

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5047258号
(P5047258)

(45) 発行日 平成24年10月10日(2012.10.10)

(24) 登録日 平成24年7月27日(2012.7.27)

(51) Int.Cl.

F 1

HO 1 S 5/187 (2006.01)
HO 1 S 5/343 (2006.01)HO 1 S 5/187
HO 1 S 5/343 610

請求項の数 8 (全 15 頁)

(21) 出願番号 特願2009-279087 (P2009-279087)
 (22) 出願日 平成21年12月9日 (2009.12.9)
 (65) 公開番号 特開2011-124301 (P2011-124301A)
 (43) 公開日 平成23年6月23日 (2011.6.23)
 審査請求日 平成23年11月17日 (2011.11.17)

(73) 特許権者 000001007
 キヤノン株式会社
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
 (74) 代理人 100105289
 弁理士 長尾 達也
 (72) 発明者 星野 勝之
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
 ャノン株式会社内
 (72) 発明者 長友 靖浩
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キ
 ャノン株式会社内
 審査官 杉山 輝和

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】二次元フォトニック結晶面発光レーザ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

基板上に、該基板の面に対して垂直方向に、活性層と、フォトニック結晶の構造を有するフォトニック結晶層とが積層された積層構造を備え、

該フォトニック結晶の面内方向に共振モードを有し、該フォトニック結晶の面に対して垂直方向に光を取り出す二次元フォトニック結晶面発光レーザであって、

前記積層構造中に、高屈折率媒質からなる中央部と、該高屈折率媒質よりも屈折率が低い低屈折率媒質からなる周辺部とを備えた屈折率層を有し、

前記積層構造における表面の中央部には、前記活性層にキャリアを注入するための電極が設けられ、

前記屈折率層における低屈折率媒質からなる周辺部が、前記電極と重ならない領域に形成されていることを特徴とする二次元フォトニック結晶面発光レーザ。

【請求項 2】

前記屈折率層が、前記フォトニック結晶層と前記活性層との間に形成されていることを特徴とする請求項1に記載の二次元フォトニック結晶面発光レーザ。

【請求項 3】

前記屈折率層が、前記活性層を挟んで前記二次元フォトニック結晶の反対側に形成されていることを特徴とする請求項1に記載の二次元フォトニック結晶面発光レーザ。

【請求項 4】

前記電極が、p型電極であることを特徴とする請求項1から3のいずれか1項に記載の

二次元フォトニック結晶面発光レーザ。

【請求項 5】

前記屈折率層における低屈折率媒質からなる周辺部が、前記中央部側から外周部側に向かうに従って徐々に厚くなる層構成を備えていることを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の二次元フォトニック結晶面発光レーザ。

【請求項 6】

前記屈折率層における低屈折率媒質からなる周辺部が、前記中央部側から外周部側に向かうに従って徐々に屈折率が低くなる層構成を備えていることを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の二次元フォトニック結晶面発光レーザ。

【請求項 7】

前記屈折率層における低屈折率媒質が、絶縁媒質からなることを特徴とする請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の二次元フォトニック結晶面発光レーザ。

【請求項 8】

前記フォトニック結晶層は、窒化物半導体で構成されていることを特徴とする請求項 1 から 7 のいずれか 1 項に記載の二次元フォトニック結晶面発光レーザ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、二次元フォトニック結晶を利用した分布帰還型の面発光レーザに関する。

【背景技術】

【0002】

面発光レーザにおいて、反射鏡に二次元フォトニック結晶を利用し、二次元フォトニック結晶自身をレーザ共振器として構成し、水平方向（面内方向）にレーザ増幅を生じさせ、結晶面に対して垂直方向に光を取り出す面発光レーザが知られている。

特に、近紫外から緑領域で発光可能な窒化物半導体を利用した面発光レーザでは、一般的に用いられる分布プラグ反射鏡の作製が困難なことから、二次元フォトニック結晶を利用した面発光レーザが盛んに研究されている。

このような二次元フォトニック結晶面発光レーザにおいて、特許文献 1 では、光の利用効率を向上させるため、該二次元フォトニック結晶の結晶面と水平方向の周囲に、結晶面に対して垂直方向に光反射領域を設けた面発光レーザが開示されている。

この構成に従えば、前記二次元フォトニック結晶から水平方向（面内方向）の外側に漏れようとする光の一部は、前記光反射領域によって内部に反射され、これにより光の利用効率の向上が期待される。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2003-273456 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

上記したように、光反射領域が設けられた特許文献 1 の二次元フォトニック結晶面発光レーザでは、二次元フォトニック結晶から面内方向の外側に漏れようとする光の一部を、該光反射領域によって内部に反射させ、光の利用効率を向上させている。

一方、上記のような二次元フォトニック結晶面発光レーザをレーザ発振させるには、前記二次元フォトニック結晶と重なる領域の、前記レーザ表面の一部に電極を設けて、そこから活性層にキャリアを注入する必要がある。

その際、上記のレーザ表面の一部に設けられた電極は、透過率が低く、レーザ光を吸収してしまうことから、該二次元フォトニック結晶内で共振した該レーザ光は、該電極の周辺から外に取り出されることになる。

【0005】

10

20

30

40

50

ところで、p型導電層はn型導電層と比較して高抵抗であり、特に窒化物半導体では、p型電極直下のp型導電層付近以外には電流が拡がり難い。

すなわち、電極をフォトニック結晶の中央部に配置した場合、該p型電極直下付近の中央部の活性層領域のみが発光領域となる。

一方、それ以外の周辺部の活性層領域は、キャリアが注入されず発光には寄与しないばかりか、吸収層として働き、損失が大きくなるという課題があった。

【0006】

本発明は、上記課題に鑑み、二次元フォトニック結晶の面内方向の外側に漏れる光の口スと、発光に寄与せず吸収層として働いてしまうことによる活性層での吸収口スと、を抑制し、

