

(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2004-46181
(P2004-46181A)

(43) 公開日 平成16年2月12日(2004.2.12)

(51) Int.Cl.⁷

G02B 6/12

F 1

G02B 6/12
G02B 6/12

テーマコード(参考)

Z

2 H 04 7
N

審査請求 未請求 請求項の数 1 O L (全 17 頁)

(21) 出願番号 特願2003-189235 (P2003-189235)
 (22) 出願日 平成15年7月1日 (2003.7.1)
 (31) 優先権主張番号 10/192300
 (32) 優先日 平成14年7月10日 (2002.7.10)
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(71) 出願人 399117121
 アジレント・テクノロジーズ・インク
 A G I L E N T T E C H N O L O G I E
 S, I N C.
 アメリカ合衆国カリフォルニア州パロアル
 ト ページ・ミル・ロード 395
 395 Page Mill Road
 Palo Alto, California
 U. S. A.
 (74) 代理人 100075513
 弁理士 後藤 政喜
 (74) 代理人 100084537
 弁理士 松田 嘉夫

最終頁に続く

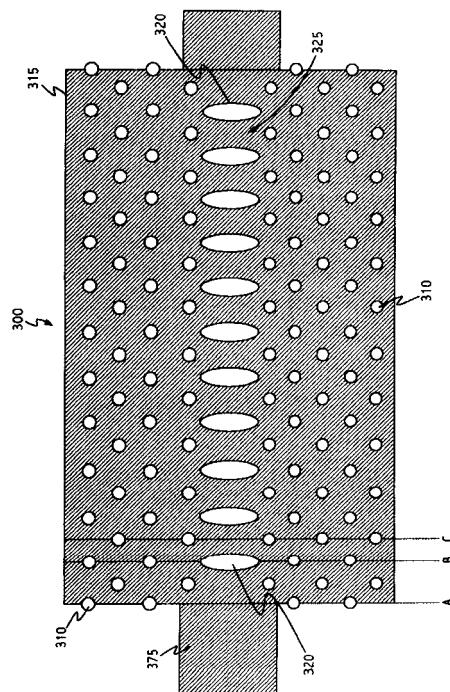
(54) 【発明の名称】スラブ型二次元フォトニック結晶デバイス

(57) 【要約】

【課題】フォトニック結晶の導波路において広い導波バ
 ンドを生成する。

【解決手段】本発明の実施例のスラブ型二次元フォトニ
 ック結晶デバイス(300)は、一の格子定数を有する
 、実質的に円形の孔(310)の二次元周期格子、を備
 えたスラブ型フォトニック結晶(315)と；前記実質
 的に円形の孔に物理的に接触しないサイズ及び配列の実
 質的に非円形の断面を備えた孔(320)を有し、前記
 二次元周期格子内における導波路を定義する欠陥からな
 る実質的に直線状の列とを有する。

【選択図】図3



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

一の格子定数を有する、実質的に円形の孔の二次元周期格子、を備えたスラブ型フォトニック結晶と；

前記実質的に円形の孔に物理的に接触しないサイズ及び配列の実質的に非円形の断面を備えた孔を有し、前記二次元周期格子内における導波路を定義する欠陥からなる実質的に直線状の列と；

を有することを特徴とするスラブ型二次元フォトニック結晶デバイス。

【発明の詳細な説明】**【0001】**

10

【発明の属する技術分野】

本発明はフォトニック結晶の分野に関し、更に詳しくは二次元フォトニック結晶デバイスに関する。

【0002】

20

【従来の技術】

フォトニック結晶（P C）は、特定の周波数範囲内の光の伝播を妨げることができる周期的な誘電性構造体である。フォトニック結晶は空間的に周期的变化をする屈折率を備えており、屈折率のコントラストが十分大きいと該構造体の光学スペクトル内にフォトニックバンドギャップを開くことができる。「フォトニックバンドギャップ」とは、フォトニック結晶を通る光の伝播が妨げられる周波数範囲のことである。三次元の空間的な周期性を備えるフォトニック結晶の場合、当該結晶のフォトニックバンドギャップ内にある周波数の光のあらゆる方向の伝播を妨げることができる。しかしながら、このような構造体の製造は技術的に困難である。これに代わる魅力的な選択肢は、面内で伝播のバンドギャップを備え、第3の次元では屈折率閉じ込めを用いる、有限な高さを有する二次元の周期的誘電性構造体であるスラブ型フォトニック結晶を利用することである。スラブ型二次元フォトニック結晶には、製造の容易性に加え、標準的な半導体プロセスのブレーナ技術を利用して製造できるという利点も存在している。

【0003】

30

二次元では周期性を有し第3の次元では均質な二次元フォトニック結晶構造体の一例は、高さ方向で延伸すると共に面方向に周期性を有する空気充填円柱の周期格子を備えるバルク素材から製造することができる。二次元フォトニック結晶内での光の伝播は、円柱の半径、格子の間隔、格子の対称性、及びバルク及び柱素材の屈折率を含むいくつかのパラメータによって決定される。

【0004】

40

フォトニック結晶の周期的構造体に欠陥を設ければ、その欠陥の場所に捕獲されると共に周囲フォトニック結晶素材のバンドギャップ内の共振周波数を備える局在電磁状態の存在が許される。フォトニック結晶内にこのような欠陥の列を設けることにより、光の制御と導波に使用できる導波路構造が生成される（例えば、非特許文献1を参照されたい）。フォトニック結晶内で伝播が妨げられる所与の周波数の光が、この欠陥領域内を伝播することができる。

【0005】

スラブ型二次元フォトニック結晶導波路は、通常、スラブ本体内に埋め込まれた誘電性棒又は空気孔の配列の形態を有する二次元周期格子を有している。高導波効率は、漏れモードの存在しない（誘電性棒又は空気孔のそれぞれに対しての）導波路バンドの上端又は下端に近い狭い周波数領域においてのみ実現可能であり、通常、高導波効率は、導波路バンドの中心周波数の数%に過ぎない狭い周波数領域においてのみ実現される。従来の構成には、許容導波路バンドにおける低群速度の問題が存在しており、低群速度は、好ましくない不規則性や吸収現象を増大させる（非特許文献2及び非特許文献3を参照されたい）。

