

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5794687号
(P5794687)

(45) 発行日 平成27年10月14日(2015.10.14)

(24) 登録日 平成27年8月21日(2015.8.21)

(51) Int.Cl.

H01S 5/18 (2006.01)

F 1

H01S 5/18

請求項の数 7 (全 21 頁)

(21) 出願番号 特願2011-177292 (P2011-177292)
 (22) 出願日 平成23年8月12日 (2011.8.12)
 (65) 公開番号 特開2013-41948 (P2013-41948A)
 (43) 公開日 平成25年2月28日 (2013.2.28)
 審査請求日 平成26年3月31日 (2014.3.31)

(73) 特許権者 504132272
 国立大学法人京都大学
 京都府京都市左京区吉田本町36番地1
 (73) 特許権者 000116024
 ローム株式会社
 京都府京都市右京区西院溝崎町21番地
 (74) 代理人 110001069
 特許業務法人京都国際特許事務所
 (72) 発明者 野田 進
 京都市西京区京都大学桂 国立大学法人京都大学大学院工学研究科内
 (72) 発明者 岩橋 清太
 京都市西京区京都大学桂 国立大学法人京都大学大学院工学研究科内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】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】

活性層と、

板状のスラブに該スラブと屈折率の異なる異屈折率領域が、両対角線が互いに平行であつて、一方の対角線についてのみ長さが異なる第1の菱形状格子と第2の菱形状格子の各格子点上に形成されたフォトニック結晶層と、

を有し、前記第1の菱形状格子の前記一方の対角線の長さ及び他方の対角線の長さをそれぞれ a_{x1} , a_y 、前記第2の菱形状格子の前記一方の対角線の長さ及び他方の対角線の長さをそれぞれ a_{x2} ($a_{x2} > a_{x1}$), a_y 、前記フォトニック結晶層に垂直な方向における該フォトニック結晶層の等価屈折率を n としたとき、 a_{x1} , a_{x2} , a_y , n が以下の不等式

【数1】

$$\frac{\left| \frac{1}{a_{x1}} - \frac{1}{a_{x2}} \right|}{\sqrt{\left(\frac{1}{a_{x1}} + \frac{1}{a_{x2}} \right)^2 + \left(\frac{2}{a_y} \right)^2}} \leq \frac{1}{n}$$

を満たすことを特徴とするフォトニック結晶面発光レーザ。

【請求項 2】

 a_{x1} , a_{x2} , a_y が以下の式

10

20

【数3】

$$a_{x1} = \frac{1}{\sqrt{3}r}a_y, \quad a_{x2} = \frac{r}{\sqrt{3}}a_y, \quad r > 1$$

を満たすことを特徴とする請求項1に記載のフォトニック結晶面発光レーザ。

【請求項3】

前記第1の菱形状格子及び/又は前記第2の菱形状格子における前記一方の対角線の長さが、該一方の対角線が延びる方向の位置によって異なり、

前記活性層の一部にのみ電流を注入し、該方向に関する該電流の注入位置を変更することが可能である電流注入手段を備える、

ことを特徴とする請求項1に記載のフォトニック結晶面発光レーザ。

【請求項4】

前記第1の菱形状格子及び/又は前記第2の菱形状格子が、前記一方の対角線の長さがそれぞれ異なる複数の異周期領域を有することを特徴とする請求項3に記載のフォトニック結晶面発光レーザ。

【請求項5】

前記第1の菱形状格子又は前記第2の菱形状格子の、前記一方の対角線の長さが連続的に異なることを特徴とする請求項3に記載のフォトニック結晶面発光レーザ。

【請求項6】

前記第1の菱形状格子及び/又は前記第2の菱形状格子における前記一方の対角線の長さ及び前記他方の対角線の長さが、該一方の対角線及び該他方の対角線のそれぞれの延びる方向の位置によって異なる複数の異周期領域と、

前記活性層の一部にのみ電流を注入し、該電流の注入位置を変更することが可能である電流注入手段と、

を備えることを特徴とする請求項1に記載のフォトニック結晶面発光レーザ。

【請求項7】

前記異周期領域毎の前記第1の菱形状格子の前記一方の対角線の長さ及び他方の対角線の長さをそれぞれ a_{x1s} , a_{ys} 、前記第2の菱形状格子の前記一方の対角線の長さ及び他方の対角線の長さをそれぞれ a_{x2s} ($a_{x2s} > a_{x1s}$), a_{ys} 、外部に出射されたビームの出射角と波長をそれぞれ θ_s としたとき、以下の式

【数4】

$$a_{x1s} = \frac{1}{\sqrt{3}r_s}a_{ys}, \quad a_{x2s} = \frac{r_s}{\sqrt{3}}a_{ys}, \quad r_s > 1$$

$$a_{ys} = \frac{\lambda}{n} \sqrt{\frac{1}{1 - \left(\frac{\sin \theta_s}{n}\right)^2}}$$

$$r_s = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{\frac{\sin^2 \theta_s}{n^2 - \sin^2 \theta_s}} + \sqrt{\frac{4}{3} \frac{\sin^2 \theta_s}{n^2 - \sin^2 \theta_s} + 1}$$

を満たすことを特徴とする請求項6に記載の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、フォトニック結晶面発光レーザに関し、より詳しくは、出射面に垂直な方向からレーザビームを傾斜させて出射するフォトニック結晶面発光レーザに関する。

【背景技術】

10

20

30

40

50

【0002】

半導体レーザは小型、安価、低消費電力、長寿命等の多くの利点を有し、光記録用光源、通信用光源、レーザディスプレイ、レーザプリンタ、レーザポインタ等の幅広い分野で使用されている。レーザディスプレイやレーザプリンタでは走査方式が一般的であるが、現在用いられている半導体レーザのレーザビームの走査は、多角形形状反射鏡やMEMS (Micro-Electro Mechanical System) マイクロミラー、音響光学素子を用いたものなど、外部に設けた付加的な要素によりレーザビームの出射方向を制御することによって実現されている。しかしながら、このように半導体レーザに走査のための機構を付加すると、小型化や動作速度、耐久性の向上が困難になるという問題がある。

【0003】

10

このような観点に基づき、本発明者は特許文献1において、出射方向が可変であるフォトニック結晶面発光レーザを提供している。特許文献1で使用するフォトニック結晶面発光レーザは、周期の異なる2つのフォトニック結晶層を複合させたものである。このフォトニック結晶面発光レーザでは、2つのフォトニック結晶層の各々で形成される光の定在波の周波数差により空間的なうなりが生じることを利用して、出射面に対して斜め方向にレーザビーム（以下、「傾斜ビーム」と呼ぶ）を出射させる。この周波数差が大きくなるほど、出射されるレーザビームの出射角（傾斜角）は大きくなる。

【0004】

特許文献1の出射方向可変フォトニック結晶面発光レーザは、この周波数差に起因する出射角の変化を利用したものである。この出射方向可変フォトニック結晶面発光レーザでは、一方のフォトニック結晶層の異屈折率領域の周期が固定され、もう一方のフォトニック結晶層の異屈折率領域の周期が層内の位置に応じて異なっている。このような構造を取ることにより、レーザ発振させる位置によって出射角の異なる傾斜ビームを出射させることが可能となる。

20

【0005】

このように半導体レーザ自体に出射方向の制御機能を附加することにより、小型化や動作速度、耐久性の向上が可能になる。これによって、携帯機器内蔵レーザディスプレイや、チップ間光インターフェクションなど新しい応用分野の創出が期待される。

【先行技術文献】

30

【特許文献】**【0006】****【特許文献1】特開2009-076900号公報****【発明の概要】****【発明が解決しようとする課題】****【0007】**

特許文献1では、2つのフォトニック結晶の格子配列に、正方格子と長方格子又は周期の異なる2つの長方格子を用いることを記載している。しかしながら、その後の研究によつてこれらの格子配列の組み合わせでは、30°以上に設計すると、意図しないモードの光が出射することが判明した。また、30°以下の出射角で設計した場合でもレーザ発振の閾値が高く、高い電圧の印加が必要であった。

40

【0008】

本発明が解決しようとする課題は、傾斜ビームの出射角が30°以上になるように設計しても、設計通りに出射方向を傾けることができると共に、低閾値で安定してレーザ発振することのできるフォトニック結晶面発光レーザを提供することである。

【課題を解決するための手段】**【0009】**

上記課題を解決するために成された第一発明は、

活性層と、

板状のスラブに該スラブと屈折率の異なる異屈折率領域が、両対角線が互いに平行であつて、一方の対角線についてのみ長さが異なる第1の菱形状格子と第2の菱形状格子の各

50

格子点上に形成されたフォトニック結晶層と、

を有し、前記第1の菱形状格子の前記一方の対角線の長さ及び他方の対角線の長さをそれぞれ a_{x1} , a_y 、前記第2の菱形状格子の前記一方の対角線の長さ及び他方の対角線の長さをそれぞれ a_{x2} ($a_{x2} > a_{x1}$), a_y 、前記フォトニック結晶層に垂直な方向における該フォトニック結晶層の等価屈折率を n としたとき、 a_{x1} , a_{x2} , a_y , n が以下の不等式

【数1】

$$\frac{\left| \frac{1}{a_{x1}} - \frac{1}{a_{x2}} \right|}{\sqrt{\left(\frac{1}{a_{x1}} + \frac{1}{a_{x2}} \right)^2 + \left(\frac{2}{a_y} \right)^2}} \leq \frac{1}{n}$$

