

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第4484134号
(P4484134)

(45) 発行日 平成22年6月16日(2010.6.16)

(24) 登録日 平成22年4月2日(2010.4.2)

(51) Int.Cl. F I
 HO 1 S 5/18 (2006.01) HO 1 S 5/18
 GO 2 B 6/12 (2006.01) GO 2 B 6/12 Z

請求項の数 1 (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2003-83706 (P2003-83706)	(73) 特許権者	503360115 独立行政法人科学技術振興機構 埼玉県川口市本町四丁目1番8号
(22) 出願日	平成15年3月25日(2003.3.25)	(73) 特許権者	000001270 コニカミノルタホールディングス株式会社 東京都千代田区丸の内一丁目6番1号
(65) 公開番号	特開2004-296538 (P2004-296538A)	(74) 代理人	100091432 弁理士 森下 武一
(43) 公開日	平成16年10月21日(2004.10.21)	(72) 発明者	野田 進 京都府宇治市五ヶ庄京大宿舍231
審査請求日	平成17年11月30日(2005.11.30)	(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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 2次元フォトリック結晶面発光レーザ

(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又はその近傍に、屈折率の異なる媒質を2次元の周期で配列したフォトリック結晶周期構造体を内蔵した2次元フォトリック結晶面発光レーザにおいて、

前記フォトリック結晶周期構造体の格子構造が、正方格子又は直交格子であり、並進対称性を備えるが回転対称性を備えておらず、かつ、格子点の形状がほぼ三角形であるフォトリック結晶を内蔵していること、

を特徴とする2次元フォトリック結晶面発光レーザ。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、2次元フォトリック結晶面発光レーザ、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ック結晶周期構造体を備え、フォトリック結晶により共振して面発光する2次元フォトリック結晶面発光レーザに関する。

【0002】

【従来の技術】

【特許文献1】

特開2000-332351号公報

【特許文献2】

特開2003-23193号公報

【0003】

従来、基板面から垂直方向にレーザ光を出射する面発光レーザが種々開発、研究されている。面発光レーザ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。

【0004】

この種の面発光レーザとして、フォトニック結晶を利用した2次元フォトニック結晶面発光レーザが特許文献1に開示されている。フォトニック結晶とは、光の波長と同程度もしくはより小さい屈折率周期を有する結晶であり、誘電体の多次元周期構造体では半導体の結晶中で電子状態にバンドギャップが生じることと同様の原理により、光の導波を抑制する波長帯（フォトニックバンドギャップ）が生じ、光を2次元又は3次元に閉じこめることが可能である。

10

【0005】

前記特許文献1に記載の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の近傍に、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、フォトニック結晶により共振して面発光するものである。

【0006】

具体的には、図25に示すように、2次元フォトニック結晶面発光レーザ10は、概略、基板11上に下部クラッド層12、活性層13、上部クラッド層14が積層され、下部クラッド層12には活性層13の近傍に2次元フォトニック結晶20が内蔵されている。

20

【0007】

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次元フォトニック結晶20は、下部クラッド層12に形成した空孔（フォトニック結晶周期構造体21、格子点とも称する）にて構成され、下部クラッド層12とは屈折率の異なる媒質が2次元の周期で配列された正方格子や三角格子からなっている。空孔内にはSiN等を充填してもよい。活性層13は、例えば、InGaAs/InGaAsP系の半導体材料を用いた多重量子井戸構造からなっており、キャリアの注入により発光する。

30

【0008】

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。

【0009】

基板11の底面及び上部クラッド層14の上面上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次元フォトニック結晶20に入射する。2次元フォトニック結晶20の格子間隔に波長が一致する光は、2次元フォトニック結晶20により共振して増幅される。これにより、上部クラッド層14の上面上（電極17の周囲に位置する発光領域18）からコヒーレントな光が面発光される。

40

【0010】

ここで、図26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、直交格子等であってもよい。

【0011】

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 - X方向と - M方向の代表的な方向を有している。 - 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。

50

【0012】

波長 λ が基本格子 E の格子間隔 a に一致する光 L が $-X$ 方向に進行すると、光 L は格子点で回折される。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。

【0013】

光 L が 1 回又は複数回の回折を繰り返すと、回折光が元の格子点に戻るため共振作用が生じる。また、図 26 の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。

10

【0014】

前記フォトニック結晶を利用した 2 次元的な共振現象を、より定量的に考えるために、2 次元正方格子フォトニック結晶における光の分散関係を図 27 に示す。図 27 において、横軸は波数ベクトルと称する光の波数の向きと大きさを表す。縦軸は光の周波数に a/c を乗じて無次元化した規格化周波数である。ここで、 c は光速 (単位: m/sec) で、 a は格子間隔 (単位: m) である。

