

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公表特許公報(A)

(11) 特許出願公表番号

特表2010-511864

(P2010-511864A)

(43) 公表日 平成22年4月15日(2010.4.15)

(51) Int.Cl.		F I		テーマコード (参考)
GO 1 N 21/27	(2006.01)	GO 1 N 21/27	Z	2 G O 5 4
GO 1 N 21/78	(2006.01)	GO 1 N 21/78	C	2 G O 5 9

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 27 頁)

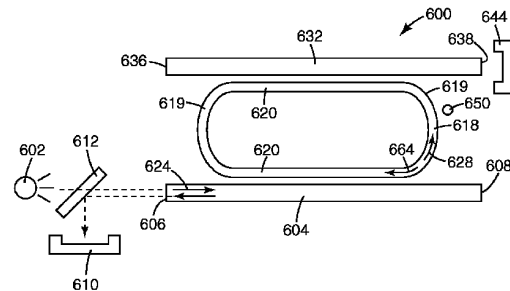
(21) 出願番号 特願2009-539395 (P2009-539395) (86) (22) 出願日 平成19年11月7日 (2007.11.7) (85) 翻訳文提出日 平成21年6月16日 (2009.6.16) (86) 国際出願番号 PCT/US2007/083932 (87) 国際公開番号 W02008/070390 (87) 国際公開日 平成20年6月12日 (2008.6.12) (31) 優先権主張番号 11/565, 920 (32) 優先日 平成18年12月1日 (2006.12.1) (33) 優先権主張国 米国 (US)	(71) 出願人 505005049 スリーエム イノベイティブ プロパティ ズ カンパニー アメリカ合衆国, ミネソタ州 55133 -3427, セント ポール, ポスト オ フィス ボックス 33427, スリーエ ム センター (74) 代理人 100099759 弁理士 青木 篤 (74) 代理人 100092624 弁理士 鶴田 準一 (74) 代理人 100122965 弁理士 水谷 好男 (74) 代理人 100141162 弁理士 森 啓 最終頁に続く
---	--

(54) 【発明の名称】 光学的検知デバイス

(57) 【要約】

本願は、光学的検知システム及び方法を開示する。光学的検知システムは、1つ以上のバス導波路を含む。第1のバス導波路は、光源と光通信する入力ポートを含む。システムは、バス導波路に光結合した微小共振器と、光散乱中心と微小共振器との間の光結合の強度を変化させるように構成された光散乱中心とを更に含む。更に、システムは、バス導波路のうちの1つ又は微小共振器と光通信する検出器を含む。

【選択図】 図 6



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光源と光通信する入力ポートを、備える第 1 のバス導波路と、
ドロップ 2 ポートを備える第 2 のバス導波路と、
前記第 1 のバス導波路及び前記第 2 のバス導波路に光結合した微小共振器と、
光散乱中心と前記微小共振器との間の光結合の強度を変化させるように構成された光散乱中心と、

前記ドロップ 2 ポートと光通信する検出器と、を含む光学的検知システムであって、前記微小共振器に光結合した散乱中心が存在しない場合、前記入力ポートのところで放たれた光が前記微小共振器の第 1 の導波光学モードに結合し、該第 1 の導波光学モードが主に前記ドロップ 2 ポートには結合しないように構成される、光学的検知システム。

10

【請求項 2】

前記微小共振器が、ディスク微小共振器、リング微小共振器、トロイダル微小共振器、及びレーストラック微小共振器から選択される、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 3】

前記散乱中心が、粒子を含む、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 4】

前記粒子が、ナノ粒子である、請求項 3 に記載のシステム。

【請求項 5】

前記ナノ粒子が、金属ナノ粒子、半導体ナノ粒子、又は誘電体ナノ粒子である、請求項 4 に記載のシステム。

20

【請求項 6】

前記散乱中心が、前記微小共振器のコア内に埋め込まれた屈折率の可変領域である、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 7】

前記第 2 のバス導波路が、ドロップポートを更に備えており、前記光学的検知システムが、前記微小共振器に光結合した散乱中心が存在しない場合に、前記微小共振器の前記第 1 の導波光学モードが、前記ドロップポートに結合するように構成される、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 8】

前記ドロップ 2 ポートが、主に、前記微小共振器の第 2 の導波光学モードに光結合可能であり、前記検出器が、前記第 2 の導波光学モードを検出するように構成される、請求項 1 に記載のシステム。

30

【請求項 9】

前記光学的検知システムは、前記光散乱中心と前記微小共振器との間の光結合の強度の変化が、第 1 の共振導波光学モードから第 2 の導波光学モードへと光散乱の変化を誘発するように、構成される請求項 8 に記載のシステム。

【請求項 10】

前記光学的検知システムが、前記ドロップ 2 ポートの前記検出器のところで光散乱の変化を検出するように構成される、請求項 9 に記載のシステム。

40

【請求項 11】

前記微小共振器及び前記第 1 のバス導波路が、基板上に集積される、請求項 1 に記載のシステム。

【請求項 12】

前記光源が、基板上に集積される、請求項 11 に記載のシステム。

【請求項 13】

前記検出器が、基板上に集積される、請求項 11 に記載のシステム。

【請求項 14】

前記微小共振器が、垂直結合によって前記第 1 のバス導波路及び前記第 2 のバス導波路に光結合される、請求項 1 に記載のシステム。

50

【請求項 15】

前記微小共振器が、横結合によって前記第1のバス導波路及び前記第2のバス導波路に光結合される、請求項1に記載のシステム。

【請求項 16】

前記微小共振器が、エバネッセント結合によって前記第1のバス導波路及び前記第2のバス導波路に光結合される、請求項1に記載のシステム。

【請求項 17】

前記微小共振器が、コア結合によって前記第1のバス導波路及び前記第2のバス導波路に光結合される、請求項1に記載のシステム。

【請求項 18】

前記微小共振器が、多モード干渉結合器を介して前記第1のバス導波路及び前記第2のバス導波路に光結合される、請求項1に記載のシステム。

【請求項 19】

光学的検知システムであって、
光源と光通信する入力ポートを有する第1のバス導波路を備える、1つ以上のバス導波路と、

前記1つ以上のバス導波路に光結合した微小共振器と、
前記入力ポートと光通信する検出器と、を含む光学的検知システム。

【請求項 20】

前記微小共振器が、ディスク微小共振器、リング微小共振器、トロイダル微小共振器、及びレーストラック微小共振器から選択される、請求項19に記載のシステム。

【請求項 21】

前記光学的検知システムが、更に光散乱中心と前記微小共振器との間の光結合の強度を変化させるように構成された光散乱中心を備える、請求項19に記載のシステム。

【請求項 22】

前記微小共振器及び前記第1のバス導波路が、基板上に集積される、請求項19に記載のシステム。

【請求項 23】

前記光源が、基板上に集積される、請求項22に記載のシステム。

【請求項 24】

前記検出器が、基板上に集積される、請求項22に記載のシステム。

【請求項 25】

前記入力ポートと光通信する光サーキュレータを更に備えており、該光サーキュレータが、前記検出器への第2のモードの光結合を可能にする、請求項19に記載のシステム。

【請求項 26】

前記入力ポートと光通信する光スプリッタを更に備えており、該光スプリッタが、前記検出器への第2のモードの光結合を可能にする、請求項19に記載のシステム。

【請求項 27】

光源と光通信する入力ポートを備える、第1のバス導波路と、
ドロップポート及びドロップ2ポートを備える第2のバス導波路と、
前記第1のバス導波路及び前記第2のバス導波路に光結合した微小共振器と、
前記第2のバス導波路と光通信する検出器と、を含む光学的検知システムであって、
(a) 前記入力ポートのところで放たれた光が、
i. 前記微小共振器の第1の導波光学モードと、
ii. 散乱中心が前記微小共振器と光通信しているときに主に起こる、前記微小共振器の第2の導波光学モードと、に結合可能であり、
(b) 前記ドロップポートは、前記微小共振器の前記第1の導波光学モードには主に光結合可能であり、前記第2の導波光学モードには主に結合可能ではなく、
(c) 前記ドロップ2ポートは、前記微小共振器の前記第2の導波光学モードには主に光結合可能であり、前記第1の導波光学モードには主に結合可能ではなく、

10

20

30

40

50

(d) 前記検出器が、前記ドロップ２ポートと光通信している、光学的検知システム。

【請求項２８】

前記微小共振器が、ディスク微小共振器、リング微小共振器、トロイダル微小共振器、及びレーストラック微小共振器から選択される、請求項２７に記載のシステム。

【請求項２９】

光学的検知システムが、光散乱中心と前記微小共振器との間の光結合の強度を変化させるように構成された散乱中心を含む、請求項２７に記載のシステム。

【請求項３０】

前記散乱中心が、粒子を含む、請求項２９に記載のシステム。

【請求項３１】

前記粒子が、ナノ粒子である、請求項３０に記載のシステム。

【請求項３２】

前記ナノ粒子が、金属ナノ粒子、半導体粒子、又は誘電体ナノ粒子である、請求項３１に記載のシステム。

【請求項３３】

前記散乱中心が、前記微小共振器のコア内に埋め込まれた屈折率の可変領域である、請求項２９に記載のシステム。

【請求項３４】

前記微小共振器、前記第１のバス導波路、及び前記第２のバス導波路が、基板上に集積される、請求項２７に記載のシステム。

【請求項３５】

前記光源が、基板上に集積される、請求項３４に記載のシステム。

【請求項３６】

前記検出器が、基板上に集積される、請求項３４に記載のシステム。

【請求項３７】

前記微小共振器が、垂直結合によって前記第１のバス導波路及び前記第２のバス導波路に光結合される、請求項２７に記載のシステム。

【請求項３８】

前記微小共振器が、横結合によって前記第１のバス導波路及び前記第２のバス導波路に光結合される、請求項２７に記載のシステム。

【請求項３９】

光学的検知システムであって、

光源と光通信する入力ポートを有する第１のバス導波路を備える、１つ以上のバス導波路と、

前記１つ以上のバス導波路に光結合した、中心位置を画定するディスク微小共振器と、
前記ディスク微小共振器と光通信する、前記ディスク微小共振器の中心位置に配置された検出器と、を含む光学的検知システム。

