

(43) 国際公開日
2012 年 9 月 13 日(13.09.2012)



(10) 国際公開番号

WO 2012/121083 A1

(51) 国際特許分類: *H01S 5/22* (2006.01) *H01S 5/12* (2006.01)

(21) 国際出願番号: PCT/JP2012/055118

(22) 国際出願日: 2012 年 2 月 29 日(29.02.2012)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2011-050688 2011 年 3 月 8 日(08.03.2011) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 国立
大学法人京都大学 (Kyoto University) [JP/JP]; 〒
6068501 京都府京都市左京区吉田本町 3 6 番地
1 Kyoto (JP). 浜松ホトニクス株式会社 (HAMA-
MATSU PHOTONICS K.K.) [JP/JP]; 〒4358558 静岡
県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 Shizuoka
(JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 渡邊 明佳
(WATANABE Akiyoshi) [JP/JP]; 〒4358558 静岡県浜
松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニ
クス株式会社内 Shizuoka (JP). 廣瀬 和義
(HIROSE Kazuyoshi) [JP/JP]; 〒4358558 静岡県浜松
市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニ
クス株式会社内 Shizuoka (JP). 柴田 公督 (SHIBATA

Kousuke) [JP/JP]; 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP). 杉山 貴浩 (SUGIYAMA Takahiro) [JP/JP]; 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP). 黒坂 剛孝 (KUROSAKA Yoshitaka) [JP/JP]; 〒4358558 静岡県浜松市東区市野町 1 1 2 6 番地の 1 浜松ホトニクス株式会社内 Shizuoka (JP). 野田 進 (NODA Susumu) [JP/JP]; 〒6158510 京都府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 Kyoto (JP).

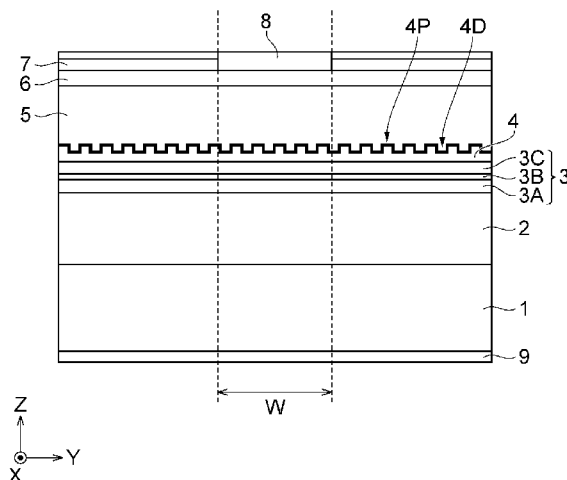
(74) 代理人: 長谷川 芳樹, 外(HASEGAWA Yoshiki et al.); 〒1000005 東京都千代田区丸の内二丁目1番1号丸の内 MY PLAZA (明治安田生命ビル) 9階 創英国際特許法律事務所 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV,

[続葉有]

(54) Title: END FACE EMISSION TYPE SEMICONDUCTOR LASER ELEMENT
(54) 発明の名称: 端面発光型半導体レーザ素子

〔圖1〕



(57) Abstract: This end face emission type semiconductor laser element is provided with a two-dimensional photonic crystal (4) formed in a semiconductor layer. The direction of length (X axis) is made one direction of an electrode (8) contact region. When a direction perpendicular to both this direction of length and the direction of thickness of a substrate is made the direction of width (Y axis), the two-dimensional photonic crystal (4), when viewed from the direction perpendicular to the substrate (Z axis), is positioned within a region which is wider in the direction of width than the contact region that includes the contact region for the electrode, and a structure in which the period of the index of refraction changes periodically while each space along the one direction (X axis) satisfies the conditions for Bragg diffraction is provided.

(57) 要約: この端面発光型半導体レーザ素子は、半導体層内に形成された２次元フォトリソニック結晶４を備えており、電極８の接触領域の一方方向を長さ方向（Ｘ軸）とし、この長さ方向及び基板の厚み方向の双方に垂直な方向を幅方向（Ｙ軸）とした場合、２次元フォトリソニック結晶４は、基板に垂直な方向（Ｚ軸）から見た場合、電極の接触領域を含み接触領域よりも幅方向に広い領域内に位置し、光の回折条件を満たしつつ、周期的に変化する

且つ、一方向（X軸）に沿った間隔毎に屈折率が、ブラッグの回折条件を満たしつつ、周期的に変化する屈折率周期構造を備えている。

WO 2012/121083 A1



SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC,
VN, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE,

ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

— 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

明 細 書

発明の名称： 端面発光型半導体レーザ素子

技術分野

[0001] 本発明は、端面発光型半導体レーザ素子に関する。

背景技術

[0002] 一般的な半導体レーザ素子は、半導体基板のへき開端面から光を出射するタイプの構造を有しており、端面発光型レーザと呼ばれている。近年、半導体レーザ素子に関して、フォトリソグラフィを用いた応用研究（特許文献１～特許文献４）が行われている。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献１：特開平１１－３３０６１９号公報

特許文献２：特開２００６－１８６０９０号公報

特許文献３：特開２００４－１７２５０６号公報

特許文献４：特開２００４－８７９８０号公報

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0004] しかしながら、従来の半導体レーザ素子においては、導波路の幅方向に空間横モード制御するための機能を持たないことがほとんどで、特に導波路幅が広い高出力用半導体レーザの場合には、空間横モードが多数発生し、マルチモード発振となる等、空間横モードを安定化させることができない。横マルチモード発振が不安定に生じた場合には、発光端面における近視野像（NFP）、遠視野像（FFP）が不均一な形状となり、さらに駆動条件により形状が変化していく。このような不安定な空間横モード動作は、レンズ系による精密な集光、光整形が困難になるため、半導体レーザ素子の応用の阻害要因となっている。

[0005] 本発明の態様は、このような課題に鑑みてなされたものであり、素子内に

生じる光の電磁界分布を規定することのできるフォトニック結晶を用いて、空間横モード動作を安定させることにより、発光形状を均一化し、駆動条件によるモード変化を抑制できる端面発光型半導体レーザ素子を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0006] 上述の課題を解決するため、本発明の態様に係る端面発光型半導体レーザ素子は、基板上に少なくとも活性層、光ガイド層及びクラッド層が順次積層されてなる半導体層と、前記半導体層に接触し、この半導体層との接触領域が、前記基板の厚み方向に垂直な一方向に沿って延びている駆動電流用電極と、を備え、前記活性層における前記一方向の一端に位置する端面からレーザ光が出射する端面発光型半導体レーザ素子であって、前記半導体層内に形成された２次元フォトニック結晶を更に備え、前記接触領域の前記一方向を長さ方向とし、この長さ方向及び前記基板の厚み方向の双方に垂直な方向を幅方向とした場合、前記２次元フォトニック結晶は、前記基板に垂直な方向から見た場合、前記接触領域を含み前記接触領域よりも幅方向に広い領域内に位置し、且つ、前記一方向に沿った間隔 d_1 毎に屈折率が周期的に変化する屈折率周期構造を備え、 q_1 を自然数、 n を活性層における光の実効屈折率とした場合、波長 λ の前記レーザ光に対して、ブラッグの回折条件： $d_1 = q_1 \times \lambda / (2 \times n)$ を満たしていることを特徴とする。

[0007] この場合の端面発光型半導体レーザ素子では、電極接触領域の外側のキャリアが食み出す領域まで２次元フォトニック結晶が形成され、共振器長方向にブラッグ回折条件が満たされているので、素子内部で生じる光の電磁界分布が規定され、得られるレーザ光の空間横モードが安定し、発光形状を均一化することができる。

[0008] 前記２次元フォトニック結晶は、前記一方向に交差する方向に沿った間隔 d_2 毎に屈折率が周期的に変化する屈折率周期構造を備え、 q_2 を自然数とした場合、波長 λ の前記レーザ光に対して、ブラッグの回折条件： $d_2 = q_2 \times \lambda / (2 \times n)$ を満たしていることを特徴とする。