10

光の利用効率を向上させることが可能となる二次元フォトニック結晶面発光レーザを提供することを目的としている。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の二次元フォトニック結晶面発光レーザは、

基板上に、該基板の面に対して垂直方向に、活性層と、フォトニック結晶の構造を有するフォトニック結晶層とが積層された積層構造を備え、

該フォトニック結晶の面内方向に共振モードを有し、該フォトニック結晶の面に対して垂直方向に光を取り出す二次元フォトニック結晶面発光レーザであって、

前記積層構造中に、高屈折率媒質からなる中央部と、該高屈折率媒質よりも屈折率が低い低屈折率媒質からなる周辺部とを備えた屈折率層を有し、

20

前記積層構造における表面の中央部には、前記活性層にキャリアを注入するための電極が設けられ、

前記屈折率層における低屈折率媒質からなる周辺部が、前記電極と重ならない領域に形成されていることを特徴とする。

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、二次元フォトニック結晶の面内方向の外側に漏れる光の口スと、発光に寄与せず吸収層として働いてしまうことによる活性層での吸収口スと、を抑制し、

光の利用効率を向上させることが可能となる二次元フォトニック結晶面発光レーザを実現することができる。

30

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】本発明の実施形態における二次元フォトニック結晶面発光レーザの構成例について説明する断面図である。

【図2】本発明の実施形態において、低屈折率媒質の膜厚をパラメータとして、光強度分布を計算した結果である。

【図3】本発明の実施形態において、低屈折率媒質と活性層との距離をパラメータとして、光強度分布を計算した結果である。

【図4】本発明の実施例1の他の構成例における二次元フォトニック結晶面発光レーザを説明する断面図である。

40

【図5】本発明の実施例2における二次元フォトニック結晶面発光レーザを説明する断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0010】

図1を用いて、本発明の実施形態におけるフォトニック結晶の構造を有するフォトニック結晶層を備えた積層構造の二次元フォトニック結晶面発光レーザについて説明する。

図1において、111は下部コンタクト層、112は下部クラッド層、113は下部光ガイド層、114は活性層である。

121は低屈折率媒質、122は低屈折率媒質121を含む上部光ガイド層、123は電

50

子ブロック層である。

132は二次元フォトニック結晶、141は二次元フォトニック結晶132を含む光ガイド層、142は上部クラッド層、143は上部コンタクト層である。101および102は電極である。

【0011】

ここで、低屈折率媒質121を含む上部光ガイド層122の製造プロセスについて説明する。

活性層114を形成した後、該活性層114上に、たとえば二酸化ケイ素（屈折率1.5）などよりなる低屈折率媒質121を、開口部を設けて形成する。

なお、開口部は種々の形状とすることができます、例えば、円形、六角形、四角形などの形状を用いることができる。

次に、低屈折率媒質121が形成された活性層114上に、MOCVD法またはMBE法を用いて、次のように薄膜半導体層を結晶成長させる。

すなわち、低屈折率媒質121が設けられていない個所から、該低屈折率媒質121よりも高屈折率の媒質、たとえばp型GaNからなる薄膜半導体層を結晶成長させ、該低屈折率媒質121を埋め込み、該低屈折率媒質121を含む上部光ガイド層122を形成する。これにより、積層構造中に、高屈折率媒質124からなる中央部と、該高屈折率媒質124よりも屈折率が低い低屈折率媒質121からなる周辺部とを備えた屈折率層を形成することができる。

このような構造体は、非特許文献1（Journal of Crystal Growth, Vol. 221, pp. 316-326, 2000）に開示されているような、横方向成長を促進するような成長条件を用いて形成することができる。

たとえば、成長圧力を300Torr、成長温度を1050に設定する。

本実施形態において、活性層114と低屈折率媒質121は近接して配置されているが、該活性層114と低屈折率媒質121の距離は、離れていてもよい。

その場合には、該活性層114を形成し、たとえばp型GaNからなる薄膜半導体層を必要な膜厚で積層する。

これにより、上部光ガイド層122の一部を形成した後、低屈折率媒質121を形成することで、該低屈折率媒質121と該活性層114の距離を任意に設定することが可能となる。

【0012】

次に、二次元フォトニック結晶132を含む光ガイド層141の製造プロセスについて説明する。

まず、二次元フォトニック結晶132を形成する薄膜半導体層を結晶成長させる。

すなわち、たとえばp型GaNからなる薄膜半導体層を、フォトニック結晶周期構造体131の高さに相当する膜厚で積層する。

その後、電子ビーム露光によって、該薄膜半導体層上に、面内方向に二次元的かつ周期的に配列し、該面内方向に共振モードを有する二次元フォトニック結晶の形状のレジストを形成する。

続いて、前記レジストをマスクとして該薄膜半導体層をドライエッティングする。その後、該レジストを除去することで、二次元フォトニック結晶132が形成される。

続いて、前記フォトニック結晶周期構造体131を覆うように、たとえばp型GaNからなる薄膜半導体層を積層することで、二次元フォトニック結晶132を含む光ガイド層141を形成する。

