

(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 I
G O 2 B 6/12
G O 2 B 6/12

Z
N

テーマコード (参考)
2 H O 4 7

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)	(71) 出願人	399117121 アジレント・テクノロジーズ・インク AGILENT TECHNOLOGIES, INC. 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.
(22) 出願日	平成15年7月1日 (2003.7.1)	(74) 代理人	100075513 弁理士 後藤 政喜
(31) 優先権主張番号	10/192300	(74) 代理人	100084537 弁理士 松田 嘉夫
(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)		

最終頁に続く

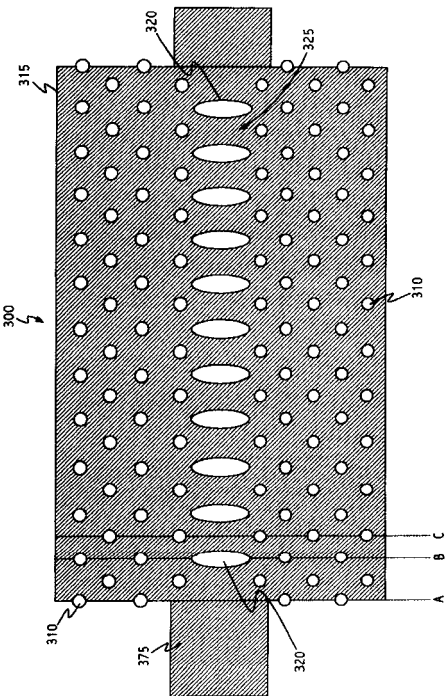
(54) 【発明の名称】 スラブ型二次元フォトニック結晶デバイス

(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リック結晶と；

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リック結晶デバイス。

【発明の詳細な説明】

【0001】

10

【発明の属する技術分野】

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

【0002】

【従来の技術】

フォトリック結晶（PC）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。フォトリック結晶は空間的に周期的変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リックバンドギャップを開くことができる。「フォトリックバンドギャップ」とは、フォトリ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リック結晶の場合、当該結晶のフォトリ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リック結晶を利用することである。スラブ型二次元フォトリック結晶には、製造の容易性に加え、標準的な半導体プロセスのプ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。

20

【0003】

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リ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。二次元フォトリ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。

30

【0004】

フォトリ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リ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。フォトリ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）。フォトリ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。

40

【0005】

スラブ型二次元フォトリック結晶導波路は、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リック結晶デバイス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】

ジェー・ディー・ジョアノポウラス (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 巻、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 巻、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楕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。これらの楕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。楕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。広範囲な楕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と、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。

【 0 0 1 0 】

【 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リック結晶デバイス 3 0 0 の X Y 平面図を示している。スラブ型フォトリック結晶 3 1 5 は、周期三角格子を形成するべく配列された円形孔 3 1 0 を備えている。周期八ニカム格子も使用可能である。これらの円形孔 3 1 0 は、スラブ型フォトリック結晶 3 1 5 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 3 1 0 を楕円形孔 3 2 0 で置き換えることにより、欠陥領域 3 2 5 が作成され、これらの楕円形孔 3 2 0 には、通常、円形孔 1 1 0 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リック結晶デバイス 3 0 0 内に、リッジ導波路 3 7 5 から光が結合される。

【 0 0 1 1 】

図 4 は、スラブ型フォトリック結晶デバイス 3 0 0 の X Z 断面図を示している。スラブ型フォトリック結晶 3 1 5 は、クラッド層 4 2 2 とクラッド層 4 2 4 間に挟持されている。通常、クラッド層 4 2 2 は、基板層 4 1 0 とスラブ型フォトリック結晶 3 1 5 の間に位置している（図 2 を参照されたい）。通常、スラブ型フォトリック結晶 3 1 5 は、シリコンや I I I V 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 4 2 2 及び 4 2 4 は、通常、 SiO_2 又はスラブ型フォトリック結晶 3 1 5 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 4 1 0 は、通常、機械的な支持を提供するべくスラブ型フォトリック結晶 3 1 5 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 4 2 4 の上部に位置する層 4 1 2 は、通常、空気である。

【 0 0 1 2 】

スラブ型フォトリック結晶デバイス 3 0 0 は、周波数がスラブ型フォトリック結晶 3 1 5 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リック結晶デバイス 3 0 0 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、その他のパラメータを一定に維持しつつスラブ型フォトリック結晶 3 1 5 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リック結晶デバイス 3 0 0 の導波路バンドは低い周波数に移動する。そして、その他のパラメータを一定に維持しつつ円形孔 3 1 0 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リック結晶デバイス 3 0 0 の導波路バンドは高い周波数に移動する。

