

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4657775号
(P4657775)

(45) 発行日 平成23年3月23日(2011.3.23)

(24) 登録日 平成23年1月7日(2011.1.7)

(51) Int.Cl.		F I			
GO 1 M	11/00	(2006.01)	GO 1 M	11/00	T
GO 1 N	21/27	(2006.01)	GO 1 N	21/27	C
GO 2 B	6/12	(2006.01)	GO 2 B	6/12	Z

請求項の数 4 (全 14 頁)

(21) 出願番号	特願2005-91076 (P2005-91076)	(73) 特許権者	503359821
(22) 出願日	平成17年3月28日 (2005.3.28)		独立行政法人理化学研究所
(65) 公開番号	特開2006-275568 (P2006-275568A)		埼玉県和光市広沢2番1号
(43) 公開日	平成18年10月12日 (2006.10.12)	(74) 代理人	100087000
審査請求日	平成20年3月27日 (2008.3.27)		弁理士 上島 淳一
		(72) 発明者	井上 振一郎
			埼玉県和光市広沢2番1号 独立行政法人
			理化学研究所内
		(72) 発明者	青柳 克信
			埼玉県和光市広沢2番1号 独立行政法人
			理化学研究所内
		審査官	横尾 雅一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 フォトニック結晶導波路のフォトニックバンド構造の測定方法およびその装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

フォトニック結晶導波路のフォトニックバンド構造の測定方法において、
 フォトニック結晶導波路のフォトニック結晶層上に、前記フォトニック結晶層と所定の
 間隙を設けるようにして底部を対向させてプリズムを配置し、
 前記プリズムを介して前記フォトニック結晶導波路の前記フォトニック結晶層へ向けて
 入射ビームを入射するに際し、前記入射ビームが前記プリズムに入った後に前記プリズム
 の前記底部に入射角度が全反射角以上を満たす角度で入射し、
 前記入射ビームが前記プリズムの底部で全反射されて前記プリズムから出射される出射
 ビームに基づいてフォトニックバンド構造を測定する
 ことを特徴とするフォトニック結晶導波路のフォトニックバンド構造の測定方法。

10

【請求項2】

請求項1に記載のフォトニック結晶導波路のフォトニックバンド構造の測定方法におい
 て、
 前記入射ビームは、前記フォトニック結晶導波路内の導波モードの波数および周波数と
 前記入射ビームの導波路面内進行方向の波数および周波数とが一致するような、入射角度
 および光周波数を備える
 ことを特徴とするフォトニック結晶導波路のフォトニックバンド構造の測定方法。

【請求項3】

プリズムを固定するプリズム固定機構と、

20

基板の上に形成されたフォトニック結晶層を有するフォトニック結晶導波路を、前記フォトニック結晶層と前記プリズムの底部とが対向するように配置して固定する試料固定機構と、

ヘッド部を前記フォトニック結晶導波路の前記基板へ押しつけるための基板方向微動機構と、

前記プリズムと前記フォトニック結晶導波路の前記フォトニック結晶層とを 回転方向へ相対的に微動する 回転機構と、

前記プリズムを介して前記フォトニック結晶導波路の前記フォトニック結晶層へ向けて入射ビームを入射する光源であって、該入射ビームが前記プリズムに入った後に前記プリズムの前記底部に入射角度が全反射角以上を満たす角度で入射する光源と、

前記入射ビームが前記プリズムの底部で全反射されて前記プリズムから出射される出射ビームを検出する光検出器と、

前記光検出器の検出結果を解析する解析手段と

を有することを特徴とするフォトニック結晶導波路のフォトニックバンド構造の測定装置。

【請求項 4】

請求項 3 に記載のフォトニック結晶導波路のフォトニックバンド構造の測定装置において、さらに、

前記ヘッド部と前記フォトニック結晶導波路との少なくともいずれか一方を、直交座標系の X Y Z 方向へ微動する微動機構と

を有することを特徴とするフォトニック結晶導波路のフォトニックバンド構造の測定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、フォトニック結晶導波路のフォトニックバンド構造の測定方法およびその装置に関し、さらに詳細には、フォトニック結晶導波路の光学特性の評価を行う際に用いて好適なフォトニック結晶導波路のフォトニックバンド構造の測定方法およびその装置に関する。

【0002】

なお、本明細書において、「フォトニック結晶」とは、屈折率が異なる少なくとも 2 種の材料を含み、かつ、これら屈折率が異なる少なくとも 2 種の材料が周期的構造を備えた構造体を形成するようにしたものを意味するものとする。従って、少なくともその一部に上記した周期的構造を備えた構造体を含む限りは、当該周期的構造を備えた構造体以外の構造の有無や種類は問うことなく、全て本明細書における「フォトニック結晶」に含まれるものとする。換言すれば、本明細書における「フォトニック結晶」とは、上記した周期的構造を備えた構造体そのものを意味するとともに、また、上記した周期的構造を備えた構造体を含んで構成されるより大きな構造体をも意味するものとする。

【0003】

また、本明細書において、「フォトニック結晶導波路」とは、上記した「フォトニック結晶」を用いて構成される光導波路構造を意味するものとする。

【背景技術】

【0004】

近年、光波長程度の周期で屈折率の異なる少なくとも 2 種の物質を 1 次元、2 次元あるいは 3 次元的に配列させた周期的構造を備えた構造体を有するフォトニック結晶が注目されている。

