

(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2010-93192

(P2010-93192A)

(43) 公開日 平成22年4月22日(2010.4.22)

(51) Int.Cl.

H01S 5/323 (2006.01)

F1

H01S 5/323

テーマコード (参考)

5F173

審査請求 未請求 請求項の数 6 O L (全 8 頁)

(21) 出願番号 特願2008-264114 (P2008-264114)
 (22) 出願日 平成20年10月10日 (2008.10.10)

(71) 出願人 000000572
 アンリツ株式会社
 神奈川県厚木市恩名五丁目1番1号
 (74) 代理人 100072604
 弁理士 有我 軍一郎
 (72) 発明者 吉田 谷 弘明
 神奈川県厚木市恩名五丁目1番1号 アン
 リツ株式会社内
 Fターム(参考) 5F173 AA05 AF03 AF06 AH14 AR43

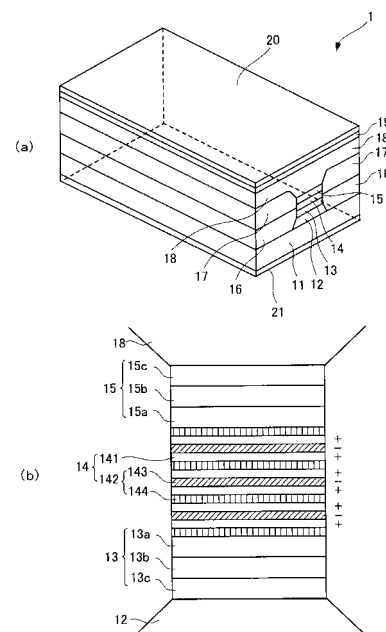
(54) 【発明の名称】 半導体発光素子

(57) 【要約】

【課題】障壁層のバンドギャップ波長が1.2 μm 未満であっても、優れた偏光特性および光学利得特性を得ることができる半導体発光素子を提供する。

【解決手段】半導体基板11上に、複数の井戸層141と複数の障壁層142とが交互に1層ずつ積層された多重量子井戸構造からなる活性層14を備え、複数の井戸層141が圧縮歪を有し、複数の障壁層142が、伸張歪を有する伸張歪障壁層143と、無歪である少なくとも2層の無歪障壁層144と、を含み、2層の無歪障壁層144の間に井戸層141と伸張歪障壁層143とが連続して積層された対が少なくとも1つ配置される構成を有している。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板上に、複数の井戸層と複数の障壁層とが交互に 1 層ずつ積層された多重量子井戸構造からなる活性層を備える半導体発光素子において、

前記複数の井戸層が圧縮歪を有し、

前記複数の障壁層が、伸張歪障壁層と、少なくとも 2 層の無歪障壁層と、を含み、

2 層の前記無歪障壁層の間に前記井戸層と前記伸張歪障壁層とが連続して積層された対が少なくとも 1 つ配置されることを特徴とする半導体発光素子。

【請求項 2】

前記活性層が GaInAsP からなる請求項 1 に記載の半導体発光素子。

10

【請求項 3】

前記井戸層の層数が 5 ～ 7 層である請求項 2 に記載の半導体発光素子。

【請求項 4】

前記井戸層の層数が 6 層であり、前記無歪障壁層の層数が 4 層であり、前記伸張歪障壁層の層数が 3 層である請求項 3 に記載の半導体発光素子。

【請求項 5】

前記井戸層の層数が 6 層であり、前記無歪障壁層の層数が 3 層であり、前記伸張歪障壁層の層数が 4 層である請求項 3 に記載の半導体発光素子。

【請求項 6】

前記基板が InP でなり、

20

前記伸張歪障壁層のバンドギャップ波長が $0.95 \sim 1.2 \mu\text{m}$ であり、

前記無歪障壁層のバンドギャップ波長が $0.95 \sim 1.2 \mu\text{m}$ であることを特徴とする請求項 1 から請求項 5 のいずれか一項に記載の半導体発光素子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、歪多重量子井戸構造を有する半導体発光素子に係り、特に、優れた偏光特性および光学利得特性を有する半導体発光素子に関する。