【0015】

光のエネルギーの伝播速度である群速度 v_g は、 $\partial \omega / \partial k$ で表されるので、図 27 においてその傾きが 0 となるバンド端では、光の群速度は 0 となり、定在波が生じることを意味する。従って、様々なバンド端において、それぞれのバンド端に応じた特徴あるレーザ発振が可能となる。なかでも、ポイント S (点第 2 群) のバンド端が前記 4 波の結合と、面に垂直な方向に光を取り出せる発振点である。

20

【0016】

図 28 に前記ポイント S の詳細を示す。図 28 を参照すると、点 S のバンド端には一つの二重縮退をしたバンド端 III、IV を含む四つのバンド端 (モード) I、II、III、IV があり、レーザ発振はこの四つのバンド端 (モード) のいずれかで生じるものと考えられる。

【0017】

これら四つのモードのうち、バンド端 III、IV の 2 点は縮退しているため、縮退の性質により電界分布が一義的には決まらず不安定になる。また、縮退していない他の二つのモード I、II は、偏光が特異であり、図 29 及び図 30 に示すような特徴を有している。図 29 はモード I の面発光成分の電界分布を示し、図 30 はモード II の面発光成分の電界分布を示している。

30

【0018】

図 29 及び図 30 から明らかなように、モード I、II 共に、偏光方向が場所により異なっているため、偏光が揃っていることが要求される用途では使用できないという問題点を有している。また、発光面の中心部においては互いに打ち消し合う方向に電界が重なり合うので、結果的に周辺のみが明るく、中心部は暗いドーナツ状の発光をしていることになる。

40

【0019】

また、二重縮退したモード III、IV については、前述の如く、縮退の性質により電界分布が一定にならないので、このモード III、IV でも偏光は一義的に決まらず不安定になる。そこで、本発明者らは、偏光方向をある特定の方向に揃えることを検討し、2 次元フォトニック結晶を構成する格子点の形状を適切に設計することにより、偏光が一方向に揃えることが可能であることを見出した (特許文献 2 参照)。

【0020】

その一例として、格子点の形状が楕円形状をなす場合の発振点付近のバンド構造を図 31 に示し、その電界分布を図 32 ~ 図 35 に示す。

【0021】

50

図31に示すバンド構造により、格子点形状が真円形状のとき縮退していたモードIII、IVは完全に縮退が解けて新たなモードIII'、IV'になっていることが分かる。なお、格子点形状の楕円化により得られたモードをエネルギーの低いほうから、モードI'、II'、III'、IV'と名付け、真円の場合のモードと区別することにする。

【0022】

また、格子点形状の楕円化による効果で非常に重要な点として、縮退の解けたモードIII'及びモードIV'は勿論のこと、モードI'及びモードII'においても偏光方向が一方向に揃っていることが電界分布を示す図32～図35から明らかである。

【0023】

【発明が解決しようとする課題】

ところで、モードIII'、IV'は偏光方向に加えて位相も発光面の全ての場所で揃っている。これに対し、モードI'、II'は偏光方向は揃っているが、中心部を挟んで上下(モードI')もしくは左右(モードII')で位相が180°反転しているため、発光面の中心部では互いに電界が打ち消しあって暗くなる双峰性の発振をするという問題点が見られた。

【0024】

さらに、フォトニック結晶の共振器としての性質により、モードI'、II'のほうがモードIII'、IV'よりもQ値が高く、モードIII'、IV'を発振モードとして選択すると、モードI'、II'を発振モードとして選択した場合に比べると、閾値が高くなるという問題点も見られた。即ち、使いやすい単峰性の直線偏光と、低閾値化(Q値が高い)の両立が

【0025】

そこで、本発明の目的は、面発光された光が単峰性の直線偏光であると共に、Q値の高い2次元フォトニック結晶面発光レーザを提供することにある。

【0026】

【発明の構成、作用及び効果】

以上の目的を達成するため、本発明は、キャリアの注入により発光する活性層又はその近傍に、屈折率の異なる媒質を2次元の周期で配列したフォトニック結晶周期構造体を内蔵した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格子構造が、正方格子又は直交格子であり、並進対称性を備えるが回転対称性を備えておらず、かつ、格子点の形状がほぼ三角形であるフォトニック結晶を内蔵していることを特徴とする。

【0028】

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、フォトニック結晶周期構造体の格子構造が、正方格子又は直交格子であり、並進対称性を備えるが回転対称性を備えておらず、かつ、格子点の形状がほぼ三角形であるため、面発光された光が単峰性の直線偏光であると共に、Q値を高く(閾値を低く)することができる。