【0006】

図1は、従来技術によるスラブ型二次元フォトニック結晶デバイス100のXY平面図を

50

示している。スラブ型フォトニック結晶 115 は、格子間隔 a を有する周期三角格子を形成するべく配列された円形孔 110 を備えており、これらの円形孔 110 には空気が充填されている。そして、格子の円形孔 110 を大きな円形孔 120 で置き換えることにより、X 方向の列に沿って欠陥領域 125 が設けられており、リッジ導波路 175 からスラブ型フォトニック結晶デバイス 100 内に光が結合される（スラブ型フォトニック結晶デバイス 100 は、図 1 の線 A'、線 B'、又は線 C' にその端部を有することができる）。

【0007】

【非特許文献 1】

ジャー・ディー・ジョアノボウラス (J. D. Joannopoulos)、他 2 名著、「フォトニック結晶 (Photonic Crystals)」、(米国)、ニュージャージー州プリンストン (Princeton, NJ) プリンストン大学出版 (Princeton University Press)、1995 年 10

【非特許文献 2】

エス・ジー・ジョンソン (S. G. Johnson)、他 4 名、「フォトニック結晶スラブにおける導波モード (Guided Modes in Photonic Crystal Slabs)」、フィジカルレビュー・ビー (Physical Review B)」、1999 年 8 月 15 日、第 60 卷、第 8 号、p. 5751 - 5758

【非特許文献 3】

エス・ジー・ジョンソン (S. G. Johnson)、他 3 名、「フォトニック結晶スラブにおける線型導波路 (Linear Waveguides in Photonic Crystal Slabs)」、フィジカルレビュー・ビー (Physical Review B)」、2000 年 9 月 15 日、第 62 卷、第 12 号、p. 8212 - 8221 20

【特許文献 1】

米国特許出願公開第 2002/0048422 号

【0008】

【発明が解決しようとする課題】

図 2 は、スラブ型二次元結晶デバイス 100 の透過係数を周波数（分数 c/a で表している）の関数として示している。ここで、 c は光の速度であって、 a は格子間隔であり、円形孔 120 の半径は約 0.45a であり、円形孔 110 の半径は約 0.3a である。曲線 210 は、バンドギャップにおいて低透過率を備え、許容バンドにおいて高透過率を備える導波していないケースを表している。曲線 201 は、リッジ導波路 175 が図 1 の線 A' で定義される端部においてスラブ型フォトニック結晶 115 に装着されたケースを表しており、曲線 202 は、リッジ導波路 175 が図 1 の線 B' で定義される端部においてスラブ型フォトニック結晶 115 に接続されたケースを表している。そして、曲線 203 は、リッジ導波路 175 が図 1 の線 C' で定義される端部においてスラブ型フォトニック結晶 115 に接続されたケースを表している。曲線 203 の透過率は約 0.253c/a の周波数で最大値を示しており、導波路バンドは狭い。円形孔 120 の半径を 0.5a に拡大すると、円形孔 120 が接触して重なり始め、この結果、2 次元結晶スラブ 100 の平均誘電率の低下によって光波の閉じ込め効果が減少し、スラブ型二次元結晶デバイス 100 の透過特性は急激に悪化する。 30 40

【0009】

【課題を解決するための手段】

本発明によれば、スラブ型フォトニック結晶の導波方向における欠陥として橢円形孔や長方形孔などの非円形孔を使用し、導波路バンドの中心周波数の 10 % を超える範囲をカバーする広い導波バンドを生成する。これらの橢円形又は長方形の孔により、スラブ型フォトニック結晶内の欠陥列が形成されている。バンドがフラットになる導波路バンドの端部において低群速度が発生するため、高群速度を有する広い周波数範囲が存在している。橢円形及び長方形の孔により、円形孔と比べて格段に広い導波路バンド幅と高群速度が提供される。広範囲な橢円形及び長方形の形状で 10 % を超える導波バンド幅が実現されてい 50

る。動作周波数範囲が広いため、実用的な導波路における許容製造公差が大きくなり、スタブチューナー、アッド・ドロップフィルタ、曲げ導波路、及び分岐器を追加する際に許容される設計上の柔軟性も大きくなる。更には、高群速度により、導波路の伝播損失も軽減される。

【0010】

【発明の実施の形態】

図3は、本発明による実施例の体表的なスラブ型二次元フォトニック結晶デバイス300のX Y平面図を示している。スラブ型フォトニック結晶315は、周期三角格子を形成するべく配列された円形孔310を備えている。周期ハニカム格子も使用可能である。これらの円形孔310は、スラブ型フォトニック結晶315を貫通してエッチングされており、通常、空気などの低誘電率素材が充填されている。X Y平面内にバンドギャップを生成するには、通常、高誘電率コントラストが必要である。本発明によれば、例えば、X方向の列に沿って格子の円形孔310を楕円形孔320で置き換えることにより、欠陥領域325が作成され、これらの楕円形孔320には、通常、円形孔110と同一の誘電性素材が充填される。そして、図3の線A、線B、又は線Cにおいて端部を備えるスラブ型フォトニック結晶デバイス300内に、リッジ導波路375から光が結合される。

【0011】

図4は、スラブ型フォトニック結晶デバイス300のX Z断面図を示している。スラブ型フォトニック結晶315は、クラッド層422とクラッド層424間に挟持されている。通常、クラッド層422は、基板層410とスラブ型フォトニック結晶315の間に位置している(図2を参照されたい)。通常、スラブ型フォトニック結晶315は、シリコンやIIIV族半導体などの空気よりも誘電率が高い素材から形成されている。Z方向において屈折率閉じ込めを行うために、クラッド層422及び424は、通常、SiO₂又はスラブ型フォトニック結晶315の素材よりも誘電率が低いその他の素材である。尚、基板層410は、通常、機械的な支持を提供するべくスラブ型フォトニック結晶315と同一の素材から構成されるが、空気であってもよい。又、クラッド層424の上部に位置する層412は、通常、空気である。

