

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2008-103711

(P2008-103711A)

(43) 公開日 平成20年5月1日(2008.5.1)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>H O 1 L 33/00 (2006.01)</b>	H O 1 L 33/00 C	5 F 0 4 1
<b>H O 1 S 5/343 (2006.01)</b>	H O 1 S 5/343 6 1 0	5 F 1 7 3

審査請求 未請求 請求項の数 31 O L (全 13 頁)

(21) 出願番号 特願2007-259068 (P2007-259068) (22) 出願日 平成19年10月2日 (2007.10.2) (31) 優先権主張番号 10-2006-0102465 (32) 優先日 平成18年10月20日 (2006.10.20) (33) 優先権主張国 韓国 (KR)	(71) 出願人 390019839 三星電子株式会社 S A M S U N G E L E C T R O N I C S C O . , L T D . 大韓民国京畿道水原市靈通区梅灘洞 4 1 6 4 1 6, M a e t a n - d o n g, Y e o n g t o n g - g u, S u w o n - s i, G y e o n g g i - d o 4 4 2 - 7 4 2 (K R) (74) 代理人 110000671 八田国際特許業務法人 (72) 発明者 柳 漢 烈 大韓民国京畿道龍仁市器興区農書洞山 1 4 - 1 番地 三星綜合技術院内 Fターム(参考) 5F041 AA03 CA04 CA05 CA40 5F173 AF06 AF13 AH22 AR03 AR23
---	--

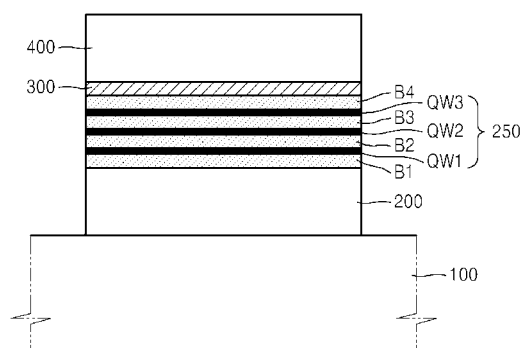
(54) 【発明の名称】 半導体発光素子

## (57) 【要約】

【課題】半導体発光素子を提供する。

【解決手段】基板 1 0 0 上に形成された n 型コンタクト層 2 0 0 と、n 型コンタクト層 2 0 0 上に形成され、二つ以上の量子ウェル層と二つ以上の障壁層とから構成された活性層 2 5 0 と、活性層 2 5 0 上に形成された p 型コンタクト層 3 0 0 と、を備え、量子ウェル層のエネルギーバンドギャップは、n 型コンタクト層 2 0 0 に近いほど大きく、及び/または量子ウェル層の厚さは、n 型コンタクト層 2 0 0 に近いほど薄く、及び/または障壁層のエネルギーバンドギャップは、n 型コンタクト層 2 0 0 に近いほど大きいことを特徴とする半導体発光素子である。

【選択図】 図 3



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

基板上に形成された n 型コンタクト層と、  
前記 n 型コンタクト層上に形成され、二つ以上の量子ウェル層と二つ以上の障壁層とを備える活性層と、  
前記活性層上に形成された p 型コンタクト層と、  
を備え、  
前記量子ウェル層と前記障壁層のうち少なくとも一つのエネルギーバンドギャップと層の厚さのうち少なくとも一つは、前記 n 型コンタクト層からの距離に依存して異なることを特徴とする半導体発光素子。

10

## 【請求項 2】

前記活性層に備えられる量子ウェル層のエネルギーバンドギャップは、前記 n 型コンタクト層に近いほど大きいことを特徴とする請求項 1 に記載の半導体発光素子。

## 【請求項 3】

前記量子ウェル層は、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  層 ( $0.05 < x < 0.5$ ) であることを特徴とする請求項 2 に記載の半導体発光素子。

## 【請求項 4】

前記量子ウェル層のインジウム含有量は、前記 n 型コンタクト層に近いほど少ないことを特徴とする請求項 3 に記載の半導体発光素子。

## 【請求項 5】

前記 n 型コンタクト層に近い量子ウェル層から番号を付与する時、N 番目の量子ウェル層のインジウム含有量 (原子%) は、N + 1 番目の量子ウェル層のインジウム含有量 (原子%) よりも 5 ~ 20 % 少ないことを特徴とする請求項 4 に記載の半導体発光素子。

20

## 【請求項 6】

前記量子ウェル層の厚さは、前記 n 型コンタクト層に近いほど薄いことを特徴とする請求項 2 に記載の半導体発光素子。

## 【請求項 7】

前記 n 型コンタクト層に近い量子ウェル層から番号を付与する時、N 番目の量子ウェル層の厚さは、N + 1 番目の量子ウェル層の厚さよりも 5 ~ 20 % 薄いことを特徴とする請求項 6 に記載の半導体発光素子。

30

## 【請求項 8】

前記活性層に備えられる障壁層のエネルギーバンドギャップは、前記 n 型コンタクト層に近いほど大きいことを特徴とする請求項 2 に記載の半導体発光素子。

## 【請求項 9】

前記障壁層は、 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  層 ( $0 < y < 0.1$ ) であることを特徴とする請求項 2 に記載の半導体発光素子。

