

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第3891108号  
(P3891108)

(45) 発行日 平成19年3月14日(2007.3.14)

(24) 登録日 平成18年12月15日(2006.12.15)

(51) Int. Cl. F I  
H O I S 5/223 (2006.01) H O I S 5/223

請求項の数 9 (全 13 頁)

(21) 出願番号	特願2002-354976 (P2002-354976)	(73) 特許権者	000226057 日亜化学工業株式会社
(22) 出願日	平成14年12月6日(2002.12.6)		徳島県阿南市上中町岡491番地100
(62) 分割の表示	特願平9-352540の分割	(72) 発明者	山田 孝夫
原出願日	平成9年12月22日(1997.12.22)		徳島県阿南市上中町岡491番地100
(65) 公開番号	特開2003-163415 (P2003-163415A)		日亜化学工業株式会社内
(43) 公開日	平成15年6月6日(2003.6.6)	(72) 発明者	松下 俊雄
審査請求日	平成16年10月21日(2004.10.21)		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	中村 修二
			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	居島 一仁

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 窒化物半導体発光素子

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

基板上にn側クラッド層と、活性層と、p側クラッド層と、p側コンタクト層を順に有し、

活性層よりも上の層にリッジを有し、対向する共振面に対してほぼ垂直にレーザー光が共振する窒化物半導体レーザー素子において、

前記p側クラッド層は、少なくともAlを含む窒化物半導体層を有する超格子よりなり、

前記p側コンタクト層とp側クラッド層の一部、若しくは全部に前記リッジが形成されており、

前記p側コンタクト層のリッジ最表面にストライプ状のp電極を有し、露出した前記p側コンタクト層とp側クラッド層の表面に絶縁膜を有し、該絶縁膜を介して前記p電極と電氣的に接続したpパッド電極を有し、

さらに該リッジのストライプ幅が両方の共振面に接近するに従って狭くなり、かつレーザー素子の共振面において傾斜角を有するように形成されていることを特徴とする窒化物半導体レーザー素子。

【請求項2】

前記p側クラッド層全体の厚さが50以上2.0μm以下であり、かつそのp側クラッド層に含まれるAl平均組成を百分率(%)で表した際に、Al平均組成(%)が50%以下であり、p側クラッド層全体の厚さ(μm)とAl平均組成(%)との積が4.4

以上となるように構成されてい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素子。

【請求項 3】

前記 n 側と p 側のクラッド層との間にある活性層を含んだ窒化物半導体層の厚さが 200 オングストローム以上、1.0 μm 以下の範囲に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素子。

【請求項 4】

前記 p 側クラッド層の膜厚は、前記 n 側クラッド層の膜厚よりも薄いことを特徴とする請求項 1 乃至 3 の内のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 5】

前記 Al を含む窒化物半導体層は、 $Al_x Ga_{1-x} N$  ( $0 < x < 1$ ) からなることを特徴とする請求項 1 乃至 4 の内のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 6】

前記傾斜角は、 $10^\circ$  以下であることを特徴とする請求項 1 乃至 5 の内のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 7】

前記基板は、窒化物半導体基板であることを特徴とする請求項 1 乃至 6 の内のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 8】

前記窒化物半導体基板には電極が設けられていることを特徴とする請求項 7 に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 9】

前記窒化物半導体レーザ素子は、前記基板が劈開されることによって形成されることを特徴とする請求項 1 乃至 8 の内のいずれか 1 項に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】

本発明は窒化物半導体 ( $In_a Al_b Ga_{1-a-b} N$ 、 $0 < a < 1$ 、 $0 < b < 1$ ) よりなるレーザ素子に関する。

【0002】

【従来の技術】

我々は窒化物半導体基板の上に、活性層を含む窒化物半導体レーザ素子を作製して、世界で初めて室温での連続発振 1 万時間以上を達成したことを発表した (ICNS'97 予稿集, October 27-31, 1997, P444-446、及び Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 36 (1997) pp. L1568-1571、Part 2, No. 12A, 1 December 1997)。図 8 はそのレーザ素子の構造を示す模式的な断面図である。基本的な構造としてはサファイア基板の上に、ストライプ状に形成された  $SiO_2$  膜を介して選択成長された n-GaN よりなる窒化物半導体基板の上に、レーザ素子構造となる窒化物半導体層が複数積層されてなる。(詳細は Jpn. J. Appl. Phys. Vol. 36 参照)

【0003】

基本的なレーザ素子構造は、 $In_{0.02} Ga_{0.98} N$  よりなる障壁層と、 $In_{0.15} Ga_{0.85} N$  よりなる井戸層とが積層された活性層を、n- $Al_{0.14} Ga_{0.86} N / GaN$  とからなる超格子構造の n 側クラッド層と、p- $Al_{0.14} Ga_{0.86} N / GaN$  とからなる超格子構造の p 側クラッド層とで挟んだダブルヘテロ構造を有する。超格子を構成する単一窒化物半導体層の膜厚はそれぞれ 25 オングストロームである。さらに p 型クラッド層の一部から上には同一ストライプ幅のリッジが形成されている。活性層の発光はリッジストライプの下にある導波路領域に集中し、共振面間で共振して、レーザとなって出射される。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、従来のレーザ素子ではレーザ光がマルチモードになりやすい傾向にあった。水平横モードはリッジストライプを狭くすることによりシングルモード化が図られてい

10

20

30

40

50

るが、シングルモードを得るためにストライプ幅を狭くすると、リッジストライプの上形成するオーミック電極の形成が難しくなる傾向にある。また電極面積も小さくなるために、微小部分に電流が集中することにより、レーザ素子の閾値が上昇したり、また発熱により素子自体の信頼性が低くなる。