このような構造体は、上記非特許文献1に開示されているような横方向成長を促進するような所定の成長条件を用いて形成することができる。

たとえば、成長圧力を300Torr、成長温度を1050に設定する。

【0013】

本実施の形態において、光ガイド層141内における二次元フォトニック結晶132の位置は、任意に設定することが可能である。

10

20

30

40

50

その場合には、該二次元フォトニック結晶132の位置を上方向に動かすのに必要な膜厚を加えて、薄膜半導体層を積層する。

その後、該二次元フォトニック結晶132を形成することで、配置を任意に設定することが可能となる。

なお、本実施の形態においては、レジストをマスクとしてドライエッチングを行い、前記二次元フォトニック結晶132を形成する場合について示した。

しかしながら、前記マスクとして、たとえば二酸化ケイ素を用いても良い。

すなわち、二酸化ケイ素を成膜した後、該に酸化ケイ素膜上に、面内方向に二次元的かつ周期的に配列し、該面内方向に共振モードを有する二次元フォトニック結晶の形状のレジストを形成する。

10

次に、前記レジストをマスクとして該二酸化ケイ素膜をドライエッチングする。これにより、該二次元フォトニック結晶の形状の二酸化ケイ素膜が形成される。続いて、該二酸化ケイ素膜をマスクとして、前記薄膜半導体層をドライエッチングすることで、二次元フォトニック結晶132を形成しても良い。

【0014】

つぎに、低屈折率媒質121が、面発光レーザの特性に及ぼす影響について説明する。図1を参照して、低屈折率媒質121が形成されている面発光レーザ100の周辺部は、該低屈折率媒質の開口部、すなわち、高屈折率媒質124が形成されている中央部と比較して、二次元フォトニック結晶132を含む導波路の実効屈折率が減少している。

これにより、該導波路の面内方向において、該低屈折率媒質121の開口部に、光を閉じ込めることが可能となる。

20

このように、屈折率差を利用して、前記低屈折率媒質121の開口部に光閉じ込め効果に寄与する作用を持たせることは、従来の分布プラグ反射鏡を共振器とした垂直共振器型面発光レーザにおける電流狭窄層の開口部の作用と、同様である。

しかしながら、前記低屈折率媒質121と、従来の分布プラグ反射鏡を共振器とした面発光レーザにおける電流狭窄層とを比較した場合、該電流狭窄層は絶縁媒質で構成されるが、該低屈折率媒質121は、絶縁媒質で構成されなくてもよい点が異なる。

本実施形態では、p型GaNが高抵抗であるため、p型電極102から注入された電流は、該p型電極102の直下付近のみに流れ、横方向には拡がり難い。

すなわち、該p型電極102の直下付近の活性層領域のみにキャリアが注入され、発光領域となる。

30

したがって、前記低屈折率媒質121は、電流狭窄の効果を持つ必要がないため、絶縁媒質で構成されなくてもよい。

【0015】

また、本発明者らは、上述の面内方向における光閉じ込め、すなわち、横方向の光閉じ込め効果に加えて、該低屈折率媒質121が形成されている領域では、

前記二次元フォトニック結晶132の層への光閉じ込めが増加する、縦方向の光閉じ込め効果があることを見出した。

上述のように、前記p型電極102の周辺部の領域、すなわち、該低屈折率媒質121が形成されている領域では、活性層にキャリアが注入されず、吸収層として働き、光の損失が大きくなる。

40

これに対して、本発明者らは、前記低屈折率媒質121を形成することで、レーザ内部の導波路内の光分布において、前記活性層への光分布を減少させる一方で、前記二次元フォトニック結晶132の層への光分布を増加できることを見出した。

これにより、吸収層として働く活性層による光のロスを抑制し、該二次元フォトニック結晶132において共振に寄与する光を増すことができるようになる。

【0016】

前記低屈折率媒質が、面発光レーザ内部での光分布に及ぼす影響を確認するため、図1に示した面発光レーザ100の内部における導波モードの電界分布についてシミュレーションを行った。

50

各層の膜厚や屈折率などを、次のような値として計算を行った。

下部クラッド層 112 の厚みを 600 nm、下部光ガイド層 113 の厚みを 80 nm、上部光ガイド層 122 の厚みは 100 nm、電子ブロック層 123 の厚みを 20 nm とした。

二次元フォトニック結晶 132 を含む光ガイド層 141 の厚みを 200 nm、上部クラッド層 142 の厚みを 200 nm、上部コンタクト層 143 の厚みを 50 nm とした。

二次元フォトニック結晶 132 の孔の直径を 56 nm、該孔の深さを 80 nm、該二次元フォトニック結晶 132 の周期を 160 nm とした。

また、上部電極は、該上部コンタクト層 143 の全面を覆っているとし、該上部電極の厚みを 50 nm とした。

該孔の最上部が、前記光ガイド層 141 の中間に位置するとした。

また、屈折率に関しては、下部クラッド層 112 および上部クラッド層 142 の屈折率を 2.49、下部光ガイド層 113、上部光ガイド層 122、上部コンタクト層 143、および二次元フォトニック結晶 132 を含む光ガイド層 141 の屈折率を 2.55 とした。また、活性層 114 の屈折率を 2.62、前記二次元フォトニック結晶 132 の孔の屈折率を 1.0、前記低屈折率媒質 121 の屈折率を 1.5 とした。

【0017】

図 1 における、低屈折率媒質 121 が形成されていない場合の計算結果を図 2 (a) に示す。

図 2 (a) を参照して、曲線は面発光レーザの内部における光強度分布、灰色および斜線の境界部分は、二次元フォトニック結晶 132 および活性層 114 の位置を、それぞれ示している。

