



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 공개특허공보(A)

(11) 공개번호 10-2008-0035865
(43) 공개일자 2008년04월24일

(51) Int. Cl.

H01L 33/00 (2006.01)

(21) 출원번호 10-2006-0102465

(22) 출원일자 2006년10월20일

심사청구일자 없음

(71) 출원인

삼성전자주식회사

경기도 수원시 영통구 매탄동 416

(72) 발명자

유한열

경기 수원시 영통구 영통동 1024-14 경희유니빌
406호

(74) 대리인

리앤목특허법인

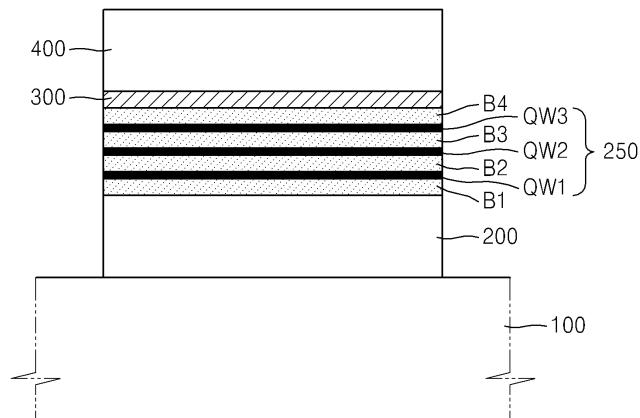
전체 청구항 수 : 총 30 항

(54) 반도체 발광 소자

(57) 요약

반도체 발광 소자에 관해 개시되어 있다. 개시된 본 발명의 반도체 발광 소자는, 기판 상에 형성된 n형 콘택층과, 상기 n형 콘택층 상에 형성되고, 두 개 이상의 양자우물층과 두 개 이상의 장벽층으로 구성된 활성층 및 상기 활성층 상에 형성된 p형 콘택층을 포함하고, 상기 양자우물층들의 에너지 밴드갭은 상기 p형 콘택층에서 상기 n형 콘택층으로 갈수록 증가하거나 및/또는 상기 양자우물층들의 두께는 상기 p형 콘택층에서 상기 n형 콘택층으로 갈수록 얇아지거나 및/또는 상기 장벽층들의 에너지 밴드갭은 상기 p형 콘택층에서 상기 n형 콘택층으로 갈수록 높아지는 것을 특징으로 한다.

대표도 - 도3



특허청구의 범위

청구항 1

기관 상에 형성된 n형 콘택층; 상기 n형 콘택층 상에 형성되고, 두 개 이상의 양자우물층과 두 개 이상의 장벽층으로 구성된 활성층; 및 상기 활성층 상에 형성된 p형 콘택층;을 포함하고,

상기 양자우물층들의 에너지 밴드갭은 상기 p형 콘택층에서 상기 n형 콘택층으로 갈수록 증가하는 것을 특징으로 하는 반도체 발광 소자.

청구항 2

제 1 항에 있어서, 상기 양자우물층은 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 층($0.05 \leq x \leq 0.5$)인 것을 특징으로 하는 반도체 발광 소자.

청구항 3

제 2 항에 있어서, 상기 양자우물층의 인듐(In) 함유량은 상기 n형 콘택층에 가까울수록 적어지는 것을 특징으로 하는 반도체 발광 소자.

청구항 4

제 3 항에 있어서, 상기 n형 콘택층에 인접한 양자우물층부터 번호를 부여할 때, N번째 양자우물층의 인듐(In) 함유량(원자%)은 N+1번째 양자우물층의 인듐(In) 함유량(원자%)보다 5~20% 작은 것을 특징으로 하는 반도체 발광 소자.

청구항 5

제 1 항에 있어서, 상기 양자우물층들의 두께는 상기 p형 콘택층에서 상기 n형 콘택층으로 갈수록 얇아지는 것을 특징으로 하는 반도체 발광 소자.

청구항 6

제 5 항에 있어서, 상기 n형 콘택층에 인접한 양자우물층부터 번호를 부여할 때, N번째 양자우물층의 두께는 N+1번째 양자우물층의 두께보다 5~20% 얇은 것을 특징으로 하는 반도체 발광 소자.

청구항 7

제 1 항에 있어서, 상기 장벽층들의 에너지 밴드갭은 상기 p형 콘택층에서 상기 n형 콘택층으로 갈수록 높아지는 것을 특징으로 하는 반도체 발광 소자.

청구항 8

제 1 항에 있어서, 상기 장벽층은 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 층($0 \leq y \leq 0.1$)인 것을 특징으로 하는 반도체 발광 소자.

청구항 9

제 8 항에 있어서, 상기 장벽층의 인듐(In) 함유량은 상기 n형 콘택층에 가까울수록 적어지는 것을 특징으로 하는 반도체 발광 소자.

청구항 10

제 9 항에 있어서, 상기 n형 콘택층에 인접한 장벽층부터 번호를 부여할 때, N번째 장벽층의 인듐(In) 함유량(원자%)은 N+1번째 장벽층의 인듐(In) 함유량(원자%)보다 5~20% 작은 것을 특징으로 하는 반도체 발광 소자.