【背景技術】

【0002】

30

従来から、光通信に利用される半導体発光素子において、井戸層と障壁層からなる量子井戸構造を有する活性層の井戸層に歪を加えることにより発光特性の改善を図った歪多重量子井戸 (MQW) 構造が採用されている (例えば、非特許文献 1 参照)。

【0003】

井戸層に歪を加えることにより、重いホールバンドと軽いホールバンドの縮退が解けるという現象が生じるが、例えば圧縮歪が加えられた井戸層においては、重いホールバンド端と伝導帯バンド端とのバンドギャップエネルギーが、軽いホールバンド端と伝導帯バンド端とのバンドギャップエネルギーよりも小さくなる。この領域に電流を注入すると、重いホールバンドと伝導帯バンドの間に優先的にキャリアの再結合が起き、活性層と垂直方向に電界成分を持つ TM モードに比較して、活性層と水平方向に電界成分を持つ TE モードの利得を大きくとることができる。

40

【0004】

ところで、光通信において用いられる光ファイバ内では、半導体発光素子から入射された光の偏光方向が外部環境の影響により任意に回転してしまい、異なる偏光方向を有する光の間で干渉雑音が発生することがある。ここで、上記の歪 MQW 構造を有する半導体発光素子を用いると、半導体発光素子の出力光のモードを TE モードあるいは TM モードのどちらかに揃えることが容易になるため、この干渉雑音を低減することができる。

【0005】

しかしながら、非特許文献 1 に開示された従来の半導体発光素子においては、高い光出力を得るために井戸層の層数を増加させると圧縮歪が蓄積されていくため、活性層の結晶

50

性が悪化し、非発光再結合が増加して光学特性が劣化するという問題があった。

【0006】

そこで、GaInAsP系の半導体発光素子において、障壁層に井戸層とは逆方向の歪を導入する歪補償構造が提案されている（例えば、特許文献1参照）。

【特許文献1】特開2005-72402号公報（[0039]）

【非特許文献1】T. Namegaya, N. Matsumoto, N. Yamanaka, N. Iwai, H. Nakayama, A. Kasukawa, "Effects of well number in 1.3- μm GaInAsP/InP GRIN-SCH strained-layer quantum-well lasers", Quantum Electronics, IEEE Journal of Volume 30, Issue 2, Feb 1994 p. 578 - 584

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかしながら、特許文献1に開示された歪補償構造を有するGaInAsP系の半導体発光素子においては、障壁層のバンドギャップ波長が1.2 μm よりも短波化すると、結晶成長界面における結晶材料の拡散が歪エネルギーに影響され、界面の平坦性が失われる傾向が強くなる。また、積層を繰り返すことによりこの非平坦性が増幅されると、活性層の結晶性が悪化し、非発光再結合が増加して光学特性が劣化するという課題があった（例えば、N. Sridhar, J. M. Rickman, D. J. Srolovitz, "Multilayer film stability", J. Appl. Phys. 82 (10), 15 November 1997 p. 4852-4859参照）。

【0008】

本発明は、このような従来の課題を解決するためになされたものであって、障壁層のバンドギャップ波長が1.2 μm 未満であっても、優れた偏光特性および光学利得特性を得ることができる半導体発光素子を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

本発明の半導体発光素子は、基板上に、複数の井戸層と複数の障壁層とが交互に1層ずつ積層された多重量子井戸構造からなる活性層を備える半導体発光素子において、前記複数の井戸層が圧縮歪を有し、前記複数の障壁層が、伸張歪障壁層と、少なくとも2層の無歪障壁層と、を含み、2層の前記無歪障壁層の間に前記井戸層と前記伸張歪障壁層とが連続して積層された対が少なくとも1つ配置される構成を有している。

【0010】

この構成により、MQW構造からなる活性層における伸張歪障壁層の層数を低減することにより、層界面の非平坦性の増幅を低減できるため、障壁層のバンドギャップ波長が1.2 μm 未満であっても、優れた偏光特性および光学利得特性を得ることができる。