【0012】

スラブ型フォトニック結晶デバイス300は、周波数がスラブ型フォトニック結晶315のバンドギャップ内の光を直線的に透過する能力を有している。このスラブ型フォトニック結晶デバイス300の導波路バンドはいくつかの要素によって左右される。即ち、他のパラメータを一定に維持しつつスラブ型フォトニック結晶315の厚さを大きくすると、実効誘電率が上昇してスラブ型フォトニック結晶デバイス300の導波路バンドは低い周波数に移動する。そして、他のパラメータを一定に維持しつつ円形孔310の断面を大きくすると、実効誘電率が低下してスラブ型フォトニック結晶デバイス300の導波路バンドは高い周波数に移動する。

【0013】

クラッド層422及び424の厚さを大きくすると、導波路バンドの位置が移動する。層412及び410が空気の場合には、クラッド層422及び424の厚さを大きくすると、導波路バンドの位置がゆっくりと低い周波数に移動した後に飽和し更に厚さを大きくしても導波路バンドの位置は移動しなくなる。一方、層410が空気でなく、例えば、シリコンの場合には、導波路バンドの位置はクラッド層422の厚さを大きくすると高い周波数に移動した後に飽和し更に厚さを大きくしても導波路バンドの位置は移動しなくなる。

【0014】

有限差分時間領域法を使用し、このスラブ型フォトニック結晶デバイス300の性能のシミュレーションをおこなう。このシミュレーションにおいては、リッジ導波路375によって光をスラブ型フォトニック結晶315内に結合する。そして、スラブ型フォトニック結晶としては代表的な厚さが約0.6aのものを使用し、X方向に沿って円形孔310の列を1本分すべて除去して楕円形孔320で置き換える。計算においては、格子定数を固定する。例えば、約a/λ = 0.26の値に導波路バンドが存在しており、透過波長λが

10

20

30

40

50

約 1 . 5 5 μm であると理論的に表される場合には、格子定数 a として約 0 . 4 μm を選定する。計算においては、0 . 6 a の厚さと 1 2 . 9 6 の誘電率を有する誘電性スラブを使用する。このスラブは誘電率が 2 の厚さが半無限である素材上に配置される。そして、フォトニック結晶への光の結合に使用するリッジ導波路の幅は 2 . 2 8 a である。

【 0 0 1 5 】

図 5 に示すプロットにおいて、楕円形孔 3 2 0 は約 0 . 3 3 a の半短軸と約 0 . 7 4 a の半長軸を備えており（ここで、 a は格子定数である）、円形孔 3 1 0 は約 0 . 3 a の半径を備えている。曲線 5 0 1 は、線 A（図 3 を参照されたい）で定義される左端部においてリッジ導波路 3 7 5 がスラブ型フォトニック結晶 3 1 5 に接触するケースの透過率対周波数特性を示しており、曲線 5 0 2 は、線 B（図 3 を参照されたい）で定義される左端部においてリッジ導波路 3 7 5 がスラブ型フォトニック結晶 3 1 5 に接触するケースの透過率対周波数特性を示している。そして、曲線 5 0 3 は、線 C（図 3 を参照されたい）で定義される左端部においてリッジ導波路 3 7 5 がスラブ型フォトニック結晶 3 1 5 に接触するケースの透過率対周波数特性を示している。図 5 のこれらのプロットから、約 0 . 3 3 a の短軸を備える楕円形孔のケースでは、線 C で定義される端部に沿ってフォトニック結晶 3 1 5 に結合するのは望ましくないことが明らかである。そして、線 A 及び線 B のいずれに沿ってリッジ導波路 3 7 5 を結合するのかの選択は、透過光の周波数によって左右され、約 0 . 2 4 5 c / a よりも小さな狭いバンド内の周波数の場合には、曲線 5 0 2 が優れた透過率を示しているが、約 0 . 2 5 c / a ~ 約 0 . 2 7 5 c / a の周波数の場合には、透過率は曲線 5 0 1 のほうが優れている。尚、リッジ導波路とフォトニック結晶間の左右のインターフェイスは、この図 5 のすべてのケースにおいて同一である。

【 0 0 1 6 】

図 6 a に示すプロットの場合には、楕円形孔 3 2 0 は約 0 . 3 7 a の半短軸と約 0 . 7 3 8 a の半長軸を備えており（ここで、 a は格子定数である）、円形孔 3 1 0 は約 0 . 3 a の半径を備えている。導波路バンドの幅は導波路バンドの中心周波数としてよいミッドバンド周波数の約 0 . 1 7 6 倍である。曲線 6 0 1 は、線 A（図 3 を参照されたい）で定義される左端部においてリッジ導波路 3 7 5 がスラブ型フォトニック結晶 3 1 5 に接触するケースの透過率対周波数特性を示しており、導波路バンドの下端において約 0 . 8 9 の最大透過率を示している。曲線 6 0 2 は、線 B（図 3 を参照されたい）で定義される左端部においてリッジ導波路 3 7 5 がスラブ型フォトニック結晶 3 1 5 に接触するケースの透過率対周波数特性を示しており、導波路バンドの上端において約 0 . 8 9 の最大透過率を示している。そして、曲線 6 0 3 は、線 C（図 3 を参照されたい）で定義される左端部においてリッジ導波路 3 7 5 がスラブ型フォトニック結晶 3 1 5 に接触するケースの透過率対周波数特性を示しており、約 0 . 5 の最大透過率を示している。図 6 a のこれらのプロットから、約 0 . 3 7 a の短軸を備える楕円形孔 3 2 0 の場合に、線 C で定義される端部に沿ってスラブ型フォトニック結晶 3 1 5 に結合すると、通常、透過率が低くなり、有利ではないことが明らかである。