【 0 0 1 3 】

クラッド層 4 2 2 及び 4 2 4 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 4 1 2 及び 4 1 0 が空気の場合には、クラッド層 4 2 2 及び 4 2 4 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 4 1 0 が空気ではなく、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 4 2 2 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。

【 0 0 1 4 】

有限差分時間領域法を使用し、このスラブ型フォトリック結晶デバイス 3 0 0 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 3 7 5 によって光をスラブ型フォトリック結晶 3 1 5 内に結合する。そして、スラブ型フォトリ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 3 1 0 の列を 1 本分すべて除去して楕円形孔 3 2 0 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 $a/\lambda = 0.26$ の値に導波路バンドが存在しており、透過波長 が

10

20

30

40

50

約 $1.55 \mu\text{m}$ 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 $0.4 \mu\text{m}$ を選定する。計算においては、 $0.6a$ の厚さと 12.96 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 $2.28a$ である。

【0015】

図5に示すプロットにおいて、楕円形孔320は約 $0.33a$ の半短軸と約 $0.74a$ 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310は約 $0.3a$ の半径を備えている。曲線501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375がスラブ型フォトニック結晶315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502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375がスラブ型フォトニック結晶315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503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375がスラブ型フォトニック結晶315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 $0.33a$ 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315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375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 $0.245c/a$ よりも小さな狭いバンド内の周波数の場合には、曲線502が優れた透過率を示しているが、約 $0.25c/a \sim 0.275c/a$ の周波数の場合には、透過率は曲線501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。

【0016】

図6aに示すプロットの場合には、楕円形孔320は約 $0.37a$ の半短軸と約 $0.738a$ 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310は約 $0.3a$ 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 0.176 倍である。曲線601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375がスラブ型フォトニック結晶315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 0.89 の最大透過率を示している。曲線602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375がスラブ型フォトニック結晶315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 0.89 の最大透過率を示している。そして、曲線603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375がスラブ型フォトニック結晶315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6aのこれらのプロットから、約 $0.37a$ の短軸を備える楕円形孔320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315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。

【0017】

線Bでリッジ導波路375を結合すると、約 $0.24c/a \sim 0.28c/a$ 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375を結合した場合には、約 $0.26c/a \sim 0.285c/a$ 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375を結合すると、曲線603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。

【0018】

図6bは、楕円形孔320が円形孔310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651は、約 $0.39a$ の半短軸と $0.872a$ の半長軸を有する楕円形孔320の場合の透過率を示しており、曲線652は、約 $0.41a$ の半短軸と $0.917a$ の半長軸を有する楕円形孔320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320は、円形孔310と接触して重なっている。（半短軸が大

きくなるにつれ)この楕円形孔 3 2 0 と円形孔 3 1 0 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 6 c は、長軸 / 短軸比を約 2 . 2 3 6 に固定した楕円形孔 3 2 0 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 6 5 4 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 . 1 7 6 であることを示している。

【0020】

図 6 d 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 . 3 7 a に固定されている。長軸 / 短軸比を大きくすると、曲線 6 5 6 が示すように、バンド幅が大きくなる。これら図 6 c 及び図 6 d 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 3 0 0 の透過率は、最大バンド幅に達した後に、例えば、図 6 b に示すように、楕円形孔 3 2 0 が円形孔 3 1 0 と重なり始めると急激に低下する。

【0021】

本発明は、楕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、楕円形孔 3 2 0 を長方形孔 7 2 0 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 7 0 0 を作成することが可能であり、円形孔 7 1 0 は 0 . 3 a の半径を備えている。図 8 a の曲線 8 1 2 及び 8 1 5 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 3 7 5 がスラブ型フォトニック結晶 7 1 5 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 8 1 2 は、0 . 5 8 a の短辺と約 1 . 3 a の長辺を備えた長方形 7 2 0 の場合の透過率対周波数特性を示しており、曲線 8 1 5 は、0 . 6 2 a の短辺と約 1 . 3 8 a の長辺を備えた長方形 7 2 0 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 7 2 0 が円形孔 7 1 0 と接触して重なり始めるため、曲線 8 1 5 の方が劣っている。

