

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6255939号
(P6255939)

(45) 発行日 平成30年1月10日 (2018. 1. 10)

(24) 登録日 平成29年12月15日 (2017. 12. 15)

(51) Int. Cl.	F I
HO 1 S 5/20 (2006. 01)	HO 1 S 5/20 6 1 O
HO 1 S 5/343 (2006. 01)	HO 1 S 5/343 6 1 O
HO 1 L 21/205 (2006. 01)	HO 1 L 21/205

請求項の数 16 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2013-242961 (P2013-242961)	(73) 特許権者	000226057
(22) 出願日	平成25年11月25日 (2013. 11. 25)		日亜化学工業株式会社
(65) 公開番号	特開2014-131019 (P2014-131019A)		徳島県阿南市上中町岡491番地100
(43) 公開日	平成26年7月10日 (2014. 7. 10)	(74) 代理人	100100158
審査請求日	平成28年11月22日 (2016. 11. 22)		弁理士 鮫島 睦
(31) 優先権主張番号	特願2012-259129 (P2012-259129)	(74) 代理人	100138863
(32) 優先日	平成24年11月27日 (2012. 11. 27)		弁理士 言上 恵一
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(74) 代理人	100145403
			弁理士 山尾 憲人
		(72) 発明者	栴井 真吾
			徳島県阿南市上中町岡491番地100
			日亜化学工業株式会社内
		審査官	村井 友和

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体レーザ素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

n 型半導体層と p 型半導体層との間に、活性層を有する窒化物半導体レーザ素子において、

前記 n 型半導体層は、n 側光ガイド層を有し、

前記活性層は、2 以上の井戸層と、前記井戸層の間に設けられた少なくとも 1 つの障壁層と、を有し、

前記障壁層は、前記 n 側光ガイド層のバンドギャップエネルギーよりも高いバンドギャップエネルギーを有する障壁層を有し、

前記 p 型半導体層は、前記活性層に含まれる全ての障壁層よりもバンドギャップエネルギーの高い電子障壁層を有し、

前記 2 以上の井戸層のうち前記 p 型半導体層に最も近い井戸層である最終井戸層と前記電子障壁層との間に配置された p 側光ガイド層を備え、

前記 p 側光ガイド層は、

前記最終井戸層側に配置され、前記 n 側光ガイド層よりもバンドギャップエネルギーの低い第 1 領域と、

前記電子障壁層側に配置され、前記 n 側光ガイド層よりもバンドギャップエネルギーの高い第 2 領域とを有する、窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 2】

前記 p 側光ガイド層は、前記最終井戸層側から前記電子障壁層側にバンドエネルギーが

10

20

略直線状に増加する層を有する請求項 1 記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 3】

前記バンドエネルギーが略直線状に増加する層は、化合物半導体の組成が変化している組成傾斜層である請求項 2 記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 4】

前記組成傾斜層は、少なくとも一部に In を含有している請求項 3 に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 5】

前記組成傾斜層は、 $Al_x In_y Ga_{1-x-y}N$ ($0 < x < 1$ 、 $0 < y < 1$ 、 $0 < x + y < 1$) を有する請求項 3 または 4 に記載の窒化物半導体レーザ素子。

10

【請求項 6】

前記組成傾斜層は、 $In_x Ga_{1-x}N$ ($0 < x < 1$) を有する請求項 3 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 7】

前記 p 側光ガイド層の膜厚は、 $500 \sim 5000$ である請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 8】

前記 p 側光ガイド層は、前記電子障壁層と接している請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 9】

20

前記障壁層のうち前記 n 型半導体層に最も近い障壁層は、第 1 の障壁層であり、前記第 1 の障壁層の膜厚は、井戸層の膜厚よりも厚い請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 10】

前記第 1 の障壁層は、n 型不純物を $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上含有している請求項 9 に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 11】

前記 n 側ガイド層の膜厚は、前記第 1 の障壁層の膜厚よりも厚い請求項 9 または 10 に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 12】

30

前記 n 側ガイド層は、前記第 1 の障壁層に接しており、該 n 側ガイド層における該接触部はノンドープ領域である請求項 9 乃至 11 のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 13】

前記井戸層の総膜厚は、第 1 の障壁層を除く他の障壁層の総膜厚よりも厚い請求項 9 乃至 12 のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 14】

前記 p 側光ガイド層は、ノンドープ層である請求項 1 乃至 13 のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 15】

40

前記窒化物半導体レーザ素子は、C 面窒化物基板上に形成されている請求項 1 乃至 14 のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 16】

n 型半導体層と p 型半導体層との間に、活性層を有する窒化物半導体レーザ素子において、

前記 n 型半導体層は、n 側光ガイド層を有し、

前記活性層は、前記 n 側光ガイド層上に、障壁層、井戸層を順に積層した単一量子井戸構造であり、

前記障壁層は、前記 n 側光ガイド層のバンドギャップエネルギーよりも高いバンドギャップエネルギーを有し、

50

前記井戸層上に、p側光ガイド層と、前記障壁層よりもバンドギャップエネルギーの高い電子障壁層とを順に有し、

前記p側光ガイド層は、前記井戸層側に配置され、前記n側光ガイド層よりもバンドギャップエネルギーの低い第1領域と、前記電子障壁層側に配置され、前記n側光ガイド層よりもバンドギャップエネルギーの高い第2領域とを有する窒化物半導体レーザ素子。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、窒化物半導体レーザ素子に関する。

【背景技術】

10

【0002】

今日、窒化物半導体素子である窒化物半導体レーザは、紫外域から緑色に至るまで、幅広い波長域での発振が可能となり、その応用範囲は、光ディスクシステムの光源にとどまらず、多岐にわたるものと期待されている。特に可視光領域の、青紫色帯より長波長帯側では、プロジェクタ用光源やテレビ用光源といったディスプレイ用光源として期待されている。

