

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5868650号
(P5868650)

(45) 発行日 平成28年2月24日(2016.2.24)

(24) 登録日 平成28年1月15日(2016.1.15)

(51) Int.Cl. F I
HO 1 L 33/32 (2010.01) HO 1 L 33/00 1 8 6
HO 1 S 5/343 (2006.01) HO 1 S 5/343 6 1 0

請求項の数 7 (全 19 頁)

| | | | |
|-----------|-------------------------------|-----------|------------------------|
| (21) 出願番号 | 特願2011-224366 (P2011-224366) | (73) 特許権者 | 000003078 |
| (22) 出願日 | 平成23年10月11日(2011.10.11) | | 株式会社東芝 |
| (65) 公開番号 | 特開2013-84818 (P2013-84818A) | | 東京都港区芝浦一丁目1番1号 |
| (43) 公開日 | 平成25年5月9日(2013.5.9) | (74) 代理人 | 100108062 |
| 審査請求日 | 平成26年2月3日(2014.2.3) | | 弁理士 日向寺 雅彦 |
| 審判番号 | 不服2014-25784 (P2014-25784/J1) | (72) 発明者 | 木村 重哉 |
| 審判請求日 | 平成26年12月17日(2014.12.17) | | 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内 |
| | | (72) 発明者 | 橘 浩一 |
| | | | 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内 |
| | | (72) 発明者 | 布上 真也 |
| | | | 東京都港区芝浦一丁目1番1号 株式会社東芝内 |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体発光素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

窒化物半導体を含むn形半導体層と、
 窒化物半導体を含むp形半導体層と、
 前記n形半導体層と前記p形半導体層との間に設けられた発光層と、
 を備え、
 前記発光層は、交互に積層された、複数の障壁層と、複数の井戸層と、を含み、
 前記複数の障壁層のうちで最も前記p形半導体層に近いp側障壁層は、
 III族元素を含む第1層と、
 前記第1層と積層されIII族元素を含む第2層であって、前記第2層のIII族元素中におけるIn組成比が、前記第1層のIII族元素中におけるIn組成比よりも高い、第2層と、
 を含み、
 前記p側障壁層の平均In組成比は、前記複数の障壁層のうちで最もn形半導体層に近いn側障壁層の平均In組成比よりも高く、
前記第1層は複数設けられ、
前記第2層は複数設けられ、
前記複数の第1層と前記複数の第2層とは、交互に並び、
前記複数の第1層の1つは、複数の井戸層のうちの1つに接し、
前記複数の第1層の別の1つは、複数の井戸層のうちの別の1つに接し、

10

20

前記複数の第1層のそれぞれの厚さは、1ナノメートル以下である半導体発光素子。

【請求項2】

前記第2層の厚さは、2ナノメートル以下である請求項1記載の半導体発光素子。

【請求項3】

前記複数の障壁層は、前記p側障壁層と、前記n側障壁層と、の間の中間障壁層を含み、

前記中間障壁層は、

III族元素を含む第3層と、

前記第3層と積層されIII族元素を含む第4層であって、前記第4層のIII族元素中におけるIn組成比は、前記第3層のIII族元素中におけるIn組成比よりも高い、第4層と、を含み、

10

前記中間障壁層の平均In組成比は、前記p側障壁層の前記平均In組成比よりも低く、前記n側障壁層の前記平均In組成比よりも高い請求項1または2に記載の半導体発光素子。

【請求項4】

前記第1層の前記In組成比は、0.02以下であり、

前記第2層の前記In組成比は、0.13以下である請求項1～3のいずれか1つに記載の半導体発光素子。

【請求項5】

前記第2層の前記In組成比は、前記複数の井戸層のうちで最も前記p形半導体層に近いp側井戸層のIn組成比の1/2以下である請求項1～4のいずれか1つに記載の半導体発光素子。

20

【請求項6】

前記複数の井戸層のうちで最も前記p形半導体層に近いp側井戸層の厚さは、前記複数の井戸層のうちで最も前記n形半導体層に近いn側井戸層の厚さよりも厚い請求項1～5のいずれか1つに記載の半導体発光素子。

【請求項7】

前記複数の障壁層のそれぞれの厚さは、10ナノメートル以下であり、

前記複数の井戸層のそれぞれの厚さは、3ナノメートル以上6ナノメートル以下である請求項1～6のいずれか1つに記載の半導体発光素子。

30

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明の実施形態は、半導体発光素子に関する。

【背景技術】

【0002】

窒化ガリウム(GaN)などの窒化物系III-V族化合物半導体は、ワイドバンドギャップというその特徴を活かし、高輝度の発光ダイオード(LED:Light Emitting Diode)や、レーザダイオード(LD:Laser Diode)などに応用されている。

【0003】

40

これらの発光素子は、n形半導体層と、p形半導体層と、その間に設けられ、量子井戸層と障壁層とを有する発光層と、を有している。

このような半導体発光素子において、高い発光効率を実現することが望まれている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2007-116147号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

50

本発明は、発光効率の高い半導体発光素子を提供する。

【課題を解決するための手段】

【0006】

実施形態に係る半導体発光素子は、窒化物半導体を含むn形半導体層と、窒化物半導体を含むp形半導体層と、前記n形半導体層と前記p形半導体層との間に設けられた発光層と、を備える。前記発光層は、交互に積層された、複数の障壁層と、複数の井戸層と、を含む。前記複数の障壁層のうちで最も前記p形半導体層に近いp側障壁層は、III族元素を含む第1層と、前記第1層と積層されIII族元素を含む第2層であって、前記第2層のIII族元素中におけるIn組成比が、前記第1層のIII族元素中におけるIn組成比よりも高い、第2層と、を含む。前記p側障壁層の平均In組成比は、前記複数の障壁層のうちで最もn形半導体層に近いn側障壁層の平均In組成比よりも高い。前記第1層は複数設けられ、前記第2層は複数設けられ、前記複数の第1層と前記複数の第2層とは、交互に並ぶ。前記複数の第1層の1つは、複数の井戸層のうちの1つに接し、前記複数の第1層の別の1つは、複数の井戸層のうちの別の1つに接する。前記複数の第1層のそれぞれの厚さは、1ナノメートル以下である。

10

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1】(a)~(b)は、実施形態に係る半導体発光素子の一部の構成を例示する模式的断面図である。

【図2】実施形態に係る半導体発光素子の構成を例示する模式的断面図である。

20

【図3】実施形態に係る半導体発光素子のIn組成比を例示する図である。

【図4】実施形態に係る半導体発光素子のIn組成比を例示する図である。

【図5】参考例の半導体発光素子のIn組成比を例示する図である。

【図6】(a)~(d)は、実施形態に係るエネルギーバンド及びキャリア濃度分布を例示する図である。

【図7】(a)~(d)は、実施形態に係る半導体発光素子のエネルギーバンド及びキャリア濃度分布を例示する図である。

【図8】(a)~(d)は、参考例の半導体発光素子のエネルギーバンド図及びキャリア濃度分布を例示する図である。

【図9】半導体発光素子の特性を例示する図である。

30

【図10】(a)~(b)は、実施形態に係る他の半導体発光素子のIn組成比を例示する図である。

【図11】(a)~(b)は、実施形態に係る他の半導体発光素子のIn組成比を例示する図である。

【図12】実施形態に係る他の半導体発光素子のIn組成比を例示する図である。

【図13】半導体発光素子の特性を例示する図である。

【図14】半導体発光素子の特性を例示する図である。

【発明を実施するための形態】

【0008】

以下、本発明の実施形態を図に基づき説明する。

40

なお、図面は模式的または概念的なものであり、各部分の厚みと幅との関係、部分間の大きさの比係数などは、必ずしも現実のものと同じとは限らない。また、同じ部分を表す場合であっても、図面により互いの寸法や比係数が異なって表される場合もある。

また、本願明細書と各図において、既出の図に関して前述したものと同様の要素には同一の符号を付して詳細な説明は適宜省略する。

【0009】

(実施形態)

