

(19)대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(51) Int. Cl.⁶
H01S 3/02

(45) 공고일자 2005년04월28일
(11) 등록번호 10-0462425
(24) 등록일자 2004년12월09일

(21) 출원번호 10-1996-0058241
(22) 출원일자 1996년11월27일

(65) 공개번호 10-1998-0023903
(43) 공개일자 1998년07월06일

(30) 우선권주장 95-307282 1995년11월27일 일본(JP)
96-066248 1996년03월22일 일본(JP)
96-236845 1996년09월06일 일본(JP)

(73) 특허권자 스미또모 가가꾸 가부시킴이샤
일본국 도쿄도 주오구 신카와 2쵸메 27반 1고

(72) 발명자 이예치카 야스시
일본 이바라키켄 쓰쿠바시 우메조노 2-13-1-5-103

오노 요시노부
일본 이바라키켄 쓰쿠바군 야와라무라 기누노다이 6-14-6

다카다 도모유키
일본 이바라키켄 쓰쿠바시 우메조노 2-13-1-4-102

이누이 가쓰미
일본 이바라키켄 쓰쿠바시 가스가 2-40-1-216

(74) 대리인 김영관
이병호
홍동오

심사관 : 박준영

(54) 3족-5족화합물반도체 및 광 방출 장치

요약

결정도가 높고 품질이 높은 3족-5족 화합물 반도체 및 이를 사용하는 발광효율이 높은 광 방출장치는 발광층과 기질과의 사이에 3개 이상의 층들로 구성된 특정한 접지층을 제공함으로써 수득된다.

발광층의 계면에서 격자 상수의 차이로 생기는 전위의 형성을 억제하고 보다 긴 파장의 광을 용이하게 방출할 수 있는 광 방출장치는 또한 당해 발광층과 기질과의 사이의 하나 이상의 층의 AIN 혼합 결정비를 특정한 범위 내에서 조절하고 당해 발광층의 격자 상수를 접지층의 격자 상수보다 큰 값으로 조절함으로써 수득되며, 여기서 압축 변형율을 가진 발광층이 당해 접지층에 접촉되어 형성된다.

대표도 없음

명세서

도면의 간단한 설명

도 1은 본 발명의 3족-5족 화합물 반도체의 한 가지 양태를 나타내는 단면도이다.

도 2는 본 발명의 광 방출장치에 사용된 3족-5족 화합물 반도체의 한 가지 양태를 나타내는 단면도이다.

도 3은 실시예 1에서 제조된 본 발명의 광 방출장치를 나타내는 단면도이다

도 4는 실시예 6에서 나타낸 본 발명의 광 방출장치를 나타내는 단면도이다.

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

본 발명은 화학식 $In_uGa_vAl_wN$ 의 3족-5족 화합물 반도체(단, $u+v+w=1$, $0 \leq u \leq 1$, $0 \leq v \leq 1$ 및 $0 \leq w \leq 1$ 이다) 및 이를 사용하는 광 방출장치에 관한 것이다.

자외선 또는 청색 광 방출 다이오드, 자외선 또는 청색 레이저 다이오드 등과 같은 광 방출장치의 물질로서, 화학식 $In_xGa_yAl_zN$ 의 3족-5족 화합물 반도체(단, $x+y+z=1$, $0 < x \leq 1$, $0 \leq y < 1$ 및 $0 \leq z < 1$ 이다) 공지되어 있다. 이하에서, 상기 화학식 중의 x , y 및 z 는 종종 각각 "InN 혼합 결정비", "GaN 혼합 결정비" 및 "AlN 혼합 결정비"로서 지칭한다. 특히, 혼합 결정비 10% 이상의 InN을 함유하는 3족-5족 화합물 반도체는 가시 범위 내에서의 발광 파장이 InN 혼합 결정비에 따라 조절될 수 있기 때문에, 디스플레이 용도로써 중요하다.

그러나, 상기 화합물 반도체 및 이를 사용하는 광 방출장치는 하기의 문제점을 갖는다.

첫째, 다양한 기질(예를 들면, 사파이어, GaAs, ZnO 등) 위에서 상기 3족-5족 화합물 반도체의 필름을 형성하려는 시도가 이루어지고 있다. 그러나, 상기 기질의 격자 상수 및 화학적 특성들이 상기 화합물 반도체의 기질과 상당히 다르기 때문에 여전히 충분하게 고품질의 결정이 수득될 수 없다. 따라서, 우수한 결정을 수득하기 위해 격자 상수 및 화학적 특성들이 상기 화합물 반도체의 기질과 매우 유사한 GaN의 결정을 먼저 성장시키고, 그 위에 상기 화합물 반도체를 성장시키려는 시도가 이루어지고 있다 [참조 일본 특허공보 제55-3834호]. 최근에, 활성층으로써 화학식 In_xGa_yN 의 반도체(단, $x+y=1$, $0 < x < 1$, $0 < y < 1$)를 포함하는 광 방출장치에서 발광층의 두께를 약 20\AA 으로 조절함으로써 고효율의 광 방출장치가 실현될 수 있는 것으로 보고되었다[참조 :Japanese Journal of Applied Physics, 1995, Vol. 34, page L797]. 그러나, 이러한 경우에 상기 발광층의 InN 혼합 결정비가 증가함에 따라 상기 발광 효율이 낮아지는 것으로 보고되었다.

둘째, 상기 3족-5족 화합물 반도체의 격자 상수는 상기 InN 혼합 결정비에 주로 의존하고, 상기 격자 상수는 상기 InN 혼합 결정비가 증가함에 따라 더 커진다.

따라서, In을 함유하지 않는 3족-5족 화합물 반도체(예를 들면, GaN 등) 위에 InN 혼합 결정비가 큰 3족-5족 화합물 반도체를 성장시키려는 시도가 이루어지더라도, 필름 두께가 충분히 적은 것들만이 우수한 결정도를 보여준다. 그러나, 상기 필름 두께가 적을 경우, 상기 혼합 결정비의 격자 매칭에 대한 소위 자기 조절 효과로 인해 접지층과 격자 상수가 크게 다른 결정을 수득하기 어려운 것으로 공지되어 있다. 즉, 이러한 사실은 In을 함유하지 않는 반도체층(예를 들면, GaN 등) 위에 InN 혼합 결정비가 높은 화합물 반도체의 얇은 필름을 형성시키기 어려움을 나타낸다. 따라서, 상기 InN 혼합 결정비를 증가시킴으로써 상기 광 방출장치의 파장을 길게 하는 것은 어렵다.

한편, InN 혼합 결정비가 낮은 발광층을 사용함으로써 발광 파장이 긴 광 방출장치를 제조하는 방법으로서, 발광층으로서 상기 3족-5족 화합물 반도체를 사용하는 양자 웰 구조를 포함하는 광 방출장치 중의 발광층에 인장 응력을 적용함으로써 발광 파장을 실질적으로 길게 하는 방법이 제시되어 있다[참조: 유럽 공개특허 공보 제0 716 457호]. 그러나, 상기 접지층보다 격자 상수가 큰 화합물 반도체에 인장 응력을 적용시키기 위해서는, 상기 접지층과 발광층과의 사이의 계면에 격자 상수 차이로 생기는 전위가 형성되는 것을 피할 수 없으며, 따라서, 상기 발광 층의 결정도의 열화를 피할 수 없다. 여기서 사용된 용어 "격자 상수 차이로 생기는 전위"는 서로 적층된 2개의 층들 사이의 격자 상수의 차이로 인해 2개의 층들 사이의 계면에 형성된 전위를 의미한다

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

본 발명의 제1의 목적은 결정도가 높고 품질이 높은 3족-5족 화합물 반도체, 및 이를 사용하는 발광 효율이 높은 광 방출장치를 제공하는 것이다

본 발명의 제2의 목적은 상기 발광층의 계면에서 격자 상수의 차이로 생기는 전위의 형성을 억제하고 보다 긴 파장의 광을 용이하게 방출할 수 있는 광 방출장치를 제공하는 것이다.

이러한 상황에서, 본 발명자들은 본원을 예의 검토한 결과, 상기 발광층과 기질과의 사이에 3개 이상의 층들로 이루어진 특정한 접지층을 제공함으로써 접지 층 위에서 성장된 층의 결정도가 현저하게 향상됨을 밝혀내고, 본 발명을 완성하였다.

