(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2008-216252
(P2008-216252A)
(43)公開日　平成20年9月18日(2008.9.18)

(51)Int.Cl.		F I		テーマコード（参考）
G01N 21/27	(2006.01)	G01N 21/27	C	2G059

審査請求 未請求　請求項の数 3　ＯＬ　外国語出願　（全 15 頁）

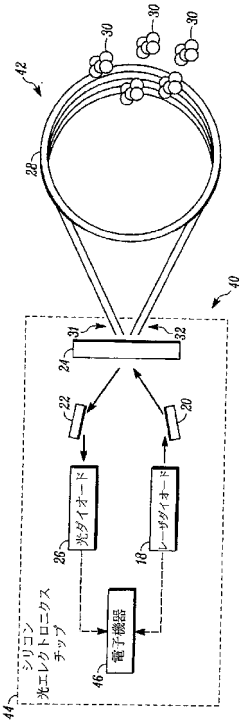
(21)出願番号　特願2008-52082(P2008-52082)
(22)出願日　平成20年3月3日(2008.3.3)
(31)優先権主張番号　11/713,237
(32)優先日　平成19年3月2日(2007.3.2)
(33)優先権主張国　米国(US)

(71)出願人　500575824
ハネウェル・インターナショナル・インコーポレーテッド
アメリカ合衆国ニュージャージー州０７９６２－２２４５，モーリスタウン，コロンビア・ロード　１０１，ピー・オー・ボックス　２２４５
(74)代理人　100089705
弁理士　社本　一夫
(74)代理人　100140109
弁理士　小野　新次郎
(74)代理人　100075270
弁理士　小林　泰
(74)代理人　100080137
弁理士　千葉　昭男

最終頁に続く

(54)【発明の名称】共振化学的および生物学的感知のための装置および方法

(57)【要約】
【課題】化学的／生物学的作用物質について感知する装置および方法を提供する。
【解決手段】感知装置は、共振周波数を有する共振器を含む。共振器は、フォトニック結晶ファイバーのコイルを含む。フォトニック結晶ファイバーは、エバネセントテイルを有する実質的に単一光モードの光を誘導するように構成された固体領域と、固体領域の外側を取り囲んだ第１のクラッディングと、第１のクラッディングをコーティングしたポリマーとを有する。ポリマーは、埋め込まれた表示物質を有する。第１のクラッディングおよびポリマーは、ポリマー内に、エバネセントテイルの一部分が及ぶ（広がる）ように、一緒になって構成されている。共振器は、共振周波数に中心がある共振形を生成するように構成されている。共振形または自由スペクトル領域の所定の変化は、作用物質に対する表示物質の反応を示す。
【選択図】図５



【特許請求の範囲】
【請求項１】
環境下で作用物質を感知するための装置であって、
前記装置は、共振周波数を有し、フォトニック結晶ファイバー（１０）を備えた共振器（４２）を含み、
前記フォトニック結晶ファイバー（１０）は、
実質的に単一光モードの光を誘導するように構成された固体領域であって、前記実質的に単一光モードがエバネセントテイル（１７）を有する、固体領域と；
第１の周期的空孔構造を備え、前記固体領域の外側を取り囲んだ、第１のクラッディング（１４）と；
前記第１のクラッディング（１４）をコーティングしたポリマー（１６）とを有し、前記ポリマー（１６）が、少なくとも部分的に多孔性であり、埋め込まれた表示物質を有し、前記第１のクラッディング（１４）および前記ポリマー（１６）は、前記第１のクラッディング（１４）および前記ポリマー（１６）内に、前記エバネセントテイル（１７）の一部分が及ぶように、一緒になって構成されており；
ここで、前記共振器（４２）は、共振周波数に中心がある共振形を生成するように構成されており、前記共振形の所定の変化が前記作用物質に対する前記埋め込まれた表示物質の反応を示す、前記装置。
【請求項２】
環境下で作用物質を感知するための装置であって、
前記装置は、入力光をもたらす調整可能な光源（１８）と、
共振周波数を有し、フォトニック結晶ファイバー（１０）を備えたコイル（２８）を含む共振器（４２）とを備え、
前記フォトニック結晶ファイバー（１０）は、
実質的に単一光モードの光を誘導するように構成されている固体領域であって、前記実質的に単一光モードがエバネセントテイル（１７）を有する、固体領域と；
前記固体領域を取り囲み、フォトニック結晶構造を含有する第１のクラッディング（１４）と；
前記第１のクラッディング（１４）をコーティングしたポリマー（１６）とを有し、前記ポリマー（１６）が、少なくとも部分的に多孔性であり、埋め込まれた表示物質を有し、前記第１のクラッディング（１４）および前記第１のポリマー（１６）は、前記第１のクラッディング（１４）および前記ポリマー（１６）内に、前記エバネセントテイル（１７）の一部分が及ぶように、一緒になって構成されており；
ここで、前記共振器（４２）は、調整可能な光源（１８）が前記共振周波数の周りの領域を通じて調整されるとき、前記共振周波数に中心がある共振形を生成し、前記共振形の少なくとも１つおよび自由スペクトル領域における所定の変化が、前記作用物質に対する前記埋め込まれた表示物質の反応を示す、前記装置。
【請求項３】
環境下で、作用物質を感知するための方法であって、
前記方法は、フォトニック結晶ファイバー（１０）のコイル（２８）を通じて単一光モード内の光波を伝播するステップであって、ここで、前記フォトニック結晶ファイバーの（１０）コイル（２８）が、固体領域と、前記固体領域を取り囲んだクラッディング（１４）と、前記クラッディング（１４）をコーティングしたポリマー（１６）とを含み、前記ポリマー（１６）がその中に組み込まれた表示物質を有しており；
前記光波が前記フォトニック結晶ファイバー（１０）のコイル（２８）を循環している前記単一光モードから共振形を生成するステップ；および
前記共振形の所定の変化を検出するステップであって、ここで、前記所定の変化が前記作用物質に対する前記表示物質の反応を示す；
以上のステップを含む方法。
【発明の詳細な説明】