【0005】

このフォトニック結晶は、光波長程度のスケールで周期的に屈折率を変化させた構造を持つ人工光ナノ構造体であり、真空中の光速と比較して数十分の一以下という極端に遅い光の群速度を実現することができることが知られていて（非特許文献 1 参照）、こうした

10

20

30

40

50

フォトニック結晶は非線形分野などへの応用が期待されており、フォトニック結晶を利用した各種技術の提案が強く望まれている。

【0006】

ところで、このフォトニック結晶を用いて構成される光導波路構造を備えたフォトニック結晶導波路は、例えば、光導波素子、光結合分波素子、レーザー素子、発光素子、光分散を利用した素子、スーパープリズム素子、スーパーコリメート素子、レンズ機能素子、負屈折素子、偏光性素子、波長変換素子、高調波発生素子、和周波・差周波発生素子、光パラメトリック増幅素子、誘導ラマン散乱素子、四波混合素子、小型レーザー光源、光スイッチ素子、光双安定素子、光論理演算素子、光変調素子あるいは位相共役光発生素子などの各種の光素子に用いられており、こうした各種の光素子の設計の最適化を行うためには、フォトニック結晶導波路に形成される光分散関係たるフォトニックバンド構造を正確に知ることが極めて重要であると認識されている。

10

【0007】

即ち、フォトニック結晶導波路による光バンド分散制御は、例えば、第2高調波発生などにおける位相整合や光スイッチング時の電場増強などの非線形光学効果を著しく増大させる可能性を持っており、フォトニック結晶導波路の特徴は、全てこのフォトニックバンド構造を操作、制御することに集約できるからである。

【0008】

つまり、フォトニックバンド構造を正確に検知することができれば、上記した各種の光素子における光機能をあらかじめ予測することが可能となるものであり、従って、フォトニックバンド構造を正確に知ることが、上記した各種の光素子の最適化設計のキーポイントになるものであった。

20

【0009】

従来、フォトニック結晶導波路のフォトニックバンド構造を外部から測定するには、外部からレーザー光または平行化された白色光ビームをフォトニック結晶導波路に入射し、その際に入射角度を走査し、フォトニック結晶導波路からの反射光に現れる外部光とフォトニック結晶導波路内のモードとの結合現象に起因する共鳴ディップ（鋭い反射率の極小）位置の角度依存性および周波数（エネルギー）依存性を調べるという手法を用いており、これによりフォトニックバンド構造を決定するようになされていた（非特許文献1、2参照）。

30

【0010】

しかしながら、上記した非特許文献1、2に示すような従来の手法では、ライトライン（ $\omega = ck$ （ ω は光の周波数、 c は光速、 k は波数である。））の上側の領域、即ち、フォトニック結晶導波路の外部（空気）と結合性をもつモード（放射モード）領域の光分散関係のみしか測定することができず、ライトラインの下側の領域、即ち、フォトニック結晶導波路の外部とは結合しない導波モード領域の光分散関係を測定することはできないものであった。

【0011】

ここで、ライトライン下側の導波モードは、外部に光が漏洩しないため長い寿命を持ち、光損失を少なくして光を導波することができるため、フォトニック結晶導波路においては、極めて応用性が高いモードである。

40

【0012】

従って、この導波モードの光分散関係を測定することは、フォトニック結晶導波路の動作特性を正確に把握する上で大変に重要である。具体的には、導波モードの光分散関係から、光の群速度の情報や運動量の情報、カットオフ周波数の情報などが得られ、これらは全ての上記した各種の光素子の動作において極めて重要なパラメーターである。また測定結果と理論計算設計との比較を行うことで、両者のフィードバックが可能となり、より機能的なデバイスを設計することや、各種の光素子の作製精度を検査することが可能となる

50

ものである。

【0013】

ところが、上記したように、非特許文献1、2に示すような従来の手法では、肝心の導波モード領域の光分散関係を測定することができないという大きな問題点があり、新たな手法の開発が望まれていた。

【0014】

また、近年、2次元フォトニック結晶導波路のフォトニックバンド構造を外部から測定する手法として、2次元フォトニック結晶導波路内の欠陥導波路に対して面内導波の透過率を測定し、その透過スペクトルに現れるファブリペロー干渉縞から欠陥バンドの光分散関係を実験的に求める手法が提案されている（非特許文献3参照）。

10

【0015】

この非特許文献3に示す手法は、面内を導波させるという意味で、導波モードの光分散関係を測定することができるものである（なお、非特許文献3に示す手法では、放射モードはロスのため測定することはできない。）。

【0016】

しかしながら、上記した非特許文献3に示す手法は、2次元フォトニック結晶導波路の極微小な導波路内に実際に光を入射結合して透過率を測定する必要があるため、極めて高精度な高い技術ならびに煩雑な工程を要するという問題点があった。

【0017】

即ち、上記した非特許文献3に示す手法は、実際に2次元フォトニック結晶導波路を動作させることと等しい作業を行う必要があるので、予め測定しておくという意味合いは全く無くなってしまふものであった。

20

【0018】

また、透過スペクトル上の干渉を利用するという特性上、大きなサイズの2次元フォトニック結晶導波路や、光の損失の比較的大きな2次元フォトニック結晶導波路では測定が困難になってしまうという問題点もあった。