【 0 0 1 7 】

線 B でリッジ導波路 3 7 5 を結合すると、約 0 . 2 4 c / a ~ 約 0 . 2 8 c / a の周波数バンドにおいて約 0 . 5 を超える大きな透過係数が示されており、線 A でリッジ導波路 3 7 5 を結合した場合には、約 0 . 2 6 c / a ~ 約 0 . 2 8 5 c / a の周波数バンドにおいて約 0 . 5 を超える大きな透過係数が示されている。しかし、線 C でリッジ導波路 3 7 5 を結合すると、曲線 6 0 3 が示すように、対象のすべての周波数において透過係数は約 0 . 5 以下となっている。

【 0 0 1 8 】

図 6 b は、楕円形孔 3 2 0 が円形孔 3 1 0 に接触して重なった場合に発生する透過率に対する悪影響を示している。曲線 6 5 1 は、約 0 . 3 9 a の半短軸と 0 . 8 7 2 a の半長軸を有する楕円形孔 3 2 0 の場合の透過率を示しており、曲線 6 5 2 は、約 0 . 4 1 a の半短軸と 0 . 9 1 7 a の半長軸を有する楕円形孔 3 2 0 の場合の透過率を示している。いずれの場合にも、楕円形孔 3 2 0 は、円形孔 3 1 0 と接触して重なっている。（半短軸が大

きくなるにつれ)この橙円形孔320と円形孔310間の重なりが大きくなると、光波の閉じ込め効果が減少するため、透過率が急激に低下することが明らかである。

【0019】

図6cは、長軸/短軸比を約2.236に固定した橙円形孔320における(ミッドバンド周波数での導波路バンド幅)対(半短軸(単位:格子定数a))特性を示しており、曲線654は、ミッドバンド周波数での最大導波路バンド幅すなわち最大導波路バンド幅割るミッドバンド周波数が約0.176であることを示している。

【0020】

図6dは、(ミッドバンド周波数での導波路バンド幅)対(長軸/短軸比)特性を示しており、半短軸は約0.37aに固定されている。長軸/短軸比を大きくすると、曲線656が示すように、バンド幅が大きくなる。これら図6c及び図6dのいずれにおいても、スラブ型フォトニック結晶デバイス300の透過率は、最大バンド幅に達した後に、例えば、図6bに示すように、橙円形孔320が円形孔310と重なり始めるとき激に低下する。

【0021】

本発明は、橙円形状の孔の使用に限定されるものではない。例えば、本発明の実施例によれば、橙円形孔320を長方形孔720で置き換えて図7に示すようなスラブ型フォトニック結晶デバイス700を作成することが可能であり、円形孔710は0.3aの半径を備えている。図8aの曲線812及び815は、いずれも図7の線B'で定義される端部に沿ってリッジ導波路375がスラブ型フォトニック結晶715に結合された場合の透過率対周波数特性を示している。曲線812は、0.58aの短辺と約1.3aの長辺を備えた長方形720の場合の透過率対周波数特性を示しており、曲線815は、0.62aの短辺と約1.38aの長辺を備えた長方形720の場合の透過率対周波数特性を示している。透過率は、長方形720が円形孔710と接触して重なり始めるため、曲線815の方が劣っている。

【0022】

図8bは、長方形の長さ/幅比を約2.236に固定した状態における(ミッド周波数での導波路バンド幅)対(長方形720の半幅(単位:格子定数))特性を示している。曲線821が示すように、最大バンド幅は約0.164である。

【0023】

図8cは、(ミッド周波数での導波路バンド幅)対(長方形720の長さ/幅比)特性を示しており、長方形の半幅は0.29aである。

【0024】

図9aは、図3に示すスラブ型フォトニック結晶デバイス300のバンド構造を示している。実線910及び920は、バンド端を示しており、線905は光円錐の境界を示している。図3の橙円形の線欠陥の場合には、3つの偶数モード938、939、及び940が存在しており、偶数モード939は低群速度を備えているが、偶数モード940及び939は高群速度を備えている。

【0025】

図9bは、約0.58aの短辺と約1.3aの長辺を備えた図7の長方形720のスラブ型フォトニック結晶デバイス700のバンド構造を示している。長方形の線欠陥の場合には、偶数モード948及び949は、約0.27c/aの周波数の近くで重なっており、これは単一モード用途において望ましくないモード混合が存在していることを示している。偶数モード950は、図9aの偶数モード940に相当する。

【0026】

図9cは、約0.62aの短辺と約1.38aの長辺を備えた図7の長方形720のスラブ型フォトニック結晶デバイス700のバンド構造を示している。この場合にも、3つの偶数モード960、959、及び958が存在している。しかしながら、この図9cの構成の場合には、透過率は劣っている。

【0027】

10

20

30

40

50

本発明によれば、楕円形孔320と長方形孔720によって円形孔120よりも格段に広い導波路バンドが提供される。すべてのケースを通じて、楕円形孔320や長方形孔720などの非円形孔間に重なりが生じると透過率が急激に低下する。又、透過率は、非円形孔と円形孔310又は710が重なった場合にも急激に低下する。しかしながら、広範囲の楕円形及び長方形孔において10%を超える導波バンド幅が実現している。隣接する孔に近接する丸みをつけた長方形様の孔の場合にも、広い導波路バンドがもたらされる。