【技術分野】
【０００１】
本発明は、概して、環境感知に関し、より詳細には、特定分子の存在を検出（検知）するための光学的装置および方法に関する。
【背景技術】
【０００２】
近年、国家防衛および国民に対する脅威の検知に、より一層の重要性が置かれている。特に、この環境下、望ましくない化学的または生物学的物質の存在を検出し、または感知することは優先事項になってきており、様々な検出デバイスがそれに応じて開発されている。化学的センサーとしての一つの可能な具現化は、ガラスコアおよびそのコアを取り囲んだクラッディングを有する多重モードの光ファイバーを使用するセンサーである。クラッディングまたはクラッディング上のコーティングは、検出されるべき所定の物質の存在下で変化する光学特性を有する。光が、光ファイバーのコアを通じて伝送されるとき、光の光学特性は、検出されるべき物質と相互作用するクラッディングまたはコーティングの光学特性の変化を基準にして変わる。多重モードのファイバーのいくつかの利点は、コアが十分な構造的完全性を有する直径を有し、化学的に高感度のポリマーによりコーティング可能であることである。いくつかのコア誘導による光は、このポリマーと相互作用することが可能である。
【０００３】
共振器は、多重パスのための光ファイバーのループの周囲に光を循環させるための化学的センサーに具現化されている。周期的な一連の共振線形が作成され、それぞれは、通常の状態で、共振周波数の周りに中心があるピークを有し、共振線形は、それと関連するフィネス（finesse）を有する。同一モードの共振周波数間の周波数分離の周波数周期は、共振器の自由スペクトル領域である。本明細書に使用されるとき、用語「フィネス」は、個々の共振線形の線幅に対する自由スペクトル領域の比率に基づく関係（例えば、鋭さ）を示す。共振線形の線幅は、共振線形の最大ピークの半値での周波数幅である。加えて、フィネスは、光が再現性を有する光ループ内で再循環する回数に関係し、したがって、本質的には、共振器の往復損失に関係している。より高い損失は、一般的に、より低いフィネスをもたらす。光を多重モード光ファイバー内に結合し、共振器を通じて多重循環するため、その光自体を再現する単一の空間モード内にその光を維持することは、一般的には困難である。例えば、光ファイバーの長さに沿う摂動（例えば、不完全性、幾何学的歪など）により、通常は、多重モードのファイバー内で、単一のファイバー空間モードの往復再現性が低下し、したがってフィネスが低下する。別の空間モードの共振はまた、励起される可能性があり、それにより、通常、対象とする測定に誤差（エラー）が生じる。後者の場合、単一の安定な共振に基づくことが可能である共振の複雑な構造が、測定での不安定性および誤差（エラー）を生じることを観測することができる。それぞれの空間モードは、２つの偏光モードと関連付けることができ、それはスペクトルにおける共振の数を倍加する。
【０００４】
単一モードの光ファイバーを使用して、単一の空間モードのファイバーが共振器の共振モードを支持することを確実にすることにより、共振器の共振特性を著しく向上させることが可能である。例えば、この単一の空間モードは、１つの偏光状態が共振器内で共振していることを条件とする唯一の共振モードである。ファイバーの複数の空間モード間で共有するパワーによって生み出される不安定性、および複数の共振器モードの存在によってもたらされる誤差（エラー）は、したがって、実質的に取り除かれる。フィネス、共振の線幅、および自由スペクトル領域の測定は、これらがファイバーの単一の空間モード内を移動する光についての、および単一の共振線形についての損失と、経路長とに関するので、通常は、特異的である。化学的に高感度のファイバーを形成するためには、光は、ポリマーと相互作用しなくてはならない。透過性で、化学的に高感度のポリマーのクラッディングを、通常の単一モードのファイバーのコア上に直接載せることは、コアがあまりにも

小さい（例えば、約５～１０μｍ）ので、一般的には、非現実的である。この種の小さいガラスの直径により、通常、より大きい化学的な高感度の多重モードの光ファイバーと関連する機械的強度が、このような小さいコアでは概して欠けることになる。単一モードの光ファイバーのコアの周囲に、比較的柔軟なクラッディングまたはコーティングを適用することもまた、実際には困難である。コアとポリマーコーディングとの間に、中間のガラスクラッディングを加えることは、感知（検出）を妨げやすくするであろう。

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【０００５】

したがって、ファイバーの単一の空間モード内で移動する光と対応する、高フィネスおよび安定共振構造を有する、化学的および／または生物学的作用物質の存在を検出するための共振器ベースのセンサーを提供することが望ましい。加えて、単一モードのファイバーを使用して、化学的および／または生物学的作用物質の存在を検出するための共振器ベースのセンサーを提供することが望ましい。さらには、本発明の別の望ましい特徴および特性は、次に続く本発明の詳細な記述および添付の請求項によって明らかになり、それは添付の図面および本発明のこの背景と一緒に理解される。

【課題を解決するための手段】

【０００６】

環境下で１つまたは複数の作用物質を感知（検出）するための装置および方法が提供される。一例示的実施形態では、環境下で作用物質を検出するための装置が、共振周波数を有する共振器を含み、コイルを含んだものとして提供される。コイルは、フォトニック結晶ファイバーを含む。フォトニック結晶ファイバーは、実質的に単一光モードの光を誘導するように構成された固体領域と、固体領域の外側を取り囲んだ第１のクラッディングと、第１のクラッディングをコーティングしたポリマーとを含む。実質的に単一の光モードは、エバネセントテイル（evanescent tail）を有する。ポリマーは、少なくとも部分的に多孔性であり、埋め込まれた表示物質を有する。第１のクラッディングおよびポリマーは、第１のクラッディングおよびポリマー内に、エバネセントテイルの一部分が及ぶように、一緒になって構成されている。共振器は、共振周波数に中心がある共振形を生成するように構成されており、共振形の所定の変化は、作用物質に対する表示物質の反応を示す。

