(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号
特許第3653843号
(P3653843)
(45)発行日　平成17年6月2日(2005.6.2)　(24)登録日　平成17年3月11日(2005.3.11)

(51)Int.Cl.[7]　F I
H01S　5/22　H01S　5/22

請求項の数 1　(全 8 頁)

(21)出願番号　特願平8-31684
(22)出願日　平成8年2月20日(1996.2.20)
(65)公開番号　特開平9-232675
(43)公開日　平成9年9月5日(1997.9.5)
審査請求日　平成13年10月5日(2001.10.5)

(73)特許権者　000005108
株式会社日立製作所
東京都千代田区丸の内一丁目６番６号
(74)代理人　100075096
弁理士　作田　康夫
(72)発明者　田中　俊明
東京都国分寺市東恋ケ窪１丁目２８０番地
株式会社日立製作所中央研究所内
(72)発明者　川中　敏
東京都国分寺市東恋ケ窪１丁目２８０番地
株式会社日立製作所中央研究所内

審査官　吉野　三寛

最終頁に続く

(54)【発明の名称】半導体レーザ素子

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
窒化物半導体材料からなる発光素子であって、前記発光素子の下側に位置する光導波層は側壁が垂直となる矩形状の形状を有しており、前記光導波層の上に発光活性層と上部光導波層を設定してあり自己整合的に屈折率導波構造を有している前記発光素子の構成に対して、前記上部光導波層は超格子構造の光導波層であるか或いは、前記発光活性層に不純物をドープしてあるか、或いは、超格子構造の上部光導波層と不純物ドープ発光活性層の両方を有しており、
前記矩形の形状は選択成長方法を用いて、絶縁膜マスク上に横方向に層を成長させることにより下部光導波層を設けた発光素子であることを特徴とする半導体レーザ素子。
【発明の詳細な説明】
【０００１】
【発明の属する技術分野】
本発明は、光情報処理或は光応用計測光源に適する半導体レーザ素子に関する。
【０００２】
【従来の技術】
従来技術では、窒化物系半導体を用いた、青色から黄色の波長領域で発光するダイオードにおいて、発光活性層や異種二重接合導波路構造の構成が公知例１）ジャパン・ジャーナル・アプライド・フィジックス1995年,34巻,L797-L799頁(Jpn J. Appl. Phys., 64, L797-L799(1995).)において述べられている。

