

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11)特許出願公開番号

特開2003 - 23193

(P 2 0 0 3 - 2 3 1 9 3 A)

(43)公開日 平成15年 1月24日 (2003.1.24)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テ-マコード [*] (参考)
H01S 3/06		H01S 3/06	5F072
5/18		5/18	5F073

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全15頁)

(21)出願番号	特願2001 - 204315 (P 2001 - 204315)	(71)出願人	396020800 科学技術振興事業団 埼玉県川口市本町 4 丁目 1 番 8 号
(22)出願日	平成13年 7 月 5 日 (2001.7.5)	(71)出願人	000006079 ミノルタ株式会社 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
		(72)発明者	野田 進 京都府宇治市五ヶ庄京大宿舍231
		(74)代理人	100085501 弁理士 佐野 静夫

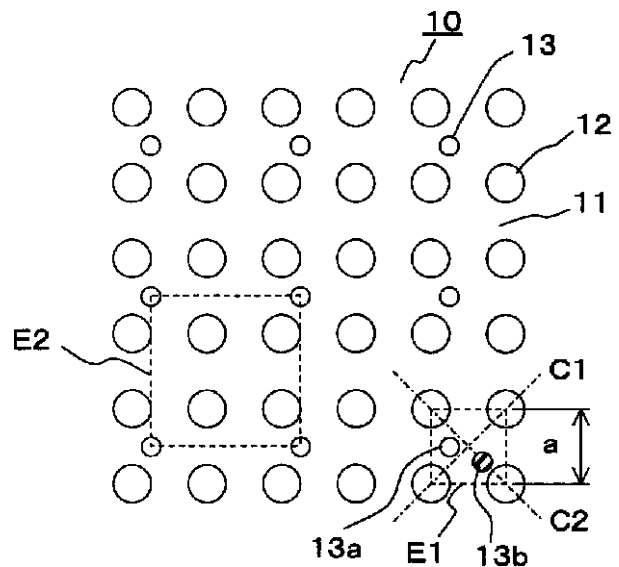
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 二次元フォトニック結晶面発光レーザ

(57) 【要約】

【課題】 偏光方向が一定の光を出射することのできる二次元フォトニック結晶面発光レーザを提供する。

【解決手段】 キャリアの注入により発光する活性層4の近傍に、屈折率の異なる媒質が二次元の周期で配列された二次元フォトニック結晶10を配した二次元フォトニック結晶面発光レーザ1において、二次元フォトニック結晶10は、直交する方向に格子間隔aの等しい正方格子から成るとともに、一の媒質12を頂点とした正方形から成る基本格子E1が該基本格子E1の2つの対角線C1、C2のいずれかに対して非対称な屈折率の分布を有する。



【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の近傍に、屈折率の異なる媒質が二次元の周期で配列された二次元フォトリック結晶を配した二次元フォトリック結晶面発光レーザにおいて、

前記二次元フォトリック結晶は、一の媒質を直交する 2 方向に等間隔で周期的に配列した正方格子から成るとともに、一の媒質を頂点とし、同じ大きさの一の媒質の最小周期を一边とした正方形から成る少なくとも一部の基本格子が、該基本格子の 2 つの対角線のいずれか一方に対して非対称な屈折率の分布を有することを特徴とする二次元フォトリック結晶面発光レーザ。

【請求項 2】 キャリアの注入により発光する活性層の近傍に、屈折率の異なる媒質が二次元の周期で配列された二次元フォトリック結晶を配した二次元フォトリック結晶面発光レーザにおいて、

前記二次元フォトリック結晶の点におけるモードの縮退を有したことを特徴とする二次元フォトリック結晶面発光レーザ。

【請求項 3】 前記活性層の利得の極大値をとる周波数と前記二次元フォトリック結晶が共振する周波数とを一致させたことを特徴とする請求項 1 または請求項 2 に記載の二次元フォトリック結晶面発光レーザ。

【請求項 4】 前記二次元フォトリック結晶は、所定の屈折率を有する第 1 媒質と、第 1 媒質と屈折率が異なるとともに第 1 媒質内の直交する第 1、第 2 方向に等しい間隔で配置された等しい大きさの第 2 媒質とを有し、第 2 媒質を頂点とした少なくとも一部の基本格子は、該基本格子の 2 つの対角線のいずれか一方に対して非対称に配される第 3 媒質を有することを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 3 のいずれかに記載の二次元フォトリック結晶面発光レーザ。

【請求項 5】 基本格子の一边の長さを a とした時に、基本格子の一边から幅 $0.1a$ の範囲または一边の垂直二等分線から幅 $0.1a$ の範囲に第 3 媒質を配置したことを特徴とする請求項 4 に記載の二次元フォトリック結晶面発光レーザ。

【請求項 6】 基本格子の一边の長さを a とし、一の第 2 媒質を原点に第 1、第 2 方向を X 軸、Y 軸とした時に、X、Y 座標が $(na/4, ma/4)$ ($n=0, 2, 4, m=1, 3$) または $(na/4, ma/4)$ ($n=1, 3, m=0, 2, 4$) の点を中心とする半径 $0.1a$ の範囲に第 3 媒質を配置したことを特徴とする請求項 4 に記載の二次元フォトリック結晶面発光レーザ。

【請求項 7】 第 2 媒質と第 3 媒質とが異なる大きさから成ることを特徴とする請求項 4 に記載の二次元フォトリック結晶面発光レーザ。

【請求項 8】 第 2 媒質と第 3 媒質とは同じ材質から成ることを特徴とする請求項 4 ~ 請求項 7 のいずれかに記

載の二次元フォトリック結晶面発光レーザ。

【請求項 9】 前記二次元フォトリック結晶は、所定の屈折率を有する第 1 媒質と、第 1 媒質と屈折率が異なるとともに第 1 媒質内の直交する第 1、第 2 方向に等しい間隔で配置される第 2 媒質とを有し、

第 2 媒質を頂点とした少なくとも一部の基本格子は、該基本格子の 2 つの対角線のいずれか一方に対して第 2 媒質の平面形状を非対称にしたことを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 3 のいずれかに記載の二次元フォトリック結晶面発光レーザ。

【請求項 10】 前記二次元フォトリック結晶は、平面形状が矩形の媒質を密接して配列され、少なくとも一の媒質に対して直交する 2 方向に隣接する 2 つの媒質の屈折率が異なることを特徴とする請求項 1 ~ 請求項 3 のいずれかに記載の二次元フォトリック結晶面発光レーザ。

【請求項 11】 前記二次元フォトリック結晶は、等しい周期を持つ 2 つの一次元回折格子を周期方向が直交するように接合して成ることを特徴とする請求項 10 に記載の二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、二次元フォトリック結晶を有し、面発光が可能な二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】活性層の近傍に二次元フォトリック結晶を配し、二次元フォトリック結晶の共振により面発光する二次元フォトリック結晶面発光レーザは特開 2000 - 332351 号公報に開示されている。同公報の二次元フォトリック結晶面発光レーザは、基板上に下部クラッド層、活性層、上部クラッド層が積層されている。下部クラッド層中には活性層の近傍に二次元フォトリック結晶が内蔵されている。

【0003】二次元フォトリック結晶は、例えば n 型 InP の半導体層に空孔を形成して構成され、屈折率の異なる媒質が二次元の所定期間で配列された三角格子や正方格子から成っている。空孔内には SiN 等を充填してもよい。活性層は、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成っており、キャリアの注入により発光する。

【0004】また、下部クラッド層は上記のように例えば n 型 InP の半導体から成り、上部クラッド層は例えば p 型 InP の半導体から成っている。下部クラッド層及び上部クラッド層により活性層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に集中させるようになっている。

【0005】上部クラッド層の上面及び基板の底面には金等から成る電極が形成されている。電極間に電圧を印加することにより活性層が発光し、活性層から漏れた光が二次元フォトリック結晶に入射する。二次元フォトリ

10

20

30

40

50

ック結晶の格子間隔に波長が一致する光は二次元フォトリック結晶により共振して増幅される。これにより、二次元フォトリック結晶面発光レーザが面発光してコヒーレントな光を出射する。

【0006】例えば、図35に示すような正方格子から成る二次元フォトリック結晶について共振作用を説明する。二次元フォトリック結晶40は、第1媒質11内に空孔等の第2媒質12を直交する二方向に同じ周期で形成した正方格子から成っている。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12の間隔(以下「格子間隔」という)をaとすると、第2媒質12を格子点とした一辺がaの正方形から成る格子(以下「基本格子」という)E1が形成されている。

【0007】基本格子E1の格子間隔aに波長が一致する光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。更に、 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° の方向に回折する。