【0030】

【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の実施形態について、添付図面を参照して説明する。

【0031】

(格子点が三角形の場合)

本発明に係る2次元フォトニック結晶面発光レーザは、図1にその平面構造を示すように、屈折率 n_1 の第1媒質(下部クラッド層)12に屈折率 n_2 (但し、 $n_1 < n_2$)の第2媒質(フォトニック結晶周期構造体、格子点とも記す)21を正方格子状に配置した2次元フォトニック結晶20からなる。この基本的な構造は図25に示した従来の面発光レーザと同様であり、図26に示した原理により面発光する。

【0032】

図1に示す2次元フォトニック結晶20はそのフォトニック周期構造体21の形状を三角

10

20

30

40

50

形として正方格子を構成したもので、並進対称性を備えるが回転対称性を備えてはいない。

【0033】

図2～図5に、フォトニック結晶周期構造体21を三角形状とすることにより得られる面発光成分の電界分布を示す。この2次元フォトニック結晶20にあっても四つのモードが存在し、それぞれモードI”、II”、III”、IV”と名付ける。図2～図5から明らかのように、全てのモードで単峰性の直線偏光発振が得られていることが分かる。

【0034】

モードI”、II”、III”、IV”は、それぞれ格子点形状が楕円形状である場合のモードI’、II’、III’、IV’（図32～図35参照）と同類のモードであるため、モードI”、II”はモードIII”、IV”に比べて共振器としてのQ値が高く、閾値が低くなる利点を有している。即ち、モードI”、II”において低閾値と単峰性が両立できている。従って、格子点が三角形状の2次元フォトニック結晶20ではモードI”又はモードII”を発振モードとして使用することになる。

10

【0035】

前述の現象は以下のように理解される。2次元フォトニック結晶は、発光面に対して垂直方向に光を取り出すタイプのレーザであり、取り出される光の偏光はフォトニック結晶を構成している周期的な屈折率分布のうち、屈折率の低い部分に分布している電界の方向で決定される。格子点形状が楕円の場合、例えば、モードI’の場合、図32（B）に示したフォトニック結晶領域における電界分布を見ると、電界は屈折率の低い楕円格子点を挟んで、その上下に、右方向に進む電界と、左方向に進む電界が存在するために、この光が回折により、フォトニック結晶から取り出され、干渉を経た結果、電界は図32（A）に示したように中心を挟んで上下で位相が異なる電界分布を有している。

20

【0036】

一方、例えば、モードIV’の場合、図35（B）に示したフォトニック結晶領域における電界分布を見ると、電界は屈折率の低い楕円格子点を一方向に貫くように分布しているために、この光が回折により、フォトニック結晶から取り出され、干渉を経た結果、電界は図35（A）に示したように一方向に揃っている。

【0037】

従って、直線偏光を持った単峰性の電界分布を備えた放射モードを得るには、2次元フォトニック結晶の面内で屈折率の低い第2媒質に、方向の揃った電界を分布させればよいことになる。

30

【0038】

そこで、図6～図8に格子点を真円形状、楕円形状及び三角形状とした場合のモードI、I’、I”における電界分布の様子を模式的に示す。図6（A）、図7（A）、図8（A）はフォトニック結晶内部での電界分布を示し、図6（B）、図7（B）、図8（B）は屈折率の低い第2媒質（2次元フォトニック周期結晶構造体）において1周期分取り出した場合の電界分布を示す。また、図6（C）、図7（C）、図8（C）は発光面に垂直方向に取り出された成分の電界分布を示す。図9及び図10にはさらに詳細な電界分布を示し、図9は格子点が真円形状の場合、図10は格子点が三角形状の場合をそれぞれ示す。

40

【0039】

ところで、格子点を三角形状とした場合、発光面に垂直方向に取り出された成分の電界分布は、図8に示すように、厳密には、屈折率の低い第2媒質部分に分布する電界を180°回転させた像になる。

【0040】

図11～図13に、前記図6～図8と同様に、格子点を真円形状、楕円形状及び三角形状とした場合のモードII、II’、II”における電界分布の様子を模式的に示す。

【0041】

（格子点形状の条件及び種類）

図8及び図13に明らかのように、格子点を三角形状とした本質的な特徴は、屈折率の周

50

期と電界分布の周期をずらすことにある。このような現象は格子点が三角形状である場合だけでなく、2次元フォトニック結晶を構成している格子構造が下記の条件を満たすことによって得られる。