【０００３】
【発明が解決しようとする課題】
上記従来技術では、発光活性層や光導波層に関する構造や窒化物系材料の異種二重接合の構成について述べているが、レーザ素子において横モードを制御するための導波路構造や活性層の形状については言及していない。
【０００４】
本発明の目的は、基本横モードに制御できる半導体レーザの埋め込みＢＨストライプ構造を選択成長技術に基づいて形成するが、ＢＨストライプ構造設計における基本横モード制御条件に関して、設計裕度をもたせストライプ幅を広く設定できるようにすることにより、従来精度良く作製することが困難であったＢＨストライプ構造を歩留良く形成し、かつ利得領域を広くすることにより高出力特性を得やすくしたレーザ素子を達成することにある。また、本発明の選択成長技術によると、格段に結晶欠陥密度を低減した低光損失の導波路構造を作製できるので、低閾値かつ高効率で動作できる、青紫波長域の窒化物半導体レーザの素子構造を提供することが可能となる。
【０００５】
【課題を解決するための手段】
上記目的を達成するための手段を以下に説明する。
【０００６】
本発明は、半導体レーザの基本横モードを制御するための基本構造である、埋め込みＢＨストライプ構造の設計を改善する内容に関する。従来のＢＨストライプ構造では、基本横モード制御条件として最大でも１～２μｍ範囲の非常に狭いストライプ幅が要求されており、精度良くかつ高い歩留りで作製することは困難であり、また利得領域を広く設定できないために高出力特性を望めなかった。そこで、利得領域である活性層のストライプ幅を拡大するために、活性層横方向の実屈折率差をできるだけ小さく設定できる構造を考案した。本質的には、発光活性層と光導波層の屈折率差を小さくする手法を適用できればよい。しかしながら、活性層におけるキャリア閉じ込めを考慮すると、活性層と光導波層の禁制帯幅を大きく保つ必要がある。
【０００７】
本発明では、活性層の禁制帯幅を大きく変えずに、屈折率を低減し光導波層の屈折率に近づけるため、活性層に不純物をドープする手法をまず提案する。さらに、光導波層の禁制帯幅を大きく変えずに、屈折率を大きくすることにより活性層の屈折率に近づけるため、禁制帯幅が小さく屈折率の大きな材料と禁制帯幅が大きく屈折率の小さな材料を原子層オーダで繰り返す超格子構造として光導波層を形成する手法を提案する。これらの手法では、禁制帯幅の設計に大きな変動はなく、活性層と光導波層の屈折率差設計が可能となる。活性層に不純物をドープする手法では、ドープする不純物量が多く活性化したキャリア濃度が高いほど、活性層の屈折率減少の割合が大きくなる。また、光導波層に超格子構造を導入する手法では、屈折率の大きな材料を使用する繰り返し数や全体の膜厚によって、光導波層の屈折率増大の割合が大きくなる。さらに、これら二つの手法を組み合わせると、ストライプ幅を拡大できる効果が格段に大きくなる。少なくとも活性層縦方向においては、活性層と光導波層の禁制帯幅をできるだけ大きく設けるダブルヘテロ構造とし、活性層横方向では実屈折率差ができるだけ小さくなるＢＨ構造の設計が望ましい。活性層と光導波層の実屈折率差は0.05から0.40の範囲であるものとし、望ましくは0.10から0.30の範囲に設定することにより、従来構造のストライプ幅よりも広く形成できる。
【０００８】
特に本発明では、窒化物半導体の結晶成長に対して選択成長技術を適用することにより、矩形状断面の光導波路をもとにＢＨストライプ構造を作製する。図６に、GaInN活性層とGaN光導波層からなるＢＨ構造の矩形状導波路において、基本横モードが達成できるGaInN活性層の膜厚とストライプ幅の関係を示す。この時のGaInN活性層とGaN光導波層の屈折率は、それぞれ2.5及び2.2である。GaInN活性層の膜厚が約0.01μｍのとき、基本横モードの得られる最大のストライプ幅は１～２μｍ範囲である。本計算によると、ストライプ幅

をさらに拡大するためには、少なくとも活性層と光導波層の屈折率差を0.3以下にする必要がある。上記手法を適用すると、GaInN活性層にｎ型又はｐ型の不純物を導入し、またはGaN光導波層を置き換えて、屈折率の大きなGaInN層と屈折率の小さいGaN層を原子層オーダで繰り返した超格子構造とするか、それらの組合せによって、禁制帯幅を大きく変化させずに、活性層と光導波層の屈折率差を上記0.3よりも小さく設計可能であった。

【０００９】

上記手法のうち、光導波層を超格子構造としたときには、例えば屈折率の大きいGaInN層と屈折率の小さいGaN層で構成するとき、光導波層の平均屈折率はGaN層単体のときよりも大きく設定できると共に、GaInN層におけるｐ型不純物の活性化率が大きく取れるために、光導波層全体では正孔キャリア濃度を高く設定でき抵抗率を低減することが可能となる。その結果、素子の低抵抗低動作電圧が図れることになる。

【００１０】

また本発明によると、上記不純物ドープ活性層や超格子構造光導波層を容易に作製できるだけでなく、選択成長用の絶縁膜マスク上に設けた光導波層や活性層では結晶転位密度を格段に低減できる。従来の報告では、実用化レベルにある発光ダイオードにおいても、結晶転位密度が10^{10}～$10^{11}/cm^2$範囲の高い値にあるが、本発明の技術によると転位密度を10^3～$10^4/cm^2$範囲の低いレベルにできている。これは、光散乱による光損失を軽減するので内部光損失を小さくでき、素子の低閾値高効率動作をもたらす。