- [0009] この場合の端面発光型半導体レーザ素子では、電極接触領域の外側のキャリアが食み出す領域まで2次元フォトニック結晶が形成され、共振器長と交差する方向にもブラッグ回折条件が満たされているので、素子内部で生じる光の電磁界分布が素子面内で2次元的に規定され、得られるレーザ光の空間横モードが安定し、発光形状を均一化することができる。
- [0010] すなわち、前記2次元フォトニック結晶は、前記基板に垂直な方向から見た場合、前記接触領域を含み前記接触領域よりも、前記活性層内に供給されたキャリアが、幅方向の外側に、前記幅方向両端位置からそれぞれ食み出した寸法以上に、幅方向に広い領域内に位置していることが好ましい。
- [0011] キャリアが食み出した部分を含むように2次元フォトニック結晶が形成されているため、素子内部で十分に電磁界分布が素子面内で2次元的に規定され、出射するレーザ光モードを安定化、均一化することができる。
- [0012] この寸法は、キャリアの拡散長に依存し、片側で3 μm 以上あれば、フォトニック結晶は、染み出したキャリアの全体に、影響を与えることができる。
- [0013] また、前記2次元フォトニック結晶は、前記基板に垂直な方向から見た場合、前記接触領域を含み前記接触領域よりも、前記活性層内で発生した光が、幅方向の外側に、前記幅方向両端位置からそれぞれ染み出した寸法以上に、幅方向に広い領域内に位置していることが好ましい。
- [0014] この場合、光の染み出した部分を含むように2次元フォトニック結晶が形成されている。フォトニック結晶の形成境界部では、光の反射が生じるために散乱が生じ、これが本来の半導体レーザの発振モードを乱す原因となるが、この場合、光の染み出した部分を含むように2次元フォトニック結晶が形成され、2次元フォトニック結晶が幅方向に広い領域に形成されているため、反射による影響は少なくなり、安定した空間横モード動作を可能にすることができる。

発明の効果

- [0015] 本発明の態様に係る端面発光型半導体レーザ素子によれば、安定で均一な

空間横モード動作を図ることができる。

図面の簡単な説明

[0016] [図1] 図 1 は、半導体レーザ素子の正面図である。

[図2] 図 2 は、半導体レーザ素子の平面図である。

[図3] 図 3 は、フォトニック結晶における格子点の配列を示す図である。

[図4] 図 4 は、半導体レーザ素子の製造方法を説明するための図である。

[図5] 図 5 は、供給電流 J (mA) と光出力 P (mW) の関係を示すグラフである。

[図6] 図 6 は、光の波長 λ (nm) と対数表示の強度 I (a. u.) の関係を示すグラフである。

[図7] 図 7 は、比較例に係る半導体レーザ素子の遠視野像の出射角度 θ (°) と強度 I (a. u.) の光出力依存性の関係を示すグラフである。

[図8] 図 8 は、実施例に係る半導体レーザ素子の遠視野像の出射角度 θ (°) と強度 I (a. u.) の光出力依存性の関係を示すグラフである。

[図9] 図 9 は、比較例に係る半導体レーザ素子の近視野像の距離 D (μm) と強度 I (a. u.) の関係を示すグラフである。

[図10] 図 10 は、実施例に係る半導体レーザ素子の近視野像の距離 D (μm) と I 強度 (a. u.) の関係を示すグラフである。

発明を実施するための形態

[0017] 以下、実施の形態に係る端面発光型半導体レーザ素子（以下、単に半導体レーザ素子という）について説明する。なお、同一要素には同一符号を用いることとし、重複する説明は省略する。

[0018] 図 1 は、半導体レーザ素子の正面図である。同図では、 $X Y Z$ 三次元直交座標系が示されており、基板厚み方向を Z 軸、共振器長方向を X 軸とし、これらに垂直な幅方向を Y 軸に設定する。

[0019] 半導体レーザ素子は、半導体基板 1 上に順次形成された下部クラッド層 2、下部光ガイド層 3 A、活性層 3 B、上部光ガイド層 3 C、2 次元フォトニック結晶層 4、上部クラッド層 5、キャップ層（コンタクト層）6 を備えて

いる。半導体基板 1 の裏面側には、電極 9 が全面に設けられており、キャップ層 6 の Y 軸方向の中央部では、駆動電流用電極 8 が接触している。上部の電極 8 は、キャップ層 6 上に設けられた絶縁層 7 上に形成されているが、絶縁層 7 には、X 軸方向に延びた長方形の開口が形成されており、電極 8 は、この開口を介して、キャップ層 6 に接触している。

[0020] これらの化合物半導体層の材料／厚みは以下の通りである。なお、導電型の記載のないものは不純物濃度が $10^{15} / \text{cm}^3$ 以下の真性半導体である。なお、不純物が添加されている場合の濃度は、 $10^{17} \sim 10^{20} / \text{cm}^3$ である。

[0021] また、下記は本実施の形態の一例であって、活性層 3 B およびフォトニック結晶層 4 を含む構成であれば、材料系、膜厚、層の構成には自由度を持つ。なお、MOCVD 法による AlGaAs の成長温度は $500^\circ\text{C} \sim 850^\circ\text{C}$ であって、成長時における Al 原料として TMA（トリメチルアルミニウム）、ガリウム原料として TMG（トリメチルガリウム）および TEG（トリエチルガリウム）、 As 原料としては AsH_3 （アルシン）、N 型不純物用の原料として Si_2H_6 （ジシラン）、P 型不純物用の原料として DEZn（ジエチル亜鉛）を用いた。 GaAs の形成時には、 AlGaAs の形成工程において、 Al 原料（TMA）の供給を停止する。

[0022] ・キャップ層 6：

P 型の GaAs ／ $50 \sim 500 \text{ nm}$

・上部クラッド層 5：

P 型の AlGaAs ／ $1.0 \sim 3.0 \mu\text{m}$

・フォトニック結晶層 4：

i 型の GaAs ／ $50 \sim 500 \text{ nm}$

・上部光ガイド層 3 C：

i 型の AlGaAs ／ $10 \sim 500 \text{ nm}$

・活性層 3 B（多重量子井戸構造）：

i 型の $\text{AlGaAs} / \text{InGaAs MQW}$ ／ $10 \sim 100 \text{ nm}$

・下部光ガイド層 3 A：

i型のAlGaAs / 10 ~ 5000 nm

・ 下部クラッド層 2 :

N型のAlGaAs / 1.0 ~ 3.0 μ m

・ 半導体基板 1 :

N型のGaAs / 80 ~ 350 μ m

[0023] なお、電極 8 は、上述の層 2 ~ 6 からなる半導体層に接触しており、接触領域は X 軸に沿って延びている。上下の電極 8, 9 間に電流を流すと、電極 8 における接触領域の直下の領域（幅 W の領域）を電流が流れ、この領域の発光層 3 が発光して、レーザ光が基板の端面に垂直な方向に向かって出力される。なお、ここで発光層 3 は、活性層 3 B と上下のガイド層 3 A, 3 C を含む層とする。

[0024] なお、フォトリック結晶層 4 は、もともとある基本層と、基本層に格子点としての孔（穴）を空けてなる層を備えており、孔の形成された位置を凹部 4 D、孔の形成されていない位置を凸部 4 P と呼ぶことにする。なお、図 1 ではフォトリック結晶層 4 は、基本層に格子点として孔（穴）が形成された後、全体に P 型クラッド層 5 が形成されている構成を示しているが、凹部 4 D が P 型クラッド層と異なる材料で埋め込まれていても良いし、凹部 4 D が埋め込まれずに、空孔が残されたまま上部層が形成されていても良い。

[0025] なお、凹凸部の関係は逆転させることも可能である。すなわち、フォトリック結晶層 4 は、もともとある基本層と、基本層に格子点としての円柱が残留するようにエッチングを施し、周囲を埋める埋め込み層を備えており、この場合、円柱が形成された位置を凸部 4 P、円柱が形成されていない位置を凹部 4 D と呼ぶことにする。

[0026] 図 2 は、半導体レーザ素子の平面図である。

[0027] レーザ光 L T 1 は、共振器の一端に位置する前方の素子端面から出射される。もちろん、逆方向の他端に位置する後方の素子端面からもレーザ光 L T 2 が出射される。この後方端面には高反射膜が設けられ、出力強度は前方への出力強度よりも小さくされる場合もある。