또한, 상기 발광층과 기질과의 사이의 하나 이상의 층의 AIN 혼합 결정비를 특정한 범위내에서 조절하고, 상기 발광층의 격자 상수를 상기 접지층의 것보다 큰 값으로 조절함으로써 압축 변형율을 가진 발광층이 상기 접지층과 접촉하여 형성되고, 이에 의해 격자 상수 차이로 생기는 전위의 형성이 억제되고 발광 파장이 길어진다. 따라서, 본 발명을 완성하였다.

즉, 본 발명의 제1은 발광층과 기질 사이에서 3개 이상의 층으로 구성된 접지층[당해 접지층을 구성하는 각각의 층은 화학식 $In_uGa_vAl_wN$ 의 3족-5족 화합물 반도체(단, $0 \leq u \leq 1$, $0 \leq v \leq 1$, $0 \leq w \leq 1$, 및 $u + v + w = 1$ 이다)이고, 당해 접지층 중의 하나 이상의 층은 이들과 접촉된 층보다 InN 혼합 결정비가 작은 2개의 층들 사이에 삽입되며, InN 혼합 결정비가 보다 작은 상기 2개의 층들 사이에 삽입된 층의 InN 혼합 결정비는 상기 기질 측으로부터의 층과 접촉된 층의 혼합 결정비보다 0.05 이상 크고, InN 혼합 결정비가 보다 작은 2개의 층들 중에서 당해 기질 측에 있는 층과 상기 발광층과의 사이에 있는 하나 이상의 층은 n 형태의 불순물로 도핑된다]을 가짐을 특징으로 하는, 당해 기질 위에 하나 이상의 발광층[당해 발광층은 화학식 $In_xGa_yAl_zN$ 의 3족-5족 화합물 반도체(단, $0 < x \leq 1$, $0 \leq y < 1$, $0 \leq z < 1$, 및 $x + y + z = 1$ 이다)이고, 이와 접촉된 2개의 층진물 유입층들 사이에 삽입된다] 및 층진물 유입층[당해 층진물 유입층은 화학식 $In_{x'}Ga_{y'}Al_{z'}N$ 의 3족-5족 화합물 반도체(단, $0 \leq x' \leq 1$, $0 \leq y' \leq 1$, $0 \leq z' \leq 1$, 및 $x' + y' + z' = 1$ 이다)이고, 당해 발광층보다 밴드 갭이 크다]을 포함하는 3족-5족 화합물 반도체(1)에 관한 것이다.

본 발명은 또한 상기의 3족-5족 화합물 반도체(1)를 사용하는 광 방출 장치(2)에 관한 것이다.

본 발명의 제2는 화학식 $In_aGa_bAl_cN$ 의 3족-5족 화합물 반도체(단, $0 \leq a < 1$, $0 < b < 1$, $0.05 \leq c < 1$, 및 $a + b + c = 1$ 이다)의 접지층, 상기 접지층보다 밴드 갭이 작은, 화학식 $In_xGa_yAl_zN$ 의 3족-5족 화합물 반도체(단, $0 < x \leq 1$, $0 \leq y < 1$, $0 \leq z < 1$, 및 $x + y + z = 1$ 이다)의 발광층, 및 상기 발광층보다 밴드 갭이 큰, 화학식 $In_aGa_bAl_cN$ 의 3족-5족 화합물 반도체(단, $0 \leq a' < 1$, $0 < b' \leq 1$, $0 \leq c' < 1$, 및 $a' + b' + c' = 1$ 이다)의 보호층이 각각 이 순서대로 적층되고; 상기 발광층의 격자 상수가 상기 접지층보다 크며; 압축 응력이 연결 방향으로 상기 발광층에 적용되는 구조를 포함하는 광 방출 장치에 관한 것이다.

발명의 구성 및 작용

본 발명은 하기에서 상세히 설명될 것이다.

먼저, 본 발명의 제1을 설명한다.

본 발명의 3족-5족 화합물 반도체는 기질 위에 접지층 및 양자 웰 구조의 층을 이 순서대로 포함한다. 양자 웰 구조는 화학식 $In_xGa_yAl_zN$ 의 층(단, $x + y + z = 1$, $0 < x \leq 1$, $0 \leq y < 1$, 및 $0 \leq z < 1$ 이다)(이하, 종종 "발광층"으로서 지칭함)이 당해 발광층보다 밴드 갭이 큰 화학식 $In_{x'}Ga_{y'}Al_{z'}N$ 의 층들(단, $0 \leq x' \leq 1$, $0 \leq y' \leq 1$, $0 \leq z' \leq 1$, 및 $x' + y' + z' = 1$ 이다)(이하, "층진물 유입층"으로서 지칭함) 사이에 삽입됨을 의미한다. 단, 2개의 층진물 유입층들을 나타내는 화학식중의 x' , y' 및 z' 는 동일하거나 상이할 수 있다.

본 발명의 접지층은 3개 이상의 층들로 구성되며, 모든 층들은 화학식 $In_uGa_vAl_wN$ 의 층(단, $0 \leq u \leq 1$, $0 \leq v \leq 1$, $0 \leq w \leq 1$, 및 $u + v + w = 1$ 이다)이다. 단, 접지층중의 3개 이상의 층들을 나타내는 화학식 중의 u , v 및 w 는 동일하거나 상이할 수 있다.

본 발명의 접지층에서, 접지층 중의 하나 이상의 층은 당해 층에 접촉되어 있고 당해 층보다 InN 혼합 결정비를 가진 2개의 층들 사이에 삽입된다.

본 발명의 접지층에서 InN 혼합 결정비가 적은 층들 사이에 삽입된 층은 가끔 "변형된 층"으로서 지칭된다.

상기 변형된 층을 상기 기질 측으로부터의 변형된 층과 접촉하고 있는 층과 비교해 보면, 상기 변형된 층 및 상기 기질 측으로부터의 변형된 층과 접촉하고 있는 층 사이의 InN 혼합 결정비의 차이는 0.05 이상, 보다 바람직하게는 0.1 이상, 가장 바람직하게는 0.2 이상이다. 혼합 결정비의 차이가 0.05 보다 작으면, 본 발명의 효과가 충분하지 않다.

상기 변형된 층의 두께가 5Å 이상인 것이 바람직하다. 상기 변형된 층의 두께가 5Å 보다 작으면, 본 발명의 효과가 충분하지 않다.

상기 변형된 층이 격자 변형을 갖기 때문에, 상기 두께가 너무 크면 종종 결함이 생긴다. 이러한 경우에, 상기 변형된 층 위에서 성장된 층의 결정도는 결국 열화되어 바람직하지 않다. 상기 변형된 층의 두께의 바람직한 상한선은 상기 변형된 층과 당해 층 이전에 성장한 층과의 사이의 InN 혼합 결정비의 차이에 의존한다. 구체적으로, 상기 변형된 층의 두께는 InN 혼합 결정비의 차이가 0.05인 경우, 바람직하게는 600Å 이하이다. 상기 변형된 층의 두께는 InN 혼합 결정비의 차이가 0.3인 경우, 바람직하게는 100Å 이하이다. 즉, InN 혼합 결정비의 차이가 0.3 이하인 경우, 혼합 결정비의 차이와 변형된 층의 두께(Å)의 곱은 바람직하게는 30 이하이다. InN 혼합 결정비의 차이가 0.3을 초과하는 경우, 상기 변형된 층의 두께는 바람직하게는 100Å 이하이다.

상기 변형된 층의 수가 하나인 경우, 본 발명의 효과가 수득될 수 있을지라도, 다수의 변형된 층들을 사용함으로써 가끔 커다란 효과가 수득될 수 있다. 상기 접지층의 예에는 서로 적층되어 있는, InN 혼합 결정비가 보다 큰 m 개의 층들과 InN 혼합 결정비가 보다 작은 $(m+1)$ 개의 층들을 포함하는 $(2m+1)$ 개의 층들의 구조가 포함된다. 또한, m 은 2 이상의 양의 정수이다.

다수의 이러한 변형된 층들을 함유하는 적층된 구조의 접지층에서, InN 혼합 결정비는 각각의 변형된 층의 두께가 유지되면서 극히 조금 변화될 수 있다. 상기 두께가 임계 필름 두께를 초과하지 않는 한, 각각의 변형된 층의 InN 혼합 결정비가 유지되면서 상기 층의 두께가 극히 조금 변화될 수 있다.