【請求項４０】

前記微小共振器、前記第１のバス導波路、前記光源、及び前記検出器が、基板上に集積される、請求項３９に記載のシステム。

【請求項４１】

前記光源が、基板上に混成集積される、請求項４０に記載のシステム。

【請求項４２】

前記微小共振器、前記第１のバス導波路、及び前記検出器が、基板上に一体となって集積される、請求項４０に記載のシステム。

【請求項４３】

前記光学的検知システムが、更に光散乱中心と前記微小共振器との間の光結合の強度を変化させるように構成された光散乱中心を含む、請求項３９に記載のシステム。

【請求項４４】

前記散乱中心が、粒子を含む、請求項４３に記載のシステム。

10

20

30

40

50

【請求項 4 5】

前記粒子が、ナノ粒子である、請求項 4 4 に記載のシステム。

【請求項 4 6】

前記ナノ粒子が、金属ナノ粒子、半導体ナノ粒子、又は誘電体ナノ粒子である、請求項 4 5 に記載のシステム。

【請求項 4 7】

前記散乱中心が、前記微小共振器のコア内に埋め込まれた屈折率の可変領域である、請求項 4 3 に記載のシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

10

【0001】

(関連出願の相互参照)

本願は、同一出願人による特許出願番号第 1 1 / 5 6 5 , 9 5 5 号の名称「光学的検知方法 (OPTICAL SENSING METHODS)」(2006 年 1 2 月 1 日出願、代理人整理番号 6 2 3 5 8 U S 0 0 2) に関連し、その特許出願の全体は、参考として引用され、本明細書に組み込まれる。

【0002】

(発明の分野)

本発明は、一般に光学デバイスに関し、より詳細には、微小共振器を使用する光学センサに関する。

20

【背景技術】

【0003】

光学的検知は、生物学的種、化学種、及びガス種の検出のための重要な技術となりつつある。光学的検知は、速度及び感度の面において利点が提供できる。近年、非常に高感度の光学デバイスを製造するために、多くの新規フォトニック構造及び材料が開発されている。

【0004】

被分析物検出のための 1 つの光学的検知方法は、集積光導波路を使用する。そのようなセンサは、導波路表面上に吸着された化学種及び生物学的種を検出できることが実証されている。しかし、集積光導波路化学分析は、多くの分析応用のための十分な光信号変化を得るために大きな検知デバイス (通常数センチメートルの長さ) を必要とする場合がある。

30

【0005】

光学センサを製造するために、表面プラズモン共鳴 (SPR) も使用されている。SPR 技術は、商業化されており、生体分子の相互作用を特性評価及び定量化するのに不可欠なツールとなっている。しかし、そのような測定システムは、巨大になる場合がある。

【0006】

光学的微小共振器が、現在、生化学的検知、化学的検知、及びガス検知での利用について集中的に研究されている。光学的微小共振器は、高い品質係数 (Q 係数) を有することのできる非常に小さなデバイスであり、Q 係数は、一般に共振波長と共振線幅との比を指す。例えば、ガラス球から製作された微小共振器は、非常に高感度な光学センサとして使用することができ、これは、微小球共振器内に捕らえられた光が何度も循環して、微小球の表面上の被分析物と微小共振器内を循環する光との間に光学的な相互作用として有効な増強を可能にする高い Q 係数 ($> 10^6$) を有するデバイスとなるからである。光学的微小共振器センサとして、バス導波路が、微小共振器の表面の近くに配置された導波光学モードを励起させるために使用される。共振光学モードの一例は、ウィスパリング・ギャラリー・モードである。そして、被分析物が、微小球のモードのエバネッセントフィールド内に置かれる。センサの屈折率の変化が、共振周波数のシフトとして検出される。シフトしたスペクトルは、検出器に接続された第 2 のバス導波路を使用して微小共振器から取り出すことができる。

40

50

【 0 0 0 7 】

様々な種類の光学的微小共振器が、光学センサを製造する目的で研究されてきたが、微小球、微小リング、及び微小ディスクが最も注目を集めている。半導体製作プロセスに基づいた微小ディスク又は微小リングは、大量及び／又は高密度で製作するのが比較的容易である。導波路に対する微小ディスク又は微小リングの位置は、乾式／湿式エッチング及び層堆積などの製作技術を使用することで調節できる。しかし、これらの共振器のQ係数は、少なくとも一部は表面粗さ及び材料による吸収が原因で、通常 10^4 未満である。

【 0 0 0 8 】

微小球を使用して検知するための従来の手法では、球の表面への被分析物の結合が、球の実効屈折率に小さな変化をもたらす。これが、共振スペクトルにおけるピークの波長位置の小さなシフトをもたらす。このシフトは、通常ピコメートルの範囲内である。そのような小さなシフトを検出するためには、スペクトル分析用の高価な機器が必要とされる。更に、微小共振器は、小さなピークシフトを検出できるように、非常に狭い線幅を与えるように設計しなければならない。これは、高フィネス（自由スペクトル領域を線幅によって除したもの）の微小共振器、又は同等品として、高品質係数（動作波長を線幅によって除したもの）の微小共振器を必要とする。これは、小さな周波数シフトを検出するために、微小共振器における低損失の導波路、及び微小共振器とバス導波路との間の弱い結合を必要とすることを意味する。

【 発明の概要 】

【 発明が解決しようとする課題 】

【 0 0 0 9 】

微小共振器を使用する改良された光学的検知システムのニーズが存在する。

【 課題を解決するための手段 】

【 0 0 1 0 】

一般に、本発明は、光学システムに関する。本発明は、1つ以上の微小共振器を含む光学センサにも関する。

【 0 0 1 1 】

一実施形態では、光学的検知システムは、第1のバス導波路及び第2のバス導波路を含む。第1のバス導波路は、光源と光通信する入力ポートを含む。第2のバス導波路は、ドロップ2ポートを含む。システムは、更に第1のバス導波路及び第2のバス導波路に光結合した微小共振器と、光散乱中心と微小共振器との間の光結合の強度を変化させるように構成された光散乱中心とを含む。加えて、システムは、ドロップ2ポートと光通信する検出器を含む。光学的検知システムは、微小共振器に光結合した散乱中心が存在しないとき、入力ポートのところで放たれた光が微小共振器の第1の導波光学モードに結合し、第1の導波光学モードがドロップ2ポートには主に結合しないように構成される。

【 0 0 1 2 】

他の実施形態では、光学的検知システムは、第1のバス導波路など、1つ以上のバス導波路を含む。第1のバス導波路は、光源と光通信する入力ポートを含む。システムは、更に1つ以上のバス導波路に光結合した微小共振器と、入力ポートと光通信する検出器とを含む。

【 0 0 1 3 】

他の実施形態では、光学的検知システムは、第1のバス導波路を含み、第1のバス導波路は、光源と光通信する入力ポートを含む。システムは、更にドロップポートとドロップ2ポートとを有する第2のバス導波路と、第1のバス導波路及び第2のバス導波路に光結合した微小共振器と、第2のバス導波路と光通信する検出器とを含む。このシステムでは、入力ポートのところで放たれた光は、微小共振器の第1の導波光学モード及び微小共振器の第2の導波光学モードに結合可能である。第2の光学モードは、主に散乱中心が微小共振器と光通信しているときに起こる。ドロップポートは、微小共振器の第1の導波光学モードには主に光結合可能であり、第2の導波光学モードには主に結合可能ではない。ドロップ2ポートは、微小共振器の第2の導波光学モードには主に光結合可能であり、第1

10

20

30

40

50

の導波光学モードには主に結合可能ではない。検出器は、ドロップ２ポートと光通信している。

【００１４】

更に他の実施形態では、光学的検知システムは、第１のバス導波路のような１つ以上のバス導波路を含み、第１のバス導波路は、光源と光通信する入力ポートを含む。システムは、更に１つ以上のバス導波路に光結合したディスク微小共振器を含み、ディスク微小共振器は、中心位置を画定する。システムは、ディスク微小共振器の中心位置に配置され、ディスク微小共振器と光通信する検出器も含む。

【００１５】

本発明に関する上記概要は、本発明の各図示の実施形態又はすべての実施を説明しようとするものではない。図及び以下の詳細な説明が本発明の実施形態をより具体的に例示する。

【図面の簡単な説明】

【００１６】

添付の図面とともに以下の本発明の様々な実施形態の詳細な説明を検討することで、本発明は、更に完全に理解されると思われる。

【図１】光学システムの概略上面図。

【図２】光学システムの概略側面図。

【図３】光学システムの概略側面図。

【図４】シングルバスリング共振器を有する光学システムの概略上面図。

【図５】中心の光検出器を備えるシングルバスディスク共振器を有する光学システムの概略上面図。

【図６】ダブルバスレーストラックリング共振器を有する光学システムの概略上面図。

【図７】シリコンのナノ粒子散乱中心あり／なしの場合の、光学システムのスルーポートで検出された波長に対する信号強度のプロット。

【図８】シリコンのナノ粒子散乱中心あり／なしの場合の、光学システムのドロップ２ポートで検出された波長に対する信号強度のプロット。

【図９】金のナノ粒子散乱中心あり／なしの場合の、光学システムのスルーポートで検出された波長に対する信号強度のプロット。

【図１０】金のナノ粒子散乱中心あり／なしの場合の、光学システムのドロップ２ポートで検出された波長に対する信号強度のプロット。

【図１１】アルミニウムのナノ粒子散乱中心あり／なしの場合の、光学システムのスルーポートで検出された波長に対する信号強度のプロット。

【図１２】アルミニウムのナノ粒子散乱中心あり／なしの場合の、光学システムのドロップ２ポートで検出された波長に対する信号強度のプロット。

【図１３】２つのバス導波路と微小共振器との間の垂直結合を有する光学デバイスの概略側面図。

【図１４】多モード干渉結合器を介して２つのバス導波路に結合したレーストラックリング共振器を有する光学システムの概略上面図。

【図１５】散乱中心あり／なしの場合の、光学システムのドロップ２ポートで検出された波長に対する信号強度のプロット。

【００１７】

本発明は様々な変更及び代替形状が可能であるが、その具体例を一例として図面に示すとともに詳細に説明する。しかしながら、本発明は、記載される特定の実施形態に限定されないことが理解されよう。むしろ記載の意図は、添付の特許請求の範囲により規定される本発明の趣旨及び範囲内にあるすべての変更例、等価物及び代替物を網羅しようとするものである。

【発明を実施するための形態】

【００１８】

本発明は、導波路と、光共振微小キャビティと、微小キャビティに光結合した光散乱中

10

20

30

40

50

心とを含み、その光結合の程度を変えることができる、光学センサについて記載する。そのような光共振微小キャビティは、微小共振器と呼ばれることもある。

【0019】

微小共振器を使用する光学的検知のための新しい手法が、本明細書によって提示され、その手法は、散乱中心の導入又は除去が、微小共振器システムにおいて重要な信号の増強を引き起こす。重要な信号の増強は、従来の微小共振器検知システムよりも安価な光源及び検出器の使用を可能にする。

