

(51)Int.Cl.

H 0 1 S 5/187 (2006.01)

F I

H 0 1 S 5/187

請求項の数5 (全9頁)

(21)出願番号 特願2002-71086(P2002-71086)
 (22)出願日 平成14年3月14日(2002.3.14)
 (65)公開番号 特開2003-273455(P2003-273455A)
 (43)公開日 平成15年9月26日(2003.9.26)
 審査請求日 平成15年7月3日(2003.7.3)

(73)特許権者 503360115
 独立行政法人科学技術振興機構
 埼玉県川口市本町4丁目1番8号
 (74)代理人 100091432
 弁理士 森下 武一
 (72)発明者 野田 進
 京都府宇治市五ヶ庄京大宿舍231
 (72)発明者 横山 光
 大阪府大阪市中央区安土町二丁目3番13号 大阪国際ビル ミノルタ株式会社内
 (72)発明者 関根 孝二郎
 大阪府大阪市中央区安土町二丁目3番13号 大阪国際ビル ミノルタ株式会社内

審査官 松崎 義邦

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 2次元フォトリソニック結晶面発光レーザ及びその製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

キャリアの注入により発光する活性層をクラッド層で挟み込み、該クラッド層又は該活性層に2次元的に屈折率周期を配置したフォトリソニック結晶周期構造体を備えた2次元フォトリソニック結晶面発光レーザにおいて、
 前記フォトリソニック結晶周期構造体の結晶面に対する断面形状の幅が主たる発光方向に沿って漸減していること、
 を特徴とする2次元フォトリソニック結晶面発光レーザ。

【請求項2】

フォトリソニック結晶周期構造体の前記断面形状が三角形に近似した多段形状であることを特徴とする請求項1記載の2次元フォトリソニック結晶面発光レーザ。

【請求項3】

フォトリソニック結晶周期構造体が断面ほぼ三角形体を重ね合わせた井桁構造であることを特徴とする請求項1記載の2次元フォトリソニック結晶面発光レーザ。

【請求項4】

請求項1記載の2次元フォトリソニック結晶面発光レーザの製造方法であって、フォトリソニック結晶周期構造体を結晶面に対する垂直方向の断面形状を段差を有するほぼ三角形にフォトリソグラフィ法で加工した際、マストラנסポート効果によって段差部を消滅させて傾斜面を形成することを特徴とする2次元フォトリソニック結晶面発光レーザの製造方法。

【請求項5】

10

20

請求項 3 記載の 2 次元フォトリソグラフィ法で多段に加工した際、マスクトランスポート効果によって段差部を消滅させて傾斜面を形成することを特徴とする 2 次元フォトリソグラフィ法の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【 0 0 0 1 】

【発明の属する技術分野】

本発明は、2次元フォトリソグラフィ法及びその製造方法、特に、キャリアの注入により発光する活性層又はその近傍に、2次元的に屈折率周期を配置したフォトリソグラフィ法で多段に加工した際、マスクトランスポート効果によって段差部を消滅させて傾斜面を形成することを特徴とする 2次元フォトリソグラフィ法の製造方法に関する。 10

【 0 0 0 2 】

【従来の技術】

従来、基板面から垂直方向にレーザー光を出射する面発光レーザーが種々開発、研究されている。面発光レーザーは同一基板上に多数の素子を集積（アレイ化）でき、各素子からコヒーレントな光が並列的に出射されるため、並列光ピックアップ、並列光伝送、光並列情報処理の分野での用途が期待されている。

【 0 0 0 3 】

この種の面発光レーザーとして、フォトリソグラフィ法を利用した 2次元フォトリソグラフィ法で多段に加工した際、マスクトランスポート効果によって段差部を消滅させて傾斜面を形成することを特徴とする 2次元フォトリソグラフィ法の製造方法に関する。 20

【 0 0 0 4 】

前記公報記載の 2次元フォトリソグラフィ法及びその製造方法は、キャリアの注入により発光する活性層の近傍に、2次元的に屈折率周期を配置したフォトリソグラフィ法で多段に加工した際、マスクトランスポート効果によって段差部を消滅させて傾斜面を形成することを特徴とする 2次元フォトリソグラフィ法の製造方法に関する。