- [0028] ここで、幅Wで規定される電極8の接触領域の直下に電流が流れるが、キャリアは横方向へも若干食み出す。幅Wの接触領域から幅方向に食み出してキャリアが流れる領域は、幅W1で規定されており、線分L1と線分L0の間の領域である。幅W1は、キャリアの拡散長で規定され、一般的には化合物半導体では $3\mu\text{m}$ である。この寸法W1が片側で $3\mu\text{m}$ 以上あれば、フォトリック結晶は、染み出したキャリアの全体に、影響を与えることができる。
- [0029] 更に、活性層3Bで発生した光はガイド層3A、3Bに沿って発光層3を横方向に広がる。幅Wの接触領域から幅方向に染み出して光が広がる領域は、幅W2で規定されており、線分L2と線分L0の間の領域である。この幅W2は、 $50\mu\text{m}$ 程度である。
- [0030] Z軸方向から見た場合に、フォトリック結晶は、幅W1を規定する線分L1よりも外側、好ましくは幅W2を規定する線分L2よりも外側の領域まで形成されていることが好ましい。
- [0031] すなわち、2次元フォトリック結晶は、基板1に垂直な方向（Z軸）から見た場合、幅Wの接触領域を含み接触領域よりも幅方向に広い領域内に位置し、且つ、X軸方向に沿った間隔d1毎に屈折率が周期的に変化する屈折率周期構造を備えている。間隔d1は、フォトリック結晶層において、屈折率が周囲と異なる格子点の重心間距離（X軸方向距離）で与えられる。
- [0032] 屈折率周期構造は、q1を自然数、nを活性層における光の実効屈折率とした場合、波長 λ のレーザ光に対して、ブラッグの回折条件： $d1 = q1 \times \lambda / (2 \times n)$ を満たしている。例えば、波長 $\lambda = 980\text{nm}$ 、 $q1 = 2$ 、 $n = 3.35$ 、 $d1 = 292.5\text{nm}$ である。
- [0033] この場合の半導体レーザ素子では、電極接触領域の外側のキャリアが食み出す領域まで2次元フォトリック結晶が形成され、共振器長方向にブラッグ回折条件が満たされているので、光のモードが安定し、発光形状を均一化することができる。
- [0034] また、2次元フォトリック結晶は、X軸に交差する方向（例：Y軸方向、

又は、X軸と60度をなす方向）に沿った間隔 d_2 毎に屈折率が周期的に変化する屈折率周期構造を備え、 q_2 を自然数とした場合、波長 λ のレーザ光に対して、ブラッグの回折条件： $d_2 = q_2 \times \lambda / (2 \times n)$ を満たしている。

[0035] この場合の半導体レーザ素子では、電極接触領域の外側のキャリアが食み出す領域まで2次元フォトニック結晶が形成され、共振器長と交差する方向にもブラッグ回折条件が満たされているので、光のモードが安定し、発光形状を均一化することができる。

[0036] すなわち、2次元フォトニック結晶は、基板に垂直な方向から見た場合、幅 W で規定される接触領域を含み接触領域よりも、活性層3B内に供給されたキャリアが、幅方向の外側に、幅方向両端位置からそれぞれ食み出した寸法 W_1 以上に、幅方向に広い領域内に位置している。

[0037] キャリアが食み出した部分を含むように2次元フォトニック結晶が形成されているため、素子内の光電磁界分布が規定されることで、光のモードが安定し、発光形状を均一化することができる。

[0038] また、2次元フォトニック結晶は、基板に垂直な方向から見た場合、幅 W で規定される接触領域を含み接触領域よりも、活性層3B内で発生した光が、幅方向の外側に、幅方向両端位置からそれぞれ染み出した寸法 W_2 以上に、幅方向に広い領域内に位置している。

[0039] この場合、光の染み出した部分を含むように2次元フォトニック結晶が形成されているため、フォトニック結晶の形成境界部での反射に起因した発振モードへの影響を無視することができ、安定した空間横モード動作を可能にすることができる。

[0040] 図3は、フォトニック結晶における格子点の配列を示す図である。ここでは、エッチングによって形成された円形の凹部4Dが配列している例を示しているが、エッチングによって円柱状の凸部4Pが形成されている構造の場合には、凹部4Dの位置を凸部4Pに読み替える。

[0041] 図3(a)では、正方格子の格子点位置に凹部4Dが位置しており、X軸

方向（共振器方向）には凹部4 Dは、間隔 a_B 毎に配置されている。間隔 a_B は、上記距離 d_1 に等しい。凹部4 Dは、Y軸方向に沿っても、等間隔で配置されており、この間隔は上記距離 d_1 に等しい。

[0042] 図3（b）では、長方格子の格子点位置に凹部4 Dが位置しており、X軸方向（共振器方向）には凹部4 Dは、間隔 a_B 毎に配置されている。間隔 a_B は、上記距離 d_1 に等しい。凹部4 Dは、Y軸方向に沿っても、等間隔で配置されており、ここでは、Y軸方向の間隔 d_2 の方がX軸方向の間隔 d_1 よりも広く設定されているが、狭く設定されていても良い。また、Y軸方向の間隔 d_2 は上記ブラッグ条件を満たしていても良い。

[0043] 図3（c）では、三角格子の格子点位置に凹部4 Dが位置しており、X軸方向（共振器方向）には凹部4 Dは、間隔 a_B 毎に配置されている。間隔 a_B は、上記距離 d_1 に等しい。凹部4 Dは、X軸と60度をなす方向に沿っても、等間隔で配置されており、この間隔は上記距離 d_1 に等しい。ここでは、交差する方向の間隔とX軸方向の間隔 d_1 は等しく設定されている。

[0044] 図3（d）においても、三角格子の格子点位置に凹部4 Dが位置しており、X軸方向（共振器方向）には凹部4 Dは、間隔 a_B 毎に配置されている。間隔 a_B は、上記距離 d_1 に等しい。凹部4 Dは、Y軸方向に沿っても、等間隔で配置されており、ここでは、Y軸方向の間隔 d_2 の方がX軸方向の間隔 d_1 よりも広く設定されている。図3においてはフォトニック結晶の角格子点形状を円形として示したが、これに限らず三角形、台形、楕円形等の他の形状、あるいは複数点からなる格子点形状を用いても良い。

[0045] 図4は、半導体レーザ素子の製造方法を説明するための図である。

[0046] まず、基板1上に、MOCVD法を用いて、下部クラッド層2、発光層3、フォトニック結晶層4を順次積層する（図4（a））。次に、レジストをフォトニック結晶層4上に塗布した後、フォトレジストを露光によりパターニングし、次に、これをマスクとしてフォトニック結晶層4をエッチングし、複数の孔4 Dをエッチングで空ける（図4（b））。レジストの露光は通常の紫外線露光装置を用いることもできるが、電子ビーム描画露光、ナノイ

ンプリント法、干渉露光法を用いても良い。また、本作製例では2次元フォトリソグラフィ法を用いて、フォトニック結晶を素子全体に形成している。

[0047] 次に、MOCVD法を用いて、この上に上部クラッド層5、キャップ層6を順次積層する(図4(c))。最後に、SiNからなる絶縁層7をプラズマCVD法によりキャップ層6上に形成する。絶縁層7には、レジストを塗布し、これを露光・現像してパターンニングすることで、X軸方向に沿った開口が形成されたレジストパターンを得る。次に、このレジストをマスクとして、絶縁層7を反応性イオンエッチングしてパターンニングし、X軸方向に沿った開口を形成する。しかる後、絶縁層7上に電極8を蒸着して形成する(図4(d))。この電極材料としては、Ti/Pt/Auを用いることができる。基板1を150 μ mの厚み以下になるまで研磨し、化学処理を行って、表面の歪み・汚れを除去した後、電極9を基板1の裏面に蒸着する。この電極材料としては、AuGe/Auを用いることができる。以上のようにして作製した素子基板を、所望の素子サイズとなるようにへき開してチップ化する。最後に、必要に応じて、前側の端面に低反射膜、後側の端面に高反射膜を形成することで、図1に示した半導体レーザ素子が完成する。