【0022】

図 8 b は、長方形の長さ / 幅比を約 2 . 2 3 6 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 7 2 0 の半幅 (単位: 格子定数)) 特性を示している。曲線 8 2 1 が示すように、最大バンド幅は約 0 . 1 6 4 である。

【0023】

図 8 c は、(ミッド周波数での導波路バンド幅) 対 (長方形 7 2 0 の長さ / 幅比) 特性を示しており、長方形の半幅は 0 . 2 9 a である。

【0024】

図 9 a は、図 3 に示すスラブ型フォトニック結晶デバイス 3 0 0 のバンド構造を示している。実線 9 1 0 及び 9 2 0 は、バンド端を示しており、線 9 0 5 は光円錐の境界を示している。図 3 の楕円形の線欠陥の場合には、3 つの偶数モード 9 3 8、9 3 9、及び 9 4 0 が存在しており、偶数モード 9 3 9 は低群速度を備えているが、偶数モード 9 4 0 及び 9 3 9 は高群速度を備えている。

【0025】

図 9 b は、約 0 . 5 8 a の短辺と約 1 . 3 a の長辺を備えた図 7 の長方形 7 2 0 のスラブ型フォトニック結晶デバイス 7 0 0 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 9 4 8 及び 9 4 9 は、約 0 . 2 7 c/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 9 5 0 は、図 9 a の偶数モード 9 4 0 に相当する。

【0026】

図 9 c は、約 0 . 6 2 a の短辺と約 1 . 3 8 a の長辺を備えた図 7 の長方形 7 2 0 のスラブ型フォトニック結晶デバイス 7 0 0 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 9 6 0、9 5 9、及び 9 5 8 が存在している。しかしながら、この図 9 c の構成の場合には、透過率は劣っている。

【0027】

本発明によれば、楕円形孔 3 2 0 と長方形孔 7 2 0 によって円形孔 1 2 0 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 3 2 0 や長方形孔 7 2 0 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 3 1 0 又は 7 1 0 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 1 0 % 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 3 0 0 又はスラブ型フォトニック結晶デバイス 7 0 0 は、図 1 0 a ~ 図 1 0 e 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 1 0 1 0 と SiO_2 層 1 0 1 2 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 1 0 1 0 内にフォトニック結晶構造を組み立てる。通常、図 1 0 a に示すように、後続工程における Si 層 1 0 1 0 のエッチング用のマスク層として機能させるべく薄い SiO_2 層 1 0 1 5 を Si 層 1 0 1 0 上に蒸着する。そして、図 1 0 b に示すように、通常、薄い SiO_2 層 1 0 1 5 上に代表的な約 4 0 0 nm の厚さで電子ビームレジスト層 1 0 2 0 を蒸着する。その後、図 1 0 c 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 1 0 2 0 を所望の格子孔パターンにパターンニングする。そして、図 1 0 d に示すように、反応イオンエッチングを使用して薄い SiO_2 層 1 0 1 5 をエッチングし、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 1 0 e に示すように、代表的には HBr を使用する制御エッチングにより、 SiO_2 層 1 0 1 5 にエッチングされている格子パターンを Si 層 1 0 1 0 に転写する。尚、Si 層 1 0 1 0 は、オーバーエッチングされ、 SiO_2 層 1 0 1 2 内に貫通する。この制御エッチ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 1 0 e に示されている。

【0029】

スラブ型フォトニック結晶デバイス 3 0 0 又はスラブ型フォトニック結晶デバイス 7 0 0 は、本発明の実施例により、図 1 1 a ~ 図 1 1 f に示すように組み立てることができる。通常、図 1 1 a に示すように、後続工程における GaAs 層 1 1 1 0 のエッチング用のマスク層として機能させるべく薄い SiO_2 層 1 1 1 5 を GaAs 層 1 1 1 0 上に代表的な約 2 0 0 nm の厚さで堆積し、GaAs 層 1 1 1 0 を AlGaAs 層 1 1 1 2 にアタッチする。そして、図 1 1 b に示すように、薄い SiO_2 層 1 1 1 5 上に代表的な約 4 0 0 nm の厚さで電子ビームレジスト層 1 1 2 0 を堆積する。その後、図 1 0 c 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 1 1 2 0 を所望の格子孔パターンにパターンニングする。そして、図 1 1 d に示すように、 CHF_3 による反応性イオンエッチングを使用して薄い SiO_2 層 1 1 1 5 をエッチングし、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 1 1 e に示すように、通常、 Cl_2 を使用する反応性イオンエッチングにより、 SiO_2 層 1 1 1 5 にエッチングされている格子パターンを GaAs 層 1 1 1 0 に転写する。そして、AlGaAs 層 1 1 1 2 のスチーム酸化プロセスを実行し、層 1 1 1 2 を AlO_2 に変換して適切な屈折率 (~ 1 . 5) を得る (図 1 1 f) 。

