

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第5804690号
(P5804690)

(45) 発行日 平成27年11月4日(2015. 11. 4)

(24) 登録日 平成27年9月11日(2015. 9. 11)

(51) Int.Cl. F I
HO 1 S 5/18 (2006.01) HO 1 S 5/18
HO 1 S 5/12 (2006.01) HO 1 S 5/12

請求項の数 5 (全 12 頁)

(21) 出願番号	特願2010-249158 (P2010-249158)	(73) 特許権者	000001007
(22) 出願日	平成22年11月5日(2010. 11. 5)		キヤノン株式会社
(65) 公開番号	特開2012-104524 (P2012-104524A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43) 公開日	平成24年5月31日(2012. 5. 31)	(74) 代理人	100094112
審査請求日	平成25年10月31日(2013. 10. 31)		弁理士 岡部 譲
		(74) 代理人	100096943
			弁理士 臼井 伸一
		(74) 代理人	100101498
			弁理士 越智 隆夫
		(74) 代理人	100107401
			弁理士 高橋 誠一郎
		(74) 代理人	100106183
			弁理士 吉澤 弘司
		(74) 代理人	100128668
			弁理士 齋藤 正巳

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 面発光レーザ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

活性層と、前記活性層の面内方向に共振モードを有する2次元フォトリック結晶と、を備えた面発光レーザであって、

前記2次元フォトリック結晶は、異なる方向へ伸びる基本並進ベクトル a_1 と基本並進ベクトル a_2 とを有し、

前記共振モードは、少なくとも前記 a_1 の方向の共振モードと前記 a_2 の方向の共振モードとを有し、

前記 a_1 の長さ $|a_1|$ は、前記 a_1 の方向の共振モードにおける共振波長を λ_1 、前記 a_1 の方向の共振モードによって決まる実効屈折率を n_{eff1} 、2以上の整数を p とすると、 $|a_1| = p \times (\lambda_1 / 2 n_{eff1})$ で表され、

前記 a_2 の長さ $|a_2|$ は、前記 a_2 の方向の共振モードにおける共振波長を λ_2 、前記 a_2 の方向の共振モードによって決まる実効屈折率を n_{eff2} とすると、 $|a_2| = \lambda_2 / 2 n_{eff2}$ で表され、

前記 λ_1 と前記 λ_2 は、前記活性層の発光波長範囲の最短波長を λ_s とすると、 $\lambda_s \leq \lambda_1, \lambda_2$ を満たし、

前記 $|a_1|$ と前記 $|a_2|$ は、前記面発光レーザの外側に位置する外部媒質の屈折率を n_{out} とすると、 $|a_2| \geq (2/p) \times (n_{eff1} / (n_{out} + n_{eff2})) \times |a_1|$ を満たすことを特徴とする面発光レーザ。

【請求項 2】

10

20

前記 2 次元フォトリック結晶の外側でかつ前記面内方向に配置された、前記 s から前記 1 までの光を反射するミラーを有していることを特徴とする請求項 1 に記載の面発光レーザ。

【請求項 3】

前記 1 における前記活性層のゲインは、前記 2 における前記活性層のゲインよりも大きいことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の面発光レーザ。

【請求項 4】

前記 1 は、前記活性層のゲインのピークと一致していることを特徴とする請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の面発光レーザ。

【請求項 5】

前記 2 次元フォトリック結晶は、前記 a_1 の方向に幅 1 の位相シフト構造を 1 つ以上有し、

前記幅 1 は、0 よりも大きい奇数を s とすると、 $1 = s \times (1 \times 2 n_{eff} 1)$ で表されることを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の面発光レーザ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、面発光レーザに関するものである。特に、横モードをシングルモード発振させながら、出射ビームの偏光も 1 次元方向に揃えることが可能な分布帰還型のフォトリック結晶面発光レーザに関するものである。

【背景技術】

【0002】

半導体レーザの 1 つである面発光レーザは、基板に対して垂直方向や斜め方向に光を出射することを特長とする。

最近では、基板の面内方向に共振したレーザ光を、回折格子によって面外へ出射させる分布帰還 (Distributed Feedback; DFB) 型の面発光レーザが研究されている。

以下、この分布帰還型の面発光レーザを、DFB 型の面発光レーザと略記する。非特許文献 1 には、回折格子が 2 次的に形成された 2 次元フォトリック結晶を使った DFB 型の面発光レーザが開示されている。

非特許文献 1 に開示された 2 次元フォトリック結晶の 2 つの基本並進ベクトルは同じ長さであり、発振波長を、共振モードによって決定される実効屈折率 n_{eff} とすると、それら基本並進ベクトルの長さは、 λ / n_{eff} に等しい。2 つの基本並進ベクトルの長さが同じ 2 次元フォトリック結晶は、発光面積の大きさに依らず、2 次的な共振モードが形成されるため、横モードはシングルモードで発振する。

