

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5572919号
(P5572919)

(45) 発行日 平成26年8月20日(2014.8.20)

(24) 登録日 平成26年7月11日(2014.7.11)

(51) Int. Cl. F I
HO 1 S 5/10 (2006.01) HO 1 S 5/10
HO 1 S 5/343 (2006.01) HO 1 S 5/343 G 1 O
HO 1 S 5/223 (2006.01) HO 1 S 5/223

請求項の数 6 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2008-124130 (P2008-124130)	(73) 特許権者	000226057
(22) 出願日	平成20年5月12日(2008.5.12)		日亜化学工業株式会社
(65) 公開番号	特開2009-16798 (P2009-16798A)		徳島県阿南市上中町岡491番地100
(43) 公開日	平成21年1月22日(2009.1.22)	(74) 代理人	110000202
審査請求日	平成23年5月9日(2011.5.9)		新樹グローバル・アイピー特許業務法人
(31) 優先権主張番号	特願2007-151636 (P2007-151636)	(72) 発明者	森住 知典
(32) 優先日	平成19年6月7日(2007.6.7)		徳島県阿南市上中町岡491番地100
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		日亜化学工業株式会社内
前置審査		審査官	里村 利光

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】

第1窒化物半導体層、活性層、第2窒化物半導体層を含み、端面を備えた共振器を有する窒化物半導体層と、少なくとも一方の端面に接触する第1保護膜とを有する窒化物半導体レーザ素子であって、

前記第1保護膜は、前記端面を、プラズマ処理装置を用いてプラズマに晒して表面処理を行った後、前記プラズマ処理装置から取り出してECRスパッタ装置に移し、前記ECRスパッタ装置によってスパッタリングすることによって形成された膜であり、

前記第1保護膜の前記第1及び第2窒化物半導体層に隣接する部位は、加速電圧200kV、暗視野でSTEM観察した際の像が活性層に隣接する部位について観察される像よりも暗い程度に、結晶性が良い窒化物半導体レーザ素子。

【請求項2】

前記第1保護膜は、3nm~1000nmの膜厚である請求項1に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項3】

前記第1保護膜は、六方晶系の結晶構造を有する材料で形成されてなる請求項1又は2に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項4】

前記第1保護膜は、第2保護膜によって被覆されてなる請求項1~3のいずれか1つに記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 5】

前記第 1 及び第 2 窒化物半導体層に隣接する部位と、前記活性層に隣接する部位と、前記第 2 保護膜とは、この順に、結晶性が良い請求項 4 に記載の窒化物半導体レーザ素子。

【請求項 6】

前記第 2 保護膜は、10 nm ~ 1500 nm の膜厚である請求項 4 又は 5 に記載の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し、より詳細には、窒化物半導体層に形成された共振器面に保護膜を有する窒化物半導体レーザ素子に関する。 10

【背景技術】

【0002】

窒化物半導体レーザ素子では、RIE（反応性イオンエッチング）又はへき開によって形成された共振器面はバンドギャップエネルギーが小さくなるため、出射光の吸収が端面で起こり、この吸収により端面に熱が発生し、高出力半導体レーザを実現するには寿命特性等に問題があった。このため、例えば、Si の酸化膜や窒化膜を、共振器端面の保護膜として形成する高出力半導体レーザの製造方法が提案されている（例えば、特許文献 1）。

【0003】

一方、従来から、窒化物半導体レーザ素子では、チップ間のデバイス特性のばらつきを抑制するために共振器面に形成する保護膜の厚みを、出射される光密度に応じて変化させる方法（例えば、特許文献 2）、共振器内部にストライプ構造を採用し、FFP の単峰性を実現するために、その保護膜として SiO₂ 膜を用い、ストライプごとに保護膜の厚みを変動させる方法（例えば、特許文献 3）等が採用されている。 20

また、端面劣化を抑制するために、共振器端面に密着層を介して端面コート膜を形成する方法が提案されている（例えば、特許文献 4）。

【特許文献 1】特開平 9 - 283843 号公報

【特許文献 2】特開 2006 - 228892 号公報

【特許文献 3】特開 2002 - 329926 号公報 30

【特許文献 4】特開 2002 - 335053 号公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかし、さらに高出力の半導体レーザの実現に伴って、共振器面での光出射に関連する構造を、さらに改良することが求められている。つまり、その性能等に応じて、例えば、活性層に応力を与えず、保護膜の密着性を最大限に確保しながら、レーザ素子の駆動時の保護膜の劣化等を防止し得る構造が必要である。

また、次世代光ディスクの再生に用いるような小型で低出力の窒化物半導体レーザ素子の需要が高まっている。窒化物半導体レーザ素子の共振器面の反射率を高くすると、低出力であっても共振器面への負荷が大きい。そのため、高出力の半導体レーザと同様に、共振器面の光出射に関連する構造を改良する必要がある。 40

【0005】

本発明は、上記課題に鑑みなされたものであり、活性層への応力の負荷を軽減し、これによってレーザ素子の駆動時の劣化を防止するとともに、応力の緩和に起因して、保護膜の共振器面への密着性を確保するとともに、レーザ素子自体の性能を向上させることができる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】

【0006】

本発明の窒化物半導体レーザ素子は、第 1 窒化物半導体層、活性層、第 2 窒化物半導体 50

層を含み、端面を備えた共振器を有する窒化物半導体層と、少なくとも一方の端面に接触する第1保護膜とを有する窒化物半導体レーザ素子であって、第1保護膜は、活性層に接する領域と第1及び第2窒化物半導体層に接する領域とで、走査透過電子顕微鏡によって明暗が観察される膜構造を有することを特徴とする。

【0007】

また、本発明の別の窒化物半導体レーザ素子は、第1窒化物半導体層、活性層、第2窒化物半導体層を含み、端面を備えた共振器を有する窒化物半導体層と、少なくとも一方の端面に接触する第1保護膜とを有する窒化物半導体レーザ素子であって、

第1保護膜は、活性層に隣接する部位と第1及び第2窒化物半導体層に隣接する部位とで、結晶性が異なる膜構造を有することを特徴とする。

10

【0008】

このような窒化物半導体レーザ素子では、活性層に接する領域の明部又は暗部は、第1保護膜の膜厚方向に連続して配置されるか、共振器面側よりも素子外側において幅広であることが好ましい。

また、第1保護膜は、3nm～1000nmの膜厚であるか、六方晶系の結晶構造を有する材料で形成されてなるか、第1及び第2窒化物半導体層に接する領域において、共振器面と同軸配向の結晶構造を有するか、第2保護膜によって被覆されてなることが好ましい。

さらに、第2保護膜と、前記活性層に接する領域と、前記第1及び第2窒化物半導体層に接する領域とは、この順に、走査透過電子顕微鏡によって明度が高く又は低く観察されることが好ましい。

20

また、第2保護膜は、10nm～1500nmの膜厚であることが好ましい。

【0009】

さらに、前記活性層に隣接する部位は、第1保護膜の膜厚方向にわたって実質的に同じ結晶性を有するか、実質的に同じ結晶性を有する前記活性層に隣接する部位は、共振器面側よりも素子外側において幅広であることが好ましい。

前記第1及び第2窒化物半導体層に隣接する部位と、前記活性層に隣接する部位と、前記第2保護膜とは、この順に、結晶性が良いことが好ましい。

【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、第1保護膜は、走査透過電子顕微鏡による観察で、活性層に接する領域と第1及び第2窒化物半導体層に接する領域とで明暗が観察される、すなわち、第1保護膜の活性層に接する領域と、第1保護膜の第1窒化物半導体層及び第2窒化物半導体層に接する領域とで結晶性が異なる膜構造を有すると考えられる。このように、第1の保護膜において、明暗が観察されるように、すなわち、上述した領域ごとに結晶性を異ならせることによって、共振面において活性層周辺での第1保護膜による応力を緩和させることができる。これにより、第1保護膜の共振器面への密着性を確保するとともに、駆動時におけるレーザ素子の劣化を防止することができる。その結果、安定な動作を確保することができ、信頼性が高く、CODレベルを向上させた窒化物半導体レーザ素子を提供することが可能となる。

