【公報種別】特許法第１７条の２の規定による補正の掲載
【部門区分】第７部門第２区分
【発行日】令和5年12月14日(2023.12.14)

【国際公開番号】WO2022/196394
【出願番号】特願2023-506970(P2023-506970)
【国際特許分類】
Ｈ０１Ｓ　5/11(2021.01)
Ｈ０１Ｓ　5/185(2021.01)
Ｈ０１Ｓ　5/20(2006.01)
【ＦＩ】
Ｈ０１Ｓ　5/11
Ｈ０１Ｓ　5/185
Ｈ０１Ｓ　5/20

【手続補正書】
【提出日】令和5年9月6日(2023.9.6)
【手続補正１】
【補正対象書類名】特許請求の範囲
【補正対象項目名】全文
【補正方法】変更
【補正の内容】
【特許請求の範囲】
【請求項１】
面内方向とは交差する方向に光を出射する発光領域と、
前記面内方向において前記発光領域に隣接し、前記発光領域よりも電流が流れにくい電流狭窄領域と、を具備し、
前記発光領域および前記電流狭窄領域はフォトニック結晶層を有し、
前記フォトニック結晶層は、第１領域と、前記第１領域内において前記面内方向に周期的に配置された第２領域と、を有し、
前記第２領域の屈折率は前記第１領域の屈折率とは異なり、
前記発光領域は、第１の導電型を有する第１半導体層と、光学利得を有する活性層と、第２の導電型を有する第２半導体層と、を有し、
前記光の出射方向において前記第１半導体層、前記活性層および前記第２半導体層は順に積層されているフォトニック結晶面発光レーザ。
【請求項２】
前記電流狭窄領域は、前記第１半導体層と、前記第２の導電型を有する第３半導体層と、前記第１の導電型を有する第４半導体層と、前記第２の導電型を有する第５半導体層と、を有し、
前記第１半導体層と、前記第３半導体層と、前記第４半導体層と、前記第５半導体層とは、前記光の出射方向において順に積層され、サイリスタを形成する請求項１に記載のフォトニック結晶面発光レーザ。
【請求項３】
前記電流狭窄領域は第６半導体層を有し、
前記第６半導体層は絶縁化されている請求項１に記載のフォトニック結晶面発光レーザ。
【請求項４】
前記活性層は前記発光領域および前記電流狭窄領域に設けられている請求項１に記載のフォトニック結晶面発光レーザ。
【請求項５】

前記電流狭窄領域は第７半導体層を有し、
前記第７半導体層は、前記面内方向において前記活性層に隣接し、前記光のエネルギーよりも大きなバンドギャップを有する請求項１に記載のフォトニック結晶面発光レーザ。
【請求項６】
前記面内方向において、前記電流狭窄領域は前記発光領域の周囲全体を囲む請求項１に記載のフォトニック結晶面発光レーザ。
【請求項７】
前記発光領域は、前記第２半導体層の上に積層され、前記第２の導電型を有する第８半導体層を具備し、
前記電流狭窄領域の少なくとも一部は前記第８半導体層から露出する請求項１に記載のフォトニック結晶面発光レーザ。
【請求項８】
前記第８半導体層の上面であって前記発光領域に設けられた第１電極と、
基板の前記第１半導体層が設けられる側とは反対側の面に設けられた第２電極と、を具備し、
前記面内方向において前記第１電極はリング状であり、
前記発光領域のうち前記第１電極に囲まれた部分において前記第８半導体層が露出する請求項７に記載のフォトニック結晶面発光レーザ。
【請求項９】
前記第１半導体層と、前記フォトニック結晶層と、前記活性層と、前記第２半導体層とは順に積層され、
前記フォトニック結晶層と前記活性層との間に設けられ、前記第１の導電型を有する第９半導体層を具備し、
前記フォトニック結晶層は前記第１の導電型を有し、
前記フォトニック結晶層の前記第２領域は空孔であり、
前記空孔の前記活性層側の端部は前記第９半導体層に覆われる請求項１に記載のフォトニック結晶面発光レーザ。
【請求項１０】
面内方向とは交差する方向に光を出射する発光領域を形成する工程と、
前記面内方向において前記発光領域に隣接し、前記発光領域よりも電流が流れにくい電流狭窄領域を形成する工程と、を有し、
前記発光領域を形成する工程および前記電流狭窄領域を形成する工程は、フォトニック結晶層を設ける工程を含み、
前記フォトニック結晶層は、第１領域と、前記第１領域の前記面内方向に周期的に配置された第２領域と、を有し、
前記第２領域の屈折率は前記第１領域の屈折率とは異なり、
前記発光領域を形成する工程は、第１の導電型を有する第１半導体層と、光学利得を有する活性層と、第２の導電型を有する第２半導体層と、を順に積層する工程を含むフォトニック結晶面発光レーザの製造方法。
【手続補正２】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】００１０
【補正方法】変更
【補正の内容】
【００１０】
本開示の一形態は、（１）面内方向とは交差する方向に光を出射する発光領域と、前記面内方向において前記発光領域に隣接し、前記発光領域よりも電流が流れにくい電流狭窄領域と、を具備し、前記発光領域および前記電流狭窄領域はフォトニック結晶層を有し、前記フォトニック結晶層は、第１領域と、前記第１領域内において前記面内方向に周期的に配置された第２領域と、を有し、前記第２領域の屈折率は前記第１領域の屈折率とは異