10

を満たすことを特徴とする。

【0010】

また、上記課題を解決するために成された第二発明は、

活性層と、

板状のスラブに該スラブと屈折率の異なる異屈折率領域が第1の菱形状格子の格子点上に形成された第1フォトニック結晶層と、

板状のスラブに異屈折率領域が、第1の菱形状格子と両対角線が平行であって、一方の対角線のみ長さが異なる第2の菱形状格子の格子点上に形成された第2フォトニック結晶層と、

20

を有し、前記第1の菱形状格子の前記一方の対角線の長さ及び他方の対角線の長さをそれぞれ a_{x1} , a_y 、前記第2の菱形状格子の前記一方の対角線の長さ及び他方の対角線の長さをそれぞれ a_{x2} ($a_{x2} > a_{x1}$), a_y 、前記第1フォトニック結晶層及び前記第2フォトニック結晶層に垂直な方向における該第1フォトニック結晶層及び該第2フォトニック結晶層の等価屈折率を n としたとき、 a_{x1} , a_{x2} , a_y , n が以下の不等式

【数2】

$$\frac{\left| \frac{1}{a_{x1}} - \frac{1}{a_{x2}} \right|}{\sqrt{\left(\frac{1}{a_{x1}} + \frac{1}{a_{x2}} \right)^2 + \left(\frac{2}{a_y} \right)^2}} \leq \frac{1}{n}$$

30

を満たすことを特徴とする。

【0011】

なお、ここで言う菱形状格子とは、通常の菱形格子を拡張した概念を示すものである。まず、通常の菱形格子について説明する。菱形格子は菱形の単位格子を有し、2つの基本並進ベクトル (primitive translation vector) の長さが等しく、該2つの基本並進ベクトルの為す角 α が $0^\circ < \alpha < 180^\circ$ 内の任意の角度を有する格子である。菱形格子の単位格子の2つの対角線は直交し、それらの長さは全ての単位格子においてそれぞれ同じである。

40

一方、本発明における菱形状格子は、上述した通常の菱形格子に加えて、単位格子の両対角線のうちのいずれか一方の長さが該一方の方向の位置に応じて異なるものを含む。なお、菱形格子以外の菱形状格子における単位格子は、菱形が歪んだ形状を有し、その形状が位置により異なるため、厳密には結晶学上の「単位格子」とは言えないが、本願では便宜上「単位格子」と呼ぶ。

【0012】

三角格子（又は六方格子）及び正方格子は菱形（状）格子の特別な場合に該当する。すなわち、菱形格子の2つの基本並進ベクトルの為す角 α が 60° , 120° の場合には三角格子（又は六方格子）であり、 $\alpha = 90^\circ$ の場合には正方格子である。一方、長方格子は菱形状格子に含まれない。従って、本発明に係るフォトニック結晶面発光レーザは、特許文献 1

50

に記載の正方格子と長方格子又は2つの長方格子を組み合わせたフォトニック結晶面発光レーザとは異なる構造を有する。また、特許文献1には2つの三角格子を用いることも記載されているが、この文献には三角格子において具体的にどのように2つの周期を変えるかという点は記載されていない。三角格子はその定義によれば格子の三角形の形状が正三角形であるものを指すため、本発明では一方の格子配列が三角格子であっても、もう一方の格子配列は三角格子でない。従って、本発明に係るフォトニック結晶面発光レーザは、2つの三角格子を用いる特許文献1に記載のフォトニック結晶面発光レーザとは異なる構造を有する。

【0013】

本発明者が特許文献1に記載のフォトニック結晶面発光レーザを詳細に検討した結果、このフォトニック結晶面発光レーザでは2次の結合強度（フィードバック強度）によりレーザ発振することが明らかになった。一般に、高次になればなるほど結合強度が小さくなり、それに伴ってレーザ発振の閾値が高くなったり、意図しないモードの光が生じたりするようになる。この観点のもとで、より大きい結合強度が得られる格子配列の組み合わせを検討した結果、本発明に係るフォトニック結晶面発光レーザでは、1次の結合強度によりレーザ発振することを見出した。そして、実際に本発明に係るフォトニック結晶面発光レーザを作製した結果、この構造では45°まで設計通りに出射方向を傾けることができる実験により示された。また、特許文献1のフォトニック結晶面発光レーザに比べて低い閾値で発振すること、意図しないモードの出射を防ぐことができること、も示された。

10

【0014】

本発明に係るフォトニック結晶面発光レーザにおいて、前記第1の菱形状格子及び／又は前記第2の菱形状格子における前記一方の対角線の長さが、該一方の対角線が延びる方向の位置によって異なり、前記活性層の一部にのみ電流を注入し、該方向に関する該電流の注入位置を変更することが可能である電流注入手段を備える、ようにしてもよい。これにより、活性層の一部分にのみ電流が注入され、その部分に対向するフォトニック結晶層の一部分においてレーザ発振が生じる。傾斜ビームは、そのレーザ発振部分における第1の菱形状格子及び第2の菱形状格子の対角線の長さに応じた出射角で出射する。そのため、このフォトニック結晶面発光レーザでは、電流の注入位置により異なる出射角で傾斜ビームが出射する。以下、このようなフォトニック結晶面発光レーザを「出射方向可変フォトニック結晶面発光レーザ」と呼ぶ。

20

【発明の効果】

【0015】

本発明に係るフォトニック結晶面発光レーザでは、1次の結合強度を用いてレーザ発振させる。そのため、2次の結合強度を用いていた特許文献1のフォトニック結晶面発光レーザに比べて、レーザ閾値が低くなり、その結果、安定して最大45°の出射角でもってレーザビーム（傾斜ビーム）を出射することができる。

30

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】本発明に係るフォトニック結晶面発光レーザの第1実施例を示す斜視図。
【図2】第1実施例のフォトニック結晶面発光レーザにおけるフォトニック結晶層の2次元格子配列を示す模式図。

40

【図3】比較例（特許文献1に記載）のフォトニック結晶面発光レーザにおけるフォトニック結晶層の2次元格子配列の一例を示す模式図。

【図4】第1実施例のフォトニック結晶面発光レーザの2次元格子配列に対する逆格子空間と逆格子ベクトルを示す図(a)、及び特許文献1のフォトニック結晶面発光レーザの2次元格子配列に対する逆格子空間と逆格子ベクトルを示す図(b)。

【図5】第1実施例のフォトニック結晶面発光レーザの結合状態を示すモデル(a)、及び特許文献1のフォトニック結晶面発光レーザの結合状態を示すモデル(b)。

50

【図6】第1実施例のフォトニック結晶面発光レーザにおける格子定数差と出射面の垂線に対する出射角の関係を示す実験データ(a)、及び比較例における格子定数差と出射面の垂線に対する出射角の関係を示す実験データ(b)。

【図7】第1実施例のフォトニック結晶面発光レーザの作製方法を示す縦断面図。

【図8】第1実施例のフォトニック結晶面発光レーザの作製方法において使用するレジストにパターンが描画された状態を示す上面図。

【図9】本発明に係るフォトニック結晶面発光レーザの第2実施例を示す縦断面図。

【図10】第2実施例のフォトニック結晶面発光レーザの作製方法を示す縦断面図。

【図11】第2実施例のフォトニック結晶面発光レーザの作製方法において使用するレジストに描画された状態を示す上面図。 10

【図12】本発明に係るフォトニック結晶面発光レーザの第3実施例である出射方向可変フォトニック結晶面発光レーザの縦断面図(a)及びフォトニック結晶層における周期を示す上面図(b)。

【図13】第3実施例において用いることができる第1菱形格子及び第2菱形格子の他の例を示す上面図。

【図14】第3実施例において用いることができる第1菱形格子及び第2菱形格子の他の例を示す上面図。

【図15】本発明に係るフォトニック結晶面発光レーザの第4実施例である出射方向可変フォトニック結晶面発光レーザの縦断面図(a)、フォトニック結晶層の第1菱形格子における周期の変化を示す上面図(b)、及びフォトニック結晶層の第2菱形格子における周期の変化を示す上面図(c)。 20

【図16】本発明に係るフォトニック結晶面発光レーザの第5実施例である出射方向可変フォトニック結晶面発光レーザの縦断面図(a)、並びにフォトニック結晶層における周期を示す上面図(b)及び(c)。

【図17】第5実施例の出射方向可変フォトニック結晶面発光レーザの動作を説明するための縦断面図。

【図18】本発明に係るフォトニック結晶面発光レーザの第6実施例である出射方向可変フォトニック結晶面発光レーザの縦断面図。

【発明を実施するための形態】

【0017】

以下、本発明に係るフォトニック結晶面発光レーザの実施例を説明する。なお、本発明は以下に述べる実施例に限定されるものではなく、本発明の趣旨の範囲内で変更可能なものである。 30

【実施例1】

【0018】

本発明に係るフォトニック結晶面発光レーザの第1実施例を、図1～図6を用いて説明する。図1は本実施例のフォトニック結晶面発光レーザの斜視図である。このフォトニック結晶面発光レーザ10は、裏面電極11と、下部基板12と、第1クラッド層13と、フォトニック結晶層14と、活性層15と、第2クラッド層16と、上部基板17と、窓状電極18と、をこの順に積層したものである。本実施例のフォトニック結晶面発光レーザ10では、レーザビームは、窓状電極18の中央部に設けられた空洞(窓)181を通って、上部基板17の窓状電極18側の表面に対する垂線から出射角だけ傾斜した方向に出射される。 40