상기 변형된 층의 것보다 적은 InN 혼합 결정비를 가진 층들에서, 상기 층들의 두께 또는 InN 혼합 결정비는 극히 조금 변화하거나 그대로 일 수 있다.

상기 발광층과 기질과 사이에 상기 변형된 층을 함유하는 접지층을 제공함으로써 접지층 위에서 성장한 층의 결정도가 현저하게 향상될 수 있다. 상기 화합물 반도체가 이하에서 언급될 유기 금속 증기 상 적층 성장법을 사용하여 대기압에서 성장하는 경우, 이러한 효과가 인식될 수 있기는 하나, 이러한 효과는 감압 하에서 성장하는 경우에 현저하다.

결정도는 인산과 황산의 가열된 혼합 산으로 처리된 상기 화합물 반도체의 표면 위에 형성된 부식 피트의 밀도에 의해 인 지될 수 있다. 부식 피트 밀도의 감소로써 상기 접지층의 효과가 나타나기 때문에, 상기 접지층이 화합물 반도체 결정중에 존재하는 전위의 이동을 억제하는 것으로 생각된다.

추가로, 본 발명은 InN 혼합 결정비가 보다 작은 2개의 층들 중에서 기질 측에 있는 층과 발광층과의 사이의 하나 이상의 층이 n 형태의 불순물로 도핑됨을 특징으로 한다. 이의 구체적인 예에는 상기 변형된 층 또는 당해 층 위에서 성장한 InN 혼합 결정비가 보다 작은 층이 n 형태의 불순물로 도핑된 것이 포함된다.

상기 언급한 구조를 사용하여, 유입된 캐리어들이 상기 변형된 층에 재혼합되는 것을 피할 수 있고, 상기 변형된 층의 InN 혼합 결정비가 당해 변형 층과 연결된 층의 InN 혼합 결정비보다 높기 때문에, 상기 변형된 층의 밴드 갭이 변형된 층에 연결된 층의 InN 혼합 결정비보다 작다고 하더라도, 상기 발광층 중의 재혼합 효율이 저하되는 것을 피할 수 있다.

n 형태의 도핑된 층의 캐리어들의 바람직한 농도는 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 이상, 바람직하게는 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 이상이다.

본 발명의 3족-5족 화합물 반도체의 구조의 한가지 양태는 도 1에 나타내었다. 도 1에 나타난 양태는 변형된 층(2), n 형태의 층(1) 및 n 형태의 층(3)의 접지층, 2개의 충전물 유입층들(4,6)이 이와 접촉된 발광층(5)을 샌드위치 형태로 만든 양자 웰 구조의 층 및 p 형태의 층(7)이 서로 이 순서대로 적층되어 있는 것이다.

n 형태의 층(1) 또는 n 형태의 층(3) 위에 n 전극을 제공하고, p 형태의 층(7) 위에 p 전극을 제공한 다음, 순방향으로 전압을 적용함으로써 전류를 유입시키고, 이에 의해 상기 발광층(5) 및 본 발명의 광 방출장치로부터의 방출을 수득한다.

상기 충전물 유입층(4) 중의 n 형태의 캐리어의 농도가 충분히 높은 경우, n 전극이 상기 충전물 유입층(4) 위에 형성될 수 있다.

상기 n 형태의 층(3)의 밴드 갭이 상기 발광층의 밴드 갭보다 큰 경우, 또 다른 층으로서 상기 n 형태의 층(3)을 상기 충전물 유입층(4)과 구별하지 않고 n 형태의 층(3)이 충전물 유입층으로서 작용하고, 상기 충전물 유입층(4)이 성장하지 않을 수 있다.

상기 충전물 유입층(6) 중의 p 형태의 캐리어의 농도가 충분히 높은 경우, 전극이 상기 충전물 유입층(6) 위에 형성될 수 있다. 이러한 경우에, p 형태의 층(7)이 형성되지 않을 수 있다.

상기 충전물 유입층(4) 또는 충전물 유입층(6)이 고농도로 도핑될 경우, 이러한 층들의 결정도가 가끔 열화한다. 이러한 경우에, 발광 특성 또는 전기적 특성이 열화하고, 바람직하지 않다. 이러한 경우에, 상기 충전물 유입층(4) 또는 충전물 유입층(6) 중의 불순물의 농도를 감소시킬 필요가 있다. 결정도가 열화되지 않는 경우의 농도 범위는 바람직하게는 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ 이하, 가장 바람직하게는 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 이하이다.

그런데, In을 함유하는 화합물 반도체와 비교하여, 적절한 완충층을 사용함으로써 In을 함유하지 않은 화합물 반도체에 대해 비교적 고품질이 용이하게 수득될 수 있는 것으로 공지되어 있다. 따라서, 상기 기질 위의 In을 함유하지 않는 층에서 상기 충전물 유입층 및 발광층을 성장시키는 것이 바람직하다. 그러나, 상기 충전물 유입층으로서 In을 함유하는 층을 사용하는 경우, 상기 충전물 유입층과 상기 기질상에 이미 성장된 In 비함유 층간의 격자 부조화로 인해 상기 충전물 유입층에 가끔 결함이 생긴다. 이러한 경우에, 상기 충전물 유입층 중의 결함 형성은 이미 성장된 In 비함유 층과 상기 충전물 유입층과의 사이에 본 발명의 접지층을 삽입함으로써 억제할 수 있다.

다음에, 상기 발광층에 대해 설명한다.

상기 3족-5족 화합물 반도체의 격자 상수는 혼합 결정비에 따라 크게 달라지기 때문에, 3족-5족 화합물 반도체의 발광층과 충전물 유입층 사이의 격자 상수에 큰 차이가 있는 경우, 격자 부조화에 의해 형성된 변형의 양에 따라 발광층의 두께가 바람직하게 감소된다.

상기 발광층의 두께의 바람직한 범위는 상기 변형의 양에 의존한다. InN 혼합 결정비가 10% 이상인 발광층이 충전물 유입층으로서 화학식 $\text{Ga}_a\text{Al}_b\text{N}$ 의 층(단, $a+b=1$, $0 \leq a \leq 1$, 및 $0 \leq b \leq 1$ 이다)에 적층되는 경우, 발광층의 바람직한 두께는 5 내지 90\AA 의 범위이다. 상기 발광층의 두께가 5\AA 보다 적은 경우, 발광 효율이 불충분해진다. 한편, 상기 두께가 90\AA 보다 크면, 결함이 생기고, 발광 효율도 불충분해진다.

상기 발광층의 두께를 감소시킴으로써 충전물이 상기 발광층에 고밀도로 유입될 수 있기 때문에, 발광 효율이 향상될 수 있다. 따라서, 격자 상수의 차이가 상기 양태의 것보다 작은 경우조차도 상기 발광층의 두께를 상기 양태의 것과 동일한 범위 내에서 조절하는 것이 바람직하다.

상기 발광층이 Al을 함유하는 경우, 산소와 같은 불순물이 쉽게 혼입되며, 발광 효율이 가끔 저하된다. 이러한 경우에, 발광층으로서 Al을 함유하지 않으며 화학식 In_xGa_yN 의 화합물(단, $x+y=1$, $0<x\leq 1$, 및 $0\leq y<1$ 이다)을 사용할 수 있다.

상기 충전물 유입층과 발광층과의 사이의 밴드 갭의 차이는 바람직하게는 0.1eV 이상이다. 상기 충전물 유입층과 발광층과의 사이의 밴드 갭의 차이가 0.1eV 보다 작으면, 발광층으로의 캐리어의 유입이 충분하지 않으며, 발광 효율이 저하된다. 보다 바람직하게는 상기 차이는 0.3eV 이상이다. 한편, 상기 충전물 유입층의 밴드 갭이 5eV를 초과하는 경우, 충전물 유입을 위해 필요한 전압은 높아지며, 따라서, 상기 충전물 유입층의 밴드 갭은 바람직하게는 5eV 이하이다.

상기 충전물 유입층의 두께는 바람직하게는 10 내지 5000Å이다. 상기 충전물 유입층의 두께가 5Å 보다 작거나 5000Å 보다 크면, 발광 효율이 저하되고, 따라서, 바람직하지 않다. 보다 바람직하게는, 10 내지 2000Å의 범위이다.