【0003】

特許文献1には、半導体レーザが記載されている。この半導体レーザは、基板上にn型クラッド層と、第1の光ガイド層と、活性層と、第2光ガイド層と、p型クラッド層と、を備えた半導体レーザであって、前記第2光ガイド層はInGa_N領域を含み、そのIn組

20

成は活性層側からp型クラッド層に向けて減少する構造を有している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2009-200437号公報

【特許文献2】特開2001-65632号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

しかしながら、このような特許文献1に記載された構造の半導体レーザでは、活性層への光閉じ込めが不十分で閾値電流が上昇するおそれがある。また、このような半導体レーザでは、光吸収の多い電子障壁層に光が漏れてレーザ特性を悪化させてしまうおそれがある。

30

【0006】

またn側半導体層においても組成傾斜している層を有しており、このような構造では電圧が上昇するという現象がある。この問題は、不純物をドーピングすることにより回避できると考えられるが、一方でこの不純物がレーザ光を吸収してしまう。その結果、レーザ特性を悪化させてしまう。

【0007】

また特許文献2に記載された半導体発光素子においては、p側障壁層においてバンドエネルギーの低い領域と高い領域が存在する構造が開示されている。しかし、そのトータル厚みが10nmと小さく、光ガイド層としては機能しないため、光閉じ込めが弱くレーザ特性が悪化するおそれがある。その結果、この構造を採用した半導体発光素子は、内部量子効率が減少する。

40

【0008】

窒化物半導体レーザ素子では、In含有窒化物層を井戸層に有する量子井戸構造とする場合には、発振波長が長くなるに従って、このIn含有量を増加させなければならない。その結果、半導体層の内部に大きな歪みが発生するため結晶性の悪化や圧電分極の増大による内部量子効率の低下が発生する。一方で、井戸層を薄くすることによって、上記の問題を抑制させることはできるが、井戸層のキャリアの閉じ込めが弱くなり、キャリアのオ

50

オーバーフローが発生し、内部量子効率が低下してしまう。

また、レーザ素子の積層構造体に含まれる導波路の一部を構成するガイド層では、井戸層からのキャリアのオーバーフローにより井戸層以外の領域におけるキャリア濃度が増加し、このため光吸収、非発光再結合 (SRH (Shockley Read-Hall) 非発光再結合、オージェ非発光再結合) または発振に寄与しない発光再結合が発生する。これにより、上述した内部量子効率の低下というレーザ特性の悪化を招いてしまう。

また、キャリアの閉じ込めを大きくするために障壁層のエネルギーギャップを大きくする構造や、障壁層の厚みをより厚くする構造が考えられるが、その障壁層自体によって動作電圧が高くなってしまう問題もある。

更に、上部クラッド層と下部クラッド層の間に活性層を有するレーザ素子においては、活性層を含めた導波路内に光を閉じこめるための屈折率差を確保する必要がある。具体的には、クラッド層に Al 組成比の大きな窒化物半導体を用いるものであり、その結果、結晶性の問題が生じることになる。Al を含む窒化物半導体が、Al を含まない他の窒化物半導体に比べて、クラック等の発生により大きく結晶性が悪化する傾向にあるからである。

【0009】

本発明は、上記事情に鑑みてなされたものである。つまり、本発明は内部量子効率を向上させ、また動作電圧を低下させた窒化物半導体レーザ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】

【0010】

本発明によれば、上記課題を解決することができる。その窒化物半導体レーザ素子は、n 型半導体層と p 型半導体層との間に、活性層を有する窒化物半導体レーザ素子において、前記 n 型半導体層は、n 側光ガイド層を有し、前記活性層は、2 以上の井戸層と、前記井戸層の間に設けられた少なくとも 1 つの障壁層と、を有し、前記障壁層は、前記 n 側光ガイド層のバンドギャップエネルギーよりも高いバンドギャップエネルギーを有する障壁層を有し、前記 p 型半導体層は、前記活性層に含まれる全ての障壁層よりもバンドギャップエネルギーの高い電子障壁層を有し、前記 2 以上の井戸層のうち前記 p 型半導体層に最も近い井戸層である最終井戸層と前記電子障壁層との間に配置された p 側光ガイド層を備え、前記 p 側光ガイド層は、前記最終井戸層側に配置され、前記 n 側光ガイド層よりもバンドギャップエネルギーの低い第 1 領域と、前記電子障壁層側に配置され、前記 n 側光ガイド層よりもバンドギャップエネルギーの高い第 2 領域とを有する。

【発明の効果】

【0011】

本発明に係る窒化物半導体レーザ素子は、内部量子効率を向上させることができる。また、本発明に係る窒化物半導体レーザ素子では、低い動作電圧で 사용할 ことができる。

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図 1】本発明の一実施形態に係る窒化物半導体レーザ素子の構造と従来構造とのバンドエネルギーイメージを示す図である。