【0020】

本発明は、検出感度を犠牲にすることなく、検知用のアプリケーション及びデバイスにおいて、広帯域の光源及び検出器の使用を可能にする。広帯域の光源及び検出器を使用する利点は、デバイス全体のコスト削減である。

10

【0021】

本明細書において、複数の図において用いられる同じ参照符号は、同一又は類似の特性及び機能性を有する同一又は類似の要素を指す。

【0022】

ここで、図1の上面図、並びに図2及び図3の断面図において概略的に示されている、微小共振器を使用する微小共振器 - 導波路システム100の一例について説明する。本明細書で更に論じるように、単一の導波路を有するシステムもまた本発明に従って使用できる。しかしながら、第1の実施例としては、2重バス導波路システムについて論じる。

【0023】

光学デバイス100は、光学的微小共振器118と、第1の光導波路104と、第2の光導波路132とを含み、これらすべてが、基板103上に配置された下側クラッド層105上に配置される。

20

【0024】

一部の場合には、微小共振器118は、1つ以上の周期性条件など、1つ以上の境界条件を付与することによって、微小共振器の許容される光学モードを離散的モードへと量子化することが可能である。一部の場合には、微小共振器118は、第1の導波光学モード128及び第2の導波光学モード164など、少なくとも2つの異なる導波光学モードをサポート可能であり、導波光学モード128は、導波光学モード164とは異なる。一部の場合には、モード128及び164は、同一の波長を有する。一部の場合には、モード128及び164は、異なる波長を有する。モード128及び164がほぼ同一の波長を有する場合、それらは、波長について異なる強度レベルを有することができる。本明細書で説明するとき、光学デバイス100などの所与の光学構成において、光学モードとは、光学構成内において許容される電磁場を指し、放射又は放射モードとは、光学構成内において拘束されない光学モードを指し、導波モードとは、高屈折率領域の存在により光学構成内で少なくとも1次元において拘束される光学モードを指し、共振モードとは、光学構成内において追加される境界要求条件に従う導波モードを指しており、追加される要求条件とは、通常、周期的な性質である。

30

【0025】

共振モードは、通常、離散的導波モードである。一部の場合には、共振モードは、放射モードに結合可能とすることができる。他の一部の場合には、共振モードは、拘束されない放射成分を有することができる。一般に、微小共振器118の導波モードは、共振モードとすることも非共振モードとすることもできる。例えば、光学モード128及び164は、微小共振器118の共振モードにすることができる。

40

【0026】

一部の場合には、第1の導波光学モード128及び/又は第2の導波光学モード164は、同一の電場プロファイルを維持しながら微小共振器内を伝播可能である。そのような場合、伝播モードの形状又はプロファイルは、伝播モードが、例えば、吸収又は放射損失によってエネルギーを徐々に失う場合でも、長期にわたってほぼ同じままである。

【0027】

50

図 1 ~ 3 を参照すると、光源 102 は、第 1 のバス導波路 104 と光通信している。光源が配置された導波路 104 の端部は、入力ポート 106 である。導波路 104 の他端は、スルーポート 108 である。入力ポート検出器 110 が、入力ポート 106 のところに配置される。光学コンポーネント 112 は、入力光 124 を入力ポート 106 とだけ通信させ、第 1 のバス導波路 104 内を入力ポート 106 に向かって進む光を入力検出器 110 に向かって誘導できるように、光源 102、入力検出器 110、及び入力ポート 106 と光通信する。光学コンポーネント 112 は、特定の実施形態では、光スプリッタ又は光サーキュレータである。入力ポート検出器 110 は、光学コンポーネント 112 によって第 1 のバス導波路 104 と光通信しており、光を検出するように構成される。

【0028】

微小共振器 118 は、第 1 の共振光学モード 128 及び第 2 の共振光学モード 164 をサポート可能であり、第 1 のバス導波路 104 に光結合している。入力ポート 106 は、第 1 共振モード及び第 2 の共振モードの両方に光結合可能である。光源 102 からの光 124 は、第 1 のバス導波路 104 内へと放たれ、スルーポート 108 に向かって伝播する。微小共振器 118 は、第 1 のバス導波路 104 から出てくる光 124 の一部をエバネッセント結合させ、結合しない光は、微小共振器 118 の 1 つ以上の共振周波数で、例えば第 1 の共振光学モード 128 で、微小共振器 118 内を伝播する。微小共振器 118 は、コア 120 とクラッド 122 とを含む。一部の実施形態では、上側クラッド 122 は、水を含むことができる。一部の場合には、上側クラッドは、例えば、異なる場所に、異なる材料を含むことができる。例えば、上側クラッドのいくつかの領域は、水を含むことができ、上側クラッドの他のいくつかの領域は、ガラスなどの他の材料を含むことができる。

【0029】

第 2 のバス導波路 132 は、微小共振器 118 と光通信するように位置決めされる。ドロップポート 136 は、第 2 のバス導波路 132 の一端に配置され、ドロップポート 138 は、第 2 のバス導波路の他端に配置される。ドロップポート 136 は、第 1 の共振光学モードには主に光結合可能であるが、第 2 の共振光学モードには主に光結合可能ではない。ドロップポート 138 は、第 2 の共振導波光学モードには主に光結合可能であるが、第 1 の共振導波光学モードには主に光結合可能ではない。ドロップポートの検出器 144 が、ドロップポート 138 のところに配置される。

【0030】

微小共振器 118 は、導波路に沿って伝播する光の一部分が微小共振器 118 内でエバネッセント結合するように、導波路 104 及び 132 と物理的に接触するか、又は導波路 104 及び 132 の非常に近くに位置決めすることができる。また、微小共振器 118 内を伝播する光の一部分は、導波路 104 及び 132 内でエバネッセント結合することになる。

【0031】

図 2 は、第 1 のバス導波路 104 の軸に沿って、第 1 のバス導波路 104 を横断する断面図である。図 3 は、第 1 のバス導波路の軸に直交して、微小共振器 118 及び 2 つのバス導波路を横断する断面図である。第 1 の光導波路及び第 2 の光導波路は、それぞれ、多数のクラッド間に配置されたコアを有する。例えば、第 1 の光導波路 104 は、上側クラッド 122 と下側クラッド 105 との間に配置された、厚さ h_2 のコアを有する。同様に、第 2 の光導波路 132 は、上側クラッド 122 と下側クラッド 105 との間に配置された、厚さ h_3 のコアを有する。一部の場合には、上側クラッド 122 は、空気又は水を含むことができる。

【0032】

図 1 ~ 3 の代表的な光学デバイス 100 において、微小共振器 118 並びに光導波路 104 及び 132 は、異なる厚さを有する。一般に、厚さ h_1 、 h_2 、及び h_3 は、同じ値であっても同じ値でなくてもよい。一部の用途では、微小共振器 118 並びに光導波路 104 及び 132 は、同一の厚さを有する。

【0033】

散乱中心が微小共振器システム 100 に及ぼす影響は、本発明の方法の中核を成す。図 1 は、微小共振器 118 と光通信している散乱中心 150 を示す。しかし、散乱中心 150 の効果について説明する前に、散乱中心 150 のない微小共振器システム 100 の使用について説明する。

【0034】

微小共振器を使用して検知するための従来の一手法では、微小共振器 118 のコア 120 の表面 149 が、被分析物と化学的に特定の結合ができるように機能化される。微小共振器の表面への被分析物の結合は、微小共振器の実効屈折率の小さな変化を引き起こし、それが微小共振器の透過スペクトル内におけるピークの波長位置をシフトさせる。このシフトは、スルーポート 108 及びドロップポート 136 のところで観察される。したがって、スルーポート 108 及び / 又はドロップポート 136 のところでの透過スペクトルのピークのシフトの検出は、被分析物の存在を示す。微小共振器を使用して検知する従来の手法が他にも存在しており、様々な手法のいくつかの例が、共同所有された米国特許出願公開第 2006 / 0062508 号に詳述されており、その特許出願は、参考として引用され、本明細書に組み込まれる。

【0035】

光源 102 から発せられた光 124 は、第 1 のバス導波路 104 内を進み、そして微小共振器 118 は、第 1 のバス導波路 104 から出てくる光 124 の一部をエバネッセント結合させる。この結果、結合しない光は、微小共振器 118 の 1 つ以上の共振周波数で、例えば第 1 の光学共振モード 128 で、微小共振器 118 内を伝播する。微小共振器の共振モードの一例は、「ウィスパリング・ギャラリー・モード (whispering gallery modes)」である。幾何光学系では、ウィスパリング・ギャラリー・モード (WGM) 内の光線は、いくつもの全内部反射を経て、始点から微小共振器の周りを伝播し、やがては始点に戻る。WGM に加えて、微小共振器にとっては他の多くの共振モードが可能である。

【0036】

散乱中心が存在しない高品質微小共振器の場合、第 1 の共振モード 128 は、スルーポート 108 及びドロップポート 136 に結合しており、検出器は、微小共振器における共振周波数のスペクトルを検出できる。共振モード 128 は、ドロップポート 138 若しくは入力ポート 106 に、弱く結合するか、又は本質的に結合しない。スルーポート出力のグラフ 151 は、スルーポート 108 のところで検出される光スペクトルの一例を示しており、波長に対する強度をグラフにしている。実線 152 は、散乱中心が存在しない場合に検出されうる光スペクトルの一例である。プロット 152 の強度の極小値は、微小共振器 118 の実効屈折率が、例えば、導波路の表面への被分析物の結合によって変更され、増大するときには、数ピコメートル程度のシフトを起こすことになる。このような方法で、微小共振器の表面 149 への被分析物の結合は、従来の検知システムの一例において検出される。

【0037】

同様に、微小共振器 118 内を伝播する光 128 は、第 2 のバス導波路 132 に結合し、ドロップポート 136 のところで検出される。ドロップポート出力のグラフ 160 は、ドロップポート 136 のところで検出される光スペクトルの一例を示しており、波長に対する強度をグラフにしている。実線 162 は、散乱中心なしに検出されうる光スペクトルの一例である。プロット 162 のピークは、微小共振器 118 の実効屈折率が、導波路の表面 149 への被分析物の結合によって変更されるときには、数ピコメートル程度のシフトを起こすことになる。

【0038】

ドロップポート 136 又はスルーポート 108 のところで数ピコメートル程度のスペクトルシフトを検出するためには、微小共振器出力スペクトルの関連のあるスペクトル領域をスキャンするためにはかなり高価な波長可変の狭線幅レーザ源が使用される。代替として、広帯域の光源及び高価なスペクトル分析器を使用することもできる。更に、微小共振器 118 は、小さなピークシフトを検出できるよう、狭い線幅を生み出すように設計される