청구항 11

제 1 항에 있어서, 상기 활성층과 상기 p형 콘택층 사이에 전자 차단층이 더 구비된 것을 특징으로 하는 반도체 발광 소자.

청구항 12

기관 상에 형성된 n형 콘택층; 상기 n형 콘택층 상에 형성되고, 두 개 이상의 양자우물층과 두 개 이상의 장벽층으로 구성된 활성층; 및 상기 활성층 상에 형성된 p형 콘택층;을 포함하고,

상기 양자우물층들의 두께는 상기 p형 콘택층에서 상기 n형 콘택층으로 갈수록 얇아지는 것을 특징으로 하는 반도체 발광 소자.

청구항 13

제 12 항에 있어서, 상기 n형 콘택층에 인접한 양자우물층부터 번호를 부여할 때, N번째 양자우물층의 두께는 N+1번째 양자우물층의 두께보다 5~20% 얇은 것을 특징으로 하는 반도체 발광 소자.

청구항 14

제 12 항에 있어서, 상기 양자우물층은 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 층($0.05 \leq x \leq 0.5$)인 것을 특징으로 하는 반도체 발광 소자.

청구항 15

제 14 항에 있어서, 상기 양자우물층의 인듐(In) 함유량은 상기 n형 콘택층에 가까울수록 적어지는 것을 특징으로 하는 반도체 발광 소자.

청구항 16

제 15 항에 있어서, 상기 n형 콘택층에 인접한 양자우물층부터 번호를 부여할 때, N번째 양자우물층의 인듐(In) 함유량(원자%)은 N+1번째 양자우물층의 인듐(In) 함유량(원자%)보다 5~20% 작은 것을 특징으로 하는 반도체 발광 소자.

청구항 17

제 12 항에 있어서, 상기 장벽층의 에너지 밴드갭은 상기 p형 콘택층에서 상기 n형 콘택층으로 갈수록 높아지는 것을 특징으로 하는 반도체 발광 소자.

청구항 18

제 12 항에 있어서, 상기 장벽층은 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 층($0 \leq y \leq 0.1$)인 것을 특징으로 하는 반도체 발광 소자.

청구항 19

제 18 항에 있어서, 상기 장벽층의 인듐(In) 함유량은 상기 n형 콘택층에 가까울수록 적어지는 것을 특징으로 하는 반도체 발광 소자.

청구항 20

제 19 항에 있어서, 상기 n형 콘택층에 인접한 장벽층부터 번호를 부여할 때, N번째 장벽층의 인듐(In) 함유량(원자%)은 N+1번째 장벽층의 인듐(In) 함유량(원자%)보다 5~20% 작은 것을 특징으로 하는 반도체 발광 소자.

청구항 21

제 12 항에 있어서, 상기 활성층과 상기 p형 콘택층 사이에 전자 차단층이 더 구비된 것을 특징으로 하는 반도체 발광 소자.

청구항 22

기관 상에 형성된 n형 콘택층; 상기 n형 콘택층 상에 형성되고, 두 개 이상의 양자우물층과 두 개 이상의 장벽층으로 구성된 활성층; 및 상기 활성층 상에 형성된 p형 콘택층;을 포함하고,

상기 장벽층들의 에너지 밴드갭은 상기 p형 콘택층에서 상기 n형 콘택층으로 갈수록 높아지는 것을 특징으로 하는 반도체 발광 소자.

청구항 23

제 22 항에 있어서, 상기 장벽층은 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 층($0 \leq y \leq 0.1$)인 것을 특징으로 하는 반도체 발광 소자.

청구항 24

제 23 항에 있어서, 상기 장벽층의 인듐(In) 함유량은 상기 n형 콘택층에 가까울수록 적어지는 것을 특징으로 하는 반도체 발광 소자.

청구항 25

제 24 항에 있어서, 상기 n형 콘택층에 인접한 장벽층부터 번호를 부여할 때, N번째 장벽층의 인듐(In) 함유량(원자%)은 N+1번째 장벽층의 인듐(In) 함유량(원자%)보다 5~20% 작은 것을 특징으로 하는 반도체 발광 소자.

청구항 26

제 22 항에 있어서, 상기 n형 콘택층에 인접한 양자우물층부터 번호를 부여할 때, N번째 양자우물층의 두께는 N+1번째 양자우물층의 두께보다 5~20% 얇은 것을 특징으로 하는 반도체 발광 소자.

청구항 27

제 22 항에 있어서, 상기 양자우물층은 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 층($0.05 \leq x \leq 0.5$)인 것을 특징으로 하는 반도체 발광 소자.

청구항 28

제 27 항에 있어서, 상기 양자우물층의 인듐(In) 함유량은 상기 n형 콘택층에 가까울수록 적어지는 것을 특징으로 하는 반도체 발광 소자.

청구항 29

제 28 항에 있어서, 상기 n형 콘택층에 인접한 양자우물층부터 번호를 부여할 때, N번째 양자우물층의 인듐(In) 함유량(원자%)은 N+1번째 양자우물층의 인듐(In) 함유량(원자%)보다 5~20% 작은 것을 특징으로 하는 반도체 발광 소자.