30

40

【発明を実施するための最良の形態】

【0011】

本発明の窒化物半導体レーザ素子は、例えば、典型的には図1及び図2A、図2Bに示すように、主として、第1窒化物半導体層11、活性層12及び第2窒化物半導体層13からなる窒化物半導体層を含み、窒化物半導体層の対向する端面に共振器面が設けられて、共振器が形成されている。

【0012】

このような窒化物半導体レーザ素子は、通常、窒化物半導体層が基板10上に形成されており、第2窒化物半導体層13の表面にリッジ14が形成され、共振器面の全面に共振器面に接触する第1保護膜25及び第1保護膜25上に第2保護膜26が形成された構造

50

をしている。また、埋込膜15、p電極16、第3保護膜17、pパッド電極18、n電極19等が適宜形成されている。なお、この明細書では、第1保護膜及び第2保護膜のように共振器面に形成された保護膜の総称として「保護膜」と記載することがある。

【0013】

第1保護膜は、例えば、Si、Mg、Al、Hf、Nb、Zr、Sc、Ta、Ga、Zn、Y、B、Ti等の酸化物（特に、 Al_2O_3 、 SiO_2 、 Nb_2O_5 、 TiO_2 、 ZrO_2 等）、窒化物（特に、AlN、AlGaN、BN等）又はフッ化物、及びこれらの2種以上の組み合わせ等によって形成することができる。なかでも、酸化物であることが好ましい。また、別の観点から、レーザ素子の共振波長に対して吸収のない材料により形成されることが好ましい。

10

【0014】

第1保護膜の膜厚は、特に限定されるものではなく、例えば、3nm～nm程度、さらに、5nm～700nm、10nm～400nm程度であることが適している。

第1保護膜は、窒化物半導体層に形成された共振器面を被覆するものであるが、必ずしも共振器面の全面を被覆する必要はなく、少なくとも、共振器面の光導波路領域（活性層及びその上下層の一部に及ぶ）を被覆するものであればよい。また、第1保護膜は、共振器面以外の面を、部分的に被覆していてもよい。

【0015】

本発明の第1保護膜は、単結晶、多結晶等により構成される結晶状態であることが好ましい。第1保護膜の結晶構造としては、例えば、六方晶系、立方晶系、斜方晶系等が挙げられる。第1保護膜の材料、結晶性、配向性は、第1保護膜を形成する共振器端面の材料、結晶性、配向性等に応じて選択することができる。第1保護膜が、六方晶系の結晶構造である場合には、M軸 1-100、A軸 11-20、C軸 0001及びR軸 1-102配向等であって、この共振器端面と同軸で配向された膜であることが好ましい。その理由としては、共振器端面と同軸配向の結晶構造を有する第1保護膜を形成することによって、共振器端面のバンドギャップエネルギーを上げ、ウィンドウ構造を形成することにより、共振器端面の劣化を防止することができると考えられるためである。

20

【0016】

なお、本発明での結晶構造は、必ずしも厳密に単結晶又は多結晶となっていなくてもよく、これらに近い結晶構造又はこれらの結晶構造の特性を示す程度の結晶構造を有しているものであってもよい。また、窒化物半導体と格子定数が近い（例えば、窒化物半導体との格子定数の差が15%以下）ものであれば、結晶性の良好な第1保護膜を形成することができる。これにより、第1保護膜の膜質がより良好となり、半導体レーザ素子の駆動時においても、窒化物半導体層へのクラックを防止すべく、応力を緩和させることができ、確実にCODレベルを向上させることができる。言い換えると、多結晶状態であるか、多結晶を含む場合には、共振器面との格子定数の差異が厳格に表れず、その差異を緩和することができる。

30

【0017】

なかでも、六方晶系の結晶構造を有する材料による膜であることが好ましい。また、六方晶系の結晶構造を有しており、M軸配向であることがより好ましい。ここで、M軸配向であるとは、単結晶で、厳密にM軸に配向した状態（単結晶）のみならず、多結晶が混在するが、M軸に配向する部位を均一に含む状態、均一に分布して含む状態であってもよい。

40

【0018】

一般に、膜の状態は、その膜を構成する材料の結晶度合いによって、単結晶、多結晶、アモルファスに分類される。単結晶は、材料中で格子定数の変動がほとんどなく、格子面傾斜がほとんどない。言い換えると、材料中で原子配列が規則的に並び、長距離的な秩序が保たれている。多結晶とは、多数の微小な単結晶、すなわち微結晶から構成されている。アモルファスは、結晶におけるような周期的構造をもたないもの、つまり原子配列が不規則、長距離秩序がないものを意味する。

50

【 0 0 1 9 】

このような膜の状態（結晶質である場合は、その結晶性又は結晶状態）は、電子線による回折像によって容易に判定することができる。つまり、膜に電子線を入射することによって、格子定数の大きさ及び面方向に対応して、電子線回折像が表れる。例えば、単結晶の場合は、結晶面が略そろっているため、規則正しく回折点が並んで観察される。多結晶の場合は、微結晶から構成されるため、それぞれの格子面の向きがそろっておらず、回折点が複雑に合わさった状態で見られたり、デバイリングが見られたりする。一方、アモルファスの場合、原子配列が長距離に周期的な構造をもたないため、電子線回折が起こらない。したがって、回折像に回折点がない状態で観察される。

なお、電子線回折像の観察は、保護膜が形成されている端面に対して保護膜の断面が露出するように切断し、電子線を当てて行うことができる。電子線回折像の観察は、例えば、日本電子株式会社製：JEM-2010F型を用いて行うことができる。

10

【 0 0 2 0 】

このような第1保護膜25は、実質的に活性層12（任意にその近傍領域）に接する領域25aと、それ以外の層、つまり、実質的に第1窒化物半導体層11及び第2窒化物半導体層13に接する領域との間で、走査透過電子顕微鏡によって明暗が観察される。ここで「実質的に接する」とは、第1保護膜が窒化物半導体の共振器面に直接接触しているのみならず、本発明の効果を有する程度に、共振器面に薄膜が形成された上に第1保護膜が形成されていてもよい。例えば、共振器面へ前処理や、製膜開始時の雰囲気などにより形成された薄膜が存在してもよい。

20

【 0 0 2 1 】

なお、本明細書では、第1保護膜の活性層に接する領域を含む全膜厚方向に渡る部位を、活性層に隣接する部位と称することがある。

また、活性層12（任意にその近傍領域）に接する領域25aと、第1窒化物半導体層11及び第2窒化物半導体層13に接する領域とは実質的に同一材料で形成されている。なお、その製造方法等によって、両者の組成に若干の差異が生じることがあってもよい。

【 0 0 2 2 】

この同一材料で形成された第1保護膜内で観察される明暗は、第1保護膜25における結晶状態の違いに基づいて現れると考えられる。この結晶状態の違いは、走査透過型電子顕微鏡による明暗の観察のみならず、後述するような電子線回折などの方法でも確認できる。つまり、「結晶性が異なる」とは、走査透過型電子顕微鏡による観察及び電子線回折等によって、観察に差異が現れることを意味する。

30

【 0 0 2 3 】

従って、活性層12に接する領域25aと、第1窒化物半導体層11及び第2窒化物半導体層13に接する領域との間で、さらには、活性層12に隣接する第1保護膜の膜厚方向にわたる部位と、第1窒化物半導体層11及び第2窒化物半導体層13に隣接する第1保護膜の膜厚方向にわたる部位との間で、結晶性が異なっているとも言い換えることができる。ただし、活性層に接触する領域の上下において又は活性層に接触する領域内において、その結晶性がなだらかに変化する領域が存在することがある。また、活性層に接する領域25a内で、結晶性の異なる領域（明部又は暗部）が不連続であったり、結晶性の異なる領域が分断されていてもよい。

