

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4534444号
(P4534444)

(45) 発行日 平成22年9月1日(2010.9.1)

(24) 登録日 平成22年6月25日(2010.6.25)

(51) Int. Cl. F I
 HO 1 S 5/223 (2006.01) HO 1 S 5/223
 HO 1 L 21/205 (2006.01) HO 1 L 21/205
 HO 1 S 5/343 (2006.01) HO 1 S 5/343 6 1 0

請求項の数 20 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2003-272832 (P2003-272832)	(73) 特許権者	000226057
(22) 出願日	平成15年7月10日 (2003.7.10)		日亜化学工業株式会社
(65) 公開番号	特開2005-33099 (P2005-33099A)		徳島県阿南市上中町岡491番地100
(43) 公開日	平成17年2月3日 (2005.2.3)	(74) 代理人	100100158
審査請求日	平成18年7月6日 (2006.7.6)		弁理士 鮫島 睦
		(74) 代理人	100068526
			弁理士 田村 恭生
		(74) 代理人	100138863
			弁理士 言上 恵一
		(74) 代理人	100118681
			弁理士 田村 啓
		(74) 代理人	100091465
			弁理士 石井 久夫

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体レーザ及びその製造方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

n側半導体層、活性層、p側半導体層から成る積層体の内部に、開口部を有する電流狭窄層が形成された窒化物半導体レーザ素子であって、

前記電流狭窄層は、単一組成の $In_x Al_y Ga_{1-x-y} N$ ($0 < x < 0.1, 0.5 < y < 1, 0.5 < x+y < 1$) から成り、

前記開口部内に、前記電流狭窄層のうち下地層に接触する部分が残存した残膜部を有し、

前記開口部は、前記電流狭窄層とは異なる組成の窒化物半導体で埋め込まれ、該残膜部を通じて前記活性層への電流注入が可能であることを特徴とする窒化物半導体レーザ。

10

【請求項 2】

前記残膜部の膜厚が、 100 以上 1000 未満であることを特徴とする請求項 1 に記載の窒化物半導体レーザ。

【請求項 3】

前記電流狭窄層の総膜厚が、 1000 以上 8000 以下であることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の窒化物半導体レーザ。

【請求項 4】

前記電流狭窄層が、前記活性層の p 側に形成されたことを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体レーザ。

20

【請求項 5】

前記窒化物半導体レーザが、前記活性層の少なくとも片側に光ガイド層を備え、前記電流狭窄層が前記光ガイド層中に形成されたことを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体レーザ。

【請求項 6】

前記光ガイド層が、実質的に Al を含まない窒化ガリウム系化合物半導体から成ることを特徴とする請求項 5 に記載の窒化物半導体レーザ。

【請求項 7】

前記電流狭窄層の開口部上方における転位密度が、その周囲の転位密度よりも低いことを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体レーザ。

10

【請求項 8】

前記残膜部におけるエッチピット密度が、電流狭窄層表面のエッチピット密度よりも低いことを特徴とする請求項 1 乃至 7 のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体レーザ。

【請求項 9】

前記電流狭窄層の開口部を埋める層が、実質的に Al を含まない窒化ガリウム系化合物半導体から成ることを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体レーザ。

【請求項 10】

前記電流狭窄層のうち前記残膜部を除く部分が、前記積層体の側面及び/又は端面から離間するよう形成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 9 のいずれか 1 項の記載の窒化物半導体レーザ素子。

20

【請求項 11】

前記電流狭窄層は、長手方向の端面が前記積層体の端面より内側になるように形成されている請求項 1 乃至 10 のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体レーザ。

【請求項 12】

前記積層体の端面を共振器端面とする請求項 10 又は 11 に記載の窒化物半導体レーザ。

【請求項 13】

前記残膜部は、共振器の端面まで形成されることを特徴とする請求項 12 に記載の窒化物半導体レーザ。

30

【請求項 14】

前記 p 側半導体層の最表面の少なくとも一部が接するように p 側オーミック電極が形成され、該 p 側オーミック電極の幅が、前記開口部の幅以上であり、かつ、前記電流狭窄層の幅よりも狭いことを特徴とする請求項 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】

前記 p 側オーミック電極は、レーザ光の導波方向と略平行な方向の長さが、前記電流狭窄層よりも短いことを特徴とする請求項 14 に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 16】

n 側半導体層、活性層、p 側半導体層から成る積層体の内部に、 $In_x Al_y Ga_{1-x-y} N$ ($0 < x < 0.1$, $0.5 < y < 1$, $0.5 < x+y < 1$) から成り、ストライプ状の開口部を有する電流狭窄層が形成された窒化物半導体レーザ素子の製造方法であって、

40

活性層の p 側又は n 側に、単一組成の $In_x Al_y Ga_{1-x-y} N$ ($0 < x < 0.1$, $0.5 < y < 1$, $0.5 < x+y < 1$) から成る電流狭窄層を形成する工程と、

前記電流狭窄層の一部を、該電流狭窄層のうち下地層に接する部分が残存する残膜部を有するよう除去することにより、ストライプ状の開口部を形成する工程と、

前記電流狭窄層の表面をエッチングする工程と、

前記電流狭窄層の開口部を、前記電流狭窄層とは異なる組成の窒化物半導体で埋め込む工程と、

50

を備えたことを特徴とする窒化物半導体レーザの製造方法。

【請求項 17】

前記開口部の形成を、アルカリ溶液を用いたウエットエッチングによって行うことを特徴とする請求項 16 に記載の窒化物半導体レーザの製造方法。

【請求項 18】

前記電流狭窄層の表面エッチングを、還元性ガスを用いたガスエッチングによって行うことを特徴とする請求項 16 又は 17 に記載の窒化物半導体レーザの製造方法。

【請求項 19】

前記残膜部が、電流狭窄層の表面をエッチングする工程においてエッチングストップ層として機能することを特徴とする請求項 16 乃至 18 のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体レーザの製造方法。

10

【請求項 20】

前記積層体の共振器端面をエッチング又はへき開により形成する工程を備えた請求項 16 乃至 19 のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体レーザの製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、活性層が窒化ガリウム系化合物半導体から成る窒化物半導体レーザに関し、詳細には、 $In_x Al_y Ga_{1-x-y} N$ ($0 < x < 0.1$, $0.5 < y < 1$, $0.5 < x + y < 1$) から成る電流狭窄層を備えた窒化物半導体レーザに関する。

20

【背景技術】

【0002】

窒化ガリウム系化合物半導体レーザは、紫外領域から赤色領域に至るまで幅広い波長領域で発振が可能であり、光ディスクシステムの光源、レーザプリンタ、光ネットワーク等の光源として期待されている。従来の窒化ガリウム系化合物半導体レーザは、水平横モードを制御するためのストライプ構造として、活性層上のクラッド層等にストライプ状のリッジを形成するリッジ導波路構造を取るのが一般的であった。

【0003】

しかしながら、リッジ導波路型は、リッジ部分の機械的強度が弱いため、特にフェースダウン実装を行った場合に不良が発生し易い。また、リッジ部の寸法によってしきい値電流やビーム形状等が変動するため、特性の安定したレーザを製造することが難しい。そこで、リッジ導波路型に換えて、電流通路となるストライプ状の開口部を設けた絶縁層 (= 電流狭窄層) を活性層の上方に形成することにより、水平横モード制御を行うことが検討されている。

30

【0004】

例えば、活性層の p 型光ガイド層内に AlN から成る電流狭窄層を形成した窒化ガリウム系化合物半導体レーザが提案されている。このレーザのストライプ構造は、次のようにして製造される。まず、MOCVD 装置の反応炉内において、p 型光ガイド層まで形成した素子の上に AlN から成る電流狭窄層を $400 \sim 600$ ㎎ で形成し、次に反応炉から取出して、アルカリエッチング溶液を用いたフォトリソグラフィプロセスによってストライプ状の開口部を形成した後、再び MOCVD 装置の反応炉に戻して、p 型光ガイド層を成長して電流狭窄層の開口部を埋込み、さらに p 型クラッド層等を順次積層する。