【０００７】

別の例示的実施形態では、環境下で作用物質を感知するための装置が、調節可能な光源、および共振周波数を有する共振器を含み、コイルを含んだものとして提供される。調整可能な光源は、入力光をもたらす。コイルは、フォトニック結晶ファイバーを含む。フォトニック結晶ファイバーは、実質的に単一光モードの光を誘導するように構成されている固定領域と、固定領域を取り囲んだ第１のクラッディングと、第１のクラッディングをコーティングしたポリマーとを含む。この実質的に単一の光モードは、エバネセントテイル（evanescent tail）を有する。ポリマーコーティングは、少なくとも部分的に多孔性であり、第１のクラッディングはフォトニック結晶構造を含む。ポリマーは、埋め込まれた表示物質を有し、第１のクラッディングおよびポリマーは、第１のクラッディングおよびポリマー内に、エバネセントテイルの一部分が及ぶように、一緒になって構成されている。共振器は、調整可能な光源が共振周波数の周りの領域を通じて調整されるとき、共振周波数に中心がある共振形を生成し、共振形または自由スペクトル領域の所定の変化は、作用物質に対する表示物質の反応を示す。

【０００８】

別の例示的実施形態では、環境下で作用物質を感知するための方法が、フォトニック結晶ファイバーコイルを通じて単一光モード内の光波を伝播するステップと、光波がフォトニック結晶ファイバーコイルを循環している単一光モードから共振形を生成するステップと、共振形の所定の変化を検出するステップとを含む方法として提供される。フォトニック結晶ファイバーコイルは、コーティングおよび作用物質と反応するように構成されてい

る、コーティング内に組み込まれた表示物質を有する。所定の変化は、その環境下で第１の作用物質の存在を示すことになる。

本発明を、以下の作図と併用して後述し、同様の数字は同様の要素を示す。

【発明を実施するための最良の形態】

【０００９】

本発明の以下の詳細な記述は、本来は、単に例示的なものに過ぎず、本発明または本発明の適用および使用を限定することを意図していない。さらには、本発明の前述の背景または本発明の以下の詳細な記述において示される理論によって、制約される意図は全くない。

【００１０】

環境下で１つまたは複数の化学的／生物学的作用物質を感知するための、装置および方法が提供される。概して、装置は、フォトニック結晶ファイバーの光ファイバーコイルを有する共振器を含む。ファイバーは、空間的に大きい（例えば、共振器に供給される光の波長の約７倍から約３０倍）、実質的に単一光モードの光を誘導することが可能であり、実質的に単一光モードの光を誘導するための固体領域、固体領域を取り囲んだフォトニック結晶構造（例えば、周期的空孔構造）を有するクラッディング、およびクラッディングをコーティングするポリマーを含むが、必ずしもこれらに限定されない。ファイバーはまた、単一の偏光モードを誘導するようにも構成可能である。ポリマーは、検出されるべき所望の作用物質に対して少なくとも半透過性（例えば、少なくとも部分的に多孔性）であり、このような作用物質に反応するように、その中に埋め込まれた表示物質を有する。

【００１１】

（例えば、光源からの）入力光ビームが共振器に供給され、入力光ビームが１つの方向（例えば、リング共振器の場合では、光ファイバーコイルの時計回りまたは反時計回りの方向）に共振器の共振周波数の領域を通じて調整された場合、共振線形が、共振器を循環する光によって感知される共振周波数の領域内に生成される。環境から検出されるべき作用物質が存在しないときは、共振線形は、共振器内で循環する光の低い往復のエネルギー損失に対応した、狭いプロファイルを有する。加えて、単一の空間モードの伝播を支持するフォトニック結晶ファイバーを使用することにより、共振構造の安定性が向上し、多重モードのファイバーと典型的に関連付けられる別の共振線形は取り除かれ、それにより、安定した、高フィネス線形を有する共振器における正確な線形測定をするための機会がもたらされる。

【００１２】

光ファイバーコイルの環境内に存在する化学的／生物学的作用物質により、表示物質は、この作用物質と反応し、その結果として、光ファイバーコイル内で循環する光の一部分が、散乱され、または吸収される。通常、狭い共振線形は、より広く、より浅いプロファイルに変化する。共振線形のこの変化は、散乱光または吸収光からもたらされる、より大きなエネルギー損失を表し、したがって、化学的／生物学的作用物質の存在を示す。

【００１３】

次に、図面を参照すると、図１は、例示的実施形態による、化学的感知のための、大きいモード（例えば、従来の単一モードのファイバーのモードフィールドのサイズの約１０倍（１０×）のモード）の、単一モードの、フォトニック結晶ファイバー１０の斜視図である。図２は、線Ａ－Ａに沿って引かれた図１に示したファイバー１０の断面図である。ファイバー１０は、ガラスまたはシリカベースのコア１２、コア１２を取り囲んだ少なくとも部分的に多孔性の（例えば、孔隙が埋め込まれている）クラッディング１４、およびクラッディング１４の周囲にコーティングされた所定の指数を有するポリマー１６を含む。ファイバー１０は、単一光モードの光を誘導するように構造化され、この光モードは空間的に大きい。ポリマー１６は、クラッディング１４の屈折指数（屈折率）に比べて、より低い屈折指数（屈折率）を有するように選択することができ、クラッディングの厚さは、コア１２を移動する光モードのエバネセントテイルの一部分が、クラッディング１４を通じて、およびポリマー１６内に広がる（及ぶ）ように選択することができる。