また、基本並進ベクトルの長さが λ / n_{eff} であることから、2 次元フォトリック結晶は 2 次の回折格子として機能し、2 次回折によって面内回折 (帰還効果、特にゲイン領域では増幅効果) が、1 次回折によって面垂直方向への回折が生じる。

よって、面内回折によりレーザ発振した光は、1 次回折により垂直出射する。その垂直出射したレーザ光は、2 次的な共振を反映した偏光、すなわち偏光が 2 次元成分で形成される。非特許文献 1 には、方位偏光のビームが開示されている。

【0003】

偏光方向が 2 次的になる理由を、非特許文献 1 に開示されている 2 次元フォトリック結晶を従来例により説明する。

図 9 は、格子点が正方格子状に配列した従来例の 2 次元フォトリック結晶の逆格子空間を表した 3 次的な模式図である。なお、 X_1 と X_2 は、逆格子空間における基本並進ベクトルである。

図 9 (a) を使って、 X_1 方向に進行する TE 偏光の波数ベクトル k_1 の回折を説明する。

波数ベクトル k_1 は、1 次回折によって、垂直方向の回折波 k_1' となる。回折前後で偏

10

20

30

40

50

光は維持されるので、 k_1' の偏光方向は、 X_1 方向と k_1' 方向のいずれに対しても垂直である。なお、図9において、点線の矢印が偏光を表している。また、同時に、2次回折により、 k_1 に対して180度逆方向へ進行する回折波 k_1'' も生じるが、垂直方向へ出射する光の偏光には関係しない。この回折波 k_1'' は、ゲイン領域下での増幅効果に寄与する。

同様に、図9(b)を使って、 X_2 方向に進行する波数ベクトル k_2 の回折を説明する。波数ベクトル k_2 も1次回折によって垂直方向への回折波 k_2' となる。偏光方向は維持され、 k_2' は、 X_1 方向と k_2' 方向のいずれに対しても垂直な方向に振動する偏光をもつ。

また、これと同時に2次回折により、 k_2 に対して180度逆方向へ進行する回折波 k_2'' も生じる。

垂直出射に寄与する k_1' と k_2' の1次回折は同時に生じるので、図9(c)に示すように、垂直方向に出射する波 k' は、 k_1' と k_2' が結合したものとなる。すなわち、 k' の偏光は、2次元的な成分が合成された偏光となる。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0004】

【非特許文献1】IEEE JOURNAL ON SELECTED AREAS IN COMMUNICATION, vol. 23, 1335 (2005) .

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

2次元フォトニック結晶を用いたDFB型の面発光レーザでは、発光面積に依らず横モードがシングルモードで発振するものの、偏光方向が2次元的なビームしか得られない。このような2次元的な偏光を有するレーザビームを、複屈折光学素子に入射させた場合、偏光起因の収差が生じるという課題がある。

一方で、1次元フォトニック結晶を使った面発光レーザは、1方向の回折しか存在しないので、自ずと、出射ビームの偏光は1次元になる。

しかしながら、1次元フォトニック結晶の面発光レーザは、発光面積を大きくすると、横モードがマルチモード化する。

【0006】

本発明は、上記課題に鑑み、発光面積に依らず横モードがシングルモードで発振させることができ、出射ビームの偏光を1次元的に揃わせることが可能となるDFB型の面発光レーザの提供を目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の面発光レーザは、活性層と、前記活性層の面内方向に共振モードを有する2次元フォトニック結晶と、を備えた面発光レーザであって、

前記2次元フォトニック結晶は、異なる方向へ伸びる基本並進ベクトル a_1 と基本並進ベクトル a_2 とを有し、

前記共振モードは、少なくとも前記 a_1 の方向の共振モードと前記 a_2 の方向の共振モードとを有し、

前記 a_1 の長さ $|a_1|$ は、前記 a_1 の方向の共振モードにおける共振波長を λ_1 、前記 a_1 の方向の共振モードによって決まる実効屈折率を n_{eff1} 、2以上の整数を p とすると、 $|a_1| = p \times (\lambda_1 / 2 n_{eff1})$ で表され、

前記 a_2 の長さ $|a_2|$ は、前記 a_2 の方向の共振モードにおける共振波長を λ_2 、前記 a_2 の方向の共振モードによって決まる実効屈折率を n_{eff2} とすると、 $|a_2| = \lambda_2 / 2 n_{eff2}$ で表され、

前記 λ_1 と前記 λ_2 は、前記面発光レーザの外側に位置する外部媒質の屈折率を n_{out} とすると、 $\lambda_2 = 2 \times (n_{eff2} / (n_{out} + n_{eff2})) \times \lambda_1$ を満たすことを特徴とする。

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、発光面積に依らず横モードがシングルモードで発振させることができ、出射ビームの偏光を1次元的に揃わせることが可能となるDFB型の面発光レーザを実現することができる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】実施形態1の面発光レーザの断面図。