【0042】

即ち、格子構造が、回転対称性を含まない正方格子構造又は直交格子構造であればよい。一般に、2次元の繰り返し文様は、IUC (International Union of Crystallography in 1952) の分類方法で17種に分類できることが知られている。17種とは、p1、pm、pg、cm、p2、pmm、pgg、cmm、pmg、p4、p4m、p4g、p3、p31m、p3m1、p6、p6mである。そのうち、回転対称性を含まない文様は、以下の表1に示すように、p1、pm、pg、cmの4種である。三角形状の格子構造の場合はpmに相当する。

10

【0043】

【表1】

(回転対称性を含まない2次元文様の分類)

IUC 記号	判定条件	可能な格子構造
p1	鏡映、すべり鏡映を含まない。	斜交格子、直交格子、面心格子、正方格子、六方格子
pm	鏡映を含む。 すべり鏡映軸は必ず鏡映軸でもある。	直交格子、正方格子
pg	鏡映を含まない。 すべり鏡映を含む。	直交格子、正方格子
cm	鏡映を含む。 鏡映軸ではないすべり鏡映軸が存在する。	面心格子、正方格子、六方格子

20

30

【0044】

鏡映とは、図14(A)に示すように、鏡映軸に対して線対称な文様をいう。すべり鏡映とは、図14(B)に示すように、鏡映文様がすべり鏡映軸に対して平行移動した場合をいう。

【0045】

次に、格子点形状として考えられる種々の形状を図15～図24に文様の種類(p1、pm、pg、cmのいずれか)と共に示す。なお、各図15～図21においては格子点形状の角部が90°ないしそれ以下の角度に描かれているが、実際に加工された周期構造体においては、それらの角部は丸みを有している。

40

【0046】

並進対称性を備えるが回転対称性を備えていない格子構造は、一つ一つの格子点形状を変えなくても、図22又は図23に示すように、真円形状の格子点21に小さな円形状21'を付加することにより実現できる。また、小円形状の付加の仕方も、数周期に1回でよい。要するに、個々の格子点形状のみならず、格子構造の全体として、有限サイズの基本格子が定義でき、それが正方格子又は直交格子として繰り返される文様であればよい。

【0047】

50

また、図 2 4 に示すように、格子点形状自体は真円であっても、格子点に第 3 の屈折率 n_3 の媒質を設けることで、 p m の文様に相当する格子構造を実現できる。第 1 媒質に空孔を形成した後、該空孔に屈折率 n_2 、 n_3 の媒質を充填すればよい。あるいは、屈折率 n_2 の媒質を空気とすれば、屈折率 n_3 の媒質を半円形状に充填すればよい。また、格子点は屈折率の異なる 2 種以上の屈折率分布を持つ媒質によって充填されていてもよい。

【 0 0 4 8 】

(他の実施形態)

なお、本発明に係る 2 次元フォトリック結晶面発光レーザ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 9 】

特に、半導体層、フォトリック結晶、電極の材料や、光の偏光を揃えるための構造等は任意である。また、フォトリック結晶周期構造体は、下部クラッド層以外に、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。

【 0 0 5 0 】

また、第 1 媒質と第 2 媒質の屈折率の関係は、前記実施形態においては第 2 媒質の屈折率が第 1 媒質の屈折率よりも低いものとして説明したが、逆の関係であってもよい。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明に係る 2 次元フォトリック結晶面発光レーザの結晶面構造の一例（格子点が三角形状）を示す平面図。

【図 2】図 1 に示すフォトリック結晶の面発光成分（モード I”）の電界分布を示すチャート図。

【図 3】図 1 に示すフォトリック結晶の面発光成分（モード II”）の電界分布を示すチャート図。

【図 4】図 1 に示すフォトリック結晶の面発光成分（モード III”）の電界分布を示すチャート図。

【図 5】図 1 に示すフォトリック結晶の面発光成分（モード IV”）の電界分布を示すチャート図。

【図 6】格子点を真円形状とした場合のモード I”における電界分布を示すチャート図。

【図 7】格子点を楕円形状とした場合のモード I’”における電界分布を示すチャート図。

【図 8】格子点を三角形状とした場合のモード I”における電界分布を示すチャート図。

【図 9】格子点を真円形状とした場合のモード I”に関して、（A）はフォトリック結晶領域における電界分布を示すチャート図、（B）は面発光成分の電界分布を示すチャート図。

【図 10】格子点を三角形状とした場合のモード I”に関して、（A）はフォトリック結晶領域における電界分布を示すチャート図、（B）は面発光成分の電界分布を示すチャート図。