40

【0005】

【特許文献 1】特開 2002 - 314203 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、上記の窒化ガリウム系化合物半導体レーザでは、電流狭窄層にストライプ状の開口部を形成する工程を、MOCVD 装置の反応炉からウエハを取出して行うことが必要になる。反応炉から取出されたウエハは、空気等の外部雰囲気に出露されるため、

50

半導体層の表面に酸化層等の反応層ができてしまう。このような反応層が残存すると素子性能が低下するため、ウエハをMOCVD装置に戻して半導体の再成長を行う際に、反応層をエッチング除去する作業（以下、「エッチバック」）が必要となる。このエッチバックは、一般に、反応炉内でウエハを高温に保ち、還元ガスである水素ガスを吹き付けることによって行われる。

【0007】

ところが、半導体層の表面に形成される反応層の膜厚や質にはウエハ間でのバラツキやウエハ内のチップ間でのバラツキがあるため、反応層のみを安定して除去することが難しい。エッチバックが不十分となって再成長界面に反応層が残ると素子特性が低下する。特に、電流狭窄層の開口部に反応層が残った場合、残った反応層によって電流が不均一に流れるため、発光状態が不均一となる。

10

【0008】

一方、エッチバックが過剰になると、反応層だけでなく、その下の半導体層（例えば、特許文献1ではp型光ガイド層）にまでエッチングが進行する。特に、半導体層がAlを含まないGaInやInGaInである場合、水素等の還元雰囲気下での分解速度が速いため、一旦エッチバックが過剰になると非常に深くエッチングが進行してしまう。そのような状態で再成長が行われると、下地の半導体層が光ガイド層である場合には導波路コア部が薄くなり、光閉込めを良好に行うことができなくなる。また、オーバーエッチングによって開口部の段差が大きくなるため、再成長した半導体層の組成が不均一となり、素子特性が悪化する。

20

【0009】

そこで本発明は、ストライプ状の開口部を備えた電流狭窄層を有する窒化ガリウム系化合物半導体レーザにおいて、安定した素子特性を得ることができる素子構造とその製造方法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】

本発明者等は、鋭意検討の結果、AlN等、Al含有率の高い窒化物半導体から成る電流狭窄層は高い絶縁性を有しているが、電流狭窄層を成長する下地層の近傍では電流が流れ易くなっていることを見出した。これは、電流狭窄層が下地層の結晶性を引き継ぐ結果、下地層に近い部分において結晶性が高くなっているためと考えられる。即ち、結晶性の良好な下地層の上に成長した電流狭窄層は、下地層の近傍では結晶性が良好であり低抵抗であるが、下地層から遠ざかるに従って多結晶に近づき高抵抗となる。

30

【0011】

本発明は、このような知見に着想を得て完成されたものであり、

本発明の窒化物半導体レーザは、下記(1)～(20)の構成によって達成することができる。

(1) n側半導体層、活性層、p側半導体層から成る積層体の内部に、開口部を有する電流狭窄層が形成された窒化物半導体レーザ素子であって、前記電流狭窄層は、単一組成の $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$ ($0 < x < 0.1$, $0.5 < y < 1$, $0.5 < x+y < 1$) から成り、前記開口部内に、前記電流狭窄層のうち下地層に接触する部分が残存した残膜部を有し、前記開口部は、前記電流狭窄層とは異なる組成の窒化物半導体で埋め込まれ、該残膜部を通じて前記活性層への電流注入が可能であることを特徴とする。

40

さらに本発明の具体的な窒化物半導体レーザ素子としては、

- (2) 前記残膜部の膜厚が、10以上100未満である、
- (3) 前記電流狭窄層の総膜厚が、100以上800以下である、
- (4) 前記電流狭窄層が、前記活性層のp側に形成される、
- (5) 前記窒化物半導体レーザが、前記活性層の少なくとも片側に光ガイド層を備え、前記電流狭窄層が前記光ガイド層中に形成される、
- (6) 前記光ガイド層が、実質的にAlを含まない窒化ガリウム系化合物半導体から成る、

50

- (7) 前記電流狭窄層の開口部上方における転位密度が、その周囲の転位密度よりも低い、
- (8) 前記残膜部におけるエッチピット密度が、電流狭窄層表面のエッチピット密度よりも低い、
- (9) 前記電流狭窄層の開口部を埋める層が、実質的にAlを含まない窒化ガリウム系化合物半導体から成る、
- (10) 前記電流狭窄層のうち前記残膜部を除く部分が、前記積層体の側面及び/又は端面から離間するよう形成されている、
- (11) 前記電流狭窄層は、長手方向の端面が前記積層体の端面より内側になるように形成されている、
- (12) 前記積層体の端面を共振器端面とする、
- (13) 前記残膜部は、共振器の端面まで形成される、
- (14) 前記p側半導体層の最表面の少なくとも一部が接するようにp側オーミック電極が形成され、該p側オーミック電極の幅が、前記開口部の幅以上であり、かつ、前記電流狭窄層の幅よりも狭い、
- (15) 前記p側オーミック電極は、レーザ光の導波方向と略平行な方向の長さが、前記電流狭窄層よりも短い、
- ことを特徴とする。

10

【0012】

また、本発明の窒化物半導体レーザに係る製造方法としては、

- (16) n側半導体層、活性層、p側半導体層から成る積層体の内部に、 $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$ ($0 < x < 0.1, 0.5 < y < 1, 0.5 < x+y < 1$) から成り、ストライプ状の開口部を有する電流狭窄層が形成された窒化物半導体レーザ素子の製造方法であって、活性層のp側又はn側に、単一組成の $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$ ($0 < x < 0.1, 0.5 < y < 1, 0.5 < x+y < 1$) から成る電流狭窄層を形成する工程と、前記電流狭窄層の一部を、該電流狭窄層のうち下地層に接する部分が残存する残膜部を有するように除去することにより、ストライプ状の開口部を形成する工程と、前記電流狭窄層の表面をエッチングする工程と、前記電流狭窄層の開口部を、前記電流狭窄層とは異なる組成の窒化物半導体で埋め込む工程と、を備えたことを特徴とする。

20

30

さらに具体的には、

- (17) 前記開口部の形成を、アルカリ溶液を用いたウエットエッチングによって行う、
- (18) 前記電流狭窄層の表面エッチングを、還元性ガスを用いたガスエッチングによって行う、
- (19) 前記残膜部が、電流狭窄層の表面をエッチングする工程においてエッチングストップ層として機能する、
- (20) 前記積層体の共振器端面をエッチング又はへき開により形成する工程を備える、
- ことを特徴とする。

【0013】

電流狭窄層のうち下地層に接する部分は結晶性が良好であるため、電流が流れ易い。これは、電流狭窄層の下側に接する下地層は、基板上から連続成長によって徐々に結晶性が向上しているためである。その上にAlNなどの絶縁性の高い電流狭窄層を成長させたとしても、成長初期には結晶性が高くなり、電流が流れ易くなる。また、電流狭窄層の成長初期には、微量の不純物が混入し易く、そのことも電流が流れ易くなる一因となる。一方、電流狭窄層の成長を続けていくと、Al混晶比の高い窒化物半導体は成長するにつれて結晶性が悪くなる傾向にあるため、成長が進むに従い、抵抗が高くなって絶縁性となる。本件発明は、このような性質を利用したものであり、電流狭窄層のうち成長初期の部分を適切な膜厚だけ残すことにより、活性層への円滑な電流注入を阻害しないようにしたものである。

40

50

【 0 0 1 4 】

開口部に残した電流狭窄層の残膜部は、Al比率が大きく、結晶性が良好であるため、水素等の還元雰囲気下での分解速度が遅い。従って、そのような部分を開口部内に残すことにより、エッチバックによってウエハ表面の反応層を除去する際のエッチングストップ層として機能させることができる。エッチバックによって開口部内にある電流狭窄層の残膜部も多少は分解されるが、分解後に多少の膜厚が残るように残膜部の膜厚が設定されていれば、エッチングストップ層として有効に機能させることができる。電流狭窄層の残膜部がエッチングストップ層として機能すれば、ウエハ表面への反応層の残存や過剰なエッチバックを防止して、安定したレーザ特性を得ることができる。