【図 2】本発明の一実施形態に係る窒化物半導体レーザ素子の構造と従来構造とのキャリア濃度分布を示す図である。

【図 3】窒化物半導体レーザ素子の従来構造と比較例とのバンドエネルギーイメージを示す図である。

【図 4】窒化物半導体レーザ素子の従来構造と比較例とのキャリア濃度分布を示す図である。

【図 5】本発明の一実施形態に係る窒化物半導体レーザ素子の構造と従来構造とのバンドエネルギーイメージを示す図である。

【図 6】本発明の一実施形態に係る窒化物半導体レーザ素子の構造と従来構造とのキャリア濃度分布を示す図である。

【図 7】本発明の一実施形態に係る窒化物半導体レーザ素子と一比較例の I - L 特性である。

【図 8】本発明の一実施形態に係る窒化物半導体レーザ素子と一比較例の I - V 特性である。

【図 9】本発明の一実施形態に係る窒化物半導体レーザ素子と一比較例の I - L 特性である。

【図 10】本発明の一実施形態に係る窒化物半導体レーザ素子と一比較例の I - V 特性である。

【図 11】本発明の一実施形態に係る窒化物半導体レーザ素子の模式的断面図である。

【発明を実施するための形態】

10

【0013】

以下に、本発明を実施するための形態について説明する。

【0014】

本発明の実施形態に係る窒化物半導体レーザ素子は、n 型半導体層と p 型半導体層との間に、活性層を有する窒化物半導体レーザ素子において、前記 n 型半導体層は、n 側光ガイド層を有し、前記活性層は、2 以上の井戸層と、前記井戸層の間に設けられた少なくとも 1 つの障壁層と、を有し、前記障壁層は、前記 n 側光ガイド層のバンドギャップエネルギーよりも高いバンドギャップエネルギーを有する障壁層を有し、前記 p 型半導体層は、前記活性層に含まれる全ての障壁層よりもバンドギャップエネルギーの高い電子障壁層を有し、前記 2 以上の井戸層のうち前記 p 型半導体層に最も近い井戸層である最終井戸層と前記電子障壁層との間に配置された p 側光ガイド層とを備え、前記 p 側光ガイド層は、前記最終井戸層側に配置され、前記 n 側光ガイド層よりもバンドギャップエネルギーの低い第 1 領域と、前記電子障壁層側に配置され、前記 n 側光ガイド層よりもバンドギャップエネルギーの高い第 2 領域とを有するものである。

20

【0015】

このような構造を採用したレーザ素子では、最終井戸層と電子障壁層との間にある p 側光ガイド層の電子およびホール濃度を下げることができる。そのため、非発光再結合の確率が減少し、若しくは発振に寄与しない半導体層での発光再結合確率が減少し、内部量子効率が上昇する。その結果、レーザ素子のレーザ特性が向上する。以後、発振に寄与しない半導体層での発光再結合に関しても、まとめて非発光再結合と表記することがある。

30

【0016】

これらのメカニズムについて詳細に説明する。

一般的に注入した電子、およびホールは再結合によって、半導体層内で消費される。井戸層に注入した電子とホールの再結合に関して一般的に以下のモデル式 (1) で表される。ここでの R は、再結合速度を示す。

$$R(n) = An + Bn^2 + Cn^3 \quad (1)$$

(n : キャリア濃度、A : SRH 非発光再結合系数、B : 発光再結合系数、C : Auger 再結合係数)

40

この式から発光再結合および非発光再結合の速度、つまり再結合確率はキャリア濃度に依存することがわかる。また、このようなキャリア濃度に依存する再結合は、井戸層のみで発生するものではなく、あらゆるエピタキシャル層において発生する。つまり、井戸層以外のキャリア濃度を下げることにより、レーザ素子全体の非発光再結合を抑制することができ、かつレーザ素子の内部量子効率をあげることができると推測できる。

【0017】

上述について、以下に例をあげて説明する。

従来の構造のバンドエネルギーイメージ図、およびバンドシミュレーション (CROSSLIGHT Software Inc. 製 LASTP 使用) を用いて計算した p 側光ガイド層の発振時キャリア濃度分布図を示す。これらは、図 1 と図 2 の実線である。

50

図1および図2に示すモデルでは、横軸の左から順にn側ガイド層、第1の障壁層、活性層（第1の障壁層を除く）、p側ガイド層、電子障壁層およびp側クラッド層が配置されている。図1に示すバンドエネルギーイメージ図においては、簡便のため各層のバンドエネルギーの大小関係を表すものとしている。また、キャリア濃度には電子濃度とホール濃度の二種類があるが、p側ガイド層においてはほぼ同濃度のキャリア濃度分布になることを確認しており、簡便のため電子濃度のみをキャリア濃度分布図として示す。図2よりp側光ガイド層（p側ガイド層）のキャリア濃度が活性層から電子障壁層に近づくにつれて増加していることがわかる。井戸層（活性層）以外のキャリア濃度が高くなることによって、その部分での非発光再結合確率（SRH再結合、Auger再結合）が高くなり、結果としてレーザ素子としての非発光再結合確率が高くなるため内部量子効率を低下させてしまうことになる。また井戸層以外での発振に寄与しない発光再結合確率も高くなり、これも内部量子効率を低下させてしまう原因となる。これらのことから、井戸層以外のキャリア濃度が非発光再結合確率に及ぼす影響は非常に大きいと考えられる。特にそのキャリア濃度が $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ を超えてくると内部量子効率に与える影響が大きくなってくる。

10

【0018】

一方、p側光ガイド層に、n側ガイド層よりバンドエネルギーの低い領域（第1領域）とバンドエネルギーの高い領域（第2領域）を井戸層（活性層側）側から順に設けることによって、p側光ガイド層のキャリア濃度を低減することがわかった。このバンドイメージを図1の破線に示す。またキャリア濃度分布図を図2の破線に示す。バンドエネルギーの低い領域では従来構造と比較してほぼ同様あるいは若干多くキャリア濃度が増加するが、バンドエネルギーの高い領域では大幅にキャリア濃度が減少することがわかる。つまり、p側光ガイド層における非発光再結合確率を大幅に下げられるということが明確にわかる。この構造が本実施形態に係るレーザ素子の構造である（図2の破線）。つまり、本実施形態のレーザ素子構造を採用することにより、最終井戸層と電子障壁層との間のp側光ガイド層の電子およびホール濃度を大幅に下げることができる。そのため、非発光再結合確率が減少し、結果として内部量子効率が上昇する。

20

さらに、このp側光ガイド層の最終井戸層側をバンドギャップエネルギーの低い領域（第1領域）とすることにより効果的に動作電圧を低減することができる。このことは、最終井戸層とp側光ガイド層のバンドエネルギー差が小さくなるため、動作電圧が低下するものと考えられる。一方で、井戸層のキャリアの閉じ込めが弱くなるため電子のオーバーフローを推進してしまうことも懸念されるが、このレーザ素子はp側光ガイド層の電子障壁層側にバンドギャップエネルギーの高い領域（第2領域）を設けているため、その部分でオーバーフローした電子を止めることができ、電子障壁層手前の電子キャリア濃度を効果的に下げることができる。そのため、結果として、電圧を低下させつつ半導体層の非発光再結合確率を減少させ、内部量子効率を向上させることができる。