【0008】光Lが1回また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、紙面に垂直な方向に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発生するため、面内全域でコヒーレントなレーザ発振が可能になっている。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】図36は前述の図35に示す構造の二次元フォトリック結晶40のバンド図である。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/s)を示しており、aは格子間隔(単位: m)を示している。横軸は、光の波数ベクトルを示している。

【0010】同図において、各線は光の分散関係を示しており、いくつかの場所においてその傾きが零、即ち光の群速度が零となり共振作用が生じる場所が存在するのが分かる。中でも 点は前述したように、面内方向だけではなく、面に垂直な方向に回折された光もブラッグ条件を満たすため、面内方向で共振した結果得られるコヒーレントな光を面に垂直な方向に取り出すことが可能となる。

【0011】尚、 点は以下のように定義される。格子間隔aの正方格子に対して格子の基本並進ベクトル a_1 、 a_2 は、直交座標の単位ベクトルをx、yとすると、

$$a_1 = a x$$

$$a_2 = a y$$

と表される。

【0012】並進ベクトル a_1 、 a_2 に対し、逆格子基本ベクトル b_1 、 b_2 は、

$$b_1 = (2/a)y$$

$$b_2 = (2/a)x$$

と表される。

【0013】逆格子基本ベクトル b_1 、 b_2 を用い、光の波数ベクトルkが式(1)で表されるような値を持つ点を 点と称す。

$$\text{【0014】 } k = n b_1 + m b_2 \quad \dots (1)$$

ここで、n、mは任意の整数である。

【0015】従って、光の波数ベクトルが式(1)を満たしている 点であれば、どのバンドでも前述の現象が生じる。通常、二次元フォトリック結晶面発光レーザでは図中S部に示すように、格子間隔aが波長と等しいことに相等する第2群のバンドが用いられる。

【0016】S部の詳細を図37に示すと、二次元フォトリック結晶は周波数の低い方から順にA、B、C、Dの4つの群速度が零となる周波数、即ち共振周波数を有する。以下、共振周波数Aでの共振状態をAモード、共振周波数Bでの共振状態をBモード、共振周波数Cでの共振状態をCモード、共振周波数Dでの共振状態をDモードという。

【0017】図38、図39はそれぞれ二次元フォトリック結晶がAモード及びBモードの共振状態を採っているときの電界分布を示しており、これはレーザ発振時の近視野像に相当する。矢印は電界の方向及び大きさを示している。これらの図に示すように、Aモード及びBモードでは、電界の向きが揃っていない。即ち、偏光方向が一定になっていない。このため、図40、図41にAモード及びBモードの遠視野の電界分布を示すと、Aモードでは偏光方向が電極7の周囲を回転する偏光になり、Bモードでは偏光方向が電極7を中心に放射状の偏光になる。

【0018】また、CモードとDモードとは縮退しており、この共振状態は同一の周波数で生じる。このため、

点ではCモードによる電界分布とDモードによる電界分布との線形和によって偏光が決められる。従って、偏光方向は一意に決まらず不安定になっている。

【0019】以上のように、従来の二次元フォトリック結晶面発光レーザによると、二次元フォトリック結晶の4つの共振モード(CモードとDモードとは縮退しているので実質3つの共振モード)のどのモードで共振するように形成しても出射される光の偏光方向が揃っていない。従って、偏光方向が一定の偏光を用いる装置には使用できない問題があった。

【0020】本発明は、偏光方向が一定の偏光を出射することのできる二次元フォトリック結晶面発光レーザを提供することを目的とする。

【0021】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために請求項1に記載された発明は、キャリアの注入により発光する活性層の近傍に、屈折率の異なる媒質が二次元の周期で配列された二次元フォトニック結晶を配した二次元フォトニック結晶面発光レーザにおいて、前記二次元フォトニック結晶は、一の媒質を直交する2方向に等間隔で周期的に配列した正方格子から成るとともに、一の媒質を頂点とし、同じ大きさの一の媒質の最小周期を一边とした正方形から成る少なくとも一部の基本格子が、該基本格子の2つの対角線のいずれか一方に対して非対称な屈折率の分布を有することを特徴としている。

【0022】また請求項2に記載された発明は、キャリアの注入により発光する活性層の近傍に、屈折率の異なる媒質が二次元の周期で配列された二次元フォトニック結晶を配した二次元フォトニック結晶面発光レーザにおいて、前記二次元フォトニック結晶の点におけるモードの縮退をといたことを特徴としている。この構成によると、二次元フォトニック結晶は結晶の対称性を崩すこと等によって縮退をとかれる。その結果、媒質の屈折率や大きさ等の選択によって、バンド図の第2群において4つの異なる周波数で共振させることができる。

【0023】また請求項3に記載された発明は、請求項1または請求項2に記載された二次元フォトニック結晶面発光レーザにおいて、前記活性層の利得の極大値をとる周波数と前記二次元フォトニック結晶が共振する周波数とを一致させたことを特徴としている。

【0024】また請求項4に記載された発明は、請求項1～請求項3のいずれかに記載された二次元フォトニック結晶面発光レーザにおいて、前記二次元フォトニック結晶は、所定の屈折率を有する第1媒質と、第1媒質と屈折率が異なるとともに第1媒質内の直交する第1、第2方向に等しい間隔で配置された等しい大きさの第2媒質とを有し、第2媒質を頂点とした少なくとも一部の基本格子は、該基本格子の2つの対角線のいずれかに対して非対称に配される第3媒質を有することを特徴としている。この構成によると、例えば第1媒質中のランダムな位置に第3媒質が配置される。

【0025】また請求項5に記載された発明は、請求項4に記載された二次元フォトニック結晶面発光レーザにおいて、基本格子の一边の長さを a とした時に、基本格子の一边から幅 $0.1a$ の範囲または一边の垂直二等分線から幅 $0.1a$ の範囲に第3媒質を配置したことを特徴としている。

【0026】また請求項6に記載された発明は、請求項4に記載された二次元フォトニック結晶面発光レーザにおいて、基本格子の一边の長さを a とし、一の第2媒質を原点に第1、第2方向を X 軸、 Y 軸とした時に、 X 、 Y 座標が $(na/4, ma/4)$ ($n=0, 2, 4$ 、 $m=1, 3$)または $(na/4, ma/4)$ ($n=$

$1, 3, m=0, 2, 4$)の点を中心とする半径 $0.1a$ の範囲に第3媒質を配置したことを特徴としている。

【0027】この構成によると、例えば、 X 、 Y 座標が $(0, a/4)$ や $(0, 3a/4)$ や $(a/4, a/2)$ の位置に第3媒質が配置される。

【0028】また請求項7に記載された発明は、請求項4に記載の二次元フォトニック結晶面発光レーザにおいて、第2媒質と第3媒質とが異なる大きさから成ることを特徴としている。

10 【0029】また請求項8に記載された発明は、請求項4～請求項7のいずれかに記載の二次元フォトニック結晶面発光レーザにおいて、第2媒質と第3媒質とは同じ材質から成ることを特徴としている。

【0030】また請求項9に記載された発明は、請求項1～請求項3のいずれかに記載された二次元フォトニック結晶面発光レーザにおいて、前記二次元フォトニック結晶は、所定の屈折率を有する第1媒質と、第1媒質と屈折率が異なるとともに第1媒質内の直交する第1、第2方向に等しい間隔で配置される第2媒質とを有し、第2媒質を頂点とした少なくとも一部の基本格子は、該基本格子の2つの対角線のいずれかに対して第2媒質の平面形状を非対称にしたことを特徴としている。この構成によると、第2媒質が第1、第2方向に周期的に配置され、第2媒質は例えば長径が第1方向に一致した楕円形に形成される。

【0031】また請求項10に記載された発明は、請求項1～請求項3のいずれかに記載された二次元フォトニック結晶面発光レーザにおいて、前記二次元フォトニック結晶は、平面形状が矩形の媒質を密接して配列され、少なくとも一の媒質に対して直交する2方向に隣接する2つの媒質の屈折率が異なることを特徴としている。

【0032】この構成によると、二次元フォトニック結晶は隣接する媒質の屈折率が異なるように市松模様状に形成され、平面的に見て例えば第1媒質の上方に配される第2媒質と、第1媒質の左方に配される第3媒質との屈折率が異なる。第1媒質と対角な位置には第1～第3媒質を配置してもよいし、他の媒質を配置してもよい。また、第1媒質と第1媒質との間隔は、波長と同じか、先に定義した点での波数ベクトルに対する条件を満たす周期であればよい。更に、基本格子は正方形であるが、各媒質の平面形状は正方形でなくてもよい。

【0033】また請求項11に記載された発明は、請求項10に記載された二次元フォトニック結晶面発光レーザにおいて、前記二次元フォトニック結晶は、等しい周期を持つ2つの一次元回折格子を周期方向が直交するように接合して成ることを特徴としている。