【0005】

一方垂直横モードでは、両クラッド層による光の閉じ込めが未だ不十分な傾向にある。例えばn側クラッド層から漏れた光は、屈折率が小さいサファイア基板で反射し、基板とn側クラッド層の間にある屈折率の大きいGaN層中で導波する。そのGaN層中で導波した光は、活性層端面から出射されるレーザ光と重なり合いファーフールドパターン(FFP)の形状を乱し、例えば出射されるレーザ光のスポットが複数となって現れ、マルチモードとなって観測される。マルチモードのレーザ素子はピックアップ用光源として使用するには非常に使いにくい。

【0006】

従って本発明の目的とするところは、窒化物半導体レーザ素子を各種光源として使用するため、単一モードのNFP、FFPを有し、低閾値でレーザ光を長時間発振させることにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】

本発明の窒化物半導体レーザ素子は、下記(1)～(9)の構成によって達成することができる。

(1) 基板上にn側クラッド層と、活性層と、p側クラッド層と、p側コンタクト層を順に有し、活性層よりも上の層にリッジを有し、対向する共振面に対してほぼ垂直にレーザ光が共振する窒化物半導体レーザ素子において、前記p側クラッド層は、少なくともAlを含む窒化物半導体層を有する超格子よりなり、前記p側コンタクト層とp側クラッド層の一部、若しくは全部に前記リッジが形成されており、前記p側コンタクト層のリッジ最表面にストライプ状のp電極を有し、露出した前記p側コンタクト層とp側クラッド層の表面に絶縁膜を有し、該絶縁膜を介して前記p電極と電氣的に接続したpパッド電極を有し、さらに該リッジのストライプ幅が両方の共振面に接近するに従って狭くなり、かつレーザ素子の共振面において傾斜角を有するように形成されていることを特徴とする。

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p側クラッド層全体の厚さが50以上2.0μm以下であり、かつそのp側クラッド層に含まれるAl平均組成を百分率(%)で表した際に、Al平均組成(%)が50%以下であり、p側クラッド層全体の厚さ(μm)とAl平均組成(%)との積が4.4以上となるように構成されていることが好ましい。

(3) 前記n側とp側のクラッド層との間にある活性層を含んだ窒化物半導体層の厚さが200オングストローム以上、1.0μm以下の範囲にあることが好ましい。

(4) 前記p側クラッド層の膜厚は、前記n側クラッド層の膜厚よりも薄いことが好ましい。

(5) 前記Alを含む窒化物半導体層は、 $Al_xGa_{1-x}N$  ( $0 < x < 1$ ) からなることが好ましい。

(6) 前記傾斜角は、10°以下であることが好ましい。

(7) 前記基板は、窒化物半導体基板であることが好ましい。

(8) 前記窒化物半導体基板には電極が設けられていることが好ましい。

(9) 前記窒化物半導体レーザ素子は、前記基板が劈開されることによって形成されることが好ましい。

【0008】

さらに、前記リッジストライプは、出力側のストライプ幅が全反射側のストライプ幅よりも狭くされてなることを特徴とする。なおレーザの出力側、全反射側は、例えば共振面に形成する反射膜の反射率を調整することにより適宜決定することができる。

【0009】

10

20

30

40

50

また、本発明のレーザ素子では、前記  $n$  側クラッド層は、少なくとも  $A_1$  を含む窒化物半導体層を有する超格子よりなり、その  $n$  側クラッド層全体の厚さが  $0.5 \mu\text{m}$  以上で、かつその  $n$  側クラッド層に含まれる  $A_1$  平均組成を百分率 (%) で表した際に、 $n$  側クラッド層全体の厚さ ( $\mu\text{m}$ ) と  $A_1$  平均組成 (%) との積が  $4.4$  以上となるように構成されていることを特徴とする。

【0010】

さらに、前記  $p$  側クラッド層全体の厚さが  $2.0 \mu\text{m}$  以下であり、かつその  $p$  側クラッド層に含まれる  $A_1$  平均組成を百分率 (%) で表した際に、 $p$  側クラッド層全体の厚さ ( $\mu\text{m}$ ) と  $A_1$  平均組成 (%) との積が  $4.4$  以上となるように構成されていることを特徴とする。

10

【0011】

さらにまた本発明のレーザ素子において、前記  $n$  側と  $p$  側のクラッド層との間にある活性層を含んだ窒化物半導体層の厚さが  $200$  オングストローム以上、 $1.0 \mu\text{m}$  以下の範囲にあることを特徴とする。

【0012】

【発明の実施の形態】

本発明のレーザ素子において、クラッド層とは、屈折率が活性層の井戸層よりも小さい窒化物半導体を含む光閉じ込め層である。また超格子とは単一層の膜厚が  $100$  オングストローム以下で、互いに組成が異なる窒化物半導体層を積層した多層膜構造を指し、好ましくは  $70$  オングストローム以下、さらに好ましくは  $40$  オングストローム以下の膜厚の窒化物半導体層を積層する。具体的な構成としては、例えば  $A_1XGa_{1-X}N$  ( $0 < X < 1$ ) 層と、その  $A_1XGa_{1-X}N$  層と組成が異なる他の窒化物半導体層とを積層した超格子とし、例えば  $A_1XGa_{1-X}N / GaN$ 、 $A_1XGa_{1-X}N / A_1YGa_{1-Y}N$  ( $0 < Y < 1$ ,  $Y < X$ )、 $A_1XGa_{1-X}N / InZGa_{1-Z}N$  ( $0 < Z < 1$ ) 等の三元混晶と三元混晶、若しくは三元混晶と二元混晶との組み合わせで超格子とすることができる。その中でも最も好ましくは  $A_1XGa_{1-X}N$  と  $GaN$  とからなる超格子とする。これは、 $n$  側クラッド層を超格子とする場合も同様である。なおクラッド層と、活性層とは接して形成されていなくても良いことは言うまでもない。

