

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2010-56338

(P2010-56338A)

(43) 公開日 平成22年3月11日(2010.3.11)

(51) Int.Cl.
H01S 5/18 (2006.01)F1
H01S 5/18テーマコード (参考)
5F173

審査請求 未請求 請求項の数 5 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願2008-220386 (P2008-220386)
(22) 出願日 平成20年8月28日 (2008.8.28)(71) 出願人 504132272
国立大学法人京都大学
京都府京都市左京区吉田本町3番地1
(71) 出願人 000116024
ローム株式会社
京都府京都市右京区西院溝崎町2番地
(74) 代理人 100095670
弁理士 小林 良平
(74) 代理人 100154896
弁理士 谷口 聡
(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

最終頁に続く

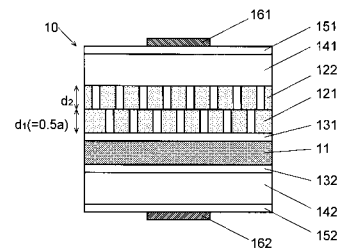
(54) 【発明の名称】 2次元フォトリック結晶レーザー

(57) 【要約】

【課題】 レーザ光の強度を高めることや必要な強度が得られるように調整することができる2次元フォトリック結晶レーザーを提供する。

【解決手段】 活性層11と、活性層11の一方の側に設けられ、第1板状部材内にそれとは屈折率が異なる第1空孔（第1異屈折率領域）が所定の周期で配置されており、所定の波長の光に共振する第1の2次元フォトリック結晶層121と、第1の2次元フォトリック結晶層121の活性層11とは反対側に設けられ、第2板状部材内に第2空孔（第2異屈折率領域）が前記所定周期で且つ前記第1空孔とは各層に平行な方向にずれた位置に配置されており、前記所定波長の光に共振する第2の2次元フォトリック結晶層122と、を備える。

【選択図】 図3



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

- a) 電流が注入されることにより所定の波長域の光を発光する活性層と、
b) 前記活性層の一方の側に設けられ、第 1 の板状部材内に該第 1 板状部材とは屈折率が異なる第 1 異屈折率領域が所定の周期で配置されており、前記所定波長域内の所定の波長の光に共振する第 1 の 2 次元フォトリック結晶層と、
c) 第 1 の 2 次元フォトリック結晶層の前記活性層とは反対側に設けられ、第 2 の板状部材内に該第 2 板状部材とは屈折率が異なる第 2 異屈折率領域が前記所定周期で且つ前記第 1 異屈折率領域とは各層に平行な方向にずれた位置に配置されており、前記所定波長の光に共振する第 2 の 2 次元フォトリック結晶層と、
を備えることを特徴とする 2 次元フォトリック結晶レーザ。

10

【請求項 2】

- 前記第 1 異屈折率領域及び前記第 2 異屈折率領域が、x 方向及び該 x 方向に垂直な y 方向に間隔 a で並んだ正方格子状の周期構造を有し、
前記第 2 異屈折率領域の位置が前記第 1 異屈折率領域の位置から x 方向に δ ($\delta = 0.5a$)、y 方向に δ ずれており、
前記第 1 異屈折率領域の活性層側底面と前記第 2 異屈折率領域の活性層側底面の距離 t と前記 δ の和 ($t + \delta$) が $0.75a \sim 1.25a$ である、
ことを特徴とする請求項 1 に記載の 2 次元フォトリック結晶レーザ。

20

【請求項 3】

- 前記 ($t + \delta$) が a であることを特徴とする請求項 2 に記載の 2 次元フォトリック結晶レーザ。

【請求項 4】

- 前記 δ が $a/2$ であることを特徴とする請求項 2 又は 3 に記載の 2 次元フォトリック結晶レーザ。

【請求項 5】

- 前記第 1 異屈折率領域の厚み及び前記第 2 異屈折率領域の厚みのいずれか一方又は両方が $0.5a$ 以下であることを特徴とする請求項 2 ～ 4 のいずれかに記載の 2 次元フォトリック結晶レーザ。