ここで、面発光レーザの最表面の位置を、図 2 の横軸において、0 nm としている。活性層部分に、光強度分布のピークがあり、ほぼ单峰の分布になっていることが分かる。

これに対し、本実施の形態における、すなわち、前記活性層 114 の上側に前記低屈折率媒質 121 が近接配置された状態で、該低屈折率媒質 121 が開口部を有さない均一な膜厚の層であった場合の計算結果を図 2 (b) に示す。

ここで、該低屈折率媒質 121 の膜厚を変化させて計算した。

該低屈折率媒質 121 の層を形成し、該低屈折率媒質 121 の膜厚を増加させていくことで、該活性層 114 の部分における光分布が減少する一方で、前記二次元フォトニック結晶 132 の部分の光分布が増加していることが分かる。

なお、該低屈折率媒質 121 の膜厚が、20 nm 以上になると、光の導波モードが形成されない計算結果となった。そのため、低屈折率媒質 121 の膜厚は 20 nm 未満であることが好ましい。

【0018】

また、図 2 (c) は、該活性層 114 の下側、すなわち、該低屈折率媒質 121 が該活性層 114 に対して前記二次元フォトニック結晶 132 の反対側、に近接配置された該低屈折率媒質 121 の膜厚を変化させたときの計算結果である。該活性層 114 の直上に、該低屈折率媒質 121 を形成した場合と比較して、該低屈折率媒質 121 の膜厚を増加に伴い、該二次元フォトニック結晶 132 の部分の光分布がより一層増加していることが分かる。

なお、該低屈折率媒質 121 の膜厚が、25 nm 以上になると、光の導波モードが形成されない計算結果となった。そのため、低屈折率媒質 121 の膜厚は 25 nm 未満であることが好ましい。

これらは、該低屈折率媒質 121 の層が形成されていない場合と比較して、本実施の形態では、該活性層 114 付近の実効屈折率が減少することで、相対的に実効屈折率が高くなる該二次元フォトニック結晶 132 の部分の光分布が増加するためである。

【0019】

以上のように、本実施形態では、前記低屈折率媒質 121 の層が形成されていない場合と比較して、前記活性層 114 への光閉じ込めを減少させるとともに、前記二次元フォト

ニック結晶 132 への光閉じ込めを高められるという効果があることが分かる。

これにより、面発光レーザの発光領域の周辺部において、吸収層として働く活性層による光の吸収ロスを減少できるとともに、二次元フォトニック結晶への光閉じ込めを増加できることで、面発光レーザの特性を向上することができる。

【0020】

次に、前記低屈折率媒質 121 の膜厚を 10 nm として、該低屈折率媒質 121 を前記活性層 114 の上側、すなわち、該低屈折率媒質 121 が前記二次元フォトニック結晶 132 と該活性層 114 の間、に配置し、

該低屈折率媒質 121 の層と該活性層 114 との距離を変化させた場合の計算結果を図 3 (a) に示す。
10

また、該低屈折率媒質 121 の層を該活性層 114 の下側に配置した場合の計算結果を図 3 (b) に示す。

該低屈折率媒質 121 を該活性層 114 の上側に配置した場合、該低屈折率媒質 121 と該活性層 114 との距離が離れるに連れて、該二次元フォトニック結晶 132 の部分での光閉じ込めが弱くなることが分かる。

また、該距離が 40 nm 以上では、図 2 (a) に示した該低屈折率媒質 121 の層を形成していないときと比較して、該二次元フォトニック結晶 132 の部分での光閉じ込めが弱くなることが分かる。

これは、該距離が離れ過ぎると、屈折率の低い該低屈折率媒質 121 が光に対して障壁として働くため、該低屈折率媒質 121 から見て該活性層 114 の反対側にあたる該二次元フォトニック結晶 132 側への光分布が減少するためである。これより、該低屈折率媒質 121 が該二次元フォトニック結晶 132 と該活性層 114 の間にある場合において、該低屈折率媒質 121 と該活性層 114 との距離は、40 nm 未満という範囲が好ましい。
20

【0021】

一方、該低屈折率媒質 121 を該活性層 114 に対して前記二次元フォトニック結晶 132 の反対側に配置した場合は、

該低屈折率媒質 121 が該二次元フォトニック結晶 132 と該活性層 114 の間にある場合と比較して、該二次元フォトニック結晶 132 の部分での光閉じ込めが大きくなっていることが分かる。

該低屈折率媒質 121 を該活性層 114 の上側に配置したときに前記光閉じ込めが最も大きくなる近接配置 (距離 0 nm) の場合と比較して、
30

該低屈折率媒質 121 を該活性層 114 の下側に配置したときの該光閉じ込めは、該距離が 70 nm の場合でも 1.1 倍大きくなっている。

【実施例】

【0022】

つぎに、本発明の実施例について説明する。

【実施例 1】

実施例 1 においては、本発明を適用して構成した二次元フォトニック結晶を備えた面発光レーザについて、図 1 を用いて説明する。

本実施例の面発光レーザ 100 は、二次元フォトニック結晶 132 を含む p 型ガイド層 141 と、活性層 114 と、n 型クラッド層 112 と、n 型コンタクト層 111 と、電極 101 および 102 とを備えている。
40

二次元フォトニック結晶を含む p 型ガイド層 141 および n 型コンタクト層 111 は、それぞれたとえば p 型および n 型 GaN の半導体層からなる。

【0023】

活性層 114 は、窒化物半導体材料を用いた多重量子井戸構造からなっており、該量子井戸構造の井戸層および障壁層は、それぞれ InGaN および GaN からなる。