청구항 30

제 22 항에 있어서, 상기 활성층과 상기 p형 콘택층 사이에 전자 차단층이 더 구비된 것을 특징으로 하는 반도체 발광 소자.

명세서

발명의 상세한 설명

발명의 목적

발명이 속하는 기술 및 그 분야의 종래기술

- <11> 1. 발명의 분야
- <12> 본 발명은 반도체 소자에 관한 것으로, 보다 상세하게는, 분극 전하의 영향을 줄인 반도체 발광 소자에 관한 것이다.
- <13> 2. 관련 기술의 설명
- <14> 발광 다이오드(Light Emitting Diode : 이하, LED) 및 레이저 다이오드(Laser Diode : 이하, LD)로부터 방출되는 빛의 색은 사용되는 화합물 반도체에 따라 달라진다. 질화물계 화합물 반도체가 사용된 발광 소자는 주로 청색 또는 자색 빛을 방출한다.
- <15> 일반적으로, LED 및 LD와 같은 발광 소자는 전류(current)를 빛으로 바꾸는 활성층을 포함한다. 상기 활성층은 양자우물층과 장벽층이 적층된 구조를 갖고, 상기 양자우물층은 단일양자우물(Single Quantum Well) 구조 또는 다중양자우물(Multi-Quantum Well) 구조를 갖는다. 다중양자우물 구조는 적은 전류에서도 효율적으로 발광을 일으키기 때문에, 다중양자우물 구조를 갖는 발광 소자의 발광 효율은 단일양자우물 구조를 갖는 발광 소자의 발

광 효율보다 높다.

- <16> 도 1은 종래의 발광 소자의 다중양자우물 구조를 갖는 활성층의 에너지 밴드 다이어그램으로서, 상기 활성층에 캐리어가 주입되기 전의 상태를 보여준다.
- <17> 도 1을 참조하면, 활성층의 에너지 밴드는 네 개의 장벽층 에너지 밴드(BE1, BE2, BE3, BE4)와 이들 사이 마다 개재된 세 개의 양자우물층 에너지 밴드(QWE1, QWE2, QWE3)로 구성되어 있다. 양자우물층 에너지 밴드(QWE1, QWE2, QWE3)들은 장벽층 에너지 밴드(BE1, BE2, BE3, BE4)에 의해 서로 분리되어 있다. 도시되지는 않았지만, 도면의 좌측은 n형 콘택층이 존재하는 방향이고, 우측은 p형 콘택층이 존재하는 방향이다. 미설명된 도면부호 Ec 및 Ev는 각각 전도대의 가장 낮은 에너지 준위 및 가전대의 가장 높은 에너지 준위를 나타낸다.
- <18> 그런데, n형 콘택층 및 p형 콘택층에 전압이 인가되기 전, 즉, 활성층에 캐리어(전자 및 정공)가 주입되기 전, 양자우물층과 장벽층의 에너지 밴드(QWE1, QWE2, QWE3, BE1, BE2, BE3, BE4)는 도시된 바와 같이 왜곡되어 있다. 이러한 왜곡은 질화물계 화합물 반도체의 고유한 특성에 기인한 것으로서, 양자우물층과 장벽층의 계면에 전하가 발생되기 때문이다. 이러한 계면 전하에 의해 내부 전기장(built-in electric field)이 발생한다. 이러한 내부 전기장으로 인해 양자우물층에서의 전자의 천이 에너지(transition energy)가 작아져서 발광 파장이 커진다.
- <19> 상기 계면 전하에 의한 에너지 밴드 왜곡 현상 및 천이 에너지 감소 현상은 활성층에 캐리어가 충분히 공급되면 사라질 수 있다. 즉, n형 콘택층 및 p형 콘택층에 전압이 인가되어 활성층에 캐리어가 충분히 주입되면, 캐리어에 의해 계면 전하가 소멸되므로 에너지 밴드 왜곡 현상 및 천이 에너지 감소 현상이 사라질 수 있다.
- <20> 그러나 질화물계 화합물 반도체에서는 정공의 이동도(mobility)가 매우 작기 때문에, n형 콘택층에 가까운 양자우물층에 도달되는 정공의 양이 적다. 따라서, n형 콘택층 및 p형 콘택층에 전압이 인가되어 활성층에 캐리어가 충분히 공급되더라도, 활성층의 에너지 밴드 왜곡 현상은 사라지지 않는다.
- <21> 도 2는 이러한 결과를 보여준다.
- <22> 도 2를 참조하면, 도 1의 에너지 밴드를 갖는 활성층에 충분한 캐리어가 공급된 후에도 n형 콘택층에 가까울수록 에너지 밴드 왜곡 현상이 심하다. 이에 따라, n형 콘택층에 가까울수록 천이 에너지 감소 현상이 심하고, 발광 파장이 길어진다($\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3$). 그리고 n형 콘택층에 가까운 양자우물층이 p형 콘택층에 가까운 양자우물층에서 발생하는 빛의 일부를 흡수한다. 이러한 이유로 다중양자우물 구조를 갖는 활성층을 포함하는 종래의 발광 소자의 발광 효율은 저하된다.
- <23> 이러한 문제를 개선하기 위해, 양자우물층의 성장면을 변화시키거나, 양자우물층과 장벽층의 계면에 계면 전하를 상쇄할 수 있는 물질을 도핑하는 방법이 제시되었지만, 이러한 방법들은 활성층의 특성을 저하시킬 수 있다.

