(12)特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2005 年4 月28 日 (28.04.2005)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2005/038440 A1

(51) 国際特許分類[7]: G01N 21/55

(21) 国際出願番号: PCT/JP2004/015266

(22) 国際出願日: 2004 年10 月15 日 (15.10.2004)

(25) 国際出願の言語: 日本語

(26) 国際公開の言語: 日本語

(30) 優先権データ:
特願 2003-356225
2003 年10 月16 日 (16.10.2003) JP

(71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): タマティーエルオー株式会社 (TAMA-TLO, LTD.) [JP/JP]; 〒1920083 東京都八王子市旭町９番１号 八王子スクエアビル１１階 Tokyo (JP).

(72) 発明者; および

(75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 伊賀 光博 (IGA, Mitsuhiro) [JP/JP]; 〒1928577 東京都八王子市丹木町１−２３６ 創価大学内 Tokyo (JP). 渡辺 一弘 (WATANABE, Kazuhiro) [JP/JP]; 〒1928577 東京都八王子市丹木町１−２３６ 創価大学内 Tokyo (JP). 関 篤志 (SEKI, Atsushi) [JP/JP]; 〒1928577 東京都八王子市丹木町１−２３６ 創価大学内 Tokyo (JP).

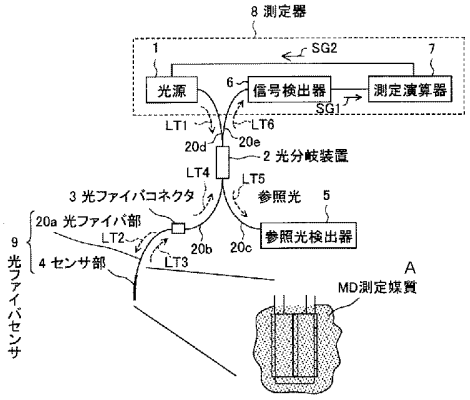
(74) 代理人: 佐藤 隆久 (SATOH, Takahisa); 〒1110052 東京都台東区柳橋２丁目４番２号 創進国際特許事務所 Tokyo (JP).

(81) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): 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, KE, KG, KP, KR, KZ, LC, LK, LR, LS, LT,

[続葉有]

(54) Title: OPTICAL FIBER SENSOR AND MEASURING DEVICE USING THE SAME

(54) 発明の名称: 光ファイバセンサおよびそれを用いた測定装置



100 ティップ型光ファイバセンサ測定装置

8... MEASURING DEVICE
1... LIGHT SOURCE
6... SIGNAL DETECTOR
7... MEASUREMENT CALCULATOR
2... OPTICAL BRANCHING DEVICE
3... OPTICAL FIBER CONNECTOR
LT5... REFERENCE LIGHT
20a... OPTICAL FIBER PORTION
4... SENSOR PORTION
9... OPTICAL FIBER SENSOR
5... REFERENCE LIGHT DETECTOR
A... MD MEASUREMENT MEDIUM
100... TIP TYPE OPTICAL FIBER SENSOR MEASURING DEVICE

(57) Abstract: There are provided an optical fiber sensor enabling easy detection of an external world state and a measuring device using the same. An optical fiber portion (20a) for transmitting light has a tip end to which a hetero core portion having a different diameter than the core of the optical fiber portion (20a) is melted/adhered, thereby constituting a tip type optical fiber sensor (9) having a sensor portion (4) formed by the hetero core portion at the tip end. A light source (1) is connected to the end of the optical fiber portion (20a) of the tip type optical fiber sensor (9). The light coming into the optical fiber portion (20a) from the light source (1) and subjected to interaction with a measurement medium MD in the sensor portion (4) becomes a return light which is branched by an optical fiber coupler (2) and made to receive the light by a photodiode or a spectrum analyzer (6), thereby constituting an optical fiber sensor measuring device (100).

[続葉有]

WO 2005/038440 A1

LU, LV, MA, MD, MG, MK, MN, MW, MX, MZ, NA, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, YU, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国 (表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IT, LU, MC, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:
— 国際調査報告書

２文字コード及び他の略語については、定期発行される各*PCT*ガゼットの巻頭に掲載されている「コードと略語のガイダンスノート」を参照。

(57) 要約: 外界の状況をより簡便に検出することを可能にする光ファイバセンサおよびそれを用いた測定装置を提供する。光を伝送する光ファイバ部２０aの先端に、光ファイバ部２０aのコアとは径が異なるヘテロ・コア部を融着接合して、ヘテロ・コア部によるセンサ部４を先端に有するティップ（tip）型光ファイバセンサ９を構成する。このティップ型光ファイバセンサ９の光ファイバ部２０a側の端部に光源１を接続し、光源１から光ファイバ部２０aに入射しセンサ部４において測定媒質MDとの間で相互作用を受けた戻り光を、光ファイバカプラ２により分岐させ、フォトダイオードまたはスペクトルアナライザ６によって受光させて、光ファイバセンサ測定装置１００を構成する。

明 細 書

光ファイバセンサおよびそれを用いた測定装置

技術分野

[0001] 本発明は、光ファイバの先端部において外界の状況を検出するティップ(tip)型の光ファイバセンサ、およびそれを用いた測定装置に関する。

背景技術

[0002] たとえば、液体の検知やその液体の濃度の検出等の目的のために光ファイバを利用する試みが知られている。

光ファイバを利用したセンサの一種として、光ファイバの中途部に、コア径が異なるヘテロ・コア部と呼ばれる部分を融着接合して設けたヘテロ・コア型の光ファイバセンサが知られている。ヘテロ・コア部を設けることにより、センシングに用いる光とセンサの外部との相互作用をより発生させ易くなる。

たとえば、特許文献1に、ヘテロ・コア型の光ファイバセンサの一例が開示されている。

[0003] 特許文献1においては、光ファイバの先端にヘテロ・コア部を融着接合している。そして、先端にヘテロ・コア部が接合されたこのヘテロ・コア型光ファイバセンサの光ファイバ側の端部を、OTDR(Optical Time-Domain Reflectometer)に接続している。

OTDRからヘテロ・コア型光ファイバセンサへ光を入射し、ヘテロ・コア部において発生する後方散乱光の強度をOTDRによって測定することにより、後方散乱光の強度変化に応じて、液体の存在やその液体の濃度等の外界の状況を検出することができる。

特許文献1:特開2002-350335号公報(図4)

非特許文献1:笠井,「表面プラズモン共鳴(SPR)を利用したバイオセンサー」蛋白質 核酸 酵素, Vol.37, No.15(1992年)p2977-2984

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0004] しかしながら、特許文献1には、OTDRを用いて測定した後方散乱光を利用してセ

ンシングを行なうことのみが開示および示唆されており、たとえば、以下のような不都合を回避することは困難であると考えられる。

たとえば、OTDRは微弱な後方散乱光を増幅して測定に用いる装置である。そのためOTDRは高価であり、OTDRを用いた場合にはセンサシステム全体のコスト低減化は困難になる。また、微弱な後方散乱光を用いるため、ある程度精密なセッティングが必要であり、簡便にセンシングが可能であるとは言い難い。後方散乱光を用いる場合には、フレーネル(Fresnel)反射による光と後方散乱光とを区別する必要もあり、センシング結果を直接的に簡便に得ることは困難である。

[0005] 本発明の目的は、外界の状況をより簡便に検出することを可能にする光ファイバセンサを提供することにある。

また、本発明の他の目的は、上記の光ファイバセンサを用いて、外界の状況をより簡便に検出して所定の特性を測定することが可能であり、かつ、製造も容易な測定装置を提供することにある。

課題を解決するための手段

[0006] 本発明に係る光ファイバセンサは、光を伝送する光ファイバ部と、当該光ファイバ部の先端に融着接合される光透過性部材を含み、当該光ファイバ部が伝送する光の少なくとも一部をコアの外部に導いて当該光のモードの規定を解除し、モードの規定が解除された光が前記コア中に戻るモード規定解除手段とを有する光ファイバセンサである。

[0007] または、本発明に係る光ファイバセンサは、光を伝送する光ファイバ部と、当該光ファイバ部のコアとは径が異なり当該コアを伝わった光を伝送可能な光伝送コアを備え、前記コアを伝わった光の少なくとも一部を前記コアと前記光伝送コアとの境界から前記コアの外部に導く、前記光ファイバ部の長さと比較して短いヘテロ・コア部とを有し、前記光ファイバ部の先端に前記ヘテロ・コア部を融着接合した光ファイバセンサの構造であってもよい。

[0008] 本発明に係る測定装置は、光を伝送する光ファイバ部と、当該光ファイバ部の先端に融着接合される光透過性部材を含み、当該光ファイバ部が伝送する光の少なくとも一部をコアの外部に導いて当該光のモードの規定を解除し、モードの規定が解除

された光が前記コア中に戻るモード規定解除手段とを有する光ファイバセンサと、前記光ファイバセンサの前記光ファイバ部側の端部に接続され、当該光ファイバセンサの前記コアに光を出射する光源と、前記モード規定解除手段において前記モード規定解除手段の外部との相互作用を受けて前記コアを介して前記光源側に戻ってきた戻り光の直接的な強度を検出する光検出手段とを有する測定装置である。

[0009] または、本発明に係る測定装置は、光を伝送する光ファイバ部と、当該光ファイバ部のコアとは径が異なり当該コアを伝わった光を伝送可能な光伝送コアを備え、前記コアを伝わった光の少なくとも一部を前記コアと前記光伝送コアとの境界から前記コアの外部に導く、前記光ファイバ部の長さと比較して短いヘテロ・コア部とを有し、前記光ファイバ部の先端に前記ヘテロ・コア部を融着接合した光ファイバセンサと、前記光ファイバセンサの前記光ファイバ部側の端部に接続され、当該光ファイバセンサの前記コアに光を出射する光源と、前記ヘテロ・コア部において当該ヘテロ・コア部の外部との相互作用を受けて前記コアを介して前記光源側に戻ってきた戻り光の直接的な強度を検出する光検出手段とを有する測定装置の構造であってもよい。

[0010] 本発明においては、光ファイバ部の一端部に光源と測定装置とが接続される。光ファイバ部は、光源から入射された光を伝送する。光ファイバ部の他端部に、たとえば、光ファイバ部のコアとは径が異なりこのコアを伝わった光を伝送可能な光伝送コアを備え、光ファイバ部の長さと比較して短いヘテロ・コア部等のモード規定解除手段が融着接合される。ヘテロ・コア部等のモード規定解除手段は、光ファイバ部のコアを伝わった光の少なくとも一部を、このコアの外部に導いてコア中における光のモードの規定を解除する。モードの規定を解除された状態で外部との相互作用を受けた光は、コアを介して光ファイバ部中において再び伝送され、光源側へ戻ってくる。光ファイバ部における光源側に接続されている測定装置は、この戻り光の直接的な強度を検出する。