【発明の詳細な説明】

30

【技術分野】

【0001】

- 本発明は、活性層に対して垂直な方向にレーザ光を放射する 2 次元フォトリック結晶レーザに関する。

【背景技術】

【0002】

- 近年、フォトリック結晶を用いた新しいタイプのレーザが開発されている。フォトリック結晶とは、誘電体から成る母材に周期構造を人工的に形成したものである。周期構造は一般に、母材とは屈折率が異なる領域（異屈折率領域）を母材内に周期的に設けることにより形成される。この周期構造により、結晶内でブラッグ回折が生じ、また、光のエネルギーにエネルギーバンドギャップが現れる。フォトリック結晶レーザには、バンドギャップ効果を利用して点欠陥を共振器として用いるものと、光の群速度が 0 となるバンド端の定在波を利用するものがあるが、いずれも所定の波長の光を増幅してレーザ発振を得るものである。

40

【0003】

- 特許文献 1 には、発光材料を含む活性層の近傍に 2 次元フォトリック結晶を形成した 2 次元フォトリック結晶レーザが記載されている。この 2 次元フォトリック結晶には、板状の部材（母材）内に円柱状の空孔（異屈折率領域）が周期的（三角格子状、正方格子状、六角格子状等）に設けられ、屈折率の分布が 2 次元的な周期性を持っている。この周期を、電極からのキャリアの注入により活性層で生成される光の媒質内波長に一致させておく

50

ことにより、２次元フォトリック結晶の内部に２次元定在波が形成され、それにより光が強められる。このように強められた光は異屈折率領域により活性層や２次元フォトリック結晶に垂直な方向に回折（以下、「垂直回折」とする）され、それによりレーザ光として２次元フォトリック結晶レーザの外部に取り出される。

【特許文献１】特開2000-332351号公報（[0037]～[0056]，図1）

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

従来、２次元フォトリック結晶レーザでは、２次元フォトリック結晶の厚みは十分小さいものとして、その影響が無視されていた。しかし、本願発明者は、２次元フォトリック結晶の厚みがレーザ光の強度に対して無視することができない影響を及ぼすことを見出した。

10

【0005】

例えば、図1(a)の斜視図及び(b)の縦断面図に示すように、板状部材91内に異屈折率領域92が周期 a で正方格子状に配置された、厚み d の２次元フォトリック結晶90を用いた場合を考える。この２次元フォトリック結晶90内では、活性層から発せられた波長 a の光について２次元定在波が形成され、前述のように垂直回折が生じることにより、レーザ光が外部に放射される。垂直回折は厚み方向の任意の位置で生じるため、本来であれば厚みが大きくなるほど、外部に放射されるレーザ光の強度は強くなるはずである。しかし、外部に放射されるレーザ光の強度を計算したところ、図2に示すように、厚み d がおおむね $a/2 \sim a$ の範囲内において、厚み d が大きくなるほどレーザ光の放射強度が小さくなることが明らかになった。これは、２次元フォトリック結晶90に平行な方向に伝播する光のうち、異屈折率領域92において厚み方向の位置 z_1 で垂直回折される光 L_1 と位置 z_2 で垂直回折される光 L_2 の間に光路差 $(z_2 - z_1)$ による位相差が生じ、そのような光が多数重ね合わされることにより、厚み d がおおむね $a/2 \sim a$ の範囲内において干渉による弱め合いが生じることによる。例えば、位置 z_1 と位置 z_2 が $a/2$ 異なると、光 L_1 と光 L_2 は光路差が $a/2$ となるため干渉により打ち消し合う。

20

【0006】

そのため、外部に放射されるレーザ光の強度をより高めるためには、単に２次元フォトリック結晶90の厚みを大きくするだけではなく、レーザ光の干渉の影響を考慮した構成を検討する必要がある。また、レーザ光の干渉を用いて、レーザ光の強度を高めるだけではなく、必要な強度が得られるように調整することも考えられる。

30

【0007】

本発明が解決しようとする課題は、レーザ光の強度を高めることや必要な強度が得られるように調整することができる２次元フォトリック結晶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】