발명이 이루고자 하는 기술적 과제

- <24> 본 발명이 이루고자 하는 기술적 과제는 상술한 종래의 문제점을 개선하기 위한 것으로서, 다중양자우물 구조를 갖는 활성층의 발광 파장의 불균일성을 최소화하여 발광 효율 저하를 최소화할 수 있는 반도체 발광 소자를 제공함에 있다.

발명의 구성 및 작용

- <25> 상기 기술적 과제를 달성하기 위하여, 본 발명은 기판 상에 형성된 n형 콘택층; 상기 n형 콘택층 상에 형성되고, 두 개 이상의 양자우물층과 두 개 이상의 장벽층으로 구성된 활성층; 및 상기 활성층 상에 형성된 p형 콘택층;을 포함하고, 상기 양자우물층들의 에너지 밴드갭은 상기 p형 콘택층에서 상기 n형 콘택층으로 갈수록 증가하는 것을 특징으로 하는 반도체 발광 소자를 제공한다.
- <26> 상기 양자우물층은 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 층($0.05 \leq x \leq 0.5$)일 수 있다.
- <27> 상기 양자우물층의 인듐(In) 함유량은 상기 n형 콘택층에 가까울수록 적어질 수 있다.
- <28> 상기 n형 콘택층에 인접한 양자우물층부터 번호를 부여할 때, N번째 양자우물층의 인듐(In) 함유량(원자%)은 N+1번째 양자우물층의 인듐(In) 함유량(원자%)보다 5~20% 작을 수 있다.
- <29> 상기 양자우물층들의 두께는 상기 p형 콘택층에서 상기 n형 콘택층으로 갈수록 얇아질 수 있다.

- <30> 상기 n형 콘택층에 인접한 양자우물층부터 번호를 부여할 때, N번째 양자우물층의 두께는 N+1번째 양자우물층의 두께보다 5~20% 얇을 수 있다.
- <31> 상기 장벽층들의 에너지 밴드갭은 상기 p형 콘택층에서 상기 n형 콘택층으로 갈수록 높아질 수 있다.
- <32> 상기 장벽층은 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 층($0 \leq y \leq 0.1$)일 수 있다.
- <33> 상기 장벽층의 인듐(In) 함유량은 상기 n형 콘택층에 가까울수록 적어질 수 있다.
- <34> 상기 n형 콘택층에 인접한 장벽층부터 번호를 부여할 때, N번째 장벽층의 인듐(In) 함유량(원자%)은 N+1번째 장벽층의 인듐(In) 함유량(원자%)보다 5~20% 작을 수 있다.
- <35> 상기 활성층과 상기 p형 콘택층 사이에 전자 차단층이 더 구비될 수 있다.
- <36> 상기 기술적 과제를 달성하기 위하여, 본 발명은 기판 상에 형성된 n형 콘택층; 상기 n형 콘택층 상에 형성되고, 두 개 이상의 양자우물층과 두 개 이상의 장벽층으로 구성된 활성층; 및 상기 활성층 상에 형성된 p형 콘택층;을 포함하고, 상기 양자우물층들의 두께는 상기 p형 콘택층에서 상기 n형 콘택층으로 갈수록 얇아지는 것을 특징으로 하는 반도체 발광 소자를 제공한다.
- <37> 상기 n형 콘택층에 인접한 양자우물층부터 번호를 부여할 때, N번째 양자우물층의 두께는 N+1번째 양자우물층의 두께보다 5~20% 얇을 수 있다.
- <38> 상기 양자우물층은 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 층($0.05 \leq x \leq 0.5$)일 수 있다.
- <39> 상기 양자우물층의 인듐(In) 함유량은 상기 n형 콘택층에 가까울수록 적어질 수 있다.
- <40> 상기 n형 콘택층에 인접한 양자우물층부터 번호를 부여할 때, N번째 양자우물층의 인듐(In) 함유량(원자%)은 N+1번째 양자우물층의 인듐(In) 함유량(원자%)보다 5~20% 작을 수 있다.
- <41> 상기 장벽층의 에너지 밴드갭은 상기 p형 콘택층에서 상기 n형 콘택층으로 갈수록 높아질 수 있다.
- <42> 상기 장벽층은 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 층($0 \leq y \leq 0.1$)일 수 있다.
- <43> 상기 장벽층의 인듐(In) 함유량은 상기 n형 콘택층에 가까울수록 적어질 수 있다.
- <44> 상기 n형 콘택층에 인접한 장벽층부터 번호를 부여할 때, N번째 장벽층의 인듐(In) 함유량(원자%)은 N+1번째 장벽층의 인듐(In) 함유량(원자%)보다 5~20% 작을 수 있다.
- <45> 상기 활성층과 상기 p형 콘택층 사이에 전자 차단층이 더 구비될 수 있다.
- <46> 상기 기술적 과제를 달성하기 위하여, 본 발명은 기판 상에 형성된 n형 콘택층; 상기 n형 콘택층 상에 형성되고, 두 개 이상의 양자우물층과 두 개 이상의 장벽층으로 구성된 활성층; 및 상기 활성층 상에 형성된 p형 콘택층;을 포함하고, 상기 장벽층들의 에너지 밴드갭은 상기 p형 콘택층에서 상기 n형 콘택층으로 갈수록 높아지는 것을 특징으로 하는 반도체 발광 소자를 제공한다.
- <47> 상기 장벽층은 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ 층($0 \leq y \leq 0.1$)일 수 있다.
- <48> 상기 장벽층의 인듐(In) 함유량은 상기 n형 콘택층에 가까울수록 적어질 수 있다.
- <49> 상기 n형 콘택층에 인접한 장벽층부터 번호를 부여할 때, N번째 장벽층의 인듐(In) 함유량(원자%)은 N+1번째 장벽층의 인듐(In) 함유량(원자%)보다 5~20% 작을 수 있다.
- <50> 상기 n형 콘택층에 인접한 양자우물층부터 번호를 부여할 때, N번째 양자우물층의 두께는 N+1번째 양자우물층의 두께보다 5~20% 얇을 수 있다.
- <51> 상기 양자우물층은 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 층($0.05 \leq x \leq 0.5$)일 수 있다.
- <52> 상기 양자우물층의 인듐(In) 함유량은 상기 n형 콘택층에 가까울수록 적어질 수 있다.
- <53> 상기 n형 콘택층에 인접한 양자우물층부터 번호를 부여할 때, N번째 양자우물층의 인듐(In) 함유량(원자%)은 N+1번째 양자우물층의 인듐(In) 함유량(원자%)보다 5~20% 작을 수 있다.
- <54> 상기 활성층과 상기 p형 콘택층 사이에 전자 차단층이 더 구비될 수 있다.