なり、前記発光領域は、第１の導電型を有する第１半導体層と、光学利得を有する活性層と、第２の導電型を有する第２半導体層と、を有し、前記光の出射方向において前記第１半導体層、前記活性層および前記第２半導体層は順に積層されているフォトニック結晶面発光レーザである。発光領域には電流を注入することができる。一方、電流狭窄領域には電流が流れにくいため、発光領域から電流狭窄領域への電流のリークを抑制することができる。電流のリークの抑制によって、フォトニック結晶面発光レーザの特性を改善することができる。

（２）前記電流狭窄領域は、前記第１半導体層と、前記第２の導電型を有する第３半導体層と、前記第１の導電型を有する第４半導体層と、前記第２の導電型を有する第５半導体層と、を有し、前記第１半導体層と、前記第３半導体層と、前記第４半導体層と、前記第５半導体層とは、前記光の出射方向において順に積層され、サイリスタを形成してもよい。電流狭窄領域にサイリスタが形成されることで、電流が流れにくくなる。発光領域から電流狭窄領域への電流のリークを抑制することができる。

（３）前記電流狭窄領域は第６半導体層を有し、前記第６半導体層は絶縁化されていてもよい。電流狭窄領域が絶縁化された第６半導体層を有することで、電流狭窄領域に電流が流れにくくなる。発光領域から電流狭窄領域への電流のリークを抑制することができる。

（４）前記活性層は前記発光領域および前記電流狭窄領域に設けられてもよい。製造工程を簡略化することができる。

（５）前記電流狭窄領域は第７半導体層を有し、前記第７半導体層は、前記面内方向において前記活性層に隣接し、前記光のエネルギーよりも大きなバンドギャップを有してもよい。電流狭窄領域の光に対する反射率が高くなる。光を発光領域に反射することで、光の損失を抑制することができる。

（６）前記面内方向において、前記電流狭窄領域は前記発光領域の周囲全体を囲んでもよい。発光領域から全方位への電流のリークを抑制することができる。

（７）前記発光領域は、前記第２半導体層の上に積層され、前記第２の導電型を有する第８半導体層を具備し、前記電流狭窄領域の少なくとも一部は前記第８半導体層から露出してもよい。第８半導体層を通じて発光領域に電流を注入することができる。電流狭窄領域の少なくとも一部に第８半導体層が設けられないことで、寄生容量を低減することができる。

（８）前記第８半導体層の上面であって前記発光領域に設けられた第１電極と、前記基板の前記第１半導体層が設けられる側とは反対側の面に設けられた第２電極と、を具備し、前記面内方向において前記第１電極はリング状であり、前記発光領域のうち前記第１電極に囲まれた部分において前記第８半導体層が露出してもよい。第１電極と第２電極とを用いて発光領域に電流を注入することができる。発光領域のうち第１電極に囲まれた部分から光を出射することができる。

（９）前記第１半導体層と、前記フォトニック結晶層と、前記活性層と、前記第２半導体層とは順に積層され、前記フォトニック結晶層と前記活性層との間に設けられ、前記第１の導電型を有する第９半導体層を具備し、前記フォトニック結晶層は前記第１の導電型を有し、前記フォトニック結晶層の前記第２領域は空孔であり、前記空孔の前記活性層側の端部は前記第９半導体層に覆われてもよい。活性層は第９半導体層の上に積層されるため、活性層における窪みなどの発生が抑制される。

（１０）面内方向とは交差する方向に光を出射する発光領域を形成する工程と、前記面内方向において前記発光領域に隣接し、前記発光領域よりも電流が流れにくい電流狭窄領域を形成する工程と、を有し、前記発光領域を形成する工程および前記電流狭窄領域を形成する工程は、フォトニック結晶層を設ける工程を含み、前記フォトニック結晶層は、第１領域と、前記第１領域の前記面内方向に周期的に配置された第２領域と、を有し、前記第２領域の屈折率は前記第１領域の屈折率とは異なり、前記発光領域を形成する工程は、第１の導電型を有する第１半導体層と、光学利得を有する活性層と、第２の導電型を有する第２半導体層と、を順に積層する工程を含むフォトニック結晶面発光レーザの製造方法である。発光領域には電流を注入することができる。一方、電流狭窄領域には電流が流れに