【 0 0 1 5 】

また、電流狭窄層の一部が残るようにすることで、開口部の段差を緩和するという効果もある。即ち、本件発明は、従来の電流狭窄層にも内在していた結晶性の良好な部分をエッチングストップ層として利用するものであるから、電流狭窄層の総膜厚は従来と同程度で足りる。従って、電流狭窄層の一部を開口部内に残すことにより、開口部における段差を従来よりも小さくして、その上に成長される層の組成均一性を向上させる他、段差に起因する問題を抑制することができる。

【 0 0 1 6 】

エッチングストップ層として機能させ、開口部の段差を緩和させる観点からは、エッチバック後における残膜部の膜厚が平均して10以上あることが好ましい。一方、電流狭窄層の残膜部が厚すぎると、活性層への電流注入が阻害されるため、残膜部の膜厚が10

【 発明の効果 】

【 0 0 1 7 】

このように、本件発明によれば、Al含有率の高い窒化物半導体から成る電流狭窄層のうち結晶性の良好な下地層近傍部分を残膜部として残すことにより、半導体層表面への反応層の残存や過剰なエッチバックの発生を防止して、優れたレーザ特性を安定に実現することができる。

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 1 8 】

以下、図面を参照しながら本発明に係る窒化ガリウム系化合物半導体レーザの好ましい実施形態について説明する。各図中、同一の符号は同一又は対応する部材を示す。

【 0 0 1 9 】

尚、本件明細書において、窒化ガリウム系化合物半導体レーザの下側とは、レーザを構成する半導体層の成長開始側を指し、上側とは、半導体層の成長終了側を指す。また、ある半導体層の下側に接する層を下地層と称する。半導体層の成長方向は転位の進行方向にほぼ一致するため、レーザ素子内において、転位の開始側が下側となり、転位の終端側が上側となる。

【 0 0 2 0 】

また、本件明細書において窒化ガリウム系化合物半導体の結晶性が良いとは、ウエットエッチングによるエッチピット測定においてエッチピット密度が相対的に少ない状態、又はウエットエッチングによって相対的に除去されにくい状態を指す。

【 0 0 2 1 】

実施の形態 1

図1は、本実施の形態に係る窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子を示す断面図である。サファイア等の異種基板2の上に、Ga₂N₃から成るn側コンタクト層4、AlGa₂N₃から成るn側クラッド層6、Ga₂N₃からなるn側光ガイド層8、Inを含む井戸層を有する多重量子井戸活性層10、Ga₂N₃から成るp側光ガイド層12、AlGa₂N₃から成るp側クラッド層14、Ga₂N₃から成るp側コンタクト層16が形成されている。p側光ガイド層12の中には、ストライプ状の開口部32を有する電流狭窄層30が形成されている。電流狭窄層30は、Al比率が0.5以上の高抵抗の窒化ガリウム系化合物半導体か

10

20

30

40

50

ら成り、開口部 32 における活性層 10 に電流を集中してレーザの水平横モードを制御する役割を果たしている。

【0022】

図 2 (a) 及び (b) は、電流狭窄層 30 近傍の構造をより詳細に示す部分拡大断面図である。図 2 (a) に示すように、In を含む窒化ガリウム系化合物半導体層から成る活性層 10 の上に、Al を含む窒化ガリウム系化合物半導体から成るキャリア閉込層 11 が 50 ~ 200 の薄膜に形成され、その上に GaN から成る p 側光ガイド層 12 が形成されている。p 側光ガイド層 12 は、電流狭窄層 30 の下側にある第 1 p 側光ガイド層 12 a と第 2 p 側光ガイド層 12 b から成る。第 1 p 側光ガイド層 12 a の上に電流狭窄層 30 が形成されており、電流狭窄層 30 に開口部 32 が形成されている。そして、開口部 32 を埋めるようにして、第 2 p 側光ガイド層 12 b が形成されている。

10

【0023】

電流狭窄層 30 は、開口部を挟む部分 30 a (以下、「本体部分」) において電流を遮断し、開口部分 32 を通じて活性層に電流を流す。電流狭窄層の本体部分 30 a は、Al 比率が 0.5 以上と高いため、高抵抗であるだけでなく、表面での結晶性が極めて悪い。そのため、図 2 (a) に模式的に示すように、電流狭窄層の本体部分 30 a の上方に形成された p 側クラッド層 14 や p 側コンタクト層 16 にも転位 40 が高い密度で発生し、電流が流れにくい状態となる。即ち、電流狭窄層 30 は、その本体部分 30 a 自身の抵抗による電流狭窄効果だけでなく、本体部分 30 a 上方にある半導体層の結晶性が低下することによる電流狭窄効果も併せて奏する。従って、電流狭窄層 30 は、本体部分 30 a を数百と比較的薄膜に形成しても、その高抵抗な性質と低い結晶性との相乗的な効果によって、効果的に電流狭窄を行うことができる。

20

【0024】

この電流狭窄層 30 に設けられた開口部 32 は、電流狭窄層 30 のうち下地層である第 1 p 側光ガイド層 12 a に接触する部分が 10 以上残るように形成されている。この開口部 32 内に残った電流狭窄層の残膜部 (以下、単に「残膜部」) 30 b は、下地層である第 1 p 側光ガイド層 12 a の良好な結晶性を引き継ぐ結果、結晶性が良好であり、低抵抗となっている。また、結晶性が良好である結果、図 2 (a) に示すように、電流狭窄層の残膜部 30 b 上方には、転位が殆ど発生しない。従って、Al 比率の高い電流狭窄層の残膜部 30 b が存在するにも拘わらず、開口部 32 内の活性層には電流が効率良く注入される。

30

【0025】

一方、電流狭窄層の残膜部 30 b は、Al 比率が大きく、しかも結晶性が良好である結果、水素等の還元雰囲気下での分解速度が非常に遅く、再成長前のエッチバックによってウエハ表面の反応層を除去する際のエッチングストップ層として機能する。即ち、水素等を用いたエッチバックによって電流狭窄層の残膜部 30 b も多少は分解するが、その分解速度が非常に遅いため、電流狭窄層 30 の表面に形成された酸化層等が完全に除去されるだけの時間エッチバックを行っても、電流狭窄層の残膜部 30 b を突き抜けて下層の p 側光ガイド層 12 a が侵食されることはない。

【0026】

電流狭窄層の残膜部 30 b は、あまり薄すぎではエッチングストップ機能が不十分となるため、エッチバック後の平均厚さを 10 以上、好ましくは 30 以上とする。一方、電流狭窄層の残膜部 30 b があまり厚すぎると、残膜部 30 b の結晶性が低下する結果、抵抗の上昇や転位の発生が起き、レーザの閾値電流が高くなる。従って、残膜部 30 b はエッチバック後の平均厚さが 100 未満、より好ましくは 70 以下とすることが望ましい。

40

【0027】

電流狭窄層の残膜部 30 b によって過剰なエッチバックが防止される結果、図 2 (a) に示すように、電流狭窄層 30 の上に形成する層の平坦度が向上し、素子特性が向上する。この平坦度の向上には、残膜部 30 b のエッチングストップ効果に加えて、残膜部 30

50

bを残すことによる段差の緩和、及び電流狭窄層の本体部分30aの結晶性が低いことも寄与している。即ち、残膜部30bを残した結果、電流狭窄層の開口部32における段差が小さくなり、第2p側光ガイド層12bによって段差部を平坦に埋め易くなっている。また、電流狭窄層の本体部分30aの結晶性が低い一方、残膜部30bの結晶性が良好であるため、電流狭窄層の本体部分30a上方の領域38に比べて、残膜部30b上方の領域36の方が結晶の成長速度が速くなる。従って、図2(a)に示すように、第2p側光ガイド層12bによって凹部である開口部32内が平坦に埋まり易くなる。

