에서 약 5nm의 두께로 형성하였다.

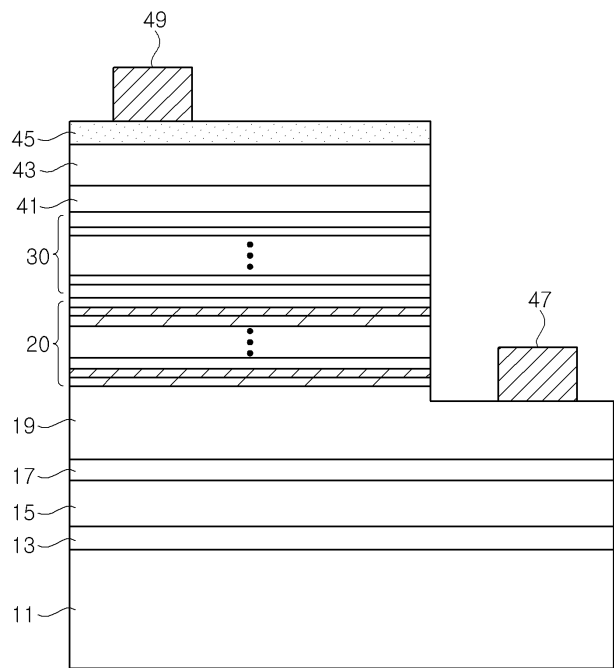
[0048] 도 6(a)를 참조하면, 중온 버퍼층(13)을 형성하지 않고 직접 n형 GaN층을 성장시킨 경우, 상기 n형 GaN층은 표면이 상당히 거친 것을 확인할 수 있다. 질화갈륨 기관(11) 상에 성장된 GaN층의 결정 방위가 국부적으로 변하기 때문에 에피층이 거친 표면을 갖는 것으로 보인다. 동종 기관을 성장 기관으로 사용한 경우에 표면이 거친 에피층이 성장되는 정확한 원인은 아직 밝혀지지 않았지만, 성장 기관(11)의 표면이 성장면에 정확히 일치하지 않기 때문에 발생하는 것이라 생각된다.

[0049] 이에 반해, 도 6(b)를 참조하면, 중온 버퍼층(13)을 사용함으로써 표면이 매끄러운 n형 GaN층이 성장된 것을 확인할 수 있다. 즉, 중온 버퍼층(13)이 성장 기관(11)의 표면 결함을 완화함으로써 그 위에 형성된 에피층의 결정질을 개선한 것으로 보인다.