【0019】

本実施例では、下部基板12にはp型半導体のガリウムヒ素(GaAs)を、第1クラッド層13にはp型半導体のアルミニウム・ガリウム砒素(AIGaAs)を、第2クラッド層16にはn型AIGaAsを、上部基板17にはn型GaAsを、それぞれ用いた。活性層15には、インジウム・ガリウム砒素/ガリウムヒ素(InGaAs/GaAs)から成る多重量子井戸(Multiple-Quantum Well; MQW)を有するものを用いた。裏面電極11及び窓状電極18の材料には金を用いた。なお、これら各層の材料は上記のものには限定されず、従来のフォトニック

10

20

30

40

50

結晶面発光レーザで用いられている各層の材料をそのまま用いることができる。また、上記各層の間には、スペーサ層などの他の層が介挿されていてもよい。

【0020】

フォトニック結晶層14は、板状のスラブ142内に空孔(異屈折率領域)141を、後述の格子点上に周期的に配置したものである。本実施例では、スラブ142の材料にはp型GaAsを用いる。空孔141の形状は、本実施例では正三角形であるが、円形などの他の形状を用いてもよい。なお、スラブ142の材料は上記のものには限られず、従来のフォトニック結晶面発光レーザで用いられているものを用いることができる。また、異屈折率領域には、空孔141の代わりに、スラブ142とは屈折率が異なる部材(異屈折率部材)を用いてもよい。空孔は容易に加工することができるという点において優れているのに対して、異屈折率部材は加工時の加熱などにより母材層が変形するおそれがある場合に有利である。

【0021】

図2を用いて、フォトニック結晶層14において空孔141が配置される格子点について説明する。本実施例では、第1菱形格子19A(図2(a))と第2菱形格子19B(図2(b))を重ね合わせた格子(図2(c))を用いる。これら第1菱形格子19A及び第2菱形格子19Bは、上述の菱形状格子のうち、通常の菱形格子に該当する(なお、菱形格子以外の菱形状格子については第5及び第6実施例で説明する)。第1菱形格子19Aは格子点191Aから成り、菱形の第1単位格子192Aを有する。以下では、菱形格子における単位格子の対角線を単に「対角線」と呼ぶ。また、一方の対角線が延びる方向をx方向、他方の対角線が延びる方向をy方向とする。ここで、第1単位格子192Aは菱形であることから、これら対角線は当然直交する。これら対角線の長さは、x方向では a_{x1} 、y方向では a_y である。それに対して第2菱形格子19Bは格子点191Bから成り、対角線の向きが第1菱形格子19Aと等しい菱形の第2単位格子192Bを有する。第2菱形格子19Bにおける対角線の長さは、x方向では第1菱形格子19Aよりも長い a_{x2} であり、y方向では第1菱形格子19Aと同じ a_y である。これら a_{x1} 、 a_{x2} 及び a_y の値は、後述の式(1)を満たす。

【0022】

なお、菱形格子の形状は、本願では説明の都合上、上述のように対角線の長さで特定したが、単位格子の菱形の1辺の長さa及び隣接する2辺の角度 θ を用いて特定するのが一般的である。そのような一般的な特定方法によれば、第1菱形格子19Aでは長さ $a_1=(1/2)\sqrt{a_{x1}^2+a_y^2}$ 、角度 $\theta_1=2\arctan(a_{x1}/a_y)$ であり、第2菱形格子19Bでは長さ $a_2=(1/2)\sqrt{a_{x2}^2+a_y^2}$ 、角度 $\theta_2=2\arctan(a_{x2}/a_y)$ である。また、菱形格子では、単位格子の菱形の対角線により囲まれる最小の長方形を、菱形のものとは異なる単位格子と規定することもできる(図2(a)及び(b)に一点鎖線で示した長方形)。この長方形の単位格子には、4つの角と中心に格子点が配置される。このような単位格子を有する格子を面心長方格子と呼ぶ。ただし、菱形格子と面心長方格子は、単位格子の取り方が異なるだけであり、物としては同じである。なお、特許文献1に記載の「長方格子」は中心に格子点がないため、「面心長方格子」ではない。以下、「面心長方格子」ではない長方格子を「単純長方格子」と呼ぶ。

【0023】

比較のために、図3に、特許文献1に記載の2次元フォトニック結晶レーザにおいて空孔が配置される格子点を示す。この比較例は、各々の単位格子のy方向の辺の長さが等しい正方格子と単純長方格子を重ねた例(図3(a))と、各々の単位格子のy方向の辺の長さが等しく、x方向の辺の長さが異なる2つの単純長方格子を重ねた例(図3(b))である。特許文献1に記載のように、本実施例と特許文献1のフォトニック結晶面発光レーザでは、x方向の格子定数差($a_{x1}-a_{x2}$)に起因する光の定在波の周波数差によるうなりを利用して傾斜ビームを出射する。

【0024】

次に、本実施例のフォトニック結晶面発光レーザが比較例よりも優れている点を、図4

10

20

30

40

50

及び図5を参照して説明する。なお、図3(a)の正方格子と単純長方格子の組み合わせは、図3(b)の2つの単純長方格子の組み合わせの特殊なケースに過ぎないので、以下の比較例に関する議論は、2つの単純長方格子の組み合わせに対してのみ行う。

【0025】

図4(a)及び(b)は、本実施例(図2(c))と比較例(図3(a)及び(b))の実格子に対応する逆格子空間であり、本実施例の2つの菱形格子あるいは比較例の2つの単純長方格子の各逆格子点を、原点を中心に重ねて描いたものである。各々の逆格子空間における逆格子ベクトルは、2つの格子の-X₂方向の逆格子ベクトルG_yが等しいため、基本の逆格子ベクトルとしてG_{x1}, G_{x2}, G_yの3つを用いることができる。すべての逆格子ベクトルは、これら3つの基本逆格子ベクトルの整数倍の足し合わせで表される。図4(b)中のG_{x1'}, G_{x2'}も、上記の基本逆格子ベクトルを用いてG_{x1'}=G_{x1}-G_y, G_{x2'}=G_{x2}-G_yと表されるため、逆格子ベクトルである。10

【0026】

次に、図4(a)及び(b)の逆格子空間において、レーザ発振の根本の原理である基本波の結合モデル(図5(a)及び(b))について述べる。これらの逆格子空間において基本波はそれぞれ4つ存在する。これらの基本波は、逆格子ベクトルGによって互いに結ばれる関係にあり、4つの基本波が互いに結合することで、レーザ発振に至る。そのときの基本波同士の結合強度(フィードバック強度)は(G)で表される。この結合強度(G)は、レーザ発振には必須のパラメータである。ここで、-X₁方向はG_{x1}とG_{x2}(又はG_{x2'})を1回ずつ介する結合であるため、図5(a)と図5(b)は同程度の結合強度となる。一方、-X₂方向の結合強度をみると、図5(a)では1次の結合強度(G_y)、図5(b)では2次の結合強度(2G_y)となる。一般的に、2次より1次の方がの値は大きくなるため、図5(a)のように基本波が形成される本実施例の方が優れているといえる。例えば同一条件で計算した場合、比較例では(2G_y)=790cm⁻¹、本実施例では(G_y)=1640cm⁻¹となる(条件は、a_{x1}=1.25a_y, a_{x2}=1/1.25a_y、格子孔は充填率12%の真円)。結合強度が大きくなることは、閾値が低下することにつながり、意図したモードが安定に発振することを意味する。20

【0027】

なお、本実施例と特許文献1のフォトニック結晶面発光レーザにおいて傾斜ビームが形成されるのは、上記のように、x方向の格子定数差(a_{x1}-a_{x2})に起因する光の定在波の周波数差によるうなりが生じるためである。より具体的には、x方向の波数ずれk=|G_{x1}-G_{x2}|/2の成分を面内に持つビームが斜め方向に出射されることになる。ここで、傾斜ビームの傾斜が大きいとフォトニック結晶層14の内部でビームが全反射してしまい、フォトニック結晶層14の外部にビームが出ないことがある。これを防ぐには、以下の式を満たすように菱形格子のパラメータa_{x1}, a_{x2}, a_yを与えれば良い。30

【数3】

$$\frac{\left| \frac{1}{a_{x1}} - \frac{1}{a_{x2}} \right|}{\sqrt{\left(\frac{1}{a_{x1}} + \frac{1}{a_{x2}} \right)^2 + \left(\frac{2}{a_y} \right)^2}} \leq \frac{1}{n} \quad (1)$$

なお、nはフォトニック結晶層14に垂直な方向における該フォトニック結晶層14の等価屈折率である。

【0028】

式(1)は次のように導出される。フォトニック結晶層14と空気の間には、スネルの法則より、

$$\sin = n \times \sin \quad (2)$$

が成り立つ。ここで θ_i は空気側の屈折角、 θ_n はフォトニック結晶層14側の屈折角である。

【0029】

50

40

50

フォトニック結晶層14の内部で形成された傾斜ビームが外部に放射される条件は $| \sin | < 1$ であるので、式(2)より

$$n \times \sin_{in} < 1 \quad (3)$$

が成り立つ。ここで、フォトニック結晶層14の内部における傾斜ビームの波数をk、その面内方向の波数をkとする。

【数4】

$$\sin \theta_{in} = \frac{\Delta k}{k} \quad (4)$$

であるので、式(3)より、

【数5】

$$n \frac{\Delta k}{k} \leq 1 \quad (5)$$

で表される。一方、k及びkは以下の式

【数6】

$$k = \sqrt{\left\{ \frac{1}{2} \left(\frac{2\pi}{a_{x1}} + \frac{2\pi}{a_{x2}} \right) \right\}^2 + \left(\frac{2\pi}{a_y} \right)^2} \quad (6)$$