【0028】

スラブ型フォトニック結晶デバイス300又はスラブ型フォトニック結晶デバイス700は、図10a～図10eに示す本発明の実施例に従って組み立てることができる。開始構造は、シリコン(Si)層1010とSiO₂層1012を備えたSOI(Silicon On Insulator: 絶縁体上にシリコン膜を形成したもの)構造である。Si層1010内にフォトニック結晶構造を組み立てる。通常、図10aに示すように、後続工程におけるSi層1010のエッチャリング用のマスク層として機能させるべく薄いSiO₂層1015をSi層1010上に蒸着する。そして、図10bに示すように、通常、薄いSiO₂層1015上に代表的な約400nmの厚さで電子ビームレジスト層1020を蒸着する。その後、図10cに示すように、電子ビームリソグラフィを使用してレジスト層1020を所望の格子孔パターンにパターニングする。そして、図10dに示すように、反応イオンエッチャリングを使用して薄いSiO₂層1015をエッチャリングし、所望の格子孔パターンを得る。この所望のマスクパターンを作成した後に、通常、図10eに示すように、代表的にはHBrを使用する制御エッチャリングにより、SiO₂層1015にエッチャリングされている格子パターンをSi層1010に転写する。尚、Si層1010は、オーバーエッチャリングされ、SiO₂層1012内に貫通する。この制御エッチャリングの後に完成したスラブ型二次元フォトニック結晶デバイスの側面が図10eに示されている。

【0029】

スラブ型フォトニック結晶デバイス300又はスラブ型フォトニック結晶デバイス700は、本発明の実施例により、図11a～図11fに示すように組み立てることができる。通常、図11aに示すように、後続工程におけるGaAs層1110のエッチャリング用のマスク層として機能させるべく薄いSiO₂層1115をGaAs層1110上に代表的な約200nmの厚さで堆積し、GaAs層1110をAlGaAs層1112にアタッチする。そして、図11bに示すように、薄いSiO₂層1115上に代表的な約400nmの厚さで電子ビームレジスト層1120を堆積する。その後、図10cに示すように、電子ビームリソグラフィを使用してレジスト層1120を所望の格子孔パターンにパターニングする。そして、図11dに示すように、CHF₃による反応性イオンエッチャリングを使用して薄いSiO₂層1115をエッチャリングし、所望の格子孔パターンを得る。この所望のマスクパターンの作成後、図11eに示すように、通常、Cl₂を使用する反応性イオンエッチャリングにより、SiO₂層1115にエッチャリングされている格子パターンをGaAs層1110に転写する。そして、AlGaAs層1112のスチーム酸化プロセスを実行し、層1112をAl₂O₃に変換して適切な屈折率(～1.5)を得る(図11f)。

【0030】

以上、特定の実施例に関連して本発明を説明したが、以上の説明から多数の代替、変更、及び変形が存在することが当業者には明らかであろう。従って、添付の請求項の精神と範囲内に含まれるそのようなすべての代替、変更、及び変形は本発明に包含される。

【0031】

なお、本発明の広範な実施可能性に鑑み、以下に本発明の実施態様の一部を開示して、大方の参考に供する。

【0032】

(実施態様1)

一の格子定数を有する、実質的に円形の孔(310、710)の二次元周期格子、を備えたスラブ型フォトニック結晶(315、715)と；

10

20

30

40

50

前記実質的に円形の孔に物理的に接触しないサイズ及び配列の実質的に非円形の断面を備えた孔（320、720）を有し、前記二次元周期格子内における導波路を定義する欠陥からなる実質的に直線状の列と；