30

【0019】

ここで比較のために、バンドエネルギーの低い領域のみをp側光ガイド層に設けた構造（比較例1）と、バンドエネルギーの高い領域のみをp側光ガイド層に設けた構造（比較例2）に関して説明する。これらのバンドイメージ図を従来構造図とあわせて図3に示す。また、同様にキャリア濃度分布図を従来構造図とあわせて図4に示す。図3と図4において、従来構造は実線であり、比較例1の構造は点線であり、比較例2の構造は破線としている。p側光ガイド層にバンドエネルギーの低い領域のみ設けた場合、先述したように電圧が低下する。しかしながら、電子のオーバーフローが増加することによりp側光ガイド層のキャリア濃度が増大し、先述と同様に内部量子効率が低下する。これらを図3の点線と、図4の点線に示す。

40

一方、p側光ガイド層にバンドエネルギーの高い領域のみ設けると、p側光ガイド層のキャリア濃度は若干減少し、若干の内部量子効率の増加が期待されるが、井戸層とp側光ガイド層の障壁により電圧が上昇してしまう。これらを図3の破線と、図4の破線に示す。またこのときのキャリア濃度の減少は本発明の構造と比較するとごく小さく、その効果

50

は非常に小さなものとなる。

【0020】

さらに、半導体レーザ素子においては井戸層への光閉じ込めも考慮する必要がある。井戸層への光閉じ込めは各層の屈折率差に依存して決定され、屈折率はバンドエネルギーの大きな材料ほど低くなる傾向にある。p側光ガイド層がn側光ガイド層よりもバンドエネルギーの大きな領域だけであると、n側光ガイド層へ光が移動するため井戸層への光閉じ込めが弱くなる。一方p側光ガイド層がn側光ガイド層よりもバンドエネルギーの小さな領域だけであると、p側光ガイド層へ光が移動するため同様に井戸層への光閉じ込めが弱くなる。さらに電子障壁層やp型半導体層は光吸収係数が大きいため、p型半導体層(p型クラッド層)に光が漏れると光吸収が大きくなり、半導体レーザの特性を悪化させてしまう。本実施形態における窒化物半導体レーザ素子は、n側光ガイド層と比較して、p側光ガイド層にバンドエネルギーの小さな領域と大きな領域を設けることによって、井戸層への光閉じ込めを効果的におこなうことができ、p型半導体層への光の漏れもバンドエネルギーの大きな領域を設けることによって最小限に抑え、半導体レーザの効率を向上させることができる。

10

【0021】

図11は、本発明の実施形態に係る窒化物半導体レーザ素子の構成を概略的に示す図面である。この窒化物半導体レーザ素子100は、基板10上に、n型半導体層11と、活性層12と、p型半導体層13とを備えている。これらの層は、基本的には多層構造をしている。尚、本発明の窒化物半導体レーザ素子は、この図面に限定されるものではない。

20

【0022】

また、n型半導体層11は、少なくともn側光ガイド層を有している。

【0023】

本実施形態における活性層12は、多重量子井戸構造をしており、2以上の井戸層と、前記井戸層の間に設けられた少なくとも1つの障壁層と、を有している。井戸層のうちn型半導体層に最も近い井戸層は、第1の井戸層である。また、井戸層のうちp型半導体層に最も近い井戸層は、最終井戸層である。障壁層は、前記n側光ガイド層のバンドギャップエネルギーよりも高いバンドギャップエネルギーを有する障壁層を有している。

【0024】

p型半導体層13は、活性層12に含まれる全ての障壁層よりもバンドギャップエネルギーの高い電子障壁層を有している。また、p型半導体層13は、最終井戸層と電子障壁層との間に、p側光ガイド層を有している。このp側光ガイド層は、最終井戸層側にはn側光ガイド層よりもバンドギャップエネルギーの低い領域があり、電子障壁層側にはn側光ガイド層よりもバンドギャップエネルギーの高い領域がある。

30

【0025】

本実施形態に係る窒化物半導体レーザ素子は、Ga_xN_{1-x}、Al_xN_{1-x}、もしくはIn_xN_{1-x}、又はこれらの混晶であるIII-V族窒化物半導体(In_xAl_{1-x}Ga_{1-y}N_{1-y-z}O_z、0<x,y,z<1)を用いてよい。また上記に加えて、III族元素としてBを含むものや、V族元素としてNの一部をP、Asで置換した、混晶を用いてもよい。また、Alを含む窒化物半導体はx>0であり、Inを含む窒化物半導体はx>0である。

40

【0026】

上記窒化物半導体には不純物を含有する層がある。具体的には、n型不純物としては、Si、Ge、Sn、S、O、Ti、Zr等のIV族、若しくはVI族元素を用いることができ、好ましくはSi、Ge、Snを用いる。また、p型不純物としては、Be、Zn、Mn、Cr、Mg、Caなどが挙げられ、好ましくはMgを用いる。これにより、各導電型の窒化物半導体層を形成する。

【0027】

本実施形態におけるp側光ガイド層は、最終井戸層側から電子障壁層側にバンドエネルギーが略直線的に増加するように組成傾斜層を有してよい。このときのバンドエネルギーイメージ図およびキャリア濃度分布図を従来構造と合わせて図5と図6に示す。図5と図

50

6において、従来構造は実線で示す構造であり、本実施形態における構造は破線で示す構造である。このような破線で示す本実施形態の構成により、p側光ガイド層におけるキャリア濃度を効果的に低下させることができる。この組成傾斜する層において、バンドギャップエネルギーの増加を直線的にするのではなく、上部へまたは下部へ湾曲させながら形成することも出来るが、ほぼ直線的にバンドギャップエネルギーを増加させることが最も効果的にキャリア濃度を低下させることができる。前述したように、p側光ガイド層のキャリア濃度を低下させると非発光再結合確率を減少させるため、本発明の構成において大幅に内部量子効率を向上させることになる。このバンドエネルギーが略直線状に増加する層は、化合物半導体の組成を変化させて形成する。