10

【図2】実施形態1の2次元フォトリック結晶層の上面図。

【図3】実施形態1のフォトリックバンド図。

【図4】実施形態1の回折現象を表した逆格子空間の3次元模式図。

【図5】実施形態1の逆格子空間の上面図。

【図6】実施形態1の面発光レーザの遠視野と偏光方向を表した図。

【図7】実施形態2における2次元フォトリック結晶層の上面図と面発光レーザの遠視野と偏光方向を表した図。

【図8】実施形態3における2次元フォトリック結晶層の上面図と面発光レーザの遠視野と偏光方向を表した図。

【図9】従来例の回折現象を表した逆格子空間の3次元模式図。

20

【発明を実施するための形態】

【0010】

次に、本発明を適用した面発光レーザの実施形態について説明する。

[実施形態1]

本発明を適用した実施形態1の面発光レーザについて説明する。

まず、図1を用いて、本実施形態の面発光レーザの構造について説明する。

本実施形態の面発光レーザ100は、基板101上に、n型クラッド層102、活性層103、2次元フォトリック結晶層104、p型クラッド層105、コンタクト層106が順に積層されている。

基板101において活性層103とは反対側の面には、n側電極107が形成されており、コンタクト層106において活性層103とは反対側の面には、p側電極108が形成されている。なお、n型クラッド層102と活性層103の間、または、p型クラッド層105と活性層103の間に、n型クラッド層102とp型クラッド層105よりも屈折率が高いガイド層があってもよい。

30

また、積層方向に光が閉じ込められるのであれば、p型クラッド層105はなくても良い。

基板101、n型クラッド層102、活性層103、p型クラッド層105、コンタクト層106は、半導体材料であり、例えば、Al、In、Ga、N、As、P、Sb、B、C、Si、Ge、Snのいずれかの元素を含む半導体である。本実施形態1では、基板101はGa_{0.5}N_{0.5}、n型クラッド層102はAl_{0.3}Ga_{0.7}N、活性層103はIn_{0.5}Ga_{0.5}N、p型クラッド層105はAl_{0.3}Ga_{0.7}N、コンタクト層106はGa_{0.5}N_{0.5}である。

40

面発光レーザ100の外側、すなわちn側電極107とp側電極108の外側は、外部媒質109で覆われている。

【0011】

つぎに、図2を用いて、本実施形態の2次元フォトリック結晶層の構造について説明する。

図2の2次元フォトリック結晶層104の上面図に示すように、本実施形態の2次元フォトリック結晶層104は、高屈折率媒質110に、円柱の低屈折率媒質111が長方形格子状に配置されている。なお、格子形状は、斜方格子であっても以下の同じ効果が得られる。

50

また、高屈折率媒質 1 1 0 は、半導体材料であり、例えば、Al、In、Ga、N、As、P、Sb、B、C、Si、Ge、Snのいずれかの元素を含む半導体である。

低屈折率媒質 1 1 1 は、高屈折率媒質 1 1 0 よりも屈折率の低い媒質であり、例えば空気やSiO₂などが用いられる。

本実施形態では、高屈折率媒質 1 1 0 はGa_{0.5}N_{0.5}、低屈折率媒質 1 1 1 は空気である。

【0012】

図2の長方格子は、2つの基本並進ベクトル a_1 と a_2 で構成される。

基本並進ベクトル a_1 と a_2 の長さが異なるため、この2次元フォトニック結晶は、少なくとも a_1 方向の共振モードと a_2 方向の共振モードを有し、さらに、それらは、光学的に、直接、結合しない。

言い換えると、 a_1 方向の回折格子に起因する共振モードと、 a_2 方向の回折格子に起因する共振モードは独立に制御でき、それぞれ異なる機能をもたせることが可能である。

そこで、本発明では、 a_1 方向の回折格子は、波長 λ_1 の光を面外へ出射させる機能をもたせる。一方で、 a_2 方向の回折格子は、その屈折率周期構造によって、レーザの横モードを制御する機能をもたせる。

この際、 a_2 方向の回折格子は、波長 λ_1 の光は、面外へ回折しないような周期とする。

このような形態にすることで、出射ビームの偏光を1次元方向に揃えながら、横モードがシングルモードで発振する面発光レーザを実現することが可能である。ここで、 a_1 方向の回折格子における基本並進ベクトル a_1 の長さについて説明する。

本実施形態においては、基本並進ベクトル a_1 の長さを $|a_1|$ とすると、

$|a_1|$ は、 a_1 方向の共振モードにおける共振波長 λ_1 と、その a_1 方向の共振モードによって決まる実効屈折率 n_{eff1} と、2以上の整数 p によって記述される関係式 $|a_1| = p \times (\lambda_1 / 2 n_{eff1})$ を満足する長さに設定する。