発明の効果

[0011] 本発明によれば、測定対象とする外界の特性を簡便に検出して測定可能な光ファイバセンサと測定装置とを容易に提供することが可能になる。

図面の簡単な説明

[0012] [図1]図1は本発明の第1実施形態に係るティップ型の光ファイバセンサを用いた測定装置の概略構成図である。

[図2]図2A～図2Cは第1実施形態に係る光ファイバセンサの構成を示すための、光ファイバセンサのセンサ部近傍での長手方向の断面図である。

[図3]図3は図2Aに示すセンサ部の模式的な拡大断面図である。

[図4]図4は第1実施形態に係るティップ型光ファイバセンサ測定装置を用いてグリセリンの濃度を測定した場合に得られる、光の波長と強度との関係を示すグラフである。

[図5]図5は従来の光ファイバセンサ測定装置を用いたときの光の波長と強度との関係を示すグラフである。

[図6]図6は従来の光ファイバセンサ測定装置の概略構成の一例である。

[図7]図7は第1実施形態に係る光ファイバセンサ測定装置と従来の測定装置とによって得られる屈折率と光の強度との関係をそれぞれ示したグラフである。

[図8]図8は第1実施形態に係る光ファイバセンサの変形形態を示す断面図である。

[図9]図9A～図9Cは本発明の第2実施形態に係る光ファイバセンサのセンサ部近傍での長手方向の断面図である。

[図10]図10A～図10Cは本発明の第3実施形態に係る光ファイバセンサのセンサ部近傍での長手方向の断面図である。

符号の説明

[0013] 1…光源

2…光分岐装置

3…光ファイバコネクタ

4…センサ部

5…参照光検出器

6…信号検出器(光検出手段)

7…測定演算器(測定手段)

9…ティップ型光ファイバセンサ

20a～e…光ファイバ部

21, 31…コア

22, 32…クラッド

30…ヘテロ・コア部

50…金属膜

60…反射膜

100…ティップ型光ファイバセンサ測定装置

500…検出薬固定化膜

発明を実施するための最良の形態

[0014] 以下、本発明の実施の形態について、添付図面を参照しながら述べる。

[0015] 〔第1実施形態〕

図1は、本発明の第1実施形態に係るティップ(tip)型の光ファイバセンサを用いた測定装置の概略構成図である。

図1に示すティップ型光ファイバセンサ測定装置100は、光源1と、光分岐装置2と、光ファイバセンサ9と、参照光検出器5と、信号検出器6と、測定演算器7とを有する。

本発明における光検出手段の一実施態様が信号検出器6に相当する。また、本発明における測定手段の一実施態様が測定演算器7に相当する。

[0016] 光源1は光ファイバ部20dにより光分岐装置2に接続されており、信号検出器6は光ファイバ部20eにより光分岐装置2に接続されている。

また、光ファイバセンサ9は光ファイバコネクタ3を介して光ファイバ部20bに接続されており、この光ファイバ部20bがさらに光分岐装置2に接続されている。

参照光検出器5は、光ファイバ部20cを介して光分岐装置2に接続されている。

[0017] 光ファイバセンサ9は、光ファイバ部20aの一端部にセンサ部4を有している。光ファイバ部20aの他端部が光ファイバコネクタ3を介して光ファイバ部20bに接続される。

[0018] 光ファイバ部20aー20eは、各々光ファイバを用いて構成される。光ファイバ部20aー20eを構成する光ファイバには、シングルモード光ファイバを用いてもよいし、マルチモード光ファイバを用いてもよい。光ファイバ部20aー20eを構成する光ファイバは、それぞれ種類が異なっていてもよい。

[0019] また、光ファイバ部20aー20eの長さは、それぞれ適宜決めることができる。たとえば、研究室や実験室において測定対象試料中の測定対象物の定量を行なう場合では、それぞれ数十cmの長さにすればよい。光源1とセンサ部4との距離を離す必要がある場合には、たとえば、光ファイバ部20bまたは光ファイバ部20dの長さを長くすればよい。使用形態に応じて、各光ファイバ部20aー20eは数百mの長さとすることも可能である。

[0020] 信号検出器6と測定演算器7、および光源1と測定演算器7とは、それぞれ信号線によって接続される。

たとえば図1に示すように、光源1と信号検出器6と測定演算器7とを一つにまとめて、測定器8として構成してもよい。

[0021] 光源1としては、複数の波長の光を含む光を発する多波長光源と、任意の波長の単色光を発する単一波長光源のいずれをも使用可能である。多波長光源としては、たとえば、白色光源を用い、単一波長光源としては、たとえば、発光ダイオード(Light Emitting Diode:LED)やレーザーダイオード(Laser Diode:LD)を用いる。

光源1は、光ファイバセンサ9を用いた測定のための光LT1を光分岐装置2に出力する。

[0022] 光分岐装置2は、たとえば、光ファイバカプラなどのような、1つの入力ポートに光が入射した場合に、その光が複数の出力ポートに分岐して出力される装置により実現する。

本実施形態においては、2つの入力ポートと2つの出力ポートとを有し融着延伸法によって製作された2×2光ファイバカプラを用いる。この2×2光ファイバカプラにおいて、1つの入力ポートに入力された光は、2つの出力ポートに分岐されて出力される。

また、この光ファイバカプラにおいては、光の入出力方向を変更すれば、出力ポートは入力ポートとして機能し、入力ポートは出力ポートとして機能するものとする。

[0023] 光ファイバコネクタ3には、たとえば、光ファイバ同士の接続に使用される市販のコネクタを用いる。この光ファイバコネクタ3は、光ファイバセンサ9の光ファイバ部20aと、光ファイバ部20bとの接続に用いる。光ファイバ部20bの先端に直接センサ部4を

設けて光ファイバセンサを製造した場合には、この光ファイバコネクタ3は不要である。

[0024] 光ファイバセンサ9は、光分岐装置2、光ファイバ部20b、光ファイバ部20aを介して光源1から入力されたLT2光を、センサ部4において光ファイバセンサ9の外界と相互作用させ、外界の状況を検出する。

光ファイバセンサ9の構成および機能の詳細については後述する。

[0025] 参照光検出器5は、光分岐装置2によって光源からの光LT1から分岐された参照光LT5を検出する。

参照光検出器5は、たとえば、フォトダイオードやスペクトルアナライザ(分光器)によって実現する。

参照光検出器5が検出する参照光LT5は、光源1からの光LT1の時間変動等の不安定性をキャンセルするための参照(リファレンス)として用いる。そのため、光源1の安定性を考慮しない精度の測定であれば、参照光検出器5は不要であり、また、光分岐装置2において参照光検出器5へ光を分岐させるための出力ポートも必要ない。

[0026] 信号検出器6は、光ファイバセンサ9において光ファイバセンサ9の外部の環境(外界)と相互作用を受けて光ファイバ部20bおよび光分岐装置2を介して光源1側へ戻ってきた戻り光を、光ファイバ部20eを介して受光する。

信号検出器6により、上記の戻り光の強度が検出される。即ち、信号検出器6は、光ファイバセンサ9からの戻り光の直接的な強度を検出する。

信号検出器6は、検出した光の強度のデータ信号SG1を測定演算器7に送信する。

[0027] 信号検出器6としては、たとえば、スペクトルアナライザや、フォトダイオードを用いた受光回路を使用し、光源1の種類に応じてこれらの検出器を使い分ける。たとえば、光源1に白色光源を用いる場合には、白色光源からの光に含まれる各波長の光のそれぞれの強度を検出するためにスペクトルアナライザを用いる。光源1にLEDやLD等の単一波長光源を用いる場合には、フォトダイオードを用いた受光回路で十分である。フォトダイオードを用いた受光回路を、パワーメータと呼ぶこともある。

[0028] 測定演算器7は、たとえば、CPU(Central Processing Unit)等の処理回路とその駆動のためのプログラムによって実現する。

測定演算器7は、信号検出器6から送信されるデータ信号SG1に基づいて、光ファイバセンサ9を用いた測定対象の測定値を算出する。言い換えれば、測定演算器7は、データ信号SG1が表わす光の強度の情報を、この強度を用いた所定の演算により、光ファイバセンサ9の外界における測定対象の存在や、その濃度、酸性度等の特性の情報に変換する。このような測定目的に応じた変換のためのプログラムが測定演算器7には含まれている。

[0029] また、測定の自動化のために、測定演算器7から光源1に制御信号SG2を出力させて、光源1のオン・オフや光の強度・種類等を測定演算器7に制御させる構成としてもよい。

[0030] 以下、光ファイバセンサ9について詳細に述べる。

図2は、第1実施形態に係る光ファイバセンサ9の構成を示すための、光ファイバセンサ9のセンサ部4近傍での長手方向の断面図である。図2A一図2Cのそれぞれは、センサ部4の構造がそれぞれ異なる光ファイバセンサをそれぞれ示している。

本実施形態に係る光ファイバセンサ9は、光ファイバ部20aと、センサ部4とを有する。

光ファイバ部20aは、コア21と、その周りに積層されるクラッド22とを有する。光源1からの光はコア21に入射される。

また、本実施形態に係るセンサ部4は、ヘテロ・コア部30と、金属膜50と、反射膜60とを有する。

[0031] 本発明におけるモード規定解除手段の一実施態様がヘテロ・コア部30である。

また、本発明における反射手段の一実施態様が反射膜60である。

本実施形態に係る光ファイバセンサ9は、光ファイバ部20aの光源1側に配置される端部とは反対側の端部に、数mmから数cmの光ファイバ部20aの長さと比較して短いヘテロ・コア部30を接続して構成している。したがって、光ファイバセンサ9は、センサ部4を構成するヘテロ・コア部30が先端に存在するティップ型の光ファイバセンサとなっている。

[0032] 図2A，図2Bには、光ファイバ部20aと同じく、コア31と、その周りに積層されたクラッド32とを有するヘテロ・コア部30が示されている。コア31の径blが光ファイバ部20aのコア21の径alよりも小さいヘテロ・コア部30が図2Aに示されており、径blが径alよりも大きいヘテロ・コア部30が図2Bに示されている。

このように、コア31の径blが光ファイバ部20aのコア21の径alと異なっているため、コア31およびクラッド32とはヘテロ・コア部と呼ばれる。

なお、コア21の屈折率はクラッド22の屈折率よりもわずかに大きく、コア31の屈折率はクラッド32の屈折率よりもわずかに大きい。

コア31とクラッド32とはいずれも光透過性部材であり、光を伝送させることが可能である。

[0033] 図2Aに示すヘテロ・コア部30においては、コア31の径blはコア21の径alよりも十分に小さく、たとえば、al＝50μm、bl＝3μmであるとする。