【００１４】
いくつかの従来の単一モードのファイバーでは、固体ガラスコアは、通常、クラッディング１４に比べてより厚いクラッディングによって取り囲まれ、従来の単一モードのファイバーのクラッディングは、通常、プラスチックのコーティングによって取り囲まれている。しかし、これらの従来の単一モードのファイバーは、その構造が、クラッディング全体にわたって、およびプラスチックのジャケット（被覆物）内に、（ファイバーを通じて伝播する光の）モードを広げるようには構成されていないので、化学的な感知には一般に効果がない。

【００１５】
ファイバー１０のモードは、従来の単一モードの光ファイバーに比べてより大きい（例えば、２０μｍより大きい）直径を有する。ファイバー１０の直径は、従来のファイバーのコアサイズに比べてはるかに大きいので、ファイバー１０は、従来の単一モードの光ファイバーが通常有する強度に比べてより大きい強度を有する。クラッディング１４は、追加の構造的強度を与え、その寸法は、クラッディング１４がポリマー１６への最大露光量に対して最小の厚さを有するように、設計可能である。ポリマー１６は、所定の作用物質に対して少なくとも半透過性であり、作用物質に反応するその中に埋め込まれた表示物質を有する。別の実施形態では、ポリマー１６は省略され、表示物質は、検出されるべき所望の作用物質に対して少なくとも半透過性であるポリマーで形成されたクラッディング内に直接埋め込まれる。

【００１６】
図３は、図１および２に示したフォトニック結晶ファイバー１０を理解することに有用なモードフィールド分布である。ファイバー１０内で伝播する光は、フォトニック結晶ファイバー１０の中心軸（Ｂ）からの距離に対する光のその強度に基づいた、全体的にガウス形である光学エネルギー空間分布を有する。例えば、光の空間分布は、概して、ファイバー１０の中心軸（Ｂ）の周りで最大値にあり、エバネセントテイル（evanescent tails）１７を有するガウス形では、中心軸（Ｂ）から離れて減少する。図２に示したフォトニック結晶ファイバー１０の断面図から、第１の位置（$Ｌ_0$）は、中心軸（Ｂ）に対応し、第２および第３の位置（それぞれ、$Ｌ_1$および$Ｌ_2$）は、フォトニック結晶ファイバー１０の直径に沿って、クラッディング１４とコア１２との間の界面に近似される。ファイバー１０は、クラッディング１４内に、エバネセントテイル１７が及ぶ（広がる）ように構造化され、エバネセントテイル１７がポリマー１６内に及ぶ（広がる）ように構造化することができる。例えば、クラッディング１４に比べてより低い屈折率を有するポリマー１６および、（例えば、従来の単一モードのファイバーと比較して）縮小された厚さを有するクラッディング１４により、エバネセントテイル１７を、クラッディング１４および／またはポリマー１６内に広げる（及ぼす）ことが可能である。

【００１７】
一実施形態では、フォトニック結晶ファイバー１０は、光強度の大部分（例えば、約９０パーセント（９０％））が、コア１２の中心部（例えば、$Ｌ_0$と$Ｌ_2$の間、および$Ｌ_0$と$Ｌ_1$の間）に沿って伝播し、光強度の少数（例えば、約１０パーセント（１０％））が、クラッディング１４およびコーティング１６内に及ぶように構造化可能である。クラッディング１４およびコーティング１６内に及ぶ光強度の量は、（例えばポリマー１６、クラッディング１４およびクラッディング１４の厚さについて選択される屈折指数（屈折率）に基づいて）変動可能である。

【００１８】
加えて、フォトニック結晶ファイバー１０は、種々の屈折率を有する領域を与えるように構成可能である。例えば、図４を参照すると、フォトニック結晶ファイバー３３は、それぞれ内部クラッディング３６および外部クラッディング３８を利用して、フォトニック結晶ファイバー３３を通じて伝播するための固体ガラス環状部３５に沿って、スペクトル密度の大部分を閉じ込める。この実施形態では、外部クラッディング３８は、ポリマー１６内に、エバネセントテイル１７を及ぼす（広げる）。

【００１９】
図４は、別の例示的実施形態によるフォトニック結晶ファイバー３３の断面図である。この実施形態では、ファイバー３３は、ガラス部材３４を有し、このガラス部材３４の外側に、表示物質が埋め込まれたポリマー１６がコーティングされている。ガラス部材３４の固体領域（例えば、空孔部を備えていない）は、ファイバー３３の中心部に沿ってではなく、環状部３５の形状に配向される。環状部３５は、ガラス部材３４の直径（Ｄ）のかなりの割合であるか、またはガラス部材３４の直径（Ｄ）と実質的に同様の、外部直径（d_0）を有する。多孔性（例えば、空孔部を備えた）内部クラッディング３６は、ファイバー３３の中心部に（例えば、環状部３５の内部直径（d_i）からファイバー３３の中心軸３７に）沿って形成され、および比較的薄い多孔性の外部クラッディング３８は、外部直径を越えて広がる領域内に形成される。この光と関連したいくつかのエバネセントフィールドは、ポリマー１６内に及ぶ（広がる）が、内部クラッディング３６および外部クラッディング３８の組合せにより、大部分の光が環状部３５内のフープ形状（hoop-shaped）のモードに閉じ込められる。この実施形態により、ポリマー１６に対する適切な厚さ、強度、および露光量の単一モードのファイバーが構成可能である。

