

(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2008-539447

(P2008-539447A)

(43) 公表日 平成20年11月13日(2008.11.13)

(51) Int.Cl. F I テーマコード (参考)
GO 1 N 21/64 (2006.01) GO 1 N 21/64 Z 2 GO 4 3

審査請求 未請求 予備審査請求 有 (全 24 頁)

(21) 出願番号	特願2008-512299 (P2008-512299)	(71) 出願人	507376923 クラウディオ・オリベイラ・エガロン
(86) (22) 出願日	平成18年4月26日 (2006. 4. 26)		アメリカ合衆国カリフォルニア州9027
(85) 翻訳文提出日	平成19年12月17日 (2007.12.17)		7リンドビーチ パロスバーデス ブル
(86) 国際出願番号	PCT/US2006/015991		バード350 アパート3
(87) 国際公開番号	W02006/116590	(74) 代理人	507376912 坂野 美佐子
(87) 国際公開日	平成18年11月2日 (2006.11.2)	(72) 発明者	クラウディオ・オリベイラ・エガロン
(31) 優先権主張番号	60/676, 121		アメリカ合衆国カリフォルニア州9027
(32) 優先日	平成17年4月28日 (2005. 4. 28)		7リンドビーチ パロスバーデス ブル
(33) 優先権主張国	米国 (US)		バード350 アパート3
		Fターム(参考)	2G043 AA01 EA01 EA02 FA06 GA04 GA06 HA05 KA02 KA03

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 改良された可逆的な、低コストの、空間分解能の高い分布型光ファイバー・センサー

(57) 【要約】

【課題】 敏感な光ファイバー、プローブ用光源、パワーサプライ、検出手段、シグナルプロセス手段、および表示手段を備えた、分光法に基づいた光ファイバー・センサーの発明である。

【解決手段】 敏感な光ファイバーは、蛍光あるいは吸収ベースの指示標識のどちらかで作製された敏感なクラディングを持つ。ファイバーは、少なくとも一つの測定量の存在により、光学的に影響される。敏感なファイバーに隣接するプローブ用光源は、ファイバーの側面を照射する。プローブ光は、敏感なクラディングにより調整され、光シグナルとして光ファイバー・コアとカップリングし、光ファイバーの末端に位置する検出手段へ取り入れられる。検出手段は、光強度を電気シグナルに変換し、シグナルプロセス手段へそれを伝達する。シグナルプロセス手段では、電気シグナルは測定された値と相関がある。相関値は伝達され、表示手段で表示される。

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

敏感な光ファイバー、少なくとも一つのプローブ用光源、検出手段、シグナルプロセス手段、表示手段、パワーサプライより構成されるセンシング・システム。

前記敏感な光ファイバーがコアを持つこと、前記敏感な光ファイバーがクラディングを持つこと、前記クラディングが少なくとも一つの敏感な部位を持つこと、また、前記敏感な部位が少なくとも一つの測定に対して敏感であること

前記プローブ用光源がプローブ光を発すること、そして、前記プローブ用光源が前記敏感な部位の敏感な光ファイバーに隣接すること

前記検出手段が、前記敏感な光ファイバーの第 1 末端との軸方向の光通信を行うこと

前記シグナルプロセス手段が、前記検出手段とのデータ通信を行うこと

前記表示手段が、前記シグナルプロセス手段とのデータ通信を行うこと

前記パワーサプライが前記プローブ用光源、前記検出手段、前記シグナルプロセス手段、および前記表示手段に電力を供給すること

また 前記敏感な光ファイバーが、その周辺環境での前記の少なくとも 1 回の測定に、り、単調な相互作用で光学的に影響を受けること

また、前記プローブ光が、前記敏感な光ファイバーの前記敏感な部位と相互に作用し、改良されたプローブ光を発生すること。実際、このような改良が、前記測定によってなされ、前記改良されたプローブ光が、光シグナルで前記コアとカップリングすること

また、前記検出手段が、前記敏感な光ファイバーの前記第 1 末端の励起によって、前記光シグナルを受け取ること。前記検出手段が前記光シグナル強度を電気シグナルと関連付け、さらに、前記電気シグナルが前記シグナルプロセス手段に伝達されること

また、前記電気シグナルが測定した前記測定量と関連付けられ、前記測定量が伝達され、前記表示手段で表示されることを特徴とする。

【請求項 2】

請求項 1 に記載したセンシング・システムにおいて、前記光シグナルが、前記敏感な光ファイバーの前記敏感な部位から前記検出器へ伝播するように、前記コアがテーパ型の形状を持ち、通常は前記検出手段に分岐すること、前記テーパ型の形状が、前記光シグナルの強度の減少を抑えることを特徴とする。

【請求項 3】

請求項 1 に記載したセンシング・システムにおいて、前記コアが、蛍光コアを形成するための蛍光基質をドープされること、前記蛍光コアが、前記検出手段へ伝達される前記光シグナルの強度を増加させることを特徴とする。

【請求項 4】

請求項 1 に記載したセンシング・システムにおいて、前記コアの屈折率が、前記敏感な部位の屈折率よりも小さいことを特徴とする。

【請求項 5】

請求項 1 に記載したセンシング・システムにおいて、前記敏感な部位がグループから選択された試薬で作られること、そのグループが比色試薬、吸収ベースの試薬、蛍光試薬、および化学発光試薬からなることを特徴とする。

【請求項 6】

請求項 1 に記載したセンシング・システムにおいて、前記測定量がグループから選択されること、そのグループが、光ファイバーの前記敏感な部位周辺の化学物質の濃度、および光ファイバーの前記敏感な部位の周辺環境の温度からなることを特徴とする。

【請求項 7】

請求項 1 に記載したセンシング・システムにおいて、前記プローブ用光源がグループから選択されること、そのグループが紫外線発光ダイオード、広範囲の可視光ダイオード、および有機発光ダイオードからなることを特徴とする。

【請求項 8】

請求項 1 に記載したセンシング・システムにおいて、前記プローブ用光源が、最大寸法

10

20

30

40

50

5 mmであること、前記プローブ用光源が、最小でも5 mmの空間分解能を作り出すことができることを特徴とする。

【請求項 9】

請求項 1 に記載したセンシング・システムにおいて、前記プローブ用光源が、最小寸法5 mmであること、前記プローブ用光源が、最大でも5 mmの空間解像力を作り出すことができることを特徴とする。

【請求項 10】

請求項 1 に記載したセンシング・システムにおいて、前記の少なくとも一つのプローブ用光源が、前記敏感な光ファイバーの前記敏感な部位に沿った一次元的配列に位置するプローブ用光源の大部分であることを特徴とする。

10

【請求項 11】

請求項 10 に記載したセンシング・システムにおいて、前記プローブ用光源の大部分が、前記敏感な部位を同時に横切る前記プローブ光を発することを特徴とする。

【請求項 12】

請求項 10 に記載したセンシング・システムにおいて、前記プローブ用光源の大部分が、前記敏感な部位を連続して横切る前記プローブ光を発することを特徴とする。

【請求項 13】

請求項 10 に記載したセンシング・システムにおいて、前記プローブ用光源の大部分が、前記敏感な部位を横切る前記隣接するグループにおいて、前記プローブ光を発することを特徴とする。

20

【請求項 14】

請求項 10 に記載したセンシング・システムにおいて、それぞれの前記プローブ用光源の大部分が独立的で、前記敏感な部位を一つずつ横切る前記プローブ光を発すること、前記プローブ用光源の大部分が独立的で、前記敏感な部位の個別の部分照射すること、それぞれの前記プローブ用光源の大部分が、前記パワーサプライにより作動することを特徴とする。

【請求項 15】

請求項 1 に記載したセンシング・システムにおいて、前記検出手段が、敏感な光ファイバーの第 1 末端に位置するシリコン光検出器であることを特徴とする。

【請求項 16】

請求項 1 に記載したセンシング・システムにおいて、反射機が、前記敏感な光ファイバーの第 2 末端に位置すること、また、前記反射機が、前記検出手段への後方伝播モードの新たな方向付けにより、前記光シグナルを増加させることを特徴とする。

30

【請求項 17】

請求項 1 に記載したセンシング・システムにおいて、前記プローブ光が、励起光ファイバーにより伝達されること、前記励起光ファイバーが、特定の角度の反射遠位末端面を持つこと、前記励起光ファイバーが、前記敏感な光ファイバーと並行して位置すること、前記の特定の角度の反射遠位末端面が、前記プローブ光で、前記敏感な部位を横方向に照射するように設定されていること、プローブ光源が、前記プローブ光を、前記励起光ファイバーへ軸方向に取り入れること、補助プローブ光が、前記励起光ファイバーのコアとカップリングすること、前記プローブ光が、前記励起光ファイバーの長さに沿って、前記の特定の角度の反射遠位末端面上を伝達されること、また、前記プローブ光が、前記反射遠位末端面により前記敏感な部位に向け横方向に反射し、前記プローブ光と前記敏感な部位の相互作用を引き起こすことを特徴とする。