【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 (3 1 0 、 7 1 0) の二次元周期格子、を備えたスラブ型フォトニック結晶 (3 1 5 、 7 1 5) 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リック結晶デバイス（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リック結晶デバイス（３００、７００）。

【００３４】

（実施態様３）

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

【００３５】

（実施態様４）

前記楕円（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リック結晶デバイス（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リック結晶デバイス（３００、７００）。 20

【００３７】

（実施態様６）

前記スラブ型フォトリック結晶（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リック結晶デバイス（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リック結晶デバイス（３００、７００）。 30

【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リック結晶デバイス（３００、７００）。

【００４０】

（実施態様９）

前記スラブ型フォトリック結晶はGaAsからなる実施態様１に記載のスラブ型二次元フォトリック結晶デバイス（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リ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。 40

【図３】本発明によるスラブ型二次元フォトリ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リ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リ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リ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リ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。 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リ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リ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リック結晶デバイスのバンド構造を示す図である。 10

【図 9 b】本発明によるスラブ型二次元フォトリ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リ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チング用のマスクを形成するべく SiO_2 層をエッチングした後の構造を示す図である。

【図 10 e】本発明によるエッチ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 層のエッチング用のマスクを形成するべく SiO_2 層をエッチングした後の構造を示す図である。

【図 11 e】GaAs 層をエッチ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】