【0034】この構成によると、例えば一次元の所定期の溝を有して屈折率の異なる第1、第2媒質から成る第1、第2回折格子を接合し、第1、第2回折格子の溝が重なった部分の屈折率と、第1回折格子の溝と第2媒

質とが重なった部分の平均的な屈折率と、第2回折格子の溝と第1媒質とが重なった部分の平均的な屈折率と、第1媒質と第2媒質とが重なった部分の平均的な屈折率と、が互いに異なった二次元フォトニック結晶が形成される。

【0035】

【発明の実施の形態】以下に本発明の実施形態を図面を参照して説明する。説明の便宜上、従来例の図35と同一の部分については同一の符号を付している。図1は第1実施形態の二次元フォトニック結晶面発光レーザを示す斜視図である。二次元フォトニック結晶面発光レーザ1は、基板2上に下部クラッド層3、活性層4、上部クラッド層5が積層されている。下部クラッド層3中には活性層4の近傍に二次元フォトニック結晶10は内蔵されている。

【0036】二次元フォトニック結晶10は、例えばn型InPの半導体層に空孔を形成して構成され、屈折率の異なる媒質が二次元の所定周期で配列された正方格子から成っている。空孔内にはSiN等を充填してもよい。活性層4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成っており、キャリアの注入により発光する

【0037】下部クラッド層3は上記のように例えばn型InPの半導体から成り、上部クラッド層5は例えばp型InPの半導体から成っている。下部クラッド層3及び上部クラッド層5により活性層4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に集中させるようになっている。上部クラッド層5の上面及び基板2の底面には金等から成る電極6、7が形成されている。電極6、7間に電圧を印加することにより活性層4が発光するようになっている。

【0038】図2は二次元フォトニック結晶10を示す平面図である。二次元フォトニック結晶10は、第1媒質11内に空孔等の第2媒質12を直交する二方向に同じ周期(格子間隔a)で形成した正方格子から成っている。基本となる格子間隔aは、点での波数ベクトルに対する条件を満たす周期であれば何でもよいが、本実施形態では一般によく用いられる点第2群(図36、S部参照)に相当する格子間隔aと発振波長とが等しい場合を用いて説明する。

【0039】二次元フォトニック結晶10には、第2媒質12を頂点とし、同じ大きさの第2媒質12の最小周期(a)を一辺とする正方形から成る基本格子E1が形成されている。また、第2媒質12の垂直な2方向にそれぞれ2周期に1箇所の割合で、第3媒質13が所定の位置に設けられている。

【0040】前述したように、活性層4から漏れた光は二次元フォトニック結晶10に入射する。二次元フォトニック結晶10の格子間隔aが所定の長さのとき、光は

二次元フォトニック結晶10により共振して増幅される。これにより、二次元フォトニック結晶面発光レーザ1が面発光してコヒーレントな光を出射する。この時、第3媒質13を含む基本格子E1は、対角線C1、C2のいずれに対しても非対称な位置に第3媒質13が配置されている。

【0041】尚、基本格子は同一の媒質が頂点に配置された正方形の格子で周期的な最小のものを指し、周期構造の最小単位である所謂単位格子とは異なる。従って、第3媒質13を頂点として、格子E2を基本格子とみなすこともできる。このように捉えても2つの対角線のいずれに対しても非対称な位置に第2媒質12が配されている。

【0042】このような構成の二次元フォトニック結晶10の点付近のバンド図を図3に示す。同図は、波長と格子間隔aとが一致する第2群(S部:図36参照)について示している。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)を示しており、aは格子間隔(単位:m)を示している。横軸は、光の波数ベクトルを示している。

【0043】同図によると、二次元フォトニック結晶10は媒質の屈折率や大きさ等を適切に選択することによって点第2群において4つの異なる共振周波数とそれぞれの共振周波数に応じた4つの異なる共振モードを有する。即ち、CモードとDモードとが異なる共振周波数を有し、図37で示した従来の二次元フォトニック結晶と異なり、モードの縮退がとかれている。

【0044】尚、基本格子E1のいずれか一方の対角線に対して非対称な屈折率分布を有していれば二次元フォトニック結晶のモードの縮退をとくことができる。例えば、図2において基本格子E1内の第3媒質13aに替えて第3媒質13bを一方の対角線C2上に配置してもよい。

【0045】図4~図7は二次元フォトニック結晶10がAモード、Bモード、Cモード、Dモードの共振状態を採っている時の電界分布、即ち、レーザ発振時の近視野像を示す図である。矢印は電界の方向及び大きさを示している。これらの図に示すように、各モードで電界の向きが一定になっている。即ち、偏光方向が一定になっている。

【0046】従って、図8にAモード及びDモードの遠視野の電界分布を示し、図9にBモード及びCモードの遠視野の電界分布を示すように、出射される光の偏光方向(電界の方向)が一定の二次元フォトニック結晶面発光レーザ1を得ることができる。

【0047】尚、A、Bモードでは、発光領域の中心部分で電界が打ち消し合う。その結果、発光領域の電極7で覆われた中心部分は非発光領域になっている。このため、周辺部のみが明るく中心部が暗いドーナツ状に発光

する。これに対して、C、Dモードでは、電界の打ち消しあいがなく、発光領域の全面から均一に発光する。従って、A、Bモードで使用する二次元フォトニック結晶面発光レーザよりもC、Dモードで使用する二次元フォトニック結晶面発光レーザの方がより望ましい。

【0048】また、第3媒質13は第1媒質11と異なる屈折率を有しているが、第2媒質12とは同じ屈折率であってもよい。また、第3媒質13は対角線C1、C2のいずれかに対して非対称であればどの位置に配置してもモードの縮退をとくことができる。例えばランダムな位置に配置してもよいが、以下に説明するような位置に配置するとより望ましい。

【0049】図10は、基本格子E1内に第3媒質13を配置した際に、光がフォトニック結晶の存在を感じる度合いを等高線で示した図である。斜線部が効果の大きい部分を示している。これによると、基本格子E1の各辺または、各辺の垂直二等分線上に第3媒質13を配置するとフォトニック結晶の存在を感じる度合いが最も大きく効果が高い。また、基本格子E1の各辺または各辺の垂直二等分線から $0.1a (= a/10)$ の幅の範囲内であれば充分大きな効果を得ることができる。

【0050】図11は、基本格子E1内に第3媒質13を配置した際に、第3媒質13によって各モードの周波数の差を大きくする効果を等高線で示した図である。斜線部が効果の大きい部分を示している。これによると、基本格子E1の隣接する二辺の方向をX軸、Y軸とし、一の第2媒質12の位置を原点としたときに、X、Y座標が、 $(na/4, ma/4)$ ($n=0, 2, 4, m=1, 3$) または $(na/4, ma/4)$ ($n=1, 3, m=0, 2, 4$) の点に配置すると各モードの周波数の差を大きくする効果が最も大きい。また、これらの点から半径 $0.1a (= a/10)$ の範囲内であれば充分大きな効果を得ることができる。

【0051】例えば、X、Y座標が $(0, a/4)$ 、 $(0, 3a/4)$ 、 $(a/4, a/2)$ の位置に第3媒質を配置すると、光はフォトニック結晶の存在を充分強く感じ、フォトニック結晶の効果が強く出る上、各モードの周波数の差を大きくとることができる。

【0052】また、図12の第2実施形態に示すように、第3媒質13を直交する2方向の1周期毎に設けてもよい。この場合、基本格子を格子E3と捉えても2つの対角線に対して非対称になっている。図13の第3実施形態に示すように、第2媒質12が周期的に配列された基本格子E1'の対角でない2箇所を第3媒質13に置換してもよい。その結果、基本格子E1は元の基本格子E1'に対して一辺の長さが変わり、対角線に対して非対称になる。また、第3媒質13を頂点とする格子E5を基本格子として捉えても同じである。

【0053】第1～第3実施形態において、第3媒質13を第2媒質12の短い周期毎に設ける方が長い周期毎

に設ける場合よりも縮退をとく効果が大きく各共振周波数の差を大きくすることができる。これにより、使用する共振モードを容易に選択することができる。また、第3媒質13の大きさが大きい方が小さい場合よりも縮退をとく効果を大きくすることができる。

【0054】尚、図14～図17は基本格子の2つの対角線の何れに対しても屈折率の分布が対称である。図14に示すように、基本格子E1の対角線の midpoint に第3媒質13を設けた場合は、基本格子E1の両方の対角線に対して屈折率分布が対称となるため出射光の偏光方向を一定にすることができない。この時、基本格子を第3媒質13を頂点とする格子E6と捉えても同じである。

【0055】図15に示すように、基本格子E1の2周期毎に対角線の midpoint に第3媒質13を設けた場合も同様に基本格子E1の両方の対角線に対して屈折率分布が対称となる。基本格子を格子E7、E8と捉えても同じである。尚、格子E20は第2媒質12を頂点としているが、一辺が第2媒質12の最小の周期ではないため基本格子と捉えることはできない。