상기 발광층은 단일층 또는 다수의 층들로 구성될 수 있다. 이러한 구조의 예에는 n개의 발광층들과 상기 발광층보다 밴드 갭이 큰 (n+1)개의 층들이 교대로 적층되어 있는 (2n+1)개의 층들의 적층 구조가 포함된다. 단, n은 양의 정수이고, 바람직하게는 1 내지 50, 보다 바람직하게는 1 내지 30이다. n이 50이상인 경우, 발광 효율이 저하되고, 성장하는데 긴 시간이 걸리며, 따라서, 바람직하지 않다. 다수의 발광층을 가진 구조는 강한 광 출력이 요구되는 반도체 레이저를 만드는 경우에 특히 유용하다.

상기 발광층을 불순물들로 도핑함으로써 상기 발광층의 밴드 갭과 파장이 상이한 광을 방출시킬 수 있다. 이것은 불순물들로부터의 방출이기 때문에 "불순물 방출"이라고 지칭한다. 불순물 방출의 경우에, 발광 파장은 3족 원소와 상기 발광층의 불순물 원소의 조성에 따라 변한다. 이러한 경우에, 상기 발광층의 InN 혼합 결정비는 바람직하게는 5% 이상이다. InN 혼합 결정비가 5% 보다 적으면, 방출된 거의 모든 광은 자외선 광이고, 충분한 밝기를 감지할 수 없다. InN 혼합 결정비가 증가함에 따라 발광 파장이 더 길어지고, 당해 발광 파장이 보라색에서 청색으로, 그 다음에는 녹색으로 조절될 수 있다.

상기 불순물 방출에 적합한 불순물로서, 2족 원소가 바람직하다. 2족 원소 중에서 Mg, Zn 또는 Cd를 도핑하는 경우, 발광 효율이 높아지고, 따라서, 바람직하다. Zn이 특히 바람직하다. 이러한 원소들의 농도는 바람직하게는 10^{18} 내지 $10^{22}cm^{-3}$ 의 범위이다. 상기 발광층은 이러한 2족 원소들과 함께 Si 또는 Ge로 동시에 도핑될 수 있다. Si 또는 Ge의 농도는 바람직하게는 10^{18} 내지 $10^{22}cm^{-3}$ 의 범위이다.

상기 불순물 방출의 경우에, 방출 스펙트럼은 일반적으로 넓어진다. 유입된 충전물의 양이 증가함에 따라, 방출 스펙트럼이 종종 이동한다. 따라서, 높은 색순도가 요구되거나 발광력이 좁은 파장 범위 내로 집약되어야 하는 경우, 밴드 가장자리 방출이 이용된다. 밴드 가장자리 방출로 인한 광 방출 장치를 실현하기 위해 발광층중에 함유된 불순물의 양을 감소시키는 것이 바람직하다. 구체적으로, Si, Ge, Mg, Cd 및 Zn과 같은 원소들의 농도는 바람직하게는 $10^{19}cm^{-3}$ 이하, 보다 바람직하게는 $10^{18}cm^{-3}$ 이하이다.

상기 밴드 가장자리 방출을 사용하는 경우, 발광 효율은 상기 발광층 중의 결함에 의존하고, 결함의 양이 더 커짐에 따라 저하된다. 따라서, 상기 발광층 중의 결함의 양을 가능한 한 적게 감소시킬 필요가 있다. 따라서, 본 발명의 접지층은 상기 밴드 가장자리 형태의 광 방출 장치의 발광 효율을 향상시키는데 큰 효과가 있다.

상기 3족-5족 화합물 반도체에서, 상기 발광층의 InN 혼합 결정비가 높은 경우, 열 안정성이 충분하지 않으며, 결정 성장 또는 반도체 가공 도중에 종종 반도체의 열화가 일어난다. 이러한 열화를 방지하기 위해, 혼합 결정비가 높은 발광층에 충전물 유입층을 적층시킴으로써 InN 혼합 결정비가 적은 충전물 유입층(6)이하, 이러한 경우의 충전물 유입층을 종종 "보호층"이라고 지칭한다)에 보호층으로서의 기능을 부여할 수 있다. 상기 보호층의 InN 및 AlN의 혼합 결정비는 바람직하게는 각각 10% 이하 및 5% 이상이며, 상기 보호층에 충분한 보호 기능을 부여한다. 보다 바람직하게는 InN 혼합 결정비가 5% 이하이고, AlN 혼합 결정비가 10% 이상이다.

상기 보호층의 두께는 바람직하게는 10Å 내지 1μm 이어서, 상기 보호층에 충분한 보호 기능이 부여된다. 상기 보호층의 두께가 10Å 보다 적은 경우, 충분한 효과가 수득될 수 없다. 한편, 상기 두께가 1μm보다 크면, 발광 효율이 저하되고, 따라서, 바람직하지 않다. 보다 바람직하게는 50 내지 5000Å의 범위내이다.

상기 보호층은 광 방출장치로의 전류 유입의 효율에 비추어 볼 때, p 형태의 전도도를 갖는 것이 바람직하다. 상기 보호층에 p 형태의 전도도를 부여하기 위해 고농도의 어셉터 형태 불순물로 도핑할 필요가 있다. 상기 어셉터 형태 불순물의 구체적인 예는 2족 원소들을 포함한다. 이들 중에서, Mg 및 Zn이 바람직하고, Mg가 보다 바람직하다. 상기 보호층이 고농도의 불순물로 도핑되는 경우, 보호층의 결정도가 열화하고, 광방출 장치의 특성이 종종 결국에는 열화한다. 결정도가 열화되지 않는 불순물의 농도 범위는 바람직하게는 $1 \times 10^{19}cm^{-3}$ 이하, 보다 바람직하게는 $1 \times 10^{18}cm^{-3}$ 이하이다.

다음에, 본 발명에서 사용된 기질과 성장 방법을 설명한다.

3족-5족 화합물 반도체의 결정을 성장시키기 위한 기질로서, 예를 들면, 사파이어, ZnO, GaAs, Si, SiC, NGO(NdGaO₃), 스피넬(MgAl₂O₄) 등이 사용된다. 사파이어는 투명하며 영역이 크고 품질이 높은 결정이 수득될 수 있기 때문에, 중요하다.

이러한 기질들을 사용하는 성장에 있어서, 고결정도의 반도체(예를 들면, GaN, AlN, GaAlN, InGaAlN 등)는 소위 2단계 성장, 즉 ZnO, SiC, GaN, AlN, GaAlN 등과 같은 얇은 필름 또는 완충층으로서 기질상의 이러한 필름들의 적층물에 의해 성장될 수 있으며, 이것이 바람직하다.

상기 3족-5족 화합물 반도체를 제조하는 방법의 예에는 분자 빔 적층 성장(이하, 종종 "MBE"라고 지칭함)법, 유기 금속 증기 상 적층 성장(이하, 종종 "MOVPE"라고 지칭함)법, 하이드라이드 증기 상 적층 성장(이하, 종종 "HVPE"라고 지칭함)법 등이 포함된다. "MBE"법을 사용하는 경우, 가스 상태의 질소 원료 물질(예를 들면, 질소 가스, 암모니아, 기타 질소 화합물 등)을 공급하는 방법인 가스공급원 분자 빔 적층 성장(이하, 종종 "GSMBE"라고 지칭함)법이 일반적으로 사용된다. 이러한 경우에, 상기 질소 원료 물질이 화학적으로 불활성이기 때문에, 질소 원자가 결정에 종종 쉽게 혼입되지 않는다. 그러한 경우에, 질소의 혼입 효율은 상기 질소 원료 물질을 마이크로파에 의해 여기시키고 이를 활성화된 상태로 공급함으로써 증가될 수 있다.

다음에, 본 발명의 3족-5족 화합물 반도체의 MOVPE법에 따른 제조 방법을 설명한다.

MOVPE법의 경우에, 하기의 원료 물질들이 사용될 수 있다.