を有することを特徴とするスラブ型二次元フォトニック結晶デバイス（300、700）。

【0033】

（実施態様2）

前記実質的に円形の孔のそれぞれは、前記格子定数の約0.3倍の半径を備える実施態様1に記載のスラブ型二次元フォトニック結晶デバイス（300、700）。

【0034】

（実施態様3）

前記実質的に非円形の断面は橢円である実施態様1に記載のスラブ型二次元フォトニック結晶デバイス（300、700）。

【0035】

（実施態様4）

前記橢円（320）は、長軸／短軸比が約2～2.4の長軸と短軸を備える実施態様3に記載のスラブ型二次元フォトニック結晶デバイス（300、700）。

【0036】

（実施態様5）

前記実質的に非円形の断面は長方形（720）である実施態様1に記載のスラブ型二次元フォトニック結晶デバイス（300、700）。

【0037】

（実施態様6）

前記スラブ型フォトニック結晶（315、715）は、シリコンからなる実施態様1に記載のスラブ型二次元フォトニック結晶デバイス（300、700）。

【0038】

（実施態様7）

前記二次元周期格子は三角格子である実施態様1に記載のスラブ型二次元フォトニック結晶デバイス（300、700）。

【0039】

（実施態様8）

前記円形の孔（310、710）には空気が充填されている実施態様1に記載のスラブ型二次元フォトニック結晶デバイス（300、700）。

【0040】

（実施態様9）

前記スラブ型フォトニック結晶はGaAsからなる実施態様1に記載のスラブ型二次元フォトニック結晶デバイス（300、700）。

【図面の簡単な説明】

【図1】従来技術によるスラブ型二次元フォトニック結晶デバイスの平面図である。

【図2】図1の従来技術によるデバイスの透過率対周波数特性のグラフである。

【図3】本発明によるスラブ型二次元フォトニック結晶デバイスの平面図である。

【図4】本発明によるスラブ型二次元フォトニック結晶デバイスの側面図である。

【図5】本発明によるスラブ型二次元フォトニック結晶デバイスの透過率対周波数特性のグラフである。

【図6a】本発明によるスラブ型二次元フォトニック結晶デバイスの透過率対周波数特性のグラフである。

【図6b】本発明によるスラブ型二次元フォトニック結晶デバイスの透過率対周波数特性のグラフである。

【図6c】本発明の実施例の（ミッドバンド周波数でのバンド幅）対半短軸特性のグラフである。

10

20

30

40

50

【図 6 d】本発明による実施例の（ミッドバンド周波数でのバンド幅）対（長軸／短軸比）特性のグラフである。

【図 7】本発明によるスラブ型二次元フォトニック結晶デバイスの平面図である。

【図 8 a】本発明による図 7 のスラブ型二次元フォトニック結晶デバイスの透過率対周波数特性のグラフである。