20

【0013】

図1は本発明のレーザ素子の形状を示す模式的な斜視図であり、同時に積層構造も示している。また図2は、図1のレーザ素子をリッジ側から見た平面図である。このレーザ素子は、超格子よりなる  $p$  側クラッド層18の一部にリッジストライプが形成され、そのリッジのストライプ幅の一方が共振面に接近するに従って狭くなるように形成され、もう一方のストライプ幅が共振面に接近するに従って広くなるように形成されている。

30

【0014】

このように、好ましくはリッジの出力側のストライプ幅を狭くし、もう一方の全反射側を広くすることにより、リッジ下部のレーザ光は、ストライプ幅の狭いところで水平横モードがシングルモードとなる。一方、ストライプ幅の広い所はそのリッジ下部でマルチモードとなる可能性があるが、狭い部分ですでにシングルとなっているため、導波光が共振面間で共振している間に、広いところのマルチモードは狭い部分で減衰してしまうので、結局、ストライプ幅の広い部分に対応した共振面から出るレーザ光もシングルモードとなる。また、リッジのストライプ幅が次第に狭くなっている部分と、次第に広がっている部分とがあるために、表面積は等間隔でストライプ幅を設けたものとほぼ同等であるか、若しくは実質的に広くできるために、狭い領域に電流が集中せず、リッジ均等に流れるため、素子自体の発熱も少なくなり信頼性も良くなる。

40

【0015】

図4はリッジの形状を示す平面図であり、図2と異なり  $n$  電極は省略している。この図で説明すると、ストライプリッジを形成する場合、出力側のストライプ幅  $a$  は、 $0.5 \mu\text{m} \sim 5 \mu\text{m}$ 、さらに好ましくは  $1 \mu\text{m} \sim 2 \mu\text{m}$  の範囲に調整することが望ましい。 $0.5 \mu\text{m}$  よりも狭くすると、そのクラッド層の上に積層されるコンタクト層のリッジ幅も同様に

50

狭くなるため、オーミック用の p 電極を形成するのが難しくなる傾向にある。一方、全反射側のストライプ幅  $b$  は、 $2\ \mu\text{m} \sim 20\ \mu\text{m}$ 、さらに好ましくは、 $4\ \mu\text{m} \sim 6\ \mu\text{m}$  の範囲に調整することが望ましい。 $2\ \mu\text{m}$  よりも狭くすると、もう一方のストライプ幅  $a$  も  $2\ \mu\text{m}$  よりも狭くせざるをえない。そのため全体のリッジ幅が狭くなりすぎて、電流がリッジに集中しすぎて、素子が発熱しやすい傾向にある。一方、 $20\ \mu\text{m}$  よりも広いと、リッジ下部での光のロスが大きく出力が低下しやすい傾向にある。

#### 【0016】

また、リッジのストライプ形状は図4に示すように途中で「くびれ」が無く、一定の角度でいずれか一方の方に狭くなっていることが最も好ましい。本発明ではその角度はできるだけ小さい方が望ましい。例えばレーザの共振方向に水平な方向に対しての、角度は  $10^\circ$  以内、さらに好ましくは  $8^\circ$  以内、最も好ましくは  $5^\circ$  以内に調整する。角度が急になると、その急になった部分から外部に光が漏れてリッジ下部に光が集中しにくいために、レーザとしての効率が悪くなり、出力が低下して、閾値が上昇しやすい傾向にある。そのため本発明ではできるだけ緩やかな角度で端面に接近するにつれて次第に狭くなったリッジストライプを形成し、狭い方を出力側とし、広い方を全反射側とする方が望ましい。好ましいリッジストライプとしては出力側  $a$  を  $1 \sim 3\ \mu\text{m}$ 、全反射側を  $3 \sim 8\ \mu\text{m}$  とし、傾斜角を  $3^\circ$  以内としたリッジストライプを形成することが最も好ましい。

10

#### 【0017】

図5～図7は本発明に係る他のリッジストライプの形状を示す平面図である。本発明では図5～図6に示すように、両方のリッジストライプ幅も共振面に接近するに従って狭くなるように形成されていても良い。また、図7のようにストライプの中間に、共振面に接近するに従って一方が狭くなり、もう一方が広がるような形状を有していても良い。但し、図5～図7に示すように、広いストライプ幅から急激に狭くすると、前記角度が大きくなって、そのくびれ部分から光が漏れやすくなって、レーザの出力が低くなる傾向にある。従って、図5～図7のようなリッジストライプを形成する際においても、その傾斜角は  $10^\circ$  以内に調整することが望ましい。

20

#### 【0018】

さらにまた本発明では、 $n$  側クラッド層は、少なくとも Al を含む窒化物半導体層を有する超格子よりなり、その  $n$  側クラッド層全体の厚さが  $0.5\ \mu\text{m}$  以上で、かつその  $n$  側クラッド層に含まれる Al 平均組成を百分率 (%) で表した際に、 $n$  側クラッド層全体の厚さ ( $\mu\text{m}$ ) と Al 平均組成 (%) との積が  $4.4$  以上となるように構成することにより、垂直横モードのレーザ光が制御できて、シングルモードとなりやすい。 $n$  側クラッド層の厚さが  $0.5\ \mu\text{m}$  よりも薄く、かつその  $n$  側クラッド層全体の厚さ ( $\mu\text{m}$ ) と Al 平均組成 (%) との積が  $4.4$  よりも少ないと、 $n$  側クラッド層としての光閉じ込めが不十分となり、 $n$  側のコンタクト層で導波して、FFP が乱れ、閾値も上昇する傾向にある。好ましい積の値としては  $5.0$  以上、さらに好ましくは  $5.4$  以上にする。ベストモードとしては  $7$  以上に調整する。