【非特許文献1】Phys. Rev. B 69, 205109 1-6 (2004)

【非特許文献2】特開2004-133429号公報

【非特許文献3】Phys. Rev. Lett. 87, 253902 (2001)

30

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0019】

本発明は、上記したような従来の技術が有する種々の問題点に鑑みてなされたものであり、その目的とするところは、外部からフォトニック結晶導波路の放射モードと導波モードにおけるフォトニックバンド構造を正確かつ簡便に測定することを可能にするのとともに、測定の対象となるフォトニック結晶導波路の制約を無くしたフォトニック結晶導波路のフォトニックバンド構造の測定方法およびその装置を提供しようとするものである。

【課題を解決するための手段】

40

【0020】

上記目的を達成するために、本発明は、プリズムを利用したものであり、プリズムを利用することにより、

$$= ck / n_p \quad (n_p \text{ はプリズムの屈折率})$$

より上側の領域のモードは全て測定できるため、屈折率の大きなプリズムを利用することにより、放射モードと導波モードとを含むほぼ全てのモードにおけるフォトニックバンド構造を測定することができるようになる。

【0021】

即ち、本発明によれば、従来は測定することができなかったライトライン下側の外部とは通常結合しないモードたる導波モードにおけるフォトニックバンド構造を観測すること

50

が可能となり、種々の応用の可能性を飛躍的に広げることができる。

【 0 0 2 2 】

即ち、本発明のうち請求項 1 に記載の発明は、フォトニック結晶導波路のフォトニックバンド構造の測定方法において、フォトニック結晶導波路のフォトニック結晶層上に、上記フォトニック結晶層と所定の間隙を設けるようにして底部を対向させてプリズムを配置し、上記プリズムを介して上記フォトニック結晶導波路の上記フォトニック結晶層へ向けて入射ビームを入射するに際し、上記入射ビームが上記プリズムに入った後に上記プリズムの上記底部に入射角度が全反射角以上を満たす角度で入射し、上記入射ビームが上記プリズムの底部で全反射されて上記プリズムから出射される出射ビームに基づいてフォトニックバンド構造を測定するようにしたものである。

10

【 0 0 2 3 】

また、本発明のうち請求項 2 に記載の発明は、本発明のうち請求項 1 に記載の発明において、上記入射ビームは、上記フォトニック結晶導波路内の導波モードの波数および周波数と上記入射ビームの導波路面内進行方向の波数および周波数とが一致するような、入射角度および光周波数を備えるようにしたものである。

【 0 0 2 4 】

また、本発明のうち請求項 3 に記載の発明は、プリズムを固定するプリズム固定機構と、基板の上に形成されたフォトニック結晶層を有するフォトニック結晶導波路を、上記フォトニック結晶層と上記プリズムの底部とが対向するように配置して固定する試料固定機構と、ヘッド部を上記フォトニック結晶導波路の上記基板へ押しつけるための基板方向微動機構と、上記プリズムと上記フォトニック結晶導波路の上記フォトニック結晶層とを回転方向へ相対的に微動する 回転機構と、上記プリズムを介して上記フォトニック結晶導波路の上記フォトニック結晶層へ向けて入射ビームを入射する光源であって、該入射ビームが上記プリズムに入った後に上記プリズムの上記底部に入射角度が全反射角以上を満たす角度で入射する光源と、上記入射ビームが上記プリズムの底部で全反射されて上記プリズムから出射される出射ビームを検出する光検出器と、上記光検出器の検出結果を解析する解析手段とを有するようにしたものである。

20

【 0 0 2 5 】

また、本発明のうち請求項 4 に記載の発明は、本発明のうち請求項 3 に記載の発明において、さらに、上記ヘッド部と上記フォトニック結晶導波路との少なくともいずれか一方を、直交座標系の X Y Z 方向へ微動する微動機構とを有するようにしたものである。

30

【発明の効果】

【 0 0 2 6 】

本発明によれば、外部からフォトニック結晶導波路の放射モードと導波モードとにおけるフォトニックバンド構造を正確かつ簡便に測定することができるようになるとともに、測定の対象となるフォトニック結晶導波路の制約を無くすることができるという優れた効果が奏される。

【発明を実施するための最良の形態】

【 0 0 2 7 】

以下、添付の図面を参照しながら、本発明によるフォトニック結晶導波路のフォトニックバンド構造の測定方法およびその装置の実施の形態の一例を詳細に説明するものとする。

40

【 0 0 2 8 】

この本発明によるフォトニック結晶導波路のフォトニックバンド構造の測定方法およびその装置は、フォトニック結晶導波路の面内の光分散関係を正確に測定することができるものであるが、こうした本発明によるフォトニック結晶導波路のフォトニックバンド構造の測定方法およびその装置の有効性を示すために、以下においては、本発明によるフォトニック結晶導波路のフォトニックバンド構造の測定方法およびその装置により、非線形光学ポリマー 2 次元フォトニック結晶導波路を測定する場合を例にして説明する。

50

【 0 0 2 9 】

まず、図 1 には、測定対象となる非線形光学ポリマー 2 次元フォトニック結晶導波路（以下、単に「2 次元フォトニック結晶導波路」と適宜に称する。）の概念構成断面斜視説明図が示されている。