ここで詳細に図6のグラフをみると、本発明のキャリア濃度は、井戸層付近のp側光ガイド層では従来構造のレーザ素子よりも若干高くなる。しかしながら、従来構造では電子障壁層側に近づくにつれキャリア濃度は高くなるが、本実施形態のレーザ素子ではキャリア濃度の増加はなく、ほぼ一定となる。結果として、従来構造のp側光ガイド層と比較して、本実施形態のレーザ素子におけるp側光ガイド層のキャリア濃度が大幅に低くなるのがわかる。このような現象は、p側光ガイド層が厚くなってくると顕著となる。特に半導体レーザ素子においては、光閉じ込めを強化するために十分な厚みのp側光ガイド層が必要となるため、本実施形態のレーザ素子の効果が大きくなる。さらに、このバンドエネルギーの傾きが急であるほどキャリア濃度の増加が抑えることができる。

【0028】

このp側光ガイド層の組成傾斜層は、少なくとも一部にInを含有していることが好ましい。

このInを含有する層を上述した位置に入れることにより、井戸層への歪み緩衝層として機能する。これはInを含有する結晶そのものの柔らかさにより井戸層の歪みを分散させる効果がある。特に組成傾斜により井戸層に近い部分でのIn組成が大きいいため、より効果的に働いているものと考えられる。また、In組成が大きな層による圧電分極の抑制の効果もあると考えられる。

【0029】

このp側光ガイド層は、電子障壁層よりもバンドエネルギーが低いことが好ましい。

その理由は、電子障壁層にて電子を止める効果を得て、p側光ガイド層の動作電圧の上昇を抑制するためである。

【0030】

p側光ガイド層の膜厚は、500～5000 であることが好ましい。

【0031】

このp側光ガイド層は、最終井戸層、及び/又は前記電子障壁層と接していることが好ましい。

この構造を採用することにより、前述したとおりp側光ガイド層における非発光再結合確率を減少させ、かつ光の閉じこめを効率良く行うことができる。

【0032】

このp側光ガイド層の組成傾斜する層は、 $Al_x In_y Ga_{1-x-y} N$ ($0 < x < 1$ 、 $0 < y < 1$ 、 $0 < x + y < 1$)を有することが好ましい。

【0033】

このp側光ガイド層の組成傾斜する層は、 $In_x Ga_{1-x} N$ ($0 < x < 1$)を有することが好ましい。この組成傾斜層は、歪み緩衝層として機能させることができる。

【0034】

障壁層のうちn型半導体層に最も近い障壁層は、第1の障壁層である。この第1の障壁層の膜厚は、井戸層の膜厚よりも厚いことが好ましい。

【0035】

第1の障壁層は、n型不純物を $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 以上含有していることが好ましい。

第1の障壁層は井戸層からのホールのオーバーフローをブロックする効果があり、ホー

10

20

30

40

50

ルブロック層として機能する。この層を設けることにより、半導体素子のレーザ特性を向上させることができる。また、第1の障壁層は、ホールブロック層として機能するため、部分的にn型不純物を含まない薄膜を挟んだ構造としても良い。

【0036】

n側光ガイド層は、第1の障壁層に接しており、該n側光ガイド層における該接触部はノンドープ領域であることが好ましい。第1の障壁層がホールブロック層として機能する場合、n側光ガイド層はノンドープ領域とすることができる。その結果、n側光ガイド層におけるn型不純物濃度およびキャリア濃度が減少し、非発光再結合確率の低下、および光吸収係数の減少により半導体レーザ特性を向上させることができる。

また、n側光ガイド層で光を閉じ込める効果を得るために、このn側光ガイド層の膜厚は第1の障壁層より厚くなるのが好ましい。このn側光ガイド層をノンドープ領域とした場合、p側光ガイド層のように組成傾斜により井戸層方向にバンドエネルギーを小さくするような構造をとると、ピエゾ電界の影響により電圧特性に異常が発生し電圧が上昇してしまう。そのため、n側光ガイド層は、組成傾斜しないノンドープ領域の層であることが望ましい。

【0037】

p側光ガイド層は、ノンドープ層であることが好ましい。ドーピングをすると、キャリア濃度が増えることになり、その結果、非発光再結合確率の増加および光吸収係数が増加してしまうためレーザ特性を著しく悪化させてしまう場合がある。しかし、光ガイド層はN型半導体層であってもよい。

【0038】

井戸層の総膜厚（全ての井戸層の膜厚の合計）は、第1の障壁層を除く他の障壁層の総膜厚よりも厚いことが好ましい。このような構造を取ることで、井戸層にかかるピエゾ電界を効果的に抑制することができるため発光再結合確率が上昇し、かつ動作電圧を減少させることができる。

言い換えると、この他の障壁層である中間障壁層の膜厚は薄いことが好ましいことになる。具体的には、この中間障壁層の各膜厚は60以下であることが好ましい。

【0039】

このp側光ガイド層は、電子障壁層と接していることが好ましい。

【0040】

障壁層のうちn型半導体層に最も近い障壁層は、第1の障壁層である。この第1の障壁層の膜厚は、井戸層の膜厚よりも厚いことが好ましい。このような構造により、キャリアの閉じ込めを十分に行うことができる。特に、第1の障壁層以降にある中間障壁層の膜厚を薄くする場合に有効である。