30

#### 【0019】

例えば、前記  $n$  側クラッド層の全体の厚さを  $0.8\ \mu\text{m}$  以上とし、前記  $n$  側クラッド層に含まれる Al 平均組成を  $5.5\%$  以上とする。この場合の積は  $4.4$  以上である。好ましくは  $n$  側クラッド層の全体の厚さを  $1.0\ \mu\text{m}$  以上とし、その  $n$  側クラッド層に含まれる Al 平均組成を  $5.0\%$  以上とする。この場合の積は  $5.0$  以上である。さらに好ましくは、 $n$  側クラッド層の全体の厚さを  $1.2\ \mu\text{m}$  以上とし、その  $n$  側クラッド層に含まれる Al 平均組成を  $4.5\%$  以上とする。この場合の積は  $5.4$  以上である。これは  $n$  側クラッド層の膜厚の関係と、超格子よりなる  $n$  側クラッド層の Al 平均組成の関係を具体的に示すものである。

40

#### 【0020】

また  $p$  側クラッド層についても、 $p$  側クラッド層全体の厚さを  $2.0\ \mu\text{m}$  以下とし、かつその  $p$  側クラッド層に含まれる Al 平均組成を百分率 (%) で表した際に、 $p$  側クラッド層全体の厚さ ( $\mu\text{m}$ ) と Al 平均組成 (%) との積が  $4.4$  以上となるように構成するこ

50

ともできる。この構成により垂直横モードのレーザ光が制御できて、シングルモードとなりやすい。なお、p側クラッド層よりも、特にn側クラッド層を前記構成とすることが望ましい。なぜなら、p側クラッド層に関しては、本願のような形状のリッジストライプとして、その上に電極を設けるため、電極で光が吸収されるために、垂直横モードの光の漏れがあってもほとんど無視できるからである。

#### 【0021】

但し、p側クラッド層を以上のような構成とすると、そのp側クラッド層の膜厚はn側クラッド層よりも薄くすることが望ましい。なぜなら、p側クラッド層のAl平均組成を大きくするか、若しくは膜厚を厚くすると、AlGaIn層の抵抗値が大きくなる傾向にあり、AlGaInの抵抗値が大きくなると、駆動電圧が高くなる傾向にあるからである。好ましい膜厚としては、1.5 μm以下、さらに好ましくは1 μm以下にする。下限については特に限定しないが、クラッド層として作用させるためには、50オングストーム以上の膜厚があることが望ましく、また、Alの平均組成としては50%以下が望ましい。

10

#### 【0022】

一般に、AlXGa1-XNはAl混晶比を大きくするに従い、バンドギャップエネルギーが大きくなり、屈折率も小さくなることが知られている。理想的にはAl混晶比Xの大きい、例えば0.5以上のAlXGa1-XN層を、単一層で例えば数μmの膜厚で成長させることができれば、工業的にも都合がよいのであるが、AlXGa1-XNは厚膜で成長させるににくい。単一層で特にAl混晶比が0.5以上のAlXGa1-XNを成長させようとする、例えば0.1 μm以上で結晶中にクラックが入ってしまう。ところが本発明のようにAlXGa1-XNを超格子を構成するような薄膜とすると、単一膜厚がAlXGa1-XNの臨界限界膜厚以下となるので、クラックが入りにくい。そのためクラッド層を超格子とするとAl混晶比の高い層でも厚膜で成長できるようになり、それらを組み合わせることにより、光をn側のクラッド層から基板側に漏れないようにすることができる。

20

#### 【0023】

本発明において、超格子におけるAl平均組成は、以下のような算出方法で求めるものとする。例えば25オングストームのAl0.5Ga0.5Nと、25オングストームのGaInとを200ペア(1.0 μm)積層した超格子の場合、1ペアが50オングストーム、Alを含む層のAl混晶比が0.5であるため、 $0.5(25/50) = 0.25$ となり、超格子におけるAl平均組成は25%である。一方、膜厚が異なる場合、Al0.5Ga0.5Nを40オングストームと、GaInを20オングストームとで積層した場合、膜厚の加重平均を行い、 $0.5(40/60) = 0.33$ となり、Al平均組成は33.3%とする。即ちAlを含む窒化物半導体層のAl混晶比を、その窒化物半導体層が超格子1ペアの膜厚に占める割合に乗じたものを本発明における超格子のAl平均組成とする。またAlを両方含む場合も同様であり、例えばAl0.1Ga0.9N20オングストーム、Al0.2Ga0.8N30オングストームの場合も、 $0.1(20/50) + 0.2(30/50) = 0.16$ 、即ち16%をAl平均組成とする。なお以上の例はAlGaIn/GaIn、AlGaIn/AlGaInについて説明したが、AlGaIn/InGaInについても同じ算出方法を適用するものとする。従って、n側クラッド層を成長させる場合には、以上の算出方法に基づいて成長方法を設計できる。また、n側クラッド層のAl平均組成は、SIMS(二次イオン質量分析装置)、オージェ等の分析装置を用いても検出できる。

30

40

#### 【0024】

##### 【実施例】

##### [実施例1]

図1～図3に基づき実施例1について説明する。図3は図1のレーザ素子にp電極を形成した後の構造を示す模式断面図であり、図1～図3において同一符号で示されている箇所は同一箇所を示している。

#### 【0025】

##### (下地層2)

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1をMOVPE反応容器内に

50

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(NH<sub>3</sub>)を用い、GaNよりなるバッファ層(図示せず)を200オングストロームの膜厚で成長させる。バッファ層成長後、温度を1050にして、同じくGaNよりなる下地層2を4μmの膜厚で成長させる。この下地層2は保護膜を部分的に表面に形成して、次に窒化物半導体基板の選択成長を行うための下地層として作用する。下地層2はAl混晶比X値が0.5以下のAlXGa<sub>1-X</sub>N(0 < X < 0.5)を成長させることが望ましい。0.5を超えると、結晶欠陥というよりも結晶自体にクラックが入りやすくなってしまいうため、結晶成長自体が困難になる傾向にある。また膜厚はバッファ層よりも厚い膜厚で成長させて、10μm以下の膜厚に調整することが望ましい。基板はサファイアその他、SiC、ZnO、スピネル、GaAs等、窒化物半導体を成長させるために知られている、窒化物半導体と異なる材料よりなる基板を用いることができる。

10

## 【0026】

(保護膜3)

下地層2成長後、ウェーハを反応容器から取り出し、この下地層2の表面に、ストライプ状のフォトマスクを形成し、CVD装置によりストライプ幅10μm、ストライプ間隔(窓部)2μmのSiO<sub>2</sub>よりなる保護膜3を1μmの膜厚で形成する。保護膜の形状としてはストライプ状、ドット状、碁盤目状等のような形状でも良いが、窓部よりも保護膜の面積を大きくする方が、結晶欠陥の少ない第2の窒化物半導体層3が成長しやすい。保護膜の材料としては、例えば酸化ケイ素(SiOX)、窒化ケイ素(SiXNY)、酸化チタン(TiOX)、酸化ジルコニウム(ZrOX)等の酸化物、窒化物、またこれらの多層膜その他、1200以上の融点を有する金属等を用いることができる。これらの保護膜材料は、窒化物半導体の成長温度600~1100の温度にも耐え、その表面に窒化物半導体が成長しないか、若しくは成長しにくい性質を有している。

20

## 【0027】

(窒化物半導体基板4)

保護膜3形成後、ウェーハを再度MOVPEの反応容器内にセットし、温度を1050にして、TMG、アンモニアを用い、アンドープGaNよりなるGaNよりなる窒化物半導体基板4を20μmの膜厚で成長させる。成長後の窒化物半導体基板4の表面は、保護膜のストライプ中央部と、窓部のストライプ中央部にはストライプ状の保護膜と平行に結晶欠陥が表出していたが、後にレーザ素子のリッジ形成時に、リッジストライプがこの結晶欠陥に係らないようにすることにより、活性層に結晶欠陥が転位せず、素子の信頼性が向上する。窒化物半導体基板4はハライド気相成長法(HVPE)を用いて成長させることができるが、このようにMOVPE法により成長させることもできる。窒化物半導体基板はIn、Alを含まないGaNを成長させることが最も好ましく、成長時のガスとしては、TMGの他、トリエチルガリウム(TEG)等の有機ガリウム化合物を用い、窒素源はアンモニア、若しくはヒドラジンを用いることが最も望ましい。また、このGaN基板にSi、Ge等のn型不純物をドーピングしてキャリア濃度を適当な範囲に調整してもよい。特に異種基板1、下地層2、保護膜3を除去する場合には、窒化物半導体基板がコンタクト層となるため、この窒化物半導体基板4にn型不純物をドーピングすることが望ましい。

30

## 【0028】

(n側バッファ層11 = 兼n側コンタクト層)

次に、アンモニアとTMG、不純物ガスとしてシランガスを用い、第2の窒化物半導体層4の上にSiを3×10<sup>18</sup>/cm<sup>3</sup>ドーピングしたGaNよりなるn側バッファ層11を5μmの膜厚で成長させる。このバッファ層は、図1のような構造の発光素子を作製した場合にはn電極を形成するためのコンタクト層として作用する。また異種基板1~保護膜3を除去して、窒化物半導体基板4に電極を設ける場合には、省略することもできる。このn側バッファ層11は高温で成長させるバッファ層であり、例えばサファイア、SiC、スピネルのように窒化物半導体と異なる材料よりなる基板の上に、900以下の低温において、GaN、AlN等を、0.5μm以下の膜厚で直接成長させるバッファ層とは区別される。

40

50

## 【0029】

(クラック防止層12)

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800にしてIn0.06Ga0.94Nよりなるクラック防止層12を0.15 $\mu$ mの膜厚で成長させる。

## 【0030】

(n側クラッド層13=超格子層)

続いて、1050でTMA、TMG、アンモニア、シランガスを用い、Siを $1 \times 10^{19}/\text{cm}^3$ ドープしたn型Al0.16Ga0.84Nよりなる第1の層を25オングストロームの膜厚で成長させ、続いてシランガス、TMAを止め、アンドープのGaNよりなる第2の層を25オングストロームの膜厚で成長させる。そして第1層+第2層+第1層+第2層+...というように超格子層を構成し、総膜厚1.2 $\mu$ mの超格子よりなるn側クラッド層13を成長させる。この超格子よりなるn側クラッド層はAl平均組成が8.0%であるので、その膜厚との積は9.6となる。なおn側クラッド層に、バンドギャップエネルギーが異なる窒化物半導体を積層した超格子を作製した場合、不純物はいずれか一方の層に多くドープして、いわゆる変調ドープを行うと閾値が低下しやすい傾向にある。

10

## 【0031】

(n側光ガイド層14)

続いて、シランガスを止め、1050でアンドープGaNよりなるn側光ガイド層14を0.1 $\mu$ mの膜厚で成長させる。このn側光ガイド層は、活性層の光ガイド層として作用し、GaN、InGaNを成長させることが望ましく、通常100オングストローム~5 $\mu$ m、さらに好ましくは200オングストローム~1 $\mu$ mの膜厚で成長させることが望ましい。

20

## 【0032】

(活性層15)

次に、TMG、TMI、アンモニアを用い活性層14を成長させる。活性層は温度を800に保持して、アンドープIn0.2Ga0.8Nよりなる井戸層を40オングストロームの膜厚で成長させる。次にTMIのモル比を変化させるのみで同一温度で、アンドープIn0.01Ga0.95Nよりなる障壁層を100オングストロームの膜厚で成長させる。井戸層と障壁層とを順に積層し、最後に障壁層で終わり、総膜厚440オングストロームの多重量子井戸構造(MQW)の活性層を成長させる。活性層は本実施例のようにアンドープでもよいし、またn型不純物及び/又はp型不純物をドープしても良い。不純物は井戸層、障壁層両方にドープしても良く、いずれか一方にドープしてもよい。

30

## 【0033】

(p側キャップ層16)

次に、温度を1050に上げ、TMG、TMA、アンモニア、Cp2Mg(シクロペンタジエニルマグネシウム)を用い、p側光ガイド層17よりもバンドギャップエネルギーが大きい、Mgを $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープしたp型Al0.3Ga0.7Nよりなるp側キャップ層16を300オングストロームの膜厚で成長させる。このp側キャップ層16は0.1 $\mu$ m以下の膜厚で形成することにより素子の出力が向上する傾向にある。膜厚の下限は特に限定しないが、10オングストローム以上の膜厚で形成することが望ましい。

40

## 【0034】

(p側光ガイド層17)

続いてCp2Mg、TMAを止め、1050で、バンドギャップエネルギーがp側キャップ層16よりも小さい、アンドープGaNよりなるp側光ガイド層17を0.1 $\mu$ mの膜厚で成長させる。この層は、活性層の光ガイド層として作用し、n型光ガイド層14と同じくGaN、InGaNで成長させることが望ましい。

## 【0035】

(p側クラッド層18)

続いて、1050でMgを $1 \times 10^{20}/\text{cm}^3$ ドープしたp型Al0.16Ga0.84Nよりな

50

る第3の層を2500Åの膜厚で成長させ、続いてTMAのみを止め、アンダー層GaNよりなる第4の層を2500Åの膜厚で成長させ、総膜厚0.6μmの超格子層よりなるp側クラッド層18を成長させる。このp側クラッド層もAlの平均組成が8%であるので、膜厚との積は4.8となる。なお、p側クラッド層も少なくとも一方が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で作製した場合、不純物はいずれか一方の層に多くドーピングして、いわゆる変調ドーピングを行うと閾値が低下しやすい傾向にある。

#### 【0036】

ここで、クラッド層で挟まれたコア部分(導波部分)の膜厚について述べる。コア部分とは、n側光ガイド層14、活性層15、p側キャップ層16、及びp側光ガイド層17を合わせた領域、即ちn側クラッド層と、p側クラッド層との間にある活性層を含む窒化物半導体層を指し、活性層の発光を導波する領域である。窒化物半導体レーザ素子の場合、FFPが単一ビームとならないのは、先にも述べたように、クラッド層から漏れた発光がn側のコンタクト層内で導波してマルチモードになるからである。その他、コア内で共振することによってマルチモードになる場合がある。本発明ではまずn側のクラッド層の膜厚を厚くして、Al平均組成を大きくすることにより、屈折率差を設け、コア内の光をクラッド層で閉じ込めるものである。しかし、コア内でマルチモードができると、FFPは乱れる。そのため、本発明のn側クラッド層との関係において、コア内でマルチモードにならないようにするために、このコア部分の厚さも調整する方が望ましい。コア部分にマルチモードが発生しないようにするための好ましい厚さとしては、2000Å以上、1.0μm以下、さらに望ましくは5000Å~0.8μm、最も望ましくは0.1μm~0.5μmの範囲に調整することが望ましい。2000Åよりも薄いと、コア部分から光が漏れだし、閾値が上昇する傾向にある。また1.0μmよりも厚いとマルチモードになりやすい傾向にある。

#### 【0037】

(p側コンタクト層19)

最後に、1050Åで、p側クラッド層18の上に、Mgを $2 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドーピングしたp型GaNよりなるp側コンタクト層18を1500Åの膜厚で成長させる。p側コンタクト層19はp型のIn<sub>x</sub>Al<sub>1-y</sub>Ga<sub>1-x-y</sub>N(0 ≤ x, 0 ≤ y, x+y ≤ 1)で構成することができ、好ましくはMgをドーピングしたGaNとすれば、p電極21と最も好ましいオーミック接触が得られる。

#### 【0038】

以上のようにして窒化物半導体を成長させたウェーハを反応容器内において、窒素雰囲気中700Åでアニーリングを行い、p型不純物をドーピングした層をさらに低抵抗化させる。

#### 【0039】

アニーリング後、ウェーハを反応容器から取り出し、RIE装置により最上層のp側コンタクト層18と、p側クラッド層17の一部とをエッチングして、図1、及び図2に示すような形状のリッジストライプを形成する。このリッジストライプは片方の共振面側のストライプ幅を2.0μmに設定し、もう片方の共振面側のストライプ幅を4.0μmに設定してあり、共振器長を500μmに設定することにより、レーザ共振方向に対する角度を3°以下にしている。なお、本実施例ではp側クラッド層の一部をリッジストライプとしているが、エッチング深さを深くして、p側クラッド層の全部をリッジストライプとすることもできる。

#### 【0040】

また、リッジストライプを形成する際、そのリッジストライプは、窒化物半導体基板の表面に結晶欠陥が現れていない位置に形成する。結晶欠陥はストライプ状の保護膜3中央部、及びストライプ状の窓部中央部に現れやすい傾向にある。そのためその中央部を避けてリッジストライプを形成することにより、結晶欠陥が活性層まで伸びてこなくなる傾向にあるため、素子を長寿命とすることができ、信頼性が向上する。

#### 【0041】

10

20

30

40

50

次にリッジ表面にマスクを形成し、R I Eにてエッチングを行い、n側バッファ層11の表面を露出させる。露出させたこのn側バッファ層11はn電極23を形成するためのコンタクト層としても作用する。

【0042】

次にp側コンタクト層19のリッジ最表面にNiとAuよりなるp電極20をストライプ状に形成し、一方、TiとAlよりなるn電極22を先ほど露出させたn側バッファ層11の表面にストライプ状に形成した後、図3に示すようにp電極20と、n電極22との間に露出した窒化物半導体層の表面にSiO<sub>2</sub>よりなる絶縁膜23を形成し、この絶縁膜23を介してp電極20と電氣的に接続したpパッド電極21を形成する。pパッド電極はp層側に漏れる光を吸収する。

10

【0043】

以上のようにして、n電極とp電極とを形成したウェーハのサファイア基板を研磨して70μmとした後、ストライプ状の電極に垂直な方向で、基板側からバー状に劈開し、劈開面に共振器を作製する。共振器面にSiO<sub>2</sub>とTiO<sub>2</sub>よりなる誘電体多層膜を形成し、最後にp電極に平行な方向で、バーを切断してレーザ素子とする。

【0044】

このレーザ素子をヒートシンクに設置し、それぞれの電極をワイヤーボンディングして、室温でレーザ発振を試みたところ、室温において連続発振を示し、単レーザ光のFFPは単一で、その形状も楕円形で形の良いものが得られていた。また、レーザ素子の特性に関しても、我々がJpn.J.Appl.Phys.Vol.36(1997)に発表したものに比較して、閾値が15

20

%以上低下し、寿命は60%以上向上した。

【0045】

[実施例2]

実施例1において、n側クラッド層13を成長させる際に、Siドープn型Al<sub>0.20</sub>Ga<sub>0.80</sub>N<sub>2.5</sub>オングストロームと、アンドープGa<sub>0.25</sub>N<sub>2.5</sub>オングストロームとを積層し、総膜厚1.0μmの超格子よりなるn側クラッド層13を成長させる他は同様にしてレーザ素子を作製した。なおn側クラッド層はAl平均組成が10.0%であるので、その膜厚との積は10.0である。このレーザ素子も実施例1とほぼ同等の特性を有していた。

【0046】

[実施例3]

実施例1において、n側クラッド層13を成長させる際に、Siドープn型Al<sub>0.20</sub>Ga<sub>0.80</sub>N<sub>2.5</sub>オングストロームと、アンドープGa<sub>0.25</sub>N<sub>2.5</sub>オングストロームとを積層し、総膜厚0.7μmの超格子よりなるn側クラッド層13を成長させる他は同様にしてレーザ素子を作製した。n側クラッド層はAl平均組成が1.0%であるので、その膜厚との積は7.0である。このレーザ素子も実施例1とほぼ同等の特性を有していた。

30

【0047】

[実施例4]

実施例1において、n側クラッド層13を成長させる際に、Siドープn型Al<sub>0.12</sub>Ga<sub>0.88</sub>N<sub>2.5</sub>オングストロームと、アンドープGa<sub>0.25</sub>N<sub>2.5</sub>オングストロームとを積層し、総膜厚0.8μmの超格子よりなるn側クラッド層13を成長させる他は同様にしてレーザ素子

40

を作製した。n側クラッド層はAl平均組成が6.0%であるので、その膜厚との積は4.8である。このレーザ素子もFFPは実施例1と同等であり、Jpn.J.Appl.Phys.Vol.36(1997)に発表したものに比較して、閾値が8%以上低下し、寿命は30%以上向上した。

【0048】

[実施例5]

実施例1において、n側クラッド層18を成長させる際に、Siドープn型Al<sub>0.07</sub>Ga<sub>0.93</sub>N<sub>2.5</sub>オングストロームと、アンドープGa<sub>0.25</sub>N<sub>2.5</sub>オングストロームとを、総膜厚1.4μmで成長させる他は同様にして、レーザ素子を作製した。n側クラッド層は、Al平均組成が3.5%であるので、その膜厚との積は4.9である。このレーザ素子は

50

実施例 4 のものとはほぼ同等の特性を示した。

【 0 0 4 9 】

[ 実施例 6 ]

実施例 1 において、ストライプ状のリッジを形成する際、そのリッジ形状を図 5 に示すような形状とする。但し、図 5 において、両出力側のストライプ幅は  $2 \mu\text{m}$  とし、中央部のストライプ幅は  $4 \mu\text{m}$  として、その傾斜角を  $5^\circ$  以内に調整する。このレーザ素子も実施例 1 とほぼ等々の特性を示した。

【 0 0 5 0 】

【 発明の効果 】

以上説明したように、本発明によると水平横モード、垂直横モード共にシングルモードが得られる。しかもレーザ光伸すポット形状も単一の楕円となり、一定の FFP が得られる。窒化物半導体はサファイアという窒化物半導体よりも屈折率の小さい材料を使用するため、従来問題は避けられないように思われてきたが、本発明によりサファイアに限らず、窒化物半導体よりも屈折率の小さい、どのような基板の上にレーザ素子を作製しても、シングルモードで、きれいな形状のレーザ光が得られるため、書き込み、読みとり光源として、その利用価値は非常に大きい。