【図 8 b】本発明による図 7 の実施例の（ミッドバンド周波数でのバンド幅）対半幅特性のグラフである。

【図 8 c】本発明による図 7 の実施例の（ミッドバンド周波数でのバンド幅）対（長さ／幅比）特性を示すグラフである。

【図 9 a】本発明によるスラブ型二次元フォトニック結晶デバイスのバンド構造を示す図 10 である。

【図 9 b】本発明によるスラブ型二次元フォトニック結晶デバイスのバンド構造を示す図である。

【図 9 c】本発明によるスラブ型二次元フォトニック結晶デバイスのバンド構造を示す図である。

【図 10 a】絶縁体ウエハ上にシリコン膜を使用する本発明の実施例を組み立てるための開始構造の側面図である。

【図 10 b】図 10 a の開始構造上に形成された電子ビームレジストマスク層を示す図である。

【図 10 c】電子ビームレジスト層をパターニングした後の構造を示す図である。 20

【図 10 d】後続工程におけるシリコン層のエッティング用のマスクを形成するべく SiO₂ 層をエッティングした後の構造を示す図である。

【図 10 e】本発明によるエッティング後の完成した実施例の構造を示す図である。

【図 11 a】GaAs 基板を使用する本発明による実施例製造用の開始構造の側面図である。

【図 11 b】図 11 a の開始構造に形成された電子ビームレジスト層を示す図である。

【図 11 c】電子ビームレジスト層をパターニングした後の構造を示す図である。

【図 11 d】後続工程における GaAs 層のエッティング用のマスクを形成するべく SiO₂ 層をエッティングした後の構造を示す図である。

【図 11 e】GaAs 層をエッティングした後の構造を示す図である。 30

【図 11 f】アルミニウム含有層を酸化した後の完成した構造を示す図である。

【符号の説明】

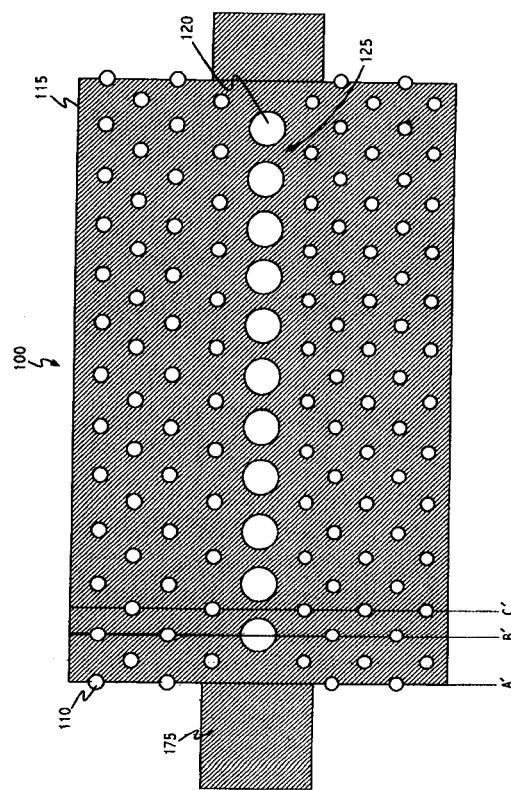
300、700 スラブ型二次元フォトニック結晶デバイス

310、710 円形孔

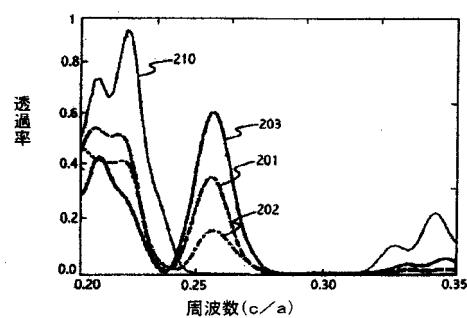
315、715 スラブ型フォトニック結晶

320、720 非円形孔

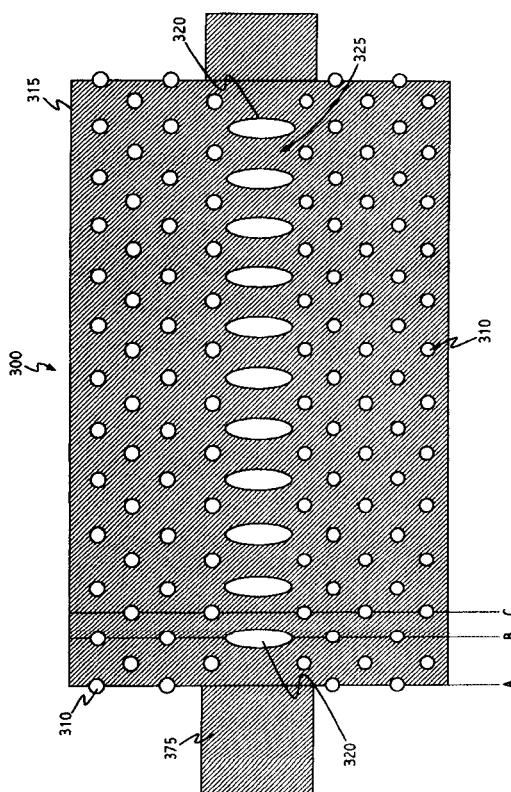
【図1】



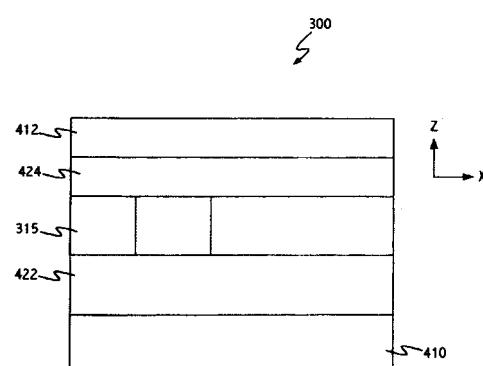
【図2】



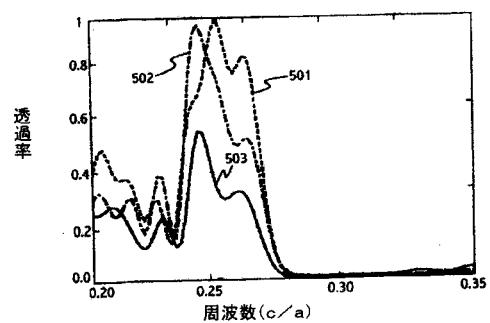
【図3】



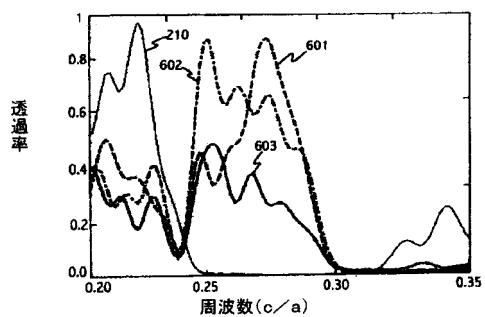
【図4】



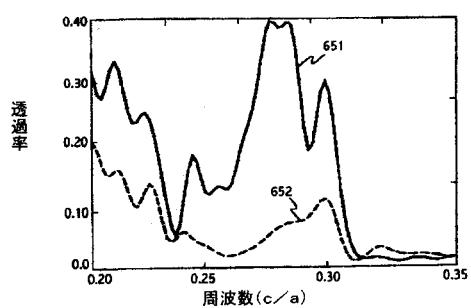