【0056】図16に示すように、第2媒質12が周期的に配列された基本格子E1'の1箇所を2周期毎に第3媒質13に置き換えた場合も同様に、新たな基本格子E1の両方の対角線に対して屈折率分布が対称となる。基本格子を格子E10と捉えても同じである。

【0057】図17に示すように、第2媒質12が周期的に配列された基本格子E1'の1箇所を2周期毎に大きさが異なる同じ材質の第3媒質13に置き換えた場合も同様に、新たな基本格子E1の両方の対角線に対して屈折率分布が対称となる。基本格子を格子E9と捉えても同じである。尚、格子21は同じ材質の第2、第3媒質12、13を頂点としているが、大きさが異なるため基本格子と捉えることはできない。

【0058】図18は第4実施形態の二次元フォトニック結晶面発光レーザに搭載される二次元フォトニック結晶を示す平面図である。本実施形態の二次元フォトニック結晶20は、第1媒質11内に断面楕円形の第2媒質12が直交する二方向に同じ周期で配列されている。その他の構成は第1実施形態と同一である。

【0059】本実施形態において、第1媒質11と第2媒質12との屈折率が異なるため、第2媒質12を頂点とした正方形から成る基本格子E1の2つの対角線C1、C2のいずれに対しても屈折率分布が非対称になっている。

【0060】このような構成の二次元フォトニック結晶20の第2群(S部：図36参照)のバンド図を図19に示す。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を示し、横軸は光の波数ベクトルを示している。二次元フォトニック結晶20は媒質の屈折率や大きさ等を適切に選択することによって点第2群において4つの異なる共振周波数とそれぞれの共振周波数に

応じた4つの異なる共振モードを有する。即ち、CモードとDモードとが異なる共振周波数を有しており、二次元フォトニック結晶20のモードの縮退がとかれている。

【0061】図20～図23は二次元フォトニック結晶20がそれぞれAモード、Bモード、Cモード、Dモードの共振状態を採っている時の電界分布、即ちレーザ発振時の近視野像を示す図である。矢印は電界の方向及び大きさを示している。これらの図に示すように、各モードで電界の向きが一定になっている。即ち、偏光方向が一定になっている。従って、出射される光の偏光方向（電界の方向）が一定の二次元フォトニック結晶面発光レーザ1を得ることができる。

【0062】また、図24の第5実施形態に示すように、断面形状が楕円形の第2媒質12を周期方向に対して傾斜して配置してもよい。更に、図25の第6実施形態に示すように、第2媒質12の断面形状を長方形にしても同様の効果を得ることができる。

【0063】図26は第7実施形態の二次元フォトニック結晶面発光レーザを示す分解斜視図である。説明の便宜上、前述の図1に示す第1実施形態と同様の部分には同一の符号を付している。二次元フォトニック結晶面発光レーザ9は、基板2上に下部クラッド層8、3、活性層4、上部クラッド層5が積層されている。これらは第1実施形態と同様の材質により同様に形成されており、下部クラッド層3、8は同じ材料でもよい異なる材料でもよい。基板2の底面及び上部クラッド層5の上面上には金等から成る電極6、7が形成されている。

【0064】下部クラッド層8の上面及び下部クラッド層3の下面には、それぞれ一次元の同じ周期で形成された溝から成る一次元回折格子8a、3aが設けられている。一次元回折格子8a、3aは周期方向が互いに直交するように接合されている。これにより、二次元の周期構造を有する二次元フォトニック結晶30が形成されている。

【0065】図27は二次元フォトニック結晶30を示す平面図である。一次元回折格子8a、3aは、それぞれ溝部8b、3b及び陸部8c、3cを有している。溝部8bと溝部3bとが重なったF1部は空気と同じ屈折率を有している。陸部8cと溝部3bとが重なったF2部は下部クラッド層8の屈折率と空気の屈折率との平均的な屈折率を有している。溝部8bと陸部3cとが重なったF3部は下部クラッド層3の屈折率と空気の屈折率との平均的な屈折率を有している。陸部8cと陸部3cとが重なったF4部は下部クラッド層8の屈折率と下部クラッド層3の屈折率との平均的な屈折率を有している。

【0066】また、活性層4から一次元回折格子3aまでの距離が一次元回折格子8aまでの距離よりも短いため、一次元回折格子3aに到達する光の強度は一次元回

折格子8aに到達する光の強度よりも大きい。このため、F3部の平均的な屈折率は空気の屈折率よりも下部クラッド層3の屈折率の影響が大きくなり、F2部の平均的な屈折率は下部クラッド層8の屈折率よりも空気の屈折率の影響が大きい。従って、下部クラッド層8と下部クラッド層3とが同じ屈折率であってもF2部とF3部とは異なる屈折率を有している。

【0067】その結果、図28に示すように、二次元フォトニック結晶30は異なる屈折率で断面形状が矩形の第1、第2、第3、第4媒質31、32、33、34が市松模様状に密接して配列されている。これにより、例えば第1媒質31が直交する2方向に周期的に配列され、二次元フォトニック結晶30は正方形から成っている。そして、第1媒質31を頂点とした正方形から成る基本格子E1は2つの対角線のいずれに対しても非対称な屈折率分布になっている。

【0068】二次元フォトニック結晶30の第2群（図36のS部参照）のバンド図を図29に示す。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を示し、横軸は光の波数ベクトルを示している。二次元フォトニック結晶30は、媒質の屈折率や大きさ等を適切に選択することによって、点第2群において4つの異なる共振周波数とそれぞれの共振周波数に応じた4つの異なる共振モードを有する。即ち、CモードとDモードとが異なる共振周波数を有しており、二次元フォトニック結晶30のモードの縮退がとかれている。

【0069】図30～図33はそれぞれ二次元フォトニック結晶30がAモード、Bモード、Cモード、Dモードの共振状態を採っている時の電界分布、即ちレーザ発振時の近視野像を示す図である。矢印は電界の方向及び大きさを示している。これらの図に示すように、各モードで電界の向きが一定になっている。即ち、偏光方向が一定になっている。従って、出射される光の偏光方向（電界の方向）が一定の二次元フォトニック結晶面発光レーザ9を得ることができる。

【0070】尚、一次元回折格子8a、3aは周期が同じであればよく、デューティー比は同一でなくてもよい。また、本実施形態のように一次元回折格子を接合する場合だけでなく、前述の図28に示すように平面形状が矩形の異なる屈折率の媒質を密接し、一の媒質（例えば第1媒質31）に対して直交する二方向に隣接した2つの媒質（例えば第2、第3媒質32、33）を互いに異なる屈折率にすることにより、縮退をといった二次元フォトニック結晶を得ることができる。

【0071】この時、一の媒質の間隔は、波長と同じか、先に定義した点での波数ベクトルに対する条件を満たす周期であればよい。また、基本格子は正方形であるが、各媒質の平面形状は正方形でなくてもよい。更に、一の媒質（第1媒質31）に対して斜め方向に配される第4媒質34は、第1～第3媒質31～33のいず

れかと同じ屈折率であってもよい。

【0072】図34は第1～第7実施形態の活性層4の利得の周波数特性を示している。縦軸は活性層の利得を示しており、横軸は周波数を示している。同図に示すように、活性層4は周波数に対して異なる利得を有している。従って、第1～第7実施形態において、活性層4の利得の極大値となる周波数で共振するように二次元フォトリソニック結晶の媒質の屈折率、媒質の大きさ、格子間隔等を選択することにより、二次元フォトリソニック結晶面発光レーザから効率良く光を出射して省電力化を図ることができる。また、モード間の周波数差を大きくすれば、使用する共振モードの選択性がよくなる。

【0073】

【発明の効果】請求項1の発明によると、二次元フォトリソニック結晶は、基本格子が対角線に対して非対称な屈折率の分布を有するので、モードの縮退がとかれ、偏光方向が一定の偏光を出射する二次元フォトリソニック結晶面発光レーザを得ることができる。

【0074】また請求項2の発明によると、二次元フォトリソニック結晶のモードの縮退をとくことにより、偏光方向が一定の偏光を出射する二次元フォトリソニック結晶面発光レーザを得ることができる。

【0075】また請求項3の発明によると、活性層の利得の極大値をとる周波数と二次元フォトリソニック結晶が共振する周波数とを一致させているので、二次元フォトリソニック結晶面発光レーザから効率良く光を出射して省電力化を図ることができる。

【0076】また請求項4の発明によると、第1媒質中に配される第2媒質を頂点とする基本格子の2つの対角線に対して第3媒質を非対称に配することにより、簡単に非対称な屈折率分布を有する二次元フォトリソニック結晶を得ることができる。