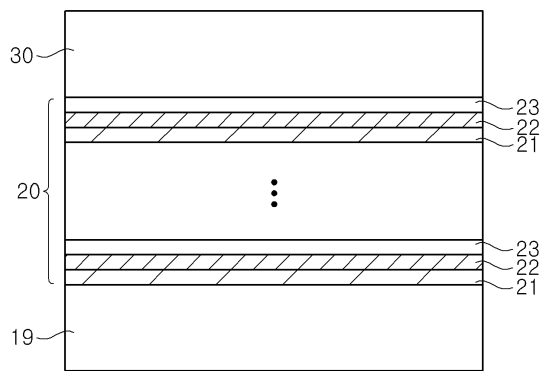
- [0050] 따라서, 700 내지 800℃에서 중온 버퍼층(13)을 성장시킴으로써 그 위에 900℃ 이상의 고온에서 성장되는 에피층의 결정질을 개선할 수 있음을 알 수 있다.
- [0051] (실험예 2)
- [0052] 도 7은 중간층 사용에 따른 에피층의 표면 모폴로지를 설명하기 위한 광학 사진이다. 여기서 (a)는 중간층 없이 질화갈륨 기판(11) 상에 n형 콘택층(19), 초격자층(20), 활성층(30), p형 클래드층(41) 및 p형 콘택층(43)을 차례로 성장시킨 후 광학 현미경으로 촬영한 p형 콘택층(43)의 표면 사진이고, (b)는 하부 GaN층(15)과 n형 콘택층(19) 사이에 10nm 미만의 $Al_{0.8}In_{0.2}N$ 중간층(17)을 형성하고, n형 콘택층(19) 상에 초격자층(20), 활성층(30), p형 클래드층(41) 및 p형 콘택층(43)을 차례로 성장시킨 후 광학 현미경으로 촬영한 p형 콘택층(43)의 표면 사진을 나타낸다. 상기 질화갈륨 기판(11)은 c면 성장 기판을 이용하였으며, 상기 기판(11)은 평행하게 형성된 전위 결함 라인들(Ld)을 갖고 있었다. 상기 하부 GaN층(15)과 n형 콘택층(19)은 약 1050℃~1100℃의 온도에서 동일한 성장 조건하에서 형성되었으며, 상기 중간층(17)은 약 830℃의 온도에서 성장되었다.
- [0053] 도 7(a)를 참조하면, 중간층(17)을 형성하지 않은 경우, 최종 에피층인 p형 콘택층(43)의 표면이 매우 거칠게 형성되었다. 기판(11)의 결정 결함 라인들(Ld)은 p형 콘택층(43)까지 전사되어 표면에서도 관찰된다. 이 결정 결함 라인들(Ld)에서 표면은 더 불량해지는 것으로 보인다. 더욱이, 결정 결함 라인들(Ld) 사이 영역의 표면 또한 매우 거칠게 형성된 것을 확인할 수 있다.
- [0054] 도 7(b)를 참조하면, 중간층(17)을 형성한 경우, 도 7(a)와 대비하여 결정 결함 라인들(Ld) 사이 영역의 표면이 매우 매끄러우며 뿐만 아니라 결정 결함 라인들(Ld)에서도 에피층이 깨끗하게 성장된 것을 확인할 수 있다.
- [0055] 또한, 질화갈륨 기판(11) 상에 서로 분리된 발광 다이오드들을 제작하여 웨이퍼 레벨에서 중간층(17) 사용 여부에 따른 순방향 전압을 대비하였다. 그 결과, 중간층(17)을 사용한 발광 다이오드들의 순방향 전압이 중간층(17)을 사용하지 않은 발광 다이오드들에 비해 대체로 약 0.13V 작게 나타났다.
- [0056] (실험예 3)
- [0057] 도 8은 질화갈륨 기판 사용에 따른 광 출력 증가를 설명하기 위한 그래프이다. 여기서, 본원 발명의 실시예로서, c면 질화갈륨 기판을 성장 기판으로 사용하고 그 위에 차례로 에피층들을 성장시켜 발광 다이오드를 형성하였다. 여기서 초격자층(20)은 InGaN/GaN을 20주기 반복 적층하여 형성하였으며, 우물층은 근자외선을 방출하는 InGaN층으로 형성하였고, 장벽층은 GaN으로 형성하였다. 한편, 비교예로서, 사파이어 기판을 성장 기판으로 사용하여 사파이어 기판 상에 근자외선을 방출하는 발광 다이오드를 형성하였다. 여기서는, 성장 기판의 차이에 따른 광 출력 변화를 확인하기 위해 장벽층들 및 우물층들의 두께는 서로 동일하게 형성하였다.
- [0058] 도 8을 참조하면, 질화갈륨 기판을 사용한 경우, 사파이어 기판을 사용한 경우에 비해 30% 이상의 광 출력이 증가되는 것을 확인할 수 있다. 성장 기판 차이에 따른 광 출력 변화는 에피층 특히 활성층(30) 내의 전위 밀도 차이에 의해 발생하는 것으로 판단된다.
- [0059] (실험예 4)
- [0060] 도 9는 장벽층 내 Al 조성비에 따른 광 출력 및 순방향 전압의 변화를 설명하기 위한 그래프이다. 여기서, 질화갈륨 기판을 성장 기판으로 사용하고, 장벽층을 AlGaIn으로 형성하고, Al의 조성비를 변화시켜 Al 조성비에 따른 광 출력 및 순방향 전압을 측정하였으며, GaN 장벽층을 사용한 발광 다이오드를 기준으로, 광 출력 및 순방향 전압의 상대값을 백분율로 나타내었다.
- [0061] 도 9를 참조하면, GaN 장벽층을 사용한 발광 다이오드에 비해, Al의 조성비가 0.02 내지 0.05인 AlGaIn 장벽층을 형성한 경우, 광 출력이 10% 이상 증가하고 순방향 전압은 약간 감소하는 것으로 나타났다. 한편, Al 조성비를 0.1로 증가시킨 경우, 광 출력이 오히려 감소하고 순방향 전압을 증가하였다.
- [0062] 따라서, 장벽층의 Al 조성비를 약 0.02 이상 및 약 0.05 이하로 설정함으로써 발광 다이오드의 광 출력을 향상시킬 수 있음을 알 수 있다.
- [0063] 이상에서, 본 발명의 다양한 실시예들 및 특징들에 대해 설명하였지만, 본 발명은 위에서 설명한 실시예들 및 특징들에 한정되는 것은 아니며, 본 발명의 사상을 벗어나지 않는 범위 내에서 다양하게 변형될 수 있다.