## 【請求項 10】

前記障壁層のインジウム含有量は、前記 n 型コンタクト層に近いほど少ないことを特徴とする請求項 9 に記載の半導体発光素子。

## 【請求項 11】

前記 n 型コンタクト層に近い障壁層から番号を付与する時、N 番目の障壁層のインジウム含有量 (原子%) は、N + 1 番目の障壁層のインジウム含有量 (原子%) よりも 5 ~ 20 % 少ないことを特徴とする請求項 10 に記載の半導体発光素子。

40

## 【請求項 12】

前記活性層と前記 p 型コンタクト層との間に電子遮断層がさらに備えられることを特徴とする請求項 2 に記載の半導体発光素子。

## 【請求項 13】

前記活性層に備えられる量子ウェル層の厚さは、前記 n 型コンタクト層に近いほど薄いことを特徴とする請求項 1 に記載の半導体発光素子。

## 【請求項 14】

50

前記  $n$  型コンタクト層に近い量子ウェル層から番号を付与する時、 $N$  番目の量子ウェル層の厚さは、 $N + 1$  番目の量子ウェル層の厚さよりも  $5 \sim 20\%$  薄いことを特徴とする請求項 13 に記載の半導体発光素子。

【請求項 15】

前記量子ウェル層は、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  層 ( $0.05 \leq x \leq 0.5$ ) であることを特徴とする請求項 13 に記載の半導体発光素子。

【請求項 16】

前記量子ウェル層のインジウム含有量は、前記  $n$  型コンタクト層に近いほど少ないことを特徴とする請求項 15 に記載の半導体発光素子。

【請求項 17】

前記  $n$  型コンタクト層に近い量子ウェル層から番号を付与する時、 $N$  番目の量子ウェル層のインジウム含有量 (原子%) は、 $N + 1$  番目の量子ウェル層のインジウム含有量 (原子%) よりも  $5 \sim 20\%$  少ないことを特徴とする請求項 16 に記載の半導体発光素子。

【請求項 18】

前記活性層に備えられる障壁層のエネルギーバンドギャップは、前記  $n$  型コンタクト層に近いほど大きいことを特徴とする請求項 13 に記載の半導体発光素子。

【請求項 19】

前記障壁層は、 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  層 ( $0 \leq y \leq 0.1$ ) であることを特徴とする請求項 13 に記載の半導体発光素子。

【請求項 20】

前記障壁層のインジウム含有量は、前記  $n$  型コンタクト層に近いほど少ないことを特徴とする請求項 19 に記載の半導体発光素子。

【請求項 21】

前記  $n$  型コンタクト層に近い障壁層から番号を付与する時、 $N$  番目の障壁層のインジウム含有量 (原子%) は、 $N + 1$  番目の障壁層のインジウム含有量 (原子%) よりも  $5 \sim 20\%$  少ないことを特徴とする請求項 20 に記載の半導体発光素子。

【請求項 22】

前記活性層と前記  $p$  型コンタクト層との間に電子遮断層がさらに備えられることを特徴とする請求項 13 に記載の半導体発光素子。

【請求項 23】

前記活性層に備えられる障壁層のエネルギーバンドギャップは、前記  $n$  型コンタクト層に近いほど大きいことを特徴とする請求項 1 に記載の半導体発光素子。

【請求項 24】

前記障壁層は、 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  層 ( $0 \leq y \leq 0.1$ ) であることを特徴とする請求項 23 に記載の半導体発光素子。

【請求項 25】

前記障壁層のインジウム含有量は、前記  $n$  型コンタクト層に近いほど少ないことを特徴とする請求項 24 に記載の半導体発光素子。

【請求項 26】

前記  $n$  型コンタクト層に近い障壁層から番号を付与する時、 $N$  番目の障壁層のインジウム含有量 (原子%) は、 $N + 1$  番目の障壁層のインジウム含有量 (原子%) よりも  $5 \sim 20\%$  少ないことを特徴とする請求項 25 に記載の半導体発光素子。

【請求項 27】

前記  $n$  型コンタクト層に近い量子ウェル層から番号を付与する時、 $N$  番目の量子ウェル層の厚さは、 $N + 1$  番目の量子ウェル層の厚さよりも  $5 \sim 20\%$  薄いことを特徴とする請求項 23 に記載の半導体発光素子。

【請求項 28】

前記活性層に備えられる量子ウェル層は、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  層 ( $0.05 \leq x \leq 0.5$ ) であることを特徴とする請求項 23 に記載の半導体発光素子。

【請求項 29】

10

20

30

40

50

前記量子ウェル層のインジウム含有量は、前記 n 型コンタクト層に近いほど少ないことを特徴とする請求項 28 に記載の半導体発光素子。

【請求項 30】

前記 n 型コンタクト層に近い量子ウェル層から番号を付与する時、N 番目の量子ウェル層のインジウム含有量（原子％）は、N + 1 番目の量子ウェル層のインジウム含有量（原子％）よりも 5 ~ 20 % 少ないことを特徴とする請求項 29 に記載の半導体発光素子。

【請求項 31】

前記活性層と前記 p 型コンタクト層との間に電子遮断層がさらに備えられることを特徴とする請求項 23 に記載の半導体発光素子。

【発明の詳細な説明】

10

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体素子に係り、さらに詳細には、分極電荷の影響を減らした半導体発光素子に関する。