10

【数7】

$$\Delta k = \frac{1}{2} \left| \frac{2\pi}{a_{x1}} - \frac{2\pi}{a_{x2}} \right| \quad (7)$$

で表されるため、式(6)及び式(7)を式(5)に代入することにより、式(1)が得られる。

【0030】

次に、図1及び図2に示した構造のフォトニック結晶面発光レーザ10を作製し、その性能を検証した結果を示す。図6(a)は、出射角θの設計値が20°になるように格子定数をa_y=590nm、a_{x1}=303nm、a_{x2}=384nmと定めて作製したフォトニック結晶面発光レーザ10から出射される傾斜ビームを測定した結果を示したものである。これらの格子定数は、出射角θの設計値、出射されるレーザの波長λ及びフォトニック結晶層の等価屈折率nを用いて、以下の式(8)～(10)により求められる。

30

【数8】

$$a_{x1} = \frac{1}{\sqrt{3}r} a_y, \quad a_{x2} = \frac{r}{\sqrt{3}} a_y, \quad r > 1 \quad (8)$$

$$a_y = \frac{\lambda}{n} \sqrt{\frac{1}{1 - \left(\frac{\sin \theta}{n} \right)^2}} \quad (9)$$

40

$$r = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{\frac{\sin^2 \theta}{n^2 - \sin^2 \theta}} + \sqrt{\frac{4}{3} \frac{\sin^2 \theta}{n^2 - \sin^2 \theta} + 1} \quad (10)$$

作製されたフォトニック結晶面発光レーザ10から出射された傾斜ビームの出射角の測定値は19.6°であり、設計値に近い値が得られた。

【0031】

また、比較例として、正方格子と単純長方格子を重ね合わせた格子の格子点に空孔を配置したフォトニック結晶面発光レーザを作製し、出射される傾斜ビームを測定した(図6)

50

(b))。この比較例では、正方格子の格子定数を $a_{x_1}=a_y=295\text{nm}$ 、単純長方格子の格子定数を $a_{x_2}=372\text{nm}$ 、 $a_y=295\text{nm}$ とした。これらの格子定数は出射角 の設計値が 20° になるよう定めたものであり、出射角 の実測値は 19.9° であった。

【0032】

これら本実施例及び比較例において閾値を測定したところ、比較例では約 110mA であったのに対して、本実施例では比較例よりも低い約 70mA という値が得られた。これは、本実施例における結合強度が比較例よりも強くなっていることに起因すると考えられる。

【0033】

また、本実施例(図6(c))及び比較例(図6(d))において、出射角 の設計値の異なる複数のフォトニック結晶面発光レーザを作製し、得られた傾斜ビームを測定した。その結果、比較例では、出射角 の設計値が比較的小さい範囲においては実測値が設計値とよく一致しているのに対して、設計値が 30° 以上の範囲においては実測値が設計値よりも小さくなり、両者が一致していない。これは、設計値に対応する発振モードの閾値が高いため実際には発振せず、それとは別の不所望のモードが発振していることによると考えられる。また、設計値が 30° 以下であっても、設計値通りの傾斜角を有する傾斜ビームだけではなく、不所望の発振モードに起因する傾斜ビームが出射されてしまう。さらに、出射角 の実測値が 0° に近い不所望のモードの発振も見られる。それに対して本実施例では、 0° ~ 45° までの全範囲に亘って、設計値通りの出射角を有する傾斜ビームが実際に得られることが確認された。これは、本実施例では、所望のモードでの発振の閾値が比較例よりも小さくなつたことによってその発振が生じやすくなつたことによると考えられる。

10

【0034】

次に、図7及び図8を用いて、フォトニック結晶面発光レーザ10の製造方法を説明する。まず、上部基板17の上に、第2クラッド層16、活性層15及びスラブ142をこの順に、MO-CVD法等により積層する(図7(a))。なお、スラブ142には未だ空孔141は形成されていない。次にスラブ142の上にレジスト21を塗布し、第1菱形格子と第2菱形格子を重ねた格子(図2(c))の格子点上に正三角形の孔22が配置されたレジストパターン(図8)を描画する。そして、CVD法などを用いて、孔22を通してスラブ142をエッチングすることにより、スラブ142に空孔141を形成する(図7(b))。これにより、フォトニック結晶層14が作製される。

20

【0035】

別途、第2基板121上に第1クラッド層13及びスラブ142と同じ材料から成る融着層143をこの順に積層する。そして、フォトニック結晶層14と融着層143を重ねて加熱することにより、両者を融着させる(図7(c))。次に、第2基板121を鏡面研磨することにより所定の厚さまで減厚する。減厚後の第2基板121は下部基板12となる。更に、下部基板12の表面に裏面電極11を、上部基板17の表面に窓状電極18を、それぞれ蒸着法などの方法を用いて形成することにより、フォトニック結晶面発光レーザ10が得られる(図7(d))。

30

【実施例2】

【0036】

図9~図11を用いて第2実施例のフォトニック結晶面発光レーザ30を説明する。

40

図9はフォトニック結晶面発光レーザ30の縦断面図である、このフォトニック結晶面発光レーザ30は、裏面電極31と、下部基板32と、第1クラッド層33と、第1フォトニック結晶層34と、活性層35と、第2フォトニック結晶層36と、第2クラッド層37と、上部基板38と、窓状電極39と、をこの順に積層したものである。このように、本実施例では第1フォトニック結晶層34と第2フォトニック結晶層36の2層のフォトニック結晶層を有する点が第1実施例と異なる。なお、本実施例では第1フォトニック結晶層34と第2フォトニック結晶層36は両者の間に活性層35を挟むように設けたが、第1フォトニック結晶層34と第2フォトニック結晶層36の双方を、活性層35から見て同じ側に設けてよい。

【0037】

50

第1フォトニック結晶層34は空孔341を上述の第1菱形格子19Aの格子点191A上に配置したものであり、第2フォトニック結晶層36は空孔361を上述の第2菱形格子19Bの格子点191B上に配置したものである。これら2つのフォトニック結晶層の空孔をこれらの層に平行な平面に射影すると、空孔が配置された格子点は、第1実施例におけるフォトニック結晶層14の格子点(図2(c))と同様に配列される。

【0038】

上記裏面電極31、下部基板32、第1クラッド層33、活性層35、第2クラッド層37、上部基板38及び窓状電極39の材料にはそれぞれ、第1実施例における裏面電極11、下部基板12、第1クラッド層13、活性層15、第2クラッド層16、上部基板17及び窓状電極18の材料と同じものを用いることができる。また、第1フォトニック結晶層34におけるスラブ(第1スラブ342)及び第2フォトニック結晶層36におけるスラブ(第2スラブ362)には、第1実施例におけるスラブ142と同じ材料を用いることができる。さらには、第1フォトニック結晶層34における空孔341及び第2フォトニック結晶層36における空孔361の代わりに、異屈折率部材を用いることができる点も第1実施例と同様である。

【0039】

本実施例のフォトニック結晶面発光レーザ30は、上述のようにフォトニック結晶層の構成が異なるものの、その動作は第1実施例のフォトニック結晶面発光レーザ10と同様である。

【0040】

図10及び図11を用いて、フォトニック結晶面発光レーザ30の製造方法を説明する。図10は本製造方法を示す縦断面図であり、図11は本製造方法において使用するレジストに描画された状態を示す上面図である。

【0041】

まず、製造用基板41の上にエッチストップ層42、第1スラブ342、活性層35及び第2スラブ362をこの順に積層した第1積層体50を作製する(図10(a))。製造用基板41及びエッチストップ層42の材料などの説明は後述する。次に、第2スラブ362の上に第1レジスト431を塗布し、第1レジスト431の四隅に十字マーク47を描画(図11(a))した後、十字マーク47から積層体50をエッチングすることにより、積層体50を貫く位置合わせ用マーク44を形成する(図10(b))。続いて第1レジスト431を除去したうえで新たに第2レジスト432を塗布し、その第2レジスト432に、第2菱形格子19Bの格子点191Bに空孔361が配列された状態に対応する孔48パターンを描画する(図11(b))。そして、孔48から第2スラブ362をエッチングし、第2スラブ362に空孔341を形成することにより、第2フォトニック結晶層36を作製する(図10(c))。その後、第2レジスト432を除去する。

【0042】

別途、第2基板381上に第2クラッド層37、及び第2スラブ362と同じ材料から成る第2融着層363をこの順に形成することにより、第2積層体51を作製する。そして、第1積層体50の第2フォトニック結晶層36と第2積層体51の第2融着層363を重ねて、両者を熱融着する(図10(d))。次に、研磨法及びウェットエッチング法により製造用基板41を除去し、更にエッチング剤を変えてエッチストップ層42を除去する(図10(e))。ここで、エッチストップ層42には製造用基板41用のエッチング液ではエッチングされない材料であって、且つ、それ以外のエッチング液を用いて製造用基板41よりも低速でエッチングされるものを用いる。