【0077】また請求項5の発明によると、基本格子の一辺の長さを a とした時に、基本格子の一辺から幅 $0.1a$ の範囲または一辺の垂直二等分線から幅 $0.1a$ の範囲に第3媒質を配置することにより、光がフォトリソニック結晶を感じる度合いが向上して容易に縮退をとくことができる。

【0078】また請求項6の発明によると、基本格子の一辺の長さを a とし、一の第2媒質を原点に第1、第2方向を X 軸、 Y 軸とした時に、 X 、 Y 座標が $(na/4, ma/4)$ ($n=0, 2, 4, m=1, 3$) または $(na/4, ma/4)$ ($n=1, 3, m=0, 2, 4$) の点を中心とする半径 $0.1a$ の範囲に第3媒質を配置することにより、欠陥導入により縮退をとく効果を向上させることができる。

【0079】また請求項7の発明によると、第2媒質と第3媒質とを異なる大きさにすることによって第2、第3媒質が同じ屈折率であっても容易に非対称な屈折率分布を形成することができる。

【0080】また請求項8の発明によると、第2媒質と第3媒質とを同じ材質により形成することによって、第2、第3媒質を同時に形成することができ、より簡単に非対称な屈折率分布を形成することができる。

【0081】また請求項9の発明によると、第1媒質中に配される第2媒質を頂点とする基本格子の2つの対角線に対して第2媒質の平面形状を非対称にすることにより、簡単に非対称な屈折率分布を有する二次元フォトリソニック結晶を得ることができる。

10 【0082】また請求項10の発明によると、平面形状が矩形の媒質を密接して市松模様状に配列して一の媒質に対して直交する2方向に隣接する2つの媒質の屈折率が異なるようにすることによって、簡単に非対称な屈折率分布を有する二次元フォトリソニック結晶を得ることができる。

【0083】また請求項11の発明によると、2つの一次元回折格子を周期方向が直交するように接合することによって、市松模様状に配列された二次元フォトリソニック結晶を容易に得ることができる。

20 【図面の簡単な説明】

【図1】 本発明の第1実施形態の二次元フォトリソニック結晶面発光レーザを示す分解斜視図である。

【図2】 本発明の第1実施形態の二次元フォトリソニック結晶を示す平面図である。

【図3】 本発明の第1実施形態の二次元フォトリソニック結晶の第2群のバンド図である。

【図4】 本発明の第1実施形態の二次元フォトリソニック結晶のAモードの近視野の電界分布を示す図である。

30 【図5】 本発明の第1実施形態の二次元フォトリソニック結晶のBモードの近視野の電界分布を示す図である。

【図6】 本発明の第1実施形態の二次元フォトリソニック結晶のCモードの近視野の電界分布を示す図である。

【図7】 本発明の第1実施形態の二次元フォトリソニック結晶のDモードの近視野の電界分布を示す図である。

【図8】 本発明の第1実施形態の二次元フォトリソニック結晶のA、Dモードの遠視野の電界分布を示す図である。

40 【図9】 本発明の第1実施形態の二次元フォトリソニック結晶のB、Cモードの遠視野の電界分布を示す図である。

【図10】 本発明の第1実施形態の二次元フォトリソニック結晶の欠陥の位置による回折効果を示す図である。

【図11】 本発明の第1実施形態の二次元フォトリソニック結晶の欠陥の位置による電界方向を揃える効果を示す図である。

【図12】 本発明の第2実施形態の二次元フォトリソニック結晶を示す平面図である。

【図13】 本発明の第3実施形態の二次元フォトリソニック結晶を示す平面図である。

50 【図14】 二次元フォトリソニック結晶の欠陥の位置によ

る対称性を説明する平面図である。

【図 15】 二次元フォトニック結晶の欠陥の配置による対称性を説明する平面図である。

【図 16】 二次元フォトニック結晶の欠陥の配置による対称性を説明する平面図である。

【図 17】 二次元フォトニック結晶の欠陥の配置による対称性を説明する平面図である。

【図 18】 本発明の第 4 実施形態の二次元フォトニック結晶を示す平面図である。

【図 19】 本発明の第 4 実施形態の二次元フォトニック結晶の第 2 群のバンド図である。

【図 20】 本発明の第 4 実施形態の二次元フォトニック結晶の A モードの近視野の電界分布を示す図である。

【図 21】 本発明の第 4 実施形態の二次元フォトニック結晶の B モードの近視野の電界分布を示す図である。

【図 22】 本発明の第 4 実施形態の二次元フォトニック結晶の C モードの近視野の電界分布を示す図である。

【図 23】 本発明の第 4 実施形態の二次元フォトニック結晶の D モードの近視野の電界分布を示す図である。

【図 24】 本発明の第 5 実施形態の二次元フォトニック結晶を示す平面図である。

【図 25】 本発明の第 6 実施形態の二次元フォトニック結晶を示す平面図である。

【図 26】 本発明の第 7 実施形態の二次元フォトニック結晶面発光レーザを示す分解斜視図である。

【図 27】 本発明の第 7 実施形態の二次元フォトニック結晶を示す平面図である。

【図 28】 本発明の第 7 実施形態の二次元フォトニック結晶を示す平面図である。

【図 29】 本発明の第 7 実施形態の二次元フォトニック結晶の第 2 群のバンド図である。

【図 30】 本発明の第 7 実施形態の二次元フォトニック結晶の A モードの近視野の電界分布を示す図である。

【図 31】 本発明の第 7 実施形態の二次元フォトニック結晶の B モードの近視野の電界分布を示す図である。

【図 32】 本発明の第 7 実施形態の二次元フォトニック結晶の C モードの近視野の電界分布を示す図である。

【図 33】 本発明の第 7 実施形態の二次元フォトニック結晶の D モードの近視野の電界分布を示す図である。

【図 34】 活性層により発光する光の周波数に対する利得を示す図である。

【図 35】 従来の二次元フォトニック結晶を示す平面図である。

【図 36】 従来の二次元フォトニック結晶のバンド図である。

【図 37】 従来の二次元フォトニック結晶の第 2 群のバンド図である。

【図 38】 従来の二次元フォトニック結晶の A モードの近視野の電界分布を示す図である。

【図 39】 従来の二次元フォトニック結晶の B モードの近視野の電界分布を示す図である。

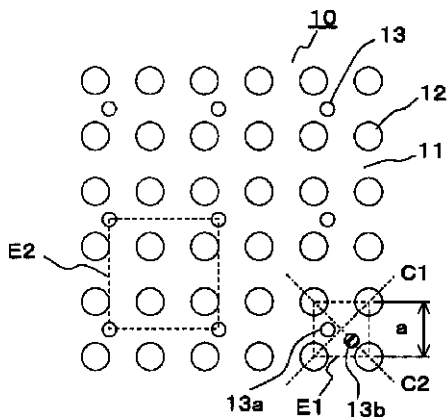
【図 40】 従来の二次元フォトニック結晶の A モードの遠視野の電界分布を示す図である。

【図 41】 従来の二次元フォトニック結晶の B モードの遠視野の電界分布を示す図である。

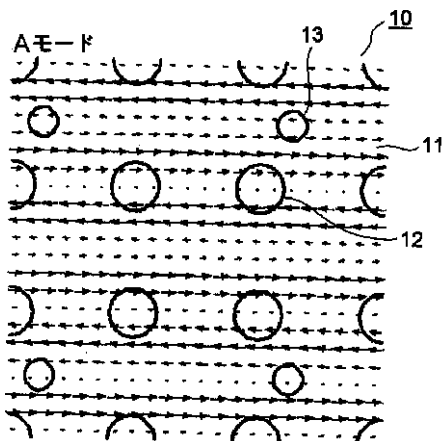
【符号の説明】

- 1、9 二次元フォトニック結晶面発光レーザ
- 2 基板
- 3、8 下部クラッド層
- 3 a、8 a 一次元回折格子
- 4 活性層
- 5 上部クラッド層
- 6、7 電極
- 10、20、30、40 二次元フォトニック結晶
- 11、31 第 1 媒質
- 12、32 第 2 媒質
- 13、33 第 3 媒質
- 34 第 4 媒質
- E1 基本格子