【背景技術】

【0002】

発光ダイオード（Light Emitting Diode：以下、LEDと記載する）及びレーザーダイオード（Laser Diode：以下、LDと記載する）から放出される光の色は、使われる化合物半導体によって変わる。窒化物系化合物半導体が使われた発光素子は、主に青色または紫色光を放出する。

20

【0003】

一般的に、LED及びLDのような発光素子は、電流を光に変える活性層を備える。前記活性層は、量子ウェル層と障壁層とが積層された構造を有し、前記量子ウェル層は、単一量子ウェル（Single Quantum Well：SQW）構造または多重量子ウェル（Multi-Quantum Well：MQW）構造を有する。多重量子ウェル構造は、少ない電流でも効率的に発光を起こすため、多重量子ウェル構造を有する発光素子の発光効率、単一量子ウェル構造を有する発光素子の発光効率よりも高い。

【0004】

図1は、従来の発光素子の多重量子ウェル構造を有する活性層のエネルギーバンド図であり、前記活性層にキャリアが注入される前の状態を示す。

30

【0005】

図1を参照すれば、活性層のエネルギーバンドは、四つの障壁層エネルギーバンドBE1、BE2、BE3、BE4とこれらの中に介在された三つの量子ウェル層エネルギーバンドQWE1、QWE2、QWE3とから構成されている。量子ウェル層エネルギーバンドQWE1、QWE2、QWE3は、障壁層エネルギーバンドBE1、BE2、BE3、BE4により互いに分離されている。n型およびp型コンタクト層は図示してはいないが、図面の左側は、n型コンタクト層が存在する方向であり、右側は、p型コンタクト層が存在する方向である。図面符号Ec及びEvは、それぞれ伝導帯の最も低いエネルギー準位及び価電子帯の最も高いエネルギー準位を示す。

【0006】

40

しかし、n型コンタクト層及びp型コンタクト層に電圧が印加される前、すなわち、活性層にキャリア（電子及び正孔）が注入される前、量子ウェル層及び障壁層のエネルギーバンドQWE1、QWE2、QWE3、BE1、BE2、BE3、BE4は、図1に示すように歪曲されている。このような歪曲は、窒化物系化合物半導体の固有の特性に起因したものであり、量子ウェル層と障壁層との界面に電荷が発生するためである。このような界面電荷によって内部電場（built-in electric field）が発生する。このような内部電場によって、量子ウェル層での電子の遷移エネルギーが小さくなり、かつ発光波長が大きくなる。

【0007】

前記界面電荷によるエネルギーバンド歪曲現象及び遷移エネルギー減少現象は、活性層

50

にキャリアが十分に供給されれば消える。すなわち、 $n$ 型コンタクト層及び $p$ 型コンタクト層に電圧が印加されて、活性層にキャリアが十分に注入されれば、キャリアにより界面電荷が消滅するので、エネルギーバンド歪曲現象及び遷移エネルギー減少現象が消える。

【0008】

しかし、窒化物系化合物半導体では、正孔の移動度が非常に小さいため、 $n$ 型コンタクト層に近い量子ウェル層に到達する正孔の量が少ない。したがって、 $n$ 型コンタクト層及び $p$ 型コンタクト層に、電圧が印加されて活性層にキャリアが十分に供給されても、活性層のエネルギーバンド歪曲現象は消えない。

【0009】

図2は、このように、活性層にキャリアが注入された後の状態の結果を示す。

10

【0010】

図2を参照すれば、図1のエネルギーバンドを有する活性層に十分なキャリアが供給された後にも、 $n$ 型コンタクト層に近いほどエネルギーバンド歪曲現象が激しい。これにより、 $n$ 型コンタクト層に近いほど遷移エネルギー減少現象が激しく、発光波長が長くなる( $\lambda_1 > \lambda_2 > \lambda_3$ )。そして、 $n$ 型コンタクト層に近い量子ウェル層は、 $p$ 型コンタクト層に近い量子ウェル層で発生する光の一部を吸収する。したがって、多重量子ウェル構造を有する活性層を備える従来の発光素子の発光効率は低下する。

【0011】

このような問題を改善するために、量子ウェル層の成長面を変化させたり、量子ウェル層と障壁層との界面に界面電荷を相殺できる物質をドーピングしたりする方法が提示されたが、このような方法は、活性層の特性を低下させうる。

20

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

本発明が解決しようとする技術的課題は、前記従来の問題点を改善するためのものであり、多重量子ウェル構造を有する活性層の発光波長の不均一性を最小化して、発光効率の低下を最小化できる半導体発光素子を提供するところにある。

【課題を解決するための手段】

【0013】

前記技術的課題を達成するために、本発明は、基板上に形成された $n$ 型コンタクト層と、前記 $n$ 型コンタクト層上に形成され、二つ以上の量子ウェル層と二つ以上の障壁層とを備える活性層と、前記活性層上に形成された $p$ 型コンタクト層とを備え、前記量子ウェル層と前記障壁層のうち少なくとも一つのエネルギーバンドギャップと層の厚さのうち少なくとも一つは、前記 $n$ 型コンタクト層からの距離に依存して異なることを特徴とする半導体発光素子を提供する。