【0043】

次に、製造用基板41及びエッチストップ層42の除去により露出した第1スラブ342の表面に第3レジスト433を塗布し、第3レジスト433を透過して見える位置合わせ用マーク44の位置を基準として、空孔361と空孔341のy方向の位置が一致するように、第1菱形格子19Aの格子点191Aに対応する位置の第3レジスト433に孔49を形成する(図11(c))。そして、孔49から第1スラブ342をエッチングして

10

20

30

40

50

空孔 3 4 1 を形成することにより、第 1 フォトニック結晶層 3 4 を作製する(図 10(f))。その後、第 3 レジスト 4 3 3 を除去する。

【0044】

別途、第 1 基板 3 2 1 上に第 1 クラッド層 3 3、及び第 1 スラブ 3 4 2 と同じ材料から成る第 1 融着層 3 4 3 をこの順に形成した第 3 積層体 5 2 を、第 1 融着層 3 4 3 と第 1 フォトニック結晶層 3 4 が重なるように第 1 フォトニック結晶層 3 4 の上に載置し、第 1 融着層 3 4 3 と第 1 フォトニック結晶層 3 4 を熱融着する(図 10(g))。その後、第 1 基板 3 2 1 及び第 2 基板 3 8 1 を鏡面研磨により所定の厚さまで減厚し、第 1 基板 3 2 1 の表面に裏面電極 3 1 を、第 2 基板 3 8 1 の表面に窓状電極 3 9 を作製することにより、第 2 実施例のフォトニック結晶面発光レーザ 3 0 が得られる(図 10(h))。

10

【実施例 3】

【0045】

図 12 を用いて、第 3 実施例のフォトニック結晶面発光レーザ 6 0 を説明する。本実施例のフォトニック結晶面発光レーザ 6 0 は、上述の出射方向可変フォトニック結晶面発光レーザの一例である。出射方向可変フォトニック結晶面発光レーザ 6 0 は、裏面電極 6 1 1、6 1 2、6 1 3、… S_{max} (S_{max} は整数。裏面電極 6 1 S_{max} は図示せず。)と、下部基板 6 2 と、第 1 クラッド層 6 3 と、フォトニック結晶層 6 4 と、活性層 6 5 と、第 2 クラッド層 6 6 と、上部基板 6 7 と、透明電極 6 8 と、をこの順に積層したものである。

【0046】

フォトニック結晶層 6 4 は、1枚のスラブに第 1 異周期領域 6 4 1、第 2 異周期領域 6 4 2、第 3 異周期領域 6 4 3 … 第 S_{max} 異周期領域 6 4 S_{max} (第 S_{max} 異周期領域 6 4 S_{max} は図示せず。)を有する。これら異周期領域の各々には、第 1 実施例のフォトニック結晶層 1 4 と同様に、x 方向の対角線の長さが異なり、y 方向の対角線の長さ a_y が等しい単位格子を有する第 1 菱形格子及び第 2 菱形格子を重ね合わせた格子の格子点上に空孔が配置されている。そして、第 1 菱形格子及び第 2 菱形格子の各々において、単位格子の x 方向の対角線長は、異周期領域毎に異なる。それら対角線長は、第 S 異周期領域 6 4 S($S=1, 2, 3, \dots, S_{max}$)では a_{x1s} 及び a_{x2s} であり、 a_{x1s} と a_{x2s} は以下の式(11)を満たす。

【数 9】

$$a_{x1s} = \frac{1}{\sqrt{3}r_s}a_y, \quad a_{x2s} = \frac{r_s}{\sqrt{3}}a_y, \quad r_s > 1 \quad (11)$$

30

ただし、S の値が大きくなるほど、r の値も大きくなる。

【0047】

裏面電極 6 1 1、6 1 2、6 1 3、…、及び 6 1 S_{max} は、第 1 異周期領域 6 4 1、第 2 異周期領域 6 4 2、第 3 異周期領域 6 4 3 …、及び第 S_{max} 異周期領域 6 4 S_{max} の直下に設けられている。

【0048】

本実施例の出射方向可変フォトニック結晶面発光レーザ 6 0 では、裏面電極 6 1 1、6 1 2、6 1 3、…、6 1 S_{max} のうちの 1 つと透明電極 6 8 の間に電圧を印加することにより、その裏面電極の直上にある活性層の一部分に電流が注入され、その部分からの発光が、その部分の直上にある第 S 異周期領域 6 4 S において増幅される。これにより、その第 S 異周期領域 6 4 S における 2 つの菱形格子の x 方向の対角線長により定まる出射角 s で傾斜ビームが出射する。上述のように 2 つの菱形格子の x 方向の対角線長が異周期領域毎に異なるため、この出射角 s は異周期領域毎、すなわち電流の注入に用いる裏面電極により異なることとなる。これにより、1 個の出射方向可変フォトニック結晶面発光レーザ 6 0 から、出射角 s の異なる傾斜ビームを得ることができる。

40

【0049】

本実施例の出射方向可変フォトニック結晶面発光レーザ 6 0 は、第 1 実施例のフォトニック結晶面発光レーザ 1 0 と同様の方法により作製することができる。

50

【0050】

なお、上記実施例3では、第1菱形格子及び第2菱形格子におけるx方向の対角線の長さは式(11)を満たすように定めたが、これには限定されない。例えばx方向の対角線の長さは、第1菱形格子及び第2菱形格子のうちのいずれか一方の菱形格子のみを異周期領域毎に異なる値とし、他方の菱形格子は全ての異周期領域で同じ値にしてもよい(図13)。

【0051】

また、y方向の対角線の長さは、異周期領域毎に異なる値としてもよい(図14)。ただし、1つの異周期領域内では、第1菱形格子のy方向の対角線と第2菱形格子のy方向の対角線は同じ長さとする。以下、第1菱形格子の第S異周期領域64S及び第2菱形格子の第S異周期領域66Sにおけるy方向の対角線の長さを a_{ys} とする。この場合において、 a_{x1s} 、 a_{x2s} 、 a_{ys} 及び r が、出射させようとする傾斜ビームの出射角 θ_s と波長 λ により、以下の式(12)～(14)

【数10】

$$a_{x1s} = \frac{1}{\sqrt{3}r_s}a_{ys}, \quad a_{x2s} = \frac{r_s}{\sqrt{3}}a_{ys}, \quad r_s > 1 \quad (12)$$

$$a_{ys} = \frac{\lambda}{n} \sqrt{\frac{1}{1 - \left(\frac{\sin \theta_s}{n}\right)^2}} \quad (13)$$

$$r_s = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{\frac{\sin^2 \theta_s}{n^2 - \sin^2 \theta_s} + \sqrt{\frac{4}{3} \frac{\sin^2 \theta_s}{n^2 - \sin^2 \theta_s} + 1}} \quad (14)$$

を満たすことが望ましい。これら式(12)～(14)を満たす場合には、電流が注入される位置に応じて、異なる出射角 θ_s で且つ同じ波長 λ を有する傾斜ビームを得ることができる。

【実施例4】

【0052】

第3実施例の出射方向可変フォトニック結晶面発光レーザ60では、第1実施例と同様に、2つの菱形格子を重ね合わせた格子を有するフォトニック結晶層を1層のみ設けたが、第2実施例と同様にフォトニック結晶層を2層設けてもよい。その例(第4実施例)を図15に示す。第4実施例の出射方向可変フォトニック結晶面発光レーザ60Aは、活性層65の一方の側に第1フォトニック結晶層64Aを、他方の側に第2フォトニック結晶層66Aを、それぞれ有する。第1フォトニック結晶層64Aには、1枚のスラブに第1異周期領域641A、第2異周期領域642A、第3異周期領域643A…第 S_{max} 異周期領域64S_{max}A(第 S_{max} 異周期領域64S_{max}Aは図示せず)が設けられており、各異周期領域には、x方向の対角線の長さが a_{x1s} 、y方向の対角線の長さが a_y である単位格子を有する菱形格子の格子点上に空孔が設けられている。第2フォトニック結晶層66Aには、1枚のスラブにおける、第1フォトニック結晶層64Aの各異周期領域の直上の位置に、第1異周期領域661A、第2異周期領域662A、第3異周期領域663A…第 S_{max} 異周期領域66S_{max}A(第 S_{max} 異周期領域66S_{max}Aは図示せず)が設けられており、各異周期領域には、x方向の対角線の長さが a_{x2s} 、y方向の対角線の長さが a_y である単位格子を有する菱形格子の格子点上に空孔が設けられている。 a_{x1s} と a_{x2s} は上記式(11)の関係、及び S の値が大きくなるほど式(11)の r の値が大きくなるという関係を満たしている。なお、第3実施例と同様に、 a_{x1s} 、 a_{x2s} 及び a_y の関係は式(11)のものには限られず、図13や図14に示したものなどを用いることもできる。

【0053】

第4実施例の出射方向可変フォトニック結晶面発光レーザ60Aの動作は、第3実施例

10

20

30

40

50

の出射方向可変フォトニック結晶面発光レーザ 60 と同様である。また、第4実施例の出射方向可変フォトニック結晶面発光レーザ 60A は、第2実施例のフォトニック結晶面発光レーザ 30 と同様の方法により作製することができる。