【００１１】

以上により、選択成長技術を適用して作製した矩形状導波路において、基本横モードが得られるＢＨ構造の活性層ストライプ幅を拡大した構造設計を可能とし、利得領域を増大することにより高出力化を図り、かつ低欠陥低損失の導波路により低閾値高効率で動作する半導体レーザを達成できる。

【００１２】

【発明の実施の形態】

本発明の詳細を、以下の実施例及び関連図面に記載の形態を以て詳細に説明する。

【００１３】

＜実施例１＞

本発明の一実施例を図１により説明する。図１において、(0001)C面を有するサファイア(α-Al_2O_3)単結晶基板１上に、GaNバッファ層２，ｎ型GaN光導波層３をまず有機金属気相成長法により結晶成長する。次に、絶縁膜マスクパターン４をストライプ窓開口部をもつ形状にして形成する。このとき、絶縁膜マスクのストライプ方向を該サファイア基板１の(11-20)A面と平行な方向に設定しておく。さらに、ｎ型GaN光導波層５，AlGaN光分離閉じ込め層とGaN量子障壁層及びGaInN圧縮歪量子井戸層からなり、全体にｎ型又はｐ型の不純物を一様にドープするか量子障壁層に変調ドープしてキャリア濃度を少なくとも$5\times10^{17}/cm^3$以上設定してある圧縮歪多重量子井戸活性層６，ｐ型GaN光導波層７，ｐ型GaInNコンタクト層８を選択成長する。その後、リソグラフィーにより絶縁膜９を形成した後、ｐ側電極１０とｎ側電極１１を蒸着する。最後に、ストライプに垂直な方向に劈開して共振器面を切り出し、スクライブにより素子を分離して図１に示す素子縦断面を得る。

【００１４】

本実施例では、屈折率導波により基本横モードに制御するＢＨストライプ構造において、発光活性層の屈折率を不純物ドープにより低減し、光導波層の屈折率に近づけることが可能であった。このため、アンドープ活性層の素子に比べて、基本横モードを達成できる最大の活性層ストライプ幅を従来よりも拡大できた。従来のアンドープ活性層では上記ストライプ幅が１～２μｍの範囲であったのに対し、本素子では１.５～３μｍの範囲に広く設定できた。本実施例における素子では、利得の得られる領域を拡大できたので、最大光出力を１.５倍から２倍以上に向上させることが可能であった。本素子は、従来のバルク成長により形成した素子よりも低閾値高効率でレーザ動作し、室温における発振波長は４１０～４３０ｎｍの範囲であった。