40

【請求項 18】

請求項 17 に記載したセンシング・システムにおいて、前記の特定の角度の反射遠位末端面は、再配置され、前記敏感な光ファイバーの個別の部分照射できることを特徴とする。

【請求項 19】

請求項 17 に記載したセンシング・システムにおいて、それぞれが前記の特定の角度の

50

反射遠位末端面を持つ、前記励起ファイバーの大部分が、前記敏感な光ファイバーと並行に位置すること、それぞれの前記励起ファイバーの、前記の特定の角度の反射遠位末端面が、前記敏感な光ファイバーに沿って、個別の部分に位置することを特徴とする。

【請求項 20】

請求項 1 に記載したセンシング・システムにおいて、前記プローブ用光源が、励起光ファイバーにより伝達されること、前記励起ファイバーが、長周期ブラッグ・グレーティングの大部分を持つこと、前記励起ファイバーが、前記敏感な光ファイバーと並行に位置すること、前記長周期ブラッグ・グレーティングが、個別の位置で、前記敏感な光ファイバーの前記敏感な部位を横方向に照射すること、プローブ用光源が、プローブ光をモノクロメーターへ取り入れること、前記モノクロメーターが、特定の波長へプローブ光をフィルタリングすること、特定の波長を持つ前記プローブ光が、前記励起光ファイバーへ軸方向に取り入れられること、特定の波長を持つ前記プローブ光が、類似した波長の特性を持つ特定の長周期グレーティングまで増幅すること、また、前記特定の長周期ブラッグ・グレーティングが、前記敏感なファイバーの敏感な部位へ、プローブ光を横方向に新たに方向付けすることを特徴とする。

10

【請求項 21】

請求項 20 に記載したセンシング・システムにおいて、前記モノクロメーターが、プローブ光を特定の波長へフィルタリングするように徐々に調整されること、特定の長周期ブラッグ・グレーティングおよび前記長周期ブラッグ・グレーティングに対応する前記特定の波長が、前記励起光ファイバーに沿った、既知のポイントに位置することを特徴とする。

20

【請求項 22】

請求項 1 に記載したセンシング・システムにおいて、前記敏感な光ファイバーおよび前記プローブ用光源が、本体内の源位置にインストールされること、また、少なくとも一つの測定値が、本体内でプローブされた、少なくとも一つのポイントで検出されることを特徴とする。

【請求項 23】

敏感な光ファイバー、少なくとも一つのブロードバンド白色光源、検出手段、シグナルプロセス手段、表示手段、パワーサプライより構成されるセンシング・システム：

前記敏感な光ファイバーがコアを持つこと、前記敏感な光ファイバーがクラディングを持つこと、前記クラディングが少なくとも一つの比色分析の敏感な部位を持つこと、また、前記敏感な部位が少なくとも一つの測定に対して敏感であること

30

前記ブロードバンド光源が、プローブ光を作り出すこと、また、前記ブロードバンド光源が、前記敏感な部位で敏感な光ファイバーに隣接すること、

前記検出手段が、前記敏感な光ファイバーの第 1 末端と、軸方向の光通信を行うこと、

前記シグナルプロセス手段が、前記検出手段とデータ通信を行うこと、

前記表示手段が、前記シグナルプロセス手段とデータ通信を行うこと、

前記パワーサプライが、前記プローブ用光源、前記検出手段、前記シグナルプロセス手段および前記表示手段に電力を供給すること、

前記敏感な光ファイバーが、敏感な光ファイバーの周辺環境における前記の少なくとも一つの測定値の存在により、単調な相互作用で光学的に影響されること、

40

前記ブロードバンド光が、前記敏感な光ファイバーの前記敏感な部位と相互に作用し、前記ブロードバンド光の一部が、前記敏感な部位に吸収され、部分的に吸収されるブロードバンド光を形成すること、前記吸収が、前記測定値の存在により、実際に影響されてきたこと、また、前記の部分的に吸収されるブロードバンド光が、漏えい光線の大部分の形で、光シグナルとして前記コアと実際にカップリングすること、

前記検出手段が、前記敏感な光ファイバーの第 1 末端の出口で、前記光シグナルを受け取ること、前記検出手段が、前記光シグナルの強度を電気シグナルと関連付けること、前記電気シグナルが、前記シグナルプロセス手段に伝達されること、

また、前記電気シグナルは、測定された前記測定量の値と相関があること、前記値は伝

50

達され、前記表示手段で表示されることを特徴とする。

【請求項 24】

敏感な光ファイバー、少なくとも一つの紫外 LED 励起光源、シリコン光検出器、シグナルプロセス手段、表示手段、パワーサプライより構成されるセンシング・システム。

前記敏感な光ファイバーがコアを持つこと、前記敏感な光ファイバーがクラディングを持つこと、前記クラディングが少なくとも一つの蛍光に敏感な部位を持つこと、また、前記敏感な部位が測定された少なくとも一つの測定値に対し敏感であること、

前記励起光源がプローブ光を作り出すこと、また、前記励起光源が、前記敏感な部位において前記敏感な光ファイバーに隣接していること、

前記シリコン光検出器が、前記敏感な光ファイバーの第 1 末端と軸方向の光通信をする
こと、 10

前記シグナルプロセス手段が、前記シリコン光検出器とデータ通信を行うこと、

前記表示手段が、前記シグナルプロセス手段とデータ通信を行うこと、

前記パワーサプライが、前記励起光源、前記シリコン光検出器、前記シグナルプロセス手段、および前記表示手段に電源を供給すること、

前記敏感な光ファイバーが、前記敏感な光ファイバーの周辺環境における前記の少なくとも一つの測定量の存在により、単調な相互作用で光学的に影響されること、

前記プローブ光が、前記敏感な光ファイバーの前記敏感な部位と相互に作用し、前記プローブ光の一部が、前記敏感な部位に吸収されること、前記敏感な部位が、プローブ光により、励起状態で蛍光を発すること、前記蛍光が、前記測定量の存在により実際に影響されること、前記蛍光が、光シグナルとして、実際に前記コアとカップリングすること、 20

また、前記光シグナルが、前記敏感なファイバーの前記第 1 末端に伝達されること、

前記シリコン光検出器が、前記敏感な光ファイバーの前記第 1 末端の出口で、前記光シグナルを受け取ること、前記シリコン光検出器が、前記光シグナル強度を電気シグナルと単調に関連付けること、前記電気シグナルが、前記シグナルプロセス手段に伝達されること、また、前記電気シグナルが、前記シグナルプロセス手段で測定量と関連すること、また、前記測定量が伝達され、前記表示手段に表示されることを特徴とする。

【発明の詳細な説明】

【発明の詳細な説明】

30

【技術分野】

【0001】

本発明は主に分光法に基づいた光ファイバー・センサーに関する。特に本発明は、吸収、蛍光、燐光及び化学発光に基づいたセンサーに関する。

【背景技術】

【0002】

分光法に基づいた光ファイバー・センサーは、多くの産業のいたるところで、温度、および液体またはガスからなる様々な化学種の検出に使用される。これらのセンサーは主として、2つの別個のアプローチを用いて開発されてきた：オプトロード（あるいはオプトロード）および分布型のセンシング・アプローチである。 40

【0003】

オプトロードは最も単純なタイプの光ファイバー・センサーである。Petersonら、US 4, 200, 110は、ファイバーの近位末端に位置する光源により励起される、ファイバーの遠位末端の指示標識を公表した。励起光はファイバーを通して移動し、スペクトル・シグナル（蛍光、燐光、化学発光および（または）吸収）を発生する指示標識と相互に作用する。シグナルは近位末端に戻り、検出器によって集められ、測定されるパラメーターと関連する。この場合、シグナルの変化を作り出すための長さに沿った、敏感な部位を持たないファイバーは、光の導管としてのみ役立つ。その導管は、ファイバー近位末端から指示標識まで乱れずに伝播し、戻る。ファイバー・センサーに沿ったポイントはそれぞれ、光源と指示標識の間で光通信をする個別のファイバーを必要とし、いくつ 50

かのファイバーの複雑なシステムを潜在的に作り出す。

【0004】

分布型のセンシング・アプローチにおいて、全ファイバーあるいはファイバーの部分はセンサーの役割を果たす。ある事例では、ファイバーは、測定されたパラメーターに敏感な単一のクラディングで製造される。他の事例では、いくつかのクラディング・セクションはファイバー・コアを露出するように除去される。次に、露出したコアの部位は、反応試薬でコーティングされ、多くの場合はクラディングのそれに似た屈折率を持つ。いずれのアプローチにおいても、これらの反応部位は励起光によってプローブされる。ファイバーはシグナル導管の役割を果たすだけでなく、それ自身が敏感で、マルチポイント準分布型の検出装置となる。しかし、オプトロード・アプローチは、いくつかの光ファイバー・ストランドが、多重の空間的測定を行なうことを必要とする。分布型のセンシング・アプローチは通常、単なる単独の光ファイバー・ストランドを必要とする。したがって、分布型のセンシングの利点は、それが単一装置で多重の空間的測定を行なうことができるということである。