【実施例 5】

【0054】

図 16 を用いて、第5実施例の出射方向可変フォトニック結晶面発光レーザ 70 を説明する。本実施例の出射方向可変フォトニック結晶面発光レーザ 70 は、フォトニック結晶層 74 及び裏面電極 71 を除いて、第3実施例の出射方向可変フォトニック結晶面発光レーザ 60 と同じ構成を有する。これら第3実施例と同じ構成に関しては説明を省略する。
10 フォトニック結晶層 74 は、第1菱形状格子 741A と第2菱形状格子 741B (図 16 (b)) を重ね合わせた格子 741 (図 16 (c)) の格子点上に空孔を配置したものである。第1菱形状格子 741A では、その全体に亘って、x 方向の対角線の長さは a_{x1} 、y 方向の対角線の長さは a_y である。従って、第1菱形状格子 741A は通常の菱形格子である。一方、第2菱形状格子 741B では、y 方向の対角線の長さは格子の全体に亘って a_y であるのに対し、x 方向の対角線の長さは、正方向に向かって徐々に大きくなっている。そのため、第2菱形状格子 741B は、並進対称性がないうえに、菱形格子の単位格子に相当する4個の格子点で形成される四角形が菱形が x 方向に歪んだ形状を有するため、菱形格子ではない。そのため、本実施例ではこの格子を「菱形状格子」とよんでいる。裏面電極 71 は、第3実施例における裏面電極よりも x 方向の幅が狭い単位裏面電極 711 、 712 、 713 、 714 、 ... を多数、x 方向に並べたものである。
20

【0055】

本実施例の出射方向可変フォトニック結晶面発光レーザ 70 では、単位裏面電極のうち隣接する複数のものと透明電極 68 の間に電圧を印加することにより、それら単位裏面電極の直上にある活性層の一部分に電流が注入され、その部分からの発光が、フォトニック結晶層 74 の一部分において増幅される。その際、出射角 θ はフォトニック結晶層 74 の当該一部分における第1菱形状格子 741A の対角線の長さと第2菱形状格子 741B の対角線の長さの差により定まる出射角で傾斜ビームが出射する。そして、電流の注入に用いる単位裏面電極を変更することにより、電流が注入される活性層の一部分、及び光の増幅作用を生じるフォトニック結晶層 74 の一部分が移動するため、傾斜ビームの出射角も変更される。その際、複数並んだ単位裏面電極のうち、一方の端にある1個の単位裏面電極からの電流の注入を止め、新たに他方の端に隣接する1個の単位裏面電極から電流を注入することにより、電流が注入される領域をわずかに移動させることができる。これにより、出射角 θ を微調整することができる。
30

【0056】

例えば、図 17 (a) に示すように、隣接する単位裏面電極 711 、 712 及び 713 と透明電極 68 の間に電圧を印加すると、それらの直上の領域 65A に電流が注入され、その領域中のフォトニック結晶層 74 において光が増幅される。次に、図 17 (b) に示すように、単位裏面電極 711 と透明電極 68 の間の電圧印加を止め、新たに、単位裏面電極 713 と x の正方向に隣接する単位裏面電極 714 と透明電極 68 の間に電圧を印加すると、電流が注入される領域 65A が移動し、その領域 65A 中のフォトニック結晶層 74 において光が増幅される。これら2つの状態の間では、領域 65A 中におけるフォトニック結晶層 74 の対角線の長さが異なるため、出射される傾斜ビームの出射角が異なる。
40

【実施例 6】

【0057】

図 18 を用いて、第6実施例の出射方向可変フォトニック結晶面発光レーザ 80 を説明する。本実施例では、活性層 65 の下側に第1フォトニック結晶層 84 を、上側に第2フォトニック結晶層 86 を設けた点を除いて、第5実施例の出射方向可変フォトニック結晶面発光レーザ 70 と同じ構成を有する。第1フォトニック結晶層 84 には、第5実施例における第1菱形状格子 741A と同じ周期で空孔が配列され、第2フォトニック結晶層 86 には、第5実施例における第2菱形状格子 741B と同じ周期で空孔が配列されている
50

。その他の第5実施例と同じ構成に関しては説明を省略する。また、本実施例の出射方向可変フォトニック結晶面発光レーザ80の動作は、第5実施例の出射方向可変フォトニック結晶面発光レーザ70と同様である。

【符号の説明】

【0058】

10、30…フォトニック結晶面発光レーザ	
11、31、611、612、613、61S、61Smax、71…裏面電極	
12、32、62…下部基板	
121…第2基板	
13、33、63…第1クラッド層	10
14、64、74…フォトニック結晶層	
141、341、361…空孔	
142…スラブ	
143…融着層	
15、35、65…活性層	
16、37、66…第2クラッド層	
17、38、67…上部基板	
18、39…窓状電極	
19A…第1菱形格子	
19B…第2菱形格子	20
191A、191B…格子点	
192A…第1単位格子	
192B…第2単位格子	
21…レジスト	
22、48、49…レジストの <u>孔</u>	
<u>321…第1基板</u>	
34、64A、84…第1フォトニック結晶層	
342…第1スラブ	
343…第1融着層	
36、66A、86…第2フォトニック結晶層	30
362…第2スラブ	
363…第2融着層	
381…第2基板	
41…製造用基板	
42…エッチストップ層	
431…第1レジスト	
432…第2レジスト	
433…第3レジスト	
44…位置合わせ用マーク	
<u>47…十字マーク</u>	40
50…第1積層体	
51…第2積層体	
<u>52…第3積層体</u>	
60、60A、70、80…出射方向可変フォトニック結晶面発光レーザ	
641、641A、661A…第1異周期領域	
642、642A、662A…第2異周期領域	
643、643A、663A…第3異周期領域	
64S、66S…第S異周期領域	
64Smax、64SmaxA、66SmaxA…第Smax異周期領域	
<u>65A…領域</u>	50

6 8 ... 透明電極

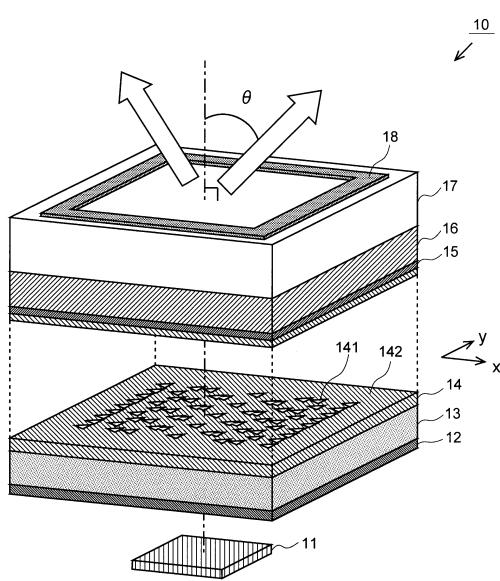
7 1 1、7 1 2、7 1 3、7 1 4... 単位裏面電極

7 4 1 ... 格子

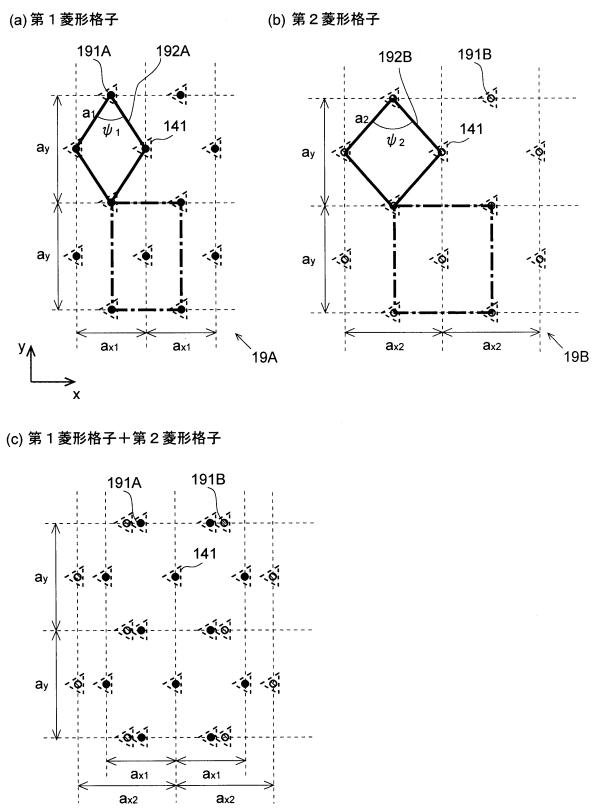
7 4 1 A ... 第 1 菱形状格子

7 4 1 B ... 第 2 菱形状格子

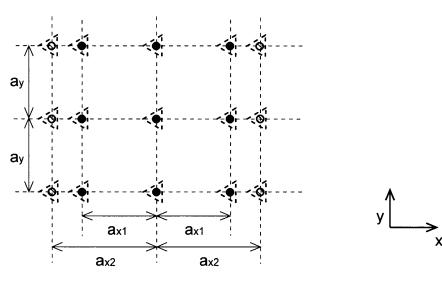
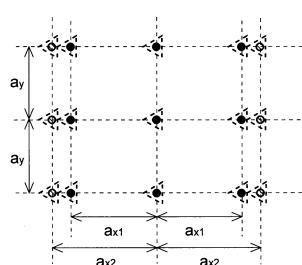
【図 1】