【 0 0 3 0 】

この 2 次元フォトニック結晶導波路 1 0 0 は、非線形光学材料層としての DR 1 / PMMA よりなる非線形光学ポリマー層 1 0 2 と、周期的屈折率変調層としての PMMA よりなる 2 次元フォトニック結晶層 1 0 4 とを、エッチストップ層 1 0 6 を介して上下に積層し、構造的には分離しているが、光モード的には結合した導波コア構造を備えている。

10

【 0 0 3 1 】

こうした 2 次元フォトニック結晶導波路 1 0 0 の構造は、例えば、非特許文献 2 に開示されており、非線形光学ポリマー層 1 0 2 に対する、プロセス上のダメージを軽減、回避することができるとともに、また導波時の無駄な散乱ロスも減らすことができるものである。なお、符号 1 0 8 は Si 基板を示し、符号 1 1 0 は Ag よりなる金属クラッド層を示している。

【 0 0 3 2 】

また、この 2 次元フォトニック結晶導波路 1 0 0 の構造においては、非線形材料に対して加工を行うことはないので、非線形材料として LiNbO_3 などの加工性の良くない材料も容易に用いることができる。

20

【 0 0 3 3 】

こうした 2 次元フォトニック結晶導波路 1 0 0 の作製方法の概要について説明すると、まず、洗浄した Si 基板 1 0 8 上に Ag よりなる金属クラッド層 1 1 0 を厚さ 5 0 0 nm に達するまで真空蒸着し、その上に非線形光学ポリマー層 1 0 2 としてモノクロロベンゼン溶液中に溶解させた DR 1 / PMMA を、スピコートにより厚さ 1 5 0 ~ 3 0 0 nm にスピコートし、その後 1 2 0 ~ 2 0 0 でベーキングする。

【 0 0 3 4 】

次に、非線形光学ポリマー層 1 0 2 の上に、保護膜として SOG を非常に薄く（厚さ 2 0 ~ 1 0 0 nm）スピコートした後に 1 2 0 ~ 3 0 0 でベーキングしてエッチトップ層 1 0 6 を形成し、さらに、周期的屈折率変調層たる 2 次元フォトニック結晶層 1 0 4 と

30

【 0 0 3 5 】

さらに、ドライエッチング用ハードマスクとして SOG（主に、 SiO_2 である。）を厚さ 1 5 0 ~ 3 0 0 nm にスピコートし、その後 1 2 0 ~ 3 0 0 でベーキングする。

【 0 0 3 6 】

さらにまた、ドライエッチング用ハードマスクの上に EBレジストを厚さ 5 0 ~ 3 0 0 nm にスピコートし、その後 1 2 0 ~ 1 8 0 でベーキングする。

【 0 0 3 7 】

次に、EBリソグラフィーにより、導波路上にフォトニック結晶パターン（本実施の形態では、周期 6 0 0 nm 程度である。）を加工し、フッ素系反応ガスを用いたドライエッチングによりハードマスクにパターン転写する。

40

【 0 0 3 8 】

次に、 O_2 / Ar 反応ガス（ O_2 の濃度は 1 0 ~ 5 0 % であり、全圧は 0 . 1 5 ~ 0 . 5 Pa である。）を用いたドライエッチングにより、PMMA に高精度にフォトニック結晶構造の加工を行う。

【 0 0 3 9 】

最後に、必要に応じてフッ酸によりマスク除去を行い、非線形光学材料層たる非線形光学ポリマー層 1 0 2 と周期的屈折率変調層たる 2 次元フォトニック結晶層 1 0 4 とを分離

50

した、2層コアを有する非線形光学ポリマー2次元フォトリック結晶導波路100が完成する。

【0040】

次に、本発明によるフォトリック結晶導波路のフォトリックバンド構造の測定方法およびその装置により、2次元フォトリック結晶導波路100中の光分散関係たるフォトリックバンド構造を測定する場合について詳細に説明する。

【0041】

ここで、図2は、本発明によるフォトリック結晶導波路のフォトリックバンド構造の測定方法を示す説明図であり、2次元フォトリック結晶導波路100中の光分散関係たるフォトリックバンド構造を測定する場合を示している。

10

【0042】

即ち、本発明によるフォトリック結晶導波路のフォトリックバンド構造の測定方法は、2次元フォトリック結晶導波路100の2次元フォトリック結晶層104上に、2次元フォトリック結晶層104と所定の間隙gを設けるようにして底部10aを対向させてプリズム(この実施の形態においては、三角プリズムである。)10を配置し、このプリズム10を介して2次元フォトリック結晶導波路100の2次元フォトリック結晶層104へ向けて入射ビームを入射するようにしたものである。なお、間隙gには、外部媒質として空気が存在しているものとする。

【0043】

20

ここで、入射ビームとしては、例えば、レーザー光または平行化された白色光ビームを用いればよい。また、偏光は、光学系素子によりあらかじめ水平偏光(TE: Transverse Electric field)もしくは垂直偏光(TM: Transverse Magnetic field)の直線偏光に制御しておく。これにより、水平偏光および垂直偏光のそれぞれの光分散関係を決定することができる。