この第1の障壁層の膜厚は、20～200以下とすることが好ましい。また、各井戸層の膜厚は、200以下であればよい。

【0041】

次に、本発明の実施形態2に係る窒化物半導体レーザ素子の構成を説明する。この窒化物半導体レーザ素子は、単一量子井戸構造のレーザ素子である。n型半導体層とp型半導体層との間に、活性層を有する窒化物半導体レーザ素子において、前記n型半導体層は、n側光ガイド層を有し、前記活性層は、前記n側光ガイド層上に、障壁層、井戸層を順に積層した単一量子井戸構造であり、前記障壁層は、前記n側光ガイド層のバンドギャップエネルギーよりも高いバンドギャップエネルギーを有し、前記p型半導体層は、前記井戸層上に、p側光ガイド層と、前記障壁層よりもバンドギャップエネルギーの高い電子障壁層とを順に有し、前記p側光ガイド層は、前記井戸層側には前記n側光ガイド層よりもバンドギャップエネルギーの低い領域（第1領域）があり、前記電子障壁層側には前記n側光ガイド層よりもバンドギャップエネルギーの高い領域（第2領域）がある。

【0042】

以下、本発明に係る実施例について詳述する。なお、本発明が以下の実施例に限定されないことは言うまでもない。

【0043】

[実施例1]

以下、実施例として、窒化物半導体レーザ素子構造について、説明する。

【0044】

本実施例では、窒化物半導体層の成長用基板10にc面Ga_{0.98}N基板を用いた。他にもc面以外のm面やa面などの非極性および半極性Ga_{0.98}N基板や、Al_{0.02}N等の窒化物基板や窒化物半導体と異なる異種基板を用いても良い。異種基板としては、例えば、R面、及びA面のいずれかを主面とするサファイアのような絶縁性基板、SiC(6H、4H、3Cを含む)、ZnS、ZnO、GaAs、Si等である。その他にも、窒化物半導体と異なる異種基板上に窒化物半導体を成長させたテンプレート基板を用いることができる。例えば、W上にGa_{0.98}Nを成長したテンプレート基板がある。また、基板は、オフアングルしていてもよく、一般的にステップ状にオフアングルしたものをを用いる。

10

【0045】

また本実施例の効果は、極性面をもつc面において特に効果が大きいと考えられる。c面Ga_{0.98}N基板上の素子では井戸層にかかるピエゾ電界により、井戸層から電子がオーバーフローしやすく、p側ガイド層のキャリア濃度が増加することによって、内部量子効率を低下させてしまいやすい。本実施例では、p側ガイド層のキャリア濃度の増加を抑制することができるため、その非発光再結合確率が小さくなり、結果としてc面Ga_{0.98}N基板上の素子において内部量子効率を向上させる効果が大きくなる。

20

【0046】

以下に発振波長が460nmの青色レーザダイオードについて記述する。窒化物半導体層の作製には有機金属気相成長法(MOCVD法)を利用した。また、原料には、トリメチルガリウム(TM_{0.98}G)、トリメチルアルミニウム(TMA)、トリメチルインジウム(TM_{0.98}I)、アンモニア、シランガス、シクロペンタジエニルマグネシウム(Cp₂Mg)を適宜用いた。

【0047】

c面Ga_{0.98}N基板10上に、n型半導体層11を成長させる。具体的には、SiドープしたAl_{0.02}Ga_{0.98}Nよりなる下地層を2.0μmの膜厚で成長させた。

【0048】

次に、SiドープしたIn_{0.05}Ga_{0.95}Nよりなる第1のn側半導体層を0.15μmの膜厚で成長させた。

30

【0049】

次に、SiドープしたAl_{0.07}Ga_{0.93}Nよりなる層を1.0μmの膜厚で成長させ、続いてSiドープしたGa_{0.98}Nよりなる層を0.3μmの膜厚で成長させた。これらは第2のn側半導体層である。

【0050】

次に、アンドープのIn_{0.03}Ga_{0.97}N層を0.2μmの膜厚で成長させた。この層はn側光ガイド層である。

【0051】

次に、活性層12を成長させた。2×10¹⁹cm⁻³程度のSiドープしたGa_{0.98}Nよりなる第1の障壁層を膜厚100Åで成長させた。この層はホールブロック層として機能する。その上に、アンドープのIn_{0.15}Ga_{0.85}Nよりなる第1の井戸層を膜厚35Å、アンドープのGa_{0.98}Nよりなる中間障壁層を膜厚35Å、アンドープのIn_{0.15}Ga_{0.85}Nよりなる第2の井戸層を膜厚35Åで順に成長させた。次に、最終障壁層として100Åの膜厚のGa_{0.98}Nを成長させた。この活性層は、総膜厚が約115Åの多重量子井戸構造(MQW)となる。本実施例のように井戸層とp側ガイド層との間に最終障壁層を動作電圧が上がらない程度に導入しても良い。この層は井戸層のInGa_{0.98}Nの分解の抑制や、結晶の平坦性を向上する層として機能すると考えられる。

40

【0052】

次に、活性層12上に、p型半導体層13を成長させた。具体的には、In_xGa_{1-x}

50

$N(0 < x < 1)$ からなる p 側光ガイド層を成長させた。この p 側光ガイド層は、組成傾斜層として成長させた。具体的には井戸層側を $In_{0.06}Ga_{0.94}N$ とし、電子障壁層側を GaN として、組成傾斜がほぼ直線上になるように In を減少させて膜厚 2000 で成長させた。

【0053】

次に、電子障壁層を成長させた。 Cp_2Mg を用いて Mg をドーブした $Al_{0.16}Ga_{0.84}N$ よりなる電子障壁層を 100 の膜厚で成長させた。

【0054】

次に p 側クラッド層を成長させた。この p 側クラッド層は、アンドープの $Al_{0.04}Ga_{0.96}N$ よりなる層を 1500 の膜厚で、 Mg ドープ $Al_{0.04}Ga_{0.96}N$ よりなる層を 1500 の膜厚で順に成長させた。

【0055】

次に、p 側コンタクト層を成長させた。 Mg をドーブした p 型 GaN よりなる p 側コンタクト層を 150 の膜厚で成長させた。

【0056】

次に、MOCVD 炉内より素子成長したウェハを取りだし、RIE により $30\mu m$ の幅を有するストライプ状のリッジを形成した。次に、リッジ上に ITO よりなる p 側電極 15 を 200 nm の膜厚で形成した。次に、 SiO_2 よりなる絶縁膜 16 を 200 nm の膜厚で形成した。この絶縁膜は、半導体層の上面、リッジ 14 の側面及び上面の p 側電極が形成されていない領域（リッジの両端の領域）を被覆している。