図1(a)~(b)は、実施形態に係る半導体発光素子の一部の構成を例示する模式的断面図である。

図1(a)は、半導体発光素子の模式的断面図、図1(b)は、障壁層の模式的断面図

50

である。

図2は、実施形態に係る半導体発光素子の構成を例示する模式的断面図である。

図2に表したように、本実施形態に係る半導体発光素子110は、n形半導体層20と、p形半導体層50と、n形半導体層20とp形半導体層50との間に設けられた発光層40と、を備える。半導体発光素子110においては、発光層40と、n形半導体層20と、の間に積層体30が設けられていてもよい。

【0010】

n形半導体層20及びp形半導体層50は、窒化物半導体を含む。

発光層40は、例えば活性層である。積層体30は、例えば超格子層である。

【0011】

半導体発光素子110においては、例えばサファイヤからなる基板10の主面(例えばc面)に、例えばバッファ層11が設けられ、その上に、例えばアンドープのGaN下地層21と、n形GaNコンタクト層22と、が設けられる。n形GaNコンタクト層22は、n形半導体層20に含まれる。なお、GaN下地層21は、便宜的にn形半導体層20に含まれるものとしてもよい。

【0012】

n形GaNコンタクト層22の上には、積層体30が設けられている。積層体30においては、例えば、第1結晶層31と、第2結晶層32と、が交互に積層されている。

【0013】

積層体30の上には、発光層40(活性層)が設けられている。発光層40は、例えば多重量子井戸(MQW: Multiple Quantum Well)構造を有する。すなわち、発光層40は、複数の障壁層41及び複数の井戸層42が、交互に繰り返し積層された構造を含んでいる。障壁層41及び井戸層42の詳しい構成については後述する。

【0014】

発光層40の上には、p形AlGaN層51、p形の例えばMgドープGaN層52、及び、p形GaNコンタクト層53が、この順に設けられている。なお、p形AlGaN層51は、電子オーバーフロー抑制層の機能を有する。p形AlGaN層51、MgドープGaN層52及びp形GaNコンタクト層53は、p形半導体層50に含まれる。また、p形GaNコンタクト層53の上には、透明電極60が設けられている。

【0015】

そして、n形半導体層20であるn形GaNコンタクト層22の一部、その一部に対応する積層体30、発光層40及びp形半導体層50が除去され、n形GaNコンタクト層22の上にn側電極70が設けられる。n側電極70には、例えばTi/Pt/Auの積層構造が用いられる。一方、透明電極60の上には、p側電極80が設けられる。

このように、本実施形態に係る本具体例の半導体発光素子110は、発光ダイオード(LED: Light Emitting Diode)である。

【0016】

半導体発光素子110は、例えば以下のようにして製造できる。

まず、有機洗浄、酸洗浄した例えばc面サファイヤの基板10を、MOCVD(Metal Organic Chemical Vapor Deposition)装置の反応炉に導入し、反応炉のサセプタ上で約1100に加熱する。これにより、基板10の表面の酸化膜が除去される。

【0017】

次に、基板10の主面(c面)の上に、30nmの厚さでバッファ層11を成長させる。さらに、バッファ層11の上に、3マイクロメートル(μm)の厚さでアンドープのGaN下地層21を成長させる。さらに、GaN下地層21の上に、2 μm の厚さで、SiドープのGaNによるn形GaNコンタクト層22を成長させる。

【0018】

次に、n形GaNコンタクト層22の上に、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ である第1結晶層31と、 $\text{In}_y\text{Ga}_{1-y}\text{N}$ である第2結晶層32と、を交互に30周期積層し、積層体30を形成する。

10

20

30

40

50

【0019】

次に、積層体30の上に、障壁層41と井戸層42とを交互に積層する。

さらに、最も上の障壁層41の上に、Alの組成比が0.003で5nmの厚さのAlGa_{0.997}N層を成長させ、この後、Alの組成比が0.1で10nmの厚さのMgドープAlGa_{0.9}N層51と、80nmの厚さのMgドープp形Ga_{0.9}N層52(Mg濃度は $2 \times 10^{19}/\text{cm}^3$)、及び、10nm程度の厚さの高濃度MgドープGa_{0.9}N層53(Mg濃度は $1 \times 10^{21}/\text{cm}^3$)をそれぞれ積層させる。この後、上記の結晶が成長した基板10を、MOCVD装置の反応炉から取り出す。

【0020】

次に、上記の多層膜構造の一部をn形Ga_{0.9}Nコンタクト層22の途中までドライエッチングして露出させ、この上に、Ti/Pt/Auのn側電極70を形成する。また、高濃度MgドープGa_{0.9}N層53の表面上に、ITO(Indium Tin Oxide)である透明電極60を形成し、その一部に、例えば直径80μmのNi/Auによるp側電極80を形成する。これにより、半導体発光素子110が作製される。

10

【0021】

なお、上記においては、成膜法としてMOCVD(有機金属気相)法を用いる例について説明したが、例えば分子線エピタキシ(MBE)法やハライド気相成長(HVPE)法などの他の方法も適用可能である。

【0022】

次に、発光層40の多重量子井戸構造について説明する。

20

図1(a)及び(b)に表したように、発光層40の多重量子井戸構造は、複数の障壁層41(1)~41(n)と、複数の井戸層42(1)~42(n)と、を有する。なお、符号に含まれる“n”は層の番号に対応した2以上の整数である。

本明細書において、複数の障壁層41(1)~41(n)を区別せずに総称するときは障壁層41といい、複数の井戸層42(1)~42(n)を区別せずに総称するときは井戸層42ということにする。

【0023】

複数の障壁層41は、n形半導体層20からp形半導体層50に向けて第1番目の障壁層41(1)、第2番目の障壁層41(2)、...、第(n-1)番目の障壁層41(n-1)、第n番目の障壁層41(n)を有する。複数の障壁層41のうちの最もn形半導体層20に近い第1番目の障壁層41(1)をn側障壁層ともいい、最もp形半導体層50に近い第n番目の障壁層41(n)をp側障壁層ともいう。

30

【0024】

複数の井戸層42は、n形半導体層20からp形半導体層50に向けて第1番目の井戸層42(1)、第2番目の井戸層42(2)、...、第(n-1)番目の井戸層42(n-1)、第n番目の井戸層42(n)を有する。複数の井戸層42のうちの最もn形半導体層20に近い第1番目の井戸層42(1)をn側井戸層ともいい、最もp形半導体層50に近い第n番目の井戸層42(n)をp側井戸層ともいう。

【0025】

障壁層41及び井戸層42は、窒化物半導体を含む。なお、障壁層41及び井戸層42には、微量のAl等が含まれていてもよい。

40

井戸層42には、例えばInを含む窒化物半導体を用いられる。障壁層41のバンドギャップエネルギーは、井戸層42のバンドギャップエネルギーよりも大きい。

【0026】

井戸層42は、 $\text{In}_w\text{Ga}_{1-w}\text{N}$ ($0 < w < 1$)を含む。井戸層42の厚さは、厚さ t_w (ナノメートル)である。井戸層42の厚さ t_w は、例えば3ナノメートル(nm)以上6nm以下である。

【0027】

半導体発光素子110において、少なくとも第n番目の障壁層41(n)には、第1層LL(n)と、第2層HL(n)と、が設けられる。

50

なお、層番号にかかわらず第1層LL(n)を総称する場合には第1層LLともいう。また、層番号にかかわらず第2層HL(n)を総称する場合には第2層HLともいう。

【0028】

第1層LLは、III族元素を含む。第1層LLは、例えば、 $In_{b_1}Ga_{1-b_1}N(0 < b_1)$ を含む。第2層HLは、第1層LLのIII族元素中におけるInの組成比よりも高いIII族元素中におけるInの組成比を有する。第2層HL(n)は、例えば、 $In_{b_2}Ga_{1-b_2}N(b_1 < b_2)$ を含む。