該井戸層のバンドギャップは、該障壁層、二次元フォトニック結晶を含む p 型光ガイド層 141 のバンドギャップより小さい。

該活性層 114 は、キャリアの注入により発光する。なお、本実施例における活性層 11
50

4は、上記の多重量子井戸構造であるが、单一量子井戸構造であってもよい。

【0024】

n型コンタクト層111の裏面およびp型コンタクト層143の表面には、それぞれAu(金)からなるn型電極101およびp型電極102が形成されている。

なお、本実施例における電極材料は、Auに特に限定されるものではなく、他の材料であってもよい。

電極101、102間に電圧を印加することにより活性層114のキャリアが注入された領域が発光し、該活性層114から放出された光が、二次元フォトニック結晶132に入射する。

フォトニック結晶132が有する所定の周期に一致する光は、該フォトニック結晶132により回折を繰り返し、定在波が発生し、位相条件が規定される。 10

フォトニック結晶132によって位相が規定された光は、回折により該活性層114内の光にフィードバックされ、定在波を発生させる。

この定在波は、該フォトニック結晶132において規定される光の波長および位相条件を満足している。

これにより、光は該フォトニック結晶132で共振して増幅され、コヒーレントな光が、該フォトニック結晶132の面の垂直方向に面発光される。

【0025】

二次元フォトニック結晶132は、格子形状に配列されたフォトニック結晶周期構造体131からなっている。 20

なお、本実施例におけるフォトニック結晶周期構造体131は、該二次元フォトニック結晶を形成している半導体層の屈折率(GaNの場合2.54)との屈折率の差を大きくとれる、空気(屈折率1.0)からなっていることが好ましい。しかしながら、二次元フォトニック結晶を形成している半導体よりも低屈折率の誘電体材料でフォトニック結晶周期構造体131が形成されていてもよい。

フォトニック結晶周期構造体131を形成する低屈折率の誘電体材料としては、たとえば、二酸化ケイ素(屈折率1.5)や窒化シリコン(SiNx)などを用いることができる。

【0026】

つぎに、本実施例における面発光レーザ100の製造方法について説明する。 30

まず、図1に示すように、n型GaN基板からなるn型コンタクト層111の上に、n型AlGaNからなるn型クラッド層112と、ノンドープGaNからなる光ガイド層113と、活性層114と、をこの順番で積層する。

なお、該光ガイド層113を形成する材料は、ノンドープGaNに特に限定されるものではなく、n型GaNであってもよい。

活性層114を形成した後、該活性層114上に、開口部を有する、二酸化ケイ素(屈折率1.5)などよりなる低屈折率媒質121を選択的に形成する。

そのために、まず、前記活性層114の上に、円形パターンを施したレジストを形成する。

次に、例えば電子ビーム蒸着装置やスパッタリング装置などを用いて、二酸化ケイ素を10nmの厚みで成膜する。続いて、リフトオフを行うことにより、円形の開口部を有する低屈折率媒質121が形成される。 40

なお、開口部の形状は、円形に特に限定されるものではなく、例えば、六角形、四角形などであってもよい。

また、光閉じ込めを向上させるためには、本実施例における該開口部は、閉じていることが好ましいが、特に限定されるものではなく、開いていてもよい。

また、本実施例における低屈折率媒質121の形成方法は、上記形成方法に特に限定されるものではなく、例えばドライエッチング法などであってもよい。この場合は、先ず、前記活性層114の上に、二酸化ケイ素を成膜する。

【0027】

次に、前記二酸化ケイ素の膜上に、レジストマスクを形成し、所定のパターンを施した後、ドライエッティングを行うことで、低屈折率媒質121の層が完成する。

また、本実施例における低屈折率媒質121の膜厚は、10nmに特に限定されるものではなく、20nm未満、すなわち、二次元フォトニック結晶132を含む導波路において導波モードが形成される範囲の膜厚であればよい。

次に、低屈折率媒質121が形成された活性層114上に、MOCVD法またはMBE法を用いて、次のように薄膜半導体層を結晶成長させる。

すなわち、横方向成長を促進するような所定の成長条件、例えば、成長圧力を300Torr、成長温度を1050℃、にそれぞれ設定する。

そして、低屈折率媒質121が設けられていない個所から該低屈折率媒質121を埋め込むように、ノンドープGaNからなる光ガイド層122を積層する。
10

該光ガイド層122を形成する材料は、ノンドープGaNに特に限定されるものではなく、p型GaNであってもよい。

なお、光閉じ込めを向上させるためには、本実施例における低屈折率媒質121の配置は、活性層114に近接配置されていることが好ましい。

しかし、これに特に限定されるものではなく、二次元フォトニック結晶132への光閉じ込めが強くなる範囲、すなわち、40nm未満の範囲で任意に設定してよい。

この場合は、該活性層114を形成し、たとえばノンドープGaNからなる薄膜半導体層を必要な膜厚で積層する。

これにより、光ガイド層122の一部を形成した後、低屈折率媒質121を形成することで、該低屈折率媒質121と該活性層114の距離を任意に設定することが可能となる。

なお、本実施例における前記低屈折率媒質121は、二酸化ケイ素に特に限定されるものではなく、空気の屈折率よりも高く、ガイド層122の屈折率よりも低い媒質であればよい。例えば、シリコン窒化膜(SiNx)、MgF₂、CaF₂、BaF₂、Al₂O₃、LiFなどを用いることも出来る。