10

【0005】

分布型のセンシング・アプローチには、ファイバーの敏感な部位をプローブするための2つの主要な方法がある。軸方向励起および横方向励起である。横方向励起は、現在の発明によって優れた技術であると判断された。

【0006】

軸方向励起は、一般的に、敏感なクラディングをプローブするための手段として使用される。軸方向励起では、ファイバーの片端から注入される光は、軸に沿って、そのエバネセント波尾によって周囲のクラディングと相互に作用する。クラディングは、エバネセント領域の励起光を吸収し、エバネセント領域は、励起光またはファイバーの末端で検出される吸収または発光シグナルを発生する。

20

【0007】

しかしながら、軸方向励起技術は様々な固有の欠点を持っている。敏感なクラディングを備えた励起光の、エバネセント尾部の間の相互作用は非常に小さく、高出力の資源、高価な検出スキームおよび（または）非常に長い光ファイバーを必要とする。さらに、配置によっては、光ファイバーの軸を備えた（レーザーのような）光源の共線アラインメントは挑戦的であるかもしれないし、注意深い取り扱いおよびキャリブレーションを必要とするかもしれない。

30

【0008】

Schwabacher、国際公開番号WO 01/71316 ('316)は、光ファイバーに沿って整えられた化学センサーの直線配列、ある化学種に敏感な配列中の各反応部位を提示する。個々の連続的な反応部位は、クラディングのような本質的に不活性な部位によって分離される。この本質的に不活性な部位は、最小の長さ（理想的な長さは250cmであるとされている）を持つ必要がある。316の公開は、励起の軸方向と横方向の方法を提示した。軸方向励起はよく使われる方法である。

【0009】

推奨される実施例では、'316は、光ファイバーに励起光を導入するため、狭い軸のレーザー・パルスを採用する。反応部位はそれぞれ、ファイバーに沿った最小の距離によって分離され、反応部位の間は本質的に不活発である。連続的な反応部位からの蛍光トレーザーの重複を防ぐために、比較的長い不活発なセクションが'316までに利用された技術に必要とされる。光源（レーザー、ダイオード・レーザー、ガスレーザー、色素レーザー、固体レーザー、LEDなどのような）からの励起光は、光ファイバーに軸方向に導入され、その後、反応部位に伝達される。

40

【0010】

いくつかの、あるいは何百の反応部位の中で、どの反応部位がシグナルを発信しているのかを決定するために、励起パルスとシグナル・リターンとの間の時間遅延は正確に分らなければならない。そして、光源、測定時間、距離、および波長から、オシロスコープ

50

および光電子増倍管のような精密計器によって、それぞれの特定の反応部位の距離と関連付けなければならない。この配置は、何百もの物質を測定するために非常に長いファイバーを必要とし、解析装置の外形寸法および複雑さを増加させる。さらに、精密計器は、機器の全費用を著しく高くする。

【0011】

励起光もまた、励起ファイバーあるいはファイバーによって、センシング・ファイバー上の反応部位へ導入される。これはさらに、光を励起ファイバーへ軸方向に導入することも必要とする。反応部位当たりの1つの励起ファイバーは、1つの実施例において、センシング・ファイバーの反応部位へ、各ファイバーが励起光を横方向に導入することを必要とする。

10

【0012】

他の実施例は、励起光を反応部位に横方向に伝達するために、ビーム・スプリッターの使用を必要とする。より多くのビーム・スプリッターが、励起光を敏感なコーティングへ転換するとともに、ビーム・スプリッティング技術は強度減衰の起こる高価な高出力レーザーを使用する。

【0013】

他のスキームにおいて、励起ファイバーは、長さに沿った小さなセクションからクラディングを除去することによって製造される。これらのセクションは、その後、近くのセンシング・ファイバー上の反応部位に隣接するようにインストールされ、そのエバネセント・フィールドにセンシング・ファイバーを横方向に励起することを可能にする。欠点は、励起ファイバーのエバネセント場が非常に弱く、ほとんどがセンシング・ファイバーにパワーを伝達しないということである。さらに、軸方向励起と横方向励起の方法が解明されても、これらの方法は一般的に費用効果が悪い。

20

【0014】

316のこれらの実施例が使用可能であることは認められているが、それらは、設計の複雑さ、製造経費およびロバスト性によって制限される。反応部位および不活性部位の交流セクションを製造するために、クラディングを反応部位でのみ除去し、不活性部位ではそのままにしておかなければならない。この異なるクラディング除去は、大量生産の費用および複雑さを増加し、製造中の自動化オプションを制限する。

【0015】

さらに、産業において利用される他の技術は、光時間領域反射測定器(OTDR)のような高価な機器の使用を必要とする。約20,000USDあるいはそれ以上かけ、OTDRは、軸の励起技術を使用するあらゆるシステムに相当な費用を加える。さらに、OTDRシステムの波長有効性には制限があり、センサーと共に使用される試薬の選択を制限する。さらに、現在のシステムの不利な点は、OTDRによって検知されたシグナルの妨害である。その妨害は、導波管材料の中の不慮の屈曲および物理的な変則によって引き起こされ、ファイバーの屈折率を変える。さらに、現在の技術は、約10cm前後の空間分解能の精度が不足している。より精度の高い空間分解能が必要である。

30

【0016】

かさねて、敏感な部位の横方向励起は、大量の蛍光性シグナルを発生する優れた技術であることは、この発明者によって認められている。しかしながら、過去の発明者はその側面励起を識別できなかった。それは、適切に行われれば、非常に高い空間分解能を備えたセンサーに結びつく、敏感なファイバーの非常に小さなセクションをプローブすることができる。光ファイバーの長さに沿った化学種の温度および(または)濃度が激しく変化する場合に、5mm未満の高い空間分解能が求められる。コンクリート構造体中の塩化物イオンのモニタリングは、ファイバーに沿った個別の狭い場所で、センシングが行われる可能性を示す例である。これまでの試みは、さらに低コストで、丈夫なセンサーをもたらす、より単純な励起技術を提供しなかったのである。

40

【0017】

必要なものは、安価なプローブ用光源である。このような光源は、5mmあるいはそ

50

れ以下のファイバー・センサーに高い空間分解能を供給することができ、検出の正確な位置を示すことを可能にする。さらに必要なものは、費用効果の良い光ファイバー・センサー・システムである。このようなシステムは自動的な方法により作ることのできる安価な、既製の市販装置である。さらに必要なものは、電磁スペクトルの赤外線、可視光および紫外線全領域に使用することのできる、順応性のある機器である。さらに必要なものは、曲げや周辺光のような外部の妨害によって影響されず、容易に提携できる、丈夫な検出機器である。さらに、異なる化学種をモニターするのに適した、総括的なデザインも必要である。さらに必要なものは、強光度で、しかも費用効果の良い光源である。そのような光源は、蛍光ベースおよび吸収ベースのファイバーを、容易に検知する強いシグナルを作ることができる光源である。また、最終的に必要なものは、発展しつつある技術において、容易に更新できるモジュールのセンシング・システムデザインである。

10

【0018】

本発明は、高空間分解能を備えた可逆的で、丈夫で、安価な分布型光ファイバー・センサーを提案する。本発明は、赤外線、可視光、また紫外線の電磁スペクトル全領域にわたって使用することができる。本発明の強い光源は、ファイバーの敏感な部位をプローブするための費用効果の高い手段を提供し、容易に検知できる強いシグナルを発生する。本発明は、各種の敏感なコーティングでドーピングすることができる。これらのコーティングは、1つの特別の化学種(それぞれ一つの特異な化学物質)に敏感である。また、本発明は、継続的に新しいドーピング手段および化学物質、新しいプローブ用光源、新しいセンサーおよび新しいコンピュータ・コードで更新することができる。