【0008】

上記課題を解決するために成された本発明に係る２次元フォトリック結晶レーザは、

a) 電流が注入されることにより所定の波長域の光を発光する活性層と、

b) 前記活性層の一方の側に設けられ、第1の板状部材内に該第1板状部材とは屈折率が異なる第1異屈折率領域が所定の周期で配置されており、前記所定波長域内の所定の波長の光に共振する第1の２次元フォトリック結晶層と、

40

c) 第1の２次元フォトリック結晶層の前記活性層とは反対側に設けられ、第2の板状部材内に該第2板状部材とは屈折率が異なる第2異屈折率領域が前記所定周期で且つ前記第1異屈折率領域とは各層に平行な方向にずれた位置に配置されており、前記所定波長の光に共振する第2の２次元フォトリック結晶層と、

を備えることを特徴とする。

【0009】

本発明に係る２次元フォトリック結晶レーザでは、活性層で発光した前記所定波長の光が第1の２次元フォトリック結晶層と第2の２次元フォトリック結晶層において増幅され

50

、垂直回折されることによりレーザ光として外部に取り出される。その際、第 1 の 2 次元フォトニック結晶層において垂直回折される光と第 2 異屈折率領域において垂直回折される光が干渉する。ここで、第 1 の 2 次元フォトニック結晶層と第 2 の 2 次元フォトニック結晶層に平行方向のずれ及び厚み方向の位置の違い（ずれ）が存在することにより、第 1 の 2 次元フォトニック結晶層において垂直回折される光と第 2 の 2 次元フォトニック結晶層において垂直回折される光の光路差が異なることから、これらのずれの大きさによりレーザ光の強度を調整することができる。

【 0 0 1 0 】

例えば、前記第 1 異屈折率領域及び前記第 2 異屈折率領域が、x 方向及び該 x 方向に垂直な y 方向に間隔 a で並んだ正方格子状の周期構造を有する場合には、前記第 2 異屈折率領域の位置を前記第 1 異屈折率領域の位置から x 方向に δ 、y 方向に δ ずらし、前記第 1 異屈折率領域の活性層側底面と前記第 2 異屈折率領域の活性層側底面の距離 t と前記 δ の和 ($t + \delta$) を $0.75a \sim 1.25a$ とすることが考えられる。この場合、第 1 異屈折率領域の活性層側底面からの高さが α である位置で垂直回折される光と、第 2 異屈折率領域の活性層側底面からの高さが α である位置で垂直回折される光は、光路差が ($t + \delta$)、即ち $0.75a \sim 1.25a$ となるため、干渉により強められる。これにより、レーザ光の強度を強くすることができる。特に、光路差 ($t + \delta$) が a の時、干渉による強め合いが最も大きくなる。

【 0 0 1 1 】

前述のように、異屈折率領域の厚みが $a/2$ を超えると、同じ異屈折率領域において垂直回折された 2 つの光は干渉により弱め合う。そのため、前記第 1 異屈折率領域の厚み及び前記第 2 異屈折率領域の厚みのいずれか一方又は両方（望ましくは両方）を共に $0.5a$ 以下にすることが望ましい。これにより、同じ異屈折率領域で干渉による弱め合いが生じることを防ぎ、第 1 異屈折率領域における垂直回折光と第 2 異屈折率領域における垂直回折光を効率よく干渉させることができる。

【 発明の効果 】

【 0 0 1 2 】

本発明に係る 2 次元フォトニック結晶レーザでは、互いに平行方向にずれた第 1 の 2 次元フォトニック結晶層と第 2 の 2 次元フォトニック結晶層を備え、第 1 の 2 次元フォトニック結晶層と第 2 の 2 次元フォトニック結晶層の平行方向及び厚み方向のずれが存在するため、第 1 の 2 次元フォトニック結晶層から垂直回折される光と第 2 の 2 次元フォトニック結晶層から垂直回折される光の干渉、即ちレーザ光の強度を上記ずれの大きさにより制御することができる。特に、第 1 の 2 次元フォトニック結晶層において垂直回折される光と第 2 の 2 次元フォトニック結晶層において垂直回折される光が干渉により強められるように上記ずれの大きさを設定することにより、レーザ光の強度を高めることができる。