また、二酸化ケイ素を含む、これらの媒質からなる前記低屈折率媒質121の層の形成により、活性層114を構成するIn原子が、結晶成長中の内部拡散により、光ガイド層122の側に拡散していくことを抑制できるという副次的效果も期待できる。すなわち、低屈折率媒質121は、内部拡散抑制層として機能する。

同様に、該記低屈折率媒質121の層の形成により、p型GaNからなるp型ガイド層141を構成するMg原子が、該活性層114の側に内部拡散していくことを抑制できるという副次的效果も期待できる。
30

【0028】

次に、p型AlGaNからなる電子プロック層123を積層する。

続いて、二次元フォトニック結晶132を形成する薄膜半導体層を結晶成長させる。

すなわち、たとえばp型GaNからなる薄膜半導体層を、フォトニック結晶周期構造体131の高さに相当する膜厚で積層する。

その後、電子ビーム露光によって、該薄膜半導体層上に、面内方向に二次元的かつ周期的に配列し、該面内方向に共振モードを有する二次元フォトニック結晶の形状のレジストを形成する。
40

続いて、前記レジストをマスクとして該薄膜半導体層をドライエッティングする。その後、該レジストを除去することで、二次元フォトニック結晶132が形成される。

ここで、二次元フォトニック結晶132の共振波長と格子定数をそれぞれ a とし、該二次元フォトニック結晶132を含む導波路の実効屈折率を n_{eff} とする。

面発光レーザの特性を向上させるためには、二次元フォトニック結晶132の場所に依らず、 $a = n_{eff}$ が一定値になるように、格子定数 a を調整して、結晶周期構造体131を形成することがより好ましい。

また、本実施の形態においては、レジストをマスクとしてドライエッティングを行い、前記二次元フォトニック結晶132を形成する場合について示した。

しかしながら、前記マスクとして、たとえば二酸化ケイ素を用いても良い。すなわち、二
50

酸化ケイ素を成膜した後、該二酸化ケイ素膜上に、面内方向に二次元的かつ周期的に配列し、該面内方向に共振モードを有する二次元フォトニック結晶の形状のレジストを形成する。

【0029】

次に、前記レジストをマスクとして該二酸化ケイ素膜をドライエッチングする。これにより、該二次元フォトニック結晶の形状の二酸化ケイ素膜が形成される。続いて、該二酸化ケイ素膜をマスクとして、前記薄膜半導体層をドライエッチングすることで、二次元フォトニック結晶132を形成しても良い。

次に、横方向成長を促進するような所定の成長条件、例えば、成長圧力を300 Torr、成長温度を1150℃にそれぞれ設定する。

そして、空孔からなるフォトニック結晶周期構造体131を覆うように、p型GaNからなる薄膜半導体層を積層することで、二次元フォトニック結晶132を含む光ガイド層141を形成する。

ここで、フォトニック結晶周期構造体131は、二次元フォトニック結晶132を構成する半導体層との屈折率の差を大きく出来る、空孔（気体、たとえば空気を埋め込んだ状態）であることがより好ましい。

より厳密には、結晶成長における雰囲気に含まれる気体が存在する状態であることがより好ましい。

しかしながら、該空孔は、該二次元フォトニック結晶132を構成する半導体よりも低屈折率の媒質、たとえば、二酸化ケイ素や窒化シリコンで埋め込まれていても良い。

この場合は、たとえば、二酸化ケイ素からなるフォトニック結晶周期構造体131を形成後、該フォトニック結晶周期構造体131を埋め込むように、p型GaNからなる薄膜半導体層を積層することで、二次元フォトニック結晶132を形成する。

なお、本実施例における、光ガイド層141内における二次元フォトニック結晶132の位置は、任意に設定することが可能である。

その場合には、該二次元フォトニック結晶132の位置を上方向に動かすのに必要な膜厚を加えて、薄膜半導体層を積層する。

その後、該二次元フォトニック結晶132を形成することで、任意に設定した位置にすることが可能となる。

【0030】

次に、p型AlGaNからなるp型クラッド層142と、p型GaNからなるp型コンタクト層143と、をこの順番で積層する。

続いて、n型コンタクト層111およびp型コンタクト層143の表面に、n型電極101およびp型電極102をそれぞれ形成し、面発光レーザ100が完成する。

ここで、面発光レーザの特性をより向上させるためには、p型電極102は、前記低屈折率媒質121の開口部垂直投影領域の内部に形成されることがより好ましい。

しかしながら、特にそれに限定されるものではなく、前記二次元フォトニック結晶132内で共振したレーザ光が、該p型電極102の周辺から外に取り出すことが可能な、該p型電極102の大きさであればよい。

また、本実施例では、p型クラッド層とp型コンタクト層を形成しているが、これらの層の形成に特に限定されるものではなく、形成しなくてもよい。

この場合は、二次元フォトニック結晶を含むp型光ガイド層の表面に接する大気（空気）がクラッド層としての機能を果たすことになる。

これにより、p型GaNと比較して高抵抗であるp型AlGaNからなるp型クラッド層による内部抵抗の増加を抑制することができる。

このため、p型クラッド層を形成させる場合と比較して、面発光レーザの駆動電圧の低下が可能である。

【0031】

なお、本実施例では、n型コンタクト層111として、n型GaN基板を用いる場合について示した。

しかし、本発明の面発光レーザにおいて、n型コンタクト層111の形成は、n型GaN基板を用いることに、特に限定されるものではない。

例えば、n型GaN基板に代え、n型SiC基板を用いてもよい。

また、サファイア基板上に、MOCVD法により、歪緩衝層を介してGaNからなる転位低減のためのGaNバッファ層を形成し、その上に、n型GaNを形成することで、n型コンタクト層としてもよい。