図2Bに示すヘテロ・コア部30においては、コア31の径blはコア21の径alよりも十分に大きく、たとえば、al＝50μm、bl＝90μmであるとする。

また、ヘテロ・コア部3の長さclは、たとえば、10mmとする。

[0034] また、図2Cに示すように、たとえば、光ファイバ部20aのクラッド22と同等の屈折率を持ち光を伝送することが可能な光透過性部材300を、ヘテロ・コア部30の代わりに用いることも可能である。このような光透過性部材300も、コア径blが0である、一種のヘテロ・コア部であるとみなすことができる。

[0035] 光ファイバ部20aとヘテロ・コア部30または光透過性部材300とは、長手方向に直交する界面40aにおいて、長手方向に沿って同軸に接合されている。ヘテロ・コア部30を光ファイバ部20aに接合する場合には、ヘテロ・コア部30のコア31と光ファイバ部20aのコア21とが接触するようにする。

以上の接合には、好適には、汎用化されている放電による融着手法を用いる。

[0036] 光ファイバ部20aおよびヘテロ・コア部30としては、シングルモード光ファイバおよびマルチモード光ファイバのいずれをも使用可能であり、これらを組み合わせて使用してもよい。

以下では、たとえば、コア径alが約50μmのマルチモード光ファイバ（大崎電気社

製)を用いた光ファイバ部20aに、コア径blが約3μmのシングルモード光ファイバ(Newport社製, F-SA)を用いたヘテロ・コア部30を接合した場合を一例として挙げて述べる。

[0037] ヘテロ・コア部30が存在することにより、光ファイバ部20aのコア21内を伝わってきた光の少なくとも一部は界面40aにおいてコア21の外部へリークする。コア21の外部へ導かれてリークした光の少なくとも一部はヘテロ・コア部30のクラッド32内を伝わる。このとき、ヘテロ・コア部30のクラッド32内においては、光ファイバ部20aのコア21内における光のモードの規定は解除され崩される。

ヘテロ・コア部30において光のモードの規定が解除されることは、光ファイバ部20aとヘテロ・コア部30として用いられる光ファイバの種類がシングルモード光ファイバであるかマルチモード光ファイバであるかに関わらず発生する。

[0038] 図3は、図2Aに示すようなコア径blがコア径alよりも小さいセンサ部4を拡大して示した模式的な断面図である。ただし、図3において、図解の明瞭さのために光ファイバ部20aのコア21とヘテロ・コア部30のクラッド32とにおけるハッチングは省略している。

[0039] 金属膜50は、ヘテロ・コア部30の表面側を被覆するように任意の方法によってコーティングする。本実施形態においては、たとえば、ヘテロ・コア部30の外側表面に蒸着によりクロム(Cr)の膜50aを形成し、このクロム膜50a上に蒸着により金(Au)の膜50bを形成して金属膜50を形成する。

クロム膜50aの膜厚FW1は、たとえば、数nm程度である。金膜50bの膜厚FW2は、たとえば、数十nm程度である。

[0040] 詳細には後述するように、ヘテロ・コア部30の内部における光がヘテロ・コア部30と金属膜50との境界において反射することにより、表面プラズモンが発生する。

たとえば、銀(Ag)やアルミニウム(Al)等の他の金属を用いて金属膜50を形成してもよい。

[0041] 第1実施形態においては、ヘテロ・コア部30のうち光ファイバ部20aに融着接合されている端部とは反対側の端部の表面に、反射膜60をさらに設けている。

反射膜60は、たとえば、銀を蒸着することにより形成する。

反射膜60の膜厚dlは、ヘテロ・コア部30内の光を光ファイバ部20a側に十分に反射することができる程度の厚さとする。たとえば、膜厚dlは数百nm程度である。

ヘテロ・コア部30内の光を光ファイバ部20a側に十分に反射させることができれば、銀等の金属以外の物質を用いて反射膜60を形成してもよい。

反射膜60によりヘテロ・コア部30の先端が鏡面状になっていることにより、ヘテロ・コア部30内の光が先端において反射し易くなり、より多くの光が光ファイバ部20a側へ戻るようになる。

[0042] ここで、本実施形態に係る測定装置100を用いた測定について述べる。表面プラズモンを発生させる金属膜50を有する光ファイバセンサ9は様々な物理的、化学的特性測定に利用可能であるが、以下では、グリセリンの濃度を測定する場合を一例として挙げる。

[0043] 本実施形態に係るセンサ部4は、たとえば、図1に示すように、測定対象物としてのグリセリンが含有されている溶液等の測定媒質MD中に浸漬される。

この状態において、光源1から測定用の光を出射させる。

図1に示すように、光源1から出射された光LT1は、光ファイバ部20dを介して光分岐装置2に入射する。

[0044] 光LT1は、光分岐装置2により2つの光に分岐される。一方の光LT2は、光ファイバ部20bと光ファイバセンサ9の光ファイバ部20aとを介して、センサ部4に到達する。もう一方の光LT5は、参照光として光ファイバ部20cを介して参照光検出器5に入射する。

[0045] 光ファイバ部20aのコア21内においては、光LT2は光ファイバの通常の性質から複数のモードが形成された光として伝わる。光ファイバ部20aによって伝送される光のモードは、コア21とクラッド22との境界における光の反射角として模式的にとらえることも可能である。光のモードを反射角ととらえた場合には、光ファイバ部20aにおける光の反射角は、非常に多くの離散的な角度であると考えることができる。図3において、この複数のモードが形成された光を光LTMとして表わす。

なお、本実施形態においては光源1から光ファイバ部20aに入射させた光の強度変化を利用して測定するため、1つの波長に対するモード群の合算の光強度のみを考

慮すれば十分である。

[0046] 多様なモードである光LTMは、界面40aを通過してヘテロ・コア部30のクラッド32に入射するときに、モードの規定が解除されてモードが崩される。言い換えれば、ヘテロ・コア部30内においては、図3に示すように、クラッド32と金属膜50との境界において光が様々な反射角度で伝わるようになる。これは、光LTMがヘテロ・コア部30へ入射するときに、モード形態を決定付ける様々な条件(コア径・屈折率・屈折率分布)が変化することと、モード形成の一つの要因であるファイバ長がヘテロ・コア部30の長さでは不十分であること、に起因すると考えられる。したがって、あるモードに規定されていた光LTMがヘテロ・コア部30に入射すると、そのモードの規定が解除されてモードが崩され、図3に示すような様々な反射角度で反射する、モードが崩された光LTUとなってクラッド32内を伝わる。

[0047] ヘテロ・コア部30のクラッド32と金属膜50との境界において光が反射する際には、クラッド32内の光と金属膜50との間において相互作用が発生し、光の反射率に影響が現れ、反射率が変化する。大部分の場合には、光の反射率が低下して反射光の強度が減少する。この反射率の変化は、金属膜50が存在しない場合にも発生する可能性はあるが、金属膜50を設けた場合には表面プラズモン共鳴(Surface Plasmon Resonance:SPR)と呼ばれる現象により反射率の変化をより大きくすることができ、光の強度変化の測定を容易化することができる。表面プラズモン共鳴現象については、たとえば、非特許文献1等の文献を参照されたい。

クラッド32内の光の反射率は、金属膜50が存在する場合には金属膜50に接している物質の屈折率、光吸収率に応じて変化する。金属膜50が存在しない場合には、クラッド32の外側表面に付着している物質の屈折率、光吸収率に応じて反射率が変化する。したがって、ヘテロ・コア部30において反射した光の強度を測定することによって、センサ部4の外界に存在する物質の屈折率、光吸収率等の特性を知ることができる。たとえば、測定媒質MD中のグリセリンの濃度を知ることができる。

[0048] モードが崩れた光LTUが金属膜50とクラッド32との境界において反射することにより、様々な反射角度、即ちより多くの条件で光LTUとセンサ部4の外界との相互作用を発生させることができることになる。

[0049] 光ファイバ部20aからヘテロ・コア部30のクラッド32内に入射し、モードが崩れた光LTUとなった光は、金属膜50との境界において反射しながらヘテロ・コア部30の先端まで伝わる。ヘテロ・コア部30の先端における界面40bには鏡面となるように反射膜60が設けられているため、光LTUは界面40bにおいて反射し、再び金属膜50との境界において反射しながら光ファイバ部20a側に戻る。このように、センサ部4の先端において、モードが崩れた光LTUを反射させて戻すことにより、光ファイバ部20a側に戻った戻り光は、ヘテロ・コア部30を一方向に通過させただけの光と比較してより多くの相互干渉の情報を含んだ光となる。

[0050] ヘテロ・コア部30においてセンサ部4の外界との間で相互作用が生じた後に再び光ファイバ部20aのコア21内に戻った戻り光LT3は、図1に示す戻り光LT4として光ファイバ部20bを介して光分岐装置2に到達する。

戻り光LT4は、光分岐装置2によって2つの光に分岐される。分岐された一方の光LT6が、光ファイバ部20eを介して信号検出器6に到達する。

[0051] 信号検出器6は、光LT6の強度を検出する。光LT6の強度と戻り光LT3の強度との間には相関関係があるため、光LT6の強度変化を検出することによって、戻り光LT3の強度変化を知ることができる。

[0052] 測定演算器7は、信号検出器6から送信されたデータ信号SG1に含まれる光LT6の強度の情報に基づいて、前述のように既知な測定対象の特性と光LT6の強度との予め入手されている相関関係を用いて、測定対象の特性を測定する。たとえば、測定演算器7は、測定媒質MDに含まれているグリセリンの濃度を演算により算出する。

上記の相関関係は、たとえば、図示しないメモリ等の記憶装置に、ルックアップテーブルとして記憶させておく。測定演算器7は、このメモリに適宜アクセスして、測定対象の特性と光LT6の強度との相関関係を入手する。

[0053] 図4は、以上のティップ型光ファイバセンサ測定装置100を用いて、たとえば、グリセリンの濃度を測定した場合に得られる、光LT6の波長と強度との関係を示すグラフである。図4において、横軸は光LT6の波長を表わしており、縦軸は光源1からの光を基準としてノーマライズした光LT6の強度を表わしている。基準とする光の強度としては、参照光検出器5によって検出した参照光LT5の強度を用いてもよいし、測定演

算器7が制御信号SG2を用いて光源1に対して設定する、光LT1の設定出力光強度を用いてもよい。

[0054] 図4に示す測定を行なう場合に、ヘテロ・コア部30の長さclは10mmとし、クロム膜50aの膜厚FW1は4．4nmとし、金膜50bの膜厚FW2は57．04nmに設定した。また、銀製の反射膜60の膜厚dlは200nmに設定した。