【図 11】格子点を真円形状とした場合のモード II”における電界分布を示すチャート図。

【図 12】格子点を楕円形状とした場合のモード II’”における電界分布を示すチャート図。

【図 13】格子点を三角形状とした場合のモード II”における電界分布を示すチャート図。

【図 14】鏡映及びすべり鏡映を示す説明図。

【図 15】格子点形状とその配列の他の例を示す平面図。

【図 16】格子点形状とその配列のさらに他の例を示す平面図。

【図 17】格子点形状とその配列のさらに他の例を示す平面図。

【図 18】格子点形状とその配列のさらに他の例を示す平面図。

【図 19】格子点形状とその配列のさらに他の例を示す平面図。

【図 20】格子点形状とその配列のさらに他の例を示す平面図。

【図 21】格子点形状とその配列のさらに他の例を示す平面図。

【図 22】格子点形状とその配列のさらに他の例を示す平面図。

10

20

30

40

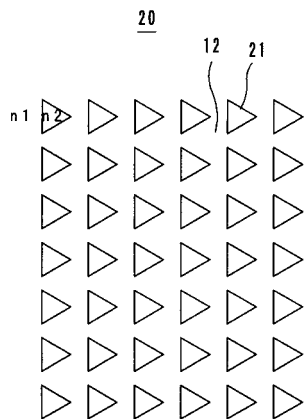
50

- 【図23】 格子点形状とその配列のさらに他の例を示す平面図。
 - 【図24】 格子点形状とその配列のさらに他の例を示す平面図。
 - 【図25】 本発明に先行する2次元フォトリック結晶面発光レーザを示す斜視図。
 - 【図26】 2次元フォトリック結晶面発光レーザの共振作用を示す説明図。
 - 【図27】 格子点が真円形状である2次元正方格子フォトリック結晶における光の分散関係を示すバンド図。
 - 【図28】 図27のポイントSの詳細を示すバンド図。
 - 【図29】 格子点が真円形状であるモードIの面発光成分の電界分布を示すチャート図。
 - 【図30】 格子点が真円形状であるモードIIの面発光成分の電界分布を示すチャート図。
 - 【図31】 格子点を楕円形状とした2次元正方格子フォトリック結晶における光の分散関係を示すバンド図。
 - 【図32】 格子点を楕円形状としたモードI'に関して、(A)は面発光成分の電界分布を示すチャート図、(B)はフォトリック結晶領域における電界分布を示すチャート図。
 - 【図33】 格子点を楕円形状としたモードII'の面発光成分の電界分布を示すチャート図。
 - 【図34】 格子点を楕円形状としたモードIII'の面発光成分の電界分布を示すチャート図。
 - 【図35】 格子点を楕円形状としたモードIV'に関して、(A)は面発光成分の電界分布を示すチャート図、(B)はフォトリック結晶領域における電界分布を示すチャート図。
- 【符号の説明】
- 1 2 ... 第1媒質(下部クラッド層)
 - 2 0 ... 2次元フォトリック結晶
 - 2 1 ... 第2媒質(フォトリック結晶周期構造体、格子点)

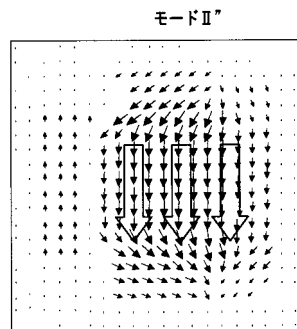
10

20

【図1】

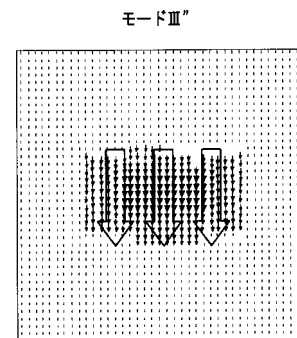
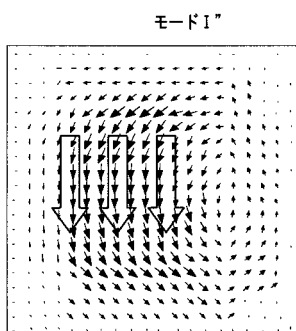