- <55> 이하, 본 발명의 실시예에 의한 반도체 발광 소자를 첨부된 도면들을 참조하여 상세하게 설명한다. 이 과정에서 도면에 도시된 층이나 영역들의 두께는 명세서의 명확성을 위해 다소 과장되게 도시된 것이다. 도면에서 동일한 도면부호는 동일한 구성 요소를 나타내므로 그에 대한 반복 설명은 배제한다.
- <56> 도 3은 본 발명의 실시예에 따른 발광 소자를 개략적으로 보여준다.
- <57> 도 3을 참조하면, 본 발명의 발광 소자는 기판(100) 상에 형성된 n형 콘택층(200)을 포함한다. 기판(100)은 사파이어, SiC, GaN, GaAs, ZnO 및 Si 중 어느 하나로 형성한다. n형 콘택층(200) 상에 활성층(250)이 존재한다. 활성층(250)은 제1 내지 제3 양자우물층(QW1, QW2, QW3) 제1 내지 제4 장벽층(B1, B2, B3, B4)을 포함한다. 제1 내지 제3 양자우물층(QW1, QW2, QW3)은 제1 내지 제4 장벽층(B1, B2, B3, B4)의 사이 각각에 형성되어 있다. 제1 내지 제3 양자우물층(QW1, QW2, QW3)의 두께는 서로 다를 수 있다. 활성층(250) 상에 전자 차단층(electron blocking layer)(300)과 p형 콘택층(400)이 차례로 구비되어 있다. 활성층(250)에 포함된 양자우물층과 장벽층의 수는 각각 3개와 4개보다 적거나 많을 수 있다.
- <58> 본 발명의 활성층(250)은 아래의 세 가지 조건 중 적어도 어느 하나를 만족한다.
- <59> <제1 조건> : 활성층(250)의 양자우물층(QW1, QW2, QW3)은 n형 콘택층(200)에 가까울수록 큰 에너지 밴드갭을 갖는다.
- <60> <제2 조건> : 활성층(250)의 양자우물층(QW1, QW2, QW3)은 n형 콘택층(200)에 가까울수록 얇은 두께를 갖는다.
- <61> <제3 조건> : 활성층(250)의 장벽층(B1, B2, B3, B4)은 n형 콘택층(200)에 가까울수록 큰 에너지 밴드갭을 갖는다.
- <62> 활성층(250)이 상기 제1, 제2 및 제3 조건을 만족할 때를 각각 본 발명의 제1 실시예, 제2 실시예 및 제3 실시예라 한다.
- <63> <제1 실시예>
- <64> 도 4는 본 발명의 제1 실시예에 따른 반도체 발광 소자의 활성층(250)(이하, 제1 활성층)의 에너지 밴드 다이어그램이다.
- <65> 도 4를 참조하면, 상기 제1 활성층의 양자우물층(QW1, QW2, QW3)의 에너지 밴드갭은 n형 콘택층(200)에 가까울수록 크다. 즉, 제1 내지 제3 양자우물층(QW1, QW2, QW3)의 에너지 밴드갭을 각각 $Eg1(Q)$, $Eg2(Q)$ 및 $Eg3(Q)$ 라 하면, $Eg1(Q) > Eg2(Q) > Eg3(Q)$ 이다. 도면부호 BE1~BE4는 각각 장벽층(B1, B2, B3, B4)들의 에너지 밴드를 나타내고, QWE1~QWE3는 각각 양자우물층(QW1, QW2, QW3)들의 에너지 밴드를 나타낸다. 도면부호 E_c 및 E_v 는 각각 전도대의 가장 낮은 에너지 준위 및 가전대의 가장 높은 에너지 준위를 나타낸다.
- <66> 양자우물층(QW1, QW2, QW3)은 $In_xGa_{1-x}N(0.05 \leq x \leq 0.5)$ 으로 형성될 수 있고, 인듐(In) 함유량에 따라 에너지 밴드갭이 조절될 수 있다. 양자우물층(QW1, QW2, QW3)의 인듐(In) 함유량은 n형 콘택층(200)에 가까울수록 적다. 구체적으로, n형 콘택층(200)에 인접한 양자우물층부터 번호를 부여할 때, N번째 양자우물층의 인듐(In) 함유량(원자%)은 N+1번째 양자우물층의 인듐(In) 함유량(원자%)보다 5~20% 정도 작을 수 있다.
- <67> 이와 같이, 본 발명은 n형 콘택층(200)에 가까울수록 양자우물층(QW1, QW2, QW3)의 에너지 밴드갭이 커지는 경우, 전류 미인가시 n형 콘택층(200)에 가까울수록 양자우물층(QW1, QW2, QW3)의 천이 에너지가 크다. 하지만, 전류(10mA~10A)가 인가되면서 n형 콘택층(200)에 가까운 양자우물층 일수록 천이 에너지 감소 정도가 크다. 따라서 상기 제1 활성층의 양자우물층(QW1, QW2, QW3)에서 방출되는 빛의 파장은 거의 동일하게 맞춰질 수 있다. 이에 따라, 양자우물층(QW1, QW2, QW3)간 흡수가 줄어들어 발광 효율이 개선된다.
- <68> 한편, 도 4에서는 양자우물층(QW1, QW2, QW3)들의 두께가 동일하고, 장벽층(B1, B2, B3, B4)들의 에너지 밴드갭이 동일한 경우를 도시하였지만, 양자우물층(QW1, QW2, QW3)들의 두께는 다를 수 있고, 장벽층(B1, B2, B3, B4)들의 에너지 밴드갭은 다를 수 있다.
- <69> <제2 실시예>
- <70> 도 5는 본 발명의 제2 실시예에 따른 반도체 발광 소자의 활성층(250)(이하, 제2 활성층)의 에너지 밴드 다이어그램이다.
- <71> 도 5를 참조하면, 상기 제2 활성층의 양자우물층(QW1, QW2, QW3)의 두께는 n형 콘택층(200)에 가까울수록 얇다.