【００１５】

＜実施例２＞
本発明の他実施例を図２により説明する。実施例１と同様に素子を作製するが、ｎ型GaN光導波層３まで設けた後、絶縁膜マスクパターンを図２に示すように、２つのストライプ窓開口部を形成する。次に、２つのストライプ窓開口部に選択成長し、中央部の絶縁膜マスク上で横方向にホモエピタキシャル成長し合体させることにより、一つの結晶層としてｎ型GaN光導波層５を形成する。その後、実施例１と全く同様にして、図２に示す素子断面を得る。
【００１６】
本実施例では、絶縁膜マスク上に低結晶欠陥密度の結晶層からなる低光損失の導波路構造を作製することが可能となった。従来技術では、結晶欠陥密度が10^{9}～10^{11}/cm^{2}範囲のレベルであるのに対し、本手法による横方向ホモエピタキシャル成長では、絶縁膜マスク上において結晶欠陥密度を10^{3}～10^{4}/cm^{2}範囲のレベルに低減した光導波層を形成できた。これにより、結晶欠陥による光散乱損失によって生ずる、内部光損失を格段に低減できた。このため、実施例１よりも低閾値動作が可能となり、実施例３より少なくとも閾値電流を1/5から1/10に低減することが可能であった。本素子は、従来のバルク成長により形成した素子よりも低閾値高効率でレーザ動作し、室温における発振波長は４１０～４３０ｎｍの範囲であった。
【００１７】
＜実施例３＞
本発明の他実施例を図３により説明する。実施例２と同様に素子を作製するが、層５まで成長した後に、全体をアンドープとしたAlGaN光分離閉じ込め層とGaN量子障壁層及びGaInN圧縮歪量子井戸層からなる、圧縮歪多重量子井戸活性層１２，少なくとも1×10^{18}/cm^{3}以上の正孔キャリア濃度を設定したｐ型GaInN層と少なくとも5×10^{17}/cm^{3}以上の正孔キャリア濃度を設定したｐ型GaN層からなる超格子構造GaInN/GaN光導波層１３，ｐ型GaInNコンタクト層８を選択成長する。その後、実施例２と全く同様にして、図３に示す素子縦断面を得る。
【００１８】
本実施例によると、ｐ型光導波層全体における平均屈折率を実施例１や２より高く設定でき、発光活性層の屈折率に近づけることが可能であった。従来の単層からなる光導波層では、基本横モードを達成できる最大の活性層ストライプ幅が１～２μｍの範囲であったのに対し、本素子では２.５～４μｍの範囲に広く設定できた。本実施例における素子では、利得の得られる領域をさらに拡大できたため、最大光出力を２倍から３倍以上に向上させることが可能であった。また、超格子構造光導波層のGaInN層には正孔キャリア濃度をGaN層に比べて高く設定できるので、超格子構造にすることによってｐ型光導波層の抵抗率を低減できた。これにより、素子の低抵抗低動作電圧化を図り、素子抵抗を上記実施例よりも1/3から1/5に低減可能であった。本素子は、従来のバルク成長により形成した素子よりも低閾値高効率でレーザ動作し、室温における発振波長は４１０～４３０ｎｍの範囲であった。
【００１９】
＜実施例４＞
本発明の他実施例を図４により説明する。実施例２の不純物ドープ発光活性層と実施例３の超格子構造ｐ型光導波層を組み合わせることにより、素子を作製する。即ち、層６までは実施例２と同様に作製し、層１３からは実施例３と同様にして、図４に示す素子縦断面を得る。
【００２０】
本実施例では、発光活性層とｐ型光導波層の屈折率を互いに近づけることが可能であり、実屈折率差を0.10から0.30の小さい範囲に設定できた。本素子では、実施例２や３よりも基本横モードを達成できる最大の活性層ストライプ幅を拡大でき、３～５μｍの範囲に広く設定することが可能であった。本実施例における素子では、利得の得られる領域をさらに拡大できたため、最大光出力を３倍から４倍以上に向上させることが可能であった。本

素子は、従来のバルク成長により形成した素子よりも低閾値高効率でレーザ動作し、室温における発振波長は４１０～４３０ｎｍの範囲であった。

【００２１】

＜実施例５＞

本発明の他実施例を図５により説明する。実施例４と同様に素子を作製するが、層８まで選択成長した後に、リソグラフィと絶縁膜をマスクとしたエッチング加工により図５に示すリッジストライプを形成する。リッジストライプの底部幅は２～９μｍの範囲に設定する。さらに、絶縁膜を利用して選択成長したｎ型GaN電流狭窄層または誘電体絶縁膜を埋め込んだ電流狭窄層１４を設ける。その後、絶縁膜層９を設け、その後他の実施例と全く同様して、図５に示す素子縦断面を得る。

【００２２】

本実施例によると、実施例４と同様に、基本横モードを達成できる最大の活性層ストライプ幅を拡大でき、実施例４と同じ範囲のストライプ幅を設定することが可能であった。また、高出力特性も実施例４とほぼ同程度のレベルを得た。本素子では、リッジストライプを形成することにより、ＢＨストライプ構造の内側にさらに電流狭窄機能をもたせることができ、かつ中央の絶縁膜上に形成した低欠陥低光損失の導波路と発光活性層にキャリアを注入することになるので、さらに効率のよい光閉じ込めと電流注入が達成できた。これにより、実施例４よりも一層低閾値高効率化が図れた。本素子は、従来のバルク成長により形成した素子よりも低閾値高効率でレーザ動作し、室温における発振波長は４１０～４３０ｎｍの範囲であった。