【0011】

また、本発明の半導体発光素子は、前記活性層がGaInAsPからなってもよい。

また、本発明の半導体発光素子は、前記井戸層の層数が5～7層である構成を有している。この構成により、優れたフォトルミネッセンス特性を得ることができる。

【0012】

また、本発明の半導体発光素子は、前記井戸層の層数が6層であり、前記無歪障壁層の層数が4層であり、前記伸張歪障壁層の層数が3層である構成を有している。また、本発明の半導体発光素子は、前記井戸層の層数が6層であり、前記無歪障壁層の層数が3層であり、前記伸張歪障壁層の層数が4層である構成を有している。

これらの構成により、優れたフォトルミネッセンス特性および高い光出力を得ることができる。

【0013】

また、本発明の半導体発光素子は、前記基板がInPでなり、前記伸張歪障壁層のバンドギャップ波長が0.95～1.2 μm であり、前記無歪障壁層のバンドギャップ波長が0.95～1.2 μm であってもよい。

【発明の効果】

【0014】

本発明は、障壁層のバンドギャップ波長が $1.2\mu\text{m}$ 未満であっても、優れた偏光特性および光学利得特性を得ることができるという効果を有する半導体発光素子を提供するものである。

【発明を実施するための最良の形態】

【0015】

以下、本発明に係る半導体発光素子の実施形態について、図面を用いて説明する。

【0016】

(第1の実施形態)

本発明に係る半導体発光素子の第1の実施形態を図1に示す。図1(a)は半導体発光素子1の構成を示す斜視図であり、図1(b)は要部の構造を示す拡大断面図である。

【0017】

即ち、図1(a)に示すように、半導体発光素子1は、 n 型 InP からなる半導体基板11と、半導体基板11の上に形成される n 型 InP からなる n 型クラッド層12と、 n 型クラッド層12の上に形成される GaInAsP からなる光分離閉じ込め(SCH)層13と、SCH層13の上に形成される GaInAsP からなる活性層14と、活性層14の上に形成される GaInAsP からなるSCH層15とを含む。

【0018】

なお、 n 型クラッド層12、SCH層13、活性層14、SCH層15はメサ型に形成されており、このメサ型の両側に p 型 InP からなる下部埋込層16および n 型 InP からなる上部埋込層17が形成されている。

【0019】

また、SCH層15の上側および上部埋込層17の上面には、 p 型 InP からなる p 型クラッド層18が形成され、この p 型クラッド層18の上面には、 p 型コンタクト層19が形成され、さらにこの p 型コンタクト層19の上面には、 p 型金属電極20が設けられている。また、半導体基板11の下面には n 型金属電極21が設けられている。

【0020】

活性層14は、図1(b)の拡大断面図に示すように、6層の井戸層141と7層の障壁層142が1層ずつ交互に積層されたMQW構造を有する。6層の井戸層141は圧縮歪を有する。7層の障壁層142は、井戸層141よりも大きなバンドギャップエネルギーを有するとともに伸張歪を有する3層の伸張歪障壁層143、および、井戸層141よりも大きなバンドギャップエネルギーを有するとともに無歪である4層の無歪障壁層144からなる。

【0021】

ここで、活性層14は、2層の無歪障壁層144の間に井戸層141と伸張歪障壁層143とが連続して積層された対が少なくとも1つ配置される構成を有している。

【0022】

なお、図1(b)において、プラスマイナスの符号は n 型 InP からなる半導体基板11に対する歪の向き(圧縮歪: +、伸張歪: -)を示す。符号を示していない層は無歪である。

【0023】

図1(b)に示すように、基板側から、無歪障壁層144、井戸層141、伸張歪障壁層143、井戸層141、無歪障壁層144の順に層が積層されている。

【0024】

ここで、井戸層141はノンドープの $\text{Ga}_{0.126}\text{In}_{0.874}\text{As}_{0.6}\text{P}_{0.4}$ からなり、バンドギャップ波長は $1.44\mu\text{m}$ 、層厚は 5nm であり、 $+1.06\%$ の圧縮歪を有している。伸張歪障壁層143はノンドープの $\text{Ga}_{0.302}\text{In}_{0.698}\text{As}_{0.438}\text{P}_{0.562}$ からなり、バンドギャップ波長は 0.95 から $1.2\mu\text{m}$ の範囲の値(例えば $1.11\mu\text{m}$)、層厚は 9nm であり、 -0.7% の伸張歪を有している。無歪障壁層144はノンドープの G