【図3】

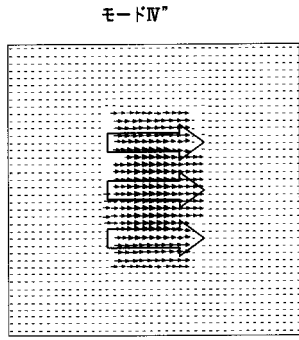


【図4】

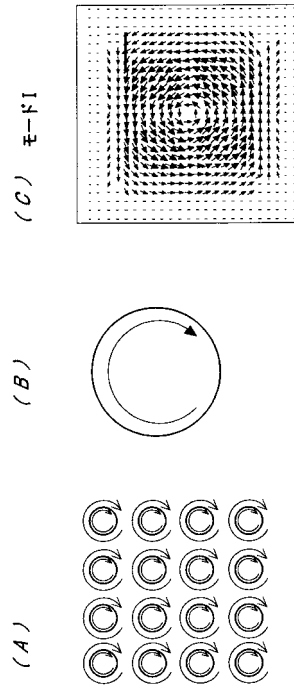
【図2】



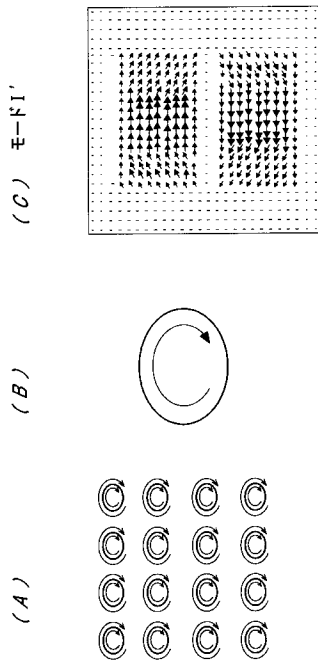
【 図 5 】



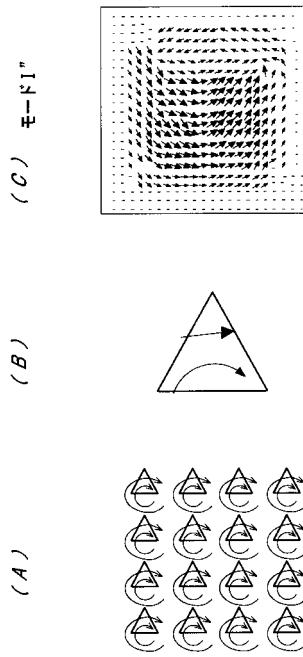
【 図 6 】



【 図 7 】

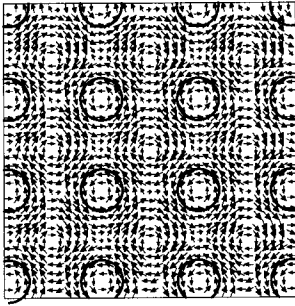


【 図 8 】

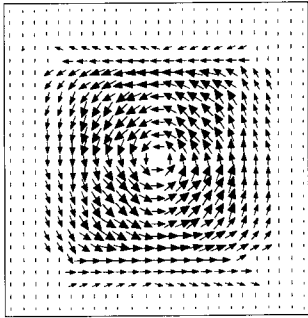


【図 9】

(A)

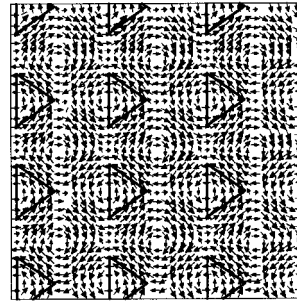


(B)

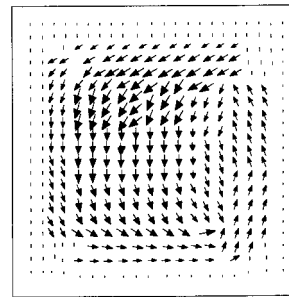


【図 10】

(A)



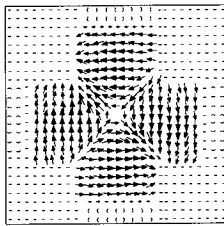
(B)



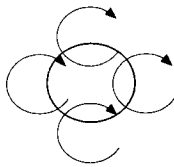
【図 11】

(C)

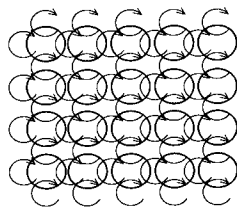
モードII



(B)



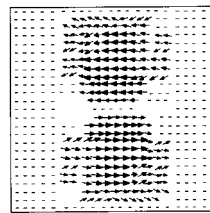
(A)



【図 12】

(C)

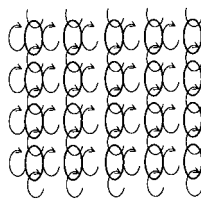
モードII'



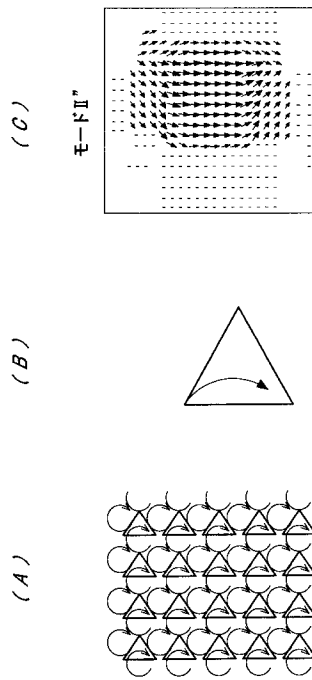
(B)