[0048] 上記半導体レーザ素子(図3(a))：格子点の凹部4Dの直径 $R = 135$ nm、X軸方向の格子間隔 $a_B = 292$ nm、Y軸方向の格子間隔 $= a_B$)を試作した。なお、フォトニック結晶は、Z軸方向から見て基板全面に形成し、共振器長は2000 μ m、幅 W は100 μ mに設定した。これを実施例とし、同様に、フォトニック結晶層を備えないファブリペロー型半導体レーザ素子も作製し、これを比較例とした。

[0049] 図5は、実施例に係る半導体レーザ素子の連続CW駆動時における供給電流 J (mA)と出力 P (mW)の関係を示すグラフである。電流の増加と共に、出力は直線的に増加している。

[0050] 図6は、実施例に係る光の波長 λ (nm)と強度 I (a.u.)の関係を示すグラフである。強度 I は対数で示されている。波長980 nmにおいて単一のピークが得られている。フォトニック結晶のない従来のファブリペロー

一型素子においては、複数のピークを持つマルチスペクトル発振が生じるため、フォトリック結晶の効果が働くことにより、単一ピークとなっていることが分かる。

[0051] 図7は、比較例に係るレーザ素子の発光層3に沿った方向の遠視野像の出射角度 θ (°)と強度 I (a. u.)の関係を示すグラフ、図8は、実施例に係るレーザ素子の発光層3に沿った方向の遠視野像の出射角度 θ (°)と I 強度 (a. u.)の関係を示すグラフである。素子の光出力は、100 mWから1000 mWまで変化させた。角度 θ は、レーザ放射光の基準軸 (Y軸) 方向の広がり角度である。

[0052] 実施例では、比較例よりも、遠視野像において、出射角度 (放射角) θ (°) が狭くなっていることが分かる。実施例では、ピーク数も少なく、また、ピーク形状の出力依存性も小さくなっており、光学系レンズによるレーザ光の取り扱いが容易になると考えられる。

[0053] 図9は、比較例に係るレーザ素子の近視野像の発光層3に沿った方向の距離 D (μm)と強度 I (a. u.)の関係を示すグラフ、図10は、実施例に係るレーザ素子の近視野像の距離 D (μm)と強度 I (a. u.)の関係を示すグラフである。素子の光出力を100 mW, 500 mWとして測定を行った。距離 D は、発光層3の基準軸 (Y軸) 方向に沿った距離である。比較例では、出力増加に伴って、ピーク数が増加し、発光ピーク位置も変化している。すなわち、空間横モードが安定していない。一方、実施例では、近視野像の強度が均一となっており、発光のばらつきが少なく、空間横モードの変化が抑制され、安定していることが分かる。このような場合、レンズによる集光が精密に行え、位置的に均一な光強度分布が得られるため、応用範囲が広く、デバイスとして優れていると考えられる。

[0054] 以上のように、実施例の半導体レーザ素子では、単峰性の狭いスペクトル幅で発振動作し、放射パターンが狭く、ピーク数も少なく、且つ、光出力依存性も小さい。また、近視野像においても、均一な光分布を有しており、安定な空間横マルチモードが生じていることが分かる。なお、上述の効果は、

フォトニック結晶における共振器長方向の屈折率の周期構造と、フォトニック結晶における共振器の幅方向に広がる領域の存在によって得られていると考えられ、これらの条件が満たされていれば、凹部形状やその配置等が他の構造であっても、同様の効果が得られる。また、製造時のバラツキを考慮すると、製品毎の特性を均一化させるためには、フォトニック結晶の共振器長に対する幅方向の広がり、発光領域よりも十分に広いことが好ましく、したがって、フォトニック結晶は、活性層の形成領域の全面を覆うように形成されていることが好ましい。

符号の説明

[0055] 4…2次元フォトニック結晶、8…電極、1…半導体基板、2…下部クラッド層、3 B…活性層、5…上部クラッド層、6…キャップ層。

請求の範囲

[請求項1]

基板上に少なくとも活性層、光ガイド層及びクラッド層が順次積層されてなる半導体層と、

前記半導体層に接触し、この半導体層との接触領域が、前記基板の厚み方向に垂直な一方向に沿って延びている駆動電流用電極と、
を備え、

前記活性層における前記一方向の一端に位置する端面からレーザ光が出射する端面発光型半導体レーザ素子であって、

前記半導体層内に形成された2次元フォトニック結晶を更に備え、

前記接触領域の前記一方向を長さ方向とし、この長さ方向及び前記基板の厚み方向の双方に垂直な方向を幅方向とした場合、

前記2次元フォトニック結晶は、

前記基板に垂直な方向から見た場合、前記接触領域を含み前記接触領域よりも幅方向に広い領域内に位置し、且つ、

前記一方向に沿った間隔 d_1 毎に屈折率が周期的に変化する屈折率周期構造を備え、

q_1 を自然数、 n を活性層における光の実効屈折率とした場合、波長 λ の前記レーザ光に対して、ブラッグの回折条件：

$$d_1 = q_1 \times \lambda / (2 \times n)$$

を満たしていることを特徴とする端面発光型半導体レーザ素子。

[請求項2]

前記2次元フォトニック結晶は、

前記一方向に交差する方向に沿った間隔 d_2 毎に屈折率が周期的に変化する屈折率周期構造を備え、

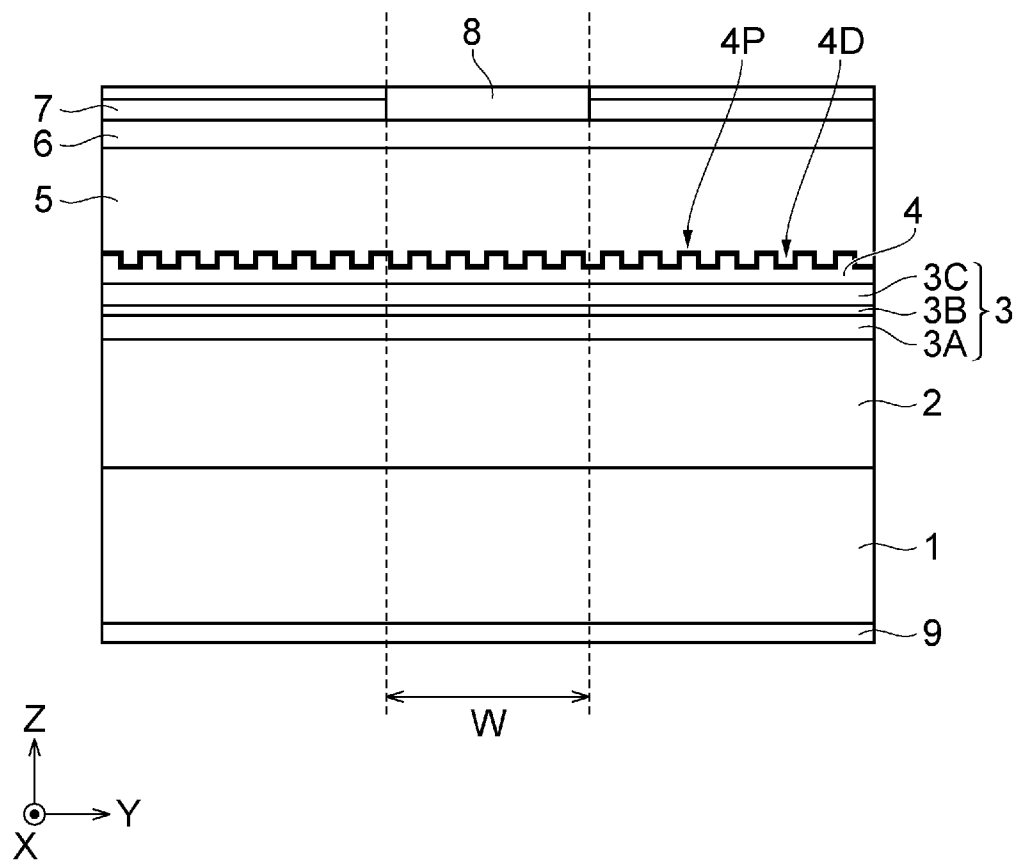
q_2 を自然数とした場合、波長 λ の前記レーザ光に対して、ブラッグの回折条件：