この場合は、レーザリフトオフ法により、前記歪緩衝層を熱分解し、前記サファイア基板を剥離した後、n型電極を形成する。

また、前記n型電極の形成方法は、上記形成方法に特に限定されるものではなく、別の方10
法であってもよい。

例えば、前記サファイア基板は剥離せずに、面発光レーザの表面側から、ドライエッティング法により、n型GaN層の一部を露出させ、そこにn型電極を形成してもよい。

また、サファイア基板ではなく、シリコン基板などを用いてもよい。

この場合は、シリコン基板上に、MOCVD法により、歪緩衝層を介してGaNからなる転位低減のためのGaNバッファ層を形成し、その上に、n型GaNを形成することで、n型コンタクト層としてもよい。

また、前記シリコン基板にn型シリコンを用いる場合は、該n型シリコン基板の裏面に、n型電極を形成することができ、基板剥離の工程が不要となる。

【0032】

つぎに、図4を用いて、本実施例における他の構成例について説明する。

図4において、421は低屈折率媒質、414は活性層、441は二次元フォトニック結晶432を含むp型光ガイド層である。

本実施例では、図1に示したように、開口部を有する低屈折率媒質は、場所に依らず、一定の膜厚で形成している。

しかし、図4に示すように、低屈折率媒質からなる周辺部が、中央部側から外周部側に向かうに従って徐々に厚くなる層構成を備えるように形成してもよい。

この場合、前記二次元フォトニック結晶132を含む導波路の実効屈折率は、該開口部の界面で急激に変化するのではなく、徐々に変化することになる。

これにより、該開口部の界面での該導波路のミスマッチを抑制することができる。このため、前記面発光レーザの特性の向上が期待できる。

また、本実施例では、低屈折率媒質からなる層を堆積することにより形成しているが、上記形成方法に特に限定されるものではなく、例えば、イオン注入により、該低屈折率媒質を形成してもよい。

この場合、図1を参照して、活性層114を形成した後、設定した低屈折率媒質の厚み分の、例えばp型GaNを積層する。

【0033】

次に、本実施例と同様の構成で、面発光レーザ100の発光領域の周辺部に、たとえばボロン(B)を所定の加速電圧および注入量で、イオン注入する。

これにより、該発光領域の周辺部の該p型GaNからなる層の屈折率を減少させることができ、低屈折率媒質の層が形成されることになる。

ここで、イオン注入する原子は、ボロン(B)に特に限定されるものではなく、屈折率を減少させることの出来る、たとえばアルミニウム(A1)であってもよい。

なお、前記イオン注入は、該イオン注入する領域の場所に依らず、一定の条件で行うこと特に限定されるものではなく、該イオン注入の条件を場所によって変化させてもよい。例えば、該イオン注入によって形成された低屈折率媒質からなる周辺部が、中央部側から外周部側に向かうに従って徐々に屈折率が低くなるように、該イオン注入の条件を変化させてよい。

これにより、上記の場所に依らず一定の条件でイオン注入するときと比較して、前記二次元フォトニック結晶132を含む導波路のミスマッチを抑制することができる。

このため、前記面発光レーザの特性の向上が期待できる。

10

20

30

40

50

【0034】

[実施例2]

実施例2では、実施例1と異なり、低屈折率媒質を活性層に対して二次元フォトニック結晶の反対側に配置した、二次元フォトニック結晶面発光レーザについて、図5を用いて説明する。

図5において、500は面発光レーザ、501、502は電極、511は基体およびコンタクト層、512は下部クラッド層、514は活性層、513は二次元フォトニック結晶を含むガイド層である。

532は二次元フォトニック結晶、531はフォトニック結晶周期構造体、521は低屈折率媒質である。

10

【0035】

まず、図1に示す実施例1と同様の構成で、下部クラッド層512まで形成する。次に、n型GaNを用いて、実施例1と同様の製造方法で、二次元フォトニック結晶532を含むn型ガイド層513を形成した後、活性層514を積層する。該活性層514上に、実施例1と同様の製造方法で、開口部を有する低屈折率媒質の層521と、p型GaNからなるp型光ガイド層522と、p型AlGaNからなる電子プロック層523と、をこの順番で積層する。

続いて、実施例1と同様の構成で、p型AlGaNからなるp型クラッド層542と、p型GaNからなるp型コンタクト層543と、n型電極501と、p型電極502と、を形成し、面発光レーザ500が完成する。

20

【0036】

本実施例では、実施例1と比較して、二次元フォトニック結晶532を形成するためのドライエッチング後に、活性層514を形成しているため、ドライエッチングによる該活性層514へのダメージを抑制することが可能となる。

ここで、本実施例における低屈折率媒質521の膜厚は、前記二次元フォトニック結晶532への光閉じ込めが大きくなる20nmが好ましい。

しかし、これに特に限定されるものではなく、25nm未満、すなわち、二次元フォトニック結晶532を含む導波路において導波モードが形成される範囲の膜厚であればよい。また、前記低屈折率媒質521は、低屈折率媒質からなる周辺部が、中央部側から外周部側に向かうに従って徐々に厚くなる層構成を備えるように形成された、実施例1と同様の構成にしてもよい。