10

20

30

40

50

$\text{a}_{0.138}\text{In}_{0.862}\text{As}_{0.301}\text{P}_{0.699}$ からなり、バンドギャップ波長は0.95から1.2 μm の範囲の値（例えば1.09 μm ）、層厚は9 nmであり、InPに格子整合している。

【0025】

また、 GaInAsP からなるSCH層13は100 nm程度で、そのバンドギャップはクラッド層と障壁層の間の範囲であり、また、バンドギャップ波長はSCH層13c、13b、13aの順に長くなるように配置する。

【0026】

図2は、半導体発光素子1のバンド構造を模式的に示す図である。

圧縮歪を有する井戸層141においては、重いホールバンド端141aが軽いホールバンド端141bよりもホールにとって低いエネルギー位置に存在している。一方、伸張歪障壁層143においては、軽いホールバンド端143bが重いホールバンド端143aよりもホールにとって低いエネルギー位置に存在している。なお、無歪障壁層144においては、重いホールバンドと軽いホールバンドは縮退している。

【0027】

したがって、重いホールは井戸層141に多く分布し、軽いホールは伸張歪障壁層143に多く分布する。この結果、井戸層141における再結合は、重いホールと電子によるものが大部分を占めることになるため、TMモードの利得を抑制し、TEモードの利得を大きくとることができる。

【0028】

なお、伸張歪障壁層の層数が低減された本発明の半導体発光素子1において、電子顕微鏡による観察から井戸層と障壁層との界面の平坦性が十分に保たれていること、および、優れたフォトルミネッセンス特性が得られることが本出願人が行った実験において確認されている。

【0029】

さらに、本出願人が行った実験によると、井戸層数を6層よりも増加させると、徐々に界面の平坦性が失われ、フォトルミネッセンス特性が劣化する傾向が見られる。一方、井戸層数が6層未満の場合は、平坦性およびフォトルミネッセンス特性は良好であるが、井戸層数が6層の場合に比べて光出力が低下する。したがって、良好なフォトルミネッセンス特性および高い光出力を得るためには井戸層数を5～7層とすることが好ましい。

【0030】

以下、本発明に係る半導体発光素子の製造方法の一例を説明する。

まず、有機金属気相成長(MOVPE)法を用いてn型InPからなる半導体基板11上に、n型InPからなるn型クラッド層12、これに引き続きSCH層13を成長する。なお、このSCH層は100 nm程度の層厚とし、そのバンドギャップはn型クラッド層12と無歪障壁層144の間の範囲であり、かつバンドギャップ波長はSCH層13c、13b、13aの順に長くなるように配置する。

【0031】

次に、SCH層13の上に、 $\text{Ga}_{0.126}\text{In}_{0.874}\text{As}_{0.6}\text{P}_{0.4}$ （歪量：+1.06%/層厚：5 nm/層数：6/ノンドープ）の井戸層141、 $\text{Ga}_{0.302}\text{In}_{0.698}\text{As}_{0.438}\text{P}_{0.562}$ （歪量：-0.7%/層厚：9 nm/層数：3/ノンドープ）の伸張歪障壁層143、および $\text{Ga}_{0.138}\text{In}_{0.862}\text{As}_{0.301}\text{P}_{0.699}$ （InPに格子整合/層厚：9 nm/層数：4/ノンドープ）の無歪障壁層144からなるMQW構造を有する活性層14を形成する。

【0032】

ここで、活性層14内の各層の形成順は、図1(b)に示したように、無歪障壁層144—井戸層141—伸張歪障壁層143—井戸層141—無歪障壁層144の順である。

【0033】

このようにして形成された活性層14の上に、バンドギャップがp型クラッド層18と無歪障壁層144の間の範囲であり、層厚として100 nm程度のSCH層15を形成す

10

20

30

40

50

る。この形成工程において、バンドギャップ波長はSCH層15a、15b、15cの順に短くなるように配置する。

【0034】

次に、SCH層15の上に、p型InPからなるp型クラッド層18の下層部をサブμm程度の厚さになるよう形成する。

【0035】

次に、プラズマCVD法を用いてSiN_x膜（またはSiO₂膜）をp型クラッド層18の下層部の上面に積層した後、レジストを塗布し、フォトリソグラフィによってストライプ状のマスクパターンを露光して、現像する。そして、フッ酸によるエッチングでマスクパターンをSiN_xの形状に転写してエッチングマスクを形成する。