30

【0014】

本発明の第1実施形態によれば、前記活性層に備えられる量子ウェル層のエネルギーバンドギャップは、前記 $n$ 型コンタクト層に近いほど大きい。

【0015】

前記量子ウェル層は、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ 層( $0.05 < x < 0.5$ )である。

40

【0016】

前記量子ウェル層のインジウム含有量は、前記 $n$ 型コンタクト層に近いほど少ない。

【0017】

前記 $n$ 型コンタクト層に近い量子ウェル層から番号を付与する時、 $N$ 番目の量子ウェル層のインジウム含有量(原子%)は、 $N+1$ 番目の量子ウェル層のインジウム含有量(原子%)よりも5~20%少ない。

【0018】

前記量子ウェル層の厚さは、前記 $n$ 型コンタクト層に近いほど薄い。

【0019】

前記 $n$ 型コンタクト層に近い量子ウェル層から番号を付与する時、 $N$ 番目の量子ウェル

50

層の厚さは、 $N + 1$  番目の量子ウェル層の厚さよりも  $5 \sim 20\%$  薄い。

【0020】

前記活性層に備えられる障壁層のエネルギーバンドギャップは、前記  $n$  型コンタクト層に近いほど大きい。

【0021】

前記障壁層は、 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  層 ( $0 < y < 1$ ) である。

【0022】

前記障壁層のインジウム含有量は、前記  $n$  型コンタクト層に近いほど少ない。

【0023】

前記  $n$  型コンタクト層に近い障壁層から番号を付与する時、 $N$  番目の障壁層のインジウム含有量 (原子%) は、 $N + 1$  番目の障壁層のインジウム含有量 (原子%) よりも  $5 \sim 20\%$  少ない。

【0024】

前記活性層と前記  $p$  型コンタクト層との間に電子遮断層がさらに備えられる。

【0025】

本発明の第2実施形態によれば、前記活性層に備えられる量子ウェル層の厚さは、前記  $n$  型コンタクト層に近いほど薄い。

【0026】

前記  $n$  型コンタクト層に近い量子ウェル層から番号を付与する時、 $N$  番目の量子ウェル層の厚さは、 $N + 1$  番目の量子ウェル層の厚さよりも  $5 \sim 20\%$  薄い。

【0027】

前記量子ウェル層は、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  層 ( $0.05 < x < 0.5$ ) である。

【0028】

前記量子ウェル層のインジウム含有量は、前記  $n$  型コンタクト層に近いほど少ない。

【0029】

前記  $n$  型コンタクト層に近い量子ウェル層から番号を付与する時、 $N$  番目の量子ウェル層のインジウム含有量 (原子%) は、 $N + 1$  番目の量子ウェル層のインジウム含有量 (原子%) よりも  $5 \sim 20\%$  少ない。

【0030】

前記活性層に備えられる障壁層のエネルギーバンドギャップは、前記  $n$  型コンタクト層に近いほど大きい。

【0031】

前記障壁層は、 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  層 ( $0 < y < 1$ ) である。

【0032】

前記障壁層のインジウム含有量は、前記  $n$  型コンタクト層に近いほど少ない。

【0033】

前記  $n$  型コンタクト層に近い障壁層から番号を付与する時、 $N$  番目の障壁層のインジウム含有量 (原子%) は、 $N + 1$  番目の障壁層のインジウム含有量 (原子%) よりも  $5 \sim 20\%$  少ない。

【0034】

前記活性層と前記  $p$  型コンタクト層との間に電子遮断層がさらに備えられる。

【0035】

本発明の第3実施形態によれば、前記活性層に備えられる障壁層のエネルギーバンドギャップは、前記  $p$  型コンタクト層から前記  $n$  型コンタクト層に近いほど大きい。

【0036】

前記障壁層は、 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  層 ( $0 < y < 1$ ) である。

【0037】

前記障壁層のインジウム含有量は、前記  $n$  型コンタクト層に近いほど少ない。

【0038】

前記  $n$  型コンタクト層に近い障壁層から番号を付与する時、 $N$  番目の障壁層のインジウ

10

20

30

40

50

ム含有量（原子％）は、 $N + 1$  番目の障壁層のインジウム含有量（原子％）よりも 5 ～ 20 % 少ない。

【0039】

前記  $n$  型コンタクト層に近い量子ウェル層から番号を付与する時、 $N$  番目の量子ウェル層の厚さは、 $N + 1$  番目の量子ウェル層の厚さよりも 5 ～ 20 % 薄い。

【0040】

前記活性層に備えられる量子ウェル層は、 $In_xGa_{1-x}N$  層（ $0.05 \leq x \leq 0.5$ ）である。

【0041】

前記量子ウェル層のインジウム含有量は、前記  $n$  型コンタクト層に近いほど少ない。

10

【0042】

前記  $n$  型コンタクト層に近い量子ウェル層から番号を付与する時、 $N$  番目の量子ウェル層のインジウム含有量（原子％）は、 $N + 1$  番目の量子ウェル層のインジウム含有量（原子％）よりも 5 ～ 20 % 少ない。