20

【0019】

本発明の好適な実施形態は、一般的に、敏感な光ファイバー、プローブ用あるいは励起光源、パワーサプライ、検出手段、シグナルプロセス手段、表示手段から構成される。プローブ用あるいは励起光源は、光ファイバーの敏感な部位と隣接し、直接的な光通信を行う。光ファイバーは、温度および(または)少なくとも一つの化学種に敏感で、これらの測定量によって単調な相互作用により光学的に影響される。敏感な光ファイバーは、横方向に、光源からのプローブ光を受け取り、プローブ光は光ファイバーの敏感な部位と相互に作用する。ファイバーの敏感な部位は、プローブされた上で、温度および(または)一つの化学種の存在によって影響される光シグナルを発生するプローブ光を修正する。光シグナルは、光シグナルとして光ファイバー・コアへカップリングされ、ファイバーの末端との軸方向の光通信によって、検出手段へと取り入れられる。検出手段は、光シグナルの強度を電気シグナルと関連させる。電気シグナルは、シグナルプロセス手段に伝達される。そこでは電子シグナルは、測定された測定量(温度、化学種の濃度など)と関連する。相関量が送信され、表示手段に表示される。

30

【0020】

光ファイバーのコアの周辺部分あるいは全体のいずれかは、測定される化学種に敏感である。敏感なドーピングは浸透性のクラディングの全体に組込まれるか、あるいは露出したコアに直接適用される。結果として生じる敏感なファイバーは、比較的逆性があり、参照強度シグナルに常に戻る。

【0021】

推奨される配置では、プローブ用光源はUV LEDであり、光ファイバーに隣接し、その敏感な部位を照射する。UV LEDはいくつかの理由により選ばれた。第1に、UV LEDが、安く、容易に利用できる励起光資源であり、製造経費を削減させること。第2に、最近のLED技術が強度を改善し、サイズを小さくすることで、狭範囲で、強光度のインテロゲーティング光線を可能にしたこと。さらに、光ファイバーへのUV LEDの隣接が、光シグナルの強度を増加させ、シリコン光検出器のような安価な検出手段の使用を可能にすること。最後に、小さいLEDが、ファイバーの長さに沿った複数の位置で、クラディングの小さな領域の照射を可能にすることであり、これは、高い空間分解能を備えた独立した複数のセンシング・ポイントをもたらす。技術は、さらに、物質中の検知ポイントの正確な位置を決めることを可能にし、ファイバーの長さに沿った化学種

40

50

の温度および濃度の変化を示す。

【0022】

他の実施例は、検出手段の反対側の光ファイバーの末端に反射器を組み込み、検出手段に向かって後方伝播モードを新たに方向付けすることにより、光シグナルを増加させることができる。

【0023】

しかし、他の実施例は、テーパ型コアを備えた敏感な光ファイバーを使用し、これは、光シグナルが光ファイバーの敏感な部位から検出器まで伝播するとともに、検出器の方へ常に分散する。このコアの構造は、装置のシグナルを増加させる他の配置より、ファイバー・コアへより多くの光をカップリングするという長所を持つ。テーパ型光ファイバーにより、光線が低損失境界モードとしてカップリングされ、より長い距離を伝播する。テーパ型光ファイバーでなければ、その光線はファイバー・コアから発散する。このファイバーはテーパ型ガラス母材を備えたタワーを使用して製造することができ、あるいは、ガラス成型の技術によって手作業で作られる。

10

【0024】

また、他の実施例では、光源の大部分は、敏感な光ファイバーの長さに沿った一次的配列の中に位置づけられる。それぞれの光源は、連続的に、同時に、あるいは独立的にプローブ光を光ファイバー・コアへ横方向に発射する。配列の長さは、光ファイバーの敏感な部位の長さに基本的に一致する。この配置はカップリング光シグナル全体の光強度を増加するのに用いることができる。

20

【0025】

他の実施例は、敏感な光ファイバーを横方向に励起させるため、励起光ファイバーを使用する。この場合、励起ファイバーは、励起光のための導光板として役立ち、敏感な光ファイバーと平行に位置する。他の角度でも機能すると思われるが、励起ファイバーは角度約45度の反射遠位末端面を持つように作られ、45度の反射遠位末端面は敏感な光ファイバーへプローブ光を伝播する。プローブ光は、ファイバーの近位末端の光源により発生し、軸方向に導入される。励起ファイバーの遠位末端の位置は変更することができ、センシング・ファイバーの異なるセクションをプローブする。あるいは、多重励起ファイバーも使用することができ、それぞれが敏感な光ファイバーの特定の部位をプローブする。

【0026】

しかし、ある実施例は、いくつかの長周期ブラッグ・グレーティングを持つ励起光ファイバーを使用する。この励起ファイバーも敏感な光ファイバーに沿って位置し、長周期グレーティングを通してそのいくつかのセクションを照射、あるいはプローブする。それぞれのグレーティングは、特定波長 λ_i で、敏感な光ファイバーの境界モード・コアから放射モードへ光をカップリングするように設計される。波長 λ_i は蛍光色素の吸収スペクトルの範囲内である。この場合、ブロードバンド光源からの光は、感受性色素の吸収スペクトル内の波長をスキャンするモノクロメーターを通り抜ける。モノクロメーターが波長 λ_i に合わせられると、この波長に合わせられたグレーティングのみが、敏感な光ファイバーへ光をカップリングし、照射されたセクションはこの特定のブラッグ・グレーティングの位置に一致する。この手順は他の波長でも繰り返すことができる。

30

40

【0027】

他の実施例は、敏感な部位からのシグナルを増幅する物質でドーブされた、活性コア光ファイバーを使用する。この実施例は、光ファイバー増幅器の実施例と類似した方法で働く。従って、敏感なコーティングからのシグナルはファイバー・コアへとカップリングされるのである。その後、活性コアは、元のシグナルを増幅する敏感なコーティングにより修正された光に励起される。その後、この増幅されたシグナルは、検出器に導入される。この実施例は、長いファイバーが使用されるときは常に推奨される。

【0028】

本発明およびその代替実施例は、蛍光試薬、あるいは吸収ベースの試薬と共に使用することができる。さらに、適切な試薬を選ぶことによって、温度および特定の化学種の両

50

方を決定するために使用することができる。特定の化学種に敏感な試薬は、感温素材と同様に市販で入手可能である。ルシゲニンのような蛍光試薬は、塩化物イオンを検出するために使用することができる。同様に、市販の熱発光体素材は、温度変化に影響される蛍光を持つ。例えば、ユウロピウムにドーブされたランタン酸硫化物、ユウロピウムにドーブされたガドリニウム酸硫化物およびユウロピウムにドーブされたイットリウム酸硫化物（Wickersheim, U.S. Patent 4,560,286を参照）は、温度を検出するために本発明と共に使用することのできる熱発光体である。

【0029】

本発明は、敏感な光ファイバーの敏感な部位に直接隣接しているUVLEDあるいは白色LEDのような光源の位置を主として横方向にすることにより、光ファイバーセンシング・システムを本質的に改善することを目指す。この配置は、カップリングされた光シグナルの強度を増加し、複雑さおよび製造原価を減少する。そして小規模LEDを使用する場合に、高空間分解能を備えた物質中の検出ポイントを正確に位置づけることを可能にする。

【図面の簡単な説明】

【0030】

【図1】は、蛍光指示標識を使用した、本発明の操作を示すブロック図である。

【0031】

【図1A】は、吸収ベース指示標識を使用した、本発明の操作を示すブロック図である。

【0032】

【図2】は、本発明のセンシング・ファイバーの断面図である。

【0033】

【図2A】は元のファイバーの側面図である。

【0034】

【図3】はクラディングとジャケットが除去されたセンシング・ファイバーの側面図である。

【0035】

【図4】は、本発明の敏感な部位を示すセンシング・ファイバーの側面図である。

【0036】

【図5】は、光ファイバー第2末端の反射面を示す、本発明のセンシング・ファイバーの代替実施例の側面図である。

【0037】

【図6】は、テーパ型コアを示す、本発明のセンシング・ファイバーの代替実施例の側面図である。

【0038】

【図7】は、LEDの一次元的配列を示す、本発明のセンシング・ファイバーの代替実施例の側面図である。

【0039】

【図8】は、本発明の代替実施例を可能にする回路図である。

【0040】

【図9】は、45度遠位末端を持つ励起光ファイバーの操作を示す図面である。

【0041】

【図10】は、いくつかの長周期ブラッグ・グレーティングで作られた励起光ファイバーの操作を示す図面である。

【0042】

【図11】は、本発明の検出システムのブロック図である。

【0043】

【図12】は、本発明の代替実施例を可能にする回路図である。

【0044】

【図13】は、本発明で集められたデータのグラフである。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 5 】

【 図 1 4 】は、構造内の源位置にインストールされた本発明の平面図である。

【 0 0 4 6 】

【 図 1 5 】は、本発明から集められたデータのグラフである。

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 実施例 】

【 0 0 4 7 】

次の詳細な記述は、発明の実行において現在予定されている最良の形態に関する。この記述は制限された意味があるのではなく、単に発明の実施例の一般的な法則を例証する目的で行われる。追加された図面に関する以下で説明される詳細な記述は、発明の現在推奨される実施例の記述を目的とし、本発明が構築され、かつ/または利用される可能性のあるただ一つの形式を表わすことを目的とはしない。その記述は、図で示した実施例に関する発明を構築し、操作するための機能およびステップの順序について説明する。しかし、理解しなければならないことは、同様に発明の要領および範囲内に包含されるように意図される異なる実施例によって、同じあるいは等価な機能および順序が遂行される可能性があることである。