【0028】

第2p側光ガイド層12bの表面が平坦となることにより、その上に形成するp側クラッド層14やp側コンタクト層16の組成不均一が抑制され、各々の層が持つ機能が向上する。特に、p側クラッド層14が超格子構造を有する場合、下地層である第2p側光ガイド層12bの表面に段差があると超格子構造が乱れるため、第2p側光ガイド層12bが開口部32を平坦に埋めることが重要である。

10

【0029】

さらには、図2(b)に示すように、残膜部30b上方の領域36における素子層(第2p側光ガイド層、p側クラッド層、p側コンタクト層)を、本体部分30a上方の領域38より厚く形成することも可能である。即ち、電流狭窄層の本体部分30aの結晶性が低い結果、本体部分30a上方の領域38に比べて、残膜部30b上方の領域36の方が結晶の成長速度が速くなる。従って、その成長速度差が大きくなれば、残膜部30b上方の領域36における素子層を周囲よりも厚くすることができる。残膜部30b上方の領域36における素子層は、レーザの活性領域を挟むコア部を構成するため、そこを厚くすることは光閉込めに有利である。

20

【0030】

図2(a)又は(b)のような膜厚分布は、電流狭窄層の本体部分30aと残膜部30bの結晶性を調整することによって制御できる。これらの結晶性は、電流狭窄層30のAl比率、成長温度、総膜厚と残膜部30bの膜厚、下地層の結晶性等によって調整することができる。例えば、電流狭窄層30のAl比率が高い程、成長温度が低い程、また総膜厚が厚い程、電流狭窄層の本体部分30aにおける結晶性は低下する。一方、電流狭窄層の下地層の結晶性が良い程、残膜部30bが薄い程、電流狭窄層の残膜部30bにおける結晶性が高くなる。

30

【0031】

一方、図2に示す構造において、電流狭窄層の残膜部30bがない場合、第1p側光ガイド層12aへの反応層の残存や過剰なエッチバックが起きやすくなる。図3は、p側光ガイド層12aに過剰なエッチバックが起こった場合の構造を示す断面図である。本実施の形態において、p側光ガイド層12aはGaNから成るため、水素等の還元ガスに高温で曝されると容易に分解する。このため、一旦過剰なエッチバックが起きると、図3に示すように、Alを含む窒化物半導体から成るキャリア閉込層11まで容易にエッチバックが進行する。p側光ガイド層12の全膜厚は、一般に1500~2000であるため、750~1000の過剰なエッチバックが起きることになる。このため、図2(b)の場合と逆に、電流経路となる領域36における導波路コア部の膜厚が、その周辺領域38に比べて薄くなり、膜厚方向と横方向の光閉込効率がいずれも低下する。また、電流狭窄層30の端部で大きな段差が発生することになるため、段差部へのAlの偏析等の組成不均一が生じ易くなる。また、p型クラッド層14が超格子から成る場合、段差の影響によって正常な超格子構造が維持できなくなる問題も生じる。

40

【0032】

以下、各層の好ましい膜厚や組成について詳述する。

[電流狭窄層30]

電流狭窄層30は、 $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$ ($0 < x < 0.1$, $0.5 < y < 1$, $0.5 < x + y < 1$) の一般式で示される窒化物半導体から成る。電流狭窄層30を、 SiO_2 等の絶縁材料ではなく、上記一般式で表される窒化ガリウム系化合物半導体によ

50

って形成することにより、電流狭窄層30を他の素子構造と同一の気相成長装置で成長させることが可能になる。また、電流狭窄層30を、 SiO_2 等の異種材料ではなく、窒化ガリウム系化合物半導体によって構成することには、レーザのビームリニアリティが向上するという効果もある。例えば、 SiO_2 をGaNから成る光ガイド層等に埋め込んだ場合、 SiO_2 の屈折率は約1.5であり、GaNの屈折率は2.5であるため、両者に間に大きな屈折率差が生じ、レーザ出力のリニアリティが低下すると共に、ビームが動き易くなる。電流経路の幅を細くしてビームを安定化することもできるが、電流密度が高くなって寿命特性が低下する。これに対し、例えばAlNを電流狭窄層とすれば、AlNの屈折率は2.1であり、GaNの屈折率は2.5であるので、両者の間の屈折率差は小さく、リニアリティが良くなり、ビームも安定化する。

10

【0033】

電流狭窄層30のAl比率 y が高い程、電流狭窄層の本体部分30aにおける絶縁性が高まると共に、その上に形成される層の結晶性が低下するため、電流狭窄効果が良好になる。従って、電流狭窄層30のAl比率 y は、少なくとも0.5以上、好ましくは0.75以上、より好ましくは0.9以上とすることが望ましい。さらに好ましくは、電流狭窄層30をAlNとする。

【0034】

また、電流狭窄層30は、少量のInを含んでいても良い。電流狭窄層30が少量のInを含むことにより、Inを含む窒化ガリウム系化合物半導体から成る活性層10からの発光を吸収しやすくなる。従って、Inを含む電流狭窄層30によって導波路の活性領域を挟めば、活性領域から漏れた迷光を吸収してビーム品質を向上することができる。但し、In比率が高すぎると、電流狭窄層の残膜部30bにおける発光吸収が無視できなくなり、発光強度が低下する。そこで、In比率 x が0.01以上、より好ましくは0.05以上であることが望ましい。また、In比率は、0.2以下、より好ましくは0.15以下であることが望ましい。

20

【0035】

電流狭窄層30の成長は、本体部分30aの表面における結晶性が低くなるように低温で行うことが望ましい。例えば、900以下、より好ましくは600以下で成長することが望ましい。電流狭窄層30を低温で成長することにより、アルカリ溶液等によるエッチングが容易になると共に、電流狭窄効果も向上する。また、電流狭窄層30は、その本体部分30aが薄すぎると電流狭窄層としての機能が不十分となる一方、厚すぎると段差の影響が大きくなる。そこで電流狭窄層30の総膜厚(=本体部分30aの膜厚)は、100~800、より好ましくは150~500であることが望ましい。

30

【0036】

電流狭窄層30は、少なくとも電流狭窄層30自身よりも結晶性の良好な下地層の上に形成する。一般的な窒化ガリウム系化合物半導体レーザを構成する層であって、電流経路に形成された層であれば、絶縁を目的とした電流狭窄層に比べて結晶性が良好である。

【0037】

また、電流狭窄層30のうち残膜部を除く部分は、図5に示すように、その長手方向30aの端面がレーザ素子2の共振器端面2aよりも内側になるように形成することが好ましい。このように共振器端面2aまで電流狭窄層30を形成しないことにより、共振器端面2aにおけるエネルギー密度を低下し、COD(Catastrophic Optical Damage:光学損傷)特性を改善することができる。また、RIEやへき開によって共振器端面を形成する際に、導波路部分に形状異常やクラックが生じ難くなる。また、共振器面をエッチングによって形成する場合、電流狭窄層30を共振器端面から離間して形成しておけば、平坦な共振器面が作り易くなる。何故なら、電流狭窄層30の開口部には若干の段差ができてしまうため、電流狭窄層30が共振器端面に達していると、段差の影響によって平坦なエッチング面ができにくくなるからである。尚、電流狭窄層の残膜部については、薄膜であり、電流が流れる部分であるため、共振器2aの端面まで形成されていても特に問題ない。

40

50

【0038】

一方、電流狭窄層30の横方向の側面も、図5に示すようにレーザ素子2のストライプ構造を構成する積層体側面より内側に形成することが好ましい。Al混晶比の高い電流狭窄層は、均一にエッチングしにくく、また、エッチングされた面が荒れ易くなる。そのため、電流狭窄層を他の窒化物半導体層と同じ面積に形成していた場合、n電極を形成する目的で窒化物半導体層の積層体をエッチングした際に、エッチング面が荒れ易くなり、n電極の接続抵抗が高くなってしまう。電流狭窄層30を、予めストライプ構造の側面よりも内側の領域に形成しておけば、n電極を形成するためのエッチングを均一に行い易くなり、抵抗を下げることができる。