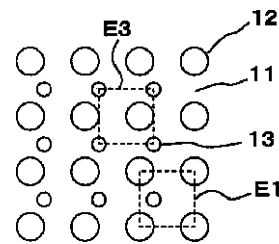
【図 2】



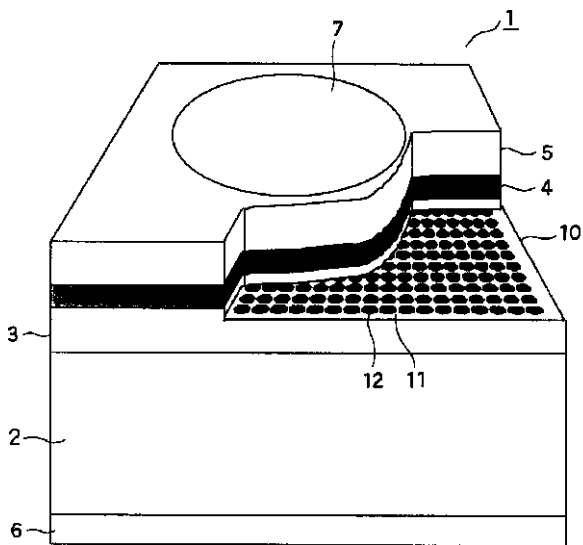
【図 4】



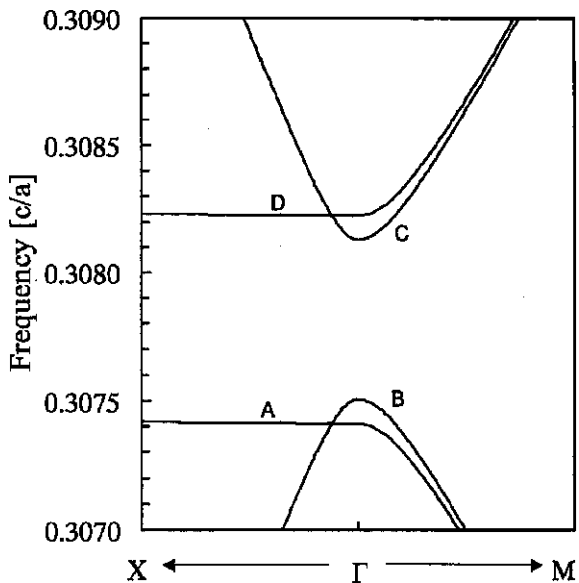
【図 12】



【図 1】



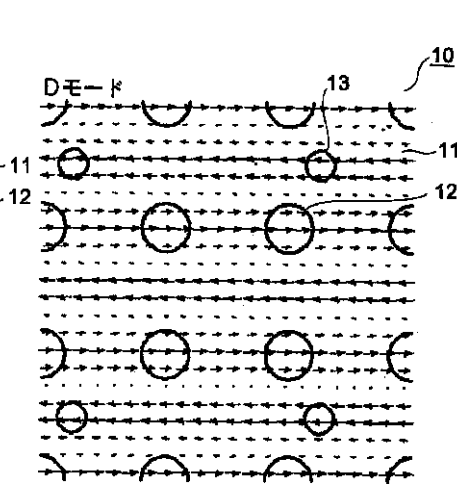
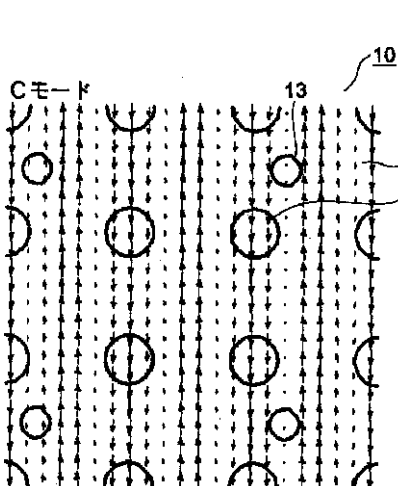
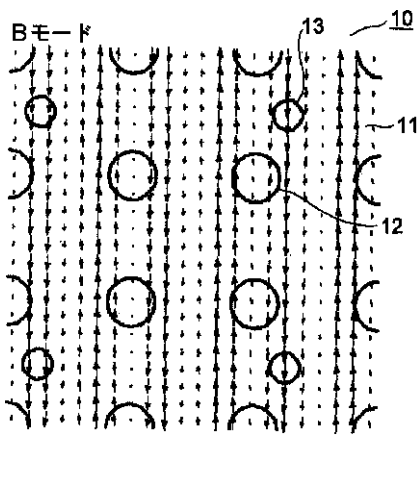
【図 3】



【図 5】

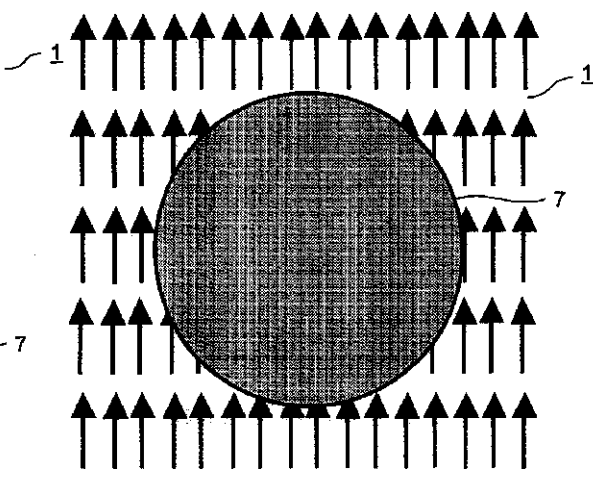
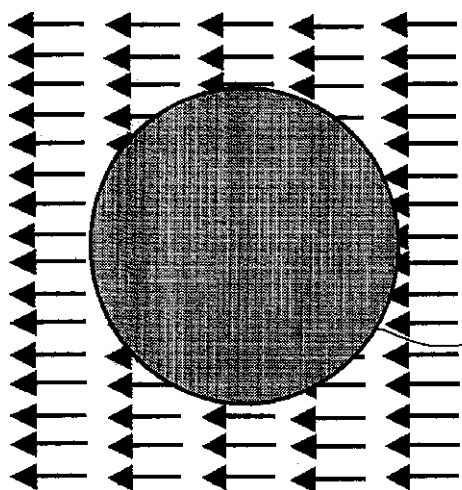
【図 6】