10

【 0 0 4 8 】

センサー 9 8 のブロック図は図 1 に示される。結果として、UV 発光ダイオード (UV LED) 1 0 0 のような励起 (プローブ用) UV 光源は、蛍光体で作られた敏感なクラディング 1 0 2 のセクションを横方向に照射し、矢印で示される照射灯、蛍光 1 0 4 を発生する。UV LED 1 0 0 は、UV LED 1 0 0 への電流を供給する電源 1 1 4 に繋がっている。UV LED 1 0 0 は、隣接する敏感なクラディング 1 0 2 と光通信を行う。

20

【 0 0 4 9 】

蛍光 1 0 4 の一部はファイバー・コア 1 0 6 へカップリングされ、シリコン光検出器のような検出器 1 0 8 に導入される。この光検出器は蛍光 1 0 4 の光度を出力電気シグナルと関連付ける。この電気シグナルはケーブル 1 1 2 によって、マルチメータのようなシグナルプロセス手段 1 1 0 に伝達される。シグナルプロセス手段 1 1 0 において、シグナルが増幅され、その光強度が表示される。シグナルプロセス手段 1 1 0 によって読み取られた強度は、その後、センサー 9 8 周辺の化学種の濃度と関連付けられる。

30

【 0 0 5 0 】

同様のアプローチも図 1 A の中で示されたような吸収ベースの敏感な光ファイバーに使用することができる。従って、白色光発光ダイオード (白色 LED) 1 0 3 のようなプローブ用光源は、吸収ベースの色素からなる敏感なクラディング 1 0 2 (矢印で示された照射灯) のセクションを横方向に照射する。プローブ用光源 1 0 3 は、それに電流を供給するパワーサプライ 1 1 4 に繋がっている。パワーサプライ 1 1 4 は隣接した敏感なクラディング 1 0 2 との光通信を行う。

【 0 0 5 1 】

元のプローブ光は、敏感な吸収ベース・クラディング 1 0 2 によりフィルターされ、その光の一部が低減衰漏えいモード 1 0 5 のようにファイバー・コア 1 0 6 にカップリングされる。その後、低減衰漏えいモード 1 0 5 はシリコン光検出器のような検出器 1 0 8 に導入される。検出器 1 0 8 は吸収光の強度を出力電気シグナルに関連付ける。この電気シグナルはケーブル 1 1 2 により、マルチメータのようなシグナルプロセス手段 1 1 0 に伝達される。シグナルプロセス手段 1 1 0 において、シグナルが増幅され、その光強度が表示される。その後、シグナルプロセス 1 1 0 によって読み込まれた強度が、センサー 9 8 周辺の化学種の濃度と関連付けられる。

40

【 0 0 5 2 】

一例として、ルシゲニンのような市販の反応色素は、塩化物イオンによりその蛍光出力を弱め、また、その反応色素はこのイオンの指示標識として使用することができる。従

50

って、高いシグナル出力は、塩化物イオンの低濃度に対応し、逆もまた同様である。同様に、市販の吸収ベース色素（ライハルト色素）は、相対湿度を決定するために使用することができる。従って、高いシグナル出力は高い相対湿度レベルに対応している。

【0053】

照射あるいはプローブ用光源の位置をコントロールすることによって、複合ポイント・センサーを作り出すファイバー98の異なるセクションをプローブすることが可能になる。UV LED100は、異なる反応試薬を持つファイバー98の様々なセクションに送られるか、あるいは、反応したセクションが対応するUV LED100によってそれぞれ個別に照射される。最近導入された直径5mmの市販のUV LED100は、ファイバー98（セクション長さがUV LED100の直径とほぼ同じ）の照射されたセクションと等しい空間分解能を得るために役立つ。

10

【0054】

図2にさらに注目すると、蛍光性のクラディング102（この実例中の塩化物イオンに敏感）に囲まれたガラスあるいはプラスチックのコア106と共に、本発明の光ファイバー98の横断面が見られる。敏感なドープは不活性クラディング102全体に浸透するか、あるいは露出したコア106に直接適用される。

【0055】

センサー98の中心は、高分子材料でコーティングされた光ファイバー・コア106である。高分子材料は測定される測定量に敏感な蛍光色素でドープされている。高分子材料および蛍光色素は、ファイバー・コア106上にコーティングされ、蛍光性のクラディング102を形成する。

20

【0056】

このセンサー98を製造する様々な方法がある。より容易な方法の1つは、コア106、外部の保護ジャケット101およびファイバー・クラディング116を含む市販の光ファイバー96を得ることである。センサー98を製造するためには、保護ジャケット101およびファイバー・クラディング116が、検体を検知するために選択された特定の位置で除去され（図2Aを参照）、敏感なコーティングが施され、露出したコア106に適用される。このタスクに適したいくつかの市販の光ファイバー96がある。そのようなファイバーは、他の直径でも条件に適した結果を得ることができるものの、センサー98に高いシグナル出力を供給するために、大きなコア106の直径（1～1.5mm）を持つことが好ましい。

30

【0057】

下記に述べられるジャケットを除去する手順は、ガラスコア106、プラスチック・クラディング116およびプラスチック・ジャケット101からなるファイバー96を使用することを想定する。この手順は、さらに、使用される試薬が塩化物イオンに敏感であることを想定する。他の試薬および化学種については、手順がわずかに変わる可能性がある。

【0058】

光ファイバー96からのセンサー98の製造は、感度が必要な特定の部位92において、コア106周辺のプラスチック・クラディング116およびプラスチック・ジャケット101の除去を必要とする。この除去は、化学的手段、機械的手段（ブレードを使用）、あるいはジャケット101およびプラスチック・クラディング116を燃焼する熱源を使用することにより行われる。選ばれたいずれの方法でも、ガラスコア106は外部環境に露出され、そして塩化物イオンに敏感なコーティングで覆われる。結果は、図3の中で示されたファイバーの除去された部位92である。この部位では、元のジャケット101およびクラディング116が除去されている。この実例は一つの除去された部位92を示すが、多数のセクションが同様にセンサーから除去される可能性がある。あるいは、コア106の全長が露出される可能性がある。

40

【0059】

下記は、敏感なコーティングを生成するための、一つの方法について記述する。しか

50

しながら、製造方法が変わる可能性のある、多数のタイプの敏感なコーティングがある。ドラフトチャンバー内で、2グラムのポリ酢酸ビニル（PVA）が、100mlのアセトンを含むビーカーに加えられる。生成された溶液は透明であるが、アセトンより高い粘性がある。10mgのルシゲニンがアセトン/PVA溶液に加えられると、元の透明な溶液が帯黄色に変化する。

【0060】

何滴かの溶液を顕微鏡スライドの表面に落とすと、ファイバーの取り去られた部位92はこれらの液滴と接触する。接触すると、ガラスファイバー・コア106の表面上にコーティングされる。ファイバー・コア106表面の均一なコーティングを確実にするため、ファイバー96は滴と接している間、自身の軸を中心にして回転する。アセトンは早く蒸発する溶媒であるため、コーティングは、滴がまだ濡れている間に、ファイバー・コア106表面上に非常に早く施されなければならない。もしこの手順に時間がかかり過ぎるとスライド表面のコーティングが硬くなり、コーティングが露出した部分106の表面に移動できなくなる。

【表1】

ファイバーの異なる断面の屈折率および直径

	コア	クラッドイング	敏感なコーティング
直径(mm)	1.000	1.035	1.035
屈折率	1.457	1.376	1.47

【0061】

図4はこの手順から得られた結果のセンサー98を示す。ファイバー・コア106、プラスチック・クラッドイング116、およびその新しい敏感な部位102が含まれている。結果として、この部位の屈折率は、PVA、 $n = 1.47$ （表1参照）の屈折率と類似する。

【0062】

敏感なコーティング102の屈折率は、コア106の屈折率より高いものの、まだファイバー・コア106に相当な量の蛍光が入る。その現象の背景には様々な理由がある。例えば、ファイバー・コア106は大きな直径を持ち、低減衰漏えいモードが広げられる。漏えいモードは、コア/クラッドイング境界で完全に内部で反射されないが、光線はファイバー・コア106内で、かなりの長距離まで伝播する。これらのタイプの光線は特に、1mあるいはそれ以下の、比較的短い光ファイバーに有用である。また、敏感な部位102からの光の大部分は、低減衰漏えいモードでファイバー・コア106とカップリングする。一度漏えい光線が、プラスチック・クラッドイング116に覆われたコア106の部位に入ると、そのうちいくらかは普通の境界モードとカップリングする。