즉, 3족 원료 물질의 예에는 트리메틸갈륨[(CH₃)₃Ga, 이하, 종종 "TMG"라고 지칭함], 트리에틸갈륨[(C₂H₅)₃Ga, 이하, 종종 "TEG"라고 지칭함]등과 같은 화학식 R₁R₂R₃Ga의 트리알킬갈륨(여기서, R₁, R₂ 및 R₃은 각각 저급 알킬 그룹을 나타낸다);트리메틸알루미늄[(CH₃)₃Al], 트리에틸알루미늄[(C₂H₅)₃Al, 이하, 종종 "TEA"라고 지칭함], 트리아소부틸알루미늄[(i-C₄H₉)₃Al]등과 같은 화학식 R₁R₂R₃Al의 트리알킬알루(여기서, R₁, R₂ 및 R₃은 상기 정의한 바와 같다) 트리메틸아민알란[(CH₃)₃N:AlH₃]; 트리메틸인듐[(CH₃)₃In, 이하, 종종 "TM"라고 지칭함], 트리에틸인듐[(C₂H₅)₃In]등과 같은 화학식 R₁R₂R₃In의 트리알킬인듐(여기서, R₁, R₂ 및 R₃은 상기 정의한 바와 같다)이 포함된다. 이들은 단독으로 사용하거나 혼합하여 사용한다.

5족 원료 물질의 예에는 암모니아, 하이드라진, 메틸하이드라진, 1,1-디메틸하이드라진, 1,2-디메틸하이드라진, t-부틸아민, 에틸렌디아민 등이 포함된다. 이들은 단독으로 또는 혼합하여 사용된다. 이러한 원료 물질들 중에서, 암모니아 및 하이드라진이 바람직한데, 그 이유는 이들이 분자내에 탄소 원자를 함유하고 있지 않아서 반도체에서의 탄소 오염이 거의 일어나지 않기 때문이다.

상기 3족-5족 화합물 반도체의 p 형태의 도펀트로서, 2족 원소들이 중요하다. 이의 구체적인 예에는 Mg, Zn, Cd, Hg, Be 등이 포함된다. 이들 중에서, Mg는 내성이 적은 p 형태의 것이 쉽게 제조되기 때문에 바람직하다.

Mg 도펀트의 원료 물질로서, 적합한 증기압으로 인해 화학식 (RC₅H₄)₂Mg의 유기 금속 화합물(단, R은 수소 또는 탄소수 1 내지 4의 저급 알킬 그룹을 나타낸다(예를 들면, 비스사이클로펜타디에닐 마그네슘, 비닐메틸사이클로펜타디에닐 마그네슘, 비스에틸사이클로펜타디에닐 마그네슘, 비스-n-프로필사이클로펜타디에닐 마그네슘, 비스-i-프로필사이클로펜타디에닐 마그네슘 등)이 바람직하다.

3족-5족 화합물 반도체의 n 형태의 도우펀트로서, 4족 원소들 및 6족 원소들이 중요하다. 이의 구체적인 예에는 Si, Ge 및 O가 포함된다. 이들 중에서, 내성이 적은 n 형태의 것이 쉽게 제조되고 원료 물질의 순도가 높은 것이 수득된다는 이유로 Si가 특히 바람직하다. Si 도우펀트의 원료 물질로서, 실란(SiH₄), 디실란(Si₂H₆), 모노메틸실란(CH₃SiH₃) 등이 바람직하다.

상기 3족-5족 화합물 반도체의 제조에 사용될 수 있는 MOVPE법에 따른 성장 장치의 예에는 단일 웨이퍼 반응기, 다수의 웨이퍼 반응기 등이 포함된다. 다수의 웨이퍼 반응기의 경우에, 당해 웨이퍼 표면에서 적층 성장 필름의 균일성을 유지하기 위해 감압하에 성장시키는 것이 바람직하다. 다수의 웨이퍼 반응기중의 성장 압력의 바람직한 범위는 0.001 내지 0.8atm이다.

캐리어 가스로서, 수소, 질소, 아르곤, 헬륨 등과 같은 가스들이 단독으로 또는 혼합하여 사용될 수 있다. 수소가 상기 캐리어 가스에 함유되는 경우, InN 혼합 결정비가 높은 화합물 반도체를 성장시킬 때, 종종 충분한 결정도가 수득되지 않는다. 이러한 경우에, 상기 캐리어 가스중의 수소의 부분압을 감소시켜야 한다. 상기 캐리어 가스중의 수소의 바람직한 부분압은 0.1atm 이하이다.

이러한 캐리어 가스중에서, 유동성 점도가 크고 대류가 쉽게 일어나지 않는다는 이유로 수소 및 헬륨이 바람직하다. 헬륨은 다른 가스에 비해 비싸고, 수소를 사용하는 경우 화합물 반도체의 결정도가 상술한 것처럼 좋지 않다. 질소 가스 및 아르곤은 비교적 싸기 때문에, 다량의 캐리어 가스를 사용하는 경우, 이들이 적합하게 사용될 수 있다.

다음에, 본 발명의 제2를 설명한다.

본 발명의 광 방출장치는 화학식 In_aGa_bAl_cN의 3족-5족 화합물 반도체(단, 0≤a<1, 0<b<1, 0.05≤c<1, 및 a+b+c=1이다)의 접지층, 화학식 In_xGa_yAl_zN의 3족-5족 화합물 반도체(단, 0<x≤1, 0≤y<1, 0≤z<1, 및 x+y+z=1이다)의 발광층, 및 화학식 In_aGa_bAl_cN의 3족-5족 화합물 반도체(단, 0≤a'<1, 0<b'≤1, 0≤c'<1, 및 a'+b'+c'=1이다)의 보호층이 각각 이 순서대로 적층되어 있는 구조를 가짐을 특징으로 한다. 상기 발광층은 상기 접지층 및 보호층보다 밴드 갭이 작고, 이러한 3개의 층들의 적층 구조는 소위 양자 웰 구조를 형성한다. 상기 접지층 및 보호층은 발광층에 충전물을 유입하는 작용을 하므로, 이러한 2개의 층들은 종종 이하에서 "충진물 유입층"으로 지칭한다.

본 발명의 3족-5족 화합물 반도체의 구조의 한가지 양태는 도 2에 나타내었다. 도 2는 완충층(102), n 형태의 GaN 층(103), 접지층(104), 발광층(105), 보호층(106) 및 p 형태의 층(107)이 이 순서대로 기질(101) 위에 적층된 양태를 나타낸다. 상기 n 형태의 층(103) 위에 n 전극을 제공하고, 상기 p 형태의 층(107) 위에 p 전극을 제공한 다음, 순방향으로 전압을 적용함으로써 전류를 유입하면, 상기 발광층(105)으로부터의 방출이 수득된다. 상기 발광층 및 보호층으로서, 본 발명의 제1과 관련하여 기술된 것과 동일한 것을 사용할 수 있다.

다음에 접지층을 설명한다.

접지층은 AlN 혼합 결정비가 0.05 내지 1의 범위내에 있음을 특징으로 한다. AlN 혼합 결정비가 0.05 보다 작은 경우, 발광 파장의 변화가 적고, 본 발명의 효과가 수득되지 않는다. AlN 혼합 결정비는 바람직하게는 0.1 이상이고, 보다 바람직하게는 0.15 이상이다. AlN 혼합 결정비가 0.9를 초과하는 경우, 구동 전압이 종종 높아지고, 따라서, 바람직하지 않다. 따라서, AlN 혼합 결정비는 바람직하게는 0.9 이하이다.

상기 접지층의 필름 두께는 바람직하게는 10Å 내지 1μm의 범위이다. 상기 접지층의 필름 두께가 10Å 보다 작으면, 본 발명의 효과가 현저해지지 않는다. 한편, 상기 접지층의 필름 두께가 1μm를 초과하는 경우, 상기 접지층을 성장시키는데 오랜 시간이 걸리며, 따라서, 실용적인 면에서 적합하지 않다.

본 발명의 접지층은 결정도가 저하되지 않는 범위 내에서 불순물로도 도핑될 수 있다. 상기 접지층이 n 형태에 도핑될 경우, 구동 전압, 발광 효율 등과 같은 광 방출 장치의 특성들이 종종 향상되며, 따라서, 바람직하다. 도우핑 양의 바람직한 범위의 구체적인 예에는 1x10¹⁶ 내지 1x10²²cm⁻³의 범위의 캐리어 농도가 포함된다. 보다 바람직하게는, 상기 접지층의 캐리어 농도의 범위는 1x10¹⁷ 내지 1x10²¹cm⁻³이다. 상기 캐리어 농도가 1x10¹⁶cm⁻³ 보다 작은 경우, 상기 층진물의 유입 효율은 종종 충분하지 않다. 한편, 상기 캐리어 농도가 1x10²²cm⁻³ 보다 큰 경우, 상기 접지층의 결정도가 열화되고, 발광 효율이 종종 저하된다.