즉, 제1 내지 제3 양자우물층(QW1, QW2, QW3)의 두께를 각각 t_1 , t_2 및 t_3 라 하면, $t_1 < t_2 < t_3$ 이다.

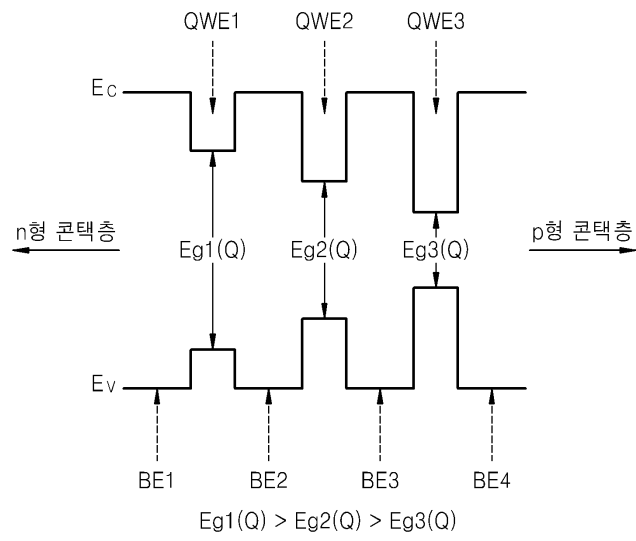
- <72> 보다 구체적으로, n형 콘택층(200)에 인접한 양자우물층부터 번호를 부여할 때, N번째 양자우물층의 두께는 N+1번째 양자우물층의 두께보다 5~20% 얇을 수 있다.
- <73> 이에 따른 효과는 상기 제1 실시예에서와 유사하다.
- <74> 한편, 도 5에서는 양자우물층(QW1, QW2, QW3)들의 에너지 밴드갭이 동일하고, 장벽층(B1, B2, B3, B4)들의 에너지 밴드갭이 동일한 경우를 도시하였지만, 양자우물층(QW1, QW2, QW3)들은 서로 다른 에너지 밴드갭을 가질 수 있고, 장벽층(B1, B2, B3, B4)들은 서로 다른 에너지 밴드갭을 가질 수 있다.
- <75> <제3 실시예>
- <76> 도 6는 본 발명의 제3 실시예에 따른 반도체 발광 소자의 활성층(250)(이하, 제3 활성층)의 에너지 밴드 다이어그램이다.
- <77> 도 6을 참조하면, 상기 제3 활성층의 장벽층(B1, B2, B3, B4)은 n형 콘택층(200)에 가까울수록 높은 에너지 밴드갭을 갖는다. 즉, 제1 내지 제4 장벽층(B1, B2, B3, B4)의 에너지 밴드갭을 각각 $Eg_1(B)$, $Eg_2(B)$, $Eg_3(B)$ 및 $Eg_4(B)$ 라 하면, $Eg_1(B) > Eg_2(B) > Eg_3(B) > Eg_4(B)$ 이다.
- <78> 장벽층(B1, B2, B3, B4)은 $In_yGa_{1-y}N$ ($0 \leq y \leq 0.1$)으로 형성될 수 있고, 인듐(In) 함유량에 따라 에너지 밴드갭이 조절될 수 있다. 장벽층(B1, B2, B3, B4)의 인듐(In) 함유량은 n형 콘택층(200)에 가까울수록 적다. n형 콘택층(200)에 인접한 장벽층부터 번호를 부여할 때, N번째 장벽층의 인듐(In) 함유량(원자%)은 N+1번째 장벽층의 인듐(In) 함유량(원자%) 보다 5~20% 정도 작을 수 있다.
- <79> 이와 같이, n형 콘택층(200)에 가까울수록 장벽층(B1, B2, B3, B4)의 에너지 밴드갭이 클 경우, 장벽층(B1, B2, B3, B4)의 에너지 밴드갭 차이에 기인하여 n형 콘택층(200)에 가까울수록 양자우물층으로의 캐리어 이동이 용이해진다. 이에 따라, 소자 동작시 n형 콘택층(200)에 가까울수록 천이 에너지가 더 많이 감소되는 현상이 보상된다. 그러므로, 상기 제1 및 제2 실시예에서와 같이, 천이 에너지 차이에 기인한 발광 파장의 불균일화를 최소화할 수 있는 바, 양자우물층(QW1, QW2, QW3)간 흡수가 줄어들어 발광 효율이 개선된다.