【0043】

前記活性層と前記  $p$  型コンタクト層との間に電子遮断層がさらに備えられる。

【発明の効果】

【0044】

本発明の発光素子において、活性層の量子ウェル層（または障壁層）のエネルギーバンドギャップ及び／または層の厚さは、 $n$  型コンタクト層に近いほど大きくする／または薄くする。したがって、素子動作時に活性層内で発光波長の不均一性を最小化することができる。これにより、量子ウェル層間の光吸収が減って発光効率が改善される。このような効果は、活性層にインジウムを多く含む青色または緑色発光素子でさらに大きくすることができる。その理由は、活性層のインジウム含有量が多いほど遷移エネルギー減少現象が激しくなるが、青色または緑色発光素子の活性層構造を本発明の活性層構造と同一にすることによって、青色または緑色発光素子の遷移エネルギー減少現象を大きく減らせるからである。

20

【0045】

また、本発明の発光素子における活性層は、その組成や厚さを適切に選択し形成することができる。従って、活性層の特性が劣化するという問題が発生しない。

30

【発明を実施するための最良の形態】

【0046】

以下、本発明の実施形態による半導体発光素子を、添付された図面を参照して詳細に説明する。この過程で図面に示された層や領域の厚さは、明細書の明確性のために誇張して示した。図面において同じ図面符号は、同じ構成要素を示すので、それに関する反復説明は排除する。

【0047】

図 3 は、本発明の実施形態による半導体発光素子を概略的に示す図である。

【0048】

図 3 を参照すれば、本発明の半導体発光素子は、基板 100 上に形成された  $n$  型コンタクト層 200 を備える。基板 100 は、サファイア、SiC、GaN、GaAs、ZnO 及び Si のうちいずれか一つで形成する。 $n$  型コンタクト層 200 上に活性層 250 が存在する。活性層 250 は、第 1 ないし第 3 量子ウェル層 QW1、QW2、QW3、第 1 ないし第 4 障壁層 B1、B2、B3、B4 を備える。第 1 ないし第 3 量子ウェル層 QW1、QW2、QW3 は、第 1 ないし第 4 障壁層 B1、B2、B3、B4 の間にそれぞれ形成されている。第 1 ないし第 3 量子ウェル層 QW1、QW2、QW3 の厚さは、互いに異なりうる。活性層 250 上に電子遮断層 300 と  $p$  型コンタクト層 400 とが順次に備えられている。活性層 250 に備えられた量子ウェル層と障壁層の数は、それぞれ 3 層と 4 層よりも少ないこともあれば、多いこともあり、限定はされない。

40

【0049】

50

本発明の活性層 250 は、下記の 3 つの条件のうち少なくともいずれか一つを満足する。

【0050】

< 第 1 条件 > : 活性層 250 の量子ウェル層 QW1、QW2、QW3 は、n 型コンタクト層 200 に近いほど大きいエネルギーバンドギャップを有する。

【0051】

< 第 2 条件 > : 活性層 250 の量子ウェル層 QW1、QW2、QW3 は、n 型コンタクト層 200 に近いほど薄い厚さを有する。

【0052】

< 第 3 条件 > : 活性層 250 の障壁層 B1、B2、B3、B4 は、n 型コンタクト層 200 に近いほど大きいエネルギーバンドギャップを有する。

【0053】

活性層 250 が前記第 1、第 2 及び第 3 条件を満足する場合を、それぞれ本発明の第 1 実施形態、第 2 実施形態、及び第 3 実施形態という。

【0054】

< 第 1 実施形態 >

図 4 は、本発明の第 1 実施形態による半導体発光素子の活性層 250 (以下、第 1 活性層) のエネルギーバンド図である。

【0055】

図 4 を参照すれば、前記第 1 活性層の量子ウェル層 QW1、QW2、QW3 のエネルギーバンドギャップは、n 型コンタクト層 200 に近いほど大きい。すなわち、第 1 ないし第 3 量子ウェル層 QW1、QW2、QW3 のエネルギーバンドギャップをそれぞれ  $E_{g1}(Q)$ 、 $E_{g2}(Q)$ 、及び  $E_{g3}(Q)$  とすれば、 $E_{g1}(Q) > E_{g2}(Q) > E_{g3}(Q)$  である。符号  $BE1 \sim BE4$  は、それぞれ障壁層 B1、B2、B3、B4 のエネルギーバンドを示し、 $QWE1 \sim QWE3$  は、それぞれ量子ウェル層 QW1、QW2、QW3 のエネルギーバンドを示す。符号  $E_c$  及び  $E_v$  は、それぞれ伝導帯の最も低いエネルギー準位及び価電子帯の最も高いエネルギー準位を示す。

【0056】

量子ウェル層 QW1、QW2、QW3 は、 $In_xGa_{1-x}N$  ( $0.05 \leq x \leq 0.5$ ) から形成され、インジウム含有量によってエネルギーバンドギャップが調節される。量子ウェル層 QW1、QW2、QW3 のインジウム含有量は、n 型コンタクト層 200 に近いほど少ない。具体的に、n 型コンタクト層 200 に近い量子ウェル層から番号を付与する時、N 番目の量子ウェル層のインジウム含有量 (原子%) は、N + 1 番目の量子ウェル層のインジウム含有量 (原子%) よりも 5 ~ 20 % 程度少ない。