한층 또는 다층의 n 형태 또는 비도핑된 화합물 반도체는 상기 접지층과 기질 사이에 삽입될 수 있다. 본 발명의 제1에서 설명한 바와 같이, 격자 상수가 상이한 화합물 반도체의 다수의 얇은 필름들이 적층되어 있는 구조가 특히 바람직한데, 그 이유는 그 위에서 성장될 층의 결정도가 종종 향상되기 때문이다.

상기에서 설명한 접지층, 발광층 및 보호층의 적층 구조에서, 발광층의 격자 상수를 접지층의 격자 상수보다 크게 만들어서 압축 응력이 연결 방향으로 상기 발광층에 적용되는 구조, 즉 압축 응력이 연결 계면에 평행한 방향으로 적용되는 구조를 수득할 수 있다. 이러한 구조를 수득하기 위해, 예를 들면, 상기 접지층의 InN 혼합 결정비보다 발광층의 InN 혼합 결정비를 크게 만드는 방법이 사용될 수 있다.

상기 발광층의 InN 혼합 결정비가 상기 접지층의 InN 혼합 결정비보다 크다고 하더라도, 이러한 층들의 성장 방법 또는 조건에 따라 상기 발광층 및 접지층의 계면에 격자 상수 차이로 생기는 전위가 형성되고, 상기 발광층의 격자 이완이 일어나며, 압축 응력이 상기 발광층에 적용되지 않는다. 따라서, 결정도가 높은 발광층이 종종 수득될 수 없다. 보호층을 형성하지 않고 상기 발광층의 성장 후에 장시간 동안 고온(1000°C 초과)으로 유지하는 경우 또는 상기 보호층을 고온(1000°C 초과)에서 성장시키는 경우, 상기 발광층의 열적 열화가 종종 진행된다. 이와 관련하여, 성장 온도는 상기 보호층의 결정 성장에서 바람직하게는 1000°C 이하이다.

본 발명에서 사용된 기질 및 성장 방법으로서, 본 발명의 제1과 관련하여 언급된 것과 동일한 것을 사용할 수 있다.

실시에

하기 실시예들은 본 발명을 추가로 상세히 설명하는 것이지, 이의 범위를 한정하려는 의도는 아니다.

실시예 1

도 3의 구조를 가진 3족-5족 화합물 반도체는 MOVPE법에 의해 제조된다.

사파이어 C 표면은 미러-연마(mirror-polish)하고 유기 용매로 세척한 다음, 생성물은 기질(8)로서 사용한다. 성장 방법으로서, 저온 성장된 완충층으로 GaN을 사용하는 2단계 성장법을 사용한다. 두께 약 300Å(550°C)의 GaN 완충층(9), 두께 약 2.5μm(1050°C)의 Si로 도핑된 GaN의 n 형태의 층(1) 및 두께 1500Å의 비도핑된 GaN 층(10)은 캐리어 가스로서 수소를 사용하여 1/8atm의 압력하에 성장된다.

그 다음, 변형된 층(2)으로서 Si로 도핑된 In_{0.3}Ga_{0.7}N 층은 캐리어 가스로서의 질소, TEG, TMI, 질소로 1 ppm까지 희석된 실란 및 암모니아를 각각 4slm, 0.04sccm, 0.6sccm, 5sccm 및 4slm의 양으로 공급함으로써 750°C에서 70초 동안 기질에서 성장된다. 추가로, Si로 도핑된 Ga_{0.8}Al_{0.2}N의 n 형태의 층(3)은 TEG, TEA, 상기 실란 및 암모니아를 각각 0.032sccm, 0.008sccm, 5sccm 및 4slm의 양으로 공급함으로써 10분 동안 동일한 온도에서 성장된다.

단, "slm" 및 "sccm"은 가스 유동의 단위를 의미한다. "1slm"은 정상 상태의 유동에서 분당 1ℓ의 용적을 차지하는 가스를 의미하고, "1000sccm"은 "1slm"에 상응한다.

상기 층(2) 및 층(3)의 필름 두께와 관련하여, 오랜 시간 동안 동일한 조건하에 성장한 층의 두께로부터 측정된 성장 속도는 각각 43Å/분 및 30Å/분이다. 따라서, 상기 성장 시간으로부터 계산하여 측정된 필름의 두께는 각각 50Å 및 300Å이다.

n 형태의 층(3)을 성장시킨 후, 비도핑된 In_{0.3}Ga_{0.7}N의 발광층(5)(50Å) 및 비도핑된 Ga_{0.8}Al_{0.2}N의 충전물 유입층(6)(300Å)이 1atm의 성장 압력하에 785°C의 기질 온도에서 성장한다.

충전물 유입층(6)을 성장시킨 후, Mg로 도핑된 GaN의 p 형태의 층(7)(5000Å)이 1100°C의 기질 온도에서 성장한다. 이와 같이 제조된 샘플은 Mg로 도핑된 층의 내성을 감소시키기 위해 1atm의 압력하에 20분 동안 800°C에서 질소 중에서 열처리된다.

상기 양태에서, 층들(9), (1), (10), (2) 및 (3)은 접지층이다. 층(3)은 또한 상기 충전물 유입층으로서 작용한다.

정상적인 방법에 따라, 전극을 상기 수득된 샘플위에 형성하여, LED를 제공한다. Ni-Au 합금을 p 전극으로서 사용하고, Al을 n 전극으로서 사용한다. 전류(20mA)는 순방향으로 LED를 통과한다. 그 결과, 깨끗한 청색 광이 방출된다. 방출 피이크의 중심 파장은 4800Å이고, 휘도는 860mcd이다.

대조 실시예 1

비도핑된 GaN 층(10)을 성장시킨후, 발광층(5), 충전물 유입층(6) 및 Mg로 도핑된 GaN의 p 형태의 층(7)을 성장시키는 것을 제외하고는, 실시예 1에 기재된 것과 동일한 방법에 따라 LED를 제조한 다음, 실시예 1에 기술된 것과 동일한 방법에 따라 LED를 평가한다. 그 결과, LED는 깨끗한 청색 광을 방출하고, 휘도는 390mcd이다.

실시예 2

상기 층(3)이 Si로 도핑된 GaN인 것을 제외하고는, 실시예 1에 기재된 것과 동일한 방법에 따라 LED를 제조한 다음, 실시예 1에 기재된 것과 동일한 방법에 따라 LED를 평가한다. 그 결과, 휘도는 630mcd(방출 피이크의 중심 파장: 4600Å, 외부 양자의 양자 효율: 0.8%)이다.

실시예 3

TEG 및 TMI를 각각 0.04sccm 및 0.6sccm의 양으로 사용하여 1/8atm하에 750°C에서 비도핑된 InGaN 발광층을 성장시키고, TEG 및 TEA를 각각 0.032sccm 및 0.008sccm의 양으로 사용하여 1/8atm하에 750°C에서 비도핑된 Ga_{0.8}Al_{0.2}N의 충전물 유입층(6)을 성장시킨후, 1atm의 성장 압력하에 Mg로 도핑된 GaN 층(7)을 성장시키는 것을 제외하고는, 실시예 1에 기술된 것과 동일한 방법에 따라 LED를 제조한 다음, 실시예 1에 기술된 것과 동일한 방법에 따라 LED를 평가한다. 그 결과, 휘도는 520mcd이고, 방출 피이크의 중심 파장은 4600Å이다.

대조 실시예 2

비도핑된 GaN 층(10)을 성장시킨후, 변형된 층(2) 및 Ga_{0.8}Al_{0.2}N 층을 성장시키지 않고 발광층(5), 충전물 유입층(6) 및 Mg로 도핑된 GaN 층(7)을 성장시키는 것을 제외하고는, 실시예 3에 기술된 것과 동일한 방법에 따라 LED를 제조한 다음, 실시예 1에 기술된 것과 동일한 방법에 따라 LED를 평가한다. 그 결과, LED는 매우 약한 광을 방출하고, 휘도는 10⁻⁴cd이다.