- <80> 한편, 도 6에서는 양자우물층(QW1, QW2, QW3)들의 에너지 밴드갭 및 두께가 동일한 경우를 도시하였지만, 양자우물층(QW1, QW2, QW3)들은 서로 다른 에너지 밴드갭 및 서로 다른 두께를 가질 수도 있다.
- <81> 도 7 내지 도 10은 활성층(250)이 제1 및 제2 양자우물층(QW1, QW2)과 제1 내지 제3 장벽층(B1, B2, B3)을 포함하는 본 발명의 발광 소자에 대한 시뮬레이션 결과를 보여준다. 각 도면에서 양자우물층에서의 전자 밀도(electron density)에 대한 피크 파장(peak wavelength)의 변화를 볼 수 있다.
- <82> 제1 양자우물층(QW1)은 n형 콘택층에 가깝고, 제2 양자우물층(QW2)은 p형 콘택층에 가깝다. 제1 및 제2 양자우물층(QW1, QW2)과 제1 내지 제3 장벽층(B1, B2, B3)의 구성은 도 3과 같다. 제1 및 제2 양자우물층(QW1, QW2)은 $In_xGa_{1-x}N$ ($0.05 \leq x \leq 0.5$)으로 형성되고, 제1 내지 제3 장벽층(B1, B2, B3)은 $In_yGa_{1-y}N$ ($0 \leq y \leq 0.1$)으로 형성된다.
- <83> 도 7은 제1 및 제2 양자우물층(QW1, QW2)의 인듐(In) 함유량이 15%로 동일한 경우의 시뮬레이션 결과이다. 반면, 도 8은 상기 제1 조건을 만족하는 경우의 시뮬레이션 결과로서, 제1 양자우물층(QW1)의 인듐(In) 함유량은 13.5%이고, 제2 양자우물층(QW2)의 인듐(In) 함유량은 15%이다.
- <84> 한편, 도 7 및 도 8의 결과를 얻기 위한 시뮬레이션에서 제1 및 제2 양자우물층(QW1, QW2)의 두께는 25Å으로 동일하게 하였고, 제1 내지 제3 장벽층(B1, B2, B3)의 인듐(In) 함유량은 2%로 동일하게 하였다. 또한, 내부 자기장(built-in electric field)은 1MV/cm로 가정하였다.
- <85> 도 7을 참조하면, 제1 및 제2 양자우물층(QW1, QW2)의 인듐(In) 함유량이 15%로 동일한 경우, 제1 및 제2 양자우물층(QW1, QW2)의 피크 파장 차이는 대략 10nm 정도이다.
- <86> 반면, 도 8을 참조하면, 제1 양자우물층(QW1)의 인듐(In) 함유량은 13.5%이고, 제2 양자우물층(QW2)의 인듐(In) 함유량은 15%인 경우, 대부분의 동작 영역에서 제1 및 제2 양자우물층(QW1, QW2)의 피크 파장의 차이는 2nm 미만으로 무시할 수 있을 정도이다.
- <87> 도 7 및 도 8의 결과로부터, n형 콘택층에 가까운 양자우물층(QW1)의 인듐(In) 함유량을 p형 콘택층에 가까운