第2層HLのバンドギャップエネルギーは、第1層LLのバンドギャップエネルギーよりも小さい。

【0029】

1つの障壁層41において、第1層LLは複数設けられ、第2層HLは単数または複数設けられる。そして、前記複数の第1層LLの間に、第2層HLが設けられる。

【0030】

半導体発光素子110において、p側障壁層である第n番目の障壁層41(n)の厚さ方向に平均したInの組成比は、n側障壁層である第1番目の障壁層41(1)の厚さ方向に平均したInの組成比よりも高い。

【0031】

ここで、障壁層41の厚さ方向に平均したInの組成比を、平均In組成比という。

すなわち、第1層LLが、 $In_{b_1}Ga_{1-b_1}N(0 < b_1)$ を含み、厚さ t_{LL} (ナノメートル)を有し、第2層HLが、 $In_{b_2}Ga_{1-b_2}N(b_1 < b_2)$ を含み、厚さ t_{HL} (ナノメートル)を有するとき、障壁層41の平均In組成比は、 $(b_1 \times t_{LL} + b_2 \times t_{HL}) / (t_{LL} + t_{HL})$ と定義される。

【0032】

第1層LL及び第2層HLは、複数の障壁層41にそれぞれ設けられていてもよい。複数の障壁層41にそれぞれ第1層LL及び第2層HLが設けられる場合、第2層HLのIn組成比 b_2 は、前記複数の障壁層41のそれぞれで異なるようにしてもよい。

この場合、複数の障壁層41のそれぞれの平均In組成比は、p形半導体層50に近い障壁層41からn形半導体層50に近い障壁層41にかけて段階的に低くなるようにする。

【0033】

例えば、p側障壁層である第n番目の障壁層41(n)と、n側障壁層である第1番目の障壁層41(1)と、の間に中間障壁層である第m番目($1 < m < n$)の障壁層41(m)がある場合、第m番目の障壁層41(m)の平均In組成比は、第n番目の障壁層41(n)の平均In組成比よりも低く、第1番目の障壁層41(1)の平均In組成比よりも高くする。

具体的な一例として、p形半導体層50に近い障壁層41ほどIn組成比 b_2 を大きく、n形半導体層20に近い障壁層41ほどIn組成比 b_2 を小さくする。

【0034】

また、複数の障壁層41のそれぞれの平均In組成比は、全ての障壁層41で互いに異なる必要はない。例えば、隣り合う複数の障壁層41を1つの組として複数の組を構成した場合、同じ組の障壁層41の平均In組成比は等しく、組ごとにp形半導体層50からn形半導体層20にかけて平均In組成比を段階的に減少させてもよい。

【0035】

例えば、第1番目の障壁層41(1)と第2番目の障壁層41(2)との組、第3番目の障壁層41(3)と第4番目の障壁層41(4)との組、...、第(n-3)番目の障壁層41(n-3)と第(n-2)番目の障壁層41(n-2)との組、第(n-1)番目の障壁層41(n-1)と第n番目の障壁層41(n)との組において、同じ組に属する複数の障壁層41の平均In組成比は同じであって、組ごとの平均In組成比は、p形半導体層50からn形半導体層20にかけて減少する構成にしてもよい。

【0036】

10

20

30

40

50

また、複数の障壁層 4 1 を、p 形半導体層 5 0 側の組 (p 側の組) と、n 形半導体層 2 0 の側の組 (n 側の組) と、に分けた場合、p 側の組の 1 つ以上の障壁層 4 1 はいずれも組成比 b_{21} ($b_{21} > 0$) であり、n 側の組の 1 つ以上の障壁層 4 1 はいずれも組成比 b_{22} ($b_{22} < b_{21}$) であるという構成でもよい。

【 0 0 3 7 】

発光層 4 0 の多重量子井戸構造をこのような構成にすることによって、井戸層 4 2 に対する障壁層 4 1 のホールに対する量子ポテンシャルが低下する。このため、多重量子井戸におけるホールの注入が効率化し、キャリアの分散化が図られることで、LED の外部量子効率が上昇する。

【 0 0 3 8 】

次に、実施形態に係る半導体発光素子 1 1 0 の障壁層 4 1 及び井戸層 4 2 の具体例について説明する。

本実施形態に係る半導体発光素子 1 1 0 においては、障壁層 4 1 の厚さ t_b は、10 nm 以下と薄くする。好ましくは、厚さ t_b は、3 nm 以上 8 nm 以下にする。これにより、p 形半導体層 5 0 から注入されるホールが効率的に発光層 4 0 に供給され、半導体発光素子 1 1 0 の発光効率が高まる。また、半導体発光素子 1 1 0 の動作電圧は、実用上要求されている程度に低下する。

【 0 0 3 9 】

本実施形態に係る半導体発光素子 1 1 0 においては、障壁層 4 1 の第 1 層 LL の厚さ t_{LL} は 3 nm 未満とすることが望ましく、1 nm 程度とすることがより好ましい。これによって、井戸層 4 2 に対する障壁層 4 1 のホールにとっての量子ポテンシャルが低下する。

【 0 0 4 0 】

本実施形態に係る半導体発光素子 1 1 0 においては、障壁層 4 1 の第 2 層 HL の厚さ t_{HL} は 2 nm 以下にすることが望ましい。第 2 層 HL をこれ以上厚くすると、障壁層 4 1 の結晶性が劣化しやすくなる。

【 0 0 4 1 】

本実施形態に係る半導体発光素子 1 1 0 においては、障壁層 4 1 の第 1 層 LL の In 組成比 b_1 は 0.02 以下であり、0.00 とすることが最も望ましい。これよりも In 組成比を多くすると、結晶性が劣化しやすくなる。

【 0 0 4 2 】

本実施形態に係る半導体発光素子 1 1 0 においては、p 側障壁層である第 n 番目の障壁層 4 1 (n) の第 2 層 HL (n) の In 組成比 b_2 は、0.04 以上 0.13 以下とすることが望ましく、0.08 以上とすることがより好ましい。これにより、ホールにとっての井戸層 4 2 に対する障壁層 4 1 の量子ポテンシャルの低下はより有効になる。

【 0 0 4 3 】

上記のような、第 1 層 LL と第 2 層 HL をもつ障壁層 4 1 を多重量子井戸層内に構成することによって、ホールの量子井戸層での注入効率が向上し、高発光効率を実現される。

【 0 0 4 4 】

図 3 ~ 図 5 は、発光層の In 組成比のプロファイルを示す図である。

図 3 ~ 図 5 のいずれにおいても、横軸は発光層の位置 (厚さ方向の位置) を表し、縦軸は In 組成比を表している。図 3 及び図 4 は、実施形態に係る半導体発光素子の例を表し、図 5 は、参考例に係る半導体発光素子の例を表している。

なお、図 3 ~ 図 5 に表した例では、いずれも 8 つの障壁層 4 1 及び 8 つの井戸層 4 2 が交互に積層された多重量子井戸構造での In 組成比プロファイルを表している。

ここで、図 3 に表した In 組成比プロファイルを 1 1 0 P、図 4 に表した In 組成比プロファイルを 1 2 0 P 及び図 5 に表した In 組成比プロファイルを 1 9 0 P とする。

【 0 0 4 5 】

図 3 に表した In 組成比プロファイル 1 1 0 P では、2 つの障壁層 4 1 の組ごとに段階的に平均 In 組成比が低下している。

10

20

30

40

50

In組成比プロファイル110Pにおいて、井戸層42(1)~42(8)のIn組成比は同じである。井戸層42(1)~42(8)のIn組成比 w は、例えば $w = 0.13$ である。

【0046】

障壁層41においては、第8番目の障壁層41(8)、第7番目の障壁層41(7)、第6番目の障壁層41(6)及び第5番目の障壁層41(5)に、それぞれ3つの第1層LL及び2つの第2層HLが設けられている。なお、これらの第1層LLのIn組成比はそれぞれ同じである。第1層LLのIn組成比 b_1 は、例えば $b_1 = 0.00$ である。