【００２０】
図５は、例示的実施形態による化学的／生物学的作用物質センサー４０の概略図である。センサー４０は、調節可能な光源１８（例えば、レーザダイオード）、第１のミラー反射体２０、再循環器２４（例えば、低いが、ゼロではない透過率を有する高反射ミラー）、第１のミラー反射体２０および再循環器２４を介して光源１８から光を受ける第１の端部３１を有する光ファイバーコイル２８、再循環器２４を介して光ファイバーコイル２８の第２の端部３２から光出力を受ける第２のミラー反射体２２、光検出器（例えば、光ダイオード）２６、および光検出器２６と光源１８とに結合されている電子モジュール４６を含む。再循環器２４および光ファイバーコイル２８は一緒になって、共振器４２を形成する。共振器４２は、線形共振器、リング共振器などの様々な構成を有することが可能であり、本明細書では、リング共振器構成におけるものとして説明する。共振器４２に導入される光は、好ましくは、単色性であり、光ファイバーコイル２８の多重回転を通じて、および再循環器２４を使用してコイルを通じる多重パスについて、循環する。共振器４２からの光出力は、所定の化学的／生物学的作用物質３０の非存在および存在に応答する。センサー４０は、加えて、検出データを伝送するための無線伝送器（図示せず）を含むことが可能である。

【００２１】
例示的実施形態では、光源１８は、周波数の安定性、実質的に狭い線幅、および比較的高いパワー能力を有する調整可能なレーザである。光源１８は、光ファイバーコイル２８を伝播する光の時計回り（ＣＷ）方向または反時計回り（ＣＣＷ）方向に、共振器周波数と対応する周波数f_0を含む周波数領域を通じて調整される。概して、再循環器２４は、光ファイバーコイル２８の一方の端部からファイバーコイル２８の他方の端部に出てくる光を再導入する任意の光学素子であってよく、したがって、光は、何度も光ファイバーコイル２８を伝播することになる。ミラーを使用して、偏光エラーおよび別のエラー機構を減衰させることが可能であるので、再循環器２４のために、光ファイバー結合器（光ファイバーカプラー）の代わりに入力ミラーを使用することは、センサー４０の１つの利点であり、ほとんど欠点を導入しないことが可能である。しかし、ファイバー結合器（ファイバーカプラー）は、いくつかの用途では再循環器２４として機能することが可能である。

【００２２】
光ファイバーコイル２８は、固体ガラス領域と、固体ガラス領域を取り囲んだ比較的薄いクラッディングとを有する、大きいモード、単一モードのフォトニック結晶ファイバー（例えば、図１および２に示したフォトニック結晶ファイバー１０、または図３に示したフォトニック結晶ファイバー３３）、およびクラッディングをコーティングしたポリマーを含む。一実施形態では、光ファイバーコイル２８は、（例えば、光ファイバーコイル２８内に埋め込まれた表示物質と関連する）所定の化学的／生物学的作用物質を検出するた

めの透過性筐体（パッケージ）内（図示せず）に収納可能である。表示物質は、ポリマー内に埋め込まれており、所定の化学的／生物学的作用物質３０と反応する。表示物質は、１つまたは複数の化学的／生物的物質（例えば、硫化水素、シアン化物、塩素、神経ガス、セリンなど）と反応し、例えば色、光学的損失、屈折の指数などについての、光特性を変える化学的なまたは他の物質であってよい。

【００２３】

固体ガラスコアの実施形態により、極めて低い曲げ損失を有するファイバーが好ましくは使用され、光ファイバーコイル２８は、好ましくは、実質的に小さい領域の周りに比較的多数の回転を有する。例えば、コイル２８は、直径約１センチメートルの周りに約２０～４０回転の光ファイバーを有することが可能である。概して、光ファイバーコイル２８によって提供されるような、光経路が長くなるほど、センサー４０の信号対雑音の比は大きくなる。センサー４０の信号対雑音比を向上させるために、光経路は、光ファイバーコイル２８の回転数を増大させることによって増大可能である。

【００２４】

動作中、光源１８によって生成される光は、第１のミラー反射体２０に向けられ、順に、この光を再循環器２４に方向付ける。第１のミラー反射体２０からの光は、伝播の対応する方向（例えば、時計回りの方向）に共振器４２の共振周波数を通じて走査され、その第１の部分は、再循環器２４を通じて、そして光ファイバーコイル２８の第１の端部３１内に、伝送される。第２の部分（すなわち、反射波）は、再循環器２４から第２のミラー反射体２２に反射される。光ファイバーコイル２８を通じるＣＷおよびＣＣＷ経路のそれぞれについての共振周波数は、共振器４２内のそれぞれの光経路における連続して循環するビームの建設的干渉に基づいている。光の第１の部分が光ファイバーコイル２８のコアを伝播した後には、光は、光ファイバーコイル２８の第２の端部３２から出てくる。この例示的実施形態では、第２の端部３２から出てくる光は、再循環器２４に向けられる。この光の一部分は、再循環器２４によって第１の端部３１へと後方反射され、別の部分は、再循環器２４によって第２のミラー反射体２２に伝送される（すなわち、伝送波）。伝送波は、共振器４２の内部の再循環光波から生じる、その光波のわずかな部分である。伝送波および反射波は、第２のミラー反射体２２を介して、これらの波動が干渉される光検出器２６に向けられる。光の周波数が共振から離れてデチューン（detune）されるときは、伝送波は重要ではなくなり、それにより、反射部分だけが光検出器２６上に作用し、相殺的干渉（弱め合う干渉）の非存在のために、最小限で最大の強度を示す。光の周波数が共振の中心を通じて走査されるときは、伝送波は、反射波により最大の相殺干渉を生成するように最大化され、したがって、共振の中心を示す最小値を有する共振線形をもたらす。