【0057】

次に、 Ni （膜厚 8 nm）/ Pd （膜厚 200 nm）/ Au （膜厚 800 nm）/ Pt （膜厚 200 nm）/ Au （膜厚 300 nm）よりなるパッド 18 を形成した。最終層の膜厚 300 nm の Au は、フェイスダウン実装時に $AuSn$ との共晶により合金化した。

【0058】

以上の構成を有するウェハを基板側から研磨して $80\mu m$ とした後、 Ti （膜厚 6 nm）/ Au （膜厚 200 nm）/ Pt （膜厚 200 nm）/ Au （膜厚 300 nm）よりなる n 側電極 19 を基板の下面に形成した。

【0059】

次に、M 面を劈開面としてウェハをバー状に劈開し、複数のバー状ウェハとした。作製したバー状ウェハの出射面に AlN を形成した後、 SiO_2/Ta_2O_5 を形成し、出射側保護膜（出射側ミラー）とした。また、バー状ウェハの反射面には AlN を形成した後 SiO_2/Ta_2O_5 を計 6 ペア形成し、反射側保護膜（反射側ミラー）とした。

【0060】

次に、リッジに平行な方向でバー状ウェハを切断して、共振器長（リッジに平行な方向の長さ） $1200\mu m$ 、幅（リッジと垂直な方向のレーザー素子の長さ） $150\mu m$ の半導体レーザ素子を得た。

【0061】

上述したように作製した窒化物半導体レーザ素子は 460 nm で発振した。

【0062】

実施例 1 で作製したレーザ素子の I - L 特性、I - V 特性を図 7 と図 8 の実線にてそれぞれ示す。また比較例 3 として、p 側光ガイド層を $In_{0.03}Ga_{0.97}N$ で膜厚を 2000 の単層としたこと以外は、実施例 1 と同様の構造で作製したレーザ素子の I - L 特性、I - V 特性を図 7 と図 8 の破線にて示す。

【0063】

本発明の実施例 1 において、比較例 3 に比べ、スロープ効率の増加により光出力が向上し、かつ電圧が低下していることを確認した。これは図 5 と図 6 に示したように、p 側ガイド層のキャリア濃度増加の抑制による非発光再結合確率の減少の効果が得られて、内部量子効率が向上したため、光出力が向上したものと考えられる。さらに、p 側ガイド層にバンドエネルギーの小さな層を井戸層側層に設けることによって電圧が低減したためであ

10

20

30

40

50

ると考えられる。

【0064】

[実施例2]

実施例2は、実施例1と異なる発振波長のレーザ素子に関する。この実施例2のレーザ素子は、発振波長が515nmの緑色レーザである。実施例1と同様の方法でレーザ素子の作製をおこなった。半導体層は、第1の井戸層と第2の井戸層とをアンドープの $\text{In}_{0.30}\text{Ga}_{0.70}\text{N}$ とし、膜厚25で成長させた。また、中間障壁層をアンドープの GaN とし、膜厚25で成長させた。また、p側光ガイド層の井戸層側を $\text{In}_{0.08}\text{Ga}_{0.92}\text{N}$ 、電子障壁層側を GaN として、 In がほぼ直線上になるように組成傾斜をつけて2000で成長させた。これらの構造以外は、実施例1と同構造の素子構造を作製した。このレーザ素子のリッジ幅は15 μm とした。

10

【0065】

このように作製したレーザ素子は515nmで発振した。

【0066】

実施例2で作製したレーザ素子のI-L特性を図9の実線で示し、I-V特性を図10の実線で示す。また比較例4として、活性層の中間障壁層を140、p側光ガイド層を $\text{In}_{0.03}\text{Ga}_{0.97}\text{N}$ 2000の単層としたこと以外は、実施例2と同様の構造で作製したレーザ素子のI-L特性を図9の破線で示し、I-V特性を図10の破線で示す。

【0067】

20

実施例2と比較例4の比較において、スロープ効率の増加による光出力の大幅な向上だけでなく閾値電流も大きく低下している。この閾値電流の差異は実施例1においては顕著な差はみられなかった。本実施例のような緑色長波領域においては、高混晶 In 結晶の井戸層を成長しなくてはならず、ピエゾ電界も大きく発生してしまうだけでなく、大きな格子歪みが発生し結晶性も悪化させてしまう。そのためピエゾ電界を抑制し結晶性を保つためには井戸層の厚みを薄くする必要があるが、逆にキャリアの閉じ込めが弱くなり、井戸層から電子のオーバーフローがより顕著となる。このような理由のため、p側光ガイド層のキャリア濃度増加の抑制効果が大幅にあらわれ、内部量子効率が大幅に向上し、スロープ効率の向上だけでなく、大幅な閾値電流の低下を実現したものと考えられる。また実施例1と同様の理由で、実施例2において比較例4よりも電圧が低下する。これは中間障壁層の厚みが井戸層の総膜厚よりも薄くなっていることで、大幅な電圧の低下の効果がみられている。特に緑色長波領域においては、井戸層への光閉じ込めが強くなる効果も顕著にあらわれ、特性の向上を実現しているものと考えられる。