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 1 3 】

図 3 ～ 図 7 を用いて、本発明に係る 2 次元フォトニック結晶レーザの実施例を説明する。

図 3 に、本実施例の 2 次元フォトニック結晶レーザ 10 の縦断面図を示す。2 次元フォトニック結晶レーザ 10 は、活性層 11 と、活性層 11 の上側に第 1 スペーサ層 131 を介して設けられた第 1 の 2 次元フォトニック結晶層 121 と、第 1 の 2 次元フォトニック結晶層 121 の上側に設けられた第 2 の 2 次元フォトニック結晶層 122 を有する。第 2 の 2 次元フォトニック結晶層 122 の上側には第 1 クラッド層 141、第 1 基板 151 及び第 1 電極 161 がこの順に設けられている。活性層 11 の下側には第 2 スペーサ層 132、第 2 クラッド層 142、第 2 基板 152 及び第 2 電極 162 がこの順に設けられている。

【 0 0 1 4 】

本実施例では、活性層 11 には、インジウム・ガリウム砒素 / ガリウム砒素 (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。第 1 スペーサ層 131 には p 型 GaAs を、第 2 スペーサ層 132 には n 型 GaAs を、第 1 クラッド層

1 4 1 にはp型AlGaAsを、第2クラッド層 1 4 2 にはn型AlGaAsを、第1基板 1 5 1 にはp型GaAsを、第2基板 1 5 2 にはn型GaAsを、それぞれ用いた。第1の2次元フォトリック結晶層 1 2 1 及び第2の2次元フォトリック結晶層 1 2 2 の材料については後述する。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2次元フォトリック結晶レーザで用いられている各層の材料を用いることができる。

【0015】

第1の2次元フォトリック結晶層 1 2 1 は、図4に示すように、第1板状部材 1 2 1 A 内に円形の第1空孔（異屈折率領域） 1 2 1 B をx方向に周期a、y方向に周期aの正方格子状に配置したものである。本実施例では第1板状部材 1 2 1 A の材料はp型GaAsである。第2の2次元フォトリック結晶層 1 2 2 は、厚みを除いて、第1の2次元フォトリック結晶層 1 2 1 と同じ構造を有する。即ち、第2の2次元フォトリック結晶層 1 2 2 は第1板状部材 1 2 1 A と同じ材料から成る第2板状部材 1 2 2 A 内に、第1空孔 1 2 1 B と同じ形状及び大きさの第2空孔 1 2 2 B を周期aの正方格子状に配置したものである（図4）。第1の2次元フォトリック結晶層 1 2 1 は厚み d_1 を、第2の2次元フォトリック結晶層 1 2 2 は厚み d_2 を、それぞれ有する。本実施例では第1の2次元フォトリック結晶層 1 2 1 の厚み d_1 は $0.5a (=t)$ とした。

【0016】

図5に、第1の2次元フォトリック結晶層 1 2 1 の上面図と第2の2次元フォトリック結晶層 1 2 2 の上面図を重ねて示す。第1空孔 1 2 1 B（図中の実線）と第2空孔 1 2 2 B（破線）は、x方向に δ 、y方向に δ だけずれて配置されている。本実施例では $\delta=0.5a$ とした。従って、本実施例では $(t+\delta)=a$ である。なお、他の層と同様に、板状部材の材料並びに異屈折率領域（本実施例では空孔）の材料、形状及び大きさは上記のものには限定されず、従来の2次元フォトリック結晶レーザで用いられているものを用いることができる。

【0017】

本実施例の2次元フォトリック結晶レーザ 1 0 の動作を説明する。第1電極 1 6 1 と第2電極 1 6 2 の間に電圧を印加すると、活性層 1 1 に電子と正孔が供給され、それら電子と正孔が再結合することにより、所定の波長域の発光が生じる。その光は、第1の2次元フォトリック結晶層 1 2 1 及び第2の2次元フォトリック結晶層 1 2 2 に導入され、各2次元フォトリック結晶層内において空孔により反射されつつ伝播する。その際、前記波長域のうち2次元フォトリック結晶層の媒質内での波長がaである光は、x方向及びy方向の空孔の周期が波長と同じaであることにより反射波どうしの位相が一致するため、これら2方向に定在波が形成され、干渉により増幅される（フィードバック効果）。その結果、媒質内波長aのレーザ光が生成される。レーザ光は空孔（第1空孔 1 2 1 B、第2空孔 1 2 2 B）により垂直回折され、その方向に向かって、レーザ光が2次元フォトリック結晶レーザ 1 0 の外部に放出される。