本実施形態では、 $p = 2$ 、 $|a_1| = 161.35 \text{ nm}$ に設定したため、活性層103から発生した波長 $\lambda_1 = 405 \text{ nm}$ の光は、1次回折によって面垂直方向へ回折し、2次回折によって180度逆の面内方向へ回折する。

さらに、 a_2 方向の回折格子における基本並進ベクトル a_2 の長さについて説明する。

本実施形態においては、基本並進ベクトル a_2 の長さを $|a_2|$ とすると、

$|a_2|$ は、 a_2 方向の共振モードの共振波長 λ_2 と、その a_2 方向の共振モードによって決まる実効屈折率 n_{eff2} によって記述される関係式 $|a_2| = \lambda_2 / 2 n_{eff2}$ を満足する長さに設定する。

さらに、共振波長 λ_1 と共振波長 λ_2 は、実効屈折率 n_{eff2} と外部媒質109の屈折率 n_{out} によって記述される関係式 $\lambda_2 = 2 \times (n_{eff2} / (n_{out} + n_{eff2})) \times \lambda_1$ を満足するように設定する。

これらの条件を満たすことで、波長 λ_1 の光は、 a_2 方向に形成された回折格子によって、面外へ回折することはない。

すなわち、面発光レーザ100から面外へ出射する波長 λ_1 のレーザ光の偏光を1次元成分のみで形成することが可能である。

【0013】

図3を用いて、これらの回折現象を説明する。

図3は、X1方向とX2方向のフォトニックバンド図である。

なお、X1方向とX2方向は、基本逆格子ベクトルを表し、X1方向は実空間の a_1 方向に、X2方向は実空間の a_2 方向に対応する。

また、共振波長 λ_1 に対応する周波数が f_1 、共振波長 λ_2 に対応する周波数が f_2 である。

また、 a_2 方向の回折格子、すなわち屈折率周期構造に基づく分散曲線を D_2 、面発光レーザ100の外側に位置する外部媒質109の屈折率 n_{out} によって決まるライトラインを D_{out} とする。

周波数 f_1 （共振波長 λ_1 ）の光が、X2方向の回折（ a_2 方向の回折格子）によって面外へ出射しないようにするための条件は、分散曲線 D_2 とライトライン D_{out} の交点の周波数 f_x が、周波数 f_1 よりも大きければよい。

10

20

30

40

50

以下、これらを式で説明する。

X 2 点で折り返した、分散曲線 D_2 は、次の (式 1) で表される。

$$D_2 = - (1 / n_{eff2}) \times k + 2 / n_{eff1} \times (1 / \lambda_2) \quad (\text{式 1})$$

一方で、ライトライン D_{out} は、次の (式 2) で表される。

$$D_{out} = 1 / n_{out} \times k \quad (\text{式 2})$$

よって、分散曲線 D_2 とライトライン D_{out} の交点の周波数 f_x は、次の (式 3) で表される。

【 0 0 1 4 】

$$f_x = 2 \times (n_{eff2} / n_{eff1}) \times (1 / (n_{out} + n_{eff2})) \times (1 / \lambda_2) \quad (\text{式 3})$$

$f_1 = f_x$ であるので、次の (式 4) が導かれる。

$$\lambda_2 = 2 \times (n_{eff2} / (n_{out} + n_{eff2})) \times \lambda_1 \quad (\text{式 4})$$

本実施形態においては、外部媒質は空気であり、その屈折率 n_{out} は 1 であるので、次の (式 5) が導かれる。

$$\lambda_2 = 2 \times (n_{eff2} / (1 + n_{eff2})) \times \lambda_1 \quad (\text{式 5})$$

また、上記 (式 5) の関係を $|a_1|$ と $|a_2|$ の関係式に変換すると次の (式 6) となる。

$$|a_2| = \frac{(2 / p) \times n_{eff1}}{(1 + n_{eff2})} \times |a_1| \quad (\text{式 6})$$

本実施形態では、 $|a_2| = 78.13 \text{ nm}$ であり、 $\lambda_2 = 400 \text{ nm}$ となる。

【 0 0 1 5 】

以下、図 4 を用いて、 a_1 方向と a_2 方向に形成された回折格子内の回折現象を偏光方向と合わせて説明する。

図 4 は、本実施形態の 2 次元フォトニック結晶構造に対する逆格子空間を、3 次元的に示しており、2 次元フォトニック結晶内での回折現象を模式的に表している。図 4 において、偏光は点線の矢印で表している。

図 4 (a) を用いて、X 1 方向に進行する波数ベクトル k_1 (波長 λ_1) の回折を説明する。

波数ベクトル k_1 は、1 次回折によって垂直方向への回折波 k_1' となる。

回折前後で偏光は維持されるので、 k_1' の偏光方向は、X 1 方向と k_1' 方向のいずれに対しても垂直である。

また、1 次回折と同時に 2 次回折も生じ、 k_1 に対して 180 度逆方向へ進行する回折波 k_1'' も生じるが、垂直方向へ出射する光の偏光には関係しない。この回折波 k_1'' は、ゲイン領域下での増幅効果に寄与する。