10

【0036】

そして、上記により設定されたエッチングマスクと、塩酸、硫酸と過酸化水素水と水の混合液からなるエッチング液を用いて、p型クラッド層18の下層部、SCH層15、活性層14、SCH層13、n型クラッド層12をウェットエッチングして、メサストライプを形成する。

【0037】

次に、エッチングで除去された部分にMOVPE法を用い、エッチングマスクを成長阻害マスクとして利用して、p型InPからなる下部埋込層16およびn型InPからなる上部埋込層17を順次積層して埋め込む。

【0038】

20

次に、光導波路形成用のエッチングマスクをフッ酸で除去して、メサストライプの上面を表出し、p型クラッド層18の下層部と組成の等しいp型InPからなる埋め込み層を数μm積層してp型クラッド層18を完成し、その上部にp型GaInAsPからなるp型コンタクト層19を1μm未満の厚さになるようMOVPE法によって積層する。

【0039】

そして、p型コンタクト層19上にp型金属電極20を、半導体基板11の底面にn型金属電極21を蒸着法で形成して、アロイ、メッキ工程を行い、半導体ウエハを完成する。半導体ウエハに対して劈開、ダイシング等を行うことにより個々の半導体発光素子に分離する。

【0040】

30

以上説明したように、本実施形態の半導体発光素子は、MQW構造からなる活性層における伸張歪障壁層の層数を低減することにより、層界面の非平坦性の増幅を低減できるため、障壁層のバンドギャップ波長が1.2μm未満であっても優れたフォトルミネッセンス特性を得ることができる。

【0041】

また、本実施形態の半導体発光素子は、MQW構造からなる活性層における軽いホールと電子との再結合を抑制することができるため、障壁層のバンドギャップ波長が1.2μm未満であっても、優れた偏光特性および光学利得特性を得ることができる。

【0042】

（第2の実施形態）

40

本発明に係る半導体発光素子の第2の実施形態を図3を用いて説明する。図3（a）は、半導体発光素子2の要部の構造を示す拡大断面図であり、図3（b）は、半導体発光素子2のバンド構造を模式的に示す図である。第1の実施形態と同様の構成および製造方法については説明を省略する。

【0043】

活性層14は、図3（a）の拡大断面図に示すように、6層の井戸層141と7層の障壁層142からなるMQW構造を有する。7層の障壁層142は、4層の伸張歪障壁層143および3層の無歪障壁層144からなる。

【0044】

図3（a）に示すように、基板側から、無歪障壁層144、井戸層141、伸張歪障壁

50

層 1 4 3、井戸層 1 4 1、伸張歪障壁層 1 4 3、無歪障壁層 1 4 4 の順に層が積層されている。

【0045】

図 3 (b) は、半導体発光素子 2 のバンド構造を模式的に示す図である。第 1 の実施形態と同様に、重いホールは井戸層 1 4 1 に多く分布し、軽いホールは伸張歪障壁層 1 4 3 に多く分布する。この結果、井戸層 1 4 1 における再結合は、重いホールと電子によるものが大部分を占めることになるため、T M モードの利得を抑制し、T E モードの利得を大きくとることができる。

【0046】

なお、6 層の井戸層 1 4 1、4 層の伸張歪障壁層 1 4 3、および 3 層の無歪障壁層 1 4 4 からなる半導体発光素子 2 のバンド構造としては、図 4 (a) ~ (c) に示すようなものであっても同様の効果を得ることができる（ただし、クラッド層および一部の S C H 層のバンド構造の図示を省略した）。