【0018】

図6を用いて、第1空孔 1 2 1 B で垂直回折される光と第2空孔 1 2 2 B で垂直回折される光の干渉について説明する。図6は、y方向に垂直な面における第1の2次元フォトリック結晶層 1 2 1 及び第2の2次元フォトリック結晶層 1 2 2 の縦断面図である。図6では、第1の2次元フォトリック結晶層 1 2 1 については第1空孔 1 2 1 B の円の中心を通る断面（この断面でのyの値を y_0 とする）を示し、第2の2次元フォトリック結晶層 1 2 2 については第2空孔 1 2 2 B の円の中心を通る $y=y_0+0.5a$ の断面を示している。第1空孔 1 2 1 B の活性層側底面 1 2 1 C からz方向に z_0 離れた位置で回折される第1垂直回折光 L_1 と、第2空孔 1 2 2 B の活性層側底面 1 2 2 C からz方向に z_0 離れた位置で回折される第2垂直回折光 L_2 の間には、第1空孔 1 2 1 B と第2空孔 1 2 2 B の間でのx方向のずれ $\delta=0.5a$ と、第1空孔 1 2 1 B の活性層側底面 1 2 1 C と第2空孔 1 2 2 B の活性層側底面 1 2 2 C の距離 $t=0.5a$ （本実施例では第1の2次元フォトリック結晶層 1 2 1 の厚みと同じ）の和 $(t+\delta)=a$ で表される位相差が生じる。この位相差により、第1垂直回折光 L_1 と第2垂直回折光 L_2 は干渉して強め合う。同様の強め合いの干渉は0 z d_2 （

10

20

30

40

50

$t = d_2$ の場合) 又は $0 < t < d_2$ ($t < d_2$ の場合) の範囲内で生じる。また、ここまでは y 方向に垂直な面において説明したが、結晶構造の対称性により、 x 方向に垂直な面においても同様の強め合いが生じる。これら干渉による強め合いが生じることにより、２次元フォトリック結晶が１層のみである場合よりも２次元フォトリック結晶レーザ１０の外部に放出されるレーザ光の強度を高めることができる。

【００１９】

また、本実施例では第１の２次元フォトリック結晶層１２１の厚み d_1 を $0.5a$ としたことにより、従来の２次元フォトリック結晶レーザにおいて生じていたように第１空孔１２１Ｂで回折される光同士が干渉により弱められることを抑えることができる。

【００２０】

図７に、本実施例の２次元フォトリック結晶レーザ１０における放射強度を計算した結果を示す。図７には、比較例として、厚みを除いて第１の２次元フォトリック結晶層１２１と同じ構造を有する２次元フォトリック結晶を１層のみ用いた従来の２次元フォトリック結晶レーザにおける放射強度を併せて示した。ここで横軸は、比較例の２次元フォトリック結晶レーザについては１層のみ存在する２次元フォトリック結晶の厚み d とし、本実施例の２次元フォトリック結晶レーザ１０については第１の２次元フォトリック結晶層１２１の厚み d_1 と第２の２次元フォトリック結晶層１２１の厚み d_2 の和 d_{total} とした。従って、本実施例と比較例では、２次元フォトリック結晶全体の厚みをグラフの横軸で揃えて比較することができる。図７に示されたように、本実施例の方が比較例よりも放射強度が大きくなる。本実施例では $d_{total}=a$ 、即ち厚み d_1 と d_2 の双方が $0.5a$ の時に放射強度が最大となる。

【００２１】

本発明は上記実施例には限定されない。

例えば、上記実施例では $(t+\delta)=a$ の場合について説明したが、 $(t+\delta)$ が $0.75a \sim 1.25a$ の範囲内では、上記実施例と同様に第１垂直回折光 L_1 と第２垂直回折光 L_2 が干渉により強め合うため、２次元フォトリック結晶が１層のみである場合よりもレーザ光の強度を高めることができる。