【 0 0 1 6 】

次に、図 4 (b) を用いて、X 2 方向への進行する波数ベクトル k_{21} (波長 λ_1) と波数ベクトル k_{22} (波長 λ_2) の回折を説明する。

波数ベクトル k_{21} に関しては、1 次回折により、面外方向への回折波 k_{21}' となる。

しかし、 $\lambda_2 = 2 \times (n_{eff2} / (1 + n_{eff2})) \times \lambda_1$ の関係を満たしていれば、コンタクト層 106 もしくは p 側電極 108 と空気の界面で全反射を起こし、面外へは出射しない。

また、波数ベクトル k_{22} に関しては、1 次回折により、 k_{22} に対して 180 度逆方向へ進行する回折波 k_{22}' となり、面外出射へは関係しない。

以上のことから、面外方向 (本実施形態 1 では垂直方向) へ回折する波 k' は、X 1 方向からの 1 次回折 k_1' のみが関係する。

すなわち、図 4 (c) に示すように、垂直出射光の偏光は、X 1 方向と k_1' 方向のいずれに対しても垂直な、1 次元的に揃った偏光を有する。

10

20

30

40

50

【 0 0 1 7 】

本実施形態の面発光レーザ 1 0 0 は、横モードをシングルモードで発振させることが可能である。

図 5 は、本実施形態の 2 次元フォトニック結晶の逆格子空間の上面図である。

X 1 方向に進む波数ベクトル k_{11} は、逆格子ベクトル G_{11} によって、垂直な方向へ回折した k_{11}' となる。

一方で、X 1 方向から少しずれた方向に進む波数ベクトル k_{12} は、1 次元フォトニック結晶の面発光レーザの場合、横モードのマルチモード化の原因となる。しかしながら、本実施形態においては、X 2 方向へも周期構造が形成されているため、光学モードが一意に決定される。

すなわち、 k_{12} は、回折格子内を伝搬する導波モードとして存在するか、もしくは、その方向には光学モードが存在しないかのどちらかである。

すなわち、面発光領域の幅を広げたとしても、垂直方向へ出射する横モードは k_{11}' に起因するものだけである。これが単一横モード発振を可能にしている。また、2 次元フォトニック結晶面内のゲイン分布で、発振モードのプロファイルを制御することも可能である。

【 0 0 1 8 】

ここで、基本並進ベクトル a_2 の長さの下限について説明する。

図 2 の長方格子の基本並進ベクトル a_2 の長さを、活性層 1 0 3 の発光波長範囲の最短波長 λ_s によって記述される関係式 $|a_2| \geq \lambda_s / 2 n_{eff2}$ 、すなわち $\lambda_s \geq 2 |a_2| n_{eff2}$ を満足することが好ましい。

本実施形態の長方格子は、基本並進ベクトル a_1 と a_2 の長さが異なるため、逆格子空間においても、X 1 方向と X 2 方向の基本逆格子ベクトルの長さが異なる。よって、 a_1 方向の共振モードと a_2 方向の共振モードは、光学的に結合しない。言い換えると、活性層 1 0 3 にて a_2 方向の共振波長 λ_2 の光に変換されたキャリアは、面発光する光には結合しないため、結果的に、エネルギーは損失になる。すなわち、 a_2 方向の回折格子により、横モード制御ができるという利点があるものの、 a_2 方向の共振モードの光は、面発光レーザのエネルギー効率の観点から見ると、効率的とはいえない。

そこで、基本並進ベクトル a_2 の長さを、活性層 1 0 3 の発光波長範囲の最短波長 λ_s によって記述される関係式 $|a_2| \geq \lambda_s / 2 n_{eff2}$ 、すなわち $\lambda_s \geq 2 |a_2| n_{eff2}$ を満足することが好ましい。この関係式を満たすことで、フォトンリサイクリングによるエネルギー効率の向上が可能となる。

【 0 0 1 9 】

具体的には、 a_2 方向に共振する共振波長 λ_2 の光は、活性層 1 0 3 に再吸収され、キャリアとなり得る。

そして、再び、再結合して、 a_1 方向に共振する共振波長 λ_1 の光となり得る。この現象は、共振波長 λ_2 が活性層の吸収帯域に含まれること、すなわち共振波長 λ_2 が活性層の発光波長帯域に含まれることが必要であり、なおかつ、変換後の共振波長 λ_1 の光よりも高エネルギーであることが必要なので、関係式 $\lambda_s \geq \lambda_2 \geq \lambda_1$ を満たすことが好ましい。

本実施形態の活性層 1 0 3 の発光波長領域は 3 8 0 nm ~ 4 2 0 nm であるので、 $\lambda_s = 3 8 0$ nm となり、また、 $\lambda_2 = 4 0 0$ nm、 $\lambda_1 = 4 0 5$ nm であるので、 $\lambda_s \geq \lambda_2 \geq \lambda_1$ を満足している。