[0055] 図4に示すように、様々な波長における強度を調べる掃引を実行するために、光源1としては白色光源を用いた。白色光源に対応して、参照光検出器5と信号検出器6とにはスペクトルアナライザを用いた。

[0056] 測定媒質MDとしては水を用いた。図4のグラフにおいて、グラフGWは水が100％の場合の結果を、グラフGG1はグリセリン濃度が20％の場合の結果を、グラフGG2はグリセリン濃度が50％の場合の結果をそれぞれ示している。

なお、水の屈折率は約1．333であり、グリセリン20％水溶液の屈折率は約1．357であり、グリセリン50％水溶液の屈折率は約1．398である。

[0057] 図4に示すグラフにおいては、各グラフGW，GG1，GG2が従来よりも比較的なだらかに変化して下向きのピークが発生していることが特徴である。そして、各グラフGW，GG1，GG2は、従来よりも広い波長の範囲において互いに交わらずにプロットされている。

比較のために、従来の光ファイバセンサ測定装置を用いたときの測定結果を図5に示す。

[0058] 図5に示すグラフは、図4と同様に横軸が波長を表わしており、縦軸が光のノーマライズした強度を表わしている。

なお、図6に、従来の光ファイバセンサ測定装置の概略構成の一例を示す。図5に示すグラフG__A，…，G__Fは、図6に示すような2つの光ファイバ部20aの間にセンサ部4を設けた構造の光ファイバセンサ900を用いた測定の結果得られたグラフである。2つの光ファイバ部20aはそれぞれ、センサ部4側の端部とは反対側の端部が、光源1とスペクトルアナライザSAとにそれぞれ接続されている。

図6におけるセンサ部4は、反射膜60の代わりに光ファイバ部20aを接続している以外は、図3に示す第1実施形態に係るセンサ部4と同じ構造をしている。図6に示す

光ファイバセンサ900において、ヘテロ・コア部30の長さclは10mmとした。

ただし、光ファイバセンサ900においては、クロム膜50aの膜厚FW1は約5nmとし、金膜50bの膜厚FW2は約60nmと設定した。

[0059] 図6に示すセンサ部4は測定媒質MDに接触させられる。この状態で、光源1から出射された白色光LT_Aが光ファイバ部20aを伝わってセンサ部4に到達し、センサ部4においてその外界の測定媒質MDと相互作用する。センサ部4において相互作用を発生させた後の光LT_Bは、センサ部4の後段、即ち光の出射側にある光ファイバ部20aを伝わってスペクトルアナライザSAに到達する。スペクトルアナライザSAは、光LT_Bの強度を検出する。

[0060] 図5の各グラフG_A, …, G_Fは、たとえば、測定対象物の濃度を変化させて図6における測定媒質MDの屈折率を変化させたときの光LT_Bの各波長の光強度をそれぞれ示している。

グラフG_A, G_B, G_C, G_D, G_E, G_Fはそれぞれ、測定媒質MDの屈折率が約1.333, 1.345, 1.357, 1.371, 1.384, 1.398の場合の結果をそれぞれ表わしている。

[0061] 図4と図5とを比較すると、従来の光ファイバセンサ900を用いた図5の場合には、550nm以上の波長の範囲において、図4の場合よりも各グラフが急峻に変化して下向きのピークが形成されていることが分かる。また、図5の各グラフG_A, …, G_Fは、互いに交差していることが分かる。

[0062] 図5のように各グラフが交差する場合には、屈折率や屈折率から算出され得る濃度等の特性の測定に使用可能な波長が制限され、それゆえ測定が困難になる。たとえば、図5に示す波長λ_1(約656.8nm)においては、たとえば、グラフG_Cの場合よりもグラフG_Eの場合の方が屈折率は大きいにもかかわらず強度はグラフG_Cの場合よりもグラフG_Eの場合の方が小さくなる。このように屈折率の変化の傾向と強度の変化の傾向が異なるような範囲の波長の光を測定に用いることには困難を伴う。そのため、たとえば、波長λ_2(約769.6nm)ように屈折率の変化の傾向と強度の変化の傾向とに統一性が存在する範囲の波長の光を測定に用いる必要が生じる。

[0063] しかしながら、図5のように各グラフが急峻に変化する傾向にある場合には、波長λ

$_2$の場合においても、たとえば、グラフG__A, G__B, G__C間のように、グラフ間の間隔が狭くなる傾向がある。このため、従来は、強度の変化から屈折率等の特性の変化を導くことが困難な傾向にあった。

[0064] 一方、図4に示すような第1実施形態の場合には、各グラフがなだらかに変化し、かつ、グラフとグラフとの間隔が従来よりも広くなるため、たとえば、波長λ_1の光を用いても容易に屈折率等の特性を測定することができる。

このように各グラフが交差せずになだらかに変化する、即ち、各波長において測定対象物の特性がより明確に現れるようになる理由は、光ファイバ部20aの先端にヘテロ・コア部30等のモード規定解除手段を接合し、このヘテロ・コア部30の部分において光を反射させて光ファイバ部20a側に戻しているためであると考えられる。つまり、ヘテロ・コア部30において、反射角度がほぼ一定のあるモードの光が外界と相互作用するのではなくモードが崩された様々な反射角度を有する光LTUが外界と相互作用することにより、波長と強度とのグラフにおいて急峻なピークが形成されにくくなる。また、様々な反射角度を有する光LTUが外界と相互作用することにより、測定対象物の特性が検出され易くなるため測定対象物の特性の変化が強度変化として現れ易くなる。その結果、同じ波長における各グラフ間の間隔が広くなる。そして、モードが崩された光LTUがヘテロ・コア部30の先端において反射して光ファイバ部20a側へ戻ることにより、光LTUと外界との相互作用は単純には約2倍の回数繰り返されるため、上記のグラフ間の間隔が広くなりピークがなだらかになるという傾向は、より強くなる。

[0065] 以上の結果を屈折率の観点からまとめ直して示すためのグラフが、図7に示すグラフである。図7のグラフにおいて、横軸は測定媒質MDの屈折率を表わしており、縦軸は信号検出器6またはスペクトルアナライザSAによって検出した光の強度を表わしている。

図7において、◆印のプロットは第1実施形態に係るティップ型光ファイバセンサ測定装置100を用いて、波長656．8nm、即ち図5に示す波長λ_1における屈折率と光の強度との関係を測定した場合の結果を示している。一方、■印のプロットは図6に示す従来の光ファイバセンサ900による測定装置を用いて、波長769．6nm、即ち波長λ_2における屈折率と強度との関係を測定した場合の結果を示している。

[0066] 図7に示すように、第1実施形態の場合には従来では測定が困難であった波長λ_1の場合であっても強度と屈折率とがほぼ線形な関係にあり、容易に測定を実行することが可能であることが分かる。

一方、従来の場合には、強度変化の傾向と屈折率変化の傾向とに統一性が存在する波長λ_2においても、強度と屈折率との間には線形性が乏しい。

強度と屈折率との間に線形性が存在する本実施形態に係る光ファイバセンサ9の方が、センサとしては好ましい。

[0067] 以上のように、第1実施形態においては、光ファイバ部20aの先端に、コア21内を伝わるモードが規定された光LTMのモードの規定を解除してモードが崩れた光LTUにするモード規定解除手段を取り付ける。モード規定解除手段の内部において、モードが崩れた光LTUが外界と相互作用する。そして、外界と相互作用したモードが崩れた光LTUを、モード規定解除手段の先端の反射膜60によって反射させてさらに外界と相互作用させる。以上により、光ファイバを用いて測定を行なう場合に、外界の測定対象物の特性を検出可能な光の波長の範囲を広げて、検出特性を線形的にすることが可能になる。

モード規定解除手段としては、市販の光ファイバを利用したヘテロ・コア部30等の部材を使用することが可能である。光ファイバを切断してヘテロ・コア部30とするための切断装置も市販されている。ヘテロ・コア部30と光ファイバ部20aとの接合にも、汎用化されている放電による融着接合を用いることができる。融着接合のための装置も市販されている。このため、ティップ型光ファイバセンサ9および測定装置100を容易に製造することが可能である。

また、第1実施形態においては、図6に示すように光ファイバ部20aによってヘテロ・コア部30を挟み込むのではなく、光ファイバ部20aの先端にヘテロ・コア部30を接合し、相互作用が生じた後の光を光ファイバ部20a側へ戻す構造としている。このため、測定装置100のような測定系全体における光ファイバの敷設・引き回しを大幅に簡略化することができる。

[0068] 大きな強度でかつ安定してSPRを発生させるためには、金属膜50を形成する光ファイバの表面の粗さ等の特性が重要であるが、金属膜50を形成するヘテロ・コア部30

に市販の光ファイバを利用することができるため、表面の特性の評価が容易であり、また、その特性が安定している。したがって、本実施形態に係る光ファイバセンサ9によれば、望ましいSPRを確実に発生させることができるようになる。

また、光ファイバ部20aのコア21内の光を外界と相互作用させるためのヘテロ・コア部30の外径を、光ファイバ部20aの外径と同じ大きさにすることが可能である。これにより、センサ部4の強度を向上させることが可能になり、光ファイバセンサ9を実用的に用いることが可能になる。

第1実施形態に係る測定装置100においては、ヘテロ・コア部30内の光のモードを崩すことにより、外界の測定対象の特性変化を戻り光LT6の強度変化に反映させ易くなる。したがって、戻り光LT6の直接的な強度を検出することによって、測定対象の特性を検出することが可能になる。その結果、信号検出器6としてフォトダイオードのような、OTDR(Optical Time-Domain Reflectometer)よりも格段に安価な装置を適用することが可能になり、測定装置100の価格を低減可能となる。また、ティップ型の光ファイバセンサ9を用い、たとえば、光源1としてLEDを、信号検出器6としてフォトダイオードを用いることにより、測定装置100を小型化することも可能になる。

[0069] 〔変形形態〕

図8は、上記第1実施形態に係る光ファイバセンサ9の変形形態を示す断面図である。

図8に示す変形形態に係る光ファイバセンサ90は、第1実施形態に係る光ファイバセンサ9を、カバー部材70によって挟み込んで覆った点のみが光ファイバセンサ9と異なる。したがって、同一構成要素には同一符号を付し、詳細な記述は省略する。

[0070] カバー部材70は、たとえば、プラスチック等の樹脂材料によって形成する。

カバー部材70は、たとえば、ペン型、スティック型等の、光ファイバセンサ9の長手方向に沿う形状にする。

カバー部材70は、光ファイバセンサ9を挟み込んで固定し、光ファイバセンサ9におけるセンサ部4を含む先端部のみが測定媒質MDに接触可能になっている。

[0071] 以上のような光ファイバセンサ90は、光ファイバセンサ9と同様に、光ファイバコネクタ3を介して図1における光ファイバ部20bに接続可能であり、測定対象物の濃度等