【００２２】

上記実施例では第１板状部材１２１Ａの材料と第２板状部材１２２Ａの材料には同じものを用いたが、両者の材料が異なっている場合であっても、第１空孔１２１Ｂと第２空孔１２２Ｂの大きさを調整することで第１の２次元フォトリック結晶層１２１と第２の２次元フォトリック結晶層１２２の平均屈折率を等しくすれば、第１の２次元フォトリック結晶層１２１と第２の２次元フォトリック結晶層１２２で増幅される光の波長を等しくすることができる。上述のような干渉を生じさせることができる。

【００２３】

上記実施例では空孔を正方格子状に配置した例を示したが、三角格子状その他の配置を採った場合にも本実施例と同様の干渉を生じさせることができる。

上記実施例では２次元フォトリック結晶層を２層用いたが、２次元フォトリック結晶層を３層以上用いた場合にも、それら複数の２次元フォトリック結晶層においてそれぞれ垂直回折される光を干渉させ、それによりレーザ光の強度を調整することができる。また、上記実施例では第１の２次元フォトリック結晶層１２１の上に直接、第２の２次元フォトリック結晶層１２２を設けたが、両者の間に他の層（中間層）を挟んでもよい。この場合、距離 t は第１の２次元フォトリック結晶層１２１の厚みと中間層の厚みの和になる。