【0039】

また、電流狭窄層は、Alの混晶比が高いため、その上下の層と格子定数や熱膨張係数の差が大きくなっている。電流狭窄層30を、電流狭窄機能や光閉込機能に影響のない程度にストライプ構造を構成する積層体の端面及び/又は側面から離間した領域(即ち、内側の領域)に形成することにより、歪みを低減し、クラックの発生を抑制することができる。

【0040】

[活性層10]

活性層10は、少なくとも発光領域がInを含む窒化ガリウム系化合物半導体から成ることが好ましく、より好ましくは $In_{x_1}Ga_{1-x_1}N$ 井戸層($0 < x_1 < 1$)と $In_{x_2}Ga_{1-x_2}N$ 障壁層($0 < x_2 < 1$, $x_1 > x_2$)が適当な回数だけ交互に繰り返し積層された多重量子井戸構造(MQW構造)を有している。井戸層は、アンドープで形成されており、全ての障壁層はSi、Sn等のn型不純物が好ましくは $1 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の濃度でドープして形成されている。障壁層にn型不純物がドープされていることにより、活性層中の初期電子濃度が大きくなって井戸層への電子注入効率が高くなり、レーザの発光効率が向上する。活性層10は、井戸層で終わっても良く、障壁層で終わっても良い。活性層10には、蒸気圧の高いInNが比較的多量に混晶されているため、分解し易く、他の層よりも低温(約900以下)で成長される。

【0041】

[キャリア閉込層11]

キャリア閉込層11は、p側クラッド層14よりも高いAl混晶比を持つp型窒化ガリウム系化合物半導体からなり、好ましくは $Al_aGa_{1-a}N$ ($0.1 < a < 0.5$)なる組成を有する。キャリア閉込層11の好ましい膜厚は、50~200である。また、Mg等のp型不純物が高濃度で、好ましくは $5 \times 10^{17} \sim 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の濃度でドープされている。これにより、キャリア閉込層11は、電子を活性層中に有効に閉じ込めることができ、レーザの閾値を低下させる。また、キャリア閉込層11は、Inを含むために分解し易い活性層10を保護する機能を有する。即ち、キャリア閉込層11は、分解温度の高いAlGaNから成るため、活性層10を分解から有効に保護することができる。キャリア閉込層11は、活性層10の分解が進行しないように、窒素等の不活性ガス中で900以下の低温で行うことが好ましい。

【0042】

[n側光ガイド層8、p側光ガイド層12]

n側光ガイド層8及びp側光ガイド層12は、Alを実質的に含まない窒化ガリウム系化合物半導体層から成ることが好ましい。望ましくは、 $In_bGa_{1-b}N$ ($0 < b < 1$)から成り、より望ましくは、GaNから成る。p側光ガイド層に電流狭窄層30を埋め込む場合には、第1p側光ガイド層12aと第2p側光ガイド層12bの2層に分け、その間に電流狭窄層30を形成する。第2p側光ガイド層12bをAlを実質的に含まない組成にすることにより、電流狭窄層30を埋め込んだ場合に平坦化し易くなる。第1p側光ガイド層12aと第2p側光ガイド層12bの組成は、同一であることが好ましいが、光ガイド層の機能を阻害しない範囲で互いに異なっても良い。尚、n側光ガイド層に電流狭窄層30を埋め込む場合も同様である。

10

20

30

40

50

【0043】

[n側クラッド層6、p側クラッド層14]

n側クラッド層6及びp側クラッド層14は、少なくとも一方がAlを含む窒化物半導体層を含み、互いにバンドギャップエネルギーが異なる窒化物半導体層を積層した超格子とすることが好ましい。ここでAlを含む窒化物半導体層としては $Al_cGa_{1-c}N$ ($0 < c < 1$)が好ましい。更に好ましくはGaNとAlGaNを積層した超格子構造とする。n側クラッド層6やp側クラッド層14を超格子構造とすることによって、クラッド層全体のAl混晶比を上げることができるので、レーザの閾値を低下させることができる。さらに、超格子としたことにより、クラッド層自体に発生するピットが減少する。また、超格子構造を構成する一方の層に不純物を多くドーピングする変調ドーピングを行うと結晶性が良くなる。但し、両方に同じようにドーピングしても良い。

10

【0044】

[p側電極20]

p側電極20の材料としては、Ni、Co、Fe、Cr、Al、Cu、Au、W、Mo、Ta、Ag、Pt、Pd、Rh、Ir、Ru、Os及びこれらの酸化物、窒化物等があげられ、これらの単層、合金、或いは多層膜を用いることができる。好ましくは、Ni、Co、Fe、Cu、Au、Alから選択される少なくとも1種、及びこれらの酸化物、窒化物などである。また、半導体層に接して設けられるオーミック電極とその上のパッド電極との2層構造とするのが好ましい。多層膜とする場合、好ましい組合せとしては、Ni/Au/Pt、Ni/Au/Rh酸化物、Pd/Pt、Ni/Au、Co/Au等があげられる。また、これらを半導体層と接するオーミック電極とし、その上にパッド電極を別に設けることが好ましい。パッド電極の材料も、上記と同様の材料を用いることができ、オーミック電極との界面に白金族系の材料若しくはそれらの酸化物を用いることで、熱的安定性が向上するので好ましい。

20

【0045】

また、p側オーミック電極20の幅は、開口部32の幅よりも広く、電流狭窄層30の幅(=開口部を含む全幅)よりも狭いことが好ましい。このような幅にp側オーミック電極20を形成することにより、開口部に効率良く電流を注入することができる。また、p側オーミック電極20は、レーザ光の導波方向と略平行な方向の長さが、電流狭窄層30の長さよりも短いことが好ましい。このような長さにp側オーミック電極20を形成することにより、開口部に一層効率良く電流を注入することができる。

30

【0046】

[n側電極18]

n側電極18の材料としては、Ni、Co、Fe、Ti、Cu、Au、W、Zr、Mo、Ta、Al、Ag、Pt、Pd、Rh、Ir、Ru、Os等があげられ、これらの単層、合金、或いは多層膜を用いることができる。好ましくは、Ti/Al、V/Al、V/Pt/Au、Ti/Mo/Ti/Pt/Au、Ti/W/Ti/Pt/Auが挙げられる。特に、Ti/Mo/Ti/Pt/Au、Ti/W/Ti/Pt/Auは、Pt等の融点の高い層をあいだに挟む積層構造体であるため、熱的に安定であり、高出力時等の電極にかかる負荷の大きい場合には、好ましい材料である。

40

【0047】

次に、本実施の形態に係る窒化ガリウム系化合物半導体レーザの製造方法について説明する。

図4は、本実施の形態に係る窒化ガリウム系化合物半導体レーザの製造方法を示す工程図である。まず、図4(a)に示すように、MOCVD装置等の気相成長装置の反応炉において、窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子を構成する半導体層を、p側光ガイド層12の合計膜厚の約半分まで(=第1p側光ガイド層12a)積層した後、 $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$ ($0 < x < 0.1$ 、 $0.5 < y < 1$ 、 $0.5 < x+y < 1$)から成る電流狭窄層30を成長する。電流狭窄層30は、1000 未満、好ましくは600 以下の低温で成長することが望ましい。

50

【 0 0 4 8 】

次に、図 4 (b) に示すように、ウエハを気相成長装置の反応炉から取出し、フォトレジスト 3 4 を用いたフォトリソグラフィによって、電流狭窄層 3 0 に開口部 3 2 を形成する。電流狭窄層 3 0 のエッチングは、ドライエッチングよりも、ダメージの少ないウエットエッチングによって行うことが好ましい。例えば、AlN 等の Al 比率が高い窒化ガリウム系化合物半導体は、テトラメチルアンモニウムヒドロキサイド (T M A H) 等のアルカリ現像液に容易に溶けるため、アルカリ溶液を現像液に用いたフォトリソグラフィによって電流狭窄層 3 0 をパターンニングできる。