【0057】

このように、本発明は、n 型コンタクト層 200 に近いほど量子ウェル層 QW1、QW2、QW3 のエネルギーバンドギャップが大きくなる場合、n 型コンタクト層 200 と p 型コンタクト層 400 との間に電流が印加されていなければ、n 型コンタクト層 200 に近いほど量子ウェル層 QW1、QW2、QW3 の遷移エネルギーが大きい。しかし、電流 ( $10\text{mA} \sim 10\text{A}$ ) が印加されれば、n 型コンタクト層 200 に近い量子ウェル層であるほど遷移エネルギー減少程度が大きい。したがって、前記第 1 活性層の量子ウェル層 QW1、QW2、QW3 から放出される光の波長は、ほぼ同じになりうる。これにより、量子ウェル層 QW1、QW2、QW3 間の吸収が減って発光効率が改善される。

【0058】

一方、図 4 では、量子ウェル層 QW1、QW2、QW3 の厚さが同一であり、障壁層 B1、B2、B3、B4 のエネルギーバンドギャップが同一な場合を示したが、量子ウェル層 QW1、QW2、QW3 の厚さは、異なってもよく、障壁層 B1、B2、B3、B4 のエネルギーバンドギャップは、異なってもよい。

【0059】

< 第 2 実施形態 >

10

20

30

40

50



図 5 は、本発明の第 2 実施形態による半導体発光素子の活性層 250（以下、第 2 活性層）のエネルギーバンド図である。

【0060】

図 5 を参照すれば、前記第 2 活性層の量子ウェル層 QW1、QW2、QW3 の厚さは、n 型コンタクト層 200 に近いほど薄い。すなわち、第 1 ないし第 3 量子ウェル層 QW1、QW2、QW3 の厚さをそれぞれ  $t_1$ 、 $t_2$  及び  $t_3$  とすれば、 $t_1 < t_2 < t_3$  である。

【0061】

さらに具体的には、n 型コンタクト層 200 に近い量子ウェル層から番号を付与する時、N 番目の量子ウェル層の厚さは、N + 1 番目の量子ウェル層の厚さよりも 5 ~ 20 % 薄い。

10

【0062】

これによる効果は、前記第 1 実施形態と類似している。

【0063】

一方、図 5 では、量子ウェル層 QW1、QW2、QW3 のエネルギーバンドギャップが同一であり、障壁層 B1、B2、B3、B4 のエネルギーバンドギャップが同一な場合を示したが、量子ウェル層 QW1、QW2、QW3 は、互いに異なるエネルギーバンドギャップを有してもよく、障壁層 B1、B2、B3、B4 は、互いに異なるエネルギーバンドギャップを有してもよい。

【0064】

20

< 第 3 実施形態 >

図 6 は、本発明の第 3 実施形態による半導体発光素子の活性層 250（以下、第 3 活性層）のエネルギーバンド図である。

【0065】

図 6 を参照すれば、前記第 3 活性層の障壁層 B1、B2、B3、B4 は、n 型コンタクト層 200 に近いほど大きいエネルギーバンドギャップを有する。すなわち、第 1 ないし第 4 障壁層 B1、B2、B3、B4 のエネルギーバンドギャップをそれぞれ  $E_{g1}(B)$ 、 $E_{g2}(B)$ 、 $E_{g3}(B)$  及び  $E_{g4}(B)$  とすれば、 $E_{g1}(B) > E_{g2}(B) > E_{g3}(B) > E_{g4}(B)$  である。

【0066】

30

障壁層 B1、B2、B3、B4 は、 $In_yGa_{1-y}N$  ( $0 \leq y \leq 0.1$ ) から形成され、インジウム含有量によってエネルギーバンドギャップが調節されうる。障壁層 B1、B2、B3、B4 のインジウム含有量は、n 型コンタクト層 200 に近いほど少ない。n 型コンタクト層 200 に近い障壁層から番号を付与する時、N 番目の障壁層のインジウム含有量（原子%）は、N + 1 番目の障壁層のインジウム含有量（原子%）よりも 5 ~ 20 % 程度小さい。

【0067】

このように、n 型コンタクト層 200 に近いほど障壁層 B1、B2、B3、B4 のエネルギーバンドギャップが大きい場合、障壁層 B1、B2、B3、B4 のエネルギーバンドギャップ差に起因して、n 型コンタクト層 200 に近いほど量子ウェル層へのキャリア移動が容易になる。これにより、素子動作時に n 型コンタクト層 200 に近いほど遷移エネルギーがさらに多く減少する現象が補償される。したがって、前記第 1 及び第 2 実施形態と同様に、遷移エネルギー差に起因する発光波長の不均一化を最小化できるので、量子ウェル層 QW1、QW2、QW3 間の吸収が減って発光効率が改善される。

40

【0068】

一方、図 6 では、量子ウェル層 QW1、QW2、QW3 のエネルギーバンドギャップ及び層の厚さが同じ場合を示したが、量子ウェル層 QW1、QW2、QW3 は、互いに異なるエネルギーバンドギャップ及び互いに異なる層の厚さを有してもよい。

【0069】

図 7 ないし図 10 は、活性層 250 が第 1 及び第 2 量子ウェル層 QW1、QW2 と第 1

50

ないし第3障壁層B1、B2、B3とを備える本発明の発光素子に対するシミュレーション結果を示す。各図面に量子ウェル層での電子密度に対するピーク波長の変化が示されている。