【0044】

なお、2次元フォトリック結晶導波路100の2次元フォトリック結晶層104が小さい場合には、長焦点集光レンズにより入射ビームを集光して顕微測定する。

【0045】

そして、プリズム10を介して2次元フォトリック結晶導波路100の2次元フォトリック結晶層104へ向けて入射ビームを入射することになるが、その際に、入射ビームがプリズム10に入った後にプリズム10の底部10aに入射角度が全反射角以上(プリズム10の外部媒質が空気であれば、「 $n_p \sin > 1.0$ 」である。ただし、 n_p は、プリズム10の屈折率である。)を満たす角度で入射するように制御する。

30

【0046】

即ち、入射ビームはプリズム10に入った後にプリズム10の底部10aに当たり、その入射角度が全反射角以上を満たす角度であれば、プリズム10の底部10aで全反射されて前記プリズム10から出射されることになり、このプリズム10から出射される出射ビームに基づいてフォトリックバンド構造を測定することになる。より詳細には、この出射ビームを光検出器(図示せず。)で検出して反射率としてモニターし、それを公知の技術で解析することによりフォトリックバンド構造の測定を行うものである。

40

【0047】

なお、光検出器は、例えば、入射ビームがレーザー光であれば、フォトダイオードやフォトマルチプライヤーのようなものを用いればよい。また、入射ビームが白色光であれば、分光器およびCCD検出器により光検出器を構成し、出射ビームを一括して検知するのが便利である。勿論、入射ビームを予めモノクロメーターにより分光してから、プリズム10へ入射して、その出射ビームを検出するようにしても良い。

【0048】

ここで、入射ビームがプリズム10の底面10aで全反射する際に、間隙gには実際は

50

エバネッセント波が浸み出している。このとき、間隙 g が十分に狭く（間隙 g は、一般的には、 100 nm から数 $\mu\text{ m}$ 程度とすることが好ましい。）、かつ、隣接した 2 次元フォトニック結晶導波路 100 内の導波モードの周波数および波数と入射ビームの導波路面内進行方向の波数および周波数が一致するような、入射角度、光周波数であれば、外部入射光とフォトニック結晶内の導波モードとが結合し、導波モードが励起され光パワーが導波路面内に移行する。

【0049】

このとき角度を走査して測定すれば、周波数、波数の両者が一致し結合した共鳴角度を反射率の急激な落ち込みとして検知できる。その理由は、それ以外の角度は全反射されるからである。

10

【0050】

従って、入射ビームの入射角および結晶対称軸に対する面内ビーム進行角をそれぞれ走査し、また入射ビームの周波数を変えたり、あるいは白色光を用いて光周波数に関しても走査することにより、スペクトルに現れる共鳴ピークの周波数および波数シフトから、フォトニックバンド分散曲線を全ての周波数領域および波数領域において追跡することができる。

【0051】

通常、入射ビームのフォトニック結晶導波路面内進行方向の波数は、ライトラインを越えて、ライトラインの下側の領域にとどくことは不可能であるが、プリズム 10 の全反射を利用することで、実効的なライトラインを

20

$$= c k / n_p \quad n_p \text{ はプリズムの屈折率である。}$$

【0052】

まで押し下げることにより、ライトライン ($= c k$) 以下の領域に至るまで測定可能になる。

【0053】

このため、プリズム 10 は、屈折率の高いものを使用したほうが、測定可能領域は広がるため好ましい。プリズム 10 としては、より具体的には、透明性が高くで屈折率が高い、高屈折率ガラス、ルチルなどの光学結晶、半導体材料プリズムなどが好ましいが、如何なる材料のプリズムでも使用可能であることは勿論である。

【0054】

プリズム 10 については、測定対象の 2 次元フォトニック結晶導波路の屈折率および測定波長の透過性により、そのつど決定するのが良い。

30

【0055】

ここで、上記した本発明によるフォトニック結晶導波路のフォトニックバンド構造の測定方法を実施するための装置、即ち、本発明によるフォトニック結晶導波路のフォトニックバンド構造の測定装置（以下、単に「本発明装置」と適宜に称する。）20 について説明する。

【0056】

本発明装置 20 において、プリズム 10 と 2 次元フォトニック結晶導波路 100 の 2 次元フォトニック結晶層 104 との間の間隙 g の大きさの調整は、良好な結合を得るために重要である。本発明装置 20 は、図 3 の概念構成説明図に示すように、その微調整のための機構を備えている。

40

【0057】

以下、図 3 を参照しながら本発明装置 20 について説明すると、本発明装置 20 は、プリズム 10 を固定するプリズム固定機構 22 と、プリズム 10 に 2 次元フォトニック結晶層 104 を対向させて 2 次元フォトニック結晶導波路 100 を固定する試料固定機構 24 と、試料固定機構 24 をマイクロメーターによる微動機構もしくはガス圧を用いた圧力調整機構により直交座標系の $X Y Z$ 方向へ微動することにより 2 次元フォトニック結晶導波路 100 の位置を微調整する第 1 $X Y Z$ 微動機構 26 と、丸みを帯びたヘッド部 28 をマ

50

マイクロメーターによる微動機構もしくはガス圧を用いた圧力調整機構により微動して当該ヘッド部 28 を 2 次元フォトニック結晶導波路 100 の Si 基板 108 へ押しつけるための基板方向微動機構 30 と、基板方向微動機構 30 をマイクロメーターによる微動機構もしくはガス圧を用いた圧力調整機構により直交座標系の XYZ 方向へ微動することによりヘッド部 28 の位置を微調整する第 2 XYZ 微動機構 32 と、プリズム 10 と 2 次元フォトニック結晶導波路 100 の 2 次元フォトニック結晶層 104 とを 回転方向へ相対的に微動する 回転機構 34 と、 回転機構 34 を含み本発明装置 20 の全体の系をマイクロメーターによる微動機構もしくはガス圧を用いた圧力調整機構により直交座標系の XYZ 方向へ微動する第 3 XYZ 微動機構 36 とを有して構成されている。