【 0 0 4 9 】

ここで電流狭窄層 3 0 に開口部 3 2 を形成する際に、開口部 3 2 内に所定の膜厚の電流狭窄層が残膜部 3 0 b として残るようにする。これは電流狭窄層の厚さ方向における結晶性の変化を利用して行うことができる。即ち、電流狭窄層は、下地層である第 1 光ガイド層 1 2 a に接する部分は結晶性が良好であり、膜厚が厚くなるに従って結晶性が低下していく。このため、電流狭窄層の下地層近傍とそれより上側の部分ではアルカリ溶液等に対するエッチング速度が異なっており、アルカリ溶液の濃度や温度等の条件を適切に設定することにより、電流狭窄層の下地層近傍のみを残すことができる。

【 0 0 5 0 】

次に、図 4 (c) に示すように、フォトレジスト 3 4 を除去した後に、ウエハを再び気相成長装置の反応炉に導入し、水素等の還元性ガスを流しながら 1 0 0 0 以上の高温に保持することにより、エッチバックを行う。このエッチバックにより、図 4 (b) の工程において、雰囲気中の酸素等と最表面の半導体層 (= 電流狭窄層 3 0) との反応によって形成された反応層を除去する。

【 0 0 5 1 】

この時、電流狭窄層の残膜部 3 0 b がエッチングストップ層として機能する。即ち、電流狭窄層の残膜部 3 0 b は、Al 比率が大きく、しかも結晶性が良好である結果、水素等の還元雰囲気下での分解速度が遅い。エッチバックによって電流狭窄層の残膜部 3 0 b も多少は分解するが、その分解速度が非常に遅いため、電流狭窄層 3 0 の表面に形成された反応層が完全に除去されるだけの時間エッチバックを行っても、電流狭窄層の残膜部 3 0 b を突き抜けて下層の p 側ガイド層 1 2 a が侵食されることはない。

【 0 0 5 2 】

次に、図 4 (d) に示すように、電流狭窄層 3 0 の上に第 2 p 側光ガイド層 1 2 b を成長して開口部 3 2 を平坦に埋める。このとき、第 2 p 側光ガイド層 1 2 b は、実質的に Al を含まない窒化物半導体、好ましくは GaN にすると、開口部 3 2 を平坦に埋め易くなる。第 2 p 側光ガイド層 1 2 b 以降は、通常窒化ガリウム系化合物半導体レーザの製造方法に従って、p 側クラッド層 1 4、p 側コンタクト層 1 6 を順次成長すれば良い。

【 0 0 5 3 】

実施の形態 2

実施の形態 1 では、p 側光ガイド層 1 2 の中に電流狭窄層 3 0 を形成したが、本実施の形態では、n 側光ガイド層 8 の中に電流狭窄層 3 0 を形成する。その他の点は、実施の形態 1 と同様である。

【 0 0 5 4 】

図 6 は、実施の形態 2 に係る窒化ガリウム系化合物半導体レーザを示す断面図である。本実施の形態では、n 側光ガイド層 8 の中にストライプ状の開口部 3 2 を有する電流狭窄層 3 0 が形成されている。電流狭窄層 3 0 は、高抵抗の $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$ ($0 < x < 0.1, 0.5 < y < 1, 0.5 < x + y < 1$) から成り、開口部 3 2 に電流を集中してレーザの水平横モードを制御する役割を果たしている。

【 0 0 5 5 】

n 側光ガイド層 8 は、電流狭窄層 3 0 の下側にある第 1 n 側光ガイド層 8 a と第 2 n 側光ガイド層 8 b から成る。第 1 n 側光ガイド層 8 a の上に、電流狭窄層 3 0 が形成されており、電流狭窄層 3 0 のうち下地層近傍が所定厚さで残るように開口部 3 2 が形成されて

10

20

30

40

50

いる。そして、開口部 3 2 を埋めるようにして、第 2 n 側光ガイド層 8 b が形成されている。

【 0 0 5 6 】

実施の形態 1 と同様に、電流狭窄層の残膜部 3 0 b は、気相成長装置内で電流狭窄層 3 0 上への再成長前に行うエッチバックにおいて、エッチングストップ層として機能すると共に、開口部 3 2 における段差を緩和する役割を果たす。また、電流狭窄層の残膜部 3 0 b は抵抗が低く、結晶性が良好であるため、活性層 1 0 への電流注入を阻害しない。従って、本実施の形態に係る窒化ガリウム系化合物半導体レーザにおいても、優れたレーザ特性を安定して得ることができる。

【 0 0 5 7 】

実施の形態 1 及び 2 に示したように、本発明に係る電流狭窄層 3 0 は、活性層の p 側と n 側のいずれに形成しても良い。しかしながら、一般的な窒化ガリウム系化合物半導体素子では、p 型窒化ガリウム系化合物半導体が高抵抗であるために、n 側層、活性層、p 側層の順序で成長を行う。従って、実施の形態 2 のように、活性層の n 側に電流狭窄層 3 0 を形成した場合、結晶性の悪い電流狭窄層 3 0 から発生した転位が活性層 1 0 を通過することになる。また、第 2 の n 側光ガイド層 8 b による平坦化が十分でない場合には、活性層 1 0 が平坦にならず、リーク電流が流れ易くなる。このため、実施の形態 1 のように活性層の p 側に形成する方が好ましい。

【 0 0 5 8 】

また、上記実施の形態では、光ガイド層の内部に電流狭窄層 3 0 を形成する場合について説明したが、本発明はこれに限定されない。例えば、光ガイド層とクラッド層の間やクラッド層の内部に電流狭窄層 3 0 を形成しても良い。もっとも、電流狭窄層 3 0 が活性層 1 0 からあまり遠いと、電流狭窄層 3 0 によって集中された電流が活性層 1 0 に到達する前に広がり易くなる。従って、電流狭窄層 3 0 の位置は、活性層 1 0 の結晶性に悪影響を与えない範囲で活性層 1 0 に近い方が好ましい。また、電流狭窄層 3 0 の上に形成する層は、Al を実質的に含まない窒化ガリウム系化合物半導体であることが平坦化に有利である。従って、本実施の形態で説明したように、Ga N から成る光ガイド層の内部に電流狭窄層 3 0 を形成することは、電流狭窄効果や平坦化の観点で好ましい。

【 0 0 5 9 】

尚、本件発明に係る窒化物半導体レーザは、フェイスアップ実装とフェイスダウン実装のいずれも可能である。

【実施例 1】

【 0 0 6 0 】

以下、本発明の実施例について説明する。

実施例 1 では、図 1 に示す構造の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子を製造する。

【 0 0 6 1 】

(基板 2)

まず、2 インチ、C 面を主面とするサファイアよりなる異種基板を MOCVD 反応容器内にセットし、温度を 500 にして、トリメチルガリウム (TMG)、アンモニア (NH₃) を使い、Ga N よりなるバッファ層を 200 の膜厚で成長させた後、温度を上げて、アンドープの Ga N を 1.5 μm の膜厚で成長させる。次に、Ga N 層表面にストライプ状のマスクを複数形成し、マスク開口部から Ga N を選択成長させて、横方向の成長を伴った成長 (ELOG) により Ga N 下地層を形成する。この時、選択成長時のマスクは、SiO₂ からなり、マスク幅 15 μm、開口部 (窓部) 幅 5 μm とする。

【 0 0 6 2 】

(バッファ層)

次に、温度を 1050 にして、TMG (トリメチルガリウム)、TMA (トリメチルアルミニウム)、アンモニアを用い、基板 2 の上に Al Ga N よりなるバッファ層 (図示せず) を 4 μm の膜厚で成長させる。この層は、次に形成する n 側コンタクト層 4 と基板 2 との間で、バッファ層として機能する。

10

20

30

40

50

【0063】

(n側コンタクト層4)

次に、前記バッファ層上にTMG、TMA、アンモニア、不純物ガスとしてシランガスを用いて、1050 でSiドーブしたAlGaInよりなるn型コンタクト層4を4 μ mの膜厚で成長させる。