【００２３】

＜実施例６＞

本発明の他実施例を説明する。実施例１から５と同様な素子をそれぞれ作製するが、サファイア(α-Al_2O_3)基板の代わりに、基板１に六方晶系Wurtzite構造であり基板面方位(0001)C面のｎ型炭化珪素(α-SiC)を用いる。その上にｎ型GaNバッファ層を設けて、実施例１から５までの素子構造を同様にして作製した後、ｎ側電極を基板裏面に蒸着した後、劈開スクライブしてそれぞれの素子断面を得た。

【００２４】

本実施例によると、基板が導電性を有しているので、基板側を上にして接合面を下にした素子のマウント実装が可能となった。基板側のｎ側電極から、電子キャリアを注入し、基板上面に結晶成長した窒化物半導体の接合面を通してｐ側電極へ通すことができた。さらにSiC基板では、その熱伝導度がサファイア基板よりも大きく、基板への放熱性が優れている。これらにより、熱放散性を格段に向上させることができたため、本実施例では他の実施例よりも高い温度で動作するレーザ素子を得た。本素子は、室温において発振波長４１０～４３０ｎｍの範囲でレーザ動作した。

【００２５】

【発明の効果】

本発明により、半導体レーザの基本横モードを制御するための基本構造である、埋め込みＢＨストライプ構造において、ストライプ幅に設計裕度をもたせる手法を考案した。本手法である、発光活性層への不純物ドープと超格子構造光導波層を適用することにより、活性層ストライプ幅を２倍以上に拡大することが可能であった。従来ＢＨストライプ構造では、活性層幅が１～２μｍであったのに対し、本手法では２～５μｍの範囲に設定できた。このため、活性層の体積を増大させ利得領域を拡大できるので、高出力特性が得やすいストライプ構造を形成できた。本手法を適用したストライプ構造では、２倍から４倍の高出力化を図ることが可能であった。また、ｐ型光導波層を超格子構造にすることにより、正孔キャリア濃度を従来よりも高く設定できるので、素子の低抵抗低動作電圧化に有効であり、改善を図ることができた。選択成長によって絶縁膜上に形成した導波路構造では、低欠陥密度の光導波層や発光活性層を作製でき、転位密度を10^3～10^4/cm^2範囲の低いレベルに設定できた。このため、従来よりも格段に低損失の導波路となり、より低い光学利得によってレーザ発振が可能となる素子の低閾値動作が可能であった。本発明では、従来の

バルク成長により形成した素子より低閾値高効率でレーザ動作し、かつ２倍から４倍の高出力特性が得られ、紫外や青紫色波長域の短波長まで発振する窒化物半導体レーザを達成した。

【００２６】

本発明の実施例では、Wurtzite構造であるサファイア基板やSiC基板上に作製したAlGaInN半導体レーザについて説明したが、その他(111)面を有したZinc Blende構造であるGaAs,InP,InAs,GaSb,GaAsP,GaInAs,ZnSe,ZnS等の基板上に作製した半導体レーザに対しても本発明の内容を適用できることは言うまでもない。

【図面の簡単な説明】

【図１】本発明の一実施例を示す素子構造縦断面図である。

【図２】本発明の他実施例における素子構造縦断面図である。

【図３】本発明の他実施例を示す素子構造縦断面図である。

【図４】本発明の他実施例を示す素子構造縦断面図である。

【図５】本発明の他実施例における素子構造縦断面図である。

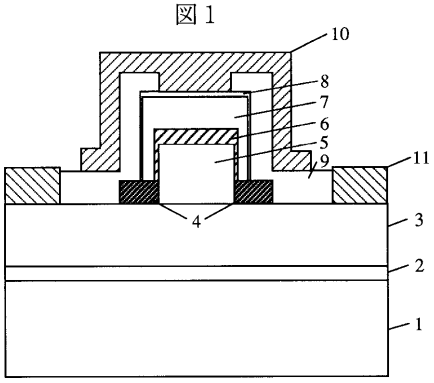
【図６】本発明の素子における基本横モード条件となる活性層膜厚と幅の関係を示す図である。