【 0 0 0 5 】

具体的には、図 8 に示すように、この 2次元フォトリソグラフィ法及びその製造方法は、概略 30

【 0 0 0 6 】

基板 11 は、例えば、n 型 InP の半導体材料からなる。下部クラッド層 12 及び上部クラッド層 14 は、例えば、それぞれ n 型及び p 型 InP の半導体層であり、活性層 13 よりも屈折率が低い。2次元フォトリソグラフィ法で多段に加工した際、マスクトランスポート効果によって段差部を消滅させて傾斜面を形成することを特徴とする 2次元フォトリソグラフィ法の製造方法に関する。 40

【 0 0 0 7 】

下部クラッド層 12 及び上部クラッド層 14 により活性層 13 を挟んでダブルヘテロ接合を形成し、キャリアを閉じこめて発光に寄与するキャリアを活性層 13 に集中させるようになっている。

【 0 0 0 8 】

基板 11 の底面及び上部クラッド層 14 の上面には金等からなる下部電極 16 及び上部電極 17 が形成されている。電極 16, 17 間に電圧を印加することにより活性層 13 が発光し、該活性層 13 から漏れた光が 2次元フォトリソグラフィ法で多段に加工した際、マスクトランスポート効果によって段差部を消滅させて傾斜面を形成することを特徴とする 2次元フォトリソグラフィ法の製造方法に関する。 50

る発光領域 18) からコヒーレントな光が面発光される。

【 0 0 0 9 】

ここで、図 9 に示すような正方格子からなる 2 次元フォトニック結晶 20 について共振作用を説明する。なお、格子形状は正方格子に限らず、三角格子等であってもよい。

【 0 0 1 0 】

2 次元フォトニック結晶 20 は、第 1 媒質 12 内に空孔等の第 2 媒質 21 と直交する 2 方向に同じ周期で形成した正方格子からなっている。正方格子は Γ - X 方向と Γ - M 方向の代表的な方向を有している。 Γ - X 方向に隣接する第 2 媒質 21 の間隔を a とすると、第 2 媒質 21 を格子点とした一辺が a の正方形からなる基本格子 E が形成されている。

【 0 0 1 1 】

波長 λ が基本格子 E の格子間隔 a に一致する光 L が Γ - X 方向に進行すると、光 L は格子点で 2 次回折される。このうち、光 L の進行方向に対して 0° 、 $\pm 90^\circ$ 、 180° の方向に回折された光のみがブラッグ条件を満たす。さらに、 0° 、 $\pm 90^\circ$ 、 180° の方向に回折された光の進行方向にも格子点が存在するため、回折光は再度進行方向に対して 0° 、 $\pm 90^\circ$ 、 180° 方向に回折する。

【 0 0 1 2 】

光 L が 1 回又は複数回の 2 次回折を繰り返すと、回折光が元の格子点に戻るため共振作用が生じる。また、紙面に垂直な方向に 1 次回折された光もブラッグ条件を満たす。このため、共振によって増幅された光が上部クラッド層 14 を介して出射され、面発光機能を有することになる。また、全ての格子点でこの現象が生じるため、面内全域でコヒーレントなレーザ発振が可能である。

【 0 0 1 3 】

【 発明が解決しようとする課題 】

ところで、前記 2 次元フォトニック結晶面発光レーザにおいて、周期構造体 21 は円柱状、楕円柱状あるいは四角柱状に形成されており、図 10 に示すように、結晶面に対する垂直方向の断面形状は四角形状になっている。

【 0 0 1 4 】

このように、周期構造体 21 の垂直断面形状が四角形であると、1 次回折による光は上方への出射光 L1 と下方への出射光 L2 に同じ強度 (50% 及び 50%) で分かれる。レーザ光として使用される光は出射光 L1, L2 のいずれか一方であり、光の利用効率が低いという問題点を有していた。