실시예 4

비도핑된 GaN 층(10)을 성장시킨후, 변형된 층(2) 및 Ga_{0.8}Al_{0.2}N 층(3)을 2회 성장시킴으로써 수득된 구조를 형성시키는 것을 제외하고는, 실시예 3에 기재된 것과 동일한 방법에 따라 LED를 제조한 다음, 실시예 1에 기술된 것과 동일한 방법에 따라 LED를 평가한다. 그 결과, 휘도는 240mcd이다.

실시예 5

변형된 층(2)을 성장시킨후, Ga_{0.8}Al_{0.2}N 층(3) 대신에, Ga_{0.7}Al_{0.3}N 층(3)을 성장시키는 것을 제외하고는, 실시예 3에 기술된 것과 동일한 방법에 따라 LED를 제조한 다음, 실시예 1에 기술된 것과 동일한 방법에 따라 LED를 평가한다. 그 결과, 방출 피이크의 중심 파장은 5,050Å이고, 휘도는 320mcd이다. 발광 파장은 실시예 3의 것보다 더 길어진다.

실시예 6

도 4에 나타낸 3족-5족 화합물 반도체는 MOVPE법에 따라 증기 상 적층 성장에 의해 성장하여 발광 파장 5100Å의 LED를 만든다.

TMG 및 암모니아를 사용하여 1/8atm의 압력하에 600°C의 성장 온도에서 사파이어(0001) 기질(8)위에 완충층(9)으로서의 GaN(500Å)을 형성시킨후, Si로 도핑된 GaN 층을 1,100°C에서 3μm의 두께로 성장시킨다.

Si로 도핑된 $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.6}\text{Al}_{0.1}\text{N}$ 층 및 Si로 도핑된 $\text{Ga}_{0.8}\text{Al}_{0.2}\text{N}$ 층을 6회 반복 성장시켜 접지층을 형성한 다음, Si로 도핑된 $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.6}\text{Al}_{0.1}\text{N}$ 층의 증진물 유입층(4)을 성장시킨다.

$\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{N}$ 층(150Å)의 발광층(5)을 성장시킨 다음, $\text{Ga}_{0.8}\text{Al}_{0.2}\text{N}$ 층을 300Å의 두께로 성장시킨다.

그 다음, Mg로 도핑된 GaN 층(7)을 5000Å의 두께로 성장시킨다. 성장후, 기질을 반응기로부터 빼내고, 800°C에서 질소 중에서 열처리하여 Mg 도핑된 GaN 층의 내성을 감소시킨다.

선명한 방출 스펙트럼을 가진 LED는 일반적인 방법에 따라 수득된 샘플위에 전극을 형성함으로써 제조될 수 있다.

실시예 7

캐리어 가스로서 수소를 사용하여 두께 약 300Å의 GaN 완충층(102)(기질 온도: 550°C, 성장 압력: 1atm), Si로 도핑된 GaN의 두께 약 3 μm 의 n 형태의 층(103)(1,100°C) 및 Si로 도핑된 n 형태의 $\text{Ga}_{0.8}\text{Al}_{0.2}\text{N}$ 의 층(104)(1500Å)을 성장시킨다.

그 다음, 캐리어 가스로서의 질소, TEG, TMI 및 암모니아를 각각 4slm, 0.04sccm, 0.24sccm 및 4slm의 양으로 공급함으로써 800°C의 기질 온도에서 비도핑된 $\text{In}_{0.3}\text{Ga}_{0.7}\text{N}$ 의 발광층(50Å)을 성장시킨다.

추가로, 비도핑된 $\text{Ga}_{0.8}\text{Al}_{0.2}\text{N}$ 의 보호층(106)(300Å)은 TEG, TEA 및 암모니아를 각각 0.032sccm, 0.008sccm 및 4slm의 양으로 공급함으로써 동일한 온도에서 성장시킨다.

상기 보호층(106)을 성장시킨후, 상기 기질의 온도를 1100°C로 올리고, Mg로 도핑된 GaN의 p 형태의 층(107)(5000Å)을 성장시킨다. 이와 같이 제조된 샘플은 1atm하에 800°C에서 20분 동안 질소 중에서 열처리하여 Mg 도핑된 층의 내성을 감소시킨다.

일반적인 방법에 따라, 상기와 같이 수득된 샘플위에 전극을 형성시켜 광 방출 장치를 수득한다. Ni-Au 합금을 p 전극으로서 사용하고, Al을 n 전극으로서 사용한다. 전류(20mA)는 이러한 광 방출 장치를 순방향으로 통과한다. 그 결과, 상기 장치는 깨끗한 청색광을 방출한다. 방출 피크의 중심 파장은 4800Å이다.

상기 접지층(4)으로서 비도핑된 GaN을 사용하는 것을 제외하고는 상기 실시예에서 기재된 것과 동일한 방법에 따라 샘플을 제조한다.

이와 같이하여 수득된 샘플을 평가하였다. 그 결과, 발광 파장은 20mA에서 4500Å이다.

상기 실시예에서 기재된 것과 동일한 방법에 따라, 비도핑된 GaN(1100°C), 비도핑된 InGaN 활성층(800°C) 및 비도핑된 GaAlN 보호층(동일한 온도)이 적층되어 있는 양자 웰 구조를 만들고, 전자 현미경을 사용하여 격자 상을 관찰한다. 그 결과, 상기 발광층의 계면에서 격자 상수의 차이로 생기는 전위의 형성이 관찰되지 않는다. InGaN의 격자 상수가 GaN의 격자 상수보다 크기 때문에, 상기 양자 웰 구조 전후에 격자 상수의 차이로 생기는 전위가 형성되지 않는다. 따라서, 압축 응력이 계면 방향으로 InGaN 층에 적용되는 것이 분명하다.

실시예 8

Si로 도핑된 n 형태의 $\text{Ga}_{0.8}\text{Al}_{0.2}\text{N}$ 대신에, 비도핑된 GaN을 성장시키고, 캐리어 가스로서 질소를 사용하여 접지층(104)으로서 800°C에서 n 형태의 $\text{Ga}_{0.6}\text{Al}_{0.4}\text{N}$ (600Å)을 성장시키는 것을 제외하고는, 실시예 7에서 기술된 것과 동일한 방법에 따라, 샘플을 제조한 다음, 실시예 1에서 기술된 것과 동일한 방법에 따라 샘플을 평가한다. 그 결과, 깨끗한 녹색광이 방출되는 것으로 관찰되었다. 발광 파장은 1mA에서 5200Å이다.

발명의 효과

본 발명의 3족-5족 화합물 반도체는 결정도 및 품질이 높고, 이를 사용하는 광 방출장치는 발광 효율이 높으며, 이의 공업적 가치가 크다.

본 발명의 3족-5족 화합물 반도체를 사용하는 광 방출 장치는 상기 발광층의 계면에서 격자 상수의 차이로 생기는 전위의 형성을 억제할 수 있고, 보다 긴 파장의 광을 쉽게 방출할 수 있다. 따라서, 발광 파장이 넓은 범위에서 쉽게 전도될 수 있고, 이의 공업적 가치가 크다.

(57) 청구의 범위

청구항 1.

발광층과 기질 사이에서 3개 이상의 층으로 구성된 접지층[당해 접지층을 구성하는 각각의 층은 화학식 $In_uGa_vAl_wN$ 의 3족-5족 화합물 반도체(단, $0 \leq u \leq 1$, $0 \leq v \leq 1$, $0 \leq w \leq 1$, 및 $u + v + w = 1$ 이다)이고, 당해 접지층 중의 하나 이상의 층은 이들과 접촉된 층보다 InN 혼합 결정비가 작은 2개의 층들 사이에 삽입되며, InN 혼합 결정비가 보다 작은 2개의 층들 사이에 삽입된 층의 InN 혼합 결정비는 상기 기질 층으로부터의 층과 접촉되어 있는 층의 InN 혼합 결정비보다 0.05 이상 더 크고, InN 혼합 결정비 보다 작은 2개의 층들 중에서 당해 기질 층에 있는 층과 당해 발광층과의 사이에 있는 하나 이상의 층은 n 형태의 불순물로 도핑된다]을 가짐을 특징으로 하는, 당해 기질 위에 하나 이상의 발광층[당해 발광층은 화학식 $In_xGa_yAl_zN$ 의 3족-5족 화합물 반도체(단, $0 < x \leq 1$, $0 \leq y < 1$, $0 \leq z < 1$, 및 $x + y + z = 1$ 이다)이고, 이와 접촉되어 있는 2개의 층진물 유입층들 사이에 삽입된다] 과 층진물 유입층[당해 층진물 유입층은 화학식 $In_{x'}Ga_{y'}Al_{z'}N$ 의 3족-5족 화합물 반도체(단, $0 \leq x' \leq 1$, $0 \leq y' \leq 1$, $0 \leq z' \leq 1$, 및 $x' + y' + z' = 1$ 이다)이고, 당해 발광층보다 밴드 갭이 크다]을 포함하는 3족-5족 화합물 반도체.