#### 【0070】

第1量子ウェル層QW1は、n型コンタクト層に近く、第2量子ウェル層QW2は、p型コンタクト層に近い。第1及び第2量子ウェル層QW1、QW2と第1ないし第3障壁層B1、B2、B3の構成は、図3と同一である。第1及び第2量子ウェル層QW1、QW2は、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$  ( $0.05 < x < 0.5$ ) から形成され、第1ないし第3障壁層B1、B2、B3は、 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$  ( $0 < y < 0.1$ ) から形成される。

#### 【0071】

図7は、第1及び第2量子ウェル層QW1、QW2のインジウム含有量が、15%と同一な場合のシミュレーション結果である。一方、図8は、前記第1条件を満足する場合のシミュレーション結果であり、第1量子ウェル層QW1のインジウム含有量は13.5%であり、第2量子ウェル層QW2のインジウム含有量は15%である。

#### 【0072】

一方、図7及び図8の結果を得るためのシミュレーションで、第1及び第2量子ウェル層QW1、QW2の厚さは、25で同一にし、第1ないし第3障壁層B1、B2、B3のインジウム含有量は、2%で同一にした。また、内部電場は、1MV/cmと仮定した。

#### 【0073】

図7を参照すれば、第1及び第2量子ウェル層QW1、QW2のインジウム含有量が、15%と同一な場合、第1及び第2量子ウェル層QW1、QW2のピーク波長差は、およそ10nmである。

#### 【0074】

一方、図8を参照すれば、第1量子ウェル層QW1のインジウム含有量は13.5%であり、第2量子ウェル層QW2のインジウム含有量は15%である場合、ほとんどの動作領域で第1及び第2量子ウェル層QW1、QW2のピーク波長の差は、2nm未満で無視してもよい程度である。

#### 【0075】

図7及び図8の結果から、n型コンタクト層に近い量子ウェル層QW1のインジウム含有量を、p型コンタクト層に近い量子ウェル層QW2のインジウム含有量よりも少なくすれば、発光効率が改善されることが分かる。

#### 【0076】

図9は、第1及び第2量子ウェル層QW1、QW2の厚さが、30と同一な場合のシミュレーション結果である。一方、図10は、第1及び第2量子ウェル層QW1、QW2が前記第2条件を満足する場合のシミュレーション結果であり、第1量子ウェル層QW1の厚さは、27であり、第2量子ウェル層QW2の厚さは、30である。

#### 【0077】

一方、図9及び図10で第1及び第2量子ウェル層QW1、QW2のインジウム含有量は、13%で同一にし、第1ないし第3障壁層B1、B2、B3のインジウム含有量は、2%で同一にした。そして、内部電場は、1MV/cmと仮定した。

#### 【0078】

図9を参照すれば、第1及び第2量子ウェル層QW1、QW2の厚さが30と同一な場合、第1及び第2量子ウェル層QW1、QW2のピーク波長の差は、およそ10nmである。

#### 【0079】

一方、図10を参照すれば、第1量子ウェル層QW1の厚さが27であり、第2量子ウェル層QW2の厚さが30である場合、第1及び第2量子ウェル層QW1、QW2のピーク波長の差は、10nmよりもはるかに小さい。

#### 【0080】

10

20

30

40

50

図 9 及び図 10 の結果から、n 型コンタクト層に近い量子ウェル層 QW 1 の厚さが、p 型コンタクト層に近い量子ウェル層 QW 2 の厚さよりも薄い時、発光効率が改善されることが分かる。

#### 【0081】

以上の説明で、多くの事項が具体的に記載されているが、これらは、発明の範囲を限定するものではなく、望ましい実施形態の例示として解釈されねばならない。したがって、本発明の範囲は、説明された実施形態によって決定されず、特許請求の範囲に記載された技術的思想によって決定されねばならない。

#### 【産業上の利用可能性】

#### 【0082】

本発明は、半導体素子関連の技術分野に好適に用いられる。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0083】

【図 1】従来の発光素子の多重量子ウェル構造を有する活性層のエネルギーバンド図であって、前記活性層にキャリアが注入される前のエネルギーバンド図である。

【図 2】図 1 の活性層にキャリアが注入された後のエネルギーバンド図である。

【図 3】本発明の実施形態による半導体発光素子の断面図である。

【図 4】本発明の第 1 実施形態による半導体発光素子の活性層のエネルギーバンド図である。

【図 5】本発明の第 2 実施形態による半導体発光素子の活性層のエネルギーバンド図である。

【図 6】本発明の第 3 実施形態による半導体発光素子の活性層のエネルギーバンド図である。

【図 7】本発明の半導体発光素子に対するシミュレーション結果であって、量子ウェル層での電子密度に対するピーク波長の変化を示すグラフである。

【図 8】本発明の半導体発光素子に対するシミュレーション結果であって、量子ウェル層での電子密度に対するピーク波長の変化を示すグラフである。

【図 9】本発明の半導体発光素子に対するシミュレーション結果であって、量子ウェル層での電子密度に対するピーク波長の変化を示すグラフである。

【図 10】本発明の半導体発光素子に対するシミュレーション結果であって、量子ウェル層での電子密度に対するピーク波長の変化を示すグラフである。

#### 【符号の説明】

#### 【0084】

100 基板、  
200 n 型コンタクト層、  
250 活性層、  
300 電子遮断層、  
400 p 型コンタクト層、  
B1、B2、B3、B4 障壁層、  
QW1、QW2、QW3 量子ウェル層。