。微小共振器は、高フィネス（自由スペクトル領域を線幅によって除したもの）によって、狭い線幅を生み出すことができる。微小共振器は、また、同等に高い品質係数（動作波長を線幅によって除したもの）によって、狭い線幅を生み出すことができる。これは、例えば、バス導波路に弱く結合した低損失共振器を用いて、達成できる。

【 0 0 3 9 】

前述した代表的な検知手法に比べて、本発明の検知手法である散乱中心の使用は、ドロップポート 1 3 6 及びスルーポート 1 0 8 において、共振ピークのスペクトル位置で著しい大きな変化をもたらし、ピコメートルではなくナノメートル程度の変化を通常もたらし。更に、微小共振器の広帯域伝達特性内での大きな変化が観察される。これらの伝達特性は、ドロップ 2 ポート及び入力ポートのところで観察することができ、狭線幅の波長可変レーザ源の必要をなくすことによってシステムを単純化する可能性を有する。

10

【 0 0 4 0 】

本発明の一実施形態による検知事象発生の間、散乱中心と微小共振器との間の光結合の強度が変化する。これは、例えば、散乱中心が微小共振器に光結合した状態になることによって、又は散乱中心が微小共振器との光結合から除去されることによって起こる。散乱中心が微小共振器に光結合するときには、微小共振器のモードのうちの 1 つ以上の光フィールドは、散乱中心と重なる。

【 0 0 4 1 】

再び図 1 を参照すると、散乱中心 1 5 0 が微小共振器と光通信しているときに、第 1 の共振光学モード 1 2 8 は、少なくとも、第 1 の共振光学モードとは異なる第 2 の導波光学モード 1 6 4 へと散乱される。第 2 の導波光学モードは、主に、入力ポート 1 0 6 及びドロップ 2 ポート 1 3 8 に結合する。グラフ 1 6 6 は、ドロップ 2 ポート 1 3 8 のところでの光出力のスペクトルを示す。実線 1 6 8 は、散乱中心が存在しないときの光出力のプロットである。散乱中心が存在しないときには、本質的にドロップ 2 ポートに分配される光は存在しない。破線 1 6 9 は、散乱中心 1 5 0 が微小共振器と光通信しているときの、ドロップ 2 ポート 1 3 8 のところでの光出力のスペクトルを示す。プロット 1 6 9 において重要なピークが観察される。したがって、散乱中心の存在は、動作周波数の広範囲で、ドロップ 2 ポートへの大きなエネルギー伝達をまねくことになる。その結果、ドロップ 2 ポート 1 3 8 のところの出力を監視することによって、散乱中心が微小共振器に取り付けられているか否かを検出することが簡単になる。出力は、特定の波長における一層大きなピーク、及び / 又は全波長にわたる一層大きな光出力について、監視できる。

20

30

【 0 0 4 2 】

同様の変化が、入力ポート 1 0 6 のところで観察される。グラフ 1 7 0 は、概念レベルで入力ポート検出器 1 1 0 によって検出されるときに入力ポート 1 0 6 からの光出力のスペクトルを示す。実線プロット 1 7 2 は、ゼロに近い、散乱中心が存在しないときの光出力を示す。破線プロット 1 7 4 は、散乱中心が微小共振器に取り付けられたときの光出力のスペクトルを示す。プロット 1 7 4 において、プロット 1 7 2 に比べて重要なピークが観察される。したがって、散乱中心の存在は、動作周波数の広範囲で、入力ポート 1 0 6 へと後方に反射される大きなエネルギー伝達をもたらすことになる。その結果、入力ポート 1 0 6 のところの出力を監視することによって、散乱中心が微小共振器に取り付けられているか否かを検出することが簡単になる。出力は、特定の波長における一層大きなピーク、及び / 又は全波長にわたる一層大きな光出力について、監視できる。

40

【 0 0 4 3 】

散乱中心による第 1 のモードから第 2 のモードへの光散乱は、入力ポート、ドロップ 2 ポート、又はそれら両方の場所で、観察できる。したがって、様々な実施形態は、入力ポート若しくはドロップ 2 ポートだけ、又は入力ポートとドロップ 2 ポートとの両方に、検出器を含む。

【 0 0 4 4 】

微小共振器に光結合した散乱中心の存在もまた、スルーポート 1 0 8 及びドロップポート 1 3 6 のところで観察される出力の変化を引き起こす。本発明の特定の一実施形態では

50

、ほとんどのバイオセンシングシステムでは水である環境のクラッド材料とは異なる屈折率をもつ散乱中心は、ナノメートルスケールの大きな共振線周波数シフトを誘発する。一部の場合には、クラッド屈折率と散乱中心屈折率との間には大きな相違があり、各屈折率は、複素屈折率となりうる。周波数シフトは、図 1 に概念的に示されている。スルーポート 1 0 8 において、グラフ 1 5 1 の実線 1 5 2 は、散乱中心が存在しないときにスルーポート検出器 1 1 4 のところで検出されるスペクトルを示す。破線 1 7 6 は、散乱中心が微小共振器と光結合するときに検出されるスペクトルを示しており、ピークがプロット 1 5 2 に比べてシフトしている。代表的なグラフ 1 5 2 において、シフトは、例えば、散乱中心の屈折率の実部がクラッド材料の屈折率よりも大きいことに対応して、一層長い波長すなわち赤色領域へ偏移している。

10

【 0 0 4 5 】

同様の変化がドロップポート 1 3 6 のところで見られ、破線 1 7 8 は、散乱中心ありのスペクトルを示し、実線 1 6 2 は、散乱中心なしのスペクトルを示す。微小共振器検知システムについては、すなわち散乱中心の結合強度の変化を検出するために、散乱中心を使用してドロップポート又はスルーポートの出力での周波数シフトを使用するシステムについては、共同所有の同時係属中の特許出願第 1 1 / 5 6 5 , 9 3 5 号の名称「光学的微小共振器 (Optical Microresonator) 」(本願と同日出願で、代理人整理番号 6 2 4 5 1 U S 0 0 2 の出願) に詳述されている。したがって、様々な検知システムでは、検出器は、ドロップポート 1 3 6 若しくはスルーポート 1 0 8 、又はそれら両方に配置される。

【 0 0 4 6 】

20

図 4 は、シングルバスリング共振器の実施形態 4 0 0 の概略図であり、ここでは光源 4 0 2 が入力ポート 4 0 6 のところで単一の導波路 4 0 4 と光通信している。入力ポート検出器 4 1 0 は、入力ポート 4 0 6 のところに位置決めされる。光スプリッタ又は光サーキュレータなどの光学コンポーネント 4 1 2 が、入力ポート 4 0 6 、光源 4 0 2 、及び入力ポート検出器 4 1 0 と光通信している。

【 0 0 4 7 】

リング微小共振器 4 1 8 は、導波路 4 0 4 と光通信している。光源 4 0 2 からの光 4 2 4 は、第 1 のバス導波路 4 0 4 内へと放たれ、スルーポート 4 0 8 に向かって伝播する。微小共振器 4 1 8 は、第 1 のバス導波路 4 0 4 から出てくる光 4 2 4 の一部をエバネッセント結合させ、結合しない光は、微小共振器 4 1 8 の 1 つ以上の共振周波数で、例えば第 1 の共振光学モード 4 2 8 で、微小共振器 4 1 8 内を伝播する。

30

【 0 0 4 8 】

本発明の一実施形態による検知事象の間、散乱中心 4 5 0 と微小共振器 4 1 8 との間の光結合の強度が変化する。散乱中心 4 5 0 が微小共振器と光通信しているとき、第 1 の導波光学モード 4 2 8 は、少なくとも、第 1 の導波光学モードとは異なる第 2 の導波光学モード 4 6 4 へと散乱される。第 2 の導波光学モードは、主に入力ポート 4 0 6 に結合し、入力ポートから光 4 2 6 として抜け出る。散乱中心の存在は、動作周波数の広範囲について、入力ポート 4 0 6 へと後方に反射される大きなエネルギー伝達をもたらす。その結果、散乱中心の結合の変化は、検出器 4 1 0 によって入力ポート 4 0 6 のところで光 4 2 6 を監視することによって確かめることができる。

40

【 0 0 4 9 】

代替的な一実施形態では、リング共振器 4 1 8 は、ディスク共振器に置き換えられる。

【 0 0 5 0 】

図 5 は、シングルバスディスク共振器の実施形態 5 0 0 の概略図であり、この形態は、光 5 2 4 を導波路 5 0 4 に提供するために、入力ポート 5 0 6 のところで単一の導波路 5 0 4 と光通信する光源 5 0 2 を含む。本明細書で示される他の実施形態とは異なり、光検出器 5 1 0 は、導波路ポートの代わりに、ディスク共振器 5 1 8 の中心 5 1 1 に位置決めされる。散乱中心 5 5 0 は、微小共振器 5 1 8 との光通信状態にされるか、又は光通信状態から除去される。ここに示される実施形態では、第 1 の共振光学モード 5 2 8 と第 2 の導波光学モード 5 6 4 との間で誘発された散乱を検出するステップには、微小共振器 5 1

50

8 の中心位置で誘発された散乱を検出するステップが含まれる。

【0051】

図6は、ダブルバス導波路レーストラック微小共振器の実施形態600の概略図であり、この形態では、光源602が入力ポート606のところで第1の導波路604と光通信している。入力ポート検出器610が、入力ポート606のところに位置決めされる。スルーポート608は、第1の導波路604の他端に存在する。光スプリッタ又は光サーキュレータなどの光学コンポーネント612は、入力ポート606、光源602、及び入力ポート検出器610と光通信している。

【0052】

光源602からの光624は、第1のバス導波路604内へと放たれ、スルーポート608に向かって伝播する。レーストラック微小共振器618は、2つの湾曲部分619と、2つの直線状部分620とを含む。微小共振器618は、第1のバス導波路604から出てくる光624の一部をエバネッセント結合させ、結合しない光は、微小共振器618の1つ以上の共振周波数で、例えば第1の共振光学モード628で、微小共振器618内を伝播する。一部の場合には、レーストラック618は、単一の横モードレーストラックであり、これは、レーストラックが、レーストラック内を伝播する光の方向に対して横断する方向の単一モードをサポートすることを意味する。他の一部の場合には、レーストラック618は、マルチの横モードレーストラックである。

【0053】

第2のバス導波路632は、微小共振器618と光通信するように位置決めされる。ドロップポート636は、第2のバス導波路632の一端に配置され、ドロップ2ポート638は、第2のバス導波路632の他端に配置される。ドロップポート636は、主に、第1の導波光学モード628に光結合可能である。ドロップ2ポート638は、第1の導波光学モードには非常に弱く結合できるか、又は第1の導波光学モードには結合できない。ドロップ2ポート検出器644は、ドロップ2ポート638のところに配置される。