【 0 0 1 5 】

そこで、本発明の目的は、面発光される光の利用効率を 50% 以上に高めることのできる 2 次元フォトニック結晶面発光レーザ及びその製造方法を提供することにある。

【 0 0 1 6 】

【 発明の構成、作用及び効果 】

以上の目的を達成するため、本発明に係る 2 次元フォトニック結晶面発光レーザは、キャリアの注入により発光する活性層をクラッド層で挟み込み、該クラッド層又は該活性層に 2 次元的に屈折率周期を配置したフォトニック結晶周期構造体を備えた 2 次元フォトニック結晶面発光レーザにおいて、前記フォトニック結晶周期構造体の結晶面に対する断面形状の幅が主たる発光方向に沿って漸減していることを特徴とする。

【 0 0 1 7 】

この 2 次元フォトニック結晶面発光レーザにあつては、フォトニック結晶周期構造体の前記断面形状が三角形状に近似した多段形状であってもよい。また、フォトニック結晶周期構造体が断面ほぼ三角形状体を重ね合わせた井桁構造であってもよい。

【 0 0 1 8 】

本発明に係る 2 次元フォトニック結晶面発光レーザにおいては、活性層から漏れた光がフォトニック結晶の周期構造体によって 2 次回折 (共振) して増幅され、1 次回折によってクラッド層から面発光する。周期構造体は垂直方向の断面形状の幅が主たる発光方向に沿って漸減しているため、底辺方向への 1 次回折が抑えられてほぼ三角形状の頂点方向へよ

10

20

30

40

50

り多く 1 次回折される。従って、頂点方向に 1 次回折される光を面発光として利用することにより、50%以上の光利用効率を得ることができる。

【0019】

一方、前記 2 次元フォトニック結晶面発光レーザは、フォトニック結晶周期構造体を結晶面に対する垂直方向の断面形状を段差を有するほぼ三角形状にフォトリソグラフィ法で加工した際、マストランスポート効果によって段差部を消滅させて傾斜面を形成することにより製造することができる。

【0020】

また、フォトニック結晶周期構造体を断面ほぼ三角形状体を重ね合わせた井桁構造とした 2 次元フォトニック結晶面発光レーザは、フォトニック結晶周期構造体を構成する三角形状体をフォトリソグラフィ法で多段に加工した際、マストランスポート効果によって段差部を消滅させて傾斜面を形成することにより製造することができる。

10

【0021】

【発明の実施の形態】

以下、本発明に係る 2 次元フォトニック結晶面発光レーザ及びその製造方法の実施形態について、添付図面を参照して説明する。

【0022】

(第 1 実施形態、図 1 参照)

本発明に係る 2 次元フォトニック結晶面発光レーザの第 1 実施形態は、図 1 にその要部断面を示すように、フォトニック結晶周期構造体 21a の結晶面に対する垂直方向の断面形状を三角形状としたものであり、周期構造体 21a は下部クラッド層 12 に形成されている。その他の構成は図 8 に示した 2 次元フォトニック結晶面発光レーザ 10 と基本的構成を同じくし、同種の材料を用いて製作され、同様の共振作用によって面発光する。

20

【0023】

図 8 に示した周期構造体 21 は円柱形状、楕円形状、四角柱形状からなる。本第 1 実施形態での周期構造体 21a はそれらの形状に対応した円錐形状、楕円錐形状、四角錐形状である。2 次回折は従来の周期構造体 21 と同様に発生するが、周期構造体 21 (三角形状) の底辺方向への 1 次回折光 L2 の発生が抑えられ、三角形状の頂点方向へより多くの 1 次回折光 L1 が出射される。これにて、光の利用効率が向上することになる。

【0024】

(第 2 実施形態、図 2 参照)

本発明に係る 2 次元フォトニック結晶面発光レーザの第 2 実施形態は、図 2 にその要部断面を示すように、フォトニック結晶周期構造体 21b の結晶面に対する垂直方向の断面形状を三角形状に近似した 3 段形状としたものであり、周期構造体 21b は下部クラッド層 12 に形成されている。その他の構成は図 8 に示した 2 次元フォトニック結晶面発光レーザ 10 と基本的構成を同じくし、同種の材料を用いて製作され、同様の共振作用によって面発光する。

30

【0025】

本第 2 実施形態での周期構造体 21b も円錐形状、楕円錐形状、四角錐形状の 3 段ピラミッド形状である。前記第 1 実施形態と比較すると、1 次回折光 L2 が若干多くなり、面発光して利用される 1 次回折光 L1 の利用効率が若干低下するが、従来の垂直断面が四角形状の周期構造体 21 と比べると光の利用効率は向上している。