【図 2】

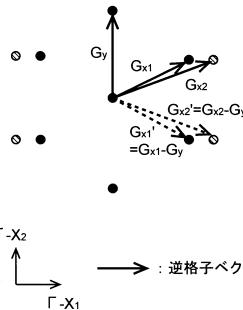


【図3】

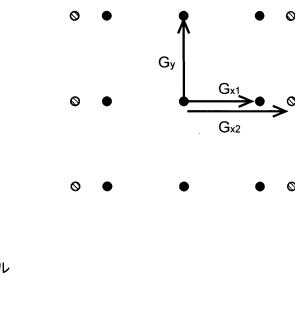
(a) 正方格子+単純長方格子 ($a_y = a_{x1} \neq a_{x2}$)(b) 単純長方格子+単純長方格子 ($a_y \neq a_{x1} \neq a_{x2}$)

【図4】

(a) 第1菱形格子+第2菱形格子

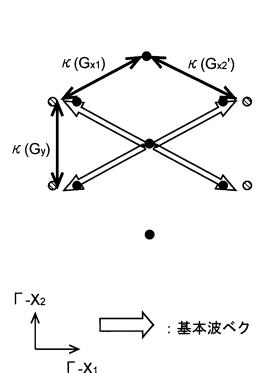


(b) 単純長方(正方)格子+単純長方格子

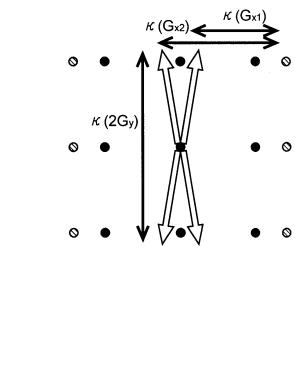


【図5】

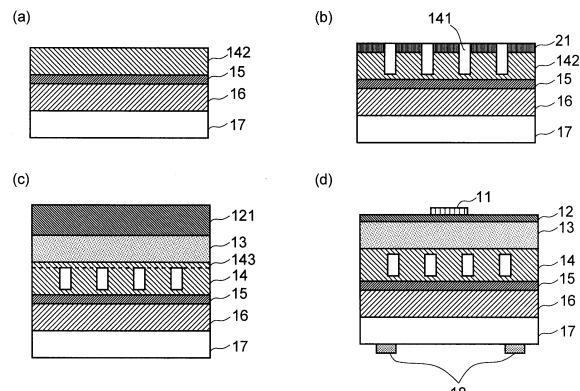
(a) 第1菱形格子+第2菱形格子



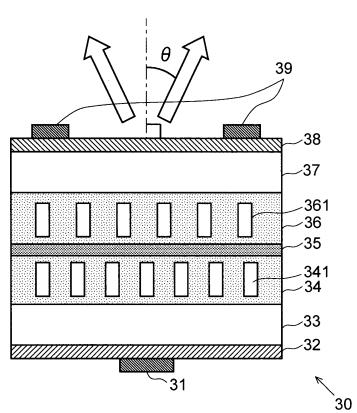
(b) 単純長方(正方)格子+単純長方格子



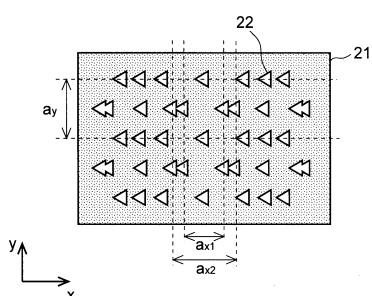
【図7】



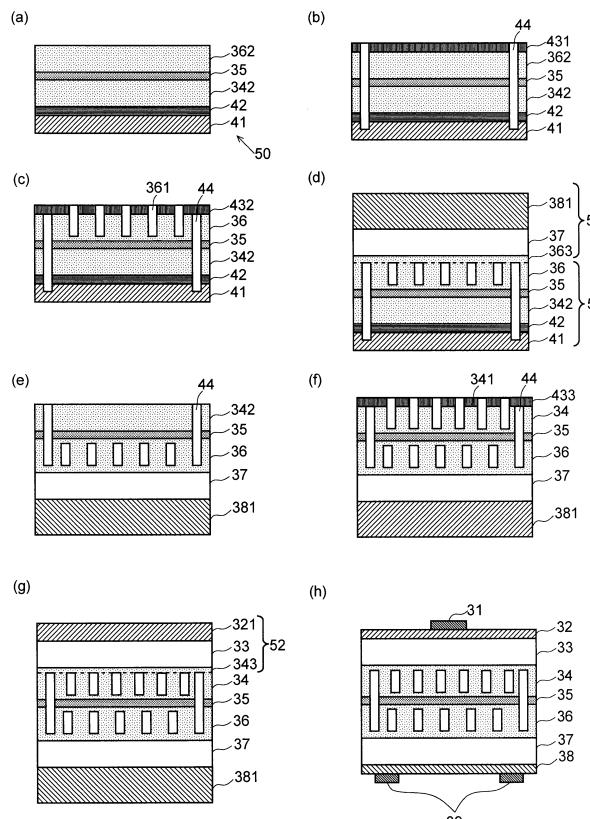
【図9】



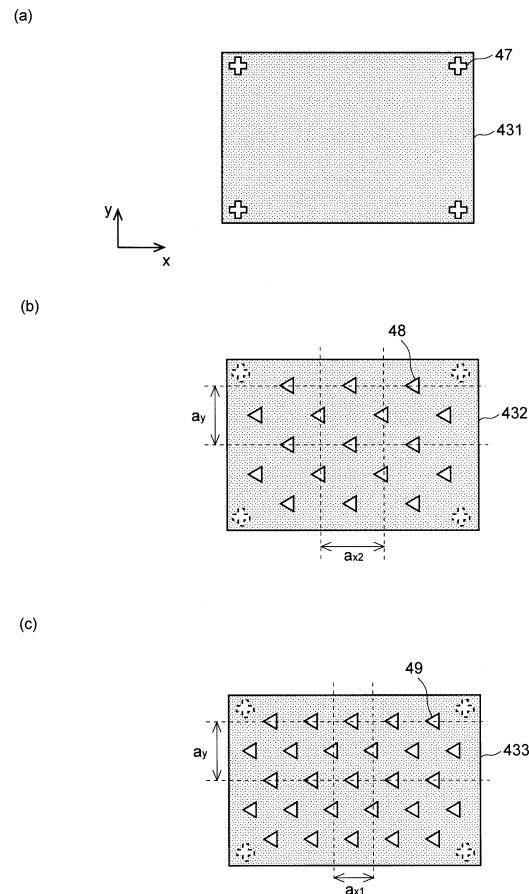
【図8】



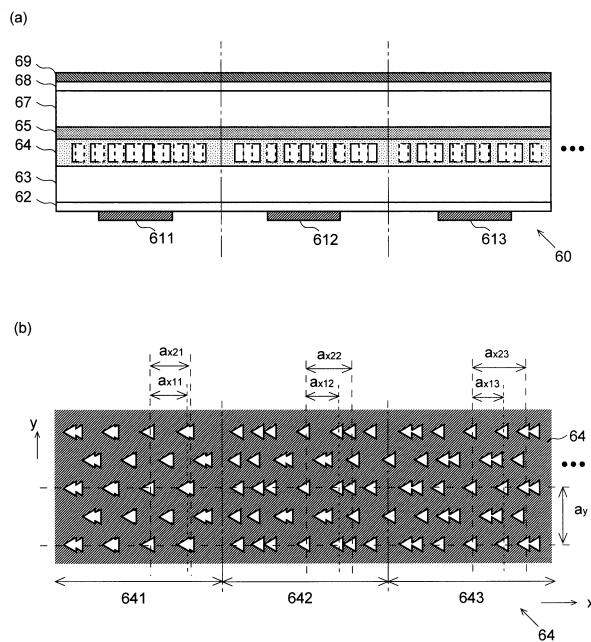
【図10】



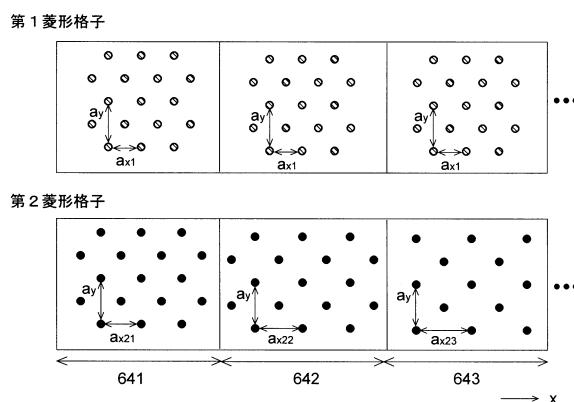
【図11】



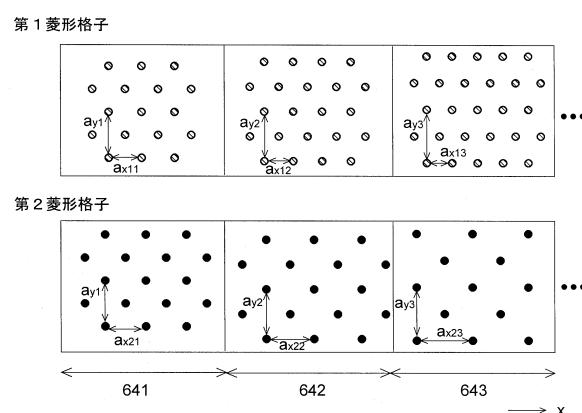
【図12】



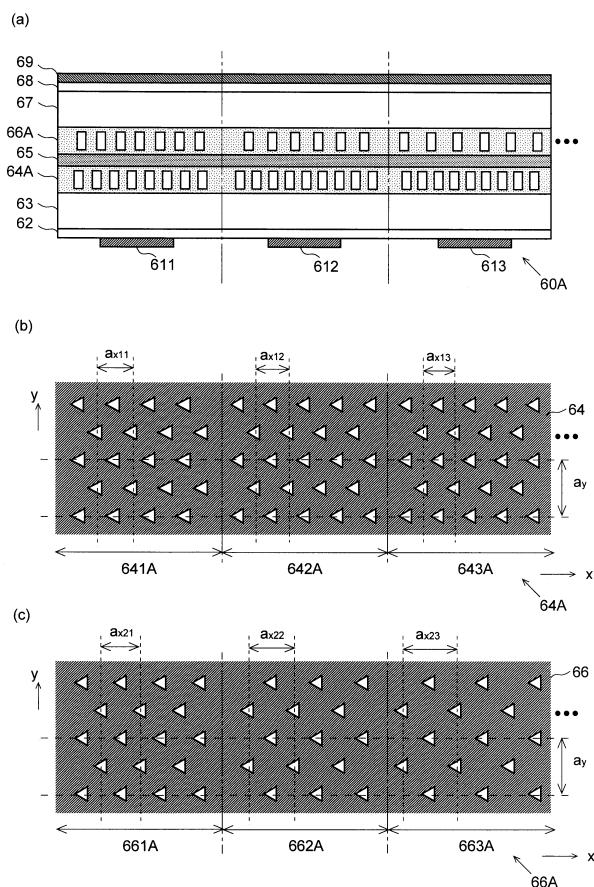
【図13】



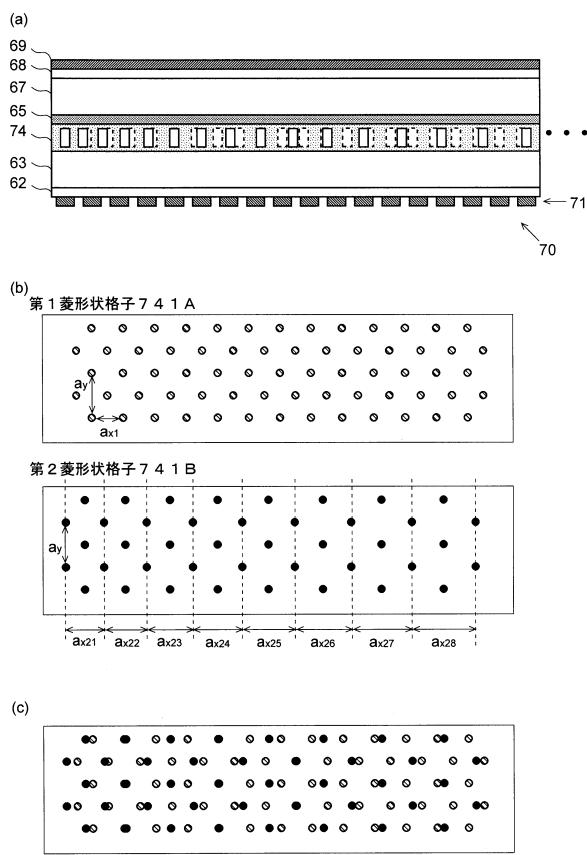
【図14】