の様々な特性の測定に用いることができる。

以上のようなカバー部材70を有する光ファイバセンサ90、およびそれを用いた測定装置によれば、第1実施形態の場合と同じ効果に加えて、センサ部4の保護や、光ファイバセンサ9を直接操作するよりもハンドリングが容易になるという効果を得ることができる。

[0072] 〔第2実施形態〕

図9Aー図9Cは、本発明の第2実施形態に係る光ファイバセンサのセンサ部4近傍での長手方向の断面図である。

第2実施形態に係る光ファイバセンサおよびそれを用いた測定装置は、金属膜50の代わりに検出薬固定化膜500を用いている点のみが、第1実施形態の場合と異なっている。したがって、同一構成要素には同一符号を付し、詳細な記載は省略する。

図9Aー図9Cは、図2Aー図2Cにそれぞれ対応しており、ヘテロ・コア部30の異なる構造をそれぞれ示している。

[0073] 検出薬固定化膜500は、たとえば、ゾル・ゲル法によって形成する膜や高分子膜によって実現する。たとえば、分子レベルの非常に細かい孔を有する多孔性膜として検出薬固定化膜500を形成することが、検出薬固定化膜500が固定化する検出薬と測定対象物とをより効果的に反応可能な点で好ましい。

[0074] 検出薬としては、たとえば、酸または塩基を検出するpH指示薬のような機能性色素や、特定の金属を検出する金属指示薬等の薬品を用いることができる。

これらの検出薬は、ゾル・ゲル法によって検出薬固定化膜500を形成する際に混合によって検出薬固定化膜500に固定化することもできるし、検出薬固定化膜500に化学的に固定化することもできる。

[0075] 上述のような検出薬は、その種類に応じて、特定の検出対象物と選択的に反応する。この反応により、検出対象物の特性(たとえば、酸であるか塩基であるか等の性質)に応じて、特定の波長の光が吸収されたり、蛍光が生じる等の現象が発生する。

この光の吸収や蛍光等の現象に応じて、スペクトルの変化や強度変化等の変化が、ヘテロ・コア部30の内部のモードが崩れた光LTUにもたらされる。

したがって、検出薬と検出対象物との反応に基づく相互作用を受けた光LTUの戻り

光LT6のスペクトル変化や強度変化を信号検出器6で検出することにより、検出対象物、つまり測定対象物の存在やpH、その種類等の特性を知ることが可能になる。

[0076] 以上のように、第2実施形態によれば、検出薬固定化膜500によって、特定の測定対象物と反応する検出薬をヘテロ・コア部30に固定化している。したがって、検出薬の種類に応じて、測定対象物を選択的に測定することが可能になり、第1実施形態の場合よりもさらに高感度・高精度な測定を行なうことができる。

検出薬をセンサ部4側に固定化するため、たとえば、アンモニアの検出のように、液体に限らず気体に含まれる測定対象物の検出ならびに定量が可能である。

以上のように、検出薬の種類を変えることにより、屈折率センサや濃度センサ、pH測定センサ等の多種のセンサを実現可能となる。

[0077] 〔第3実施形態〕

図10Aー図10Cは、本発明の第3実施形態に係る光ファイバセンサのセンサ部4近傍での長手方向の断面図である。

第3実施形態に係る光ファイバセンサおよびそれを用いた測定装置は、金属膜50または検出薬固定化膜500を設けずヘテロ・コア部30をそのままセンサ部4として用いている点が、第1、第2実施形態の場合と異なっている。それ以外の点は第1、第2実施得形態の場合とほぼ同じであるため、同一構成要素には同一符号を付し、詳細な記載は省略する。

図10Aー図10Cは、図2Aー図2Cまたは図9Aー図9Cにそれぞれ対応しており、ヘテロ・コア部30の異なる構造をそれぞれ示している。

[0078] 第3実施形態に係る光ファイバセンサおよびそれを用いた測定装置においては、ヘテロ・コア部30の先端に反射膜60は設けていない。反射膜60が無い場合であっても、ヘテロ・コア部30とその外部の外界との屈折率差により、ヘテロ・コア部30内の光はある程度光ファイバ部20a側へ反射して戻る。

[0079] 光ファイバ型センサにおいて、センサの外部の状況の特性を検出するためには、光ファイバ内の光を外部と相互作用させることさえできればよく、感度や選択性を必要としない場合には、金属膜50や検出薬固定化膜500は必要ない。したがって、図10Aー図10Cに示すようにヘテロ・コア部30のみを用いてセンサ4部を実現した場合にも

、外部の状況の特性の検出は可能である。

[0080] ヘテロ・コア部30のみを光ファイバ部20aに融着接合した光ファイバセンサであっても、ヘテロ・コア部30において光のモードが崩れることにより、検出特性を線形的にすることが可能になる。

また、測定対象物に直接接触する部分では電力を必要としないため電気防爆性、耐引火性に優れ、光による情報伝達のため遠隔モニタリングが可能であり、センサ部4の小型化・軽量化が可能、光ファイバはフレキシブルであるため様々な形状に形成可能であることなどの光ファイバセンサの特徴は保持したままにできる。

[0081] なお、本発明は上記の実施形態およびその変形形態に限定されない。たとえば、第2、第3実施形態に、第1実施形態の変形形態のようなカバー部材を設けても良い。また、第3実施形態に係るヘテロ・コア部30の表面に、第1、第2実施形態のような金属膜50または検出薬固定化膜500を設けてもよい。

たとえば、配管からの測定対象物の漏れなどを検出したい場合には、実施形態のような測定媒質MDにセンサ部4を浸漬させる形態に限らず、配管の測定希望位置にセンサ部4を設置してもよい。

産業上の利用可能性

[0082] 本発明は、金属膜50の種類や検出薬固定化膜500に固定化させる検出薬の種類に応じて、たとえば、屈折率の測定、液体が存在しているか否かの液体検知、液体濃度の測定、ガス検知、ガス濃度の測定、たんぱく質の濃度測定、酸濃度測定、アルカリ度測定、その他の化学物質の検知や測定等の化学センサとして用いることが可能である。

請求の範囲

[1] 光を伝送する光ファイバ部と、

前記光ファイバ部の先端に融着接合される光透過性部材を含み、当該光ファイバ部が伝送する光の少なくとも一部をコアの外部に導いて当該光のモードの規定を解除し、モードの規定が解除された光が前記コア中に戻るモード規定解除手段と

を有する光ファイバセンサ。

[2] 前記モード規定解除手段は、前記光ファイバ部の前記コアとは径が異なり当該コアを伝わった光を伝送可能な光伝送コアを備え、前記光ファイバ部の長さと比較して短いヘテロ・コア部である

請求項1に記載の光ファイバセンサ。

[3] 前記ヘテロ・コア部の表面側に設けられ、当該表面における前記ヘテロ・コア部中の光の反射により表面プラズモンを発生する金属膜

をさらに有する請求項2に記載の光ファイバセンサ。

[4] 前記ヘテロ・コア部の表面側に、前記ヘテロ・コア部の外部の検出対象物と選択的に反応して当該反応に応じた変化を前記ヘテロ・コア部中の光にもたらす検出薬を固定化して設けた

請求項2に記載の光ファイバセンサ。

[5] 光を伝送する光ファイバ部と、

前記光ファイバ部のコアとは径が異なり当該コアを伝わった光を伝送可能な光伝送コアを備え、前記コアを伝わった光の少なくとも一部を前記コアと前記光伝送コアとの境界から前記コアの外部に導く、前記光ファイバ部の長さと比較して短いヘテロ・コア部と

を有し、

前記光ファイバ部の先端に前記ヘテロ・コア部を融着接合した

光ファイバセンサ。

[6] 前記ヘテロ・コア部の表面側に設けられ、当該表面における前記ヘテロ・コア部中の光の反射により表面プラズモンを発生する金属膜

をさらに有する請求項5に記載の光ファイバセンサ。

[7] 前記ヘテロ・コア部の表面側に、前記ヘテロ・コア部の外部の検出対象物と選択的に反応して当該反応に応じた変化を前記ヘテロ・コア部中の光にもたらす検出薬を固定化して設けた

請求項5に記載の光ファイバセンサ。

[8] 前記ヘテロ・コア部の前記光ファイバ部に融着接合されている端部とは反対側の端部の表面に、前記ヘテロ・コア部中の光を反射して前記光ファイバ部側へ戻す反射手段をさらに設けた

請求項2ー7のいずれかに記載の光ファイバセンサ。

[9] 光を伝送する光ファイバ部と、

前記光ファイバ部の先端に融着接合される光透過性部材を含み、当該光ファイバ部が伝送する光の少なくとも一部をコアの外部に導いて当該光のモードの規定を解除し、モードの規定が解除された光が前記コア中に戻るモード規定解除手段と

を有する光ファイバセンサと、

前記光ファイバセンサの前記光ファイバ部側の端部に接続され、当該光ファイバセンサの前記コアに光を出射する光源と、

前記モード規定解除手段において前記モード規定解除手段の外部との相互作用を受けて前記コアを介して前記光源側に戻ってきた戻り光の直接的な強度を検出する光検出手段と

を有する測定装置。

[10] 前記モード規定解除手段は、前記光ファイバ部の前記コアとは径が異なり当該コアを伝わった光を伝送可能な光伝送コアを備え、前記光ファイバ部の長さと比較して短いヘテロ・コア部である

請求項9に記載の測定装置。

[11] 前記ヘテロ・コア部の前記光ファイバ部に融着接合されている端部とは反対側の端部の表面に、前記ヘテロ・コア部中の光を反射して前記光ファイバ部側へ戻す反射手段をさらに設けた

請求項10に記載の測定装置。

[12] 前記ヘテロ・コア部の表面側に設けられ、当該表面における前記ヘテロ・コア部中

の光の反射により表面プラズモンを発生する金属膜

をさらに有する請求項10に記載の測定装置。

[13] 前記ヘテロ・コア部の前記光ファイバ部に融着接合されている端部とは反対側の端部の表面に、前記ヘテロ・コア部中の光を反射して前記光ファイバ部側へ戻す反射手段をさらに設けた

請求項12に記載の測定装置。

[14] 前記ヘテロ・コア部の表面側に、前記ヘテロ・コア部の外部の検出対象物と選択的に反応して当該反応に応じた変化を前記ヘテロ・コア部中の光にもたらす検出薬を固定化して設けた