$$d_2 = q_2 \times \lambda / (2 \times n)$$

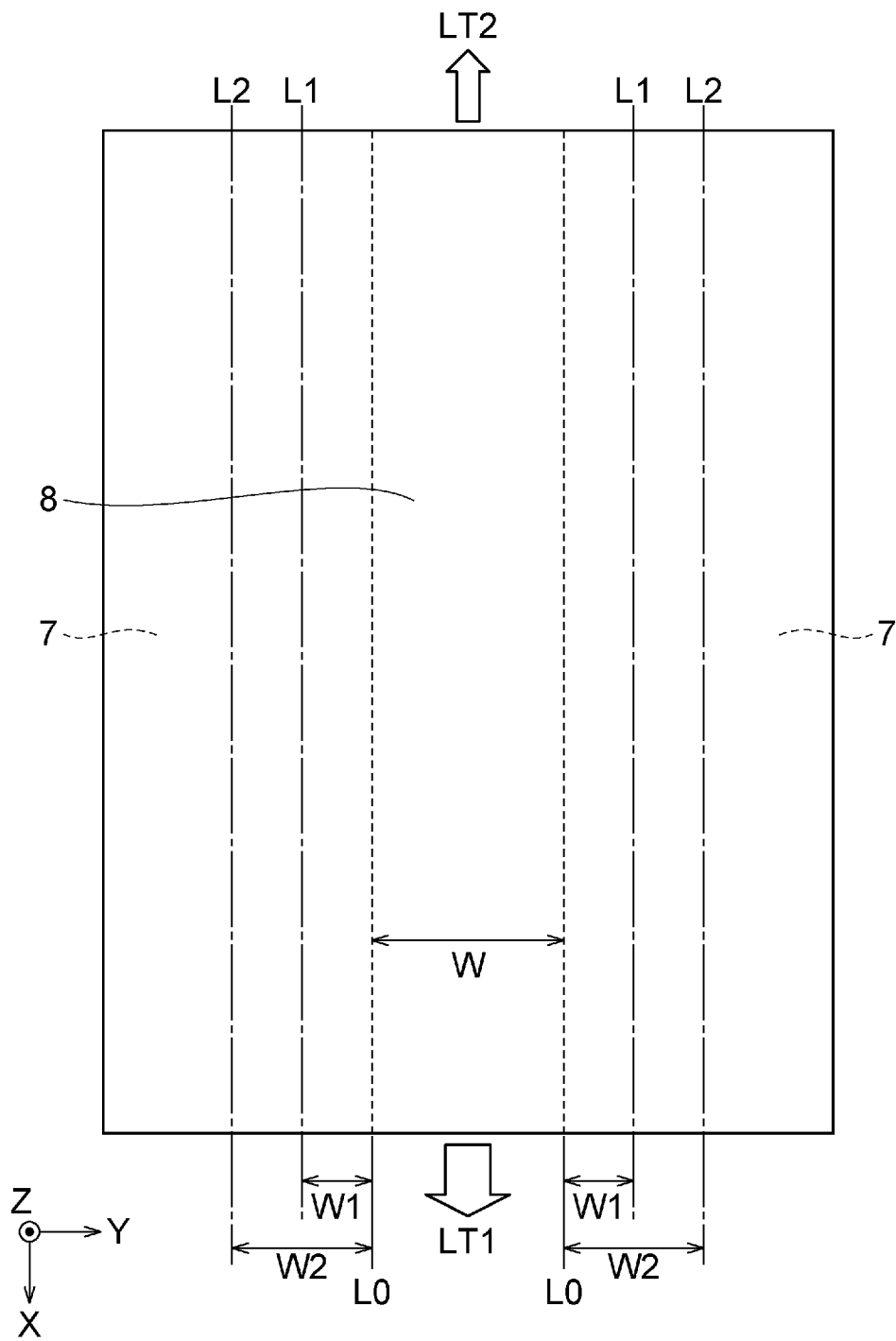
を満たしていることを特徴とする請求項1に記載の端面発光型半導体レーザ素子。

- [請求項3] 前記２次元フォトリック結晶は、前記基板に垂直な方向から見た場合、前記接触領域を含み前記接触領域よりも、前記活性層内に供給されたキャリアが、幅方向の外側に、前記幅方向両端位置からそれぞれ食み出した寸法以上に、幅方向に広い領域内に位置していることを特徴とする請求項１に記載の端面発光型半導体レーザ素子。
- [請求項4] 前記寸法は３ μ mであることを特徴とする請求項３に記載の端面発光型半導体レーザ素子。
- [請求項5] 前記２次元フォトリック結晶は、前記基板に垂直な方向から見た場合、前記接触領域を含み前記接触領域よりも、前記活性層内で発生した光が、幅方向の外側に、前記幅方向両端位置からそれぞれ染み出した寸法以上に、幅方向に広い領域内に位置していることを特徴とする請求項１に記載の端面発光型半導体レーザ素子。

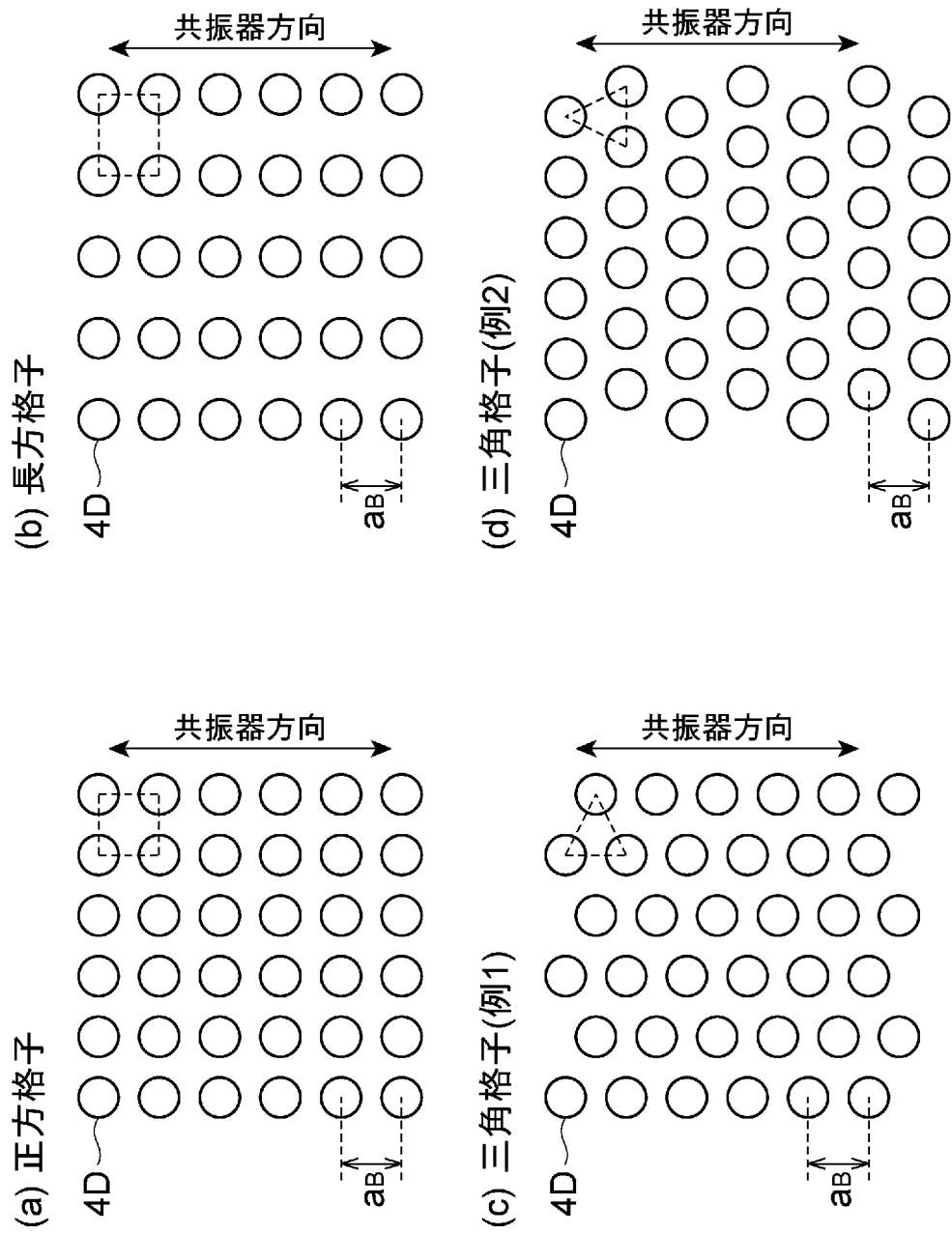
[図1]