【0047】

複数の障壁層41のうち、第8番目の障壁層41(8)の第2層HL(8)及び第7番目の障壁層41(7)の第2層HL(7)のIn組成比は同じである。

第2層HL(8)及びHL(7)のIn組成比 $b_2(8)$ は、例えば 0.04 以上 0.13 以下である。一例として、In組成比 $b_2(8)$ は、 $b_2(8) = 0.06$ である。In組成比 $b_2(8)$ は、 p 側井戸層である第8番目の井戸層42(8)のIn組成比 w の例えば $1/2$ 以下にしてもよい。

【0048】

複数の障壁層41のうち、第6番目の障壁層41(6)の第2層HL(6)及び第5番目の障壁層41(5)の第2層HL(5)のIn組成比は同じであるが、第8番目の障壁層41(8)の第2層HL(8)及び第7番目の障壁層41(7)の第2層HL(7)のIn組成比よりも低い。第2層HL(6)及びHL(7)のIn組成比 $b_2(6)$ は、例えば $b_2 = 0.03$ である。

このような構成によって、In組成比プロファイル110Pでは、第8番目の障壁層41(8)及び第7番目の障壁層41(7)の組と、第6番目の障壁層41(6)及び第5番目の障壁層41(5)の組と、において、段階的に平均In組成比が低下している。

【0049】

図4に表したIn組成比プロファイル120Pでは、 n 側障壁層である第1番目の障壁層41(1)と、第2番目~第8番目の障壁層41(2)~41(n)と、で平均In組成比が異なっている。

In組成比プロファイル120Pにおいて、井戸層42(1)~42(8)のIn組成比 w は同じである(例えば、 $w = 0.13$)。

【0050】

障壁層41においては、第2番目の障壁層41(2)~第8番目の障壁層41(8)に、それぞれ3つの第1層LL及び2つの第2層HLが設けられている。なお、これらの第1層LL(2)~LL(8)のIn組成比 b_1 はそれぞれ同じであり(例えば、 $b_1 = 0.00$)、これらの第2層HL(2)~HL(8)のIn組成比 b_2 は、In組成比 b_1 よりも高く、それぞれ同じである(例えば、 $b_2 = 0.06$)。

【0051】

図5に表したIn組成比プロファイル190Pでは、いずれの障壁層41にも第2層HLが設けられていない。すなわち、全ての障壁層41のIn組成比は一定である。

【0052】

図6(a)~図8(d)は、エネルギーバンド図及びキャリア濃度分布を例示する図である。

図6は、図3に表したIn組成比プロファイル110Pを有する半導体発光素子110の例である。図7は、図4に表したIn組成比プロファイル120Pを有する半導体発光素子120の例である。図8は、図5に表したIn組成比プロファイル190Pを有する半導体発光素子190の例である。

いずれの図においても、横軸は位置(厚さ方向の位置)を表し、(a)は伝導体のエネルギーバンド図、(b)は価電子帯のエネルギーバンド図、(c)は電子の濃度、(d)はホール濃度を示している。また、いずれの図においても、(a)及び(b)に表した太線は量子ポテンシャルを例示している。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 3 】

図 8 (a) ~ (d) に表したように、参考例に係る半導体発光素子 1 9 0 では、井戸層 4 2 に対する障壁層 4 1 の量子障壁が高いため、p 形半導体層 5 0 から注入されるホールが p 形半導体層 5 0 に近い井戸層 4 2 に偏っている。

【 0 0 5 4 】

窒化物半導体においては、p 形キャリア（ホール）の移動度は低く、そのために L E D の p 形半導体層 5 0 で生成したホールの多重量子井戸への注入効率が悪い。このため、複数の井戸層 4 2 のうち p 形半導体層 5 0 側の井戸層 4 2 の一部にしかホールが注入されない。そのため、キャリア密度が局所的に大きくなってオージェ再結合確率が増大し、特に高電流注入時の L E D の外部量子効率が低下する。

10

【 0 0 5 5 】

図 6 (a) に表した伝導帯及び図 6 (b) に表した価電子帯のエネルギーバンド図のように、半導体発光素子 1 1 0 の構成によれば、参考例に係る半導体発光素子 1 9 0 に比べて、井戸層 4 2 に対する障壁層 4 1 の量子障壁が低下する。これによって、図 6 (d) に表したように、ホールの注入効率が飛躍的に改善され、半導体発光素子 1 9 0 に比べて飛躍的に発光効率が効率化する。

【 0 0 5 6 】

図 7 (a) に表した伝導帯及び図 7 (b) に表した価電子帯のエネルギーバンド図では、図 6 (a) 及び図 6 (b) に表したエネルギーバンド図よりは井戸層 4 2 に対する障壁層 4 1 の量子障壁は低下していないものの、図 8 (a) ~ (d) に表した参考例に係る半導体発光素子 1 9 0 よりも井戸層 4 2 に対する障壁層 4 1 の量子障壁が低下している。これにより、半導体発光素子 1 2 0 では、参考例に係る半導体発光素子 1 9 0 に比べて発光効率が高まる。

20

【 0 0 5 7 】

さらに、図 6 (a) ~ (d) 及び図 7 (a) ~ (d) に表したように、n 形半導体層 2 0 に近いほど障壁層 4 1 の平均 I n 組成比を下げることで、n 形半導体層 2 0 の上に成長させる発光層 4 0 の多重量子井戸構造の結晶性が向上する。

【 0 0 5 8 】

以下、上記のような条件を見いだすに至った検討結果について説明する。

この検討では、発光層 4 0 の構成（障壁層 4 1 の厚さや I n 組成比の変調のさせ方、井戸層 4 2 の厚さや I n 組成比の変調のさせ方）を変えて半導体発光素子を構成し、その各場合の内部量子効率を比較する。

30

【 0 0 5 9 】

（第 1 の実施例）

第 1 の実施例に係る半導体発光素子 1 1 1 は、図 3 に表した I n 組成比のプロファイル 1 1 0 P を有する。

障壁層 4 1 と井戸層 4 2 との数は 8 周期である。ここで 8 周期の井戸層 4 2 のうち、最も n 形半導体層 2 0 に近い障壁層を第 1 番目の障壁層 4 1 (1) として、そこから p 形半導体層 5 0 側に向かって、第 2 番目の障壁層 4 1 (2)、第 3 番目の障壁層 4 1 (3)、...、第 8 番目の障壁層 4 1 (8) と称する。

40

【 0 0 6 0 】

第 8 番目の障壁層 4 1 (8) の第 1 層 L L (8) 及び第 7 番目の障壁層 4 1 (7) の第 1 層 L L (7) の I n 組成比 b_1 を $b_1 = 0.00$ とし、第 8 番目の障壁層 4 1 (8) の第 2 層 H L (8) 及び第 7 番目の障壁層 4 1 (7) の第 2 層 H L (7) の I n 組成比 $b_2(8)$ を $b_2(8) = 0.06$ とする。

【 0 0 6 1 】

次に、第 6 番目の障壁層 4 1 (6) の第 1 層 L L (6) 及び第 5 番目の障壁層 4 1 (5) の第 1 層 L L (5) の I n 組成比 b_1 を $b_1 = 0.00$ とし、第 6 番目の障壁層 4 1 (6) の第 2 層 H L (6) 及び第 5 番目の障壁層 4 1 (5) の第 2 層 H L (5) の I n 組成比 $b_2(6)$ を $b_2(6) = 0.03$ とする。

50

【0062】

最後に、第4番目の障壁層41(4)～第1番目の障壁層41(1)の第1層LL(4)～LL(1)のIn組成比と、第2層HL(4)～HL(1)のIn組成比とを、いずれも0.00とする。

【0063】

また、第1番目の障壁層41(1)～第8番目の障壁層41(8)のいずれにおいても、第1層LL(1)～LL(8)の厚さ t_{LL} は1nm、第2層HL(1)～HL(8)の厚さ t_{HL} は1nmとし、第2層HLが障壁層41の両側となるように、これらを交互に2.5周期積層した。第1番目の障壁層41(1)～第8番目の障壁層41(8)のそれぞれの厚さ t_b は、5nmである。