【００２５】

共振器４２の共振の中心を観測するために、ＣＷ方向またはＣＣＷ方向で、光検出器２６における強度が測定可能であり、または、標準的な同期検波（検出）技術が使用可能である。同期検出技術を適用して、入力光ビームは正弦波的に位相変調され、したがって光検出器２６によって測定されるように、共振線形全体に入力ビーム周波数を振動させるために、基本的検出周波数（f_m）において周波数が変調される。例えば、光検出器２６に結合された電子モジュール４６は、循環する光ビームの光出力によって示される共振の中心を測定するために、f_mにおいて光検出器２６の出力を復調することが可能である。（例えば、共振の中心を示す）共振線形の線中心では、光検出器２６は、基本的検出周波数（f_m）における最小出力を検出し、そして、実質的に共振線形の勾配が最も大きいところで、共振線形のいずれの側にも最大値を検出する。

【００２６】

共振器４２が非共振であるときに、強度の信号の最大値が観測されるが、f_mにおける信号は実質的にゼロである。共振線形の線幅を観測するために、光源１８の周波数は、光検出器２６上に作用する光強度信号が、少なくとも、半値（half-maximum；最大値の半分の値）と、最小値と、次いでもう一つの半値とを一連に観測することを通じて変動するように走査されるが、光源１８の周波数は、共振により単調に走査される。あるいは、共振

線形の線幅の別の測定は、光源１８の周波数が単調に走査されるとき、f_mにおいて復調された信号の最大値間の周波数差を監視することによって得ることもできる。この場合、f_mにおいて復調された信号の最大値間（例えば、最も高い勾配のポイント間）の周波数差の測定は、共振線形の線幅に比例し、したがって、共振器４２の損失に比例する。（例えば、最も高い勾配のポイント間の）半値から半値までの光源１８の周波数の軌跡により、共振線形の線幅が表され、それにより光ファイバーコイル２８内の損失が示され、したがって、化学的作用物質、または化学的物質もしくは生物学物質の存在の測定が示される。共振線形の線幅の拡大により、化学的作用物質または対象物質の存在が表される。

【００２７】

光源１８の周波数の軌跡は、光検出器２６が半値信号（half-maximum signal）について観測する時間と、光検出器２６が第２の半値信号を観測する時間との間の光源１８の周波数差を記録することによって測定される。時間内のそれらの２つのポイントのそれぞれにおける光源１８の周波数は、直接的または間接的に測定可能である。直接的測定の一例は、走査されない別の光源により光源１８の周波数をビートする（beating）こと、および、時間内の２つのポイント間でビート（beat）周波数差を測定することを含む。より安価であり得る間接的測定の例は、光源１８を走査するために使用される電気信号入力を基準にして、光源１８の周波数を事前較正することである。光源１８としてレーザを使用すると、この電気信号入力は、レーザの注入電流を変化させる電流ドライブ信号、レーザの温度を変化させる熱電冷却器のための電流ドライブ信号、またはレーザ周波数を変化させるレーザ空洞（レーザ空洞共振器）の経路長を変化させる圧電変換器のための電圧ドライブ信号であってよい。これらの場合では、対応するドライブ信号を基準にしたレーザ周波数の偏移は、工場で較正可能であり、測定されたドライブ信号の軌跡は、動作中の周波数の軌跡を示す。

【００２８】

f_0がＣＷ方向で共振器４２の共振周波数から離れて調整されたときには、例えば、ＣＷビームからのエネルギーは、光ファイバーに入らず、その光は、光検出器２６において最大強度を生成するために、再循環器２４の高反射性ミラーに反射される。f_0がＣＷ方向で共振器４２の共振周波数において調整されたときには、ＣＷビームは、光ファイバーコイル２８に入り、光検出器２６を始動させる光は、最小出力を有し、それにより、共振の中心を示す。同様に、光がＣＣＷ方向で注入される場合には、ＣＣＷビームは、ＣＣＷビームがＣＣＷ方向で共振器４２の共振周波数に調整されたときに、光ファイバーコイル２８に入る。

【００２９】

化学的／生物学的作用物質３０が光ファイバーコイル２８の存在下にあるときには、光ファイバーコイル２８のクラッディングまたはそのコイルのクラッディング上にコーティングとして使用されるポリマー内に埋め込まれた表示物質は、化学的／生物学的作用物質３０と反応（例えば、結合）し、光ファイバーコイル２８の光特性を変化させる。例えば、光ファイバーコイル２８の変化した光特性は、光ファイバーコイル２８の屈折率の変化、またはそのコイルの光学的な吸収または損失の増加もしくは減少を含むが、それらに必ずしも限定されない。

【００３０】

例示的実施形態では、センサー４０は、電子機器部分（例えば、電子モジュール４６）および光学部分を一体化するシリコンベースの微小光学ベンチ４４上に構成され、その２つの間に効率的で目的にかなった相互作用をもたらす。ミラー反射体２０、２２および再循環器２４などの、わずか１０μｍの小さな形状を有する微小の光学部品は、光波が自由空間内を移動できるにもかかわらず、シリコン表面上に取り付けられて、大きなかさばる（バルクの）光学部分を排除することが可能である。これらの光学的機能のいくつかはまた、シリコン内に存在する導波管内に埋め込み可能でもある。この例示的実施形態では、光源１８ならびに関連する周波数を調整する構成部品および光検出器２６もまた、光学ベンチ上に取り付け可能である。これらの技術を使用することにより、シリコンプラットフ