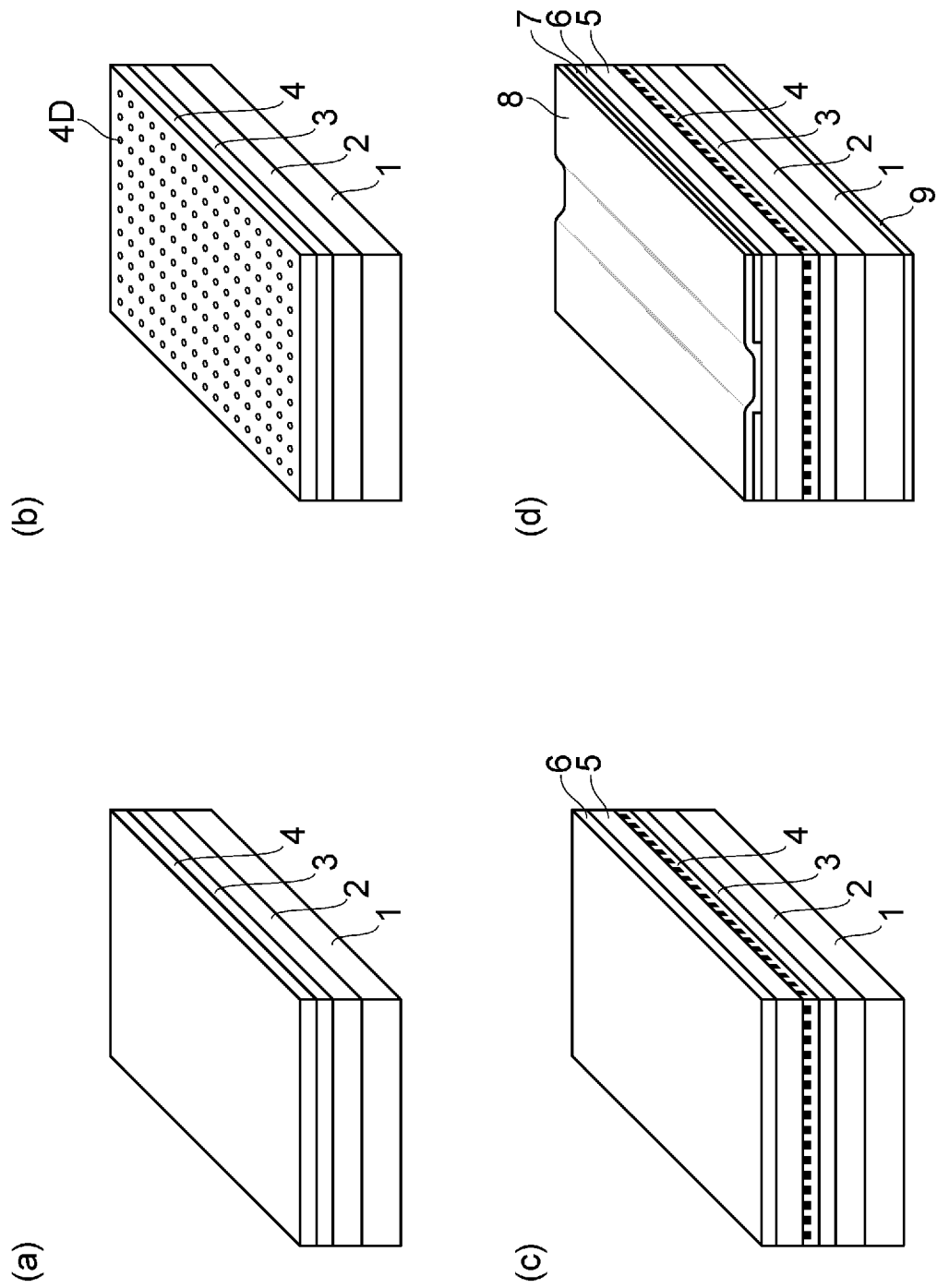
[図2]



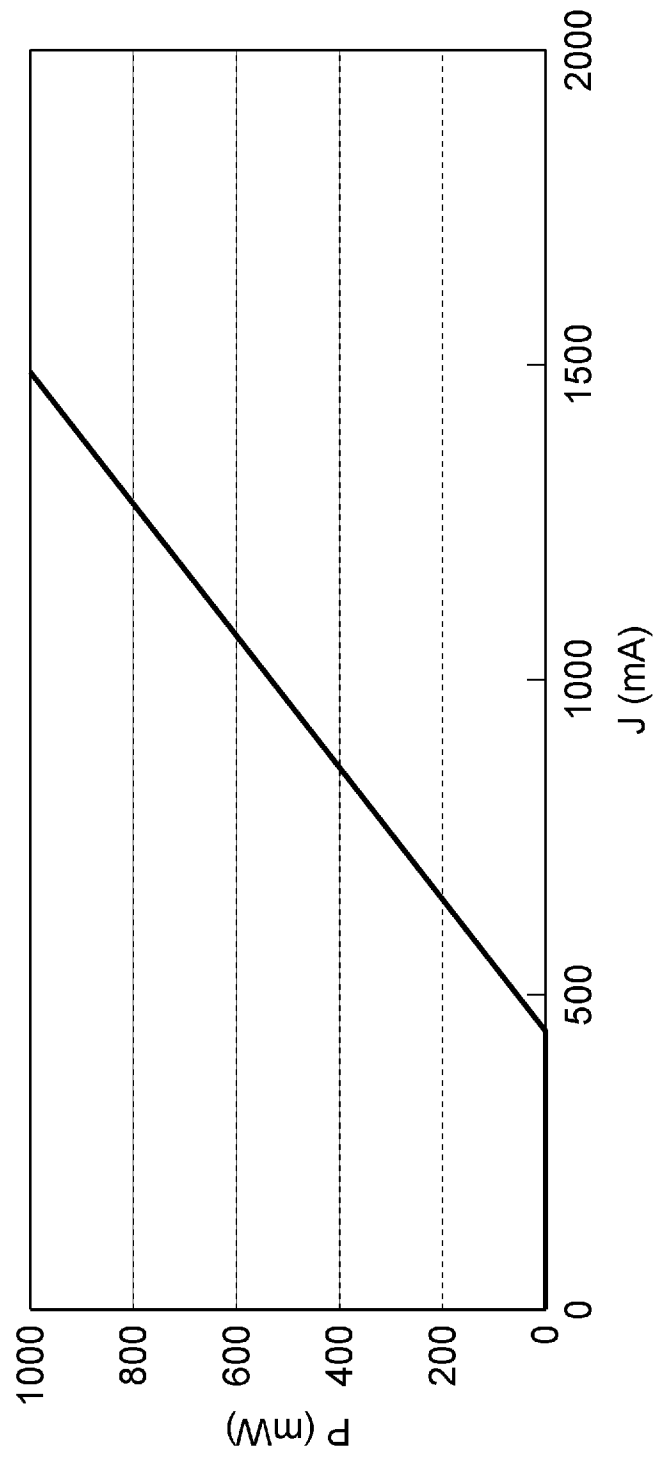
[図3]