【0054】

散乱中心650によって第1のモードから第2のモードへと散乱される光は、入力ポート606、ドロップ2ポート638、又は両方の場所で観察できる。したがって、様々な実施形態には、入力ポート606と光通信する検出器、ドロップ2ポート638と光通信する検出器、又は入力ポート及びドロップ2ポートのそれぞれと光通信する第1の検出器及び第2の検出器が含まれる。

【0055】

第1の共振導波光学モードから少なくとも第2の導波光学モードへと光散乱を誘発するように構成された微小共振器導波路システムの更なる実施形態が、共同所有の米国特許出願第11/565,935号の名称「光学的微小共振器(Optical Microresonator)」(本願と同日出願で、代理人整理番号62451US002号の出願)に説明され、記載されており、その特許出願の全体が参考として引用され、本明細書に組み込まれる。

【0056】

散乱中心は、微小共振器に光結合したときに、微小共振器内の共振モードの波動関数に摂動を与えて、散乱中心が存在しない場合に入力によって励起されるモード(図1の少なくとも第1の共振光学モード128など)から、散乱中心が存在しない場合には励起されないモード(図1の少なくとも第2の導波光学モード164など)へとエネルギー伝達を引き起こすことが可能な要素である。一実施形態では、散乱中心は、第1のモードから第2のモードへとエネルギー伝達を増大させるが、第1のモードから第2のモードへのエネルギー伝達いくつかは、散乱中心が存在しない場合でも起こることがある。

【0057】

本発明の検知方法とともに使用できる散乱中心の例には、ナノ粒子が含まれる。本明細書で説明するとき、用語「ナノ粒子」は、1000ナノメートル程度又は以下の最大寸法を有する粒子を指す。特定の実施形態では、散乱中心は、少なくとも20ナノメートル、最大でも100ナノメートル、又はその両方である。他の実施形態では、散乱中心は、少

10

20

30

40

50

なくとも10ナノメートル、最大でも150ナノメートル、又はその両方である。

【0058】

本発明の一実施形態では、散乱中心は、検知事象発生の間に散乱中心を取り囲むことになる媒質に比べて高い屈折率差を有し、通常は水である。本発明の一実施形態では、散乱中心は、高い吸収値を有する。例えば、散乱中心の材料の複素屈折率の虚部分は、少なくとも8である。

【0059】

一部の場合には、例えば金のような金属の場合には、散乱中心の屈折率の実部は、1未満である。他の一部の場合には、例えばシリコンの場合には、散乱中心の屈折率の実部は、2.5を超える。

【0060】

本発明で使用するのに適した散乱中心の例としては、シリコンナノ粒子、並びに金及びアルミニウムのナノ粒子を含むような金属ナノ粒子が挙げられる。一部の場合には、散乱中心は、Si、GaAs、InP、CdSe、又はCdSなどの半導体であってよい。例えば、散乱中心は、80ナノメートルの直径と、対象とする波長において3.5の屈折率（実部）とを有する、シリコン粒子とすることができる。散乱中心の他の例は、80ナノメートルの直径と、1550nm付近の波長において $0.54 + 9.58i$ の屈折率とを有する、金の粒子である。散乱中心の他の例は、80ナノメートルの直径と、1550nm付近の波長において $1.44 + 16.0i$ の屈折率とを有する、アルミニウムの粒子である。

【0061】

一部の実施形態では、散乱中心は、誘電体の粒子である。散乱中心は、多くの実施形態では非蛍光の粒子である。更に、散乱中心は、一部の実施形態では半導体ではない。

【0062】

ここで、すべての実施例に関係する点を説明するために、図1の実施例を参照すると、散乱中心150と微小共振器118との間の光結合の強度の変化は、それぞれ、第1の導波光学モード128と第2の導波光学モード164との間の光散乱の変化を誘発できる。光結合の強度の変化は、様々な手段によって達成できる。例えば、散乱中心150と微小共振器118との間の間隔「d」の変化が、散乱中心と微小共振器との間の光結合の強度を変化させることができる。他の例では、散乱中心の屈折率 n_s の変化が、散乱中心と微小共振器との間の光結合の強度を変化させることができる。一実施形態では、散乱中心は、微小共振器のコア内に埋め込まれた屈折率の可変領域である。そのような場合、屈折率は、例えば、可変領域が気体又は液体などの物質にさらされてその物質を吸収するとき、変化する可能性がある。一般に、散乱中心150と微小共振器118との間の光結合の強度に変化を引き起こすことができるメカニズムは、いずれもモード128とモード164との間の光散乱の変化を誘発することができる。

【0063】

センサとして微小共振器導波路システムを使用する手法がいくつかある。手法の選択は、検出すべき被分析物の化学的性質、検出に使用できる時間、サンプルの準備技術などを含め、さまざまな考慮事項によって決定される。検出器システムにおいて散乱中心を使用する一実施例は、微小共振器を特定の抗原用の抗体でコーティングするものである。抗体は、バクテリア及びウイルスのような異物を識別して無力化するために免疫系によって使用されるタンパク質である。各抗体は、特定の抗原を唯一の標的として認識する。

【0064】

一手法では、分析用サンプルは、散乱中心のラベル、例えばナノ粒子のラベルを、サンプルと混合する前にナノ粒子に対応する抗体で機能化することによって、選択的に抗原分子に付着されるようにして準備される。サンプルは、次いで、微小共振器の表面と接触せられる。抗体で機能化された微小共振器とナノ粒子でラベル化された抗原との間の結合が、共振器の表面のところで起きるとき、ナノ粒子は、光結合の範囲内にもたらされ、直前には重要な信号が存在しなかったドロップ2ポート又は入力ポートにおいて、信号が検

10

20

30

40

50

出されることになる。同一又は類似の手法が、バクテリア、ウイルス及び孢子、並びにタンパク質及びDNAを検出するために使用される。

【0065】

微小共振器からの散乱中心の除去による検知は、被分析物が導入されるときに生じる抗原-抗体反応よりも弱い結合を有する抗原-抗体系で、散乱中心を微小共振器に最初に結合させることにより、達成される。微小共振器への結合の競合は、微小共振器の近傍からの散乱中心の離脱、及び散乱中心との光結合の喪失をもたらす。同様の手法は、ナノ粒子と共振器との間の化学結合を選択的に識別可能な任意の化学種の検出を可能にする。

【0066】

光源102は、所望の単一波長又は波長範囲で光124を発生する。例えば、微小共振器がセンサ内で使用される場合、光源102は、散乱中心と相互作用する波長で光を発生し、この散乱中心は、微小共振器との光通信へと導入されるか、又は微小共振器との光通信から除去される。微小共振器を使用する検知システムでは、光源が第1のバス導波路104内へと効率的に結合される光を生み出すことが特に重要である。このことは、レーザー例えば半導体レーザーのような光源を常習的に使用することをもたらす。半導体レーザーなどのレーザーは、本発明の実施形態で使用するのに適した光源である。更に、本発明の手法は、既存の検知システムにおける光源よりも広い波長範囲を発生する光源の使用を可能にする。一実施形態では、光源102としてはランプが挙げられ、ランプからの光を第1のバス導波路104内へと結合させる適切な光学系を伴うランプを含む。一部の用途では、光源102は、発光ダイオード(LED)又は半導体レーザーなどのレーザーにすることができる。一実施形態では、ランプは、1つの特定の波長又は狭い範囲の波長ではなく、多数の周波数又は任意の範囲の周波数を発する、広帯域光源である。一部の用途では、光源は、例えば白色光を発する、広帯域光源とすることができる。一部の場合には、光源102は、約400nm~約2000nmの範囲内の少なくとも1つの波長を有する光を発することができる。他の一部の場合には、範囲を約700nm~約1600nmとすることができる。他の一部の場合には、範囲を約900nm~約1400nmとすることができる。一部の場合には、光源102は、633nm、850nm、980nm、1310nm、又は1550nmで光を発することができる。

【0067】

第1のバス導波路104は、任意の適切なタイプの導波路であってよく、例えば、シリコン基板内又はシリコン基板上に形成された導波路など、基板内又は基板上に形成されたチャネル導波路であってよい。第1のバス導波路104は、光ファイバであってよい。

【0068】

検出器ユニット110には、光を検出するために、光検出器、例えば、フォトダイオード又はフォトトランジスタが挙げられる。検出器ユニット110には、光検出器に到達する光の波長を選択する、波長感応のデバイスを含むこともできる。波長選択のデバイスは、例えば、フィルタ、又は分光計であってよい。ユーザが光検出器に入射する光の波長を能動的に変更できるように、波長選択のデバイスは、波長可変であってよい。一部の場合には、波長選択のデバイスは、ドロップ2ポートなど、他のポートのところで用いられてよい。

【0069】

図1の微小共振器118は、ディスク微小共振器であることが示されている。一般に、微小共振器118は、任意の種類の共振器とすることができ、例えば任意の形状の微小キャビティにして、多数の導波光学モードをサポート可能とし、1つ以上の光導波路に結合可能とする。例えば、微小共振器118は、リング微小共振器、閉ループ微小共振器、球微小共振器、トロイダル微小共振器、ディスク微小共振器、又はレーストラック微小共振器とすることができる。本明細書で論じる様々な代表的な実施形態では、これらの微小共振器のタイプのいずれかを別のものに置き換えて、代替的な実施形態を作り出すことができる。リング及びディスク微小共振器の製作プロセスは、標準的なマイクロエレクトロニクスプロセスと適合性があるので、これらのデバイスは、低コスト製造及び着実なシステ

10

20

30

40

50

ムへの大きな可能性を提供する。

【0070】

一部の場合には、微小共振器は、円対称性を有しており、円対称性は、微小共振器のコアの断面の周囲長を、中心点からの距離だけの関数として表すことができることを意味する。ディスク形の微小共振器の場合など、一部の場合には、中心点は、微小共振器の中心とすることができる。円対称性を有する代表的な微小共振器形状としては、球、トロイド、ディスク、及び円筒が挙げられる。一部の場合には、微小共振器は、球形の微小共振器など、球対称性を有することができる。

【0071】

微小共振器118は、通常、 $2\mu\text{m}$ ～数ミリメートルの範囲の直径を有するが、多くは $5\mu\text{m}$ ～ $500\mu\text{m}$ の範囲である。一部の場合には、範囲は、約 $5\mu\text{m}$ ～約 $100\mu\text{m}$ である。