40

【0026】

(第 3 実施形態、図 3 参照)

本発明に係る 2 次元フォトニック結晶面発光レーザの第 3 実施形態は、図 3 にその要部断面を示すように、フォトニック結晶周期構造体 21c の結晶面に対する垂直方向の断面形状を三角形状に近似した 2 段形状としたものであり、周期構造体 21c は下部クラッド層 12 に形成されている。その他の構成は図 8 に示した 2 次元フォトニック結晶面発光レーザ 10 と基本的構成を同じくし、同種の材料を用いて製作され、同様の共振作用によって面発光する。

50

【 0 0 2 7 】

本第 3 実施形態での周期構造体 2 1 c も円錐形状、楕円錐形状、四角錐形状の 2 段ピラミッド形状であり、前記第 2 実施形態の変形例としても位置づけられる。第 2 実施形態と比較すると、1 次回折光 L 2 が若干多くなり、面発光して利用される 1 次回折光 L 1 の利用効率が若干低下するが、従来の垂直断面が四角形の周期構造体 2 1 と比べると利用効率は向上している。

【 0 0 2 8 】

(製造方法、図 4、図 5 参照)

ここで、前記第 2 実施形態で示した 2 次元フォトニック結晶面発光レーザの製造方法について、その要部であるフォトニック結晶周期構造体 2 1 b の加工工程 (フォトリソグラフィ法あるいは電子ビームリソグラフィ法等) を説明する。なお、下部クラッド層、活性層、上部クラッド層を形成する工程は従来と同様である。

【 0 0 2 9 】

まず、下部クラッド層 1 2 b 上にレジスト 3 1 を塗布し (図 4 (A) 参照)、該レジスト 3 1 をパターニングした後 (図 4 (B) 参照)、下部クラッド層 1 2 b を所定量エッチング処理する (図 4 (C) 参照)。

【 0 0 3 0 】

次に、レジスト 3 1 を除去し、新たなレジスト 3 1 を塗布し (図 4 (D) 参照)、該レジスト 3 1 をパターニングすると共にさらに所定量エッチング処理する (図 4 (E) 参照)。

【 0 0 3 1 】

次に、レジスト 3 1 を除去し、新たなレジスト 3 1 を塗布し (図 4 (F) 参照)、該レジスト 3 1 をパターニングすると共にさらに所定量エッチング処理し (図 4 (G) 参照)、レジスト 3 1 を除去する (図 4 (H) 参照)。これにて、下部クラッド層 1 2 b に 3 段ピラミッド形状のフォトニック結晶周期構造体 2 1 b が形成されたことになる。

【 0 0 3 2 】

その後、下部クラッド層 1 2 b を表裏反転させ (図 5 (A) 参照)、基板 1 1 上に積層されている下部クラッド層 1 2 a 上に下部クラッド層 1 2 b を融着させる (図 5 (B) 参照)。完成した状態は図 5 (C) に示すとおりである。なお、下部クラッド層 1 2 b には活性層 1 3 及び上部クラッド層 1 4 が予め積層されている。また、その後、図 8 に示したように、基板 1 1 の下面に下部電極 1 6 が設けられ、上部クラッド層 1 4 の上面に上部電極 1 7 が設けられる。

【 0 0 3 3 】

また、下部クラッド層 1 2 b をフォトリソグラフィ法で加工した際、周知のマストランスポート効果によって段差部を消滅させて傾斜面を形成すると、前記第 1 実施形態で示した垂直断面が三角形状の周期構造体 2 1 a を形成することができる。

【 0 0 3 4 】

InP、InGaAs、InGaP、InAs、GaAs、GaP、AlGaAs 等の III-V 族半導体は、水素ガス、窒素ガスあるいは希ガスの雰囲気中で、450 以上 30 分以上の熱処理を加えることで強くマストランスポートが生じる。この条件は以下に説明する第 4 実施形態での傾斜面の形成工程でもほぼ同様である。

【 0 0 3 5 】

(第 4 実施形態、図 6、図 7 参照)