【0064】

(クラック防止層)

次に、TMG、TMI(トリメチルインジウム)、アンモニアを用い、温度を900にして、InGaInよりなるクラック防止層(図示せず)を0.15 μ mの膜厚で成長させる。

10

【0065】

(n側クラッド層6)

次に、温度を1050にして、原料ガスにTMA、TMG及びアンモニアを用い、アンドープのAlGaInよりなるA層を25の膜厚で成長させ、続いて、TMAを止め、不純物ガスとしてシランガスを用い、Siを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドーブしたGaInよりなるB層を25の膜厚で成長させる。そして、この操作をそれぞれ繰り返して、総膜厚1 μ mの多層膜(超格子構造)よりなるn型クラッド層6を成長させる。この時、アンドープAlGaInのAl混晶比としては、0.05以上0.3以下の範囲であれば、十分にクラッド層として機能する。

【0066】

(n側光ガイド層8)

次に、温度1050で、原料ガスにTMG及びアンモニアを用い、アンドープのGaInよりなるn型光ガイド層106を0.15 μ mの膜厚で成長させる。また、n型不純物をドーブしても良い。

20

【0067】

(活性層10)

次に、温度を900にして、原料ガスにTMI(トリメチルインジウム)、TMG及びアンモニウムを用い、不純物ガスとしてシランガスを用い、Siを $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドーブしたIn_{0.05}Ga_{0.95}Nよりなる障壁層(B)を140の膜厚で成長し、シランガスを止め、アンドープのIn_{0.1}Ga_{0.9}Nよりなる井戸層(W)を40の膜厚で成長し、この障壁層(B)と井戸層(W)を、障壁層/井戸層/障壁層/井戸層/・・・/障壁層/井戸層/障壁層の順に積層する。最終層は、井戸層でも障壁層でも良いが、障壁層とすることが好ましい。活性層10は、総膜厚約500の多重量子井戸構造(MQW)となる。

30

【0068】

(キャリア閉込層)

次に、同様の温度で、原料ガスにTMA、TMG、及びアンモニアを用い、不純物ガスとしてCp₂Mg(シクロペンタジエニルマグネシウム)を用い、Mgを $1 \times 10^{19} / \text{cm}^3$ ドーブしたAlGaInよりなるp側キャリア閉込層11(図1に図示せず)を100の膜厚で成長させる。この層を設けることにより、電子の閉じ込めが良好になると共に、活性層10を分解から保護することができる。

40

【0069】

(p側光ガイド層12a)

続いて、温度を1000にして、原料ガスにTMG及びアンモニアを用い、アンドープのGaInよりなるp側光ガイド層12aを0.075 μ mの膜厚で成長させる。この第1p側光ガイド層12aは、アンドープとして成長させるが、p側キャリア閉込層11、p側クラッド層14等の隣接層からのMgの拡散により、Mg濃度が $5 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ となりp型を示す。また、この層は、成長時に意図的にMgをドーブしてもよい。

【0070】

(電流狭窄層30)

50

次に、温度を500にして、原料ガスにTMA及びアンモニアを用い、AlNよりなる電流狭窄層30を300の膜厚で成長させる。そして、そこまで積層したウエハをMOCVD反応装置の反応炉より取り出し、以下のようにしてストライプ状の開口部32を設ける。まず、電流狭窄層30のほぼ全面にフォトレジストを塗布する。次に、開口部32のパターンに露光を行った後、アルカリ液であるTMAHを用いた現像処理を行う。具体的には、23に保った2.38%のTMAH溶液で2分間現像を行う。結晶性の悪いAlN層30はアルカリ現像液に溶けるので、現像処理と同時に開口部32中の上部分のAlN層がエッチング除去される。一方、電流狭窄層の下側に形成された下地層である第1p側光ガイド層に接する部分のAlN層は結晶性が良好であるため、上記条件では溶けず、約80の厚さが開口部内に残る(図4(b))。

10

【0071】

次に、ウエハをMOCVD装置の反応炉に戻し、温度を1000にして、還元性ガスである水素ガスを約10分間吹き付けることにより、エッチバックを行う。この時、開口部32内部の残膜部30bがエッチバックに対するエッチングストップ層として機能する。このエッチバックにより、残膜部30bの膜厚は約70となる。

【0072】

(第2p側光ガイド層12b)

次に、温度を1000にして、原料ガスにTMG及びアンモニアを用い、アンドープのGaNよりなる第2p側光ガイド層12bを0.075 μ mの膜厚で成長させる。この第2p側光ガイド層12bは、アンドープとして成長させるが、p側クラッド層14等の隣接層からのMgの拡散により、Mg濃度が $5 \times 10^{16} / \text{cm}^3$ となりp型を示す。また、この層は、成長時に意図的にMgをドープしてもよい。第2p側光ガイド層12bは、Alを含んでいないため、開口部32の段差を埋めて平坦に成長し易い。

20

【0073】

(p側クラッド層14)

続いて、1000でアンドープAlGaNよりなる層を25の膜厚で成長させ、続いてTMAを止め、 Cp_2Mg を用いて、MgドープGaNよりなる層を25の膜厚で成長させ、それを90回繰り返して総膜厚0.45 μ mの超格子層よりなるp側クラッド層14を成長させる。

30

【0074】

(p側コンタクト層16)

最後に、温度1000で、p側クラッド層14の上に、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしたp型GaNよりなるp側コンタクト層16を150の膜厚で成長させる。p側コンタクト層16は、p型の窒化ガリウム系化合物半導体で構成することができ、好ましくはMgをドープしたGaNとすれば、p電極20と最も好ましいオーミック接触が得られる。p側コンタクト層16は、電極を形成する層であるので、 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ 以上の高キャリア濃度とすることが望ましい。 $1 \times 10^{17} / \text{cm}^3$ よりも低いと、電極と好ましいオーミックを得るのが難しくなる傾向にある。反応終了後、反応容器内において、ウエハを窒素雰囲気中、700でアニーリングを行い、p型層を更に低抵抗化する。

40

【0075】

以上のようにして窒化物半導体を成長させ各層を積層した後、ウエハを反応容器から取り出し、最上層のp側コンタクト層16の表面に SiO_2 よりなる保護膜(図示せず)を形成する。そして、RIE(反応性イオンエッチング)によりエッチングし、図1に示すように、n電極を形成すべき領域のn側コンタクト層4の表面を露出させる。このように窒化物半導体を深くエッチングするには保護膜として SiO_2 が最適である。

【0076】

次に、p側コンタクト層16の表面にNi/Auよりなるストライプ状のp電極20を形成し、n側コンタクト層4の表面にTi/Alよりなるストライプ状のn電極18を形成する。そして、n電極18及びp電極20の一部の領域にマスクし、 SiO_2 とTiO

50

2よりなる誘電体多層膜を形成した後、n電極18及びp電極20上にNi-Ti-Au(1000 1000 8000)よりなる取り出し(パット)電極をそれぞれ設ける。この時、活性層10の幅は、200 μ mの幅(共振器方向に垂直な方向の幅)であり、共振器面(反射面側)にもSiO₂とTiO₂よりなる誘電体多層膜が設けられる。n電極18とp電極20を形成した後、ストライプ状の電極に垂直な方向で、窒化物半導体のM面(GaNのM面(11-00)等)でバー状に分割し、更にチップに分割してレーザ素子を得る。この時、共振器長は、650 μ mである。

【0077】

このようにして製造したレーザ素子は、閾値電流：35mA、Vf：3.8V、Eta：1.3W/A、()：8.5deg、()：22.5degとなる。また、80mWまでキックが発生せず、良好な素子特性を示す。

10

【実施例2】

【0078】

実施例2では、図6に示す構造の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子を製造する。本実施例ではn側光ガイド層8の中に形成する。即ち、第1n側光ガイド層8aを0.075 μ mの膜厚で成長した後、AlNから成る電流狭窄層30を形成する。そして、約30の残膜部が残るように開口部32を形成した後、第2n側光ガイド層8bを0.075 μ mの膜厚で形成する。このようにして製造したレーザ素子は、パルスレーザとなり、閾値電流：40mA、Vf：4.0V、Eta：1.1W/A、()：7.5deg、()：20degとなる。また、80mWまでキックが発生せず、良好な素子特性を示す。