【0072】

一部の場合には、本発明のバス導波路及び微小共振器並びに光源及び検出器は、共通の基板上に集積される。集積化は、モノリシック集積化とすることができ、そのような場合、様々な構成要素すべてが、通常は同一の材料系を使用して共通の基板上へと製作される。そのような集積化は、基板の特性により可能であり、この特性とは、集積化が、一部の基板については一層容易又は実現可能であり、他の一部の基板については一層困難又は不可能な場合があることを意味する。例えば、検出器、微小共振器、及び導波路をSi基板のような基板上に製作する又は成長させることは可能な場合があるが、光源を同一の基板上に成長させる又は製作することは、困難又は不可能な場合がある。他の例として、すべてのシステム構成要素をInP又はGaAs基板などのIII-V半導体基板上に成長させる又は製作することが可能な場合がある。

【0073】

集積化は、混成集積化とすることができ、その場合、構成要素の少なくともいくつかは初めに別個に製作され、次いで共通の基板上に組み立てられる。組み立ては、例えば、検出器及び光源を基板上に接着結合させることによって、実施できる。そのような場合、微小共振器及び導波路は、基板上に一体となって集積化される。一部の場合には、結合させることは、バス導波路と一緒にして、光源及び検出器のアクティブアライメントを必要とする場合がある。

【0074】

特定の実施形態では、共通の基板は、二酸化ケイ素などのような集積光学系に使用される従来の基板であり、この二酸化ケイ素は、バス導波路及び微小共振器（又は光源及び光検出器）を作製するために使用される材料よりも実質的に低い屈折率を有する。基板には、ガラスなどの平らな固体材料、又はポリマー基板などの滑らかな可撓性材料を含むことができることが考慮される。例えば、ポリエステル、ポリアクリレート、及びポリイミド基板が、本発明で有用な場合がある。基板は、光学的に不透明又は透過性であってよい。基板は、ポリマー、金属、半導体、又は任意の種類のガラスであってよい。一実施例では、基板は、シリコンである。他の例として、基板は、フロートガラスであってもよく、又はポリカーボネート、アクリル、ポリエチレンテレフタレート（PET）、ポリ塩化ビニル（PVC）、ポリスルホンなどの有機材料から作製されてよい。

【0075】

集積デバイスを製造するためには、通常、1つ以上の高屈折率材料が基板上に堆積され、1つ以上のバス導波路及び微小共振器を形成するようにパターン化される。パターン化は、マスクを介した蒸着、印刷、又はリフトオフプロセスなどの付加方法によって実施できる。熱蒸発、スパッタリング、印刷、分子線エピタキシー（MBE）、有機金属化学蒸着（MOCVD）、気相エピタキシー（VPE）、及び化学蒸着は、すべて、導波路、微小共振器、又は他の光学コンポーネントを基板上に堆積させるために使用できる方法の例である。導波路素子を基板上にパターン化することも、反応性イオンエッチング又は湿式化学エッチングなどのエッチングのような減法的方法によって可能である。一部の用途で

10

20

30

40

50

は、微小共振器、光導波路、光源及び検出器は、同一の基板上に集積される。集積デバイス又は集積デバイスの部品は、例えば、成形プロセスによって製作できる。

【0076】

共振器に結合される導波路は、しばしば、導波路の外側の光フィールド強度の強度を高めるようにテーパ加工され、ゆえに、微小共振器と結合される光の量を増加させる。光ファイバ導波路の場合、ファイバは、加熱され、全厚約1～5 μmになるまでテーパ加工又はエッチングされてよい。同様に、平面又はチャネル導波路の場合、導波路の厚さは、光が微小共振器に結合される領域において縮小されてよい。導波路の大きさが縮小されることに加えて、導波路の周囲のクラッドの厚さも縮小されることができ。微小共振器を導波路又はファイバに結合させるための様々な手法が、共同所有された同時係属中の米国特許出願公開第2005-0077513に更に詳細に論じられており、その特許出願は、参考として引用され、本明細書に組み込まれる。

10

【0077】

導波路をいかに微小共振器に結合させて、許容可能な光学的な損失量及び許容可能な製造プロセスをもつ微小共振器構造をもたらしうことができるかについては、多くの異なる実施例がある。例えば、図3は、微小共振器118への第1のバス導波路104及び第2のバス導波路132の横結合を示す。この構成では、導波路104、132と微小共振器118との間の光結合は、構造が図3の向きにあるとき、横向き又は横方向に生ずる。特定の実施形態では、例えば、共同所有された米国特許出願第11/277769号に記載のように、導波路モードを結合強化のために微小共振器に向かって押すために、クラッドが導波路104、132の外側204、232上に存在しており、その特許出願は、参考として引用され、本明細書に組み込まれる。導波路104、132と微小共振器118との間の結合を達成するように導波路104、132上にクラッドを構成する、他の多くの選択肢がある。

20

【0078】

横結合構成のいくつかの実施形態では、導波路104、132及び微小共振器118は、パターン化の同一ステップを使用して製作される。

【0079】

図3の横結合の構成の代替形態は、垂直結合の構成であり、その実施例が図13に示されている。垂直結合した光学デバイス1300は、基板1303上に配置された下側クラッド層1305内にすべて埋め込まれた、光学的微小共振器1318、第1の光導波路1304、及び第2の光導波路1332を含む。導波路1304、1332は、クラッド層1305によって取り囲まれる。垂直結合構成では、導波路1304、1332と微小共振器1318との間の光結合は、光学デバイス1300が図13の向きにあるとき、垂直又は上下方向に生ずる。

30

【0080】

垂直結合構成のいくつかの実施形態では、導波路1304、1332は、微小共振器1318から、別のリソグラフィのステップでパターン化される。

【0081】

一部の場合には、微小共振器とバス導波路との間の結合は、エバネッセント結合であり、これは、微小共振器及びバス導波路のコアは、接触していないが、互いに十分に近くにあり、それによって、微小共振器のエバネッセントテールと導波路が、2つのコア間のクラッド領域で重なり合うことを意味する。

40

【0082】

他の一部の場合には、微小共振器及びバス導波路のコアは、同時係属中の特許出願第11/565,935号の名称「光学的微小共振器(Optical Microresonator)」(本願と同日出願で、代理人整理番号62451US002号の出願)に詳述されているように、物理的に接触している。そのような場合、微小共振器とバス導波路との間の結合は、コア結合と呼ぶことができる。

【0083】

50

一部の場合には、微小共振器とバス導波路との間の結合は、図 1 4 に概略的に示される多モード干渉結合器を介して実施できる。光学システム 1 4 0 0 は、多モード干渉結合器 (MMIC) 1 4 5 0 によって第 1 のバス導波路 1 4 1 0 及び第 2 のバス導波路 1 4 2 0 に光結合した微小共振器 1 4 0 5 を含み、MMIC は、例えば、長方形とすることができる。MMIC 内の光学干渉は、導波路 1 4 1 0 内で放たれた光のどの部分が微小共振器 1 4 0 5 に結合し、どの部分が第 2 のバス導波路 1 4 2 0 に結合するかを決定する。代表的な光学システム 1 4 0 0 では、導波路 1 4 1 0 及び 1 4 2 0 は、同一直線上にある。一般に、2 つのバス導波路は、同一直線上にあってもなくてもよい。

【0084】

2 つのバス導波路を有する微小リング共振器システムを、有効な 2 次元の有限差分時間領域 (FDTD: finite difference time domain) シミュレーションを使用して、数値的に分析した。異なるシミュレーションを実施して、微小リング共振器システムに光結合した様々な種類の散乱中心の効果を実証した。モデル化されたシステムは、図 1 に示したシステム 1 0 0 に類似しているが、ディスク共振器 1 1 8 の代わりにシングルモード微小リング共振器を有する。リングの直径は、3 . 6 マイクロメートルで、リングのコアの実効屈折率は、3 であった。 $n = 1 . 33$ を有する水クラッド (water cladding) がリング共振器を取り囲んでいると考えた。1 ~ 3 マイクロメートルの波長を有する光が、広帯域の光源から放たれている。

【0085】

第 1 の実施例は、2 つのバス導波路を有するリング共振器に取り付けられたシリコンのナノ粒子の効果を示しており、ナノ粒子は、80 ナノメートルの直径と、3 . 5 の屈折率とを有する。図 7 では、信号強度は、x 軸の波長に対して、入力光の強度に関する任意の単位で y 軸上にプロットされている。スルーポートのところで検出される信号が図 7 に示されており、図 7 では、プロット 7 1 0 は、水クラッドだけを有するリングについての出力を表し、プロット 7 2 0 は、シリコンのナノ粒子に光結合したリングに対して出力を表す。スルーポートスペクトルでは、約 2 ナノメートルのピークシフトが、1 . 55 ミクロンの波長で起こる。他の共振波長では、かなりのシフトがナノメートルのスケールで観察されており、検知方法においてナノ粒子を使用する技術の感度増大を示している。

【0086】

この第 1 の実施例では、ドロップ 2 ポートについて波長に対してプロットされた信号強度が図 8 に示されており、図 8 では、プロット 8 1 0 は、水クラッドだけを有するリングについての出力を表し、プロット 8 2 0 は、シリコンのナノ粒子がリングに光結合したときのリングからの出力を表す。ドロップ 2 ポートのスペクトルでは、波長 1 . 55 マイクロメートルにおける信号は、ナノ粒子を用いた場合、ナノ粒子を用いない場合よりもほぼ 50 倍高い。同様の強度増加は、他の多くの共振波長にも存在しており、この技術の広帯域での性質を示していた。これは、光源の波長が、散乱中心を伴う検知方法を実施するときに最大の信号増強を得るように選択可能であることを示す。

【0087】

第 2 の実施例は、2 つのバス導波路を有するリング共振器に取り付けられた金のナノ粒子の効果を示しており、金の粒子は、80 ナノメートルの直径と、1550 ナノメートル付近で $0 . 54 + 9 . 58 i$ の屈折率とを有する。スルーポートについて波長に対してプロットされた信号強度が図 9 に示されており、図 9 では、プロット 9 1 0 は、水クラッドだけを有するリングについての出力を表し、プロット 9 2 0 は、光通信する金のナノ粒子を有するリングについての出力を表す。スルーポートスペクトルでは、約 4 ナノメートルのピークシフトが 1 . 55 マイクロメートルの波長で起こる。

【0088】

この第 2 の実施例では、波長に対してプロットされたドロップ 2 ポートにおける信号強度が図 10 に示されており、図 10 では、プロット 10 1 0 は、水クラッドだけを有するリングについての出力を表し、プロット 10 2 0 は、光通信する金粒子を有するリングについての出力を表す。ドロップ 2 ポートでのスペクトルでは、波長 1 . 55 マイクロメー