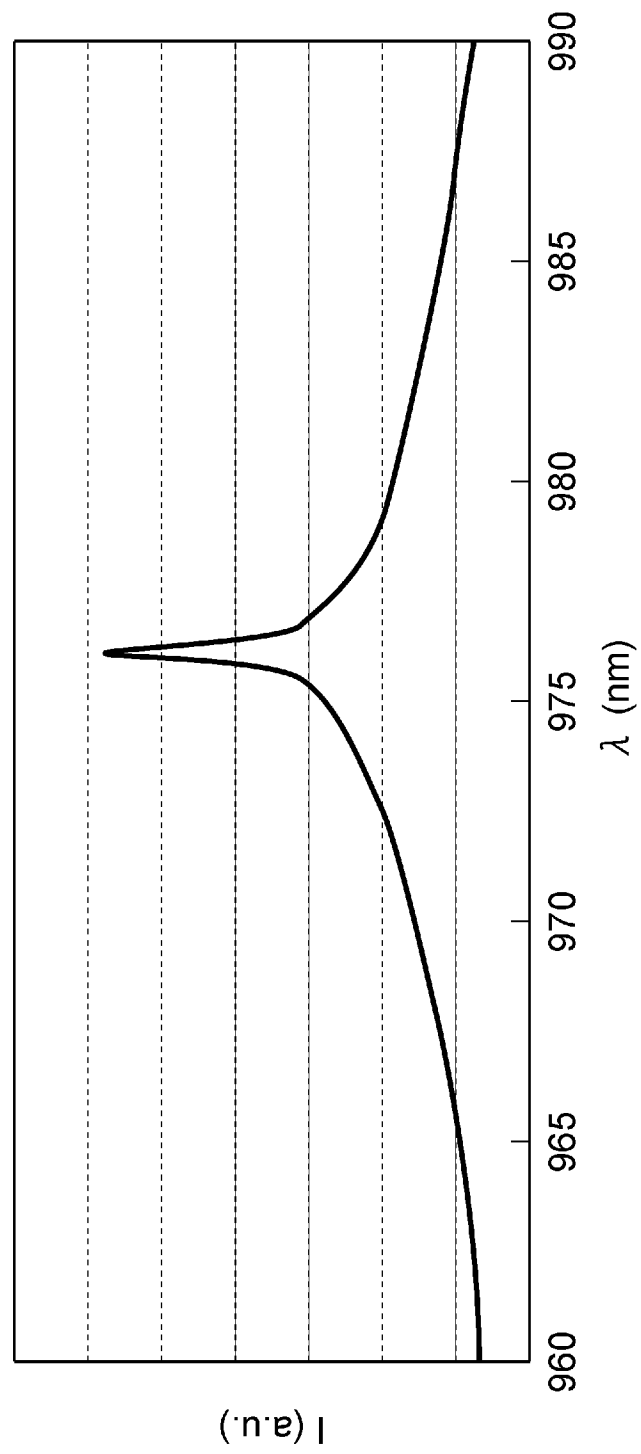
[図4]



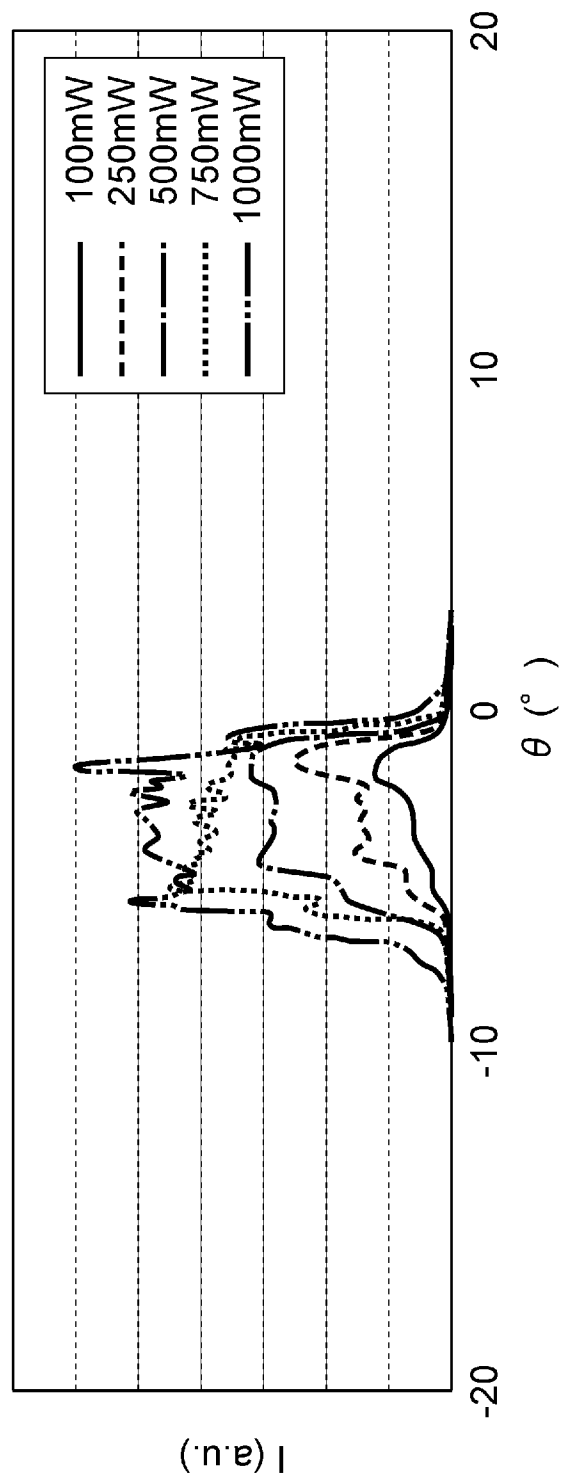
[図5]



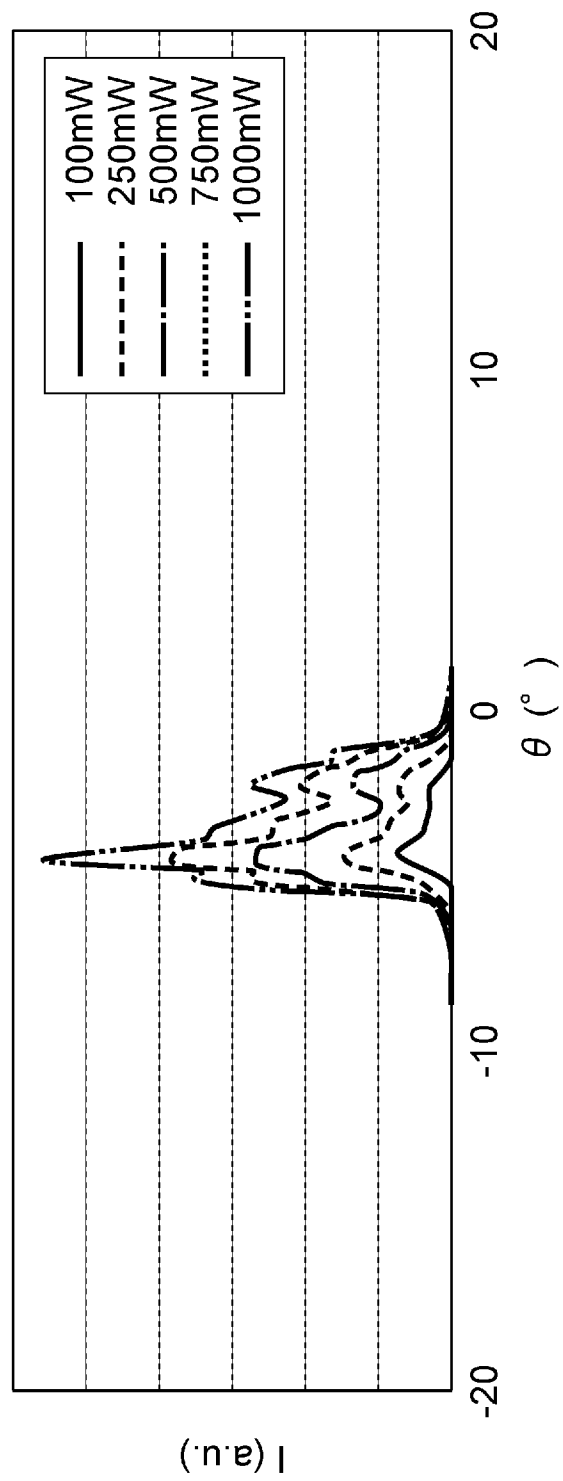
[図6]