【 0 0 2 0 】

つぎに、活性層のゲインと λ_1 と λ_2 の関係について説明する。

本実施形態においては、 a_1 方向の共振する共振波長 λ_1 の光を、レーザ発振させたうえで、面垂直方向へ回折させる。

a_2 方向へ共振する共振波長 λ_2 の光も、フォトンリサイクリングにより、共振波長 λ_1 の光に変換することも可能であるが、最初から、共振波長 λ_1 の光としてキャリアが消費された方がエネルギー効率がよい。

10

20

30

40

50

よって、共振波長 λ_1 に対する活性層 103 のゲインが、共振波長 λ_2 に対する活性層 103 のゲインよりも大きいことが好ましい。

より好ましくは、活性層 103 のゲインのピークと、共振波長 λ_1 が一致するのが良い。本実施形態のゲインピークは、共振波長 λ_1 と一致している。

【0021】

図6は、本実施形態の面発光レーザ100から、垂直出射されるビームの遠視野である。

この遠視野のプロファイルは、 a_2 方向の回折格子の光結合係数にも依存するが、 a_1 方向に、ほぼ双方のビームプロファイルを有する。

それぞれのピーク位置において、偏光の位相は180度回転しているものの、偏光方向は a_2 方向の成分のみから成る1次元的な偏光である。なお、図6中の点線は偏光方向と位相を表す。

【0022】

[実施形態2]

実施形態2として、実施形態1の2次元フォトニック結晶の基本並進ベクトル a_1 と基本並進ベクトル a_2 の長さを変えた変形形態について説明する。

基本並進ベクトル a_1 の長さを $|a_1| = 4 \times (\lambda_1 / 2 n_{eff1})$ 、すなわち4次の回折格子とした。

より具体的には、本実施形態では、 $|a_1| = 645.4 \text{ nm}$ であり、 $\lambda_1 = 405 \text{ nm}$ である。

基本並進ベクトル a_2 の長さ $|a_2|$ は、 $|a_2| = \lambda_2 / 2 n_{eff2}$ を満足し、より具体的には、本実施形態では、 $|a_1| = 80.66 \text{ nm}$ であり、 $\lambda_1 = 413 \text{ nm}$ である。

本実施形態では、 $\lambda_2 = 1.02 \times \lambda_1$ であり、 $n_{eff2} = 2.56$ なので、関係式 $\lambda_2^2 \times (n_{eff2} / (1 + n_{eff2})) \times \lambda_1$ を満足している。図7(a)は、本実施形態の2次元フォトニック結晶層104の上面図を表しており、2次元フォトニック結晶の外側には s から λ_1 までの光をゲイン領域702へ反射させる分布ブラッグ反射ミラー701を有している。

分布ブラッグ反射ミラー701は、低屈折率媒質703と高屈折率媒質704で構成されており、本実施形態では、低屈折率媒質703が空気、高屈折率媒質704がGaNからなる。

この分布ブラッグ反射ミラー701により、2次元フォトニック結晶の外側、特に、 a_2 方向に漏れた s から λ_1 までの光をフォトンリサイクリングにより、波長 λ_1 のレーザ光へと再利用できる。

なお、図7(a)では、 a_2 方向にしか、分布ブラッグ反射ミラー701を配置していないが、 a_1 方向にも配置しても良い。

【0023】

本実施形態の面発光レーザ100は、 a_1 方向に4次の回折格子を用いているため、面外へ出射するビームは、垂直方向に出射するビームと、その垂直出射ビームを対称軸に、 a_1 方向へ斜め出射する2つのビームの、計3つの出射ビームからなる。それら3つのビームの偏光はいずれも1次元成分からなる。

図7(b)は、本実施形態の面発光レーザ100から、垂直出射されるビームの遠視野である。この遠視野のプロファイルは、3つ山のビームプロファイルを有する。

偏光方向は a_2 方向の成分のみから成る1次元的な偏光である。なお、中央のピークにおける偏光位相と、両端ピークにおける偏光位相と180度回転している。図7(b)中の点線は偏光方向と位相を表す。

【0024】

[実施形態3]

実施形態3として、実施形態1の他の変形形態について説明する。

図8(a)は、本実施形態の2次元フォトニック結晶層104の上面図であり、基本並進ベクトル a_1 の方向に幅 $\lambda_1 = \lambda_1 \times 2 n_{eff1}$ の位相シフト構造を有している。

a_1 方向の共振モードの位相は、その位相シフト構造を境に、 180 度回転する。これにより、垂直出射ビームのプロファイルが単峰となる。

図 8 (b) は、本実施形態の面発光レーザ 100 の遠視野と偏光方向を表している。

なお、本実施形態では、位相シフトの幅 ϕ_1 は、 $\phi_1 \times 2 n_{eff1}$ であったが、0 よりも大きい奇数 s によって記述される関係式 $\phi_1 = s \times (\phi_1 \times 2 n_{eff1})$ を満足すれば、同じ効果が得られる。