10

20

30

40

50

トルにおける信号は、金の粒子を用いた場合、金の粒子を用いない場合よりもはるかに高くなる。金は、可視波長～赤外波長について、小さな実屈折率と、非常に大きな虚屈折率（材料の吸収を表す）とを有する。したがって、一部の場合には、金でコーティングされた粒子又は金の粒子は、スループートでの一層大きな共振波長シフトと、ドロップ２ポートでの重要な信号の増強とをもたらすことができる。

【 0 0 8 9 】

第３の実施例は、２つのバス導波路を有するリング共振器に取り付けられたアルミニウムのナノ粒子の効果を示しており、アルミニウム粒子は、８０ナノメートルの直径と、１５５０ナノメートル付近で１．４４＋１６．０ｉの屈折率とを有する。スループートについて波長に対してプロットされた信号強度が図１１に示されており、図１１では、プロット１１１０は、水クラッドだけを有するリングについての出力を表し、プロット１１２０は、ディスク共振器と光通信するアルミニウムのナノ粒子を有するリングについての出力を表す。スループートのスペクトルでは、約５ナノメートルのピークシフトが１．５５マイクロメートルの波長で起こる。

【 0 0 9 0 】

この第３の実施例では、波長に対してプロットされたドロップ２ポートにおける信号強度が図１２に示されており、図１２では、プロット１２１０は、水クラッドだけを有するリングについての出力を表し、プロット１２２０は、ディスク共振器と光通信するアルミニウムの粒子を有するリングについての出力を表す。ドロップ２ポートでのスペクトルでは、波長１．５５マイクロメートルにおける信号強度は、アルミニウムの粒子を用いた場合、アルミニウムの粒子を用いない場合よりもはるかに高くなる。アルミニウムの場合、屈折率の実部は、かなり高く、アルミニウムは、屈折率の大きな虚部（吸収）を有する。これらの特性は、スループートでの一層大きな共振波長シフトと、ドロップ２ポートでの一層大きな信号の増強とをもたらすことができる。更に、スペクトルピークの広がり、共振波長で観察できる。

【 0 0 9 1 】

ここに開示のデバイスに関係するいくつかの利点が、以下の実施例によって示される。この実施例で列挙される特定の材料、量及び寸法、並びに他の条件及び詳細は、本発明を不当に制限するものと解釈すべきではない。図１３のデバイスに類似した光学システムを製作した。初めに、屈折率１．４６の厚さ３マイクロメートルの下地絶縁膜（ＢＰＳＧ）の下側クラッド層を、プラズマ助長型化学蒸着（ＰＥＣＶＤ：plasma enhanced chemical vapor deposition）を使用して、０．７５ｍｍシリコン（１００配向）基板上に堆積させた。次に、サンプルを加熱し、１０８０℃で約４時間にわたってリフローさせた。次に、ＰＥＣＶＤを使用して、厚さ２５０ナノメートルのＳｉＮ層をＢＰＳＤＧ下側クラッド上に堆積させた。堆積されたＳｉＮ層は、２つの光導波路のコアを形成し、２．０の屈折率を有した。

【 0 0 9 2 】

次に、堆積されたＳｉＮ層を、従来のフォトリソグラフィ技術及び反応性イオンエッチング（ＲＩＥ）の使用によりパターン化して、リッジ形の第１のバス導波路及び第２のバス導波路を作り出す。各導波路についてのエッチング深度は、約１３０ナノメートルであった。各導波路のコアは、幅約１．５マイクロメートルであった。次に、ＰＥＣＶＤを使用して、厚さ１００ナノメートルのＳｉＯ₂層で導波路をコーティングすることによって、バス導波路を埋め込んだ。ＳｉＯ₂層は、約１．４６の屈折率を有していた。

【 0 0 9 3 】

次に、微小共振器を形成するために、屈折率２．０を有する厚さ２５０ナノメートルのＳｉＮ層を、ＰＥＣＶＤを使用してＳｉＯ₂層上に堆積させた。堆積したＳｉＮ層を、従来のフォトリソグラフィ技術及び反応性イオンエッチング（ＲＩＥ）を使用して、直径３０マイクロメートルのディスクへと形成した。各バス導波路の中心軸は、ディスク周辺に計画通りに並べた。各導波路と微小共振器との間の光結合は、垂直エバネッセント結合によって達成された。

10

20

30

40

50

【 0 0 9 4 】

散乱中心を、ポータブルな原子間力顕微鏡 (A F M) (スイス、リースタール (Liesta l) のナノサーフ (Nanosurf) 社から入手可能なモデル M O B I L E S) を使用して、微小共振器の光フィールド内に 1 0 マイクロメートルのシリコン A F M プロブチップ (カリフォルニア州サンタクララ (Santa Clara) のアプライド・ナノストラクチャーズ (A p p l i e d NanoStructures) 社から入手可能なモデル S I C O N A) を置くことによって、シミュレートした。

【 0 0 9 5 】

高出力エルビウムドープファイバ増幅器 (E D F A) 光源 (カリフォルニア州ムリエタ (Murrieta) のニューフoton・テクノロジー (Nuphoton technologies) 社から入手可能なモデル N P 3 0 0 0 P S) を使用して、光は、約 1 5 4 0 ナノメートル～約 1 5 7 5 ナノメートルの波長範囲内の自然放出と共に、第 1 のバス導波路内へと放った。

【 0 0 9 6 】

光学的スペクトル分析器 (カリフォルニア州パロアルト (Palo Alto) のヒューレットパッカード (Hewlett-Packard) 社から入手可能なモデル H P 8 6 1 4 2 A) 及び広帯域パワーメータ (これもまた、ヒューレットパッカード (Hewlett-Packard) 社から入手可能なモデル H P 8 1 5 3 2 A) の両方でドロップ 2 ポートでの出力を監視できるように、光スプリッタを、光学システムのドロップ 2 ポートの近くに置いた。

【 0 0 9 7 】

上記結果を図 1 5 に示す。曲線 1 5 1 0 は、プローブ先端がディスク微小共振器の光フィールドの十分外側にある状態 (先端が上のとき) でのドロップ 2 ポートのところでの出力スペクトルである。曲線 1 5 2 0 は、プローブ先端が微小共振器の光フィールドの十分内側にある状態 (先端が下のとき) での出力光のスペクトルを示す。各曲線は、約 1 5 5 0 n m 、 1 5 5 7 n m 、 及び 1 5 6 4 n m のところに 3 つの共振を有する。散乱中心が存在しない場合の出力光 1 5 1 0 の存在は、エッチングプロセスの間に生じた表面粗さに起因すると考えられており、微小共振器のモード間の光散乱をもたらしている。

【 0 0 9 8 】

先端が下のときのドロップ 2 ポートにおける総出力パワーは、先端が上のときの出力パワーよりも約 1 . 5 d B 大きかった。この増加は、散乱中心として作用するプローブ先端の存在によるものであった。

【 0 0 9 9 】

本発明の光学的検知システムは、容易に複製することができ、容易に取り扱うことができ、高いキャビティ Q 係数を維持することができ、結合する導波路に容易に位置合わせできる。一部の場合には、微小キャビティ共振器及び導波路は、同一の基板上に集積できる。ここに開示の実施形態は、システムの感度を犠牲にすることなく、高価な狭帯域光源の代わりに、低コストの発光ダイオード (L E D) などの高価ではない広帯域光源の使用を可能にする。本発明は、検出感度をほとんど又は全く損失することなく、高価な分光学的検出器に代わる、広帯域検出器の使用をもまたもたらす。

【 0 1 0 0 】

本願は、異なるモード間において一層大きな波長シフト又は一層強い光散乱のような、増強された感度を有する検知システムも開示する。増強された感度は、例えば、単一の被分析物の検出を可能にできる。

【 0 1 0 1 】

製作が容易で、被分析物にさらされたときに一層大きなスペクトルシフトを生み出し、狭線幅の波長可変レーザよりも高価ではない光源を使用できる、微小共振器を使用する光学的検知システムへのニーズが存在する。

【 0 1 0 2 】

したがって、本発明は、前述した特定の実施例だけに限定されるときではなく、むしろ、特許請求の範囲で公正に記載される本発明のすべての態様に及ぶものと理解すべきである。本明細書を検討すれば、本発明を適用可能なさまざまな変更例、均等なプロ

10

20

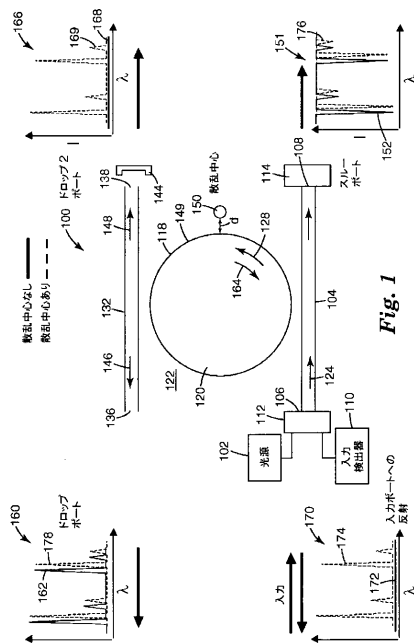
30

40

50

セス、多数の構造を本発明に関連する当業者には容易に明らかになる。特許請求の範囲はそのような修正及び装置を網羅しようとするものである。

【 図 1 】



【 図 2 】

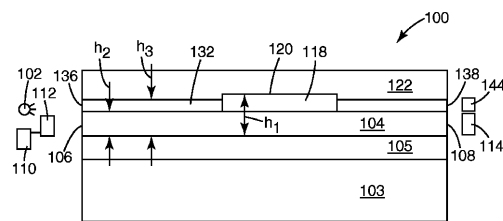


Fig. 2

【 図 3 】

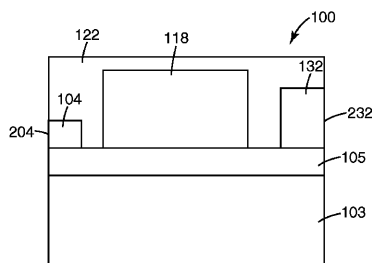
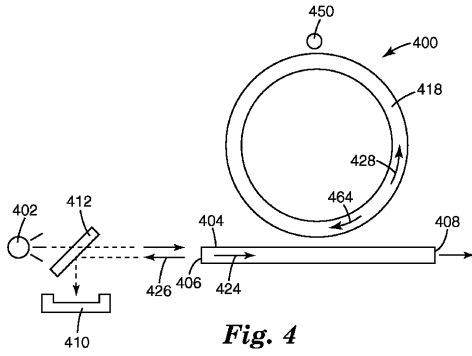
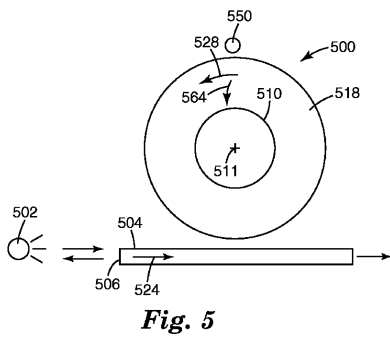