- ## 발명의 효과

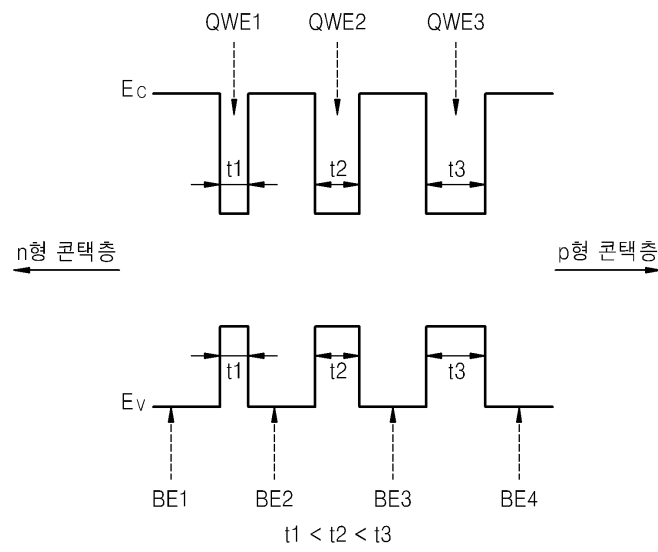
- ## 도면의 간단한 설명

- 9 -

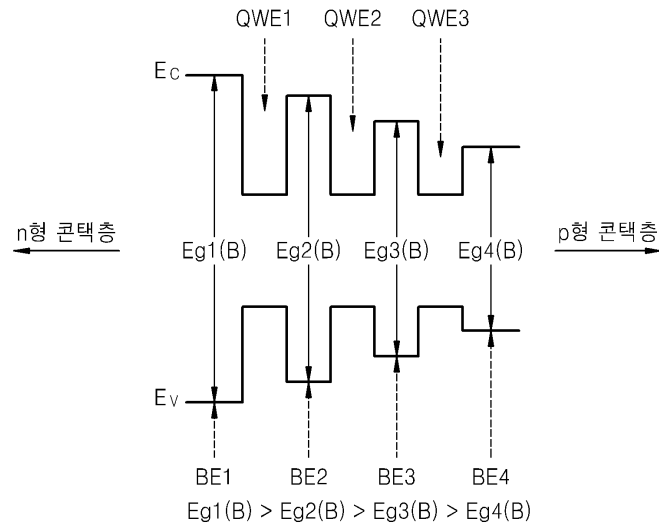
도면4



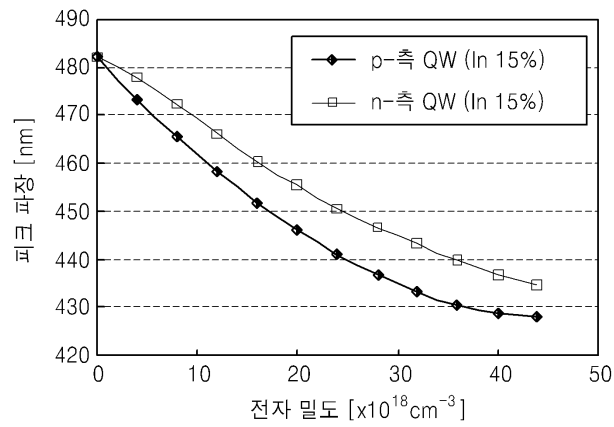
도면5



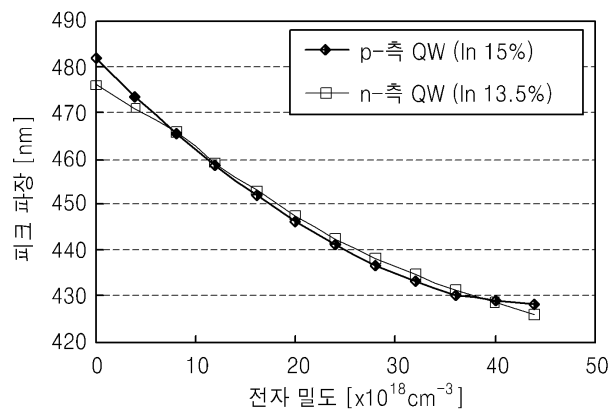
도면6



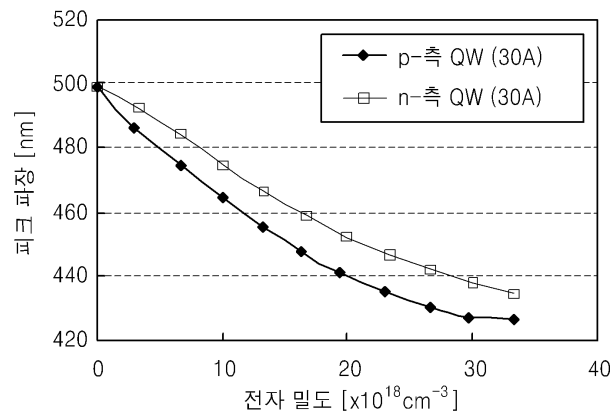
도면7



도면8



도면9



도면10