【0063】

上記と同様の手順は、ポリカーボネート・ファイバーの準備に利用できる。これらのファイバーは、PVAの屈折率1.47よりも高いコア屈折率1.582を持つ利点がある。この場合、ファイバーの感受部位からの蛍光はエバネセント波カップリングを通してファイバー・コアに入る。いくつかの漏えいモードもまた、ファイバーに沿って伝播する。

【0064】

このタイプのセンサーの他の実施例は、光ファイバーを引くタワー施設へのアクセスが必要である。タワーを用いて、蛍光クラッドイングで覆われる高い屈折率のコアを持つ、特別注文の光ファイバーを作ることができる。Schott Glassが提供する、幾つかの直径32mmのロッド・ガラスが市販され、光ファイバーを引くことができる。

一度、母材が選択されると、タワー加熱炉に入れられ、1 - 1.5 mmの間の、小さい直径のファイバーになるように引かれる。できたファイバーは、上記のアセトン / PVA / ルシゲニン溶液で内管をコーティングされる。最終的に、塩化物イオンに敏感なクラディングで完全にコーティングされた、長い光ファイバーとなる。

【0065】

図5に示すように、他の実施例は、検出器108の反対側の、センサー98の末端に反射機122を取り入れることができ、蛍光シグナルを増加する検出器108への後方伝播モード124の新たな方向付けによって、光シグナルを増幅する。

【0066】

図6に示すように、他の実施例は、テーパ型コア107を持つ敏感な光ファイバー・センサー98の使用を含み、一般的に、センサー98の敏感な部位102から検出器108へ伝播する蛍光104に分化する。このテーパ型コア107の構造は、センサー98のシグナルを増幅する他の構造より、ファイバー・コア107へより多くの光をカップリングする利点がある。テーパ型光ファイバー・コア107でなければ、光線の照射はファイバー・コア107から離れ、低ロス境界モードでカップリングし、より長い距離を伝播する。このファイバーはテーパ型ガラス母材から、タワーによって生産される。また、このファイバーは、ガラス成型の技術によって手作業で作られる。

【0067】

図7に示すように、他の実施例では、UV、LEDsのような光源の大部分が、サポート134にマウントされ、センサー98の長さに沿って一次元的に配列し、一つずつの光100が光ファイバー・コア106を横切る励起光の一束を同時に発射する。配列138の長さは、光ファイバー・センサー98の敏感な部位102の長さとは大体一致する。この配置は、センサー98のシグナルの全体を増幅するために使用される。光ファイバー・コネクタ132は、センサー98のファイバーの末端を保護し、破損を避け、検出器126に隣接するファイバー・センサー98の末端の再現性のあるポジショニングを可能にする。

【0068】

記述される特別な塩化物イオン・センサーには、ピーク波長375 nmの市販のUV LEDsが使用される。ルシゲニンのような塩化物イオン指示標識は、この波長を吸収し、505 nmの範囲で蛍光を発する。各LED100を交互にオン、オフにすることにより、特定の敏感な部位102をプローブすることができ、その結果、センサー98は正確に分配される。

【0069】

パワー・サプライ114は、LEDs100の電流の制限を超えないような方法に設計されなければならない。携帯電源の推奨回路図を図8に示す。

【0070】

この励起スキームの、他の実施例が考えられる。これは、UV LEDs100の1ストリップのOLEDs（有機発光ダイオード）への交換を含む。近年の技術ではあるが、理論的に、OLEDsは光ファイバー・センサーがマウントできる一つのストリップに組み入れることができる。

【0071】

図9は、励起光ファイバー144を使用し、敏感な光ファイバー98を横方向にプローブする他の実施例を示す。このケースでは、励起ファイバー144は励起光150の導光板として役目を果たし、敏感な光ファイバー98と並行に位置する。製造される励起ファイバー144は、角度約45度（他の角度でも機能すると思われる）の反射遠位末端面148を持つ。これは、励起光150の方向を、敏感な光ファイバー98の方へ変える。励起光は、ファイバー152の末端に近位のUV LED100光源により発生し、軸方向に取り入れられる。反射遠位末端面148の位置は、センシング・ファイバー98の異なる区分をプローブするために変えることができる：また、多重励起ファイバーは使用可能であり、それぞれの励起光は敏感な光ファイバー98の特定の範囲をプローブする。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 2 】

図 1 0 に示すように、他の実施例は、いくつかの長周期ブラッグ・グレーティング 1 5 6 を持つ励起光ファイバー 1 5 4 を用いる。この励起光ファイバー 1 5 4 もまた、敏感な光ファイバー 9 8 に沿って位置し、長周期グレーティング 1 5 6 を通して、そのいくつかのセクションを照射する。それぞれのグレーティング 1 5 6 は、特定波長 λ_j で、励起光ファイバー 1 5 4 の境界モード・コア 1 5 8 から、放射モード 1 6 0 へ光をカップリングするように設計される。波長 λ_j は蛍光色素の吸収スペクトルの範囲内である。このケースでは、ブロードバンド UV LED 1 0 0 励起光源からの光は、色素の吸収スペクトルの範囲内の波長をスキャンするモノクロメーター 1 6 0 を通り抜ける。モノクロメーター 1 6 0 が波長 λ_i に合わせられると、この波長に合わせられたグレーティング 1 5 6 のみが、敏感な光ファイバー 9 8 へ向かう光、および特定のブラッグ・グレーティング 1 5 6 の位置に一致する照射されたセクションとカップリングする。この手順は他の波長でも繰り返すことができる。

10

【 0 0 7 3 】

検出システムの実施例を図 1 1 に示す。これはシリコン光検出器 1 0 8、光検出器ケーブル 1 1 2、オスコネクタ 1 6 4 および表示ユニット 1 6 6 からなる。オスコネクタ 1 6 4 は、表示ユニット 1 6 6 のメスコネクタとつながっている。光検出器 1 0 8 は、光ファイバー・コネクタにつなぐことができる光封入器（図示せず）内にマウントされる。検出器のリードは、増幅回路へ光電気シグナルを伝達するケーブルとつながっている（図 1 2 に示す）。回路はシグナルを増幅し、その強度は表示ユニット 1 6 6 のディスプレイ 1 7 0 に表示される。

20

【 0 0 7 4 】

上記の本発明は、異なる濃度の塩水内で作られ、テストされた。この実験のデータは図 1 3 に示す。塩濃度が高くなるにつれ、光ファイバーのシグナルは減少する。出力応答が水中の塩濃度に対し直線性を有することに注目してもらいたい。それぞれの曲線は、ファイバー末端チップが検出器から異なる距離にある時は、常に検出器応答に対応する。それゆえ、上部の曲線は、検出器に最も近いファイバー末端面に対応し（ $x = 0 \text{ mm}$ ）、一方、最下部の曲線は検出器から 2 mm の距離に対応する。

【表 2】

図 16 の数値データ。(6つの異なる塩水を使用)

ファイバー末端面は検出器から6通りの異なる距離、 Δx に位置した。

溶液 #	塩濃度 (g/ml)	シグナル (mV)					
		$\Delta x=0\text{mm}$	$\Delta x=0.3\text{mm}$	$\Delta x=0.6\text{mm}$	$\Delta x=1.0\text{mm}$	$\Delta x=1.5\text{mm}$	$\Delta x=2.0\text{mm}$
0	0	49.6	48.7	46.7	44.2	40.8	37.5
1	7	47.9	46.7	45.8	42.1	39.7	36.6
2	14	47.1	46.2	44.6	41.7	38.4	35.1
3	21	46.0	45.2	43.6	40.3	37.8	34.5
4	28	44.7	44.1	42.5	40.2	36.9	34.2
5	35	43.5	42.2	41.1	38.3	35.7	32.6

10

20

【0075】

これら曲線の傾きは類似しており、センサーの感度に再現性があることを表している。さらに、このデータは、ファイバー末端面から検出器への異なる距離をもたらしたシグナルの可逆性が説明されることを示す。シグナルの再現性もまた、ファイバー末端面が検出器からはずされ、再度つながれる時には常に見られる。図13の実際のデータ同様に、それぞれの溶液の濃度も表2に示す。この実験は、センサーが直線的に反応し、強固であること、およびシグナルが安定しており、可逆的および再現的事であることを示した。

30

【0076】

本発明は、様々な型で、様々な異なる用途に利用できる。その用途は、コンクリート構造体の塩化物イオン混入（鉄筋腐食およびそれに次ぐ構造の欠陥の原因）のモニタリング、航空機構造の塩化物イオンのモニタリング（ピット孔食の原因）、土および植物の塩化物および他のイオン含有量の測定、およびデサリネーターの塩化物イオン濃度の測定を含む。しかしこれだけには限らない。適切に改良されると、これは他のタイプのイオン、分子、および温度の検出にも利用でき、適切な指示標識を備え、ポリマー・マトリクスを選択することができる。