【図 7】

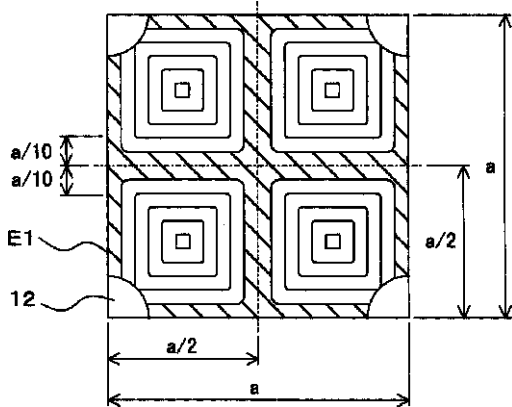


【図 8】

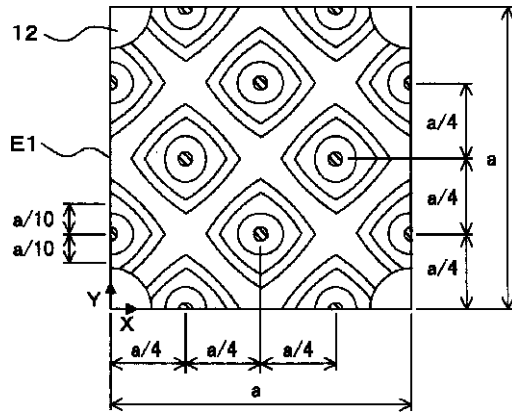
【図 9】



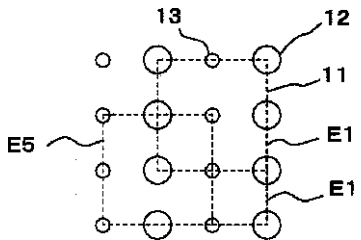
【図10】



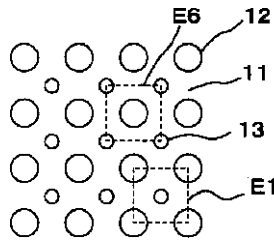
【図11】



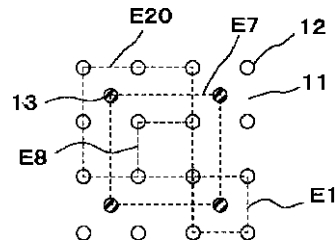
【図13】



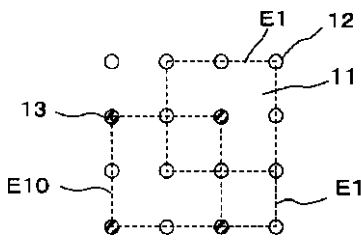
【図14】



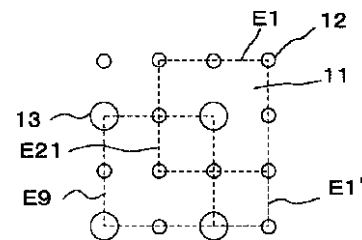
【図15】



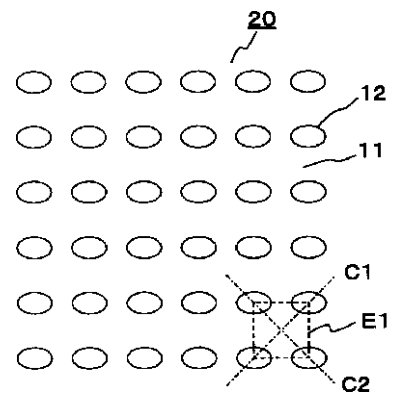
【図16】



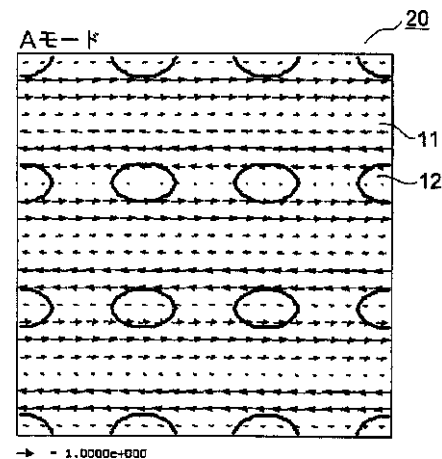
【図17】



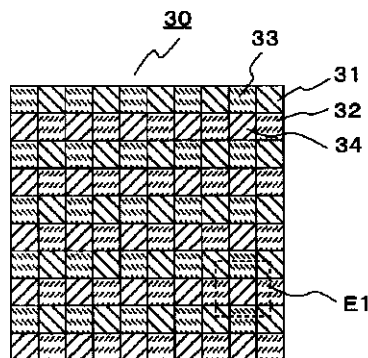
【図18】



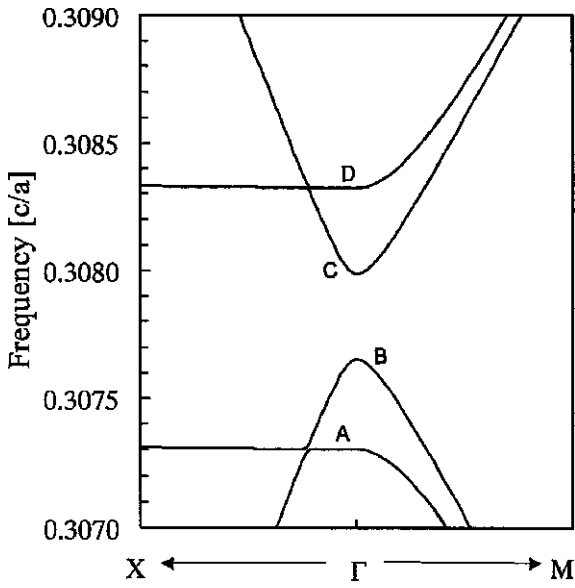
【図20】



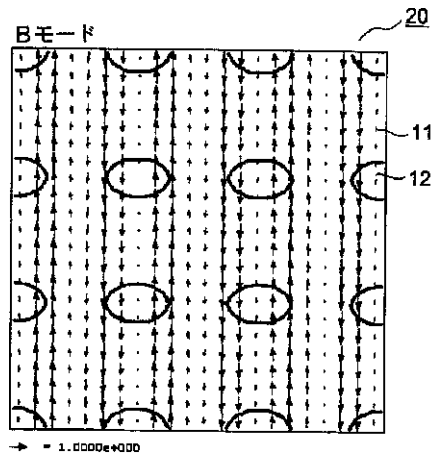
【図28】



【図19】



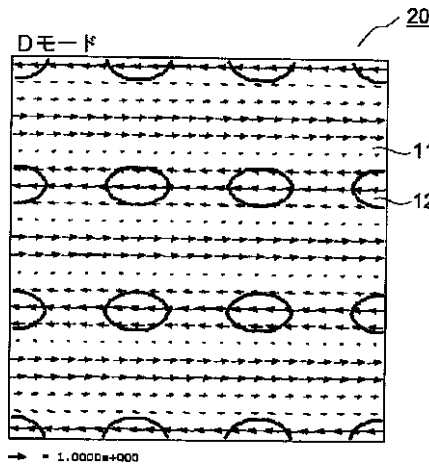
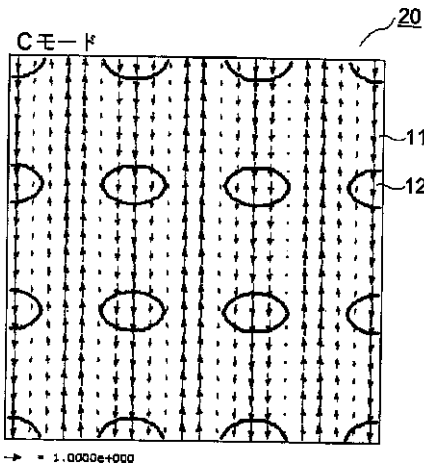
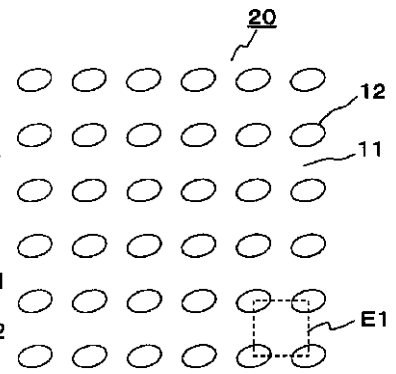
【図21】



【図24】

【図22】

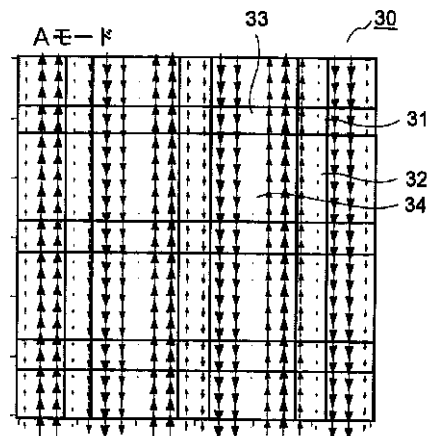
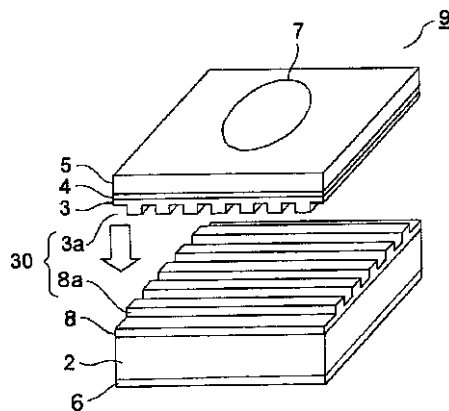
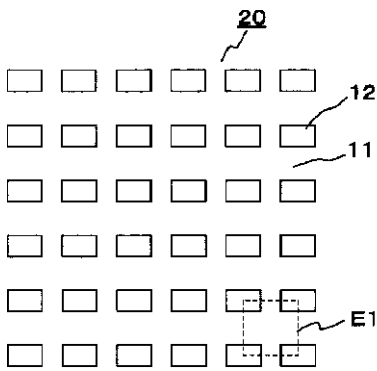
【図23】