10

【0064】

(第2の実施例)

第2の実施例に係る半導体発光素子121は、図4に表したIn組成比のプロファイル120Pを有する。

【0065】

半導体発光素子121では、第2番目の障壁層41(2)から第8番目の障壁層41(8)についての第1層LL(2)～LL(8)のIn組成比を $b_1 = 0.00$ とし、第2層HL(2)～HL(8)のIn組成比を $b_2 = 0.03$ とする。第1番目の障壁層41(1)の第1層LL(1)のIn組成比と第2層HL(2)のIn組成比とは、いずれも0.00とする。これら以外は第1の実施例に係る半導体発光素子111と同じである。

20

【0066】

(参考例)

参考例の半導体発光素子191は、図5に表したIn組成比のプロファイル190Pを有する。

【0067】

すなわち、半導体発光素子191では、第1番目の障壁層41(1)～第8番目の障壁層41(8)の全てについてGaN単層になっている。

【0068】

半導体発光素子111、121及び191のすべての井戸層42のIn組成比 w は0.13で、層内で一定(すなわち $In_{0.13}Ga_{0.87}N$)とし、厚さ t_w は3nmである。

30

半導体発光素子111、121及び191は、450nmの主波長で発光する青色LEDである。

【0069】

図9は、半導体発光素子の特性を例示する図である。

図9では、横軸に電流 I (アンペア:A)、縦軸に内部量子効率 QE_{AV} を表している。図9では、半導体発光素子111、121及び191についての電流 I -内部量子効率 QE_{AV} の関係を例示している。なお、図9において、縦軸の内部量子効率は、参考例に係る半導体発光素子191の内部量子効率のピークトップ値を「1」とした相対値で表示されている。

40

【0070】

図9に表したように、第1実施例に係る半導体発光素子111の内部量子効率 QE_{AV} が最も高く、その次に第2実施例に係る半導体発光素子121の内部量子効率 QE_{AV} が高い。半導体発光素子111及び121のいずれについても、参考例に係る半導体発光素子191よりも内部量子効率 QE_{AV} が上昇する。例えば、電流 I が0.2Aのときの内部量子効率 QE_{AV} は、半導体発光素子111では0.84であり、半導体発光素子121では0.80であり、半導体発光素子191では、0.76である。

【0071】

なお、半導体発光素子191において、p側障壁層から4つ以上n形半導体層側の障壁層に第2層HLを設けた場合、ホールの注入効率の向上の効果は小さい。

50

【0072】

実施形態においては、p側障壁層41(n)に第2層HLを設けることにより、ホールの注入の効率を向上する。この際、図6(d)から分かるように、p側障壁層である第8番目の障壁層41(8)からn形半導体層20側に4つ目(第5番目の障壁層41(5))くらいまでにホールは効率良く注入されている。しかし、それよりもn形半導体層20側の障壁層には、あまり効率良くホールが注入されない。このため、p側障壁層41(n)から4つ目くらい以上の障壁層41にはInを入れないことが好ましい。これにより、発光層40の全体における平均In組成比を低く保つことができ、発光層40と、n形半導体層20と、間の格子不整合が過度に大きくならない。その結果、障壁層41にInを含む第2層HLを設けた場合の結晶品質の悪化が抑制される。結晶品質の観点から、n形障壁層41(1)のIn組成比を小さくする(好ましくは、0にする)ことが望ましい。

10

このように、p側障壁層41(n)に第1層LLと第2層HLとを設け、n側障壁層41(1)に設けない構成(p側障壁層41(n)の平均In組成比がn側障壁層41(1)の平均In組成比よりも高い構成)によって、内部量子効率QE_{AV}が向上する。

【0073】

図10(a)~図12は、実施形態に係る他の半導体発光素子のIn組成比プロファイルを示す図である。

図10(a)~図12のいずれにおいても、横軸は発光層の位置(厚さ方向の位置)を表し、縦軸はIn組成比を表している。

20

なお、図10(a)~図12に表した例では、いずれも8つの障壁層41及び8つの井戸層42が交互に積層された多重量子井戸構造でのIn組成比プロファイルを表している。

【0074】

ここで、図10(a)に表したIn組成比プロファイルを112P、図10(b)に表したIn組成比プロファイルを113P、図11(a)に表したIn組成比プロファイルを114P、図11(b)に表したIn組成比プロファイルを115P及び図12に表したIn組成比プロファイルを116Pとする。

各In組成比プロファイル112P、113P、114P、115P及び116Pにおいて、井戸層42のIn組成比wは一定である。一例として、In組成比wは、w = 0.13である。

30

【0075】

図10(a)に表したIn組成比プロファイル112Pでは、第8番目の障壁層41(8)~第5番目の障壁層41(5)に、それぞれ2つの第1層LL及び1つの第2層HLが設けられている。これらの第1層LLのIn組成比はそれぞれ同じである。第1層LLのIn組成比b₁は、例えばb₁ = 0.00である。

【0076】

複数の障壁層41のうち、第8番目の障壁層41(8)の第2層HL(8)及び第7番目の障壁層41(7)の第2層HL(7)のIn組成比は同じである。第2層HL(8)及びHL(7)のIn組成比b₂(8)は、例えばb₂(8) = 0.06である。

40

複数の障壁層41のうち、第6番目の障壁層41(6)の第2層HL(6)及び第5番目の障壁層41(5)の第2層HL(5)のIn組成比は同じであるが、第8番目の障壁層41(8)の第2層HL(8)及び第7番目の障壁層41(7)の第2層HL(7)のIn組成比b₂(8)よりも低い。第2層HL(6)及びHL(5)のIn組成比b₂(6)は、例えばb₂ = 0.03である。

このような構成によって、In組成比プロファイル112Pでは、第8番目の障壁層41(8)及び第7番目の障壁層41(7)の組と、第6番目の障壁層41(6)及び第5番目の障壁層41(5)の組と、において、段階的に平均In組成比が低下している。

【0077】

図10(b)に表したIn組成比プロファイル113Pでは、第8番目の障壁層41(

50

8) ~ 第6番目の障壁層41(6)に、第1層LL及び第2層HLが設けられている。第8番目の障壁層41(8)及び第7番目の障壁層41(7)には、それぞれ4つの第1層LL及び3つの第2層HLが設けられている。第6番目の障壁層41(6)には、3つの第1層LL及び2つの第2層HLが設けられている。すなわち、p側障壁層と第m障壁層41(m)とにおいて、それぞれ第1層LL及び第2層HLの数が相違する。

【0078】

第8番目の障壁層41(8)~第6番目の障壁層41(6)にそれぞれ設けられた第1層LL(8)~LL(6)のIn組成比は同じである。第1層LLのIn組成比 b_1 は、例えば $b_1 = 0.00$ である。

第8番目の障壁層41(8)の第2層HL(8)及び第7番目の障壁層41(7)の第2層HL(7)のIn組成比は同じである。第2層HL(8)及びHL(7)のIn組成比 $b_2(8)$ は、例えば $b_2 = 0.06$ である。

第6番目の第2層HL(6)のIn組成比 $b_2(6)$ は、第8番目の障壁層41(8)の第2層HL(8)及び第7番目の障壁層41(7)の第2層HL(7)のIn組成比 $b_2(8)$ よりも低い。第2層HL(6)のIn組成比 $b_2(6)$ は、例えば $b_2 = 0.03$ である。

【0079】

第8番目の障壁層41(8)及び第7番目の障壁層41(7)の厚さ t_{b_8} 及び t_{b_7} は、第6番目の障壁層41(6)の厚さ t_{b_6} よりも厚く設けられていてもよい。

【0080】

図11(a)に表したIn組成比プロファイル114Pでは、第8番目の障壁層41(8)~第5番目の障壁層41(5)に、それぞれ2つの第1層LL及び1つの第2層HLが設けられている。これら第1層LL及び第2層HLのそれぞれのIn組成比は、図3に表したIn組成比プロファイル110Pと同じである。