【図面の簡単な説明】

【0047】

【図 1】本発明の第 1 の実施形態の半導体発光素子を示す斜視図および拡大断面図

【図 2】本発明の第 1 の実施形態の半導体発光素子のバンド構造を示す模式図

【図 3】本発明の第 2 の実施形態の半導体発光素子を示す拡大断面図およびバンド構造を示す模式図

【図 4】本発明の第 2 の実施形態の半導体発光素子のバンド構造の他の例を示す模式図

【符号の説明】

【0048】

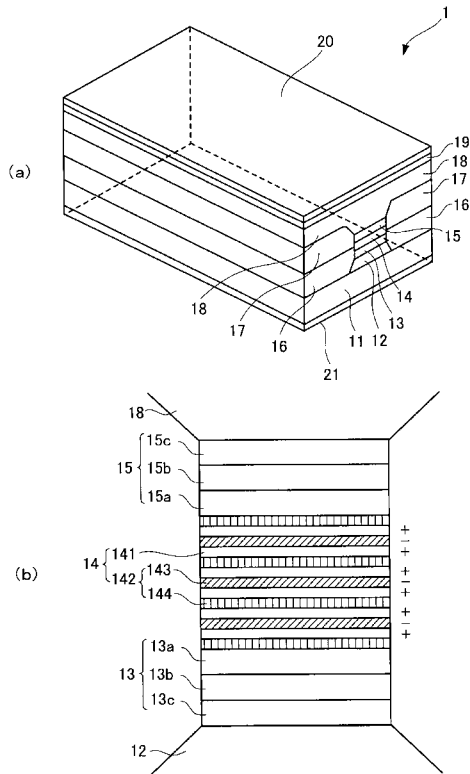
- 1、2 半導体発光素子
- 1 4 活性層
- 1 4 1 井戸層
- 1 4 1 a、1 4 3 a 重いホールバンド端
- 1 4 1 b、1 4 3 b 軽いホールバンド端
- 1 4 2 障壁層
- 1 4 3 伸張歪障壁層
- 1 4 4 無歪障壁層

10

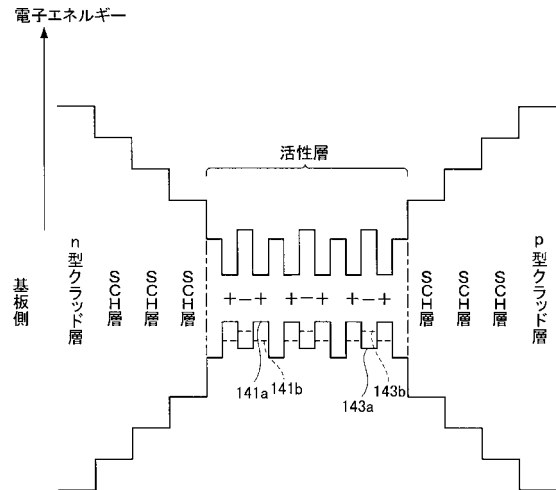
20

30

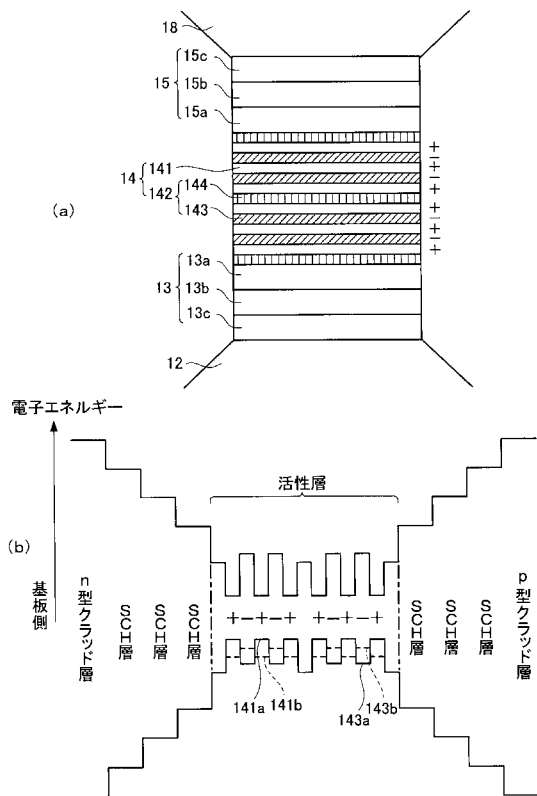
【図 1】



【図 2】



【図 3】



【図 4】