請求項10に記載の測定装置。

[15] 前記ヘテロ・コア部の前記光ファイバ部に融着接合されている端部とは反対側の端部の表面に、前記ヘテロ・コア部中の光を反射して前記光ファイバ部側へ戻す反射手段をさらに設けた

請求項14に記載の測定装置。

[16] 光を伝送する光ファイバ部と、

前記光ファイバ部のコアとは径が異なり当該コアを伝わった光を伝送可能な光伝送コアを備え、前記コアを伝わった光の少なくとも一部を前記コアと前記光伝送コアとの境界から前記コアの外部に導く、前記光ファイバ部の長さと比較して短いヘテロ・コア部と

を有し、

前記光ファイバ部の先端に前記ヘテロ・コア部を融着接合した光ファイバセンサと、

前記光ファイバセンサの前記光ファイバ部側の端部に接続され、当該光ファイバセンサの前記コアに光を出射する光源と、

前記ヘテロ・コア部において当該ヘテロ・コア部の外部との相互作用を受けて前記コアを介して前記光源側に戻ってきた戻り光の直接的な強度を検出する光検出手段と

を有する測定装置。

[17] 前記ヘテロ・コア部の前記光ファイバ部に融着接合されている端部とは反対側の端

部の表面に、前記ヘテロ・コア部中の光を反射して前記光ファイバ部側へ戻す反射手段をさらに設けた

請求項16に記載の測定装置。

[18] 前記ヘテロ・コア部の表面側に設けられ、当該表面における前記ヘテロ・コア部中の光の反射により表面プラズモンを発生する金属膜

をさらに有する請求項16に記載の測定装置。

[19] 前記ヘテロ・コア部の前記光ファイバ部に融着接合されている端部とは反対側の端部の表面に、前記ヘテロ・コア部中の光を反射して前記光ファイバ部側へ戻す反射手段をさらに設けた

請求項18に記載の測定装置。

[20] 前記ヘテロ・コア部の表面側に、前記ヘテロ・コア部の外部の検出対象物と選択的に反応して当該反応に応じた変化を前記ヘテロ・コア部中の光にもたらす検出薬を固定化して設けた

請求項16に記載の測定装置。

[21] 前記ヘテロ・コア部の前記光ファイバ部に融着接合されている端部とは反対側の端部の表面に、前記ヘテロ・コア部中の光を反射して前記光ファイバ部側へ戻す反射手段をさらに設けた

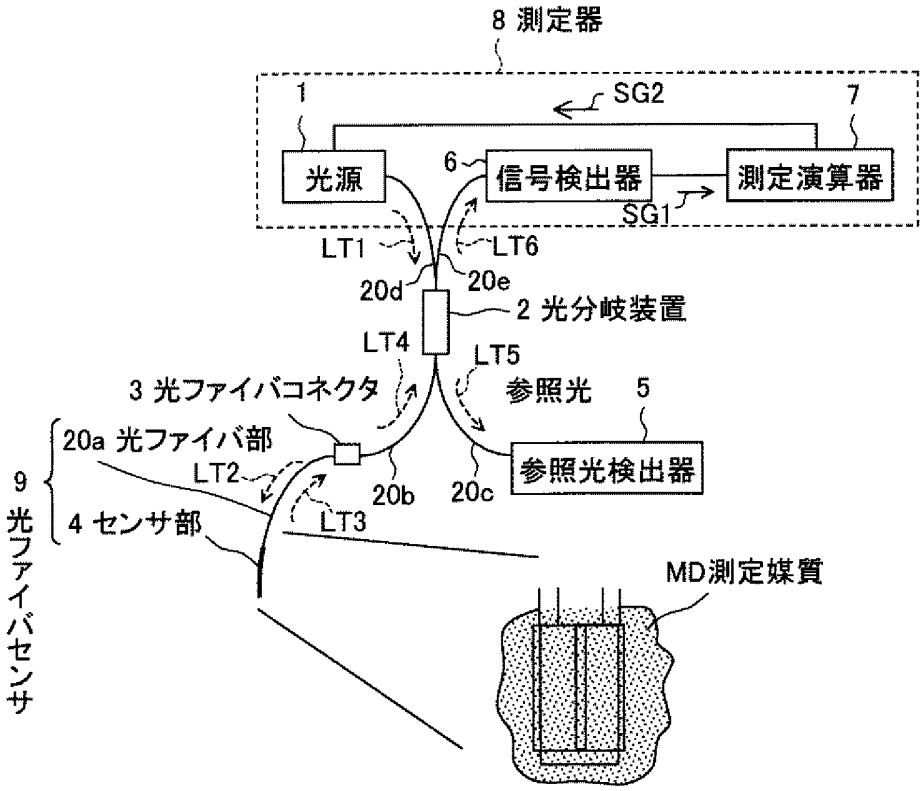
請求項20に記載の測定装置。

[22] 前記光検出手段が検出した前記戻り光の強度に基づいて、前記光ファイバセンサの外部の環境の所定の特性を測定する測定手段

をさらに有する請求項9ー21のいずれかに記載の測定装置。

[図1]

FIG. 1



100 ティップ型光ファイバセンサ測定装置

[図2]

FIG. 2A

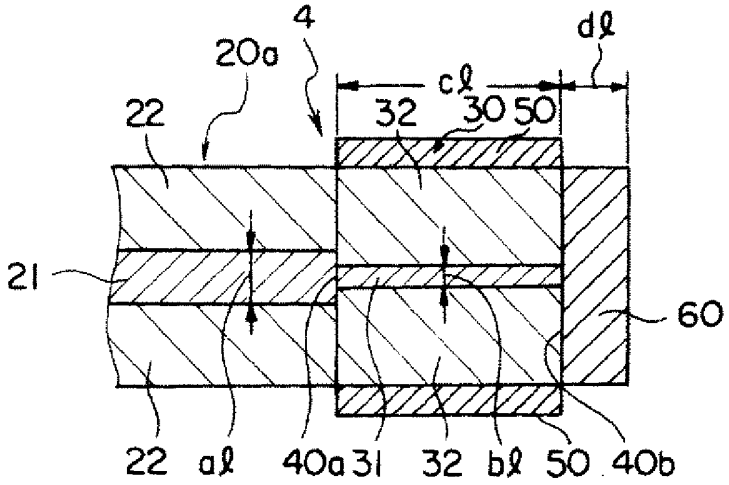


FIG. 2B

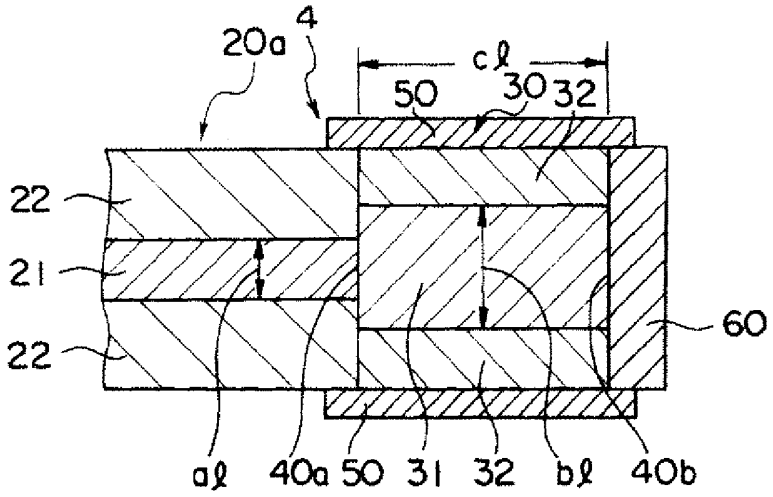
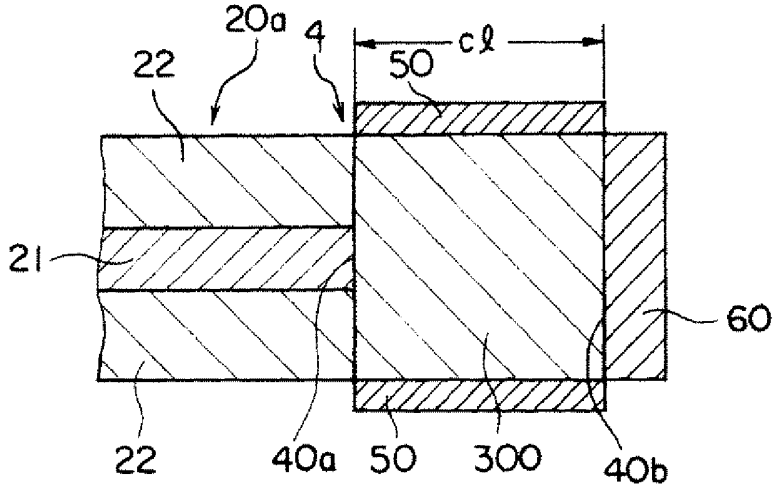


FIG. 2C



[図3]