【0081】

第1層LLのIn組成比はそれぞれ同じである。第1層LLのIn組成比 b_1 は、例えば $b_1 = 0.00$ である。

障壁層41(8)の第2層HL(8)及び障壁層41(7)の第2層HL(7)のIn組成比 $b_2(8)$ は、例えば $b_2 = 0.06$ である。

障壁層41(6)の第2層HL(6)及び障壁層41(5)の第2層HL(5)のIn組成比 $b_2(6)$ は、例えば $b_2 = 0.03$ である。

【0082】

In組成比プロファイル114Pでは、In組成比プロファイル110Pに比べて、p形半導体層50に最も近いp側井戸層である第8番目の井戸層42(8)の厚さ t_{w_8} が、n形半導体層20に最も近いn側井戸層である第1番目の井戸層42(1)の厚さ t_{w_1} の厚さよりも厚い。

【0083】

図11(b)に表したIn組成比プロファイル115Pでは、第8番目の障壁層41(8)~第5番目の障壁層41(5)に、それぞれ3つの第1層LL及び2つの第2層HLが設けられている。これらの第1層LLのIn組成比はそれぞれ同じである。第1層LLのIn組成比 b_1 は、例えば $b_1 = 0.00$ である。

【0084】

In組成比プロファイル115Pでは、第8番目の障壁層41(8)及び第7番目の障壁層41(7)の組と、第6番目の障壁層41(6)及び第5番目の障壁層41(5)の組と、において、段階的に平均In組成比が低下している。

ただし、In組成比プロファイル115Pでは、第8番目の障壁層41(8)~第5番目の障壁層41(5)の各障壁層41において、複数の第2層HLのIn組成比に差が設けられている。

【0085】

そして、第8番目の障壁層41(8)~第5番目の障壁層41(5)の各障壁層41に

10

20

30

40

50

設けられた複数の第2層HLのIn組成比は、p形半導体層50の側からn形半導体層20の側に向けて高くなっている。

【0086】

例えば、第8番目の障壁層41(8)には、2つの第2層HL(8)a及びHL(8)bが設けられている。2つの第2層HL(8)a及びHL(8)bにおいて、p形半導体層50側に設けられた第2層HL(8)bのIn組成比 $b_2(8)b$ は、n形半導体層20側に設けられた第2層HL(8)aのIn組成比 $b_2(8)a$ よりも高い。

【0087】

同様に、第7番目の障壁層41(7)には、2つの第2層HL(7)a及びHL(7)bが設けられている。2つの第2層HL(7)a及びHL(7)bにおいて、p形半導体層50側に設けられた第2層HL(7)bのIn組成比 $b_2(7)b$ は、n形半導体層20側に設けられた第2層HL(7)aのIn組成比 $b_2(7)a$ よりも高い。

10

【0088】

また、第6番目の障壁層41(6)には、2つの第2層HL(6)a及びHL(6)bが設けられている。2つの第2層HL(6)a及びHL(6)bにおいて、p形半導体層50側に設けられた第2層HL(6)bのIn組成比 $b_2(6)b$ は、n形半導体層20側に設けられた第2層HL(6)aのIn組成比 $b_2(6)a$ よりも高い。

【0089】

同様に、第5番目の障壁層41(5)には、2つの第2層HL(5)a及びHL(5)bが設けられている。2つの第2層HL(5)a及びHL(5)bにおいて、p形半導体層50側に設けられた第2層HL(5)bのIn組成比 $b_2(5)b$ は、n形半導体層20側に設けられた第2層HL(5)aのIn組成比 $b_2(5)a$ よりも高い。

20

【0090】

障壁層41(8)及び41(7)の複数の第2層HLのうち、In組成比の高い側のIn組成比 $b_2(8)b$ は、例えば $b_2(8)b = 0.06$ である。

障壁層41(8)及び41(7)の複数の第2層HLのうち、In組成比の低い側のIn組成比 $b_2(8)a$ は、例えば $b_2(8)a = 0.04$ である。

【0091】

障壁層41(6)及び41(5)の複数の第2層HLのうち、In組成比の高い側のIn組成比 $b_2(6)b$ は、例えば $b_2(6)b = 0.03$ である。

30

障壁層41(6)及び41(5)の複数の第2層HLのうち、In組成比の低い側のIn組成比 $b_2(6)a$ は、例えば $b_2(6)a = 0.01$ である。

【0092】

図12に表したIn組成比プロファイル116Pでは、第8番目の障壁層41(8)～第5番目の障壁層41(5)に、それぞれ3つの第1層LL及び2つの第2層HLが設けられている。これらの第1層LLのIn組成比はそれぞれ同じである。第1層LLのIn組成比 b_1 は、例えば $b_1 = 0.00$ である。

【0093】

In組成比プロファイル116Pでは、第8番目の障壁層41(8)、第7番目の障壁層41(7)、第6番目の障壁層41(6)及び第5番目の障壁層41(5)の順に、段階的に平均In組成比が低下している。

40

障壁層41(8)の複数の第2層HL(8)のIn組成比 $b_2(8)$ は、例えば $b_2(8) = 0.06$ である。

障壁層41(7)の複数の第2層HL(7)のIn組成比 $b_2(7)$ は、例えば $b_2(7) = 0.05$ である。

障壁層41(6)の複数の第2層HL(6)のIn組成比 $b_2(6)$ は、例えば $b_2(6) = 0.04$ である。

障壁層41(5)の複数の第2層HL(5)のIn組成比 $b_2(5)$ は、例えば $b_2(5) = 0.03$ である。

【0094】

50

以下、本実施形態に関して、多重量子井戸構造の構成を変えたときの特性の例について説明する。この例では、第2層HLの構成が変更される。

図13及び図14は、半導体発光素子の特性を例示する図である。

図13及び図14では、横軸に電流 I (A)、縦軸に内部量子効率IQEを表している。

図13には、第1の構成に係る内部量子効率 QE_{11} 、及び、第2の構成に係る内部量子効率 QE_{12} が表されている。内部量子効率 QE_0 は、参考例に係るIn組成比プロフィールを190Pを用いた場合の内部量子効率である。

【0095】

第1の構成及び第2の構成においては、8つの障壁層41及び8つの井戸層42が交互に積層された多重量子井戸構造であり、第8番目の障壁層41(8)～第2番目の障壁層41(2)にそれぞれ2つの第1層LL及び1つの第2層HLが設けられている。

【0096】

このうち、第1の構成(内部量子効率 QE_{11})は、第2層HLのIn組成比 b_2 が、井戸層42のIn組成比 w と同じ(例えば、 $b_2 = w = 0.13$)である。

また、第2の構成(内部量子効率 QE_{12})は、第2層HLのIn組成比 b_2 が、井戸層42のIn組成比 w よりも低い(例えば、 $w = 0.13$ 、 $b_2 = 0.08$)。

【0097】

図14には、第3の構成に係る内部量子効率 QE_{21} 、及び、第4の構成に係る内部量子効率 QE_{22} が表されている。内部量子効率 QE_0 は、図13と同様、参考例に係るIn組成比プロフィールを190Pを用いた場合の内部量子効率である。

【0098】

第3の構成及び第4の構成は、8つの障壁層41及び8つの井戸層42が交互に積層された多重量子井戸構造であり、第8番目の障壁層41(8)～第2番目の障壁層41(2)にそれぞれ3つの第1層LL及び2つの第2層HLが設けられている。

【0099】

第3の構成(内部量子効率 QE_{21})は、第2層HLのIn組成比 b_2 が、井戸層42のIn組成比 w と同じ(例えば、 $b_2 = w = 0.13$)である。

第4の構成(内部量子効率 QE_{22})では、第2層HLのIn組成比 b_2 が、井戸層42のIn組成比 w よりも低い(例えば、 $w = 0.13$ 、 $b_2 = 0.08$)。