【図面の簡単な説明】

【００２４】

【図１】２次元フォトリック結晶レーザにおいて２次元フォトリック結晶の厚みが出射強度に及ぼす影響を説明するための概略図。

【図２】従来の２次元フォトリック結晶レーザにおける２次元フォトリック結晶の厚みとレーザ光の放射強度（計算値）の関係を示すグラフ。

【図３】本発明の一実施例である２次元フォトリック結晶レーザ１０の縦断面図。

【図４】２次元フォトリック結晶レーザ１０で用いられる第１の２次元フォトリック結晶層１２１及び第２の２次元フォトリック結晶層１２２を示す斜視図。

【図５】第１の２次元フォトリック結晶層１２１及び第２の２次元フォトリック結晶層１２２の位置関係を示す上面図。

【図６】第１空孔１２１Ｂで垂直回折される光と第２空孔１２２Ｂで垂直回折される光の干渉について説明するための縦断面図。

【図７】本実施例の２次元フォトリック結晶レーザ１０及び比較例における２次元フォトリック結晶の厚みとレーザ光の放射強度（計算値）の関係を示すグラフ。

【符号の説明】

【００２５】

１０…２次元フォトリック結晶レーザ

１１…活性層

１２１…第１の２次元フォトリック結晶層

１２１Ａ…第１板状部材

１２１Ｂ…第１空孔

１２１Ｃ…第１空孔１２１Ｂの活性層側底面

１２２…第２の２次元フォトリック結晶層

１２２Ａ…第２板状部材

１２２Ｂ…第２空孔

１２２Ｃ…第２空孔１２２Ｂの活性層側底面

１３１…第１スペーサ層

１３２…第２スペーサ層

１４１…第１クラッド層

１４２…第２クラッド層

１５１…第１基板

１５２…第２基板

１６１…第１電極

１６２…第２電極

９０…２次元フォトリック結晶

９１…板状部材

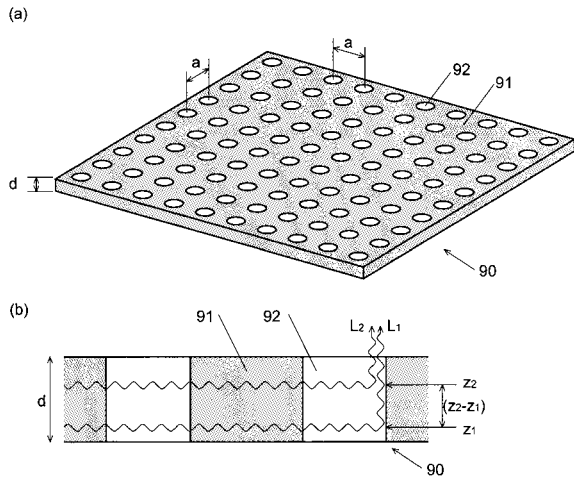
９２…異屈折率領域

10

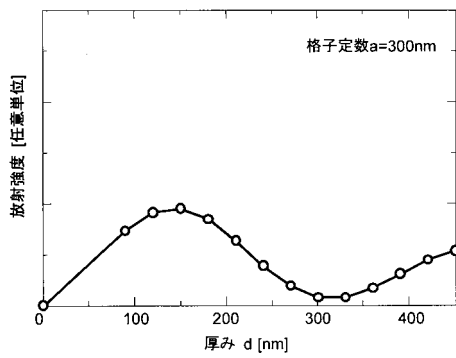
20

30

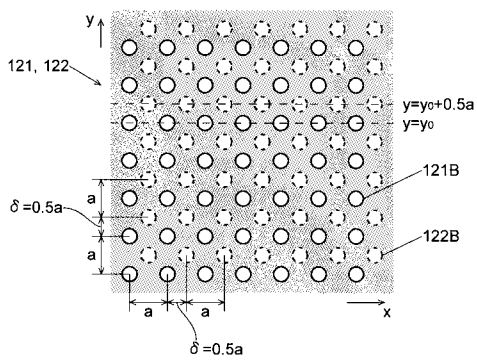
【図 1】



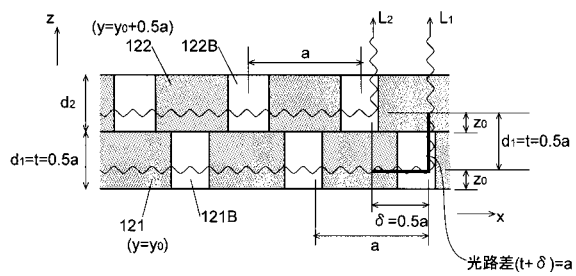
【図 2】



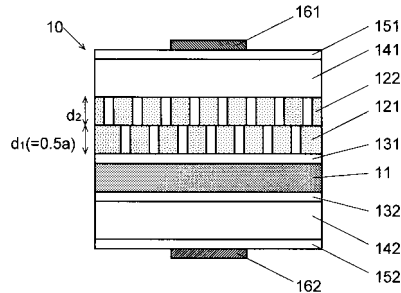
【図 5】



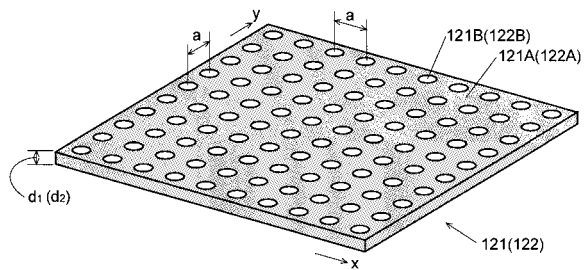
【図 6】



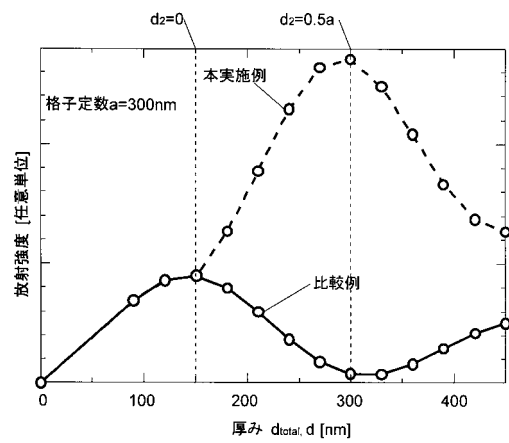
【図 3】



【図 4】



【図 7】



フロントページの続き

- (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
- (72)発明者 酒井 恭輔
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 黒坂 剛孝
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 宮井 英次
京都府京都市右京区西院溝崎町 2 1 番地 ローム株式会社内
- (72)発明者 大西 大
京都府京都市右京区西院溝崎町 2 1 番地 ローム株式会社内
- (72)発明者 國師 渡
京都府京都市右京区西院溝崎町 2 1 番地 ローム株式会社内
- F ターム(参考) 5F173 AB52 AB90 AF60 AR14