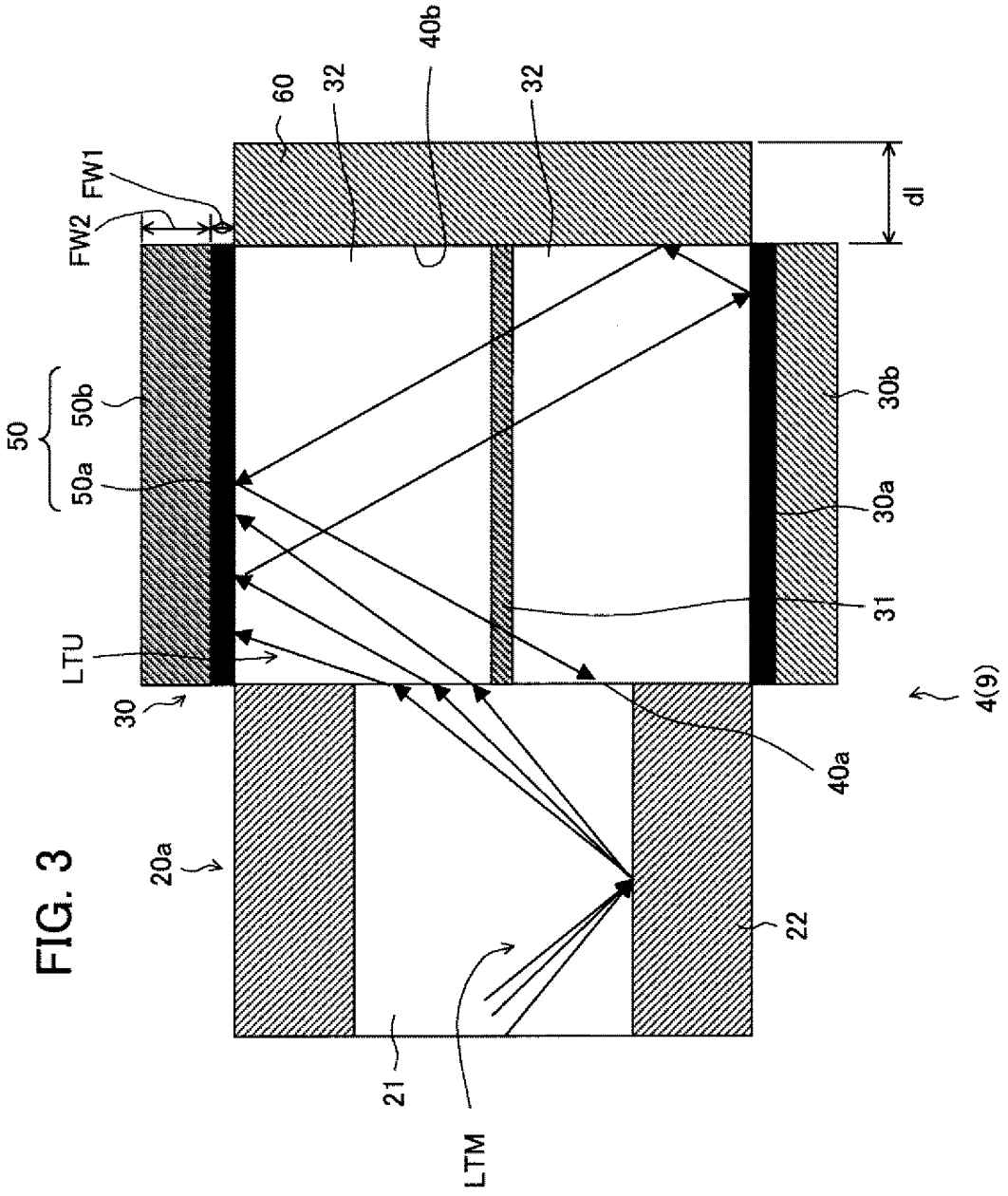
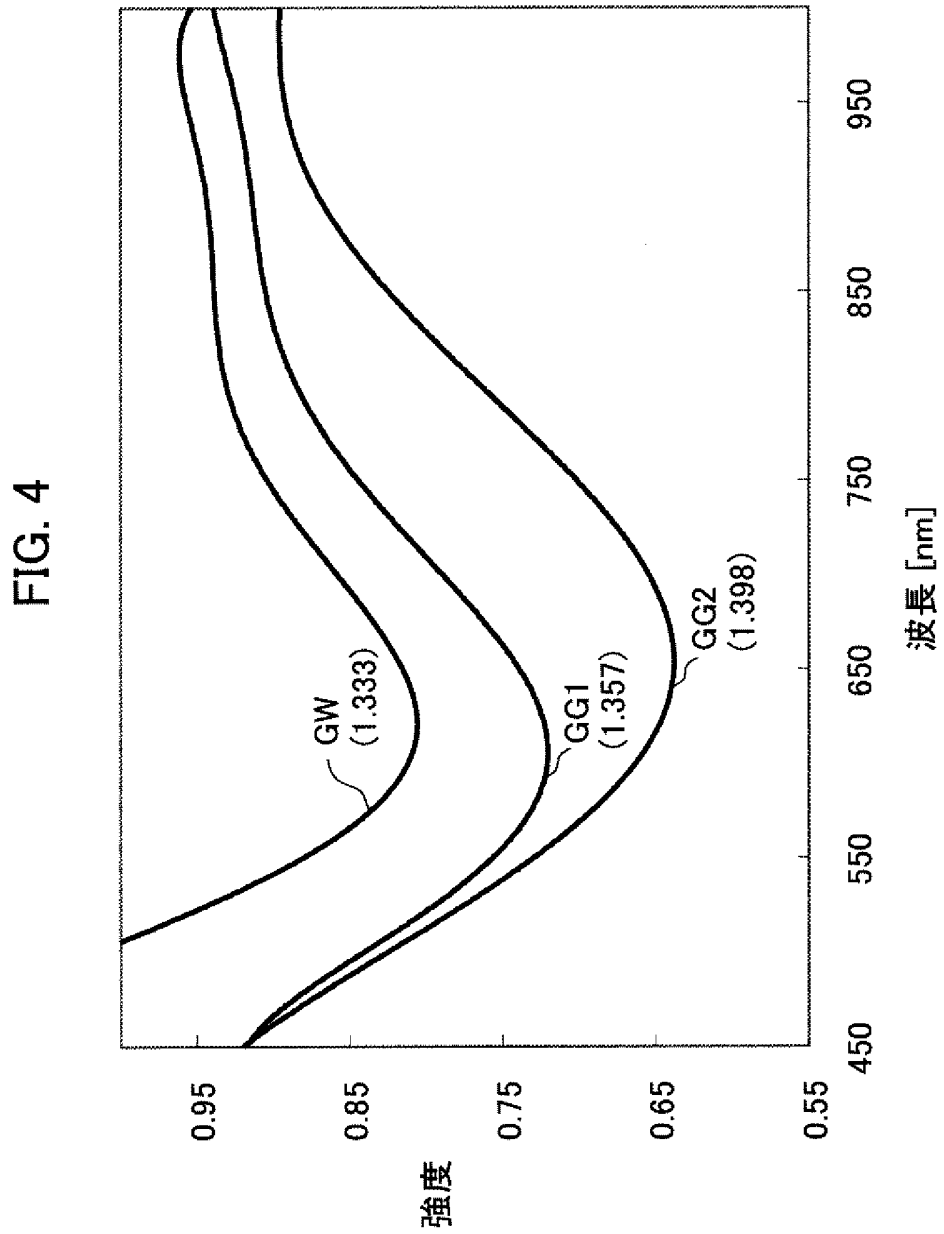

60
32
40b
32
FW1
FW2
dl
50
50b
50a
30b
30a
31
LTU
30
4(9)
40a
20a
22
21
LTM

FIG. 3

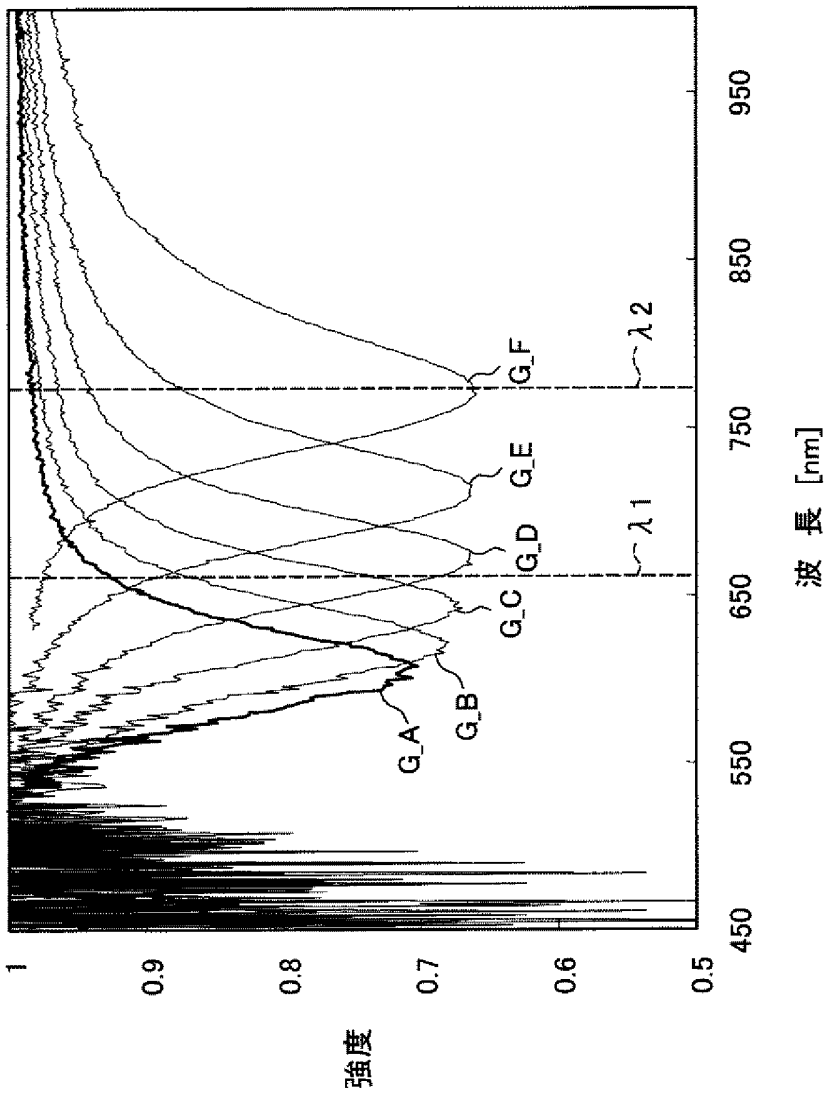
[図4]

FIG. 4


GW
(1.333)
GG1
(1.357)
GG2
(1.398)
0.95
0.85
0.75
0.65
0.55
強度
450
550
650
750
850
950
波長 [nm]

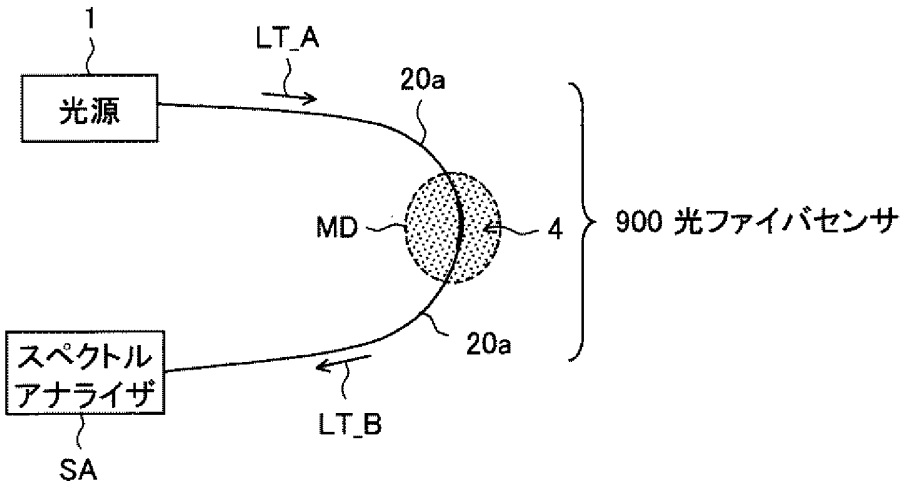
[図5]

FIG. 5


1
0.9
0.8
0.7
0.6
0.5
強度
450
550
650
750
850
950
波長 [nm]
λ1
λ2
G_A
G_B
G_C
G_D
G_E
G_F