도면

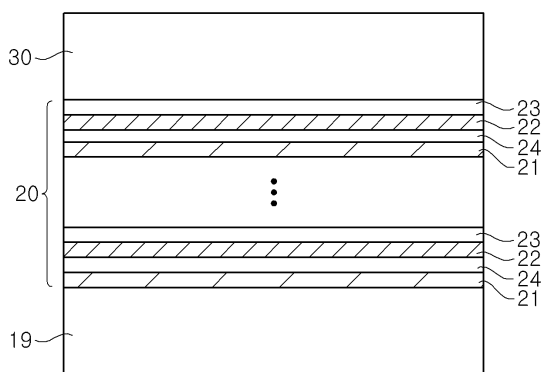
도면1



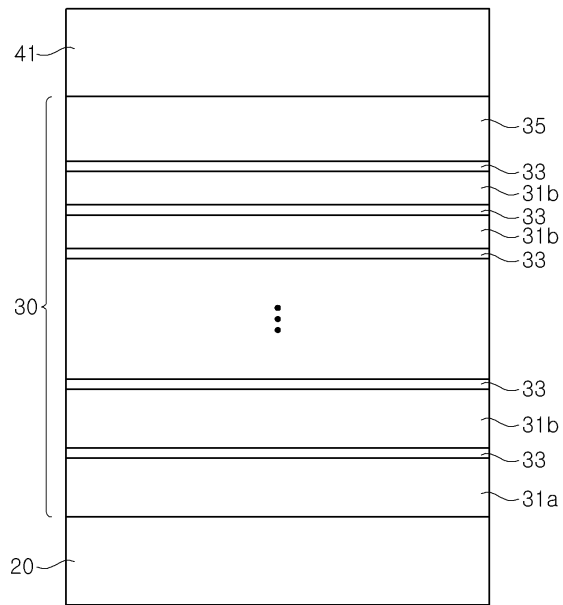
도면2



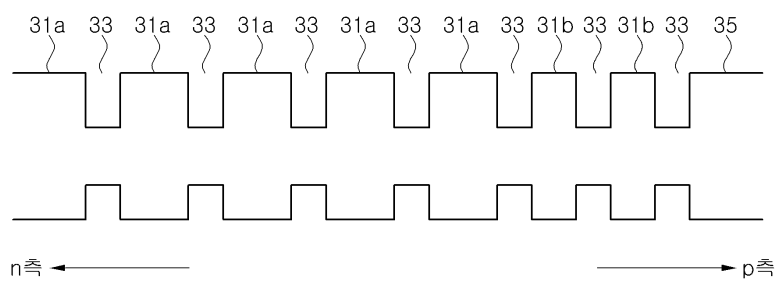
도면3



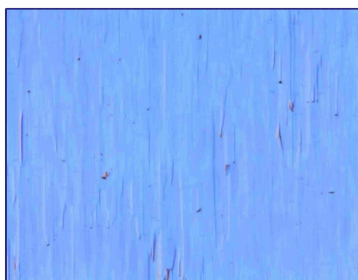
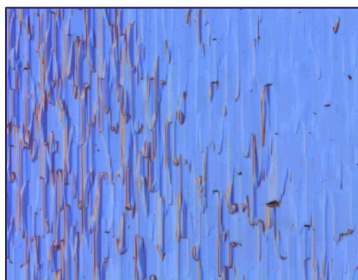
도면4



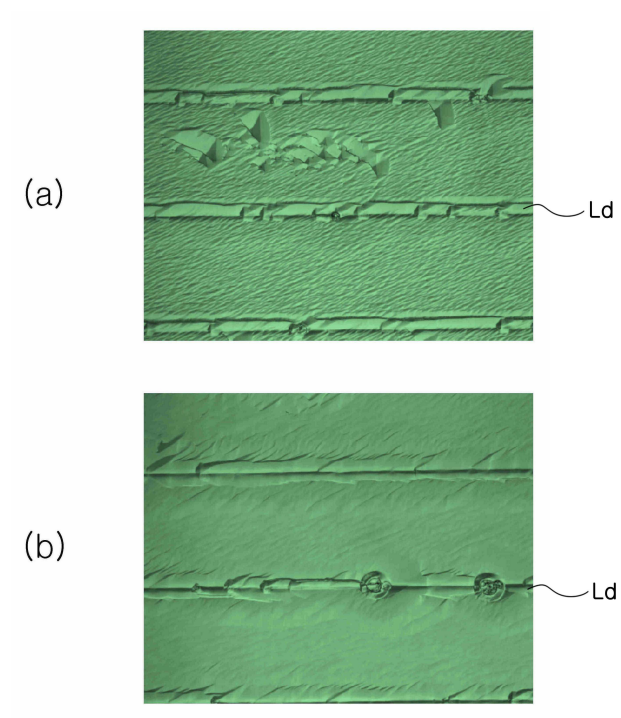
도면5



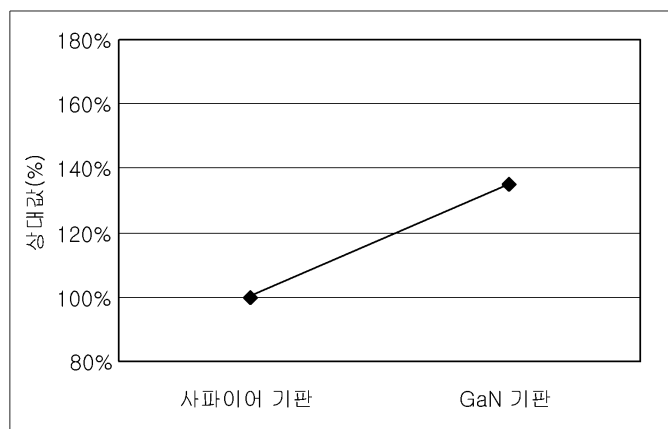
도면6



도면7



도면8



도면9