【0058】

10

なお、プリズム 10 へ入射ビームを入射する光源やプリズム 10 からの出射ビームを検出する光検出手段については、本発明装置 20 の付属装置として一体的に構成してもよいし、あるいは、本発明装置 20 とは独立した装置として構成してもよい。

【0059】

以上の構成において、丸みを帯びたヘッド部 28 を基板方向微動機構 30 および第 2 XYZ 微動機構 32 により移動させて、ヘッド部 28 を 2 次元フォトニック結晶導波路 100 の Si 基板 108 に押し付ける。

【0060】

この際に、プリズム 10 とフォトニック結晶導波路 100 の 2 次元フォトニック結晶層 104 の表面とを十分に平坦かつクリーンに保って置くことが重要である。視認により粗調整はできるが、最終的にはスペクトルを観測することにより最適な間隙 g の間隔を調整する。

20

【0061】

また、ヘッド部 28 を 2 次元フォトニック結晶導波路 100 の Si 基板 108 に強く強く押し付けすぎると、オーバーカップルによりモード位置が変質するため注意が必要である。

【0062】

この本発明装置 20 によれば、 回転機構 34 を備えることにより、入射ビームの入射角度を走査することが可能である。また、 回転機構 34 を備えることで、入射ビームの導波路面内進行方向のフォトニック結晶格子に対する進行角を走査することも可能である。

30

【0063】

また、本発明装置 20 によれば、基板方向微動機構 30、第 1 XYZ 微動機構 26、第 2 XYZ 微動機構 32、第 3 XYZ 微動機構 36 を備えているので、ヘッド部 28 の位置や、2 次元フォトニック結晶導波路 100 の位置を微調整することが可能であり、光カップリングポイントとフォトニック結晶パターン位置との位置合わせを微調整しながら行うことができ、フォトニック結晶領域が微小でも測定可能となる。

【0064】

40

本発明によるフォトニック結晶導波路のフォトニックバンド構造の測定方法および本発明装置 20 を用いて、上記した 2 次元フォトニック結晶導波路 100 に対して、測定した反射スペクトルの入射角度依存性が図 4 に示されている。

【0065】

この実施の形態においては、入射ビームの光源として、波長 838 nm ならびに波長 1549 nm の半導体レーザーダイオードを用いた。

【0066】

図 4 からは、特定の入射角度領域において、非常に鋭い反射率の落ち込みが生じていることが分かる。これは、この共鳴角度において面内 2 次元フォトニックバンドモードと入射ビームとが結合したことを意味しており、この共鳴ピーク位置より、素子のフォトニッ

50

クバンド構造を実験的に決定できる。

【0067】

図4のスペクトルから得られた実験的なフォトニックバンド構造を、図5に示す。図5のフォトニックバンド構造中のA、B、C点が、図4の共鳴点A、B、Cにそれぞれ対応している。

【0068】

図5のフォトニックバンド構造図中には、3次元FDTD法により計算した理論的フォトニックバンド構造も併せてプロットしているが、得られた実験値が極めて正確であることが分かる。これは、本発明による測定の高さと2次元フォトニック結晶導波路100の作製精度の高さを裏付けている。

10

【0069】

この実施の形態において、入射ビームとして波長838nmおよび1549nmの半導体レーザー光を使用した例を示したため、縦軸のエネルギー方向に関しては飛び飛びの値になっているが、入射光として白色光を用いればより連続的なバンド分散を得ることが全く同様の手法において可能である。また、図5のフォトニックバンド構造図のC点は、完全な導波モードである。

【0070】

従って、本発明による手法を用いることにより、2次元フォトニック結晶導波路構造中の導波モードのバンド分散特性、即ち、フォトニックバンド構造を正確に検知、測定することができた。

20

【0071】

なお、この本発明による手法は、フォトニック結晶導波路に欠陥を導入した際に形成される欠陥バンドモードの分散関係を測定することも可能であり、この欠陥モードは現在、欠陥導波路など様々な光機能素子に應用されていることから、その意義は大きい。

【0072】

また、導波モードの分散関係を正確に外部から検知できることは、光非線形素子においても大変重要な意味を持っている。導波モードは、外部に光が漏洩せず、長い寿命を持ち、光損失が少なく光を導波することができるため、当然、長い相互作用長を必要とする非線形素子では最も利用性が高い。導波モードの分散関係を正確に知ることができれば、波長変換過程などにおける位相整合条件をあらかじめ正確に設計することが可能となり、素子開発の工程上極めて有用である。また、フォトニック結晶導波路を用いた光非線形素子では群速度の低下を利用して電場強度を実効的に増大させることが重要であるが、本発明により、そのような低群速度領域をあらかじめ正確に検知しておくことが可能となる。

30

【0073】

このように2次元フォトニック結晶導波路の導波モードに対する光分散関係たるフォトニックバンド構造を実験的に外部から直接観測する技術を比較的簡便な手法により提供する本発明は、光素子応用上、極めて重要であり、これによりフォトニック結晶導波路を用いる各種の光素子の応用性、制御性が飛躍的に向上することができる。