Fig. 3

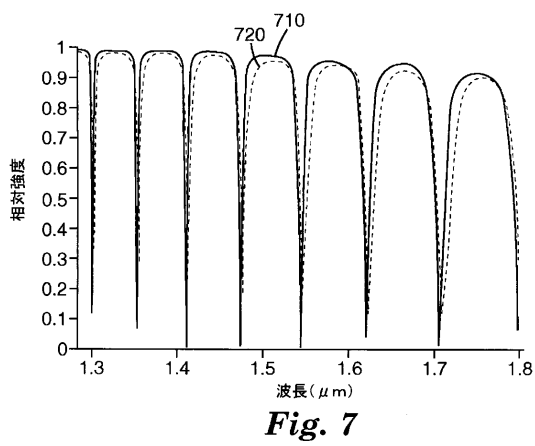
【 図 4 】



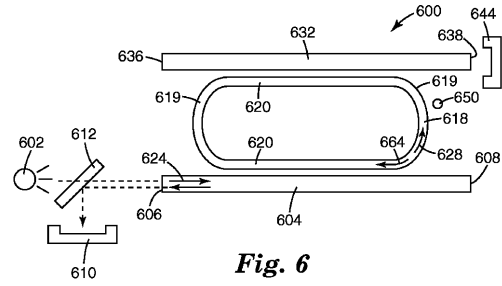
【 図 5 】



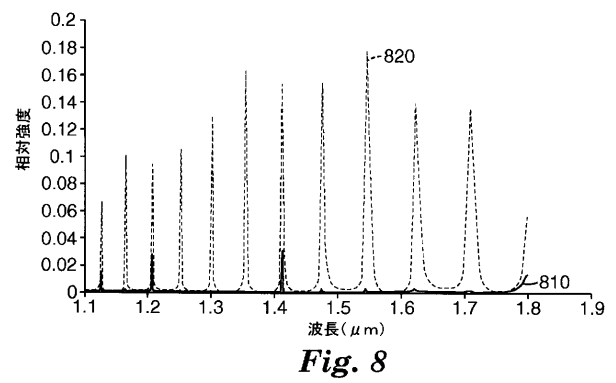
【 図 7 】



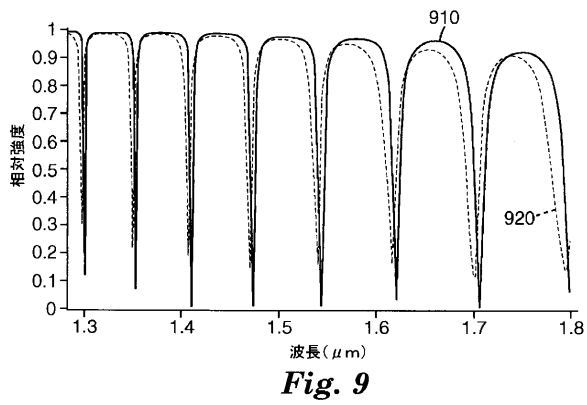
【 図 6 】



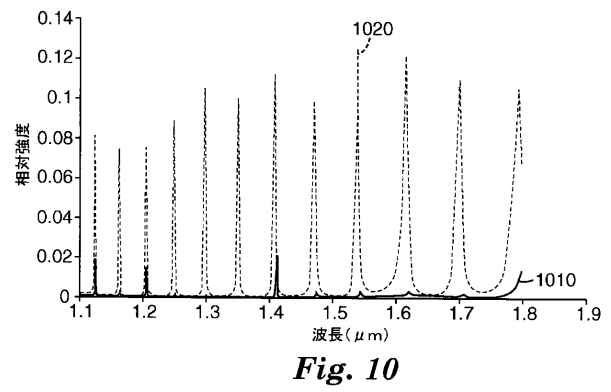
【 図 8 】



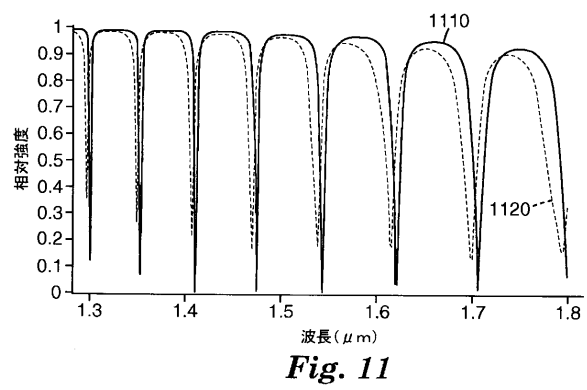
【 図 9 】



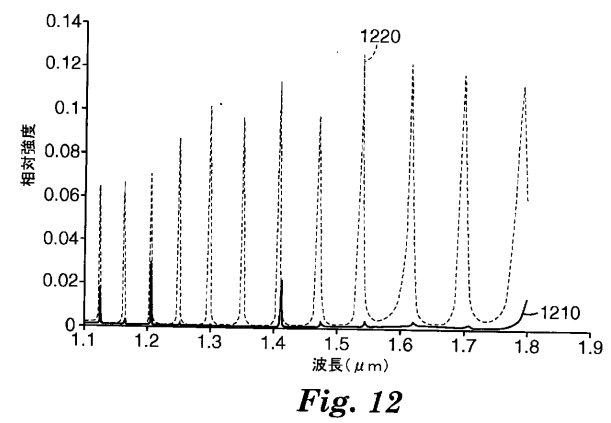
【 図 1 0 】



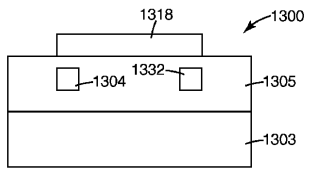
【 図 1 1 】



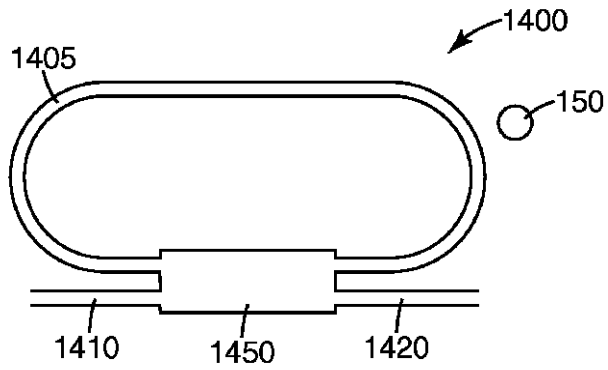
【 図 1 2 】



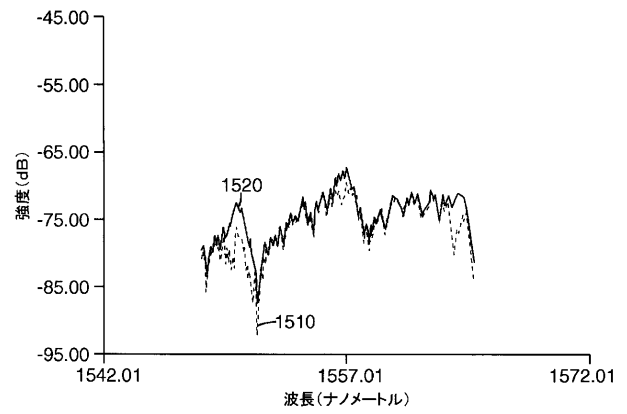
【図 13】

**Fig. 13**

【図 14】

**Fig. 14**

【図 15】

**Fig. 15**

【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/US2007/083932
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
<i>G01J 3/44(2006.01)i, G01N 21/27(2006.01)i</i>		
According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED		
Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) IPC 8 : G01J, G01N		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Korean Utility models and applications for Utility models since 1975 Japanese Utility models and applications for Utility models since 1975		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used) eKIPASS(KIPO Internal) "Keywords: optic, waveguide, microresonator, scattering center, coupling, port, detector"		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	US20050078731 A1(XUDONG FAN et al.) 14 APRIL 2005 See paragraphs [0018]-[0025] , claims 1 and 2, figure 1	1-2, 7-24, 27-29, 34-43
A		3-6, 25-26, 30-33, 44-47
Y	US6751368 B2 (DESMOND R. LIM et al.) 15 JUNE 2004 See abstract, claim 1, column 7, line 61-column 8, line 19, figures 2-5	1-2, 7-24, 27-29, 34-43
A		3-6, 25-26, 30-33, 44-47
A	US6947632 B2 (SYLVAIN G. FISCHER et al.) 20 SEPTEMBER 2005 See abstract, figures 4-10	1-47
A	US6580851 B1 (KERR J. VAHALA et al.) 17 JUNE 2003 See abstract, claim 1, figures 3-4	1-47
☐ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☒ See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 18 JUNE 2008 (18.06.2008)		Date of mailing of the international search report 18 JUNE 2008 (18.06.2008)
Name and mailing address of the ISA/KR  Korean Intellectual Property Office Government Complex-Daejeon, 139 Seonsa-ro, Seo-gu, Daejeon 302-701, Republic of Korea Facsimile No. 82-42-472-7140		Authorized officer Byeon Jong Gil Telephone No. 82-42-481-5472 

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/US2007/083932

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2005-0078731 A1	14.04.2005	CN 186782 C EP 1673615 A1 WO 2005-040772 A1	22.11.2006 28.06.2006 06.05.2005
US 6751368 B2	15.06.2004	US 2002-0094150 A1	18.07.2002
US 6947632 B2	20.09.2005	US 2003-0123780 A1	03.07.2003
US 6580851 B1	17.06.2003	NONE	

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW

(72)発明者 スミス, テリー エル.

アメリカ合衆国, ミネソタ 5 5 1 3 3 - 3 4 2 7, セント ポール, ポスト オフィス ボックス 3 3 4 2 7, スリーエム センター

(72)発明者 イー, ヤシャ

アメリカ合衆国, ミネソタ 5 5 1 3 3 - 3 4 2 7, セント ポール, ポスト オフィス ボックス 3 3 4 2 7, スリーエム センター

(72)発明者 コッチ, バリー ジェイ.

アメリカ合衆国, ミネソタ 5 5 1 3 3 - 3 4 2 7, セント ポール, ポスト オフィス ボックス 3 3 4 2 7, スリーエム センター

F ターム(参考) 2G054 CE02 EA03 FA06 FA16 FB02 FB03

2G059 AA01 BB12 EE02 JJ17 KK01 LL02