【符号の説明】

１…(0001)C面サファイア単結晶基板、２…GaNバッファ層、３…ｎ型GaN光導波層、４…絶縁膜マスク、５…ｎ型GaN光導波層、６…不純物ドープ多重量子井戸構造活性層、７…ｐ型GaN光導波層、８…ｐ型GaInNコンタクト層、９…絶縁膜、１０…ｐ側電極、１１…ｎ側電極、１２…アンドープ多重量子井戸構造活性層、１３…超格子構造ｐ型GaInN/GaN光導波層、１４…ｎ型GaN埋め込み又は誘電体絶縁膜電流狭窄層。

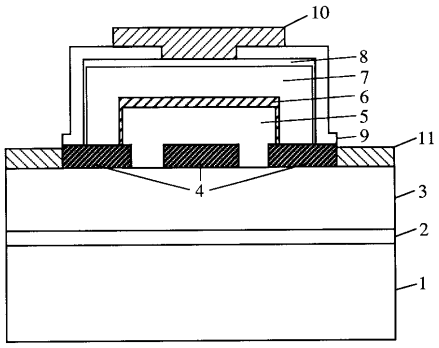
【図１】

図1



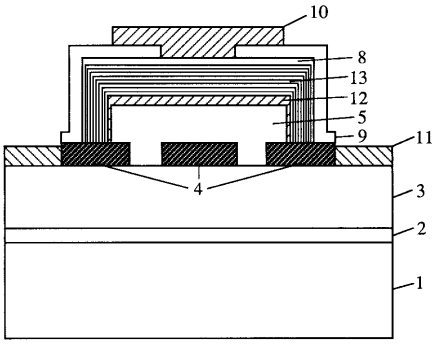
【図２】

図2



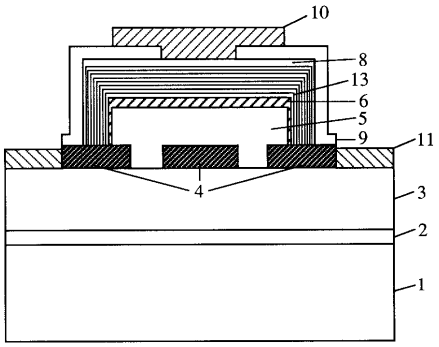
【図３】

図３



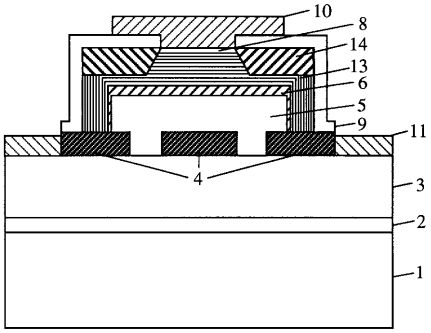
【図４】

図４



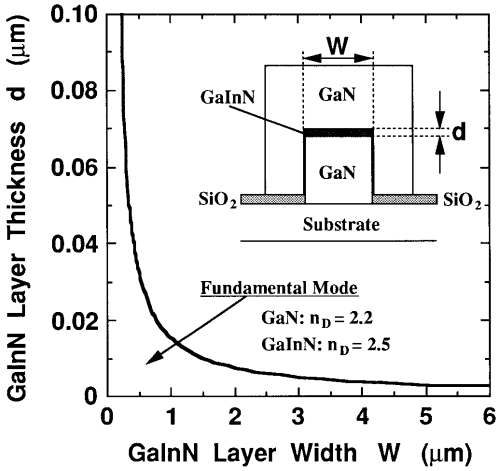
【図５】

図５



【図６】

図６



フロントページの続き

(56)参考文献 特開平０８－００８４８２（ＪＰ，Ａ）
特開平０５－２２６７８１（ＪＰ，Ａ）
特開平０７－１９３３３３（ＪＰ，Ａ）
特開平０６－３３４２５９（ＪＰ，Ａ）
特開平０５－０１３８８８（ＪＰ，Ａ）

(58)調査した分野(Int.Cl.[7]，ＤＢ名)
H01S 5/00-5/50