40

【0077】

センサーのモジュール設計のため、コンクリート構造体にセンサー・サブシステムを組み込むことが可能である。同時に、ファイバー末端チップおよび入力パワーポートは外環境に置くことが可能である。それゆえ、センサーのテストは、円錐状コンクリート内部に組み込まれた場合の反応を見るために行われた。コンクリート標本は塩水につけられ（粉状にして）、センサーシグナルは数日間モニターされた。この実験の、最後の90時間のセンサーの反応を図15に示す。以下は、 $T = 0\text{h}$ を20日目とした、実験の事象の時系列である。

50

1. 1日目の2週間前、コンクリートサンプルにファイバー・センサーを設置した。
2. T = - 4 6 0 h、1日目、円錐状コンクリートの先を、1 0 0 m l の飽和状態の塩水につけた
3. T = - 2 8 h、19日目、塩水を純水へ交換した。
4. 図15に示すT = 0 hは、20日目(T = 0 h)に対応する。ファイバーのシグナルレベルは30 m V以下であった。これは、塩水での前処理により、塩化物イオン濃度が高くなったことを表す。
5. T = + 2 0、19日目(48 h前)に開始した純水の浸透により塩化物イオン濃度が減少したため、検出器のシグナルが上昇し始めた。
6. T = + 4 0 h、センサーのシグナルが、60 m V前後の最大レベルに達した。
7. T = + 4 8 . 9 h、22日目、純水を再び塩水へ交換した。
8. T = + 5 0 h ~ T = + 6 0 h、塩化物イオン濃度がモニタリングポイント前後に上昇したため、センサーのシグナルが減少し始めた。
9. T = + 8 0、シグナルが最小レベルに達し、安定した。

10

20

30

40

【0078】

実験はT = + 9 0前後で終了した。

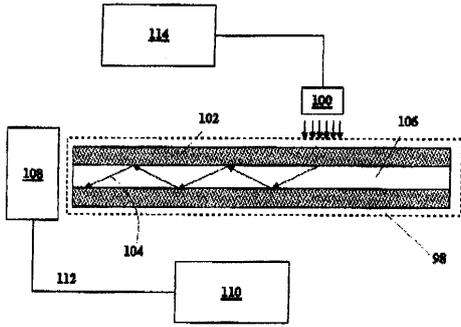
【0079】

本発明は、特定の実施例に関して述べられたが、本発明の他の変形形態は、発明概念からスタートしなくても出案する可能性があると考えられる。多くの改良、改善、および追加は、ここで示され、また下記のクレームに定義付けされる本発明の要領および範囲からスタートしなくても、特殊技能を持つ専門家にとっては明確なものである。

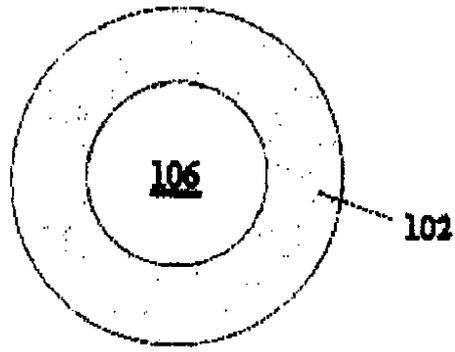
【図面の参照番号】

9 2	ファイバーの縞状部位	1 2 4	後方伝播モード	
9 8	敏感なコーティングを伴う光ファイバー	1 2 8	テーパ型コアとクラディングの間の接合部分	
1 0 0	UV LED	1 3 2	光ファイバー・コネクタ	30
1 0 1	ファイバー・ジャケット	1 3 4	光ファイバー・サポート	
1 0 2	蛍光クラディング	1 3 8	LEDの一次元的配列	
1 0 3	白色LED	1 4 4	45度末端を持つ励起ファイバー	
1 0 4	蛍光ベースの光シグナル	1 4 8	角度45度の反射遠位末端面	
1 0 5	吸収ベースの光シグナル	1 5 0	励起光	
1 0 6	ファイバー・コア	1 5 2	ファイバーの近位末端	
1 0 7	テーパ型コア	1 5 4	長周期ブラッグ・グレーティングを持つ光ファイバー	
1 0 8	シリコン光検出器	1 5 6	長周期グレーティング	
1 1 0	表示ユニット	1 5 8	励起ファイバーの境界モード・コア	40
1 1 2	光検出器ケーブル	1 6 0	モノクロメーター	
1 1 4	パワーサプライシステム	1 6 2	放射モード	
1 1 6	オリジナル・クラディング	1 6 4	光検出器のオスコネクタ	
1 1 8	光ファイバーの第2末端	1 6 6	表示ユニット	
1 2 0	光ファイバーの第1末端	1 6 8	表示ユニットのメスコネクタ	
1 2 2	反射面	1 7 0	表示ディスプレイ	