40

【 0 0 2 4 】

このように第1保護膜が、走査透過電子顕微鏡によって明暗が観察される、あるいは活性層付近において異なる結晶性を有していることにより、窒化物半導体層の共振器面のほぼ全面に接触して形成された第1保護膜において、共振器面との格子定数、熱膨張係数等の差異によって第1保護膜内部に生じる応力を有効に緩和させることができるとともに、活性層に接する第1保護膜の共振器面への密着性を向上させることができると推察される。

【 0 0 2 5 】

活性層に接する領域の明部又は暗部は、第1保護膜の膜厚方向に連続して形成されるこ

50

とが好ましい。これにより、第1保護膜とこの上に形成する膜（例えば、後述する第2保護膜等）との密着性が向上し、保護膜同士の剥がれを抑制することができる。

【0026】

また、活性層に接する領域（図3において明度の高い領域）は、第1保護膜の膜厚方向において、その幅が変化してもよい。例えば、図2A及び図3に示すように、共振面側よりも素子外側が幅広に形成されていてもよい。このように形成されることによって、活性層に接する領域（結晶性の異なっている領域）が、後述する第2保護膜とより大面積で接触する。これによって、第1保護膜と第2保護膜との密着性が向上し、保護膜同士の剥がれを抑制することができる。ひいては、共振器面と第1保護膜、第1保護膜と第2保護膜のそれぞれの界面において密着性を向上させることができる。図5Aに示すように、活性層の膜厚と略平行に形成されていてもよいし、図5Bに示すように、共振面側よりも素子外側において、幅が狭く形成されていてもよい。共振器面に形成された第1保護膜は、活性層に接する領域を挟むようにして、第1窒化物半導体層に接する領域と、第2窒化物半導体層に接する領域とが配置されている。そのため、第1保護膜の活性層に接する領域の幅に対応して、第1窒化物半導体層に接触する領域の幅も変化する。また、第2窒化物半導体層に接触する領域も同様である。

10

【0027】

活性層に接する領域と、それ以外の層に接する領域とでは、いずれの結晶性がよくても、悪くてもよいが、活性層と、第1窒化物半導体層及び第2窒化物半導体層とを構成する半導体層の組成等から、通常、活性層に接する領域において結晶性が悪いことが適している。これにより、活性層と第1保護膜の活性層に接する領域との密着性を向上させることができるとともに、第1窒化物半導体層及び第2窒化物半導体層の共振器面における応力を緩和させることができる。また、通常、第1保護膜に用いられる材料と活性層に用いられる材料の格子定数差が、第1保護膜に用いられる材料と第1窒化物半導体層及び第2窒化物半導体層に用いられる材料の格子定数差よりも大きくなる。そのため、活性層に接する領域の第1保護膜の結晶状態が変化し、結晶性が異なる領域が形成されやすくなると考えられる。

20

【0028】

ここで、「結晶性がよい」とは、単結晶に近い状態、つまり、材料中で格子定数の変動がほとんどなく、格子面傾斜がほとんどないものを指す。「結晶性が悪い」とは、比較対象となる膜よりも多結晶、アモルファスに近い状態を指し、より微結晶から構成されているもの、さらには結晶におけるような周期的構造をもたないものを指す。

30

【0029】

結晶性が異なる程度は、特に限定されるものではなく、例えば、第1保護膜において、第1窒化物半導体層11及び第2窒化物半導体層13に接触する領域の結晶構造が略単結晶又は単結晶に近い結晶構造を有しているのに対し、活性層に接する領域における結晶構造が、多結晶もしくはアモルファスを部分的に含む結晶構造、多結晶に近い結晶構造又はアモルファス構造により近い結晶構造であることを意味する。あるいは、活性層と、第1窒化物半導体層及び第2窒化物半導体層の結晶性が逆であってもよい。

【0030】

40

結晶性が異なることは、例えば、透過型電子顕微鏡（Transmission Electron Microscope：TEM）、走査透過電子顕微鏡（Scanning Transmission Electron Microscope：STEM）、走査型電子顕微鏡（Scanning Electron Microscope：SEM）等による断面観察で認められるのみならず、上述したような電子線回折、さらにエッチングレートの差異からも確認することができる。

つまり、顕微鏡における第1保護膜の観察において、結晶性の違いに起因して、活性層に接する領域と、第1窒化物半導体層及び第2窒化物半導体層に接触する領域とで、両者に視覚的に差異が認められる。

特に、STEM、TEM等による観察では、その膜の状態の違い（結晶質である場合は、その結晶性又は結晶状態）により明暗（コントラスト）が観察される。

50

【0031】

例えば、図3に示すようなSTEM観察によると、単結晶、多結晶、アモルファスの順に明度が高く(明るく)観察される。なお、これらの顕微鏡における観察でも、単結晶、多結晶、アモルファスは、明確に明暗として区別されないかもしれない。例えば、単結晶と多結晶とが混ざり合った膜を観察した場合、その明度は単結晶と多結晶との間の明度で観察される。また、その明度が徐々に変化するような場合もある。本発明では、マンセルシステムで、両者の明度に1段階以上の差があれば結晶性又は結晶状態が異なるとし、1段階以内の差であれば結晶性又は結晶状態が実質的に同じであるとして、より好ましくは、2段階以上の差、さらに3段階以上の差があるものを、結晶性又は結晶状態が異なるとする。

10

【0032】

また、同じ膜を観察した場合でも、観察条件(STEM像、TEM像の表示設定)を変えることで、明暗が逆転して観察されることがある。

具体的には、図3に示すように、第1保護膜の第1窒化物半導体層11及び第2窒化物半導体層13に接触する領域と活性層に接する領域とで明暗(明部及び暗部)が観察される。第1窒化物半導体層11及び第2窒化物半導体層13に接触する領域が暗く(明度が低く)、活性層に接する領域では明るく(明度が高く)観察される。

【0033】

STEM観察は、例えば、日本電子株式会社製:JEM-2010F型を用いて行うことができる。観察の手順としては、まず、収束イオンビーム(Focused Ion Beam: FIB)加工装置(例えば、セイコーインスツルメンツ株式会社製:SMI3050MS2)を用いて、マイクロプロビングによる試料の切り出しを行い、その試料を50nm程度以下に薄膜加工し、FIB加工を行う。次に、加速電圧200kV、暗視野でSTEM観察を行うことにより、図3に示すようなSTEM像を得ることができる。

20

【0034】

例えば、電子線回折像は、図6に示すように、窒化物半導体レーザ素子にGaN(11-20)面方向から電子線を入射することにより測定できる。得られた電子線回折像から保護膜の結晶を構成する元素の配列の様子を視覚的に捉えることができる。また、共振器面に接触する膜及び/又は共振器面近傍の膜を観察する場合は、窒化物半導体層を構成するGaNの回折点が観察されることもある。この場合、GaNの回折点を分離して解析することもある。

30

【0035】

さらに、得られた保護膜を適当なエッチャント、例えば、酸(例えば、バッファードフッ酸等)又はアルカリ(例えば、KOH等)溶液に浸漬することにより、それらの溶解性の違い(エッチングレートの差)から、結晶性の差異が認められる。このエッチングでは、結晶性の悪いものは速やかに溶解又は除去され、結晶性の良好のものが残る又は維持される。

これらの方法に限られず、公知の方法を用いて保護膜の結晶性を評価することが可能である。

【0036】

上述したように、窒化物半導体レーザ素子は、共振器面に共振器面と同軸配向の第1保護膜を形成することによって、端面の劣化を抑制することができる。しかし、通常、窒化物半導体レーザ素子は、共振器面と同軸配向の第1保護膜を結晶性良く形成することが困難である。また、結晶性の良い第1保護膜を形成した場合でも、第1保護膜と窒化物半導体層との格子定数の差から、第1保護膜にクラックが生じやすい。もしくは、その応力によって第1保護膜の浮きや剥がれが発生しやすい。さらに、窒化物半導体を用いたレーザ素子では、他の材料を用いたレーザ素子よりも共振器面での光密度が大きくなる。そのため、クラック等の問題が生じない程度の薄膜状の第1保護膜では、共振器面に十分に密着して放熱することができない。一方、上述したように、第1保護膜内で、第1保護膜の結晶性が異なることにより、さらには、第1窒化物半導体層及び第2窒化物半導体層に接す

40

50

る領域の第1保護膜の結晶性が活性層に接する領域の第1保護膜の結晶性よりも良好であることにより、レーザ素子の駆動時においても、その熱に起因する応力を緩和することができる。これにより、第1保護膜へのクラックの発生を抑制することができるとともに、共振器面での第1保護膜の密着性を確保することができ、CODレベルを高く維持したまま、放熱性を向上させることができる。

【0037】

なお、密着性の良好な膜（例えば、アモルファスの膜）を共振器端面に形成した場合、上記したような問題は回避できるが、第1保護膜と共振器端面の界面において、第1保護膜が共振器端面と反応し、共振器端面で光吸収が起こり、CODレベルが低下するという問題がある。しかし、本発明のように、第1保護膜内でその結晶性が異なることにより、CODレベルの低下を防止することができる。また、駆動時に、その熱に起因する応力を緩和することができる場合には、第1保護膜へのクラックの発生を抑制することができるとともに、共振器面での第1保護膜の密着性を確保することができ、CODレベルを高く維持したまま、放熱性を向上させることができる。

10

【0038】

第1保護膜は、当該分野で公知の方法によって形成することができる。例えば、蒸着法、スパッタ法、反応性スパッタ法、ECRプラズマスパッタ法、マグネトロンスパッタ法、イオンビームアシスト蒸着法、イオンプレーティング法、レーザアブレーション法、CVD法、スプレー法、スピンコート法、ディップ法又はこれらの方法の2種以上を組み合わせる方法、あるいはこれらの方法と、全体又は部分的な前処理、不活性ガス（Ar、He、Xe等）又はプラズマの照射、酸素もしくはオゾンガス又はプラズマの照射、酸化処理（熱処理）、露光処理のいずれか1種以上とを組み合わせる方法等、種々の方法を利用することができる。なお、組み合わせの方法では、必ずしも同時又は連続的に成膜及び/又は処理しなくてもよく、成膜した後に処理等を行ってもよいし、その逆でもよい。

20

なかでも、前処理及びECRプラズマスパッタ法の組み合わせが好ましい。

特に、第1保護膜として酸化膜を形成する場合には、前処理は酸素又はオゾン、窒化膜を形成する場合には、前処理は窒素を用いることが好ましい。

【0039】

特に、第1保護膜として、上述したように、共振器面と同軸配向の膜を得るためには、その成膜方法にもよるが、成膜前に、共振器面の表面を酸素プラズマで処理する、成膜速度を比較的遅いレートに調整する、成膜時の雰囲気、例えば、酸素雰囲気に制御する、成膜圧力を比較的lowに調整するなどのいずれか1つ又は2以上を組み合わせることで成膜を制御することが好ましい。

30

【0040】

また、各方法での成膜時に酸素分圧、成膜圧力等の条件を変動させてもよい。

活性層に接する領域において、密着性を向上させるためには、前処理時又は成膜時に各種の条件を調整することによって、結晶性を異ならせることができる。例えば、前処理の時間を短くする、前処理時のガスの圧力を低くする、マイクロ波/RF電力を低くする等の方法により実現できる。成膜時の条件としては、成膜時のガスの圧力、マイクロ波/RF電力を調整することにより実現できる。

40

【0041】

走査透過電子顕微鏡で、活性層に接する領域において明暗が観察されるように、結晶性を異ならせるには、以下のような方法を用いることもできる。

共振器面の活性層部分のみ前処理を行う。共振器面の活性層部分と、第1窒化物半導体層及び第2窒化物半導体層部分とで前処理方法及び/又は前処理条件を変える。活性層部分にマスクを設けて第1窒化物半導体層及び第2窒化物半導体層部分に第1保護膜を形成し、その後活性層部分に第1保護膜を形成する。あるいはその逆の順番で第1保護膜を形成する等の方法が挙げられる。

【0042】

窒化物膜を第1保護膜として形成する場合には、窒化物のターゲットを用いる場合のみ

50

に限られない。非窒化物のターゲットを用いて酸素ガス又はプラズマ等を照射しながら又は酸素雰囲気中でスパッタする方法を利用してもよい。また、窒化物膜を形成する場合には、非窒化物のターゲットとともに窒素ガス又は窒素プラズマ等を照射しながら又は窒素雰囲気中でスパッタするなどの方法を利用してもよい。

【0043】

本発明におけるレーザ素子を構成する窒化物半導体層としては、一般式 $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$ ($0 < x < 1$ 、 $0 < y < 1$ 、 $0 < x+y < 1$) のものを用いることができる。これに加えて、III族元素としてBが一部に置換されたものを用いてもよいし、V族元素としてNの一部をP、Asで置換されたものを用いてもよい。n側半導体層は、n型不純物として、Si、Ge、Sn、S、O、Ti、Zr、CdなどのIV族元素又はVI族元素等のいずれか1つ以上を含有していてもよい。p側半導体層は、p型不純物として、Mg、Zn、Be、Mn、Ca、Sr等を含有していてもよい。不純物は、例えば、 $5 \times 10^{16} / \text{cm}^3 \sim 1 \times 10^{21} / \text{cm}^3$ 程度の濃度範囲で含有されていることが好ましい。

10

【0044】

なお、窒化物半導体層は、限定されないが、例えば、n側半導体層とp側半導体層に光の光導波路を構成する光ガイド層を有することで、活性層を挟んだ分離光閉じ込め型構造であるSCH (Separate Confinement Heterostructure) 構造とすることが好ましい。

【0045】

活性層は、多重量子井戸構造又は単一量子井戸構造のいずれでもよい。活性層は、第1保護膜よりバンドギャップエネルギーが小さいものであることが好ましい。本発明において、第1保護膜のバンドギャップエネルギーを活性層より大きいもので形成することにより、端面のバンドギャップエネルギーを広げ、言い換えると、共振器面付近の不純物準位を広げ、ウィンドウ構造を形成することにより、CODレベルをより向上させることができる。

20

【0046】

井戸層と障壁層は、一般式 $In_xAl_yGa_{1-x-y}N$ ($0 < x < 1$ 、 $0 < y < 1$ 、 $0 < x+y < 1$) のものを用いることができる。好ましくは、少なくとも井戸層にInを含むものであり、さらに好ましくは、井戸層、障壁層の両方にInを含むものである。これにより、上述した結晶性の異なる領域を形成することが容易になる傾向にある。さらに、本発明の第1保護膜との密着性を向上させ、CODレベルを高く維持することができ、好ましい。

30

活性層がInを含有する層を含む多重量子井戸構造により形成される場合、その組成比、In混晶比の違いにより、結晶性の異なる領域が不連続であったり、分断されていたりすることがある。

本発明では、特に発振波長が220nm～580nmのものにおいて、第1保護膜の剥がれを有効に防止し、CODレベルを向上させることができる。

【0047】

窒化物半導体層の成長方法は、特に限定されないが、MOCVD (有機金属化学気相成長法)、HVPE (ハイドライド気相成長法)、MBE (分子線エピタキシー法) など、窒化物半導体の成長方法として知られている全ての方法を好適に用いることができる。特に、MOCVDは結晶性良く成長させることができるので好ましい。

40

【0048】

窒化物半導体層においては、例えば、後述するリッジが延びる方向に共振器が形成されており、その方向に直交して、一对の共振器面が形成されている。共振器面は、例えば、M軸、A軸、C軸及びR軸配向が挙げられ、つまり、M面(1-100)、A面(11-20)、C面(0001)又はR面(1-102)からなる群から選ばれる面、特にM軸配向であることが好ましい。ここでの共振器面とは、通常、光導波路領域又はNFPに対応する領域を含む領域を意味するが、光導波路領域又はNFPに対応する以外の領域を含んでいてもよいし、また、このような光導波路領域又はNFPに対応する領域が上述した配向を示していなくてもよい。

50

【0049】

窒化物半導体層、つまり、p側半導体層の表面には、リッジが形成されている。リッジは、光導波路領域として機能するものであり、その幅は $1.0\ \mu\text{m} \sim 30.0\ \mu\text{m}$ 程度である。さらに、レーザ光を横モードがシングルの光源として使用する場合には、 $1.0\ \mu\text{m} \sim 3.0\ \mu\text{m}$ 程度が好ましい。その高さ（エッチングの深さ）は、例えば、 $0.1 \sim 2\ \mu\text{m}$ が挙げられる。p側半導体層を構成する層の膜厚、材料等を調整することにより、光閉じ込めの程度を適宜調整することができる。リッジは、共振器方向の長さが $200\ \mu\text{m} \sim 5000\ \mu\text{m}$ 程度になるように設定することが好ましい。共振器方向においてすべて同じ幅でなくてもよいし、その側面が垂直であっても、テーパ状であってもよい。この場合のテーパ角は $45^\circ \sim 90^\circ$ 程度が適当である。

10

本発明のレーザ素子では、リッジが形成されていることは必ずしも必要ではなく、例えば、窒化物半導体層に電流狭窄層を形成した半導体レーザ素子であってもよい。

【0050】

窒化物半導体層は、通常、基板上に形成されている。このような基板は、絶縁性基板であってもよいし、導電性基板であってもよい。基板としては、例えば、第1主面及び/又は第2主面に 0° 以上 10° 以下のオフ角を有する窒化物半導体基板であることが好ましい。その膜厚は、例えば、 $50\ \mu\text{m} \sim 10\ \text{mm}$ 程度が挙げられる。

窒化物半導体基板は、MOCVD法、HVPE法、MBE法等の気相成長法、超臨界流体中で結晶育成させる水熱合成法、高圧法、フラックス法、熔融法等により形成することができる。また、例えば、特開2006-24703号公報に例示されている種々の基板等の公知の基板、市販の基板等を用いてもよい。

20

【0051】

本発明の窒化物半導体レーザ素子では、第1保護膜の上に、さらに膜質、材料又は組成の異なる第2保護膜（例えば、図2中、26参照）が積層されていることが好ましい。第2保護膜は、Si、Mg、Al、Hf、Nb、Zr、Sc、Ta、Ga、Zn、Y、B、Ti等の酸化物が挙げられ、なかでも Al_2O_3 又は SiO_2 膜が好ましい。さらに好ましくは、第1保護膜と同一材料であることが好ましい。これにより、第1保護膜及び第2保護膜の熱膨張係数が一致するため第1保護膜及び第2保護膜にクラックが発生することを抑制することができる。

【0052】

第2保護膜は、単層構造及び積層構造のいずれでもよい。例えば、Siの酸化物の単層、Alの酸化物の単層、Siの酸化物とAlの酸化物の積層構造等が挙げられる。このような膜が形成されていることにより、第1保護膜をより強固に共振器面に密着させることができる。その結果、安定な動作を確保することができ、CODレベルを向上させることができる。

30

【0053】

第2保護膜は、アモルファスの膜として形成することが好ましい。このような膜が形成されていることにより、第1保護膜の組成の変化を防止することができるとともに、第1保護膜をより強固に共振器面に密着させることができる。膜内において状態の異なるもので形成された第1保護膜の上から、第2保護膜を形成することにより、上記の応力緩和状態を補強し、第1保護膜の密着性を良好なものとすることができる。これにより全体としての第1保護膜の剥がれを防止することができる。

40

【0054】

第1保護膜及び第2保護膜を加速電圧 $200\ \text{kV}$ 、暗視野でSTEM観察すると、図3に示すようなSTEM像が得られた。これによると、第2保護膜26、活性層に接する領域25a、第1及び第2窒化物半導体層に接する領域25の順に、明度が高く（明るく）観察された。

また、 $\text{GaN}(11-20)$ 面方向から電子線を入射し、第2保護膜の電子線回折像を観察すると、図6Cに示すように、回折像に回折点がない状態で観察された。これらの観察により、第2保護膜は、アモルファス状であることが確認された。

50

【0055】

第2保護膜の膜厚は、特に限定されることなく、保護膜として機能し得る膜厚とすることが適している。その膜厚は、10nm～1500nm程度であることが好ましい。また、第1保護膜と第2保護膜との総膜厚は、2μm程度以下となるものが好ましい。

【0056】

第2保護膜は、上述した第1保護膜と同様、例示した公知の方法等を利用して形成することができる。特に、第2保護膜は、アモルファスの膜として形成することが好ましく、そのために、その成膜方法にもよるが、成膜速度をより早いレートに調整する、成膜時の雰囲気、例えば、酸素雰囲気に制御する、成膜圧力をより高く調整するなどのいずれか1つ又は2以上を組み合わせることで成膜を制御することが好ましい。酸素雰囲気に制御する場合、吸収をもたない程度に酸素を導入することが好ましい。

10

【0057】

第1保護膜及び第2保護膜はいずれも、共振器面の出射側のみならず、反射側に形成していてもよく、両者において、材料、膜厚等を異ならせてもよい。反射側の第2保護膜としては、Siの酸化物とZrの酸化物との積層構造、Alの酸化物とZrの酸化物との積層構造、Siの酸化物とTiの酸化物との積層構造、Alの酸化物とSiの酸化物とZrの酸化物との積層構造、Siの酸化物とTaの酸化物とAlの酸化物の積層構造等が挙げられる。所望の反射率に合わせて適宜その積層周期等を調整することができる。

【0058】

共振器端面に形成された第1保護膜、第2保護膜などの端面保護膜の最外層として、レーザー素子の発振波長に対して透過性を有する膜を形成することが好ましい。このような最外層を形成することによって、水分や外気に対する保護効果をもたせることができ、第1保護膜及び第2保護膜の剥がれ、特に、外側の膜の剥がれを抑制することができる。レーザー素子の発振波長に対して透過性を有するとは、レーザー素子の発振波長に対して吸収のない材料によって、 $\lambda/2n$ （ λ ：発振波長、 n ：屈折率）またはその整数倍の膜厚の膜が形成されることを意味する。

20

【0059】

最外層を形成する具体的な材料としては、Al又はSiの酸化物が挙げられる。酸化物を最表面に用いることで、表面の酸化を抑制することができる。例えば、第2保護膜として、Alの酸化物とZrの酸化物との積層構造で保護膜を設けた場合、最外層に高反射率のZrの酸化物を形成すると、Zr酸化物膜が剥がれやすくなる傾向がある。しかし、最外層を上述したような膜厚のAl又はSiの酸化物膜からなる透過膜で形成すると、保護膜の剥がれを抑制することができる。

30

【0060】

なお、第2の保護膜は、第1保護膜と同様に、共振器面以外の面を部分的に被覆していてもよい。例えば、第2保護膜は、任意に第1保護膜とともに、共振器面から半導体層表面にかけて形成される場合、その角部において、共振器面及び半導体層表面と異なる結晶面を有するように形成することが好ましい。これにより、保護膜の剥がれが起りやすい角部において、局所的に応力がかかるのを抑制し、共振器面と保護膜の間の応力が緩和されることで保護膜の剥がれを防止することができる。第2保護膜は、任意に第1保護膜とともに、共振器面から基板の裏面（窒化物半導体層が形成される面と逆の面）にわたるように形成されていてもよい。その場合にも、上述した場合と同様に、共振器面と基板裏面との間に異なる結晶面を有していてもよい。

40

【0061】

本発明の半導体レーザー素子では、通常、窒化物半導体層の表面及びリッジの側面にわたって、埋込膜が形成されている。つまり、埋め込み膜は、窒化物半導体層上であって、窒化物半導体層と、後述する電極とが直接接触して、電気的な接続をとる領域以外の領域に形成されている。なお、窒化物半導体層と電極との接続領域としては、特にその位置、大きさ、形状等は限定されず、窒化物半導体層の表面の一部、例えば、窒化物半導体層の表面に形成されるストライプ状のリッジ上面のほぼ全面が例示される。

50

【0062】

埋込膜は、一般に、窒化物半導体層よりも屈折率が小さな絶縁材料によって形成されている。屈折率は、エリプソメトリーを利用した分光エリプソメータ、具体的には、J・A・WOOLLAM社製のHS-190等を用いて測定することができる。例えば、埋込膜は、Zr、Si、V、Nb、Hf、Ta、Al、Ce、In、Sb、Zn等の酸化物、窒化物、酸化窒化物等の絶縁膜又は誘電体膜の単層又は積層構造が挙げられる。また、埋込膜は、単結晶であってもよいし、多結晶又はアモルファスであってもよい。このように、リッジの側面から、リッジの両側の窒化物半導体表面にわたって埋込膜が形成されていることにより、窒化物半導体層、特にp側半導体層に対する屈折率差を確保して、活性層からの光の漏れを制御することができ、リッジ内に効率的に光閉じ込めができるとともに、

10

【0063】

埋め込み膜は、当該分野で公知の方法によって形成することができる。例えば、蒸着法、スパッタ法、反応性スパッタ法、ECRプラズマスパッタ法、マグネトロンスパッタ法、イオンビームアシスト蒸着法、イオンプレーティング法、レーザアブレーション法、CVD法、スプレー法、スピコート法、ディップ法又はこれらの方法の2種以上を組み合わせる方法、あるいはこれらの方法と酸化処理（熱処理）とを組み合わせる方法等、種々の方法を利用することができる。

【0064】

本発明では、一対の電極がp側及びn側の窒化物半導体層に電氣的に接続されている。特に、p電極は、窒化物半導体層及び埋込膜上に形成されることが好ましい。p電極が最上層の窒化物半導体層及び埋込膜上に連続して形成されていることにより、埋込膜の剥がれを防止することができる。特に、リッジ側面までp電極を形成することにより、リッジ側面に形成された埋込膜について有効に剥がれを防止することができる。

20

【0065】

p電極及びn電極は、例えば、パラジウム、白金、ニッケル、金、チタン、タングステン、銅、銀、亜鉛、錫、インジウム、アルミニウム、イリジウム、ロジウム、ITO等の金属又は合金の単層膜又は積層膜により形成することができる。電極の膜厚は、用いる材料等により適宜調整することができ、例えば、50nm～500nm程度が適当である。電極は、少なくとも第1及び第2半導体層又は基板上にそれぞれ形成していればよく、さら

30

にこの電極上にパッド電極等、単数又は複数の導電層を形成してもよい。

なお、p電極及びn電極は、基板に対して同じ面側に形成されていてもよい。

【0066】

埋込膜上には、第3保護膜17が形成されていることが好ましい。このような第3保護膜は、少なくとも窒化物半導体層表面において埋込膜上に配置していればよく、埋込膜を介して又は介さないで、窒化物半導体層の側面及び/又は基板の側面又は表面等をさらに被覆していることが好ましい。第3保護膜は、埋込膜で例示したものと同様の材料で形成することができる。これにより、絶縁性のみならず、露出した窒化物半導体層の側面又は表面等を確実に保護することができる。

40

なお、窒化物半導体層の側面から、埋込膜15、p電極16及び第3保護膜17の上面には、pパッド電極18が形成されていることが好ましい。

【0067】

第1保護膜及び第2保護膜は、共振器面から第2窒化物半導体層表面にかけて連続して形成されていてもよい。窒化物半導体層表面に形成された第1保護膜及び/又は第2保護膜とp電極、埋込膜及びp側パッド電極とは離間していてもよいし、接していてもよいし、被覆していてもよい。好ましくは、第1保護膜及び/又は第2保護膜が埋込膜及びp電極を被覆するものである。これにより、埋込膜やp電極の剥がれを防止することができる。

【0068】

50

第2窒化物半導体層表面に形成された保護膜の膜厚は、共振器面に形成された第1保護膜及び第2保護膜の膜厚よりも薄いものが好ましい。これにより、保護膜にクラックが発生することを防止することができる。

第2窒化物半導体層表面に形成された保護膜は、窒化物半導体層の結晶面と同軸配向であることが好ましく、特にC軸配向であることが好ましい。これにより半導体層表面と保護膜との密着性を良好なものとすることができる。

【0069】

以下に、本発明の窒化物半導体レーザ素子の実施例を図面に基づいて詳細に説明する。

実施例1

この実施例の窒化物半導体レーザ素子は、図1及び図2A、図2Bに示すように、C面を成長面とするGaN基板10上に、第1窒化物半導体層（例えば、n側）11、活性層12及び表面にリッジ14が形成された第2窒化物半導体層（例えば、p側）13をこの順に積層しており、M面を共振器面とする共振器が形成されて構成されている。

このような窒化物半導体レーザ素子は、共振器面に第1保護膜25及び第2保護膜26、さらに、埋込膜15、p電極16、n電極19、第3保護膜17、pパッド電極18等が形成されている。

共振器面は、主としてM軸配向を有する窒化物半導体層により形成されており、第1保護膜25は、図2A及び図2Bに示すように、少なくとも一方の共振器面において、その共振器面と同軸、つまり、M軸配向しており、さらにその上に、第2保護膜26が形成されている。

【0070】

第1保護膜25は、 Al_2O_3 からなり、膜厚が20nm程度である。第1保護膜25は、活性層12と、その上下の第1窒化物半導体層11及び第2窒化物半導体層14にわたる領域において、活性層に接する領域25aが形成されている。

この第1保護膜25を、加速電圧200kV、暗視野でSTEM観察を行ったところ、図3に示すような断面STEM像が得られた。活性層に接する領域25aにおいて、それ以外の領域に比較して、明るく(明度が高く)観察され、視覚的にその結晶性が異なることが認められた。

【0071】

この第1保護膜25を、カメラ長50cm、GaN(11-20)面方向から電子線を入射することにより測定し、電子線回折によって保護膜表面側から分析したところ、図6に示すような電子線回折像が得られた。活性層に接する領域25aでは、図6Bに示すように、原子の存在を示す点が不明瞭であった。一方、第1保護膜25の他の領域を分析したところ、図6Aに示すように、原子の存在を示す点が明瞭に表されており、その配列は、活性層に接する領域25aよりも整然としていることが分かった。

【0072】

第2保護膜26は Al_2O_3 からなり、膜厚が100nm程度である。この第2保護膜26を、電子線回折によって第2保護膜表面側から分析したところ、図6Cに示すように、原子の存在を示す点がほとんど不明瞭で認められなかった。

【0073】

この窒化物半導体レーザ素子は、以下のように製造される。

まず、窒化ガリウム基板を準備する。反応器中で、この窒化ガリウム基板上に、1160でTMA(トリメチルアルミニウム)、TMG(トリメチルガリウム)、アンモニア、シランガスを用い、Siを $4 \times 10^{18} / \text{cm}^3$ ドープした $Al_{0.03}Ga_{0.97}N$ よりなる層を膜厚2 μm で成長させる。なお、このn側クラッド層は超格子構造とすることもできる。

続いて、シランガスを止め、1000でアンドープGaNよりなるn側光ガイド層を0.175 μm の膜厚で成長させる。このn側光ガイド層にn型不純物をドープしてもよい。

【0074】

10

20

30

40

50

次に、温度を900にして、Siドープ $\text{In}_{0.02}\text{Ga}_{0.98}\text{N}$ よりなる障壁層を14nmの膜厚で成長させ、続いて同一温度で、アンドープ $\text{In}_{0.07}\text{Ga}_{0.93}\text{N}$ よりなる井戸層を7nmの膜厚で成長させる。障壁層と井戸層とを2回交互に積層し、最後に障壁層で終わり、総膜厚56nmの多重量子井戸構造(MQW)の活性層を成長させる。