くいため、発光領域から電流狭窄領域への電流のリークを抑制することができる。電流のリークの抑制によって、フォトニック結晶面発光レーザの特性を改善することができる。

【手続補正３】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】００２６
【補正方法】変更
【補正の内容】
【００２６】
上記のように、電流狭窄領域３２にはサイリスタ２３が形成されているため、電流が流れにくい。一方、発光領域３０はＺ軸方向においてｐ－ｉ－ｎ構造を有するため、電流が流れやすい。電流を発光領域３０に選択的に入力し、電流狭窄領域３２への電流のリークを抑制することができる。電流のリークの抑制により、フォトニック結晶面発光レーザ１００の特性を改善することが可能である。

【手続補正４】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】００２９
【補正方法】変更
【補正の内容】
【００２９】
図３Ａおよび図３Ｂに示すように、例えばプラズマＣＶＤ法（Ｃｈｅｍｉｃａｌ Ｖａｐｏｒ Ｄｅｐｏｓｉｔｉｏｎ、化学気相成長法）により、フォトニック結晶層１２の上面に酸化シリコン（SiO_2）の絶縁膜４０を形成する。絶縁膜４０の上面にフォトレジストを塗布し、電子ビームなどを用いたリソグラフィによりパターニングを行う。ドライエッチングなどによりレジストパターンを絶縁膜４０に転写する。転写されるパターンは複数の空孔１３に対応したものである。絶縁膜４０をマスクとしてドライエッチングを行い、フォトニック結晶層１２に複数の空孔１３を形成する。複数の空孔１３の配置は光の波長などに応じて調整することができる。例えば１．３μｍの発振波長に対応した配置とする。エッチングガスとしては例えばメタン（CH_4）、四塩化ケイ素（$SiCl_4$）、塩素（Cl_2）、ヨウ化水素（ＨＩ）など、ＩｎＰおよびＩｎＧａＡｓＰを加工できるガスを用いる。空孔１３を形成した後、絶縁膜４０は除去する。

【手続補正５】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】００３４
【補正方法】変更
【補正の内容】
【００３４】
図８Ａおよび図８Ｂに示すように、例えばＭＯＶＰＥ法などにより、発光領域３０のクラッド層１８の上面、および電流狭窄領域３２の埋込層２０の上面に、クラッド層２２をエピタキシャル成長する。図８Ｂに示すように、クラッド層１８と埋込層２０との間の段差はクラッド層２２によって埋め込まれ、クラッド層２２の上面は平坦な面となる。電流狭窄領域３２において、ｎ型の基板１０、ｎ型のフォトニック結晶層１２およびｎ型のクラッド層１４、ｐ型のクラッド層１８、ｎ型の埋込層２０、およびｐ型のクラッド層２２が積層され、サイリスタ２３を形成する。発光領域３０においては、ｎ型の基板１０、ｎ型のフォトニック結晶層１２およびｎ型のクラッド層１４、ＭＱＷ構造の活性層１６、ｐ型のクラッド層１８およびｐ型のクラッド層２２が積層され、ｐ－ｉ－ｎ構造が形成される。

【手続補正６】
【補正対象書類名】明細書
【補正対象項目名】００５５
【補正方法】変更

【補正の内容】
【００５５】
図１４に示すように、電流狭窄領域３２のクラッド層１４とクラッド層１８との間に活性層１６が設けられておらず、パッシブ層５０（第７半導体層）が設けられている。パッシブ層５０はＸＹ平面内において活性層１６に隣接し、活性層１６の周囲全体を囲む。パッシブ層５０は例えばＩｎＧａＡｓＰなど混晶半導体で形成され、光学利得を有さない。パッシブ層５０の厚さは例えば活性層１６の厚さに等しくてもよいし、異なってもよい。パッシブ層５０の等価屈折率は例えば活性層１６の等価屈折率に等しくてもよいし、異なってもよい。例えば反射率の低下など光学的に悪影響がなければよい。活性層１６の光学利得がピークを示す波長に比べて、パッシブ層５０のＰＬ（Ｐｈｏｔｏｌｕｍｉｎｅｓｃｅｎｃｅ）波長は５０ｎｍ以上小さい。このためパッシブ層５０は光を吸収しにくい。