【 図面の簡単な説明 】

【 図 1 】 本発明の一実施例に係るレーザ素子の構造を示す斜視図。

【 図 2 】 図 1 のレーザ素子をリッジ上部から見た平面図。

【 図 3 】 図 1 のレーザ素子に p 電極を形成した後の構造を示す模式断面図。

【 図 4 】 リッジストライプの形状を示す平面図。

【 図 5 】 本発明に係るレーザ素子のリッジストライプの一形状を示す平面図。

【 図 6 】 本発明に係るレーザ素子のリッジストライプの一形状を示す平面図。

【 図 7 】 本発明に係るレーザ素子のリッジストライプの一形状を示す平面図。

【 図 8 】 従来のレーザ素子の構造を示す模式断面図。

【 符号の説明 】

1 . . . 異種基板

2 . . . GaN 下地層

3 . . . 保護膜

4 . . . 窒化物半導体基板

1 1 . . . n 側バッファ層

1 2 . . . クラック防止層

1 3 . . . n 側クラッド層

1 4 . . . n 側光ガイド層

1 5 . . . 活性層

1 6 . . . p 側キャップ層

1 7 . . . p 側光ガイド層

1 8 . . . p 側クラッド層

1 9 . . . p 側コンタクト層

2 0 . . . p 電極

2 1 . . . p パッド電極

2 2 . . . n 電極

2 3 . . . 絶縁膜

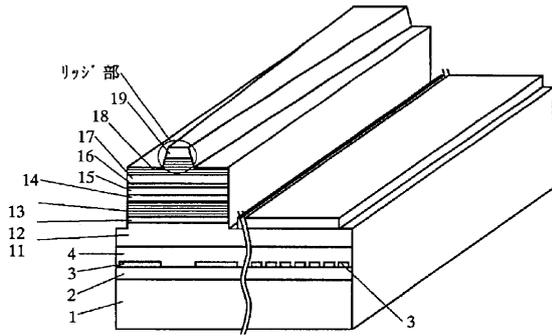
10

20

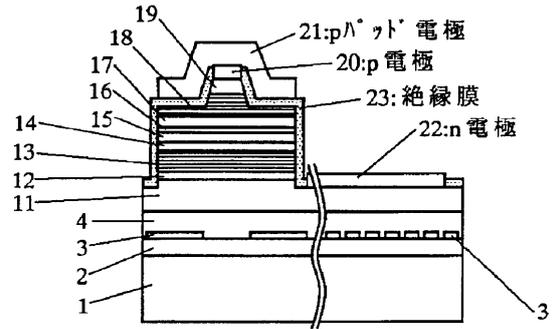
30

40

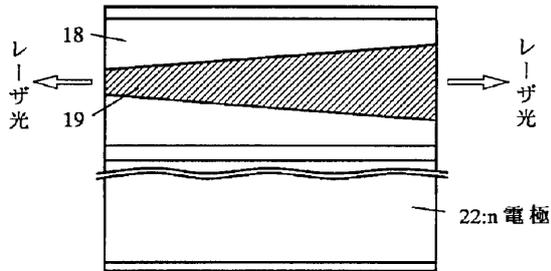
【図1】



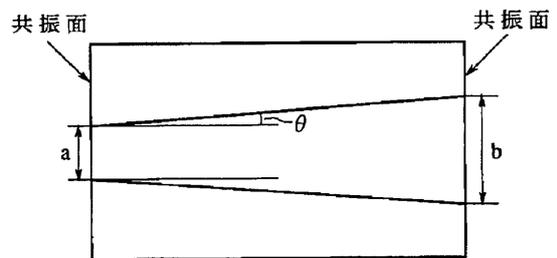
【図3】



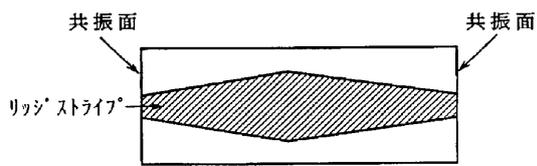
【図2】



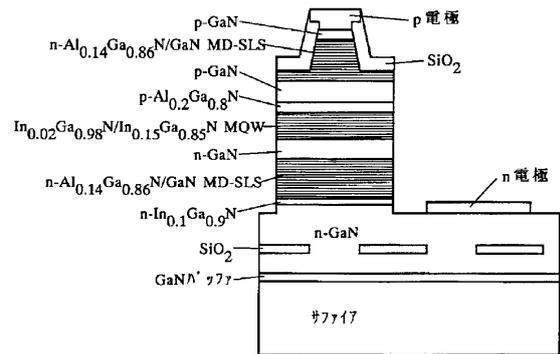
【図4】



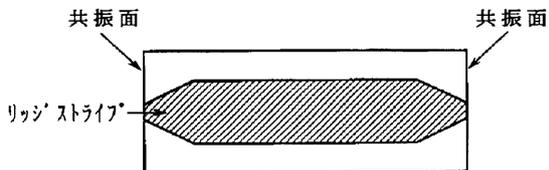
【図5】



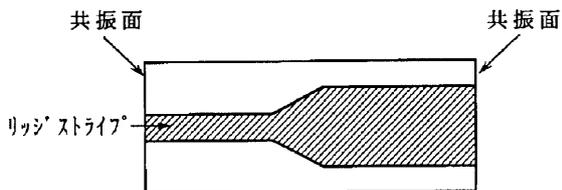
【図8】



【図6】



【図7】



---

フロントページの続き

(56)参考文献 国際公開第97/024787(WO, A1)

特開平06-112582(JP, A)

特開平10-4239(JP, A)

Shuji NAKANURA, et al, InGaN/GaN/AlGaN-Based Laser Diodes with Modulation-Doped Strained-Layer Superlattices, Jpn. J. Appl. Phys. Pt.2, 日本, 応用物理学会, 1997年12月1日, Vol. 36, L1568-L1571

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01S5/00-5/50

H01L33/00