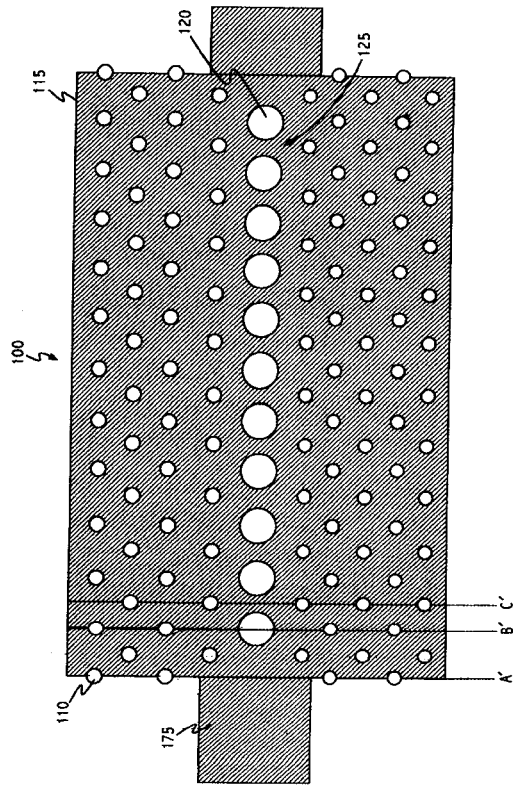
300、700 スラブ型二次元フォトリック結晶デバイス

310、710 円形孔

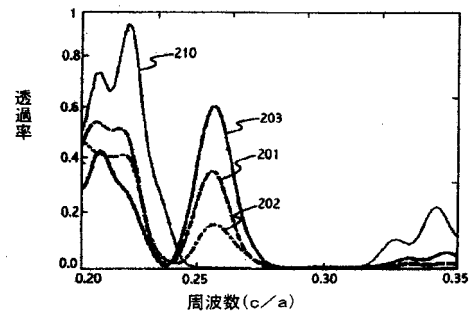
315、715 スラブ型フォトリック結晶

320、720 非円形孔

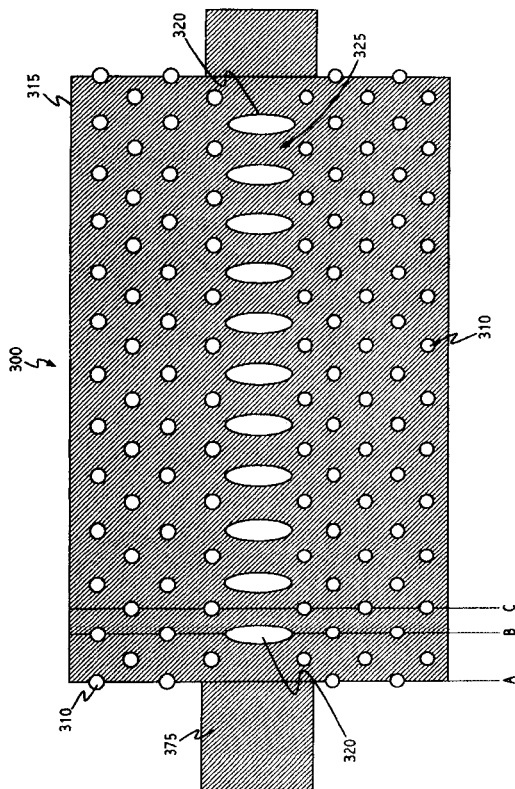
【図 1】



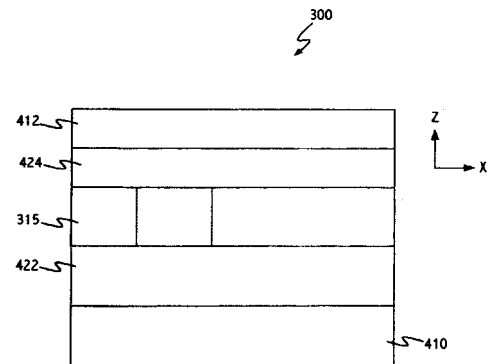
【図 2】



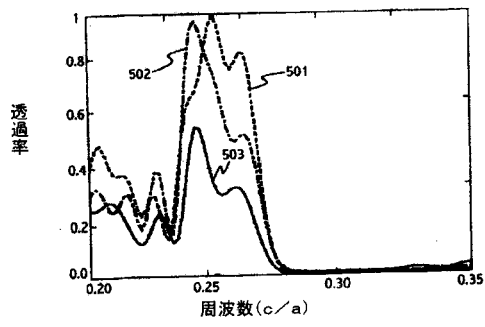
【図 3】



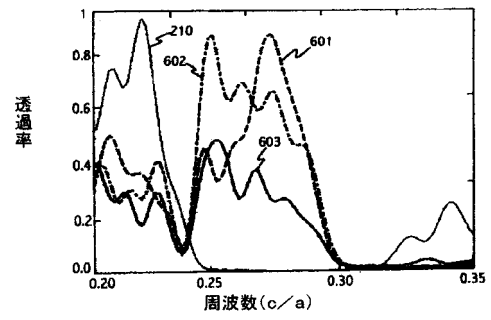
【図 4】



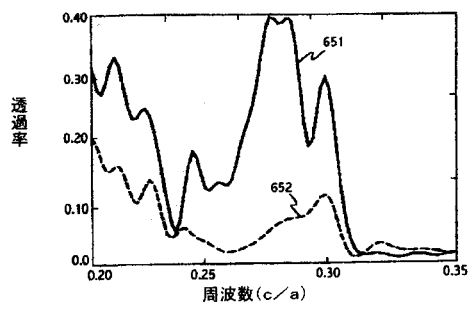
【図 5】



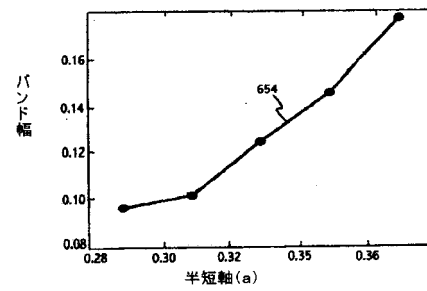
【図 6 a】



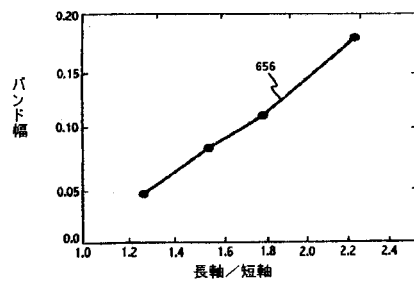
【図 6 b】



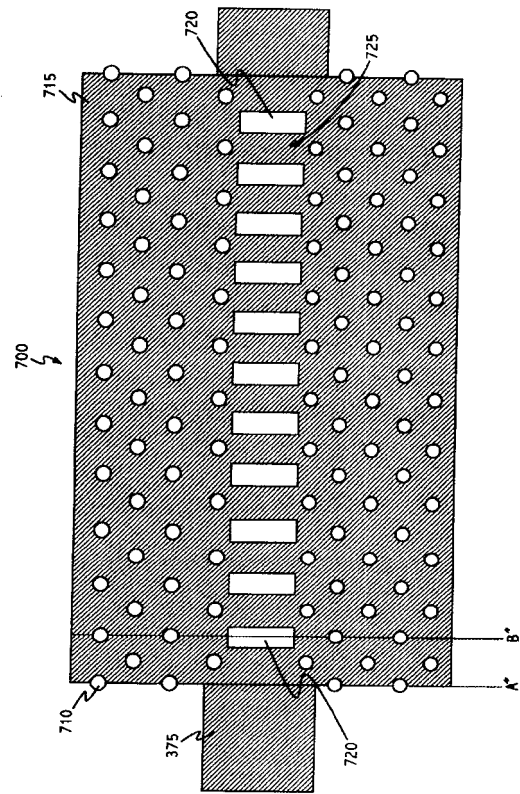
【図 6 c】



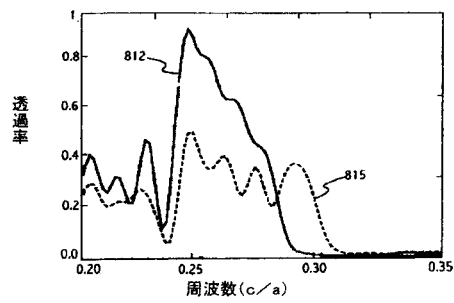
【図 6 d】



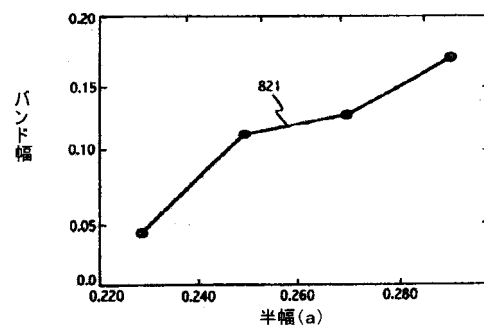
【図 7】



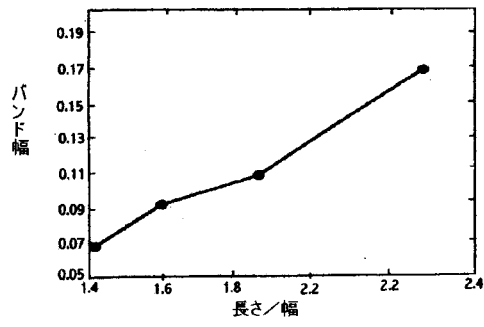
【図 8 a】



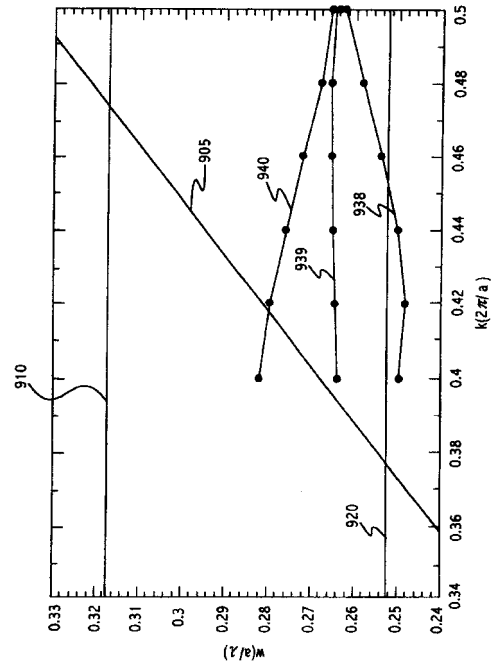
【図 8 b】



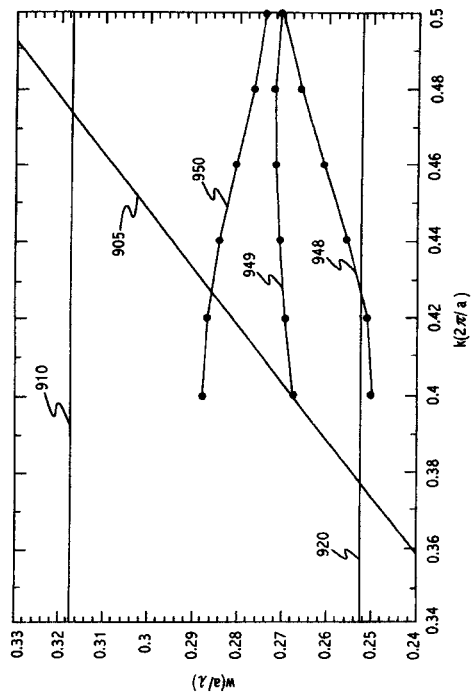
【図 8 c】