【図5】



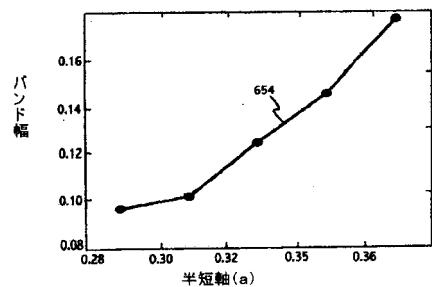
【図6 a】



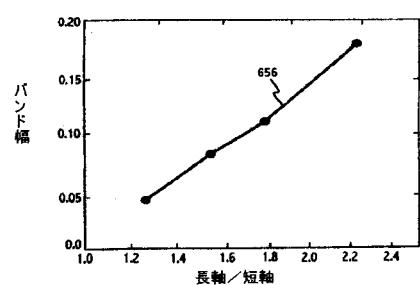
【図6 b】



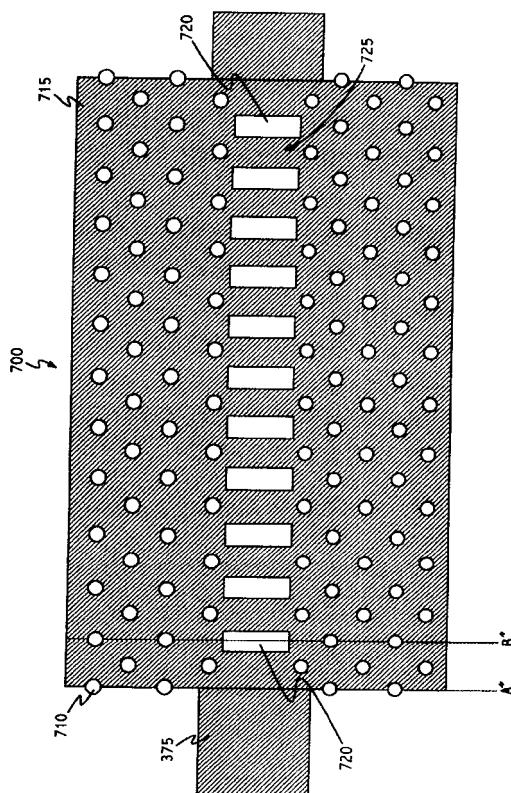
【図6 c】



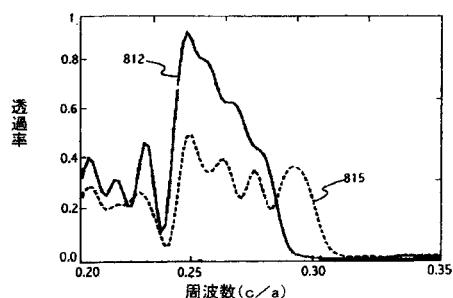
【図 6 d】



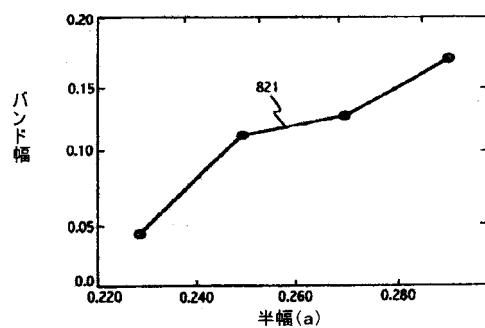
【図 7】



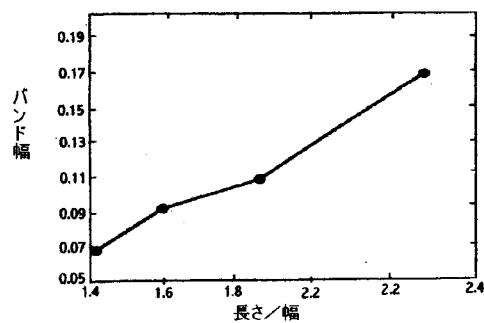
【図 8 a】



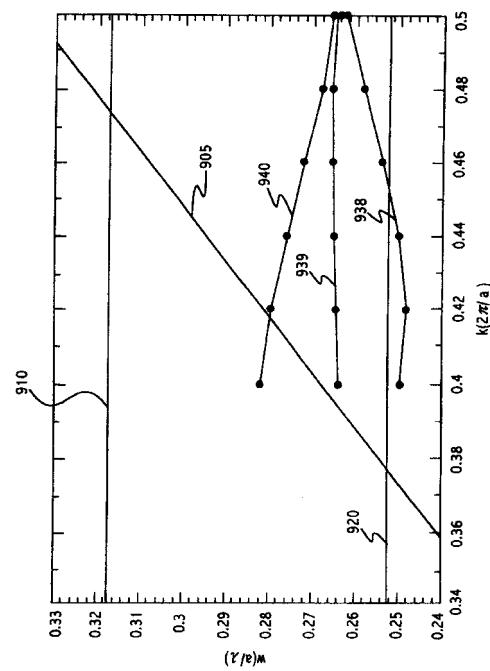
【図 8 b】



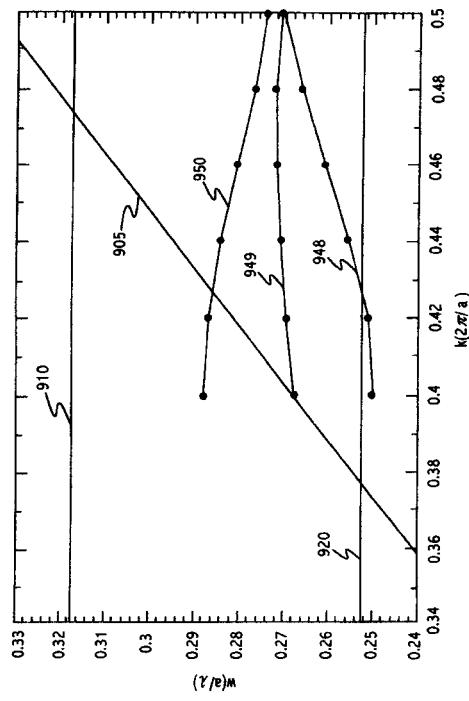
【図 8 c】



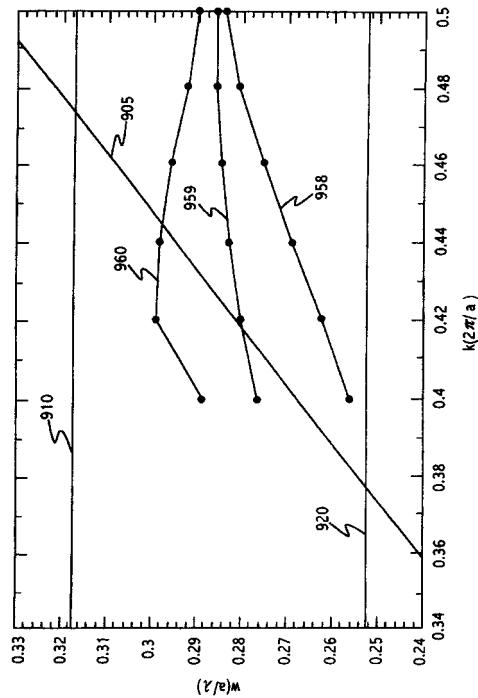
【図 9 a】



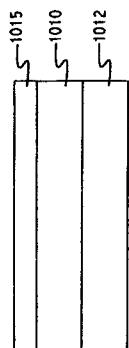
【図 9 b】



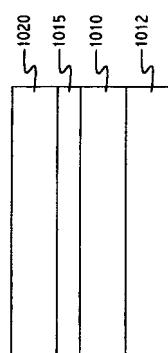
【図 9 c】



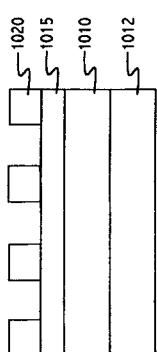
【図 10 a】



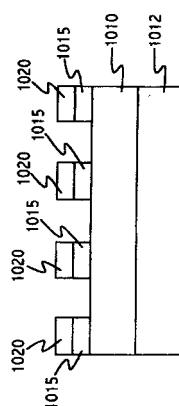
【図 10 b】



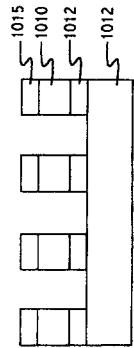
【図 10 c】



【図 10 d】



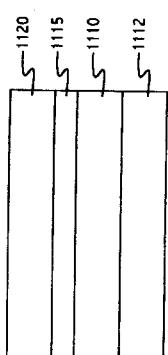
【図 1 0 e】



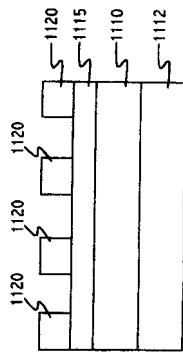
【図 1 1 a】



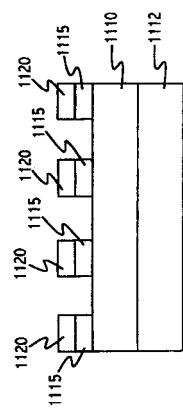
【図 1 1 b】



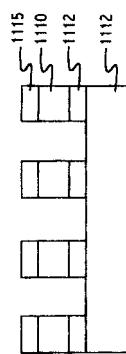
【図 1 1 c】



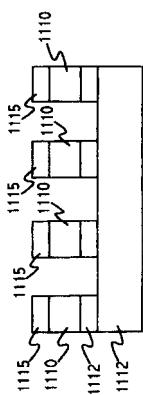
【図 1 1 d】



【図 1 1 e】



【図 1 1 f】



フロントページの続き

(72)発明者 ミハイル エム シガラス

アメリカ合衆国 カリフォルニア 95951 サンタ・クララ サウス・ドライブ 2411

(72)発明者 カイ チョン ジョウ

アメリカ合衆国 カリフォルニア 95124 サン・ホセ ライ・アベニュー 2937

F ターム(参考) 2H047 KA02 PA22 PA24 QA02 QA04