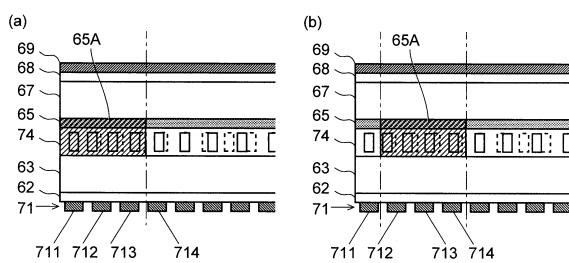
【図15】



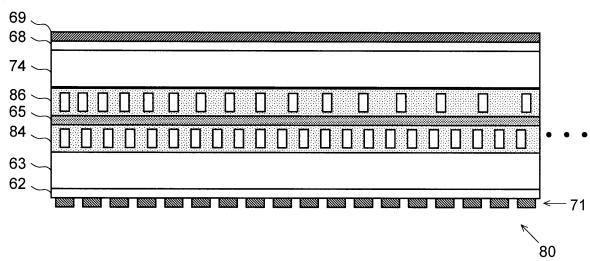
【図16】



【図17】

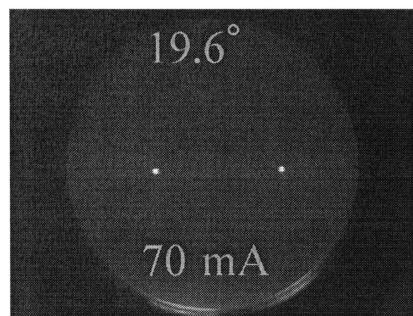


【図18】

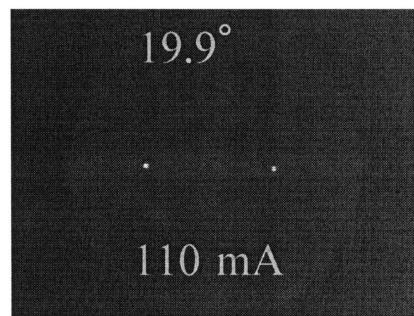


【図 6】

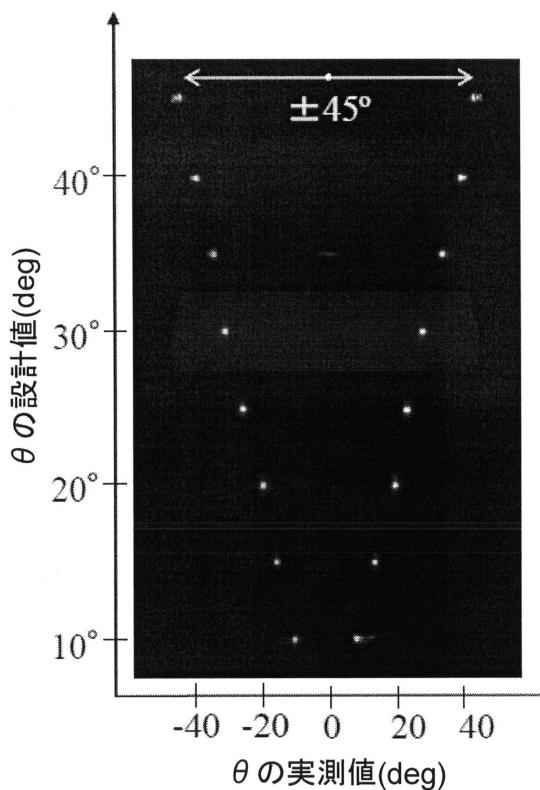
(a)本実施例



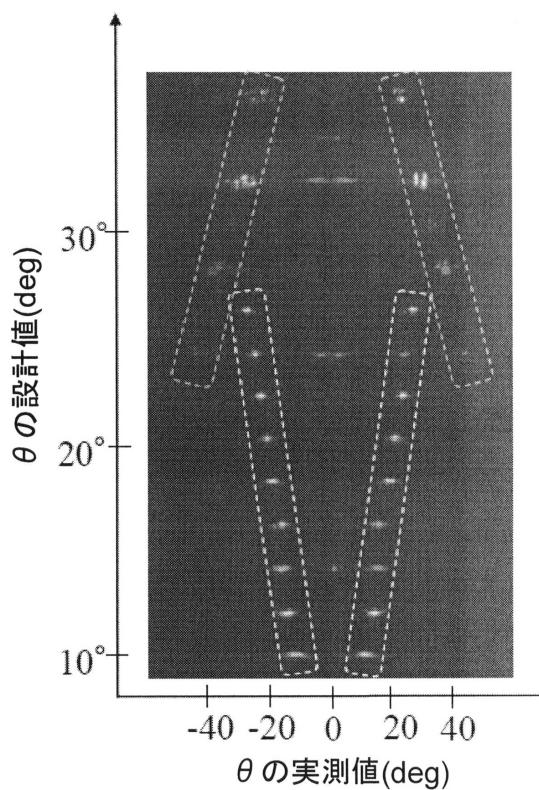
(b)比較例



(c)本実施例



(d)比較例



フロントページの続き

(72)発明者 信岡 俊之
京都市西京区京都大学桂 国立大学法人京都大学大学院工学研究科内

(72)発明者 坂口 拓生
京都市右京区西院溝崎町 21 番地 ローム株式会社内

(72)発明者 宮井 英次
京都市右京区西院溝崎町 21 番地 ローム株式会社内

(72)発明者 國師 渡
京都市右京区西院溝崎町 21 番地 ローム株式会社内

(72)発明者 大西 大
京都市右京区西院溝崎町 21 番地 ローム株式会社内

(72)発明者 長瀬 和也
京都市右京区西院溝崎町 21 番地 ローム株式会社内

(72)発明者 三浦 義勝
京都市右京区西院溝崎町 21 番地 ローム株式会社内

審査官 吉野 三寛

(56)参考文献 特開2009-076900 (JP, A)
特開2000-332351 (JP, A)
面心長方格子を用いた2次元フォトニック結晶レーザ, 電子情報通信学会技術研究報告. PN, フ
ォトニックネットワーク 109(401), pp. 5-9

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H 01 S 5 / 00 - 5 / 50