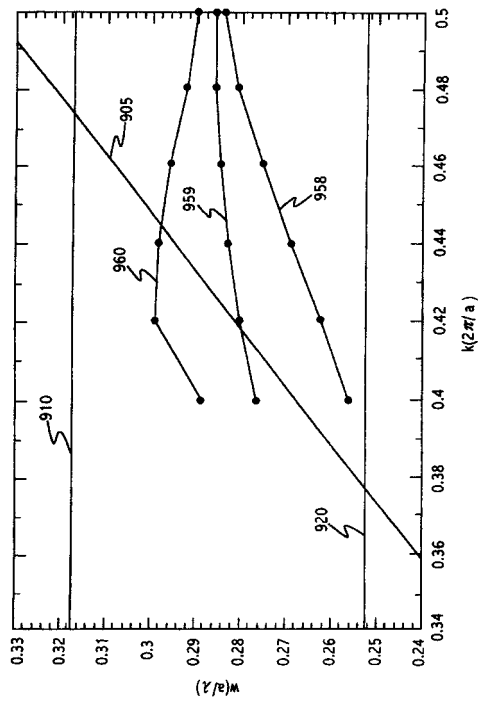
【図 9 a】



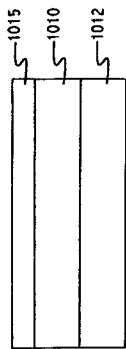
【図 9 b】



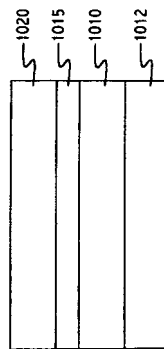
【図 9 c】



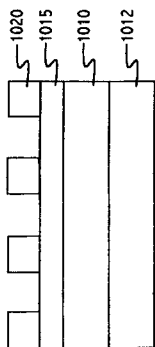
【図 10 a】



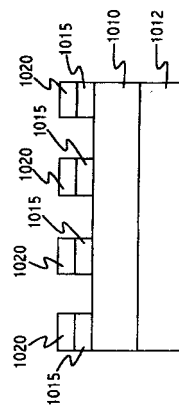
【図 10 b】



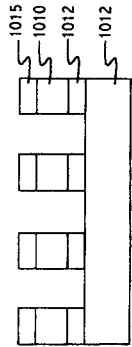
【図 10 c】



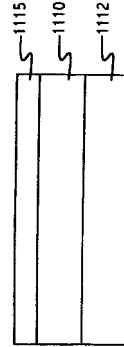
【図 10 d】



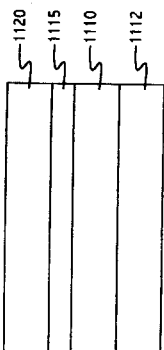
【図 1 0 e】



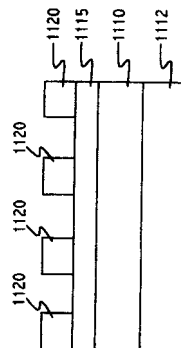
【図 1 1 a】



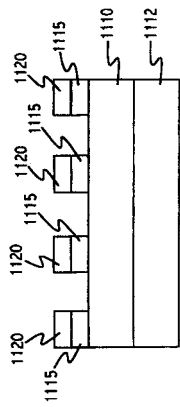
【図 1 1 b】



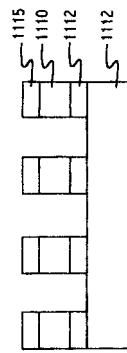
【図 1 1 c】



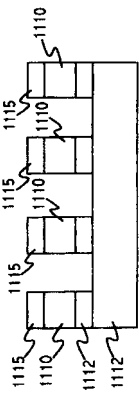
【図 1 1 d】



【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 9 5 9 5 1 サンタ・クララ サウス・ドライブ 2 4 1 1

(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 9 5 1 2 4 サン・ホセ ライ・アベニュー 2 9 3 7

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