また、ここでは位相シフト構造を 1 つ備えた構成例が示されている、1 つ以上有する構成としても良い。

【符号の説明】

【0025】

100：面発光レーザ

103：活性層

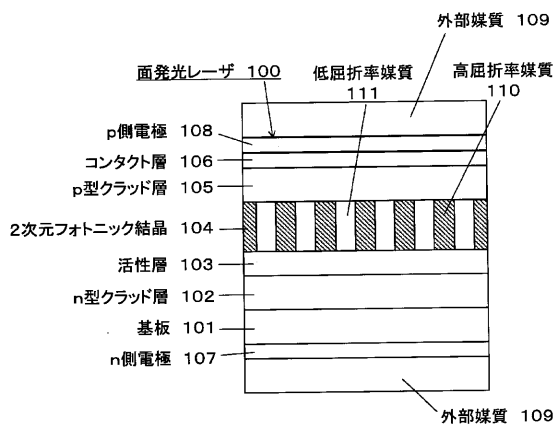
104：2次元フォトニック結晶層

109：外部媒質

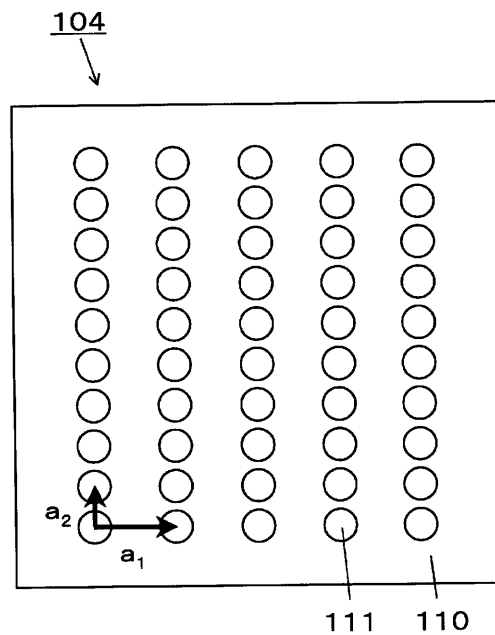
a_1 、 a_2 ：異なる方向へ伸びる基本並進ベクトル

10

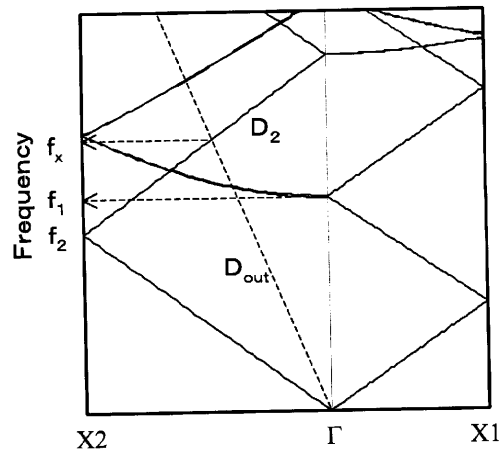
【図 1】



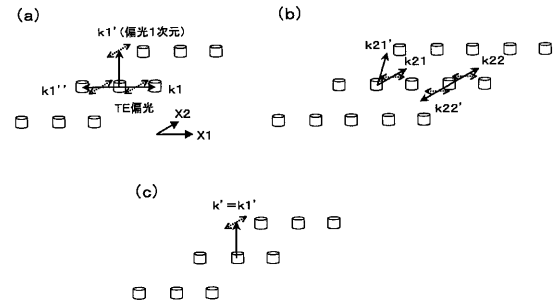
【図 2】



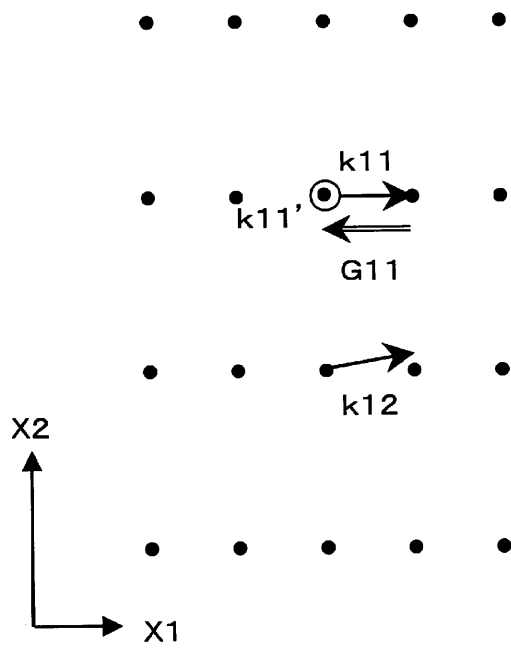
【図 3】



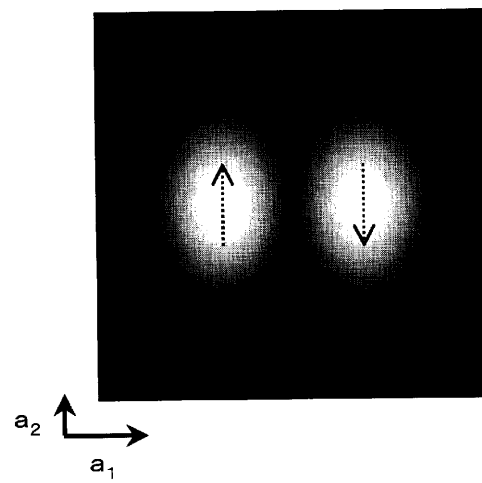
【図 4】



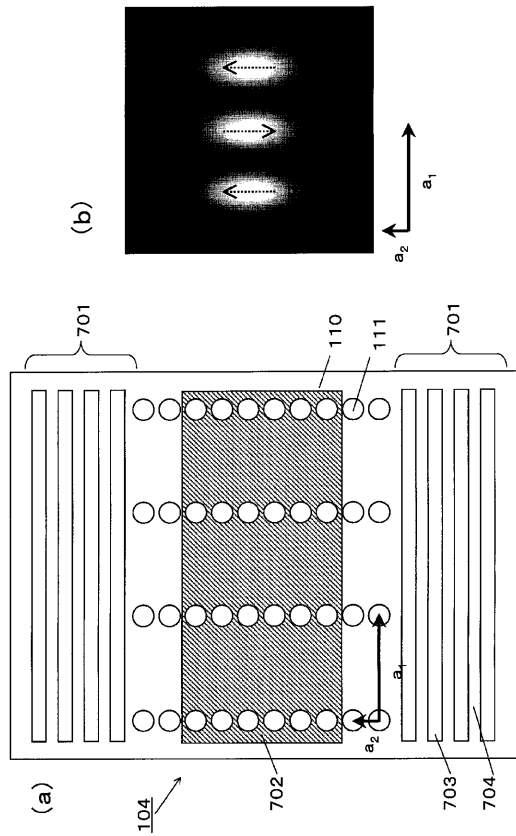
【図 5】



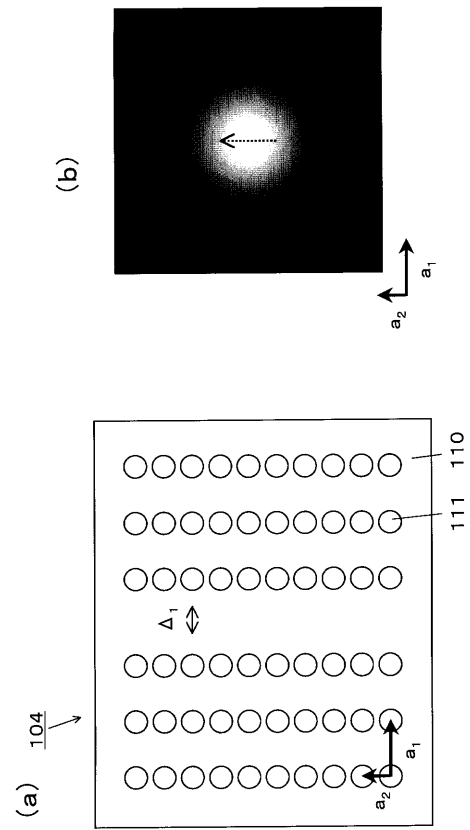
【図 6】



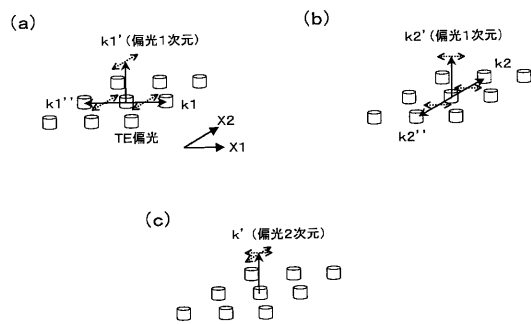
【図 7】



【図 8】



【図 9】



フロントページの続き

(74)代理人 100134393

弁理士 木村 克彦

(74)代理人 100174230

弁理士 田中 尚文

(72)発明者 川島 祥一

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内

(72)発明者 長友 靖浩

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内

審査官 廣崎 拓登

(56)参考文献 特開2010-219307(JP,A)

国際公開第03/067724(WO,A1)

特開2000-332351(JP,A)

特開2004-296538(JP,A)

米国特許出願公開第2007/0030873(US,A1)

特開2009-076900(JP,A)

米国特許出願公開第2007/0109639(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01S 5/00 - 5/50

JSTPlus/JST7580(JDreamIII)

IEEE Xplore

Google Scholar