30

【産業上の利用可能性】

【0068】

本発明に係るレーザ素子は、光ディスク用光源の他にも、プロジェクタ用光源やテレビ用光源といったディスプレイ用光源や医療用光源等に利用することができる。

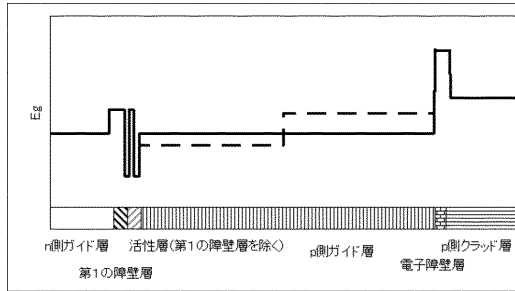
【符号の説明】

【0069】

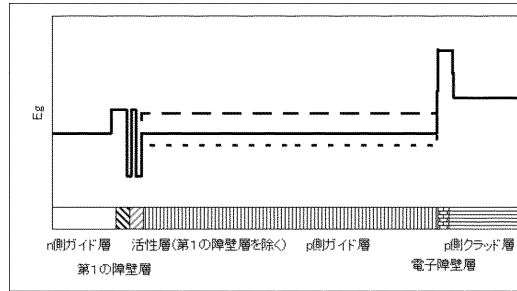
100・・・窒化物半導体レーザ素子、10・・・基板、11・・・n型半導体層、12・・・活性層、13・・・p型半導体層、14・・・リッジ、15・・・p側電極、16・・・保護膜、18・・・pパッド電極、19・・・n側電極

40

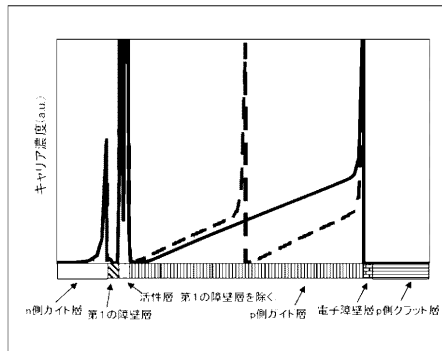
【図 1】



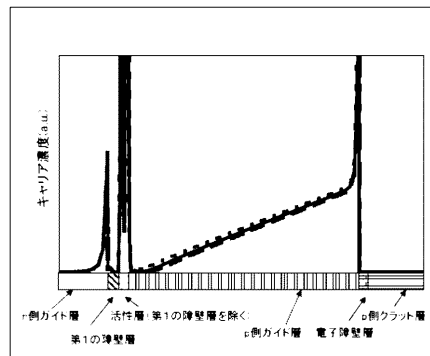
【図 3】



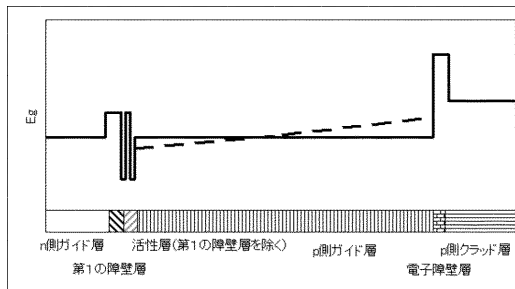
【図 2】



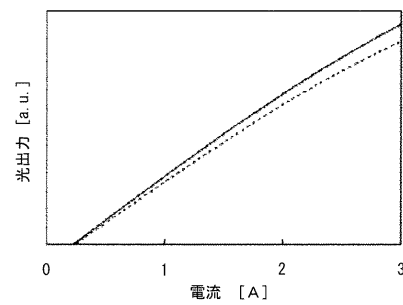
【図 4】



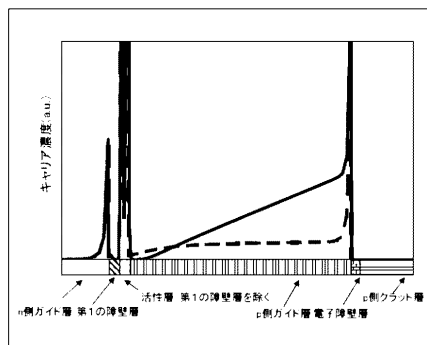
【図 5】



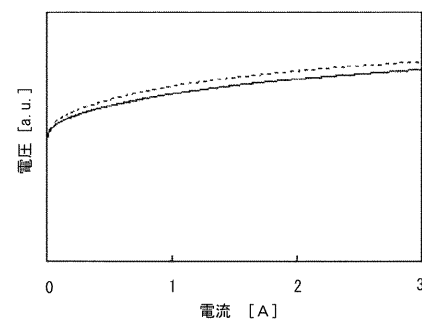
【図 7】



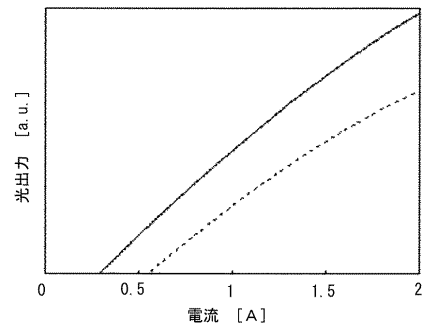
【図 6】



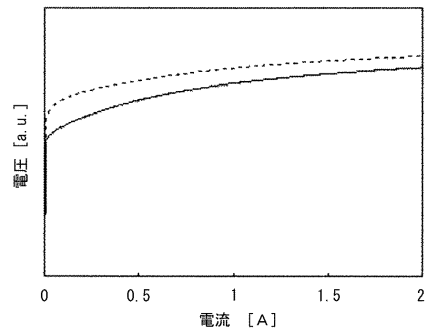
【図 8】



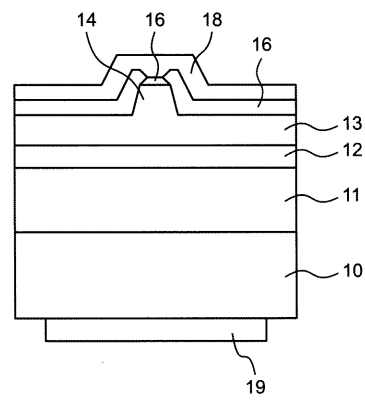
【図 9】



【図 10】



【図 11】



フロントページの続き

(56)参考文献 国際公開第2012/039997(WO, A1)
特開2000-196143(JP, A)
米国特許出願公開第2002/0175324(US, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01S 5/00 - 5/50