ォーム内に、またはその上に光学部分の製造が可能になり、したがって、電子部分と一体化された光学部分を製造することが可能になる。

【００３１】

光源１８は、微小光学ベンチ４４上に取り付けられ、または形成される複数の構成部品を有する複合体構造であってよい。例えば、光源１８は、微小光学ベンチ４４の基板上に形成され、または配置される２つの反射性表面間に配置された外部空洞レーザダイオードであってよい。加えて、周波数選択性の空洞内要素は、回折格子またはエタロンなどの単一の周波数レーザを生成するために、レーザダイオード空洞内に形成、または配置可能である。加えて、要素は、１つまたは複数のレンズなど、レーザビームを方向付けし、または平行にするために、レーザ空洞の外側に取り付けられ、または形成される光源１８に含まれていることが可能である。

【００３２】

変調器（例えば、圧電変換器）（図示せず）は、共振線幅の測定中に、光ファイバーコイル２８を循環する光の経路長を変調するため（例えば、正弦波変調）、光ファイバーコイル２８に結合可能であり、それにより、同期検波（検出）技術が使用可能である。例えば、光源１８により生成される入力光ビームは、共振器４２の共振周波数f_0により走査され、変調器は、光ファイバーコイル２８を循環する光の経路長を正弦的に変調する。別の実施形態では、光源１８がそれと共に組み込まれた周波数変調能力を有する場合には、変調器は省略される。別の実施形態では、レーザ周波数は固定され、周波数走査および変調の双方は、変調器によって実施される。後者の場合では、共振器の共振周波数は、レーザ周波数の領域を通じて走査され、それは、共振器４２の固定された共振周波数全体にわたってレーザ周波数を走査することと原則的には同等である。

【００３３】

図６は、本発明の別の例示的実施形態による、環境下で１つまたは複数の作用物質を感知するための方法１００の流れ図である。図１～６を参照すると、単一光モードの光ビームは、ステップ１０５に示すように、フォトニック結晶ファイバーコイルを伝播される。フォトニック結晶ファイバーコイルは、固体領域と、固体領域を取り囲んだクラッディングと、クラッディングをコーティングしたポリマーとを有する。表示物質は、ポリマー内に組み込まれている。表示物質は、所定の作用物質（例えば、化学的／生物学的作用物質）と反応する。例えば、光ビームは、光ファイバーコイル２８のフォトニック結晶ファイバー１０を伝播され、ポリマー１６は、その中に埋め込まれた表示物質を有する。一実施形態では、単一光の空間モードの光は、（例えば、L_1とL_2の間の）中心部分によりガウス形を有し、モードプロファイルの強度、およびその中心部分に隣接したエバネセントテイル（例えば、エバネセントテイル１７）の大部分を表す。フォトニック結晶ファイバーコイルは、クラッディングを通じて、および表示物質が埋め込まれているポリマー内に、エバネセントテイルのモードが及ぶように構成されている。一実施形態では、フォトニック結晶ファイバーコイルの固体領域は、固体ガラス円筒である。例えば、フォトニック結晶ファイバー３３は、外部クラッディング３８によって境界される外部直径、および内部クラッディング３６によって境界される内部直径を有する環状部３５を含む。この実施形態では、光波のモードの大部分は、固体ガラス円筒に沿ってこのフォトニック結晶ファイバーコイルを伝播され、エバネセントテイルのモードは、固体ガラス円筒から第１のクラッディングを通じて、およびポリマー内に及ぶ（広げられる）。

【００３４】

共振形は、ステップ１１０で示すように、フォトニック結晶ファイバーコイルを循環する単一光モードの光ビームから生成される。光ファイバーコイル内で循環する光から共振線形を測定した場合には、入力光ビームの周波数は、高感度光ファイバーコイルを含む共振器の共振線形全体にわたって走査される。ステップ１１５で示すように、共振形の所定の変化が検出される。所定の変化は、作用物質に対する表示物質の反応を示し、エネルギー損失の所定の量であってよく、例えば、共振線形の変化として表される。

【００３５】

少なくとも１つの例示的実施形態を、本発明の前述の詳細な記述で示してきたが、膨大な数の変形物が存在することを理解されたい。また、例示的実施形態または複数の例示的実施形態は単に例に過ぎず、本発明の範囲、適用性、または構成を限定することを何ら意図していないことも理解されたい。むしろ、前述の詳細な記述は、本発明の例示的実施形態を実施するための便利なロードマップを当業者に与えることになる。添付の請求項に記載の本発明の範囲から逸脱することなく、例示的実施形態で説明した要素の機能および構成に、様々な変更を行うことが可能であることを理解されたい。

【図面の簡単な説明】

【００３６】

【図１】例示的実施形態によるフォトニック結晶ファイバーの斜視図である。

【図２】線Ａ－Ａに沿って引かれた図１に示したフォトニック結晶ファイバーの断面図である。

【図３】図１および２に示したフォトニック結晶ファイバーを理解することに有用なモードフィールド分布を示すグラフである。

【図４】別の例示的実施形態によるフォトニック結晶ファイバーの断面図である。

【図５】例示的実施形態による化学的／生物学的作用物質センサーの概略図である。

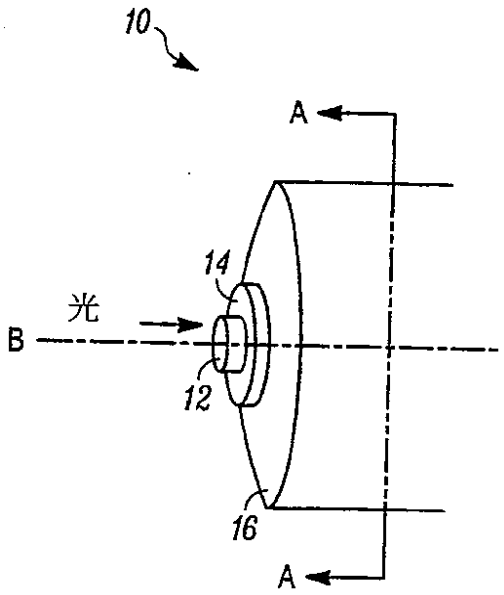
【図６】本発明の例示的実施形態による、環境下で１つまたは複数の化学的／生物学的作用物質を感知するための方法の流れ図である。