청구항 2.

제1항에 있어서, 접촉되어 있는 발광층을 샌드위치시키는 층진물 유입층들 중에서 상기 기질층의 층진물 유입층이, InN 혼합 결정비가 더 큰, 접촉되어 있는 층을 상기 접지층에 샌드위치시키는, InN 혼합 결정비가 더 적은 2개의 층들 중에서 상기 발광층 층의 층으로서도 작용하는 3족-5족 화합물 반도체.

청구항 3.

제1항 또는 제2항에 있어서, 상기 n 형태의 불순물이 Si 및/또는 Ge이고, 당해 n 형태의 불순물의 농도가 $1 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 이상인 3족-5족 화합물 반도체.

청구항 4.

제1항 또는 제2항에 있어서, 접지층에서 InN 혼합 결정비가 보다 적은 2개의 층들 사이에 삽입된 층의 두께가 5 내지 300Å의 범위인 3족-5족 화합물 반도체.

청구항 5.

제1항 또는 제2항에 있어서, 3개 이상의 층들로 구성된 상기 접지층이 유기 금속 증기 상 적층 성장법에 따라 0.001 내지 0.8atm의 범위내의 압력하에서 성장시켜 수득한 3족-5족 화합물 반도체인 3족-5족 화합물 반도체.

청구항 6.

제1항 또는 제2항에 있어서, 접지층 중의 하나 이상의 층이 이와 접촉되어 있는 층보다 InN 혼합 결정비가 작은 2개의 층들 사이에 샌드위치되고; InN 혼합 결정비가 보다 작은 2개의 층들 사이에 삽입된 층의 InN 혼합 결정비가 당해 기질층으로부터의 층과 접촉되어 있는 층의 InN 혼합 결정비보다 0.05 내지 0.3까지 큰 경우, 당해 층들 사이의 혼합 결정비의 차이와 InN 혼합 결정비가 보다 작은 2개의 층들 사이에 삽입된 층의 두께(Å)의 곱이 30 이하이고; InN 혼합 결정비가 보다 작은 2개의 층들 사이에 삽입된 층의 InN 혼합 결정비가 당해 기질 층으로부터의 층과 접촉되어 있는 층의 InN 혼합 결정비보다 0.3 이상 큰 경우, InN 혼합 결정비가 보다 작은 2개의 층들 사이에 삽입된 층의 두께가 100Å 이하인 3족-5족 화합물 반도체.

청구항 7.

화학식 $In_aGa_bAl_cN$ 의 3족-5족 화합물 반도체(단, $0 \leq a < 1$, $0 < b < 1$, $0.05 \leq c < 1$, 및 $a + b + c = 1$ 이다)의 접지층, 당해 접지층보다 밴드 갭이 작은, 화학식 $In_xGa_yAl_zN$ 의 3족-5족 화합물 반도체(단, $0 < x \leq 1$, $0 \leq y < 1$, $0 \leq z < 1$, 및 $x + y + z = 1$ 이다)의 발광층, 및 당해 발광층보다 밴드 갭이 큰 화학식 $In_{a'}Ga_{b'}Al_{c'}N$ 의 3족-5족 화합물 반도체(단, $0 \leq a' < 1$, $0 < b' \leq 1$, $0 \leq c' < 1$, 및 $a' + b' + c' = 1$ 이다)의 보호층이 각각 이 순서대로 적층 되고; 당해 발광층의 격자 상수가 당해 접지층의 격자 상수보다 크며; 압축 응력이 연결 방향으로 당해 발광층에 적용되는 구조를 포함하는 광 방출 장치.

청구항 8.

제7항에 있어서, 접지층의 n 형태의 캐리어의 농도가 $1 \times 10^{16} \text{cm}^{-3}$ 내지 $1 \times 10^{21} \text{cm}^{-3}$ 의 범위내인 광 방출 장치.

청구항 9.

제7항에 있어서, 발광층의 필름 두께가 5 내지 90Å의 범위내인 광 방출 장치.

청구항 10.

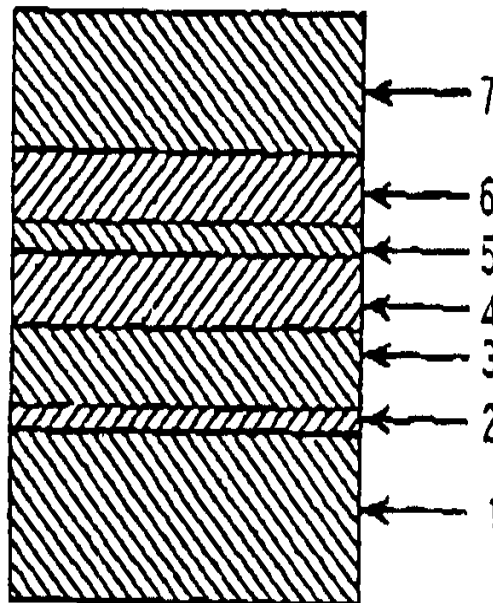
제7항 또는 제9항에 있어서, Si, Ge, Zn, Cd 및 Mg의 농도가 $1 \times 10^{19} \text{cm}^{-3}$ 이하인 광 방출 장치.

청구항 11.

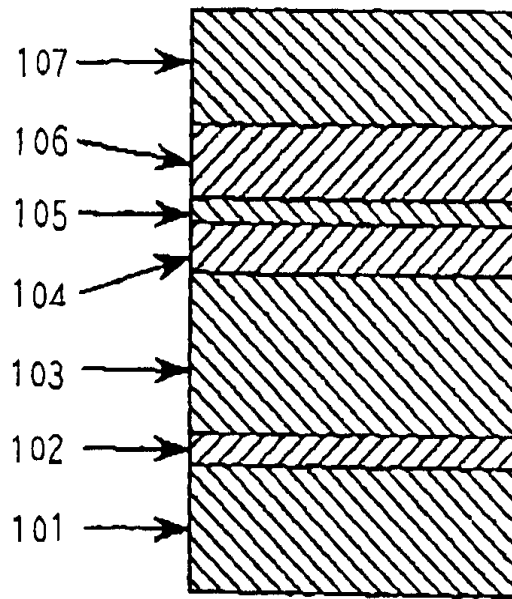
제7항 또는 제9항에 있어서, 접지층의 n 형태의 캐리어의 농도가 1×10^{16} 내지 $1 \times 10^{21} \text{cm}^{-3}$ 의 범위내인 광 방출장치.

도면

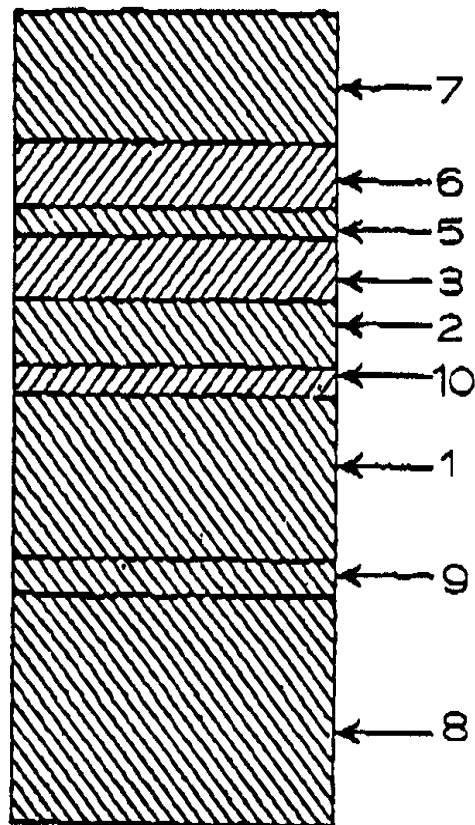
도면1



도면2



도면3



도면4