【0075】

温度を1000に上げ、TMG、TMA、アンモニア、 Cp_2Mg (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 $\text{Al}_{0.25}\text{Ga}_{0.75}\text{N}$ よりなるp側キャップ層を10nmの膜厚で成長させる。

10

続いて、 Cp_2Mg 、TMAを止め、1000で、バンドギャップエネルギーがp側キャップ層10よりも小さい、アンドープGa_{0.99}Nよりなるp側光ガイド層を0.145μmの膜厚で成長させる。

【0076】

次に、1000でアンドープ $\text{Al}_{0.10}\text{Ga}_{0.90}\text{N}$ よりなる層を2.5nmの膜厚で成長させ、続いて、TMAを止め、 Cp_2Mg を用いてp型Ga_{0.99}Nよりなる層を2.5nmの膜厚で成長させ、総膜厚0.45μmの超格子層よりなるp側クラッド層を成長させる。

最後に、1000で、p側クラッド層の上に、Mgを $1 \times 10^{20} / \text{cm}^3$ ドープしたp型Ga_{0.99}Nよりなるp側コンタクト層を15nmの膜厚で成長させる。

20

【0077】

このようにして窒化物半導体を成長させたウェハを反応容器から取り出し、最上層のp側コンタクト層の表面に SiO_2 よりなる保護膜を形成して、共振器面に平行な方向における幅が800μmのストライプ状の構造を形成する。この部分がレーザ素子の共振器本体となる。共振器長は、200μm~5000μm程度の範囲であることが好ましい。

【0078】

次に、p側コンタクト層の表面にストライプ状の SiO_2 よりなる保護膜を形成して、RIE(反応性イオンエッチング)を用いて SiCl_4 ガスによりエッチングし、ストライプ状の光導波路領域であるリッジ部を形成する。

このリッジ部の側面を ZrO_2 からなる埋込膜で保護する。

30

【0079】

次いで、p側コンタクト層及び埋込膜の上の表面にNi(10nm)/Au(100nm)/Pt(100nm)よりなるp電極を形成する。p電極を形成した後、600でオーミックアニールを行う。オーミックアニールをした後、Si酸化膜(SiO_2)からなる第3保護膜をp電極の上及び埋込膜の上及び半導体層の側面に0.5μmの膜厚で、スパッタリングにより成膜する。

次に、第3保護膜で覆われていない露出しているp電極上に連続して、Ni(8nm)/Pd(200nm)/Au(800nm)で、pパッド電極を形成する。

その後、基板厚みが80μmになるように窒化物半導体層の成長面と反対側の面から研磨を行う。

40

【0080】

研磨した面に、Ti(15nm)又はV(10nm)/Pt(200nm)/Au(300nm)よりなるn電極を形成する。

n電極とp電極及びpパッド電極とを形成したウェハ状の窒化物半導体基板の第1の主面側に凹部溝をけがきによって形成する。この凹部溝は、例えば、深さを10μmとする。また、共振器面と平行方向に、側面から50μm、垂直方向に15μmの幅とする。次に、この凹部溝を劈開補助線として窒化物半導体基板のn電極の形成面側からバー状に劈開し、劈開面((1-100)面、六角柱状の結晶の側面に相当する面=M面)を共振器面とする。共振器長は800μmとし、その後、p電極に平行な方向で、バーをチップ化することで半導体レーザ素子とする。

50

【0081】

続いて、得られた素子の共振器面を、プラズマ処理装置を用いて、酸素プラズマに晒して表面処理を行う。この際、例えば、 O_2 の流量が20 sccm、マイクロ波/RF電力500Wにて、10分間処理する。その後、素子をECRスパッタ装置に移し、Alターゲットを用い、Arの流量が30 sccm、酸素の流量が10 sccm、マイクロ波/RF電力500Wで、 Al_2O_3 からなる第1保護膜(20nm)を形成する。

出射側の端面の Al_2O_3 からなる第1保護膜の上に、ECRスパッタ装置にて、Alターゲットを用い、Arの流量が30 sccm、酸素の流量が4 sccm、マイクロ波/RF電力500Wで Al_2O_3 からなる第2保護膜を100nm成膜する。

反射側には、出射側と同様の成膜条件で、 Al_2O_3 からなる第1保護膜(20nm)を形成した後、 Al_2O_3 からなる第2保護膜(40nm)を形成する。その上に(SiO_2/ZrO_2)を(67nm/44nm)で6周期成膜してもよい。

【0082】

比較のために、 Al_2O_3 からなる単層の保護膜を、酸素プラズマによる表面処理を行わず、他の条件を変更せずに120nmの膜厚で形成する以外は、実質的に上述した半導体レーザ素子と同様の製造方法でレーザ素子を形成した。

【0083】

【表1】

	第1保護膜	第2保護膜
実施例1	Al_2O_3 : 20nm	Al_2O_3 : 100nm
比較例	Al_2O_3 : 120nm	—

【0084】

得られた半導体レーザ素子について、連続発振後の電流 - 光出力特性を測定し、CODレベルを評価した。

それらの測定結果を図4に示す。

実線で示したデータが、結晶性が面内で異なる第1保護膜を有する本発明のレーザ素子の電流 - 光出力特性を示し、点線で示したデータが、比較例である結晶性が面内で同一の厚膜の保護膜を有するレーザ素子の電流 - 光出力特性を示す。電流 - 光出力特性曲線では、注入電流の増加と共に光出力が増加し、光出力がCODレベルに達すると端面が破壊されレーザ発振が停止する。

図4によれば、本発明の保護膜を備えるレーザ素子において、CODレベルが、比較例に対して著しく高いことが分かった。

【0085】

このように、活性層に接する領域の結晶性を他の領域と異なる保護膜を形成することにより、共振器面を構成する窒化物半導体層の発光部分に対して、応力を生じさせることなく、窒化物半導体にクラックが生じず、共振器面との密着性が良好で、剥がれを防止し、ひいては、CODレベルを向上させることができる。

【0086】

得られた窒化物半導体レーザ素子の保護膜を検証するために、上記と同様の方法で保護膜を形成したチップを、フッ化アンモニウムとフッ酸15.7%とからなるバッファードフッ酸に浸漬し、保護膜の溶解を観察した。その結果、浸漬後、5分で活性層に接する領域の保護膜は、略膜厚方向に全て溶解したのに対し、第1及び第2窒化物半導体層に接する領域の保護膜は、表面において若干溶解又は膨潤を示したが、除去されなかった。

【0087】

実施例2~9

この実施例では、第1保護膜と第2保護膜とを材料及び膜厚を変更し、第1保護膜が酸化膜の場合には酸素プラズマを、窒化膜の場合には窒素プラズマを用いた表面処理を行う以外、実施例1と同様にレーザ素子を作製する。

第1保護膜及び第2保護膜は、表2に示す組成及び膜厚とする。なお、実施例2~5で

は、Ni系のp電極及びTi系のn電極を用い、実施例6～9では、Ni系のp電極及びV系のn電極を用いた。

【0088】

【表2】

	第1保護膜	第2保護膜
実施例2	Al_2O_3 : 10 nm	SiO_2 : 135 nm
実施例3	AlN : 20 nm	SiO_2 : 130 nm
実施例4	Al_2O_3 : 32 nm	SiO_2 : 110 nm
実施例5	GaO : 20 nm	SiO_2 : 130 nm
実施例6	Al_2O_3 : 20 nm	Al_2O_3 : 130 nm
実施例7	AlN : 32 nm	SiO_2 : 260 nm
実施例8	Al_2O_3 : 50 nm	Al_2O_3 : 100 nm
実施例9	Al_2O_3 : 70 nm	Al_2O_3 : 80 nm