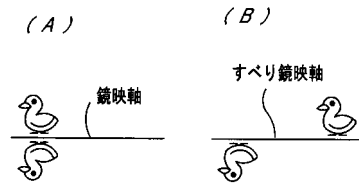
(A)



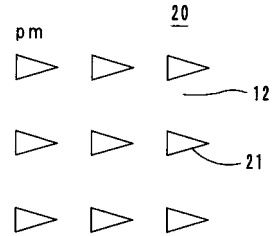
【図 13】



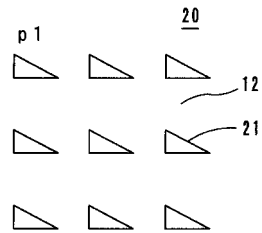
【図 14】



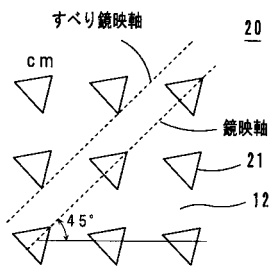
【図 15】



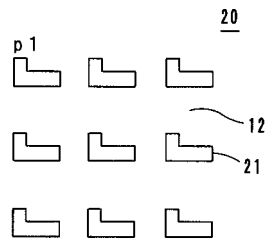
【図 16】



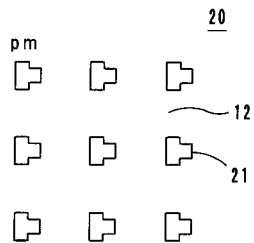
【図 17】



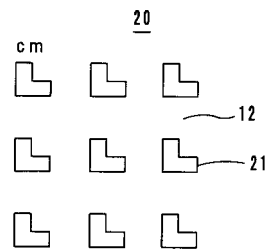
【図 19】



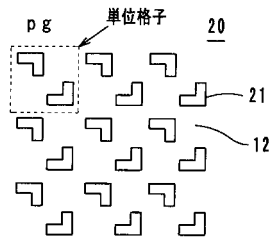
【図 18】



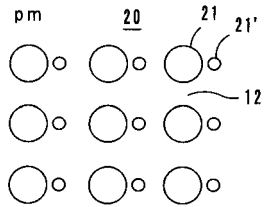
【図 20】



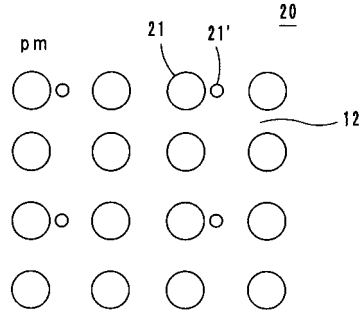
【図 2 1】



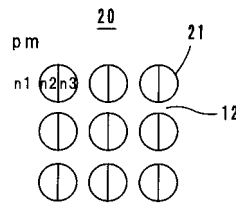
【図 2 2】



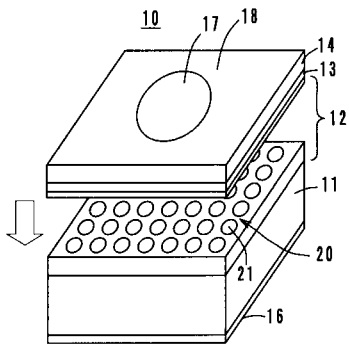
【図 2 3】



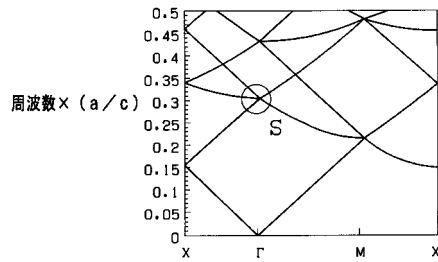
【図 2 4】



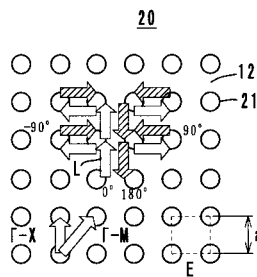
【図 2 5】



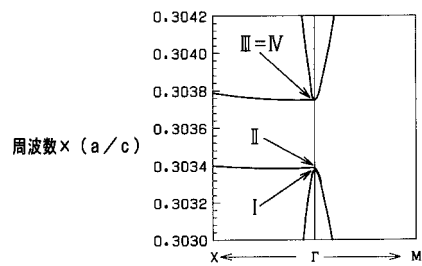
【図 2 7】



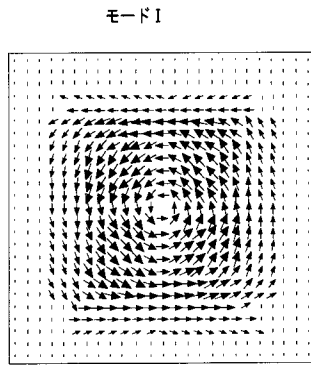
【図 2 6】