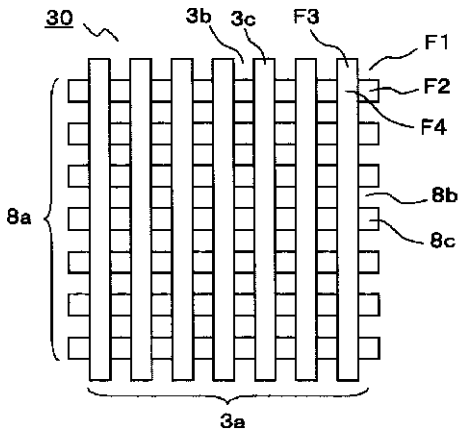
【図25】

【図26】

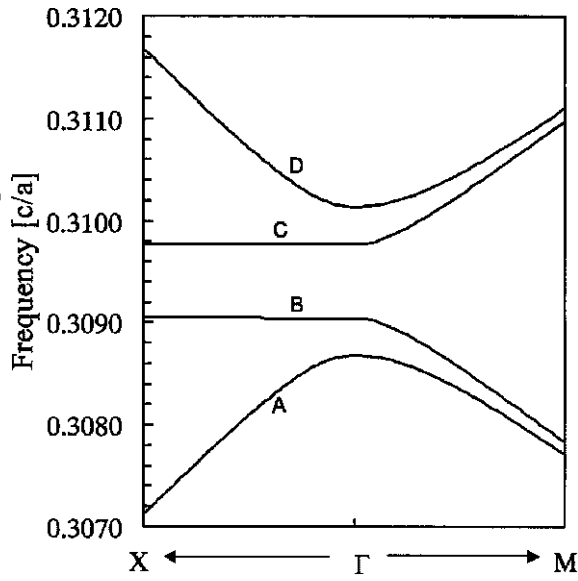
【図30】



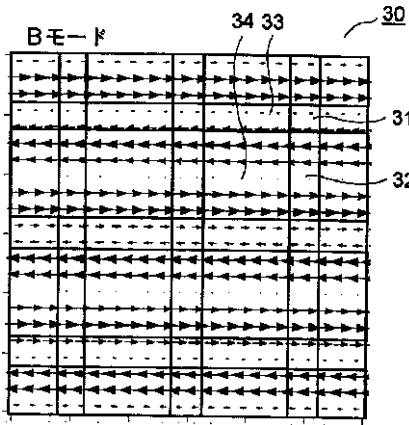
【図 27】



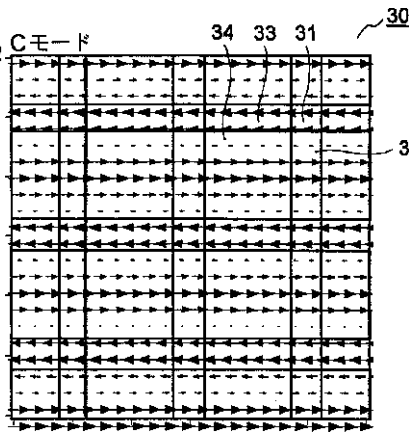
【図 29】



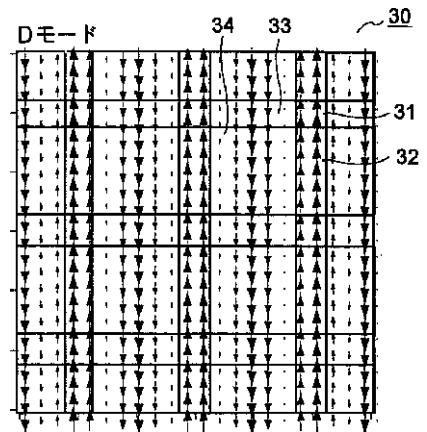
【図 31】



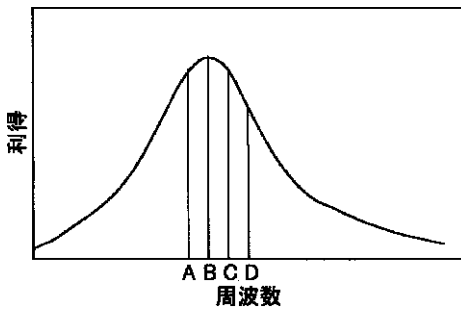
【図 32】



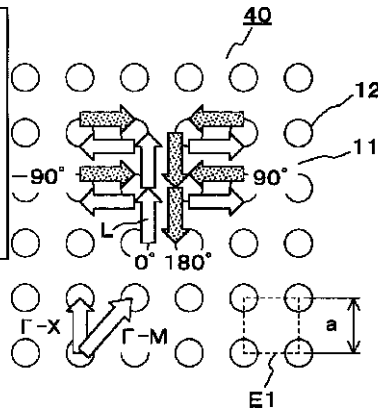
【図 33】



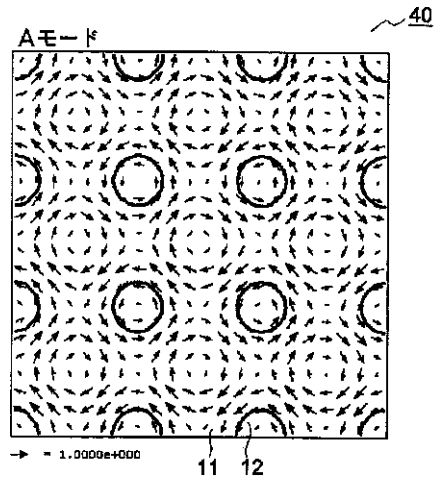
【図 34】



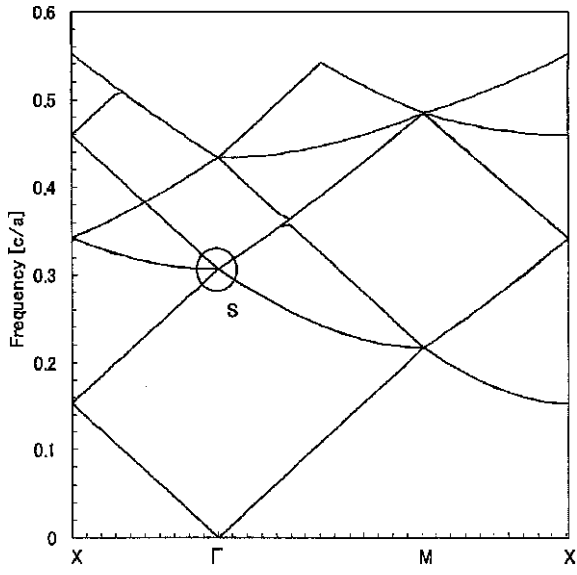
【図 35】



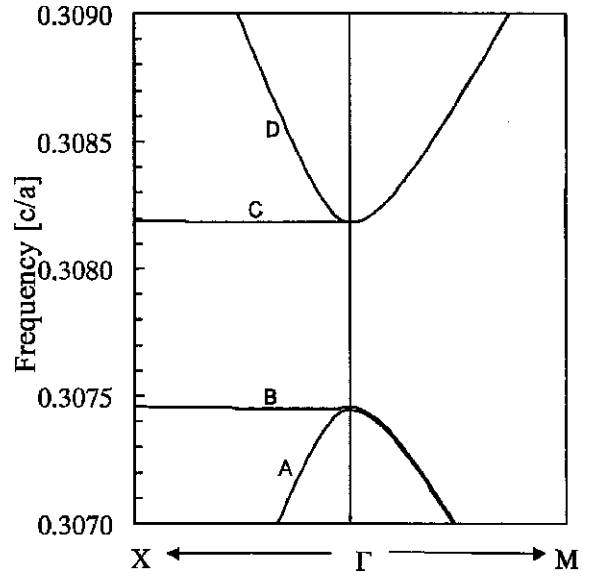
【図 38】



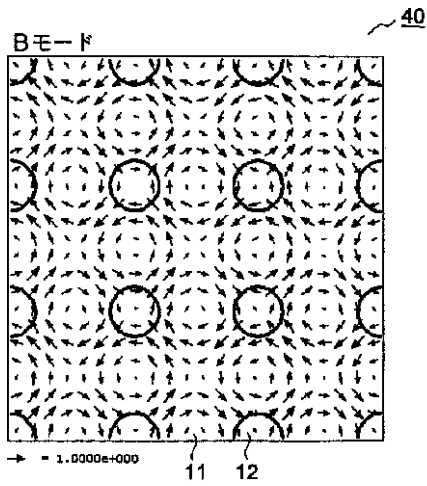
【図 36】



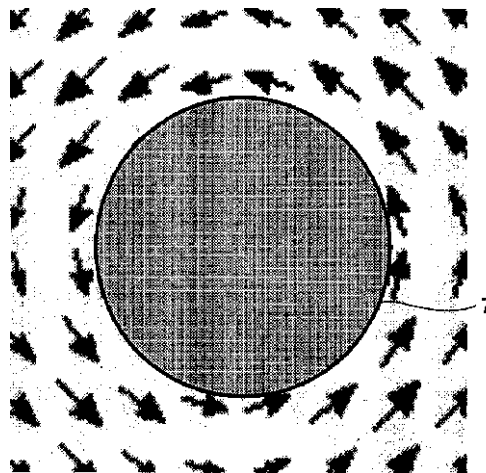
【図 37】



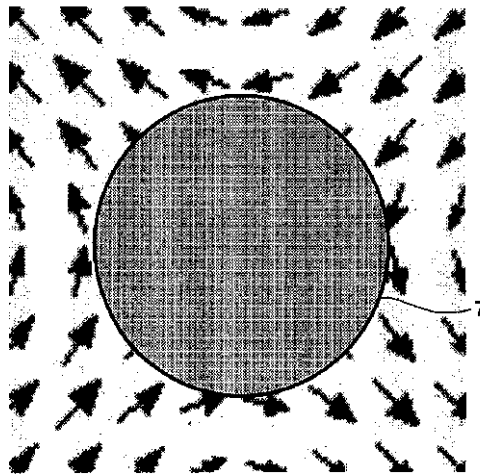
【図 39】



【図 40】



【図41】



フロントページの続き

(72)発明者 横山 光
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 波多野 卓史
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
Fターム(参考) 5F072 AB13 AK10 JJ20 KK07
5F073 AA89 AB20 CA02 EA22