【0074】

40

なお、上記した実施の形態は、以下の(1)乃至(3)に示すように変形することができるものである。

【0075】

(1)上記した実施の形態においては、フォトニック結晶導波路として、2次元フォトニック結晶導波路、より詳細には、非線形光学ポリマー2次元フォトニック結晶導波路を測定する場合について説明したが、測定対象はこれに限られるものではないことは勿論であり、例えば、1次元フォトニック結晶導波路や3次元フォトニック結晶導波路などを含め、フォトニック結晶導波路であれば如何なる構造のものや、あるいは、如何なる作製方法で作製されたものも測定することができる。

50

【 0 0 7 6 】

(2) 上記した実施の形態においては、間隙 g に存在する外部媒質を空気としたが、これに限られるものではないことは勿論であり、各種の気体などを外部媒質として用いることができる。

【 0 0 7 7 】

(3) 上記した実施の形態ならびに上記した (1) 乃至 (2) に示す変形例は、適宜に組み合わせるようにしてもよい。

【産業上の利用可能性】

【 0 0 7 8 】

本発明は、例えば、光導波素子、光結合分波素子、レーザー素子、発光素子、光分散を利用した素子、スーパープリズム素子、スーパーコリメート素子、レンズ機能素子、負屈折素子、偏光性素子、波長変換素子、高調波発生素子、和周波・差周波発生素子、光パラメトリック増幅素子、誘導ラマン散乱素子、四波混合素子、小型レーザー光源、光スイッチ素子、光双安定素子、光論理演算素子、光変調素子あるいは位相共役光発生素子などのフォトニック結晶導波路を用いた全ての光素子の最適化設計に利用することができる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 7 9 】

【図 1】図 1 は、測定対象となる非線形光学ポリマー 2 次元フォトニック結晶導波路の概念構成断面斜視説明図である。

【図 2】図 2 は、本発明によるフォトニック結晶導波路のフォトニックバンド構造の測定方法を示す説明図である。

【図 3】図 3 は、本発明によるフォトニック結晶導波路のフォトニックバンド構造の測定装置の概念構成説明図である。

【図 4】図 4 は、本発明によるフォトニック結晶導波路のフォトニックバンド構造の測定方法および本発明によるフォトニック結晶導波路のフォトニックバンド構造の測定装置を用いて、2次元フォトニック結晶導波路に対して測定した反射スペクトルの入射角度依存性を示すグラフである。

【 0 0 8 0 】

が図 4 に示されている。

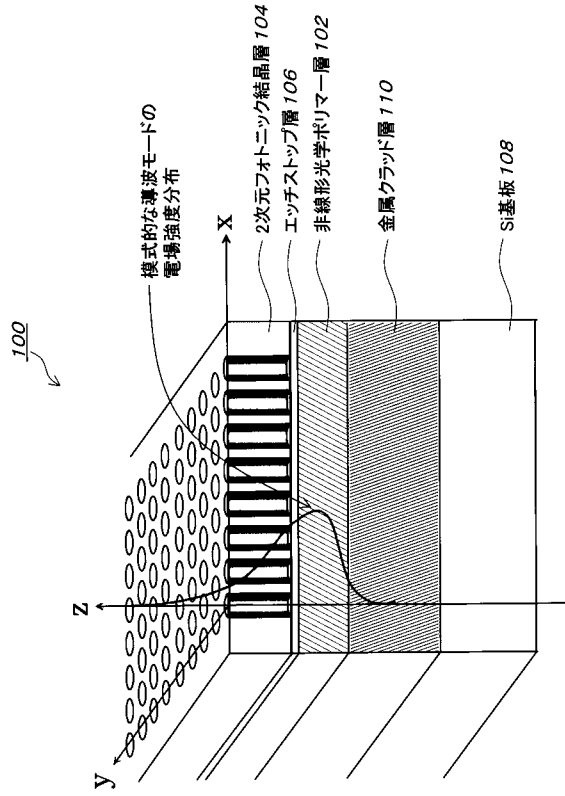
【図 5】図 5 は、図 4 のスペクトルから得られた実験的なフォトニックバンド構造を示すグラフである。

【符号の説明】

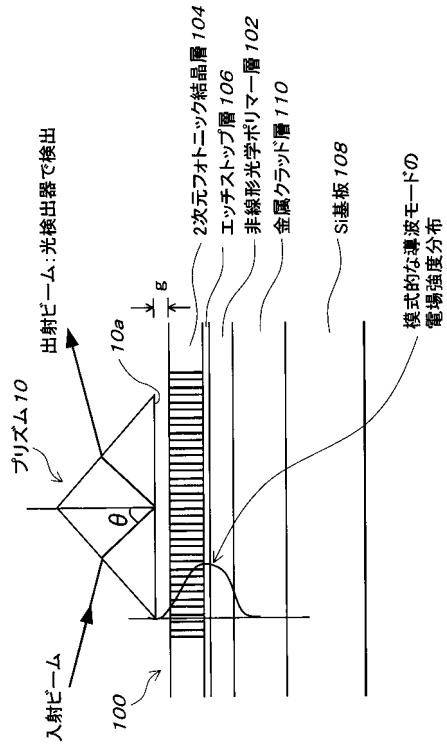
【 0 0 8 1 】

1 0	プリズム	
1 0 a	底部	
2 0	フォトニック結晶導波路のフォトニックバンド構造の測定装置	
2 2	プリズム固定機構	
2 4	試料固定機構	
2 6	第 1 X Y Z 微動機構	
2 8	ヘッド部	40
3 0	基板方向微動機構	
3 2	第 2 X Y Z 微動機構	
3 4	回転機構	
3 6	第 3 X Y Z 微動機構	
1 0 0	2 次元フォトニック結晶導波路	
1 0 2	非線形光学ポリマー層	
1 0 4	2 次元フォトニック結晶層	
1 0 6	エッチストップ層	
1 0 8	S i 基板	
1 1 0	金属クラッド層	50