【0100】

図13に表したように、第1の構成に係る内部量子効率 QE_{11} 及び第2の構成に係る内部量子効率 QE_{12} は、いずれも参考例に係る内部量子効率 QE_0 よりも高い。また、内部量子効率 QE_{12} よりも、内部量子効率 QE_{11} のほうが高い。1つの障壁層41に1つの第2層HLが設けられている場合は、第2層HLのIn組成比が高いと量子効率が高くなる。

【0101】

図14に表したように、第3の構成に係る内部量子効率 QE_{21} 及び第4の構成に係る内部量子効率 QE_{22} は、いずれも参考例に係る内部量子効率 QE_0 よりも高い。内部量子効率 QE_{21} は内部量子効率 QE_{22} とほぼ同等である。1つの障壁層41に2つの第2層HLが設けられている場合、第2層HLのIn組成比にかかわらず良好な内部量子効率を得られる。

【0102】

図13及び図14に表した結果から、1つの障壁層41には2つの第2層HLを設けることで、第2層HLの1つ当たりのIn組成比を低くしても良好な内部量子効率を得られることが分かる。

【0103】

上記説明した実施形態及び実施例では、第1層LL及び第2層HLのIII族元素中におけるInの組成比について説明したが、In以外の組成比であっても適用可能である。

【0104】

10

20

30

40

50

実施形態によれば、発光効率の高い半導体発光素子が提供される。

【0105】

なお、本明細書において「窒化物半導体」とは、 $B_{1-x}In_xAl_{1-y}Ga_yN$ (0 < x < 1, 0 < y < 1, 0 < x+y < 1) なる化学式において組成比、及び x 、 y をそれぞれの範囲内で変化させた全ての組成比の半導体を含むものとする。またさらに、上記化学式において、N (窒素) 以外のV族元素もさらに含むものや、導電形などを制御するために添加される各種のドーパントのいずれかをさらに含むものも、「窒化物半導体」に含まれるものとする。

【0106】

以上、具体例を参照しつつ、本発明の実施形態について説明した。しかし、本発明は、これらの具体例に限定されるものではない。例えば、半導体発光素子に含まれるn形半導体層、p形半導体層、活性層、井戸層、障壁層、電極、基板、バッファ層各要素の具体的な構成の、形状、サイズ、材質、配置関係などに関して当業者が各種の変更を加えたものであっても、当業者が公知の範囲から適宜選択することにより本発明を同様に実施し、同様の効果を得ることができる限り、本発明の範囲に含まれる。

10

また、各具体例のいずれか2つ以上の要素を技術的に可能な範囲で組み合わせたものも、本発明の要旨を包含する限り本発明の範囲に含まれる。

【0107】

本発明のいくつかの実施形態を説明したが、これらの実施形態は、例として提示したものであり、発明の範囲を限定することは意図していない。これら新規な実施形態は、その他の様々な形態で実施されることが可能であり、発明の要旨を逸脱しない範囲で、種々の省略、置き換え、変更を行うことができる。これら実施形態やその変形は、発明の範囲や要旨に含まれるとともに、特許請求の範囲に記載された発明とその均等の範囲に含まれる。

20

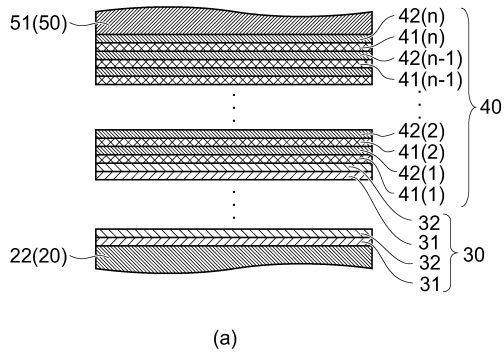
【符号の説明】

【0108】

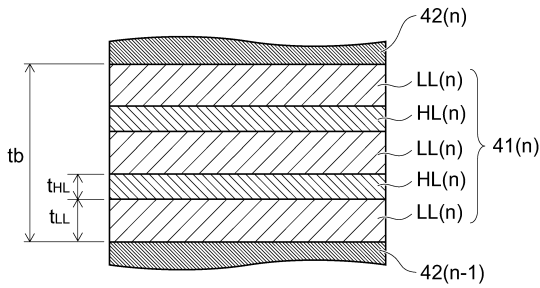
10 ... 基板、11 ... バッファ層、20 ... n形半導体層、21 ... 下地層、22 ... コンタクト層、30 ... 積層体、31 ... 第1結晶層、32 ... 第2結晶層、40 ... 発光層、41 ... 障壁層、42 ... 井戸層、50 ... p形半導体層、51 ... p形AlGaIn層、52 ... MgドープGaIn層、53 ... コンタクト層、60 ... 透明電極、70 ... n側電極、80 ... p側電極、110, 111, 121, 190, 191 ... 半導体発光素子、L1 ... 第1層、L2 ... 第2層

30

【 図 1 】

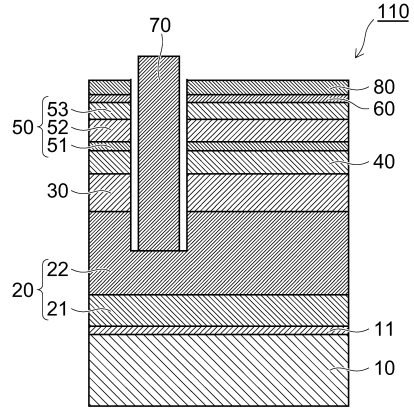


(a)

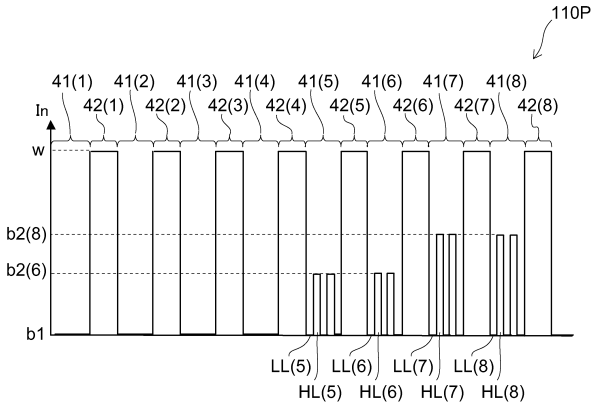


(b)