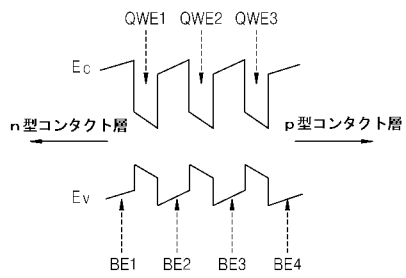
10

20

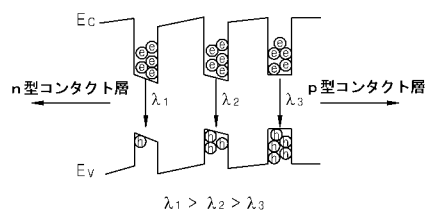
30

40

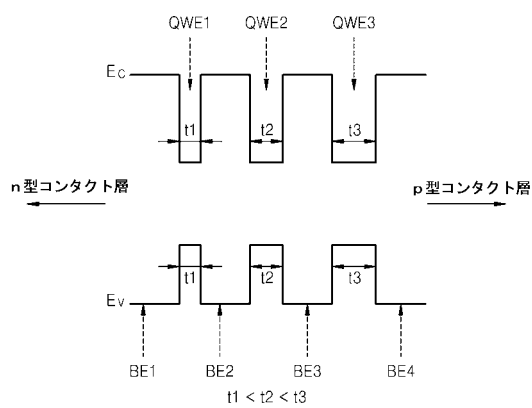
【図 1】



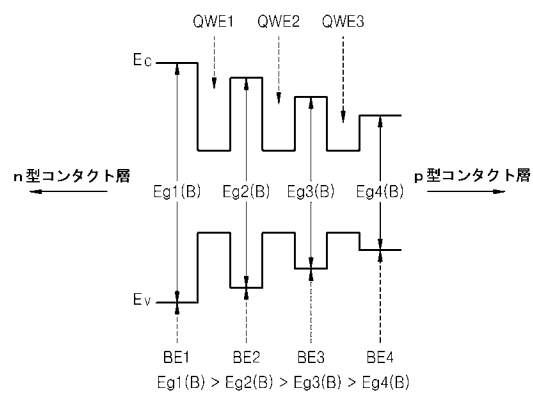
【図 2】



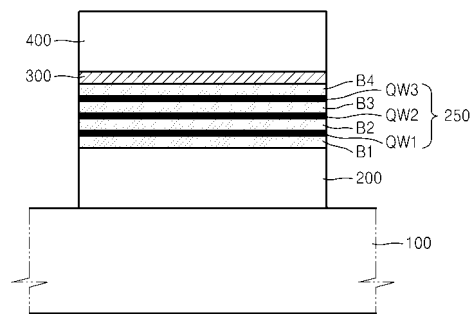
【図 5】



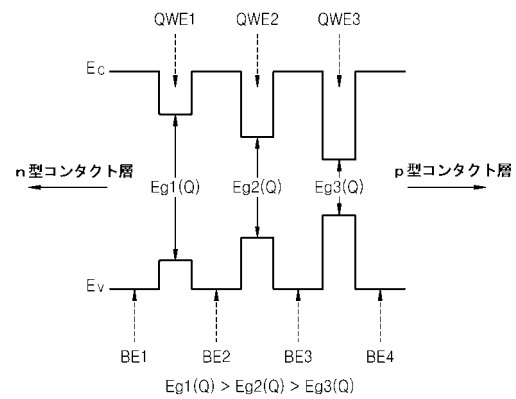
【図 6】



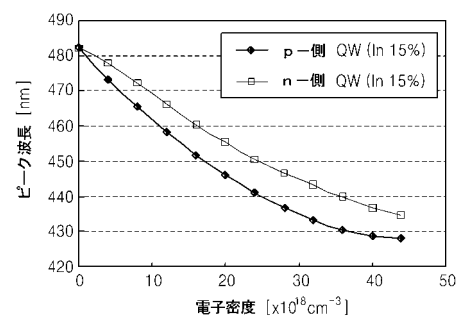
【図 3】



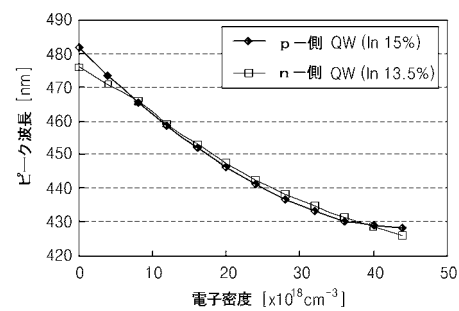
【図 4】



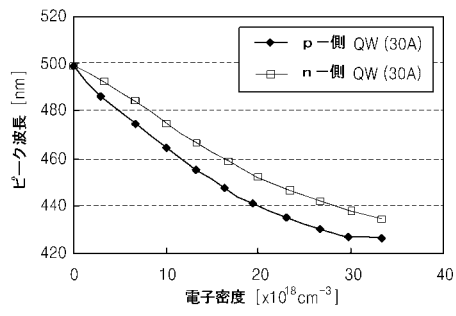
【図 7】



【図 8】



【 図 9 】



【 図 1 0 】