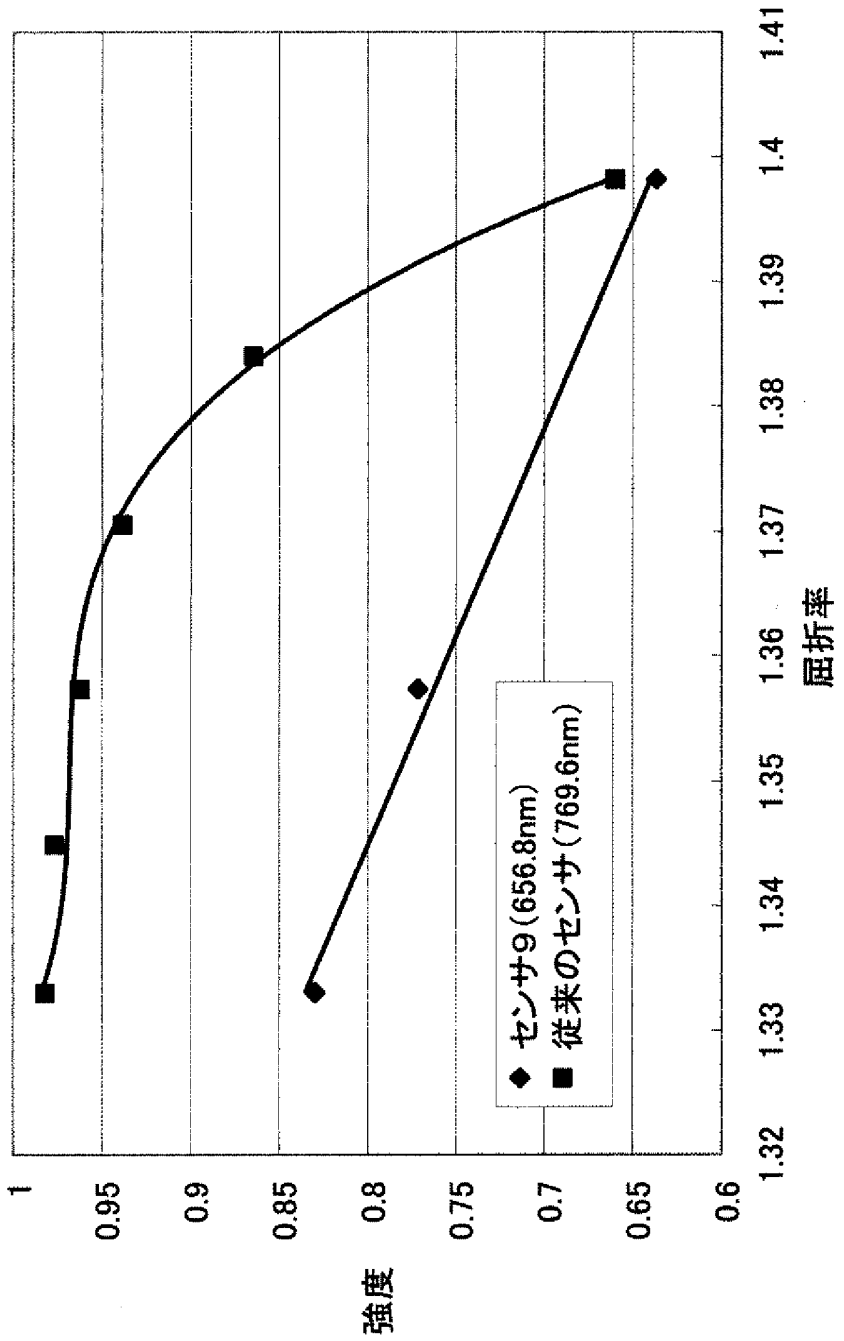
[図6]

FIG. 6



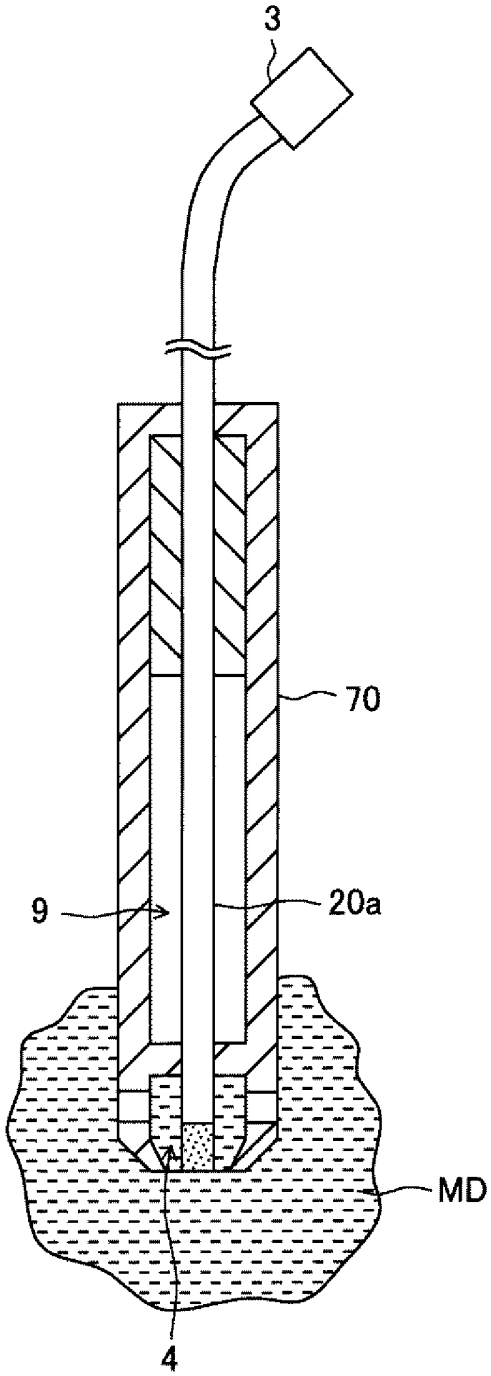
[図7]

FIG. 7


1
0.95
0.9
0.85
0.8
0.75
0.7
0.65
0.6
強度
1.32
1.33
1.34
1.35
1.36
1.37
1.38
1.39
1.4
1.41
屈折率
センサ9(656.8nm)
従来のセンサ(769.6nm)

[図8]

FIG. 8



90 光ファイバセンサ

[図9]

FIG. 9A

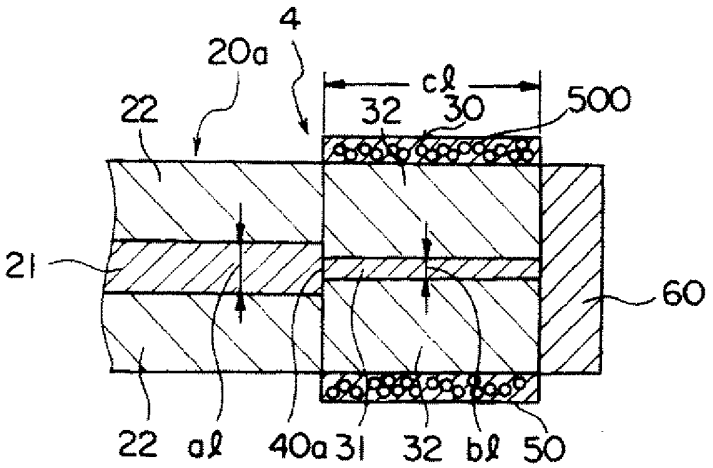


FIG. 9B

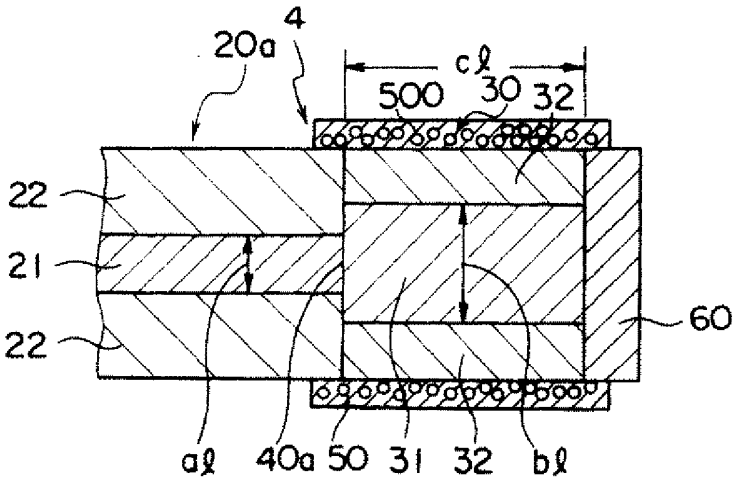
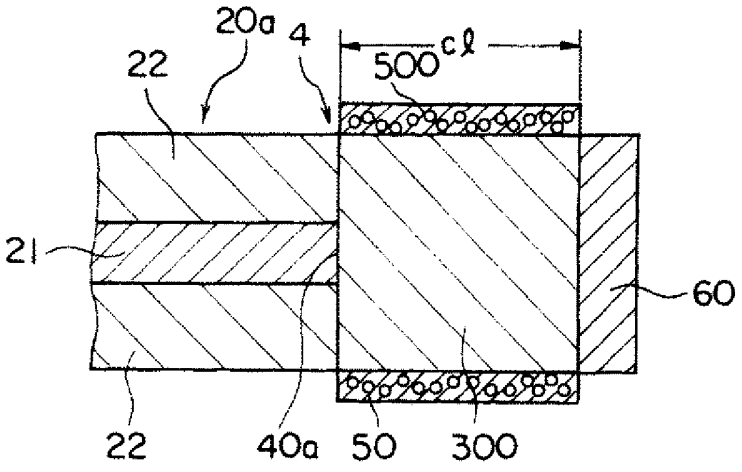


FIG. 9C



[図10]

FIG. 10A

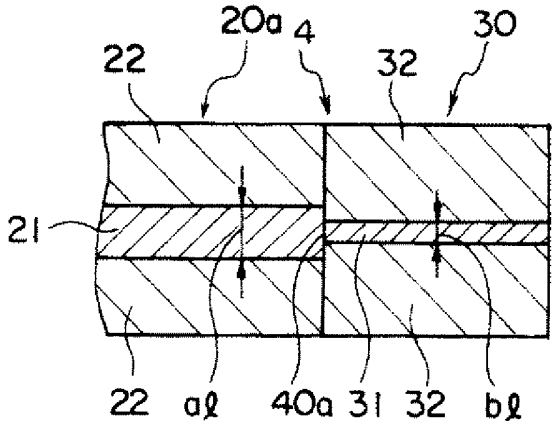


FIG. 