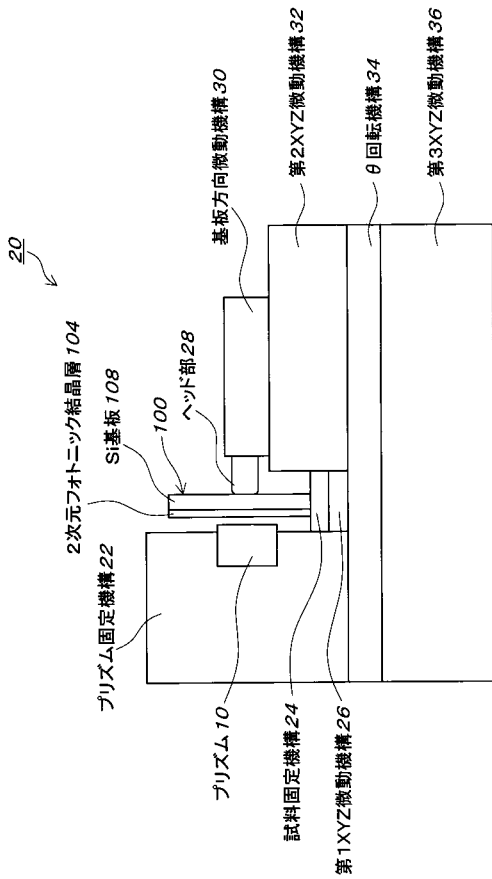
【図1】



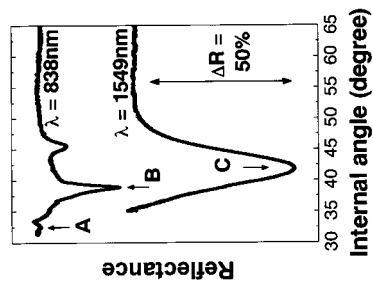
【図2】



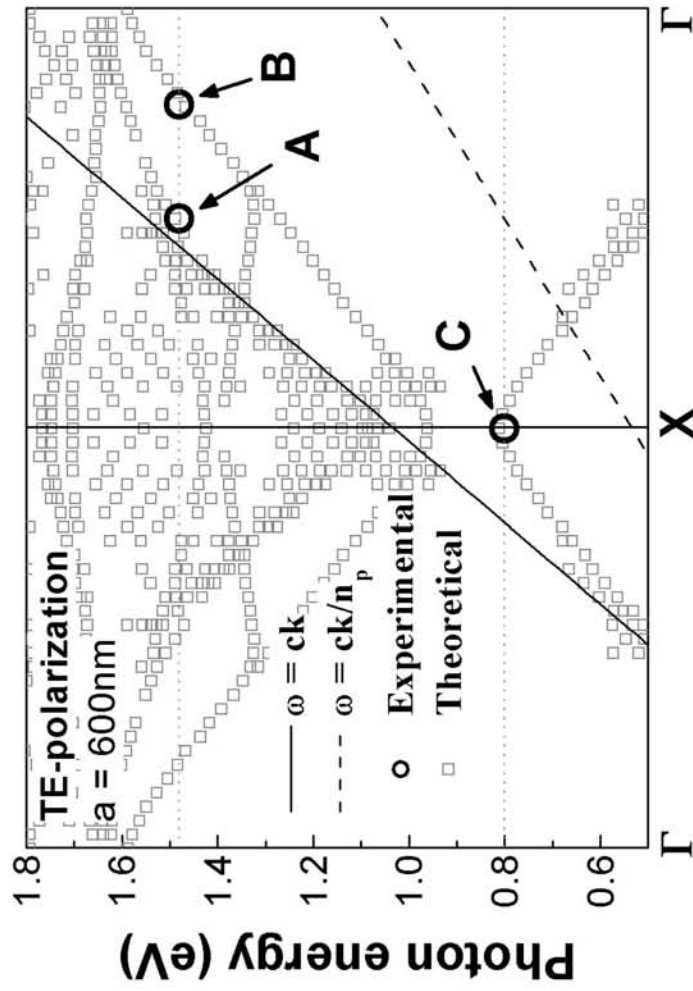
【図3】



【図4】



【 図 5 】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2004-133429(JP,A)
特開平05-149826(JP,A)
特開昭64-006735(JP,A)
特表2003-533691(JP,A)
特表2004-530105(JP,A)
特開2004-340797(JP,A)
特開平06-180886(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01M 11/00 - 11/08

G01N 21/00 - 21/61

G02B 6/12

JSTPlus/JMEDPlus/JST7580(JDreamII)