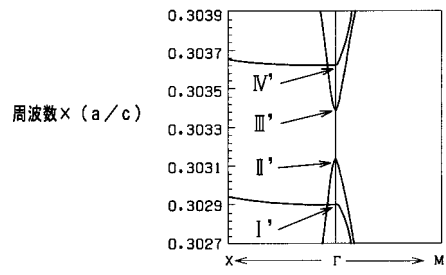
【図 2 8】



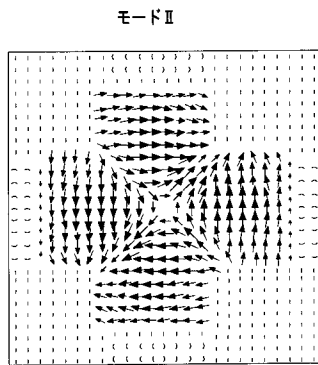
【図 29】



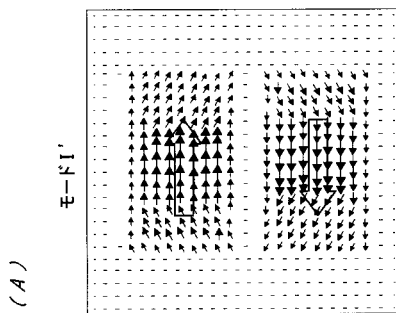
【図 31】



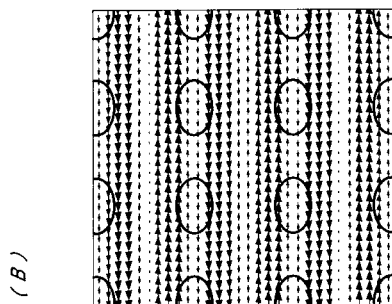
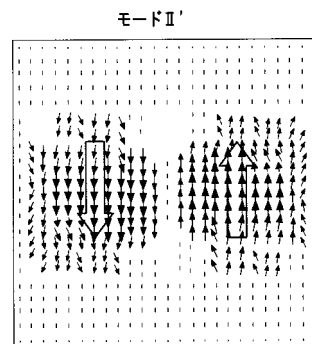
【図 30】



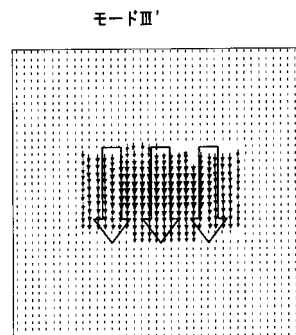
【図 32】



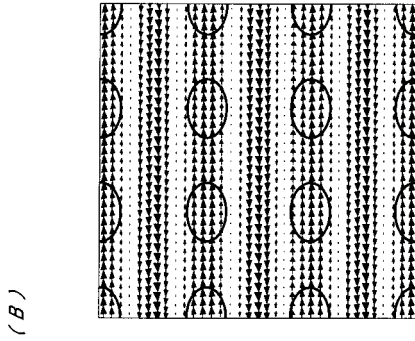
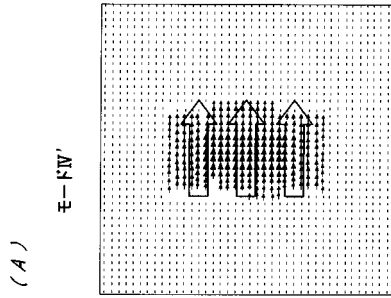
【図 33】



【図 34】



【 3 5 】



フロントページの続き

(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

(72)発明者 宮井 英次

京都府京都市西京区榎原山路16-1 ネクストライフ101

審査官 道祖土 新吾

(56)参考文献 特開2003-023193(JP,A)

特開2003-075657(JP,A)

特開2001-330740(JP,A)

第64回応用物理学学会学術講演会講演予稿集, 2003年, No.3, p.935,31p-ZM-8

Science, 1999年, Vol.284, No.5421, p.1819-1821

Science, 2001年, Vol.293, No.5532, p.1123-1125

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01S 5/00-5/50

G02B 6/12