30

また、前記低屈折率媒質521は、実施例1と同様の製造方法で、イオン注入によって形成してもよい。

【符号の説明】

【0037】

100：面発光レーザ

101, 102：電極

111：下部コンタクト層

112：下部クラッド層

113：下部光ガイド層

114：活性層

113, 122：光ガイド層

121：低屈折率媒質

123：電子プロック層

131：フォトニック結晶周期構造体

132：二次元フォトニック結晶

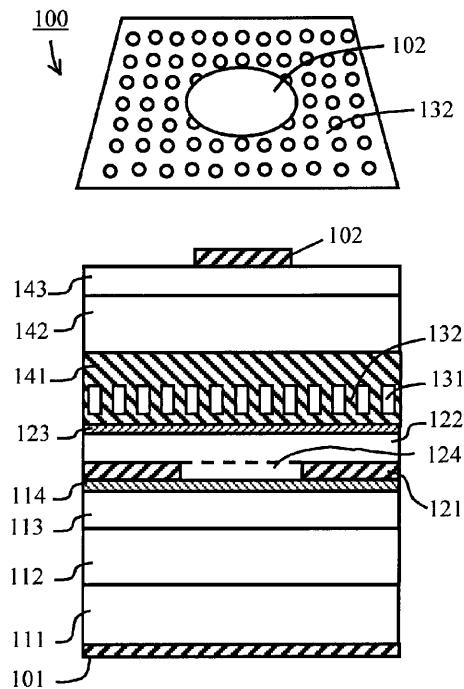
141：二次元フォトニック結晶を含む光ガイド層

142：上部クラッド層

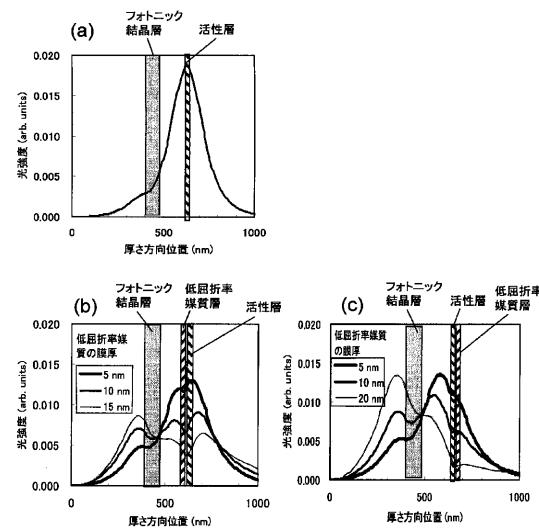
143：上部コンタクト層

40

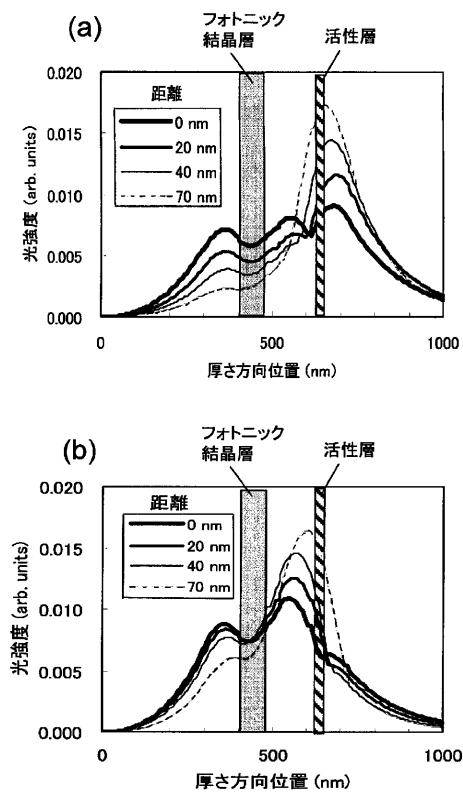
【図1】



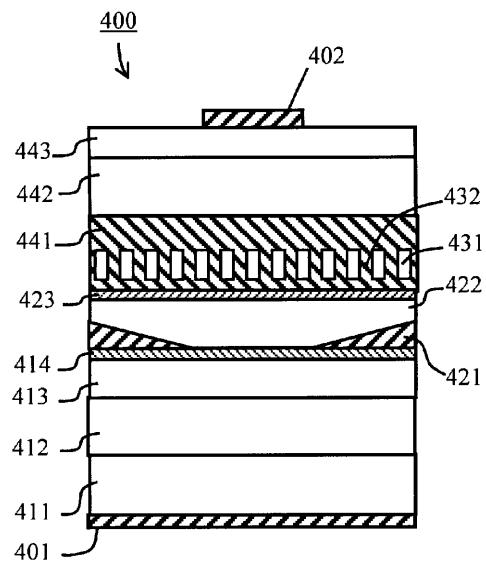
【図2】



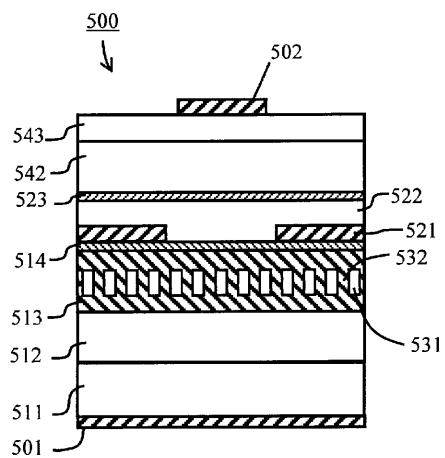
【図3】



【図4】



【図5】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2009-200318(JP,A)
特開2009-188153(JP,A)
特開2006-165255(JP,A)
特開2006-156901(JP,A)
特開2004-063972(JP,A)
特開2008-205278(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01S5/00-5/50