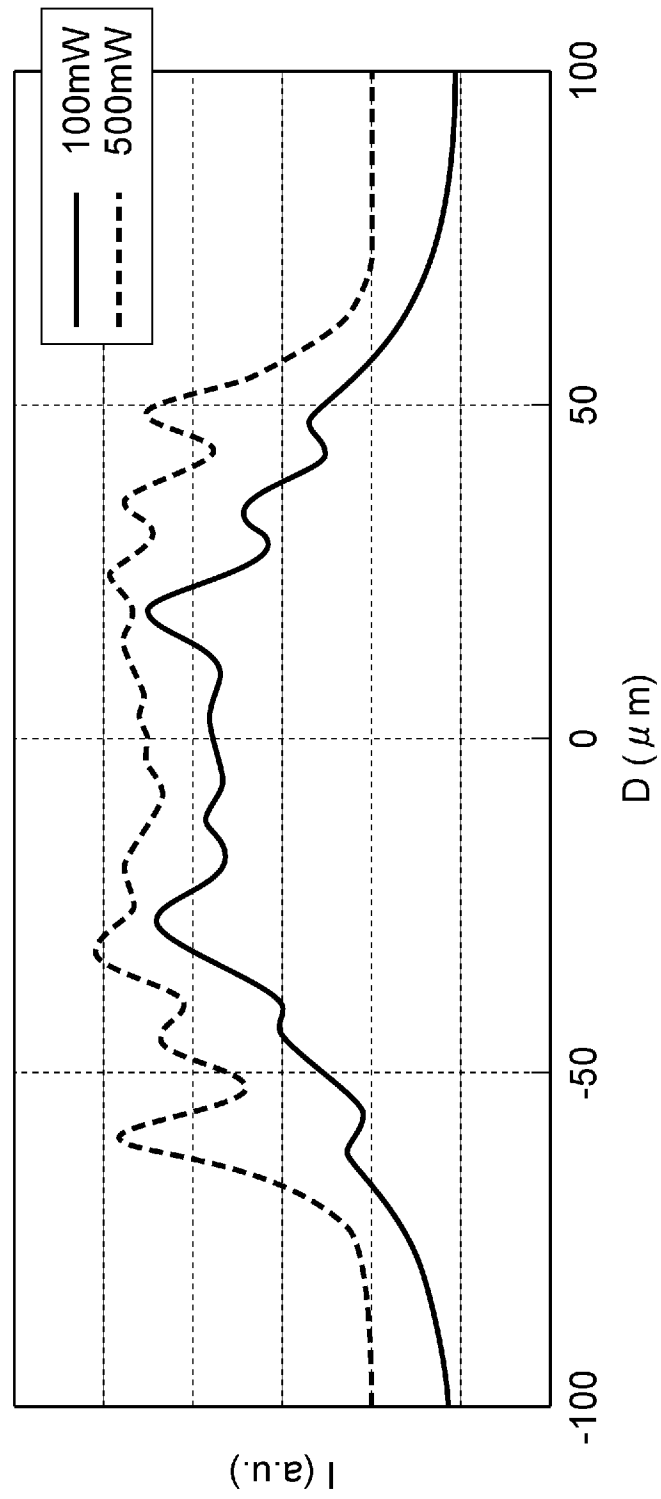
[図7]



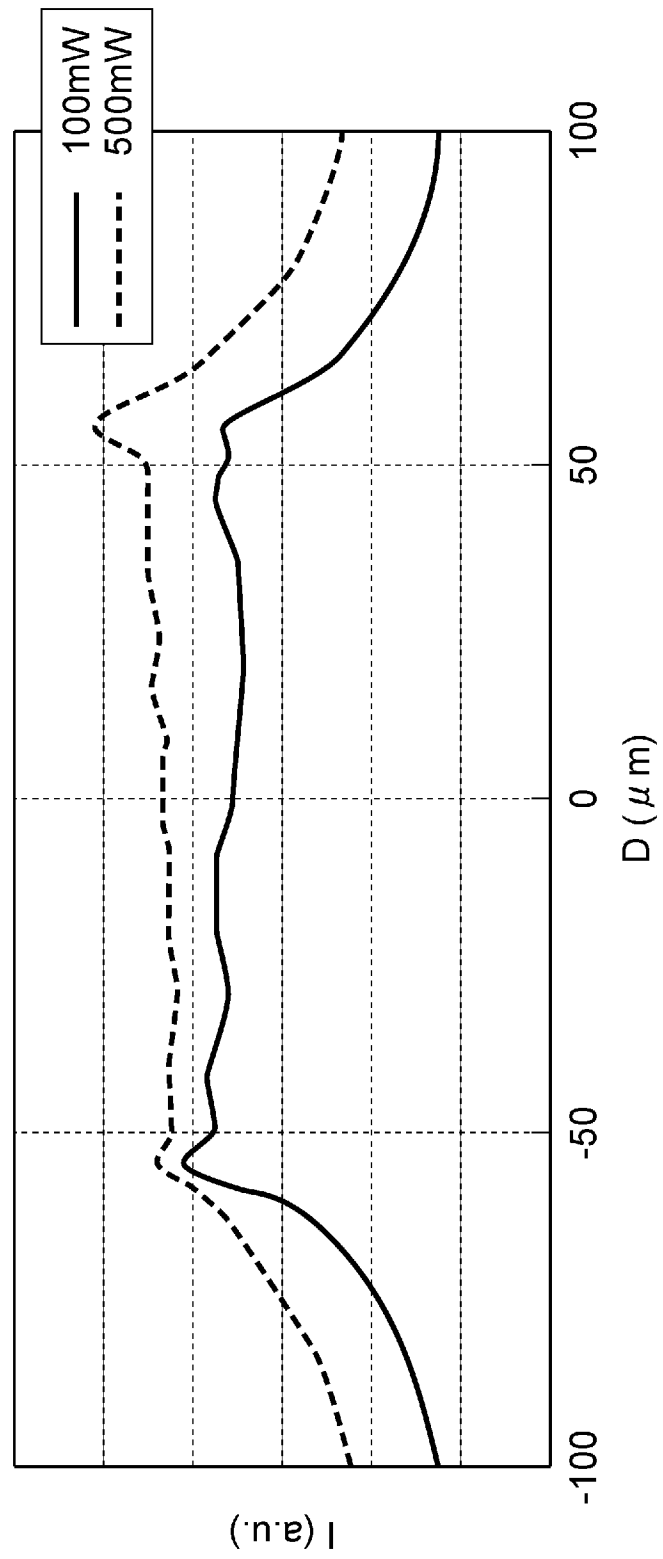
[図8]



[図9]



[図10]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2012/055118

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

H01S5/22(2006.01) i, H01S5/12(2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

H01S5/00-5/50

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho	1922-1996	Jitsuyo Shinan Toroku Koho	1996-2012
Kokai Jitsuyo Shinan Koho	1971-2012	Toroku Jitsuyo Shinan Koho	1994-2012

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2004-172506 A (Sony Corp.), 17 June 2004 (17.06.2004), paragraphs [0029] to [0037], [0039]; fig. 3 to 4 (b) & US 2004/0101010 A1 & EP 1422797 A1	1-5
A	JP 2004-87980 A (Sony Corp.), 18 March 2004 (18.03.2004), entire text; all drawings (Family: none)	1-5

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

“A” document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

“E” earlier application or patent but published on or after the international filing date

“L” document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

“O” document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

“P” document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

“T” later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

“X” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

“Y” document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

“&” document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
27 March, 2012 (27.03.12)

Date of mailing of the international search report
03 April, 2012 (03.04.12)

Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01S5/22(2006.01)i, H01S5/12(2006.01)i

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int.Cl. H01S5/00-5/50

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	1922-1996年
日本国公開実用新案公報	1971-2012年
日本国実用新案登録公報	1996-2012年
日本国登録実用新案公報	1994-2012年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	JP 2004-172506 A (ソニー株式会社) 2004.06.17, 段落【0029】-【0037】, 【0039】, 図3-4(b) & US 2004/0101010 A1 & EP 1422797 A1	1-5
A	JP 2004-87980 A (ソニー株式会社) 2004.03.18, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-5

C欄の続きにも文献が列挙されている。

パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献

「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの

「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの

「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの

「&」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

27.03.2012

国際調査報告の発送日

03.04.2012

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/J P)

郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

日夏 貴史

2 K

9411

電話番号 03-3581-1101 内線 3255