本発明に係る 2 次元フォトニック結晶面発光レーザの第 4 実施形態は、図 6 に示すように、下部クラッド層 1 2 a、1 2 b の対向面に互いに直交する方向に形成した断面三角形状の陸部 2 2 a、2 3 a 及び溝部 2 2 b、2 3 b によって井桁構造の 2 次元フォトニック結晶 2 0 を構成したものである。その他の構成は図 8 に示した 2 次元フォトニック結晶面発光レーザ 1 0 と基本的構成を同じくし、同種の材料を用いて製作される。従って、図 6 において図 8 と同じ部材には同じ符号が付されている。

【 0 0 3 6 】

陸部 2 2 a , 2 3 a 及び溝部 2 2 b , 2 3 b が接合されることにより、井桁構造の 2 次元フォトニック結晶 2 0 が形成される。図 7 はこの 2 次元フォトニック結晶 2 0 を示す平面図であり、陸部 2 2 a , 2 3 a 及び溝部 2 2 b , 2 3 b の重なり状態の異なる、即ち屈折率がそれぞれ異なる 2 次元の周期構造体 2 1 d , 2 1 e , 2 1 f , 2 1 g (それぞれ斜線を付して示す) が市松模様状に密集して配列されている。

【 0 0 3 7 】

このような 2 次元の周期構造体によって光が 2 次回折して共振し、1 次回折によって面発光する。この 1 次回折において、図 6 に示すように、1 次回折光 L 2 の発生が抑えられ、より多くの 1 次回折光 L 1 が出射され、光の利用効率が向上する。

【 0 0 3 8 】

井桁を構成する断面三角形形状体は、図 4 に示したフォトリソグラフィ法で多段に加工した際、マストランスポート効果によって段差部を消滅させて傾斜面を形成すればよい。

【 0 0 3 9 】

(他の実施形態)

なお、本発明に係る 2 次元フォトニック結晶面発光レーザ及びその製造方法は前記実施形態に限定するものではなく、その要旨の範囲内で種々に変更することができる。

【 0 0 4 0 】

特に、半導体層、フォトニック結晶、電極の材料や、光の偏光を揃えるための構造、格子形状等は任意である。また、前記各実施形態では、フォトニック結晶周期構造体を下部クラッド層に設けた例を示したが、上部クラッド層内の活性層近傍もしくは活性層内に設けてもよい。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の第 1 実施形態である 2 次元フォトニック結晶面発光レーザの要部を示す断面図。