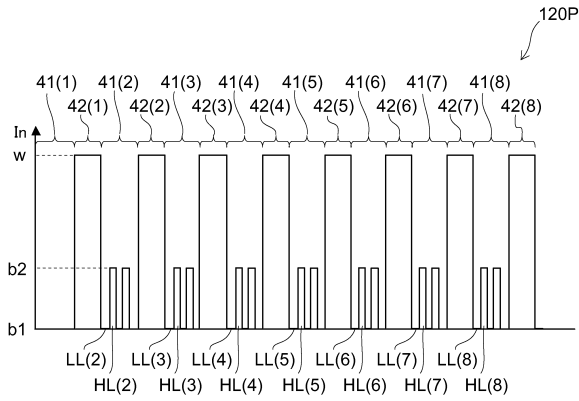
【 図 2 】



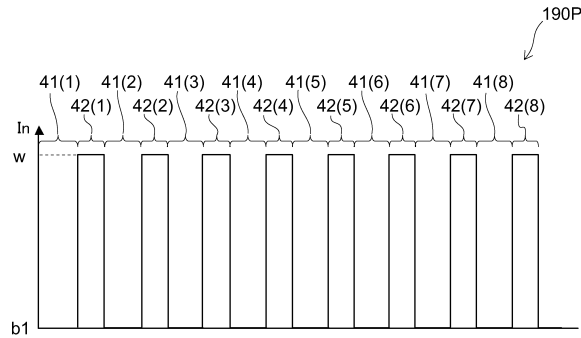
【 図 3 】



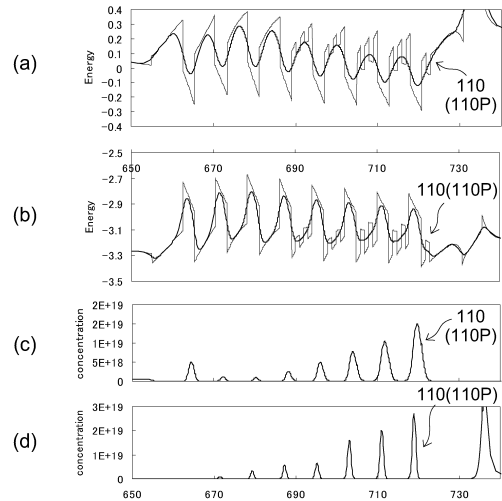
【 図 4 】



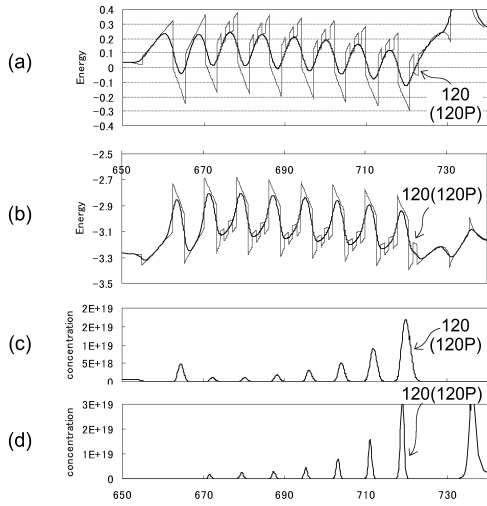
【 図 5 】



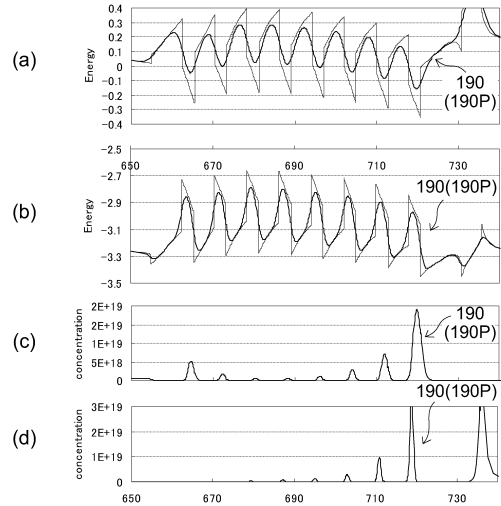
【 図 6 】



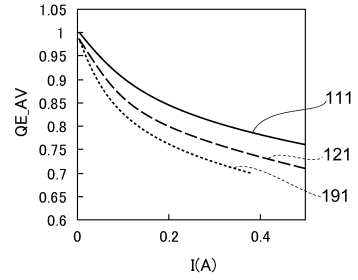
【 図 7 】



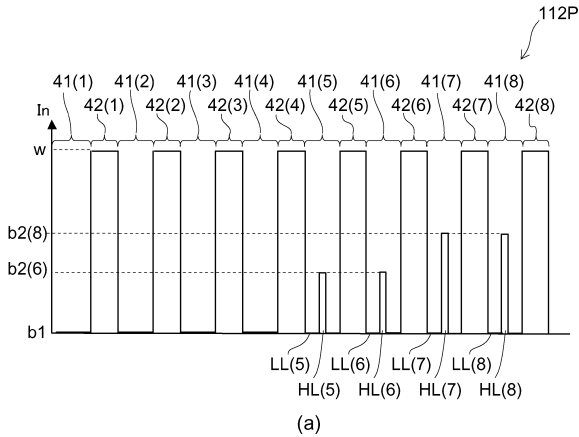
【 図 8 】



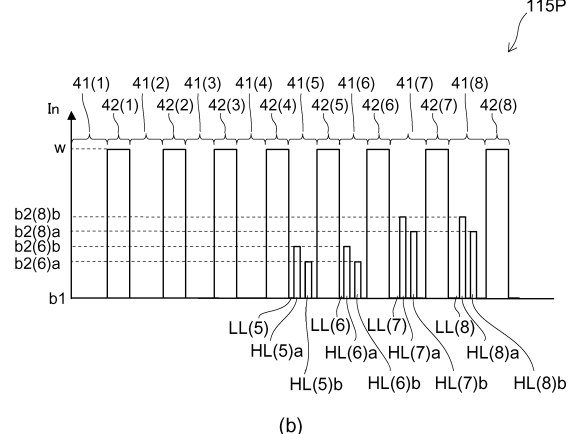
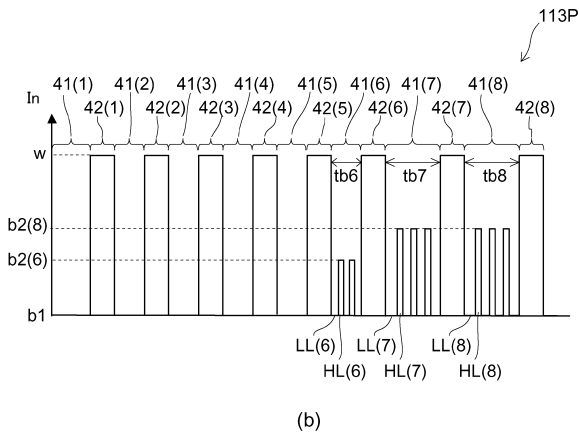
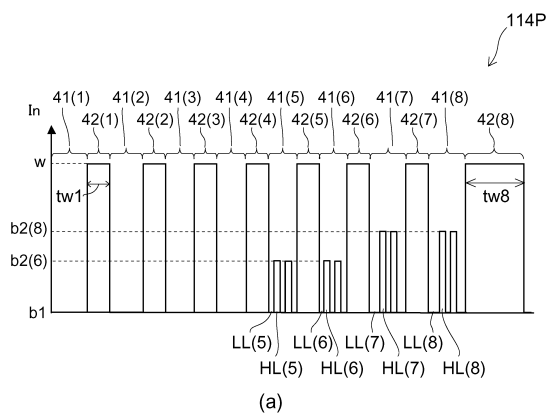
【 図 9 】



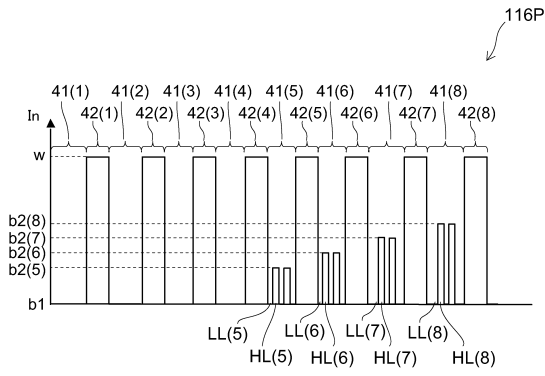
【 図 10 】



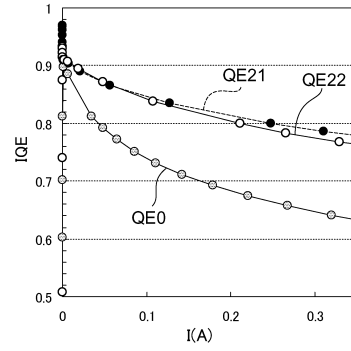
【 図 11 】



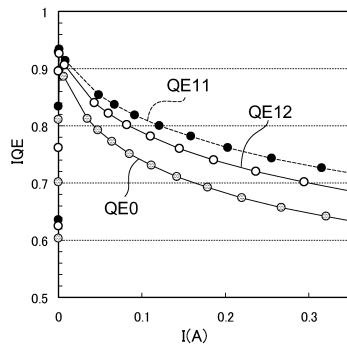
【 図 1 2 】



【 図 1 4 】



【 図 1 3 】



フロントページの続き

合議体

審判長 河原 英雄

審判官 小松 徹三

審判官 高 芳徳

- (56)参考文献 特開2009-259885(JP,A)
特開2008-130899(JP,A)
特開2008-103711(JP,A)
特開2004-31770(JP,A)
特開2004-87763(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 33/00 - 33/64