10

【0089】

これらのレーザ素子において、実施例1と同様の評価を行うと、実施例1と同様にCODレベルが向上し、寿命特性が良好となる。

【0090】

20

実施例10

この実施例では、出射側の端面の Al_2O_3 からなる第1保護膜(20 nm)の上に、第2保護膜として Al_2O_3 (40 nm)を成膜し、その上に、 Al_2O_3/ZrO_2 (60 nm/43 nm)を2周期成膜し、最後に Al_2O_3 (120 nm)を形成する。

また、反射側には、 Al_2O_3/ZrO_2 (60 nm/43 nm)を6周期成膜する。

これらの条件以外は、実施例1と同様にレーザ素子を作製する。

このようなレーザ素子では、出射側に形成された高反射率の ZrO_2 は剥がれやすい傾向があるが、その上に最外層として Al_2O_3 を形成することによって、 ZrO_2 が剥れにくくなり、安定した素子動作のレーザ素子を得ることができ、実施例1と同様にCODレベルが向上し、寿命特性が良好となる。

30

【産業上の利用可能性】

【0091】

本発明は、レーザダイオード素子(LD)のみならず、発光ダイオード素子(LED)、スーパーフォトルミネセンスダイオード等の発光素子、太陽電池、光センサ等の受光素子、あるいはトランジスタ、パワーデバイス等の電子デバイスに用いられるような、保護膜と半導体層との密着性を確保する必要がある窒化物半導体素子に広く適用することができる。特に、光ディスク用途、光通信システム、印刷機、露光用途、測定、バイオ関連の励起光源等における窒化物半導体レーザ素子に利用することができる。

【図面の簡単な説明】

【0092】

40

【図1】本発明の窒化物半導体レーザ素子の構造を説明するための要部の概略断面図である。

【図2A】本発明の窒化物半導体レーザ素子の保護膜を説明するための共振器方向での断面図である。

【図2B】図2Aの窒化物半導体レーザ素子の概略斜視図である。

【図3】本発明の窒化物半導体レーザ素子の保護膜のSTEM像である。

【図4】本発明の窒化物半導体レーザ素子と比較例の窒化物半導体レーザ素子の電流-光出力特性を示すグラフである。

【図5A】本発明の別の窒化物半導体レーザ素子の構造を説明するための共振器方向での断面図である。

50

【図5B】本発明のさらに別の窒化物半導体レーザ素子の構造を説明するための共振器方向での断面図である。

【図6A】本発明の窒化物半導体レーザ素子の第1窒化物半導体層及び第2窒化物半導体層に接する保護膜の電子線回折像である。

【図6B】本発明の窒化物半導体レーザ素子の活性層に接する保護膜の電子線回折像である。

【図6C】本発明の窒化物半導体レーザ素子の第2保護膜の電子線回折像である。

【符号の説明】

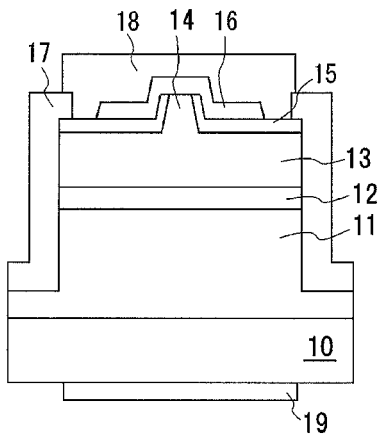
【0093】

- 10 基板
- 11 第1窒化物半導体層
- 12 活性層
- 13 第2窒化物半導体層
- 14 リッジ
- 15 埋込膜
- 16 p電極
- 17 第3保護膜
- 18 p側パッド電極
- 19 n電極
- 25 保護膜
- 25a 活性層に接する領域
- 26 第2保護膜

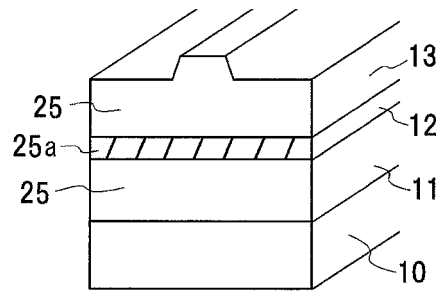
10

20

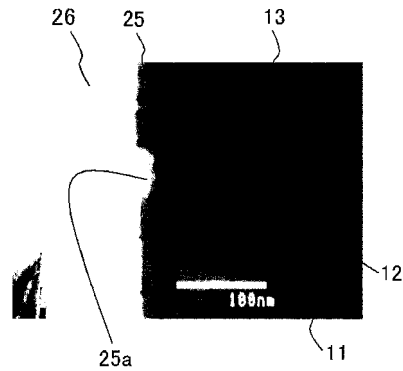
【図1】



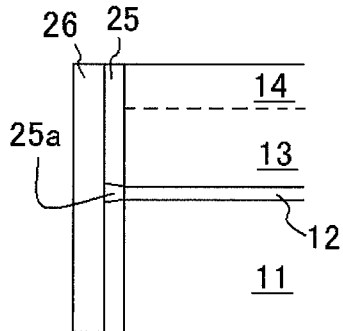
【図2B】



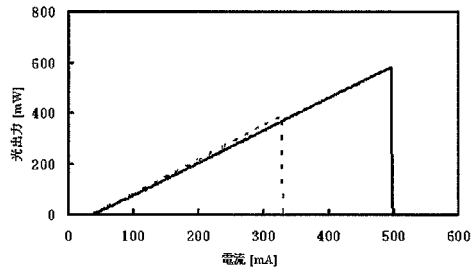
【図3】



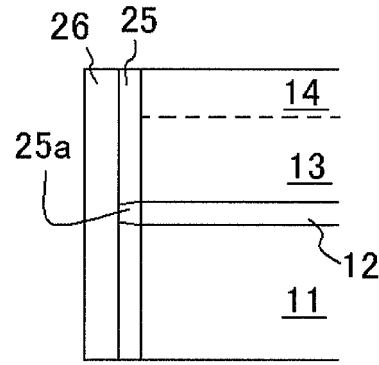
【図2A】



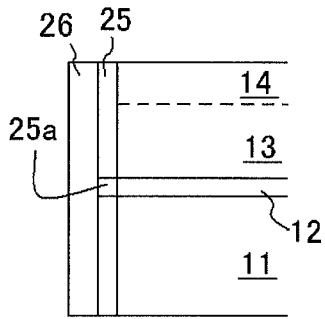
【図 4】



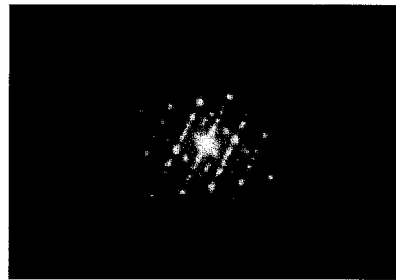
【図 5 B】



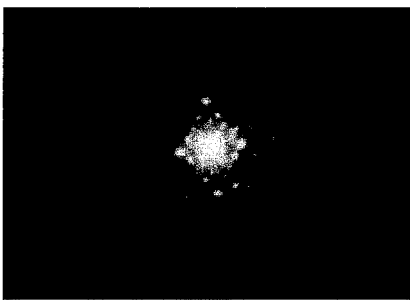
【図 5 A】



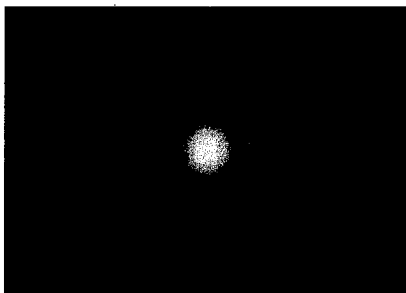
【図 6 A】



【図 6 B】



【図 6 C】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開2007-059897(JP,A)
特開2006-190567(JP,A)
特開2006-190797(JP,A)
特開2007-273951(JP,A)
特開2007-027260(JP,A)
特開2008-016685(JP,A)
特開2008-210992(JP,A)
特開2008-211112(JP,A)
特開2007-081197(JP,A)
特開2006-203162(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01S 5/00 - 5/50