【図 2】本発明の第 2 実施形態である 2 次元フォトニック結晶面発光レーザの要部を示す断面図。

【図 3】本発明の第 3 実施形態である 2 次元フォトニック結晶面発光レーザの要部を示す断面図。

【図 4】前記第 2 実施形態でのフォトニック結晶周期構造体の加工工程を示す説明図。

【図 5】前記第 2 実施形態でのフォトニック結晶周期構造体の加工工程を示す説明図、図 4 の続き。

【図 6】本発明の第 4 実施形態である 2 次元フォトニック結晶面発光レーザを示す斜視図。

【図 7】前記第 4 実施形態での 2 次元フォトニック結晶を示す説明図。

【図 8】本発明に先行する 2 次元フォトニック結晶面発光レーザを示す斜視図。

【図 9】2 次元フォトニック結晶面発光レーザの共振作用を示す説明図。

【図 10】図 8 に示した面発光レーザでのフォトニック結晶周期構造体を示す断面図。

【符号の説明】

1 0 ... 2 次元フォトニック結晶面発光レーザ

1 1 ... 基板

1 2 ... 下部クラッド層

1 3 ... 活性層

1 4 ... 上部クラッド層

2 0 ... 2 次元フォトニック結晶

2 1 a ~ 2 1 g ... フォトニック結晶周期構造体

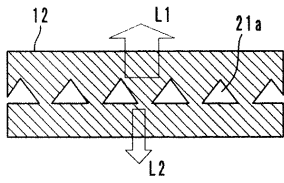
10

20

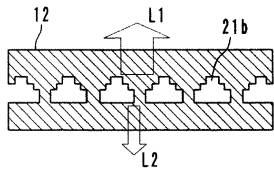
30

40

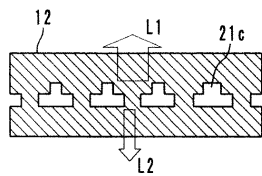
【 図 1 】



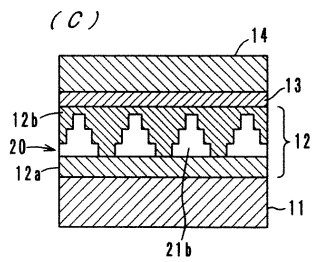
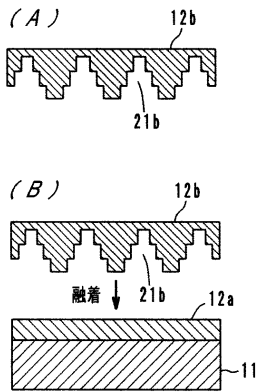
【 図 2 】



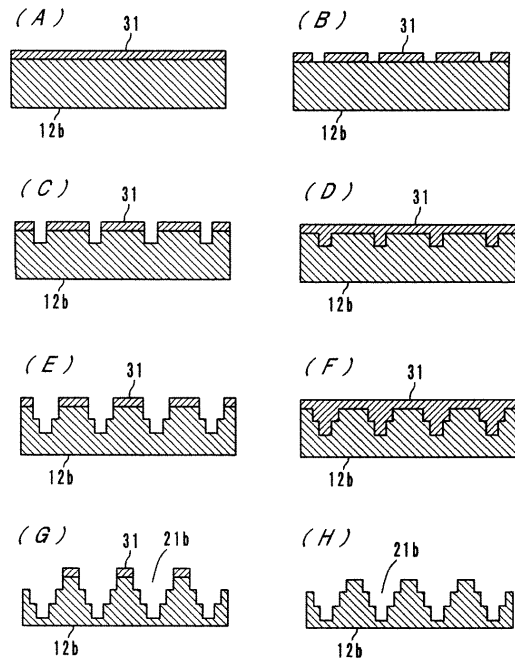
【 図 3 】



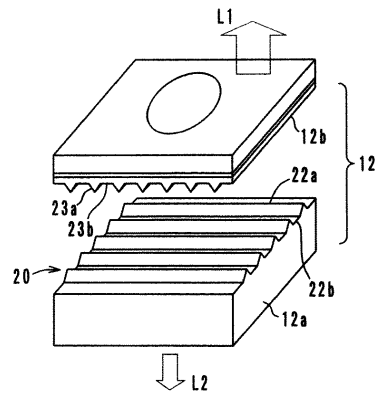
【 図 5 】



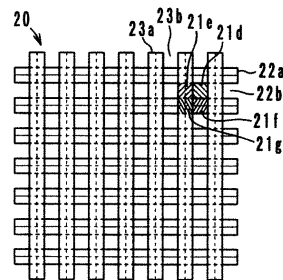
【 図 4 】



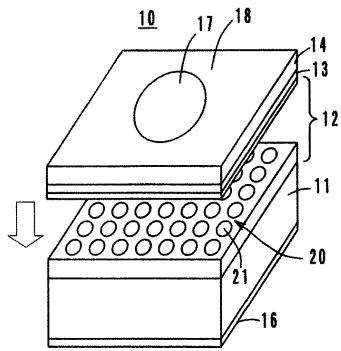
【 図 6 】



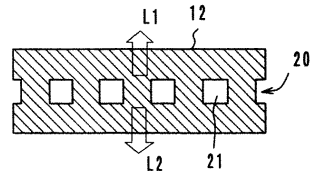
【 図 7 】



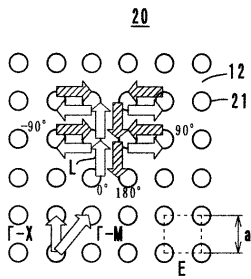
【 図 8 】



【 図 1 0 】



【 図 9 】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平10 - 335758 (JP, A)
特開2000 - 332351 (JP, A)
特開平10 - 022523 (JP, A)
特開2003 - 273454 (JP, A)
特開2003 - 273456 (JP, A)
特開2001 - 249235 (JP, A)
特開2002 - 084037 (JP, A)
特開2001 - 296442 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01S5/00-5/50
JST7580(JDream2)
JSTPlus(JDream2)