20

【実施例3】

【0079】

実施例3では、複数のストライプ構造を有するマルチストライプレーザを作製する。下記に説明する点を除いては、基本的に実施例1と同様である。本実施例では、GaN基板を用い、n側電極は、GaN基板の裏面から取る。GaN基板の上に、素子構造を第1p側光ガイド層まで形成した後、Al_{0.1}Ga_{0.9}Nから成る第1の半導体層を200の膜厚で成長し、GaNから成る第2の半導体層を100の膜厚で成長し、Al_{0.95}In_{0.01}Ga_{0.04}Nから成る電流狭窄層を200の膜厚で成長した後、開口部を形成した。開口部は、2 μ m幅で、20 μ mの間隔を空けて4本作製した。そして、第2p側光ガイド層を再成長し、残りの素子層を形成した。また、研磨後、裏面にTi/Al(100/5000)からなるn電極を形成させる。このようにしてリッジ幅が2 μ mのレーザが4本並列したマルチストライプレーザを構成すると、閾値電流100mA、Eta：1.6W/A、Po：200mWとなり、良好な素子特性を示した。

30

【図面の簡単な説明】

【0080】

【図1】図1は、本発明の実施の形態1に係る窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子を示す断面図である。

【図2】図2(a)及び(b)は、実施の形態1に示す窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子を示す部分拡大断面図である。

40

【図3】図3は、従来の窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子を示す断面図である。

【図4】図4(a)乃至(d)は、実施の形態1に係る窒化ガリウム系化合物半導体レーザ素子の製造方法を示す工程図である。

【図5】図5は、実施の形態1に係る窒化ガリウム系化合物半導体レーザにおいて電流狭窄層の形成領域を表した平面図である。

【図6】図6は、本発明の実施の形態2に係る窒化ガリウム系化合物半導体レーザを示す断面図である。

【符号の説明】

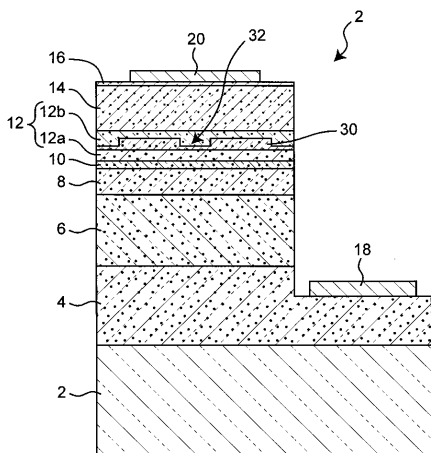
【0081】

2・・・基板(GaN基板)、

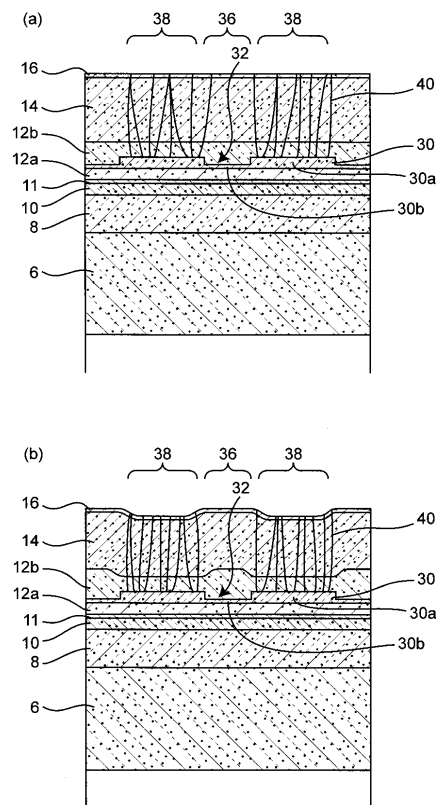
50

- 4 . . . n 側コンタクト層、
- 6 . . . n 側クラッド層、
- 8 . . . n 側光ガイド層、
- 10 . . . 活性層、
- 12 . . . p 側光ガイド層、
- 14 . . . p 側クラッド層、
- 16 . . . p 側コンタクト層、
- 18 . . . n 電極、
- 20 . . . p 電極、
- 30 . . . 電流狭窄層、
- 30 a . . . 電流狭窄層の本体部分、
- 30 b . . . 電流狭窄層の残膜部

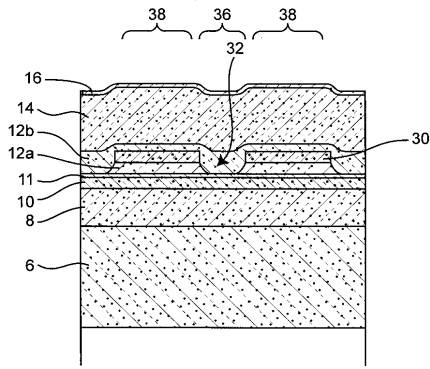
【 図 1 】



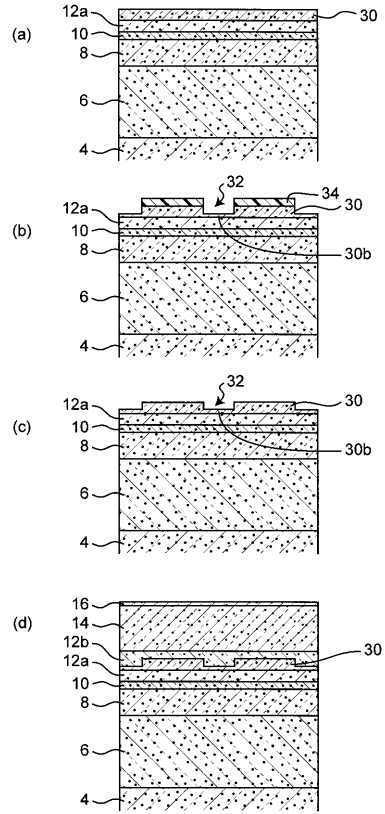
【 図 2 】



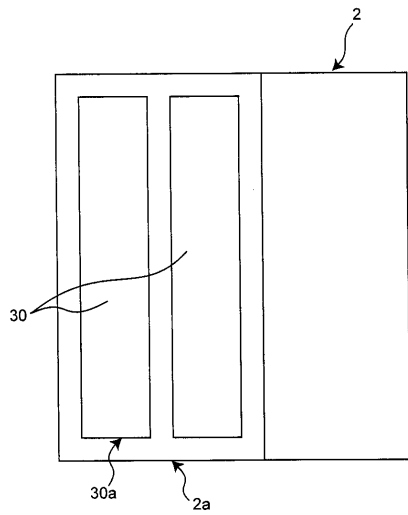
【図3】



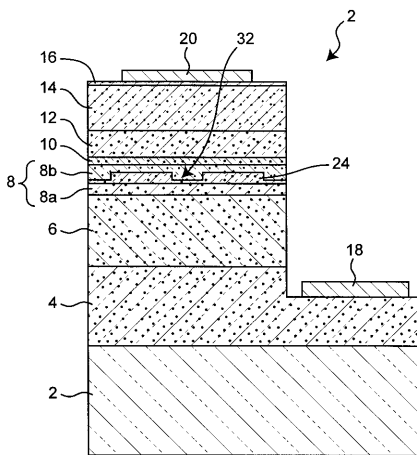
【図4】



【図5】



【図6】



フロントページの続き

- (72)発明者 松村 拓明
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
- (72)発明者 柳本 友弥
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 松崎 義邦

- (56)参考文献 特開平11-261160(JP,A)
特開2002-314203(JP,A)
特開2001-156404(JP,A)
特開2001-094212(JP,A)
特開平10-093199(JP,A)
特開2003-078215(JP,A)
特開2001-223440(JP,A)
特開平10-093192(JP,A)
特開2000-068593(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H01S5/00-5/50