【符号の説明】

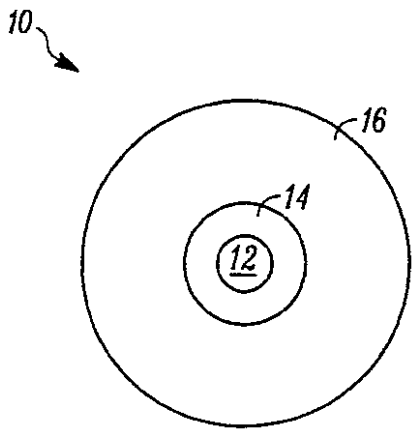
【００３７】

１０　フォトニック結晶ファイバー
１２　コア
１４　クラッディング
１６　ポリマー
１７　エバネセントテイル
３３　フォトニック結晶ファイバー
３４　ガラス部材
３５　環状部
３６　内部クラッディング
３７　中心軸
３８　外部クラッディング
２０　第１のミラー反射体
２２　第２のミラー反射体
２４　再循環器
２８　光ファイバーコイル
３０　化学的／生物学的作用物質
３１　第１の端部
３２　第２の端部
４０　センサー
４２　共振器
４４　微小光学ベンチ

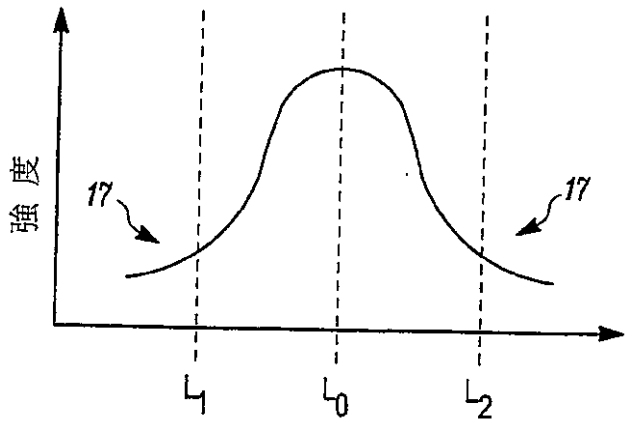
【図１】


10
A
14
光
B
12
16
A

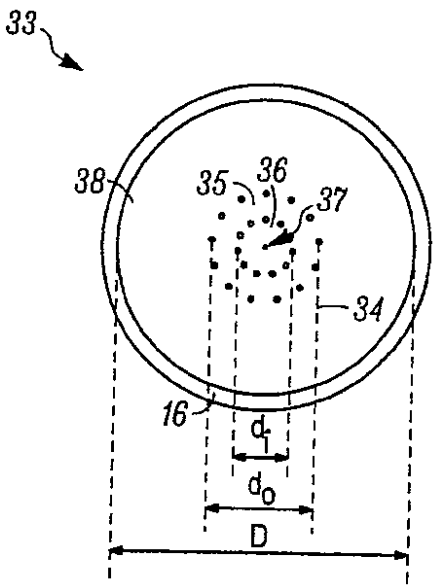
【図２】


10
16
14
12

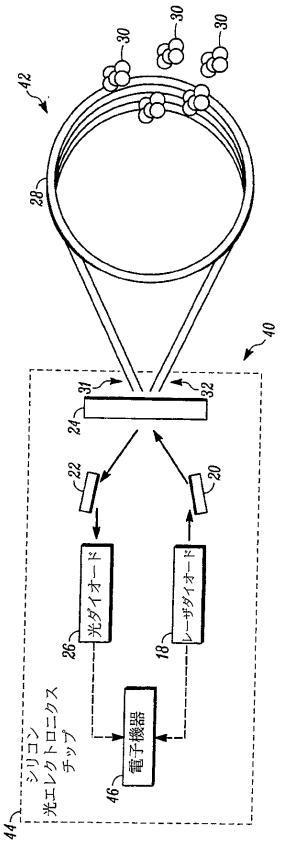
【図３】


強度
17
17
L1
L0
L2

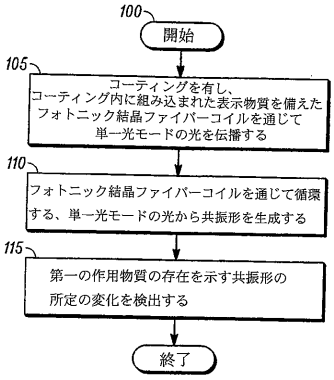
【図４】


33
38
35
36
37
34
16
d1
d0
D

【図５】


30
30
30
42
28
40
31
32
24
22
20
光ダイオード
レーザダイオード
26
18
電子機器
46
シリコン
光エレクトロニクス
チップ
44

【図６】


100
開始
105
コーティングを有し、
コーティング内に組み込まれた表示物質を備えた
フォトニック結晶ファイバーコイルを通じて
単一光モードの光を伝播する
110
フォトニック結晶ファイバーコイルを通じて循環
する、単一光モードの光から共振形を生成する
115
第一の作用物質の存在を示す共振形の
所定の変化を検出する
終了

フロントページの続き

(74)代理人 100096013
弁理士 富田 博行
(74)代理人 100116975
弁理士 礒山 朝美
(72)発明者 グレン・エイ・サンダース
アメリカ合衆国アリゾナ州８５２５５，スコッツデール，イースト・カレ・デル・パロ ８９３８

Ｆターム(参考) 2G059 AA01 BB04 BB12 CC16 EE02 FF07 GG01 JJ17 KK01

【外国語明細書】
2008216252000001.pdf