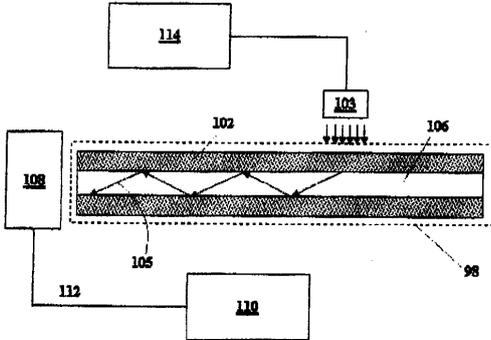
【 図 1 】



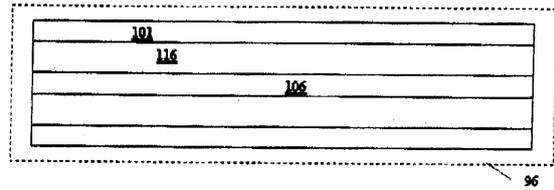
【 図 2 】



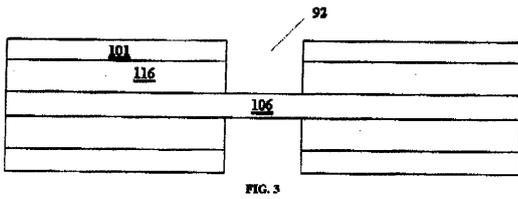
【 図 1 A 】



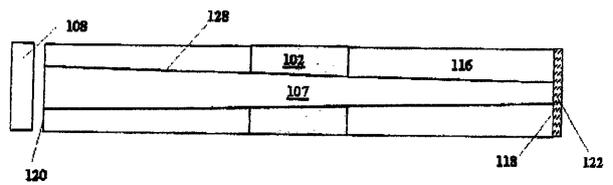
【 図 2 A 】



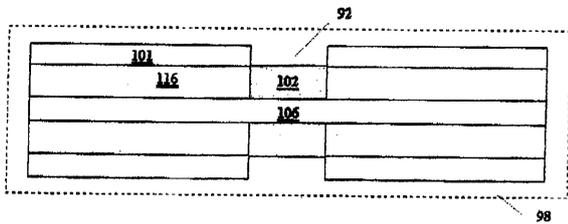
【 図 3 】



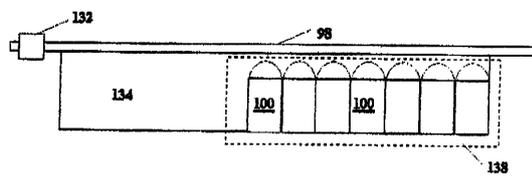
【 図 6 】



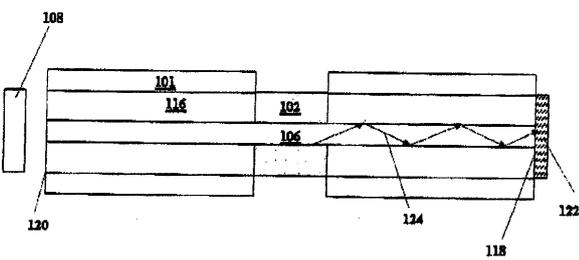
【 図 4 】



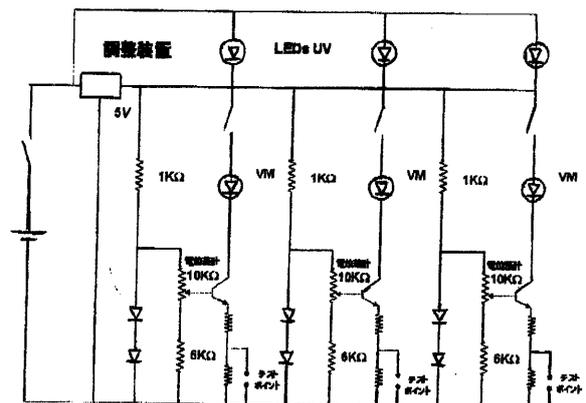
【 図 7 】



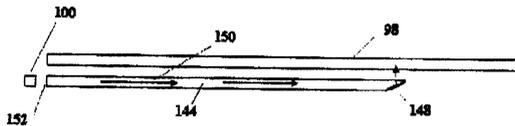
【 図 5 】



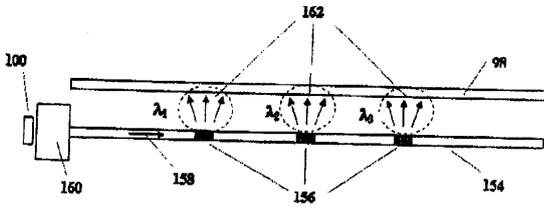
【 図 8 】



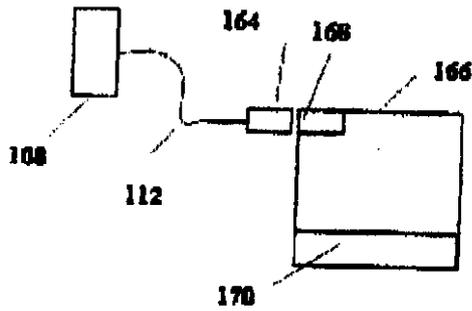
【 図 9 】



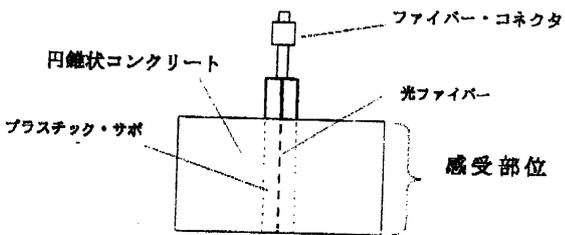
【 図 10 】



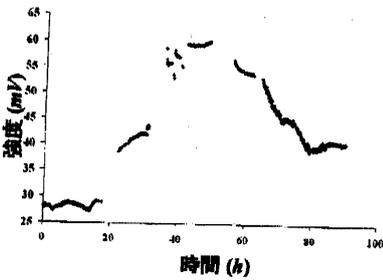
【 図 11 】



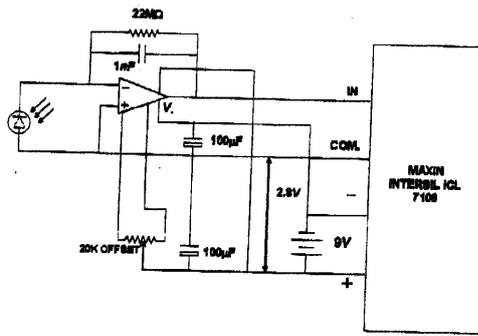
【 図 14 】



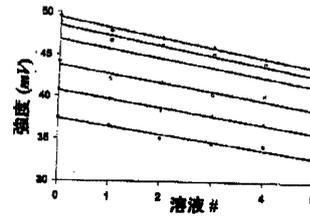
【 図 15 】



【 図 12 】



【 図 13 】



【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No PCT/US2006/015991

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER		
INV. G01N21/77		
ADD. G02B6/25	G02B6/26	G02B6/30 G02B6/34 G02B6/42
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) G01N G02B		
Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched		
Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used) EPO-Internal		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	WO 01/71316 A (WISYS TECHNOLOGY FOUNDATION, INC) 27 September 2001 (2001-09-27) cited in the application page 3, line 18 - page 4, line 9	1,4-7, 9-15, 22-24
Y	page 9, lines 27-29 page 11, line 32 - page 12, line 2 page 14, line 31 - page 15, line 20 page 17, lines 16-19; figure 8	2,3,8, 16-21
Y	GB 2 213 954 A (* BRITISH TELECOMMUNICATIONS PUBLIC LIMITED COMPANY) 23 August 1989 (1989-08-23) figures 1a,6,9 page 7, columns 20-26 page 11, lines 5-14	2
	-/-	
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input checked="" type="checkbox"/> 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 document 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 another 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 21 July 2006		Date of mailing of the international search report 28/07/2006
Name and mailing address of the ISA/ European Patent Office, P.B. 5818 Patentleaan 2 NL - 2280 HV Rijswijk Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl, Fax: (+31-70) 340-3016		Authorized officer Fazio, V

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/US2006/015991

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	EP 0 211 587 A (CORNING GLASS WORKS; CIBA CORNING DIAGNOSTICS CORP) 25 February 1987 (1987-02-25) column 2, lines 32-45 column 3, lines 6-15,24-34 column 4, lines 10-31 figure 1	3
Y	EP 0 371 675 A (AMERICAN TELEPHONE AND TELEGRAPH COMPANY; AT&T CORP) 6 June 1990 (1990-06-06) page 1, lines 25-37; figure 1 page 4, columns 33-39; figure 3 page 5, columns 9-12; figure 6	8,17-19
Y	WO 03/044567 A (PICOMETRIX, INC; WILLIAMSON, STEVEN, L) 30 May 2003 (2003-05-30) paragraphs [0006], [0013], [0014] figures 1-3	8,17-19
Y	US 5 747 348 A (JADUSZLIWER ET AL) 5 May 1998 (1998-05-05) column 10, lines 25-35; figure 3	16
Y	US 2003/142977 A1 (MURGATROYD IAN JOHN ET AL) 31 July 2003 (2003-07-31) figures 7,10 paragraphs [0067], [0071] - [0073], [0077], [0094] - [0096]	20,21
Y	PATENT ABSTRACTS OF JAPAN vol. 1998, no. 05, 30 April 1998 (1998-04-30) & JP 10 013345 A (SUMITOMO ELECTRIC IND LTD), 16 January 1998 (1998-01-16) abstract	20
A	US 2005/074208 A1 (BADCOCK RODNEY ET AL) 7 April 2005 (2005-04-07) paragraphs [0077], [0085] - [0087], [0091], [0098] figures 3-7a,8a,12,13,17	17-19
A	US 5 577 137 A (GROGER ET AL) 19 November 1996 (1996-11-19) column 1, line 65 - column 2, line 31 column 3, lines 32-49 column 6, line 59 - column 7, line 31; figures 3,4	
A	US 2004/223151 A1 (PETROS TSIPOURAS ET AL) 11 November 2004 (2004-11-11) figures 1a,1b,2,3	

-/--

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No
PCT/US2006/015991

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	EP 1 079 252 A (LUCENT TECHNOLOGIES INC) 28 February 2001 (2001-02-28) the whole document -----	17-19
A	US 2003/231818 A1 (CANTIN DANIEL ET AL) 18 December 2003 (2003-12-18) the whole document -----	1

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No

PCT/US2006/015991

Patent document cited in search report		Publication date	Patent family member(s)	Publication date
WO 0171316	A	27-09-2001	AU 4014601 A	03-10-2001
			CA 2404039 A1	27-09-2001
			EP 1269188 A2	02-01-2003
			JP 2004500574 T	08-01-2004
GB 2213954	A	23-08-1989	NONE	
EP 0211587	A	25-02-1987	CA 1295147 C	04-02-1992
			DE 3689095 D1	04-11-1993
			DE 3689095 T2	27-01-1994
			JP 62049244 A	03-03-1987
EP 0371675	A	06-06-1990	AT 190409 T	15-03-2000
			CA 1325123 C	14-12-1993
			DE 68929169 D1	13-04-2000
			DE 68929169 T2	14-09-2000
			JP 2188706 A	24-07-1990
			JP 2532146 B2	11-09-1996
			US 4898444 A	06-02-1990
WO 03044567	A	30-05-2003	AU 2002352707 A1	10-06-2003
			CA 2467400 A1	30-05-2003
			CN 1703639 A	30-11-2005
			EP 1454173 A2	08-09-2004
			JP 2005509915 T	14-04-2005
US 5747348	A	05-05-1998	US 5567622 A	22-10-1996
			US 5674751 A	07-10-1997
US 2003142977	A1	31-07-2003	AU 6048101 A	17-12-2001
			EP 1290415 A1	12-03-2003
			GB 2365119 A	13-02-2002
			WO 0194896 A1	13-12-2001
JP 10013345	A	16-01-1998	NONE	
US 2005074208	A1	07-04-2005	WO 03030409 A1	10-04-2003
US 5577137	A	19-11-1996	NONE	
US 2004223151	A1	11-11-2004	NONE	
EP 1079252	A	28-02-2001	JP 2001091796 A	06-04-2001
			US 6263132 B1	17-07-2001
US 2003231818	A1	18-12-2003	AU 2003205468 A1	09-09-2003
			WO 03071235 A1	28-08-2003
			CA 2372637 A1	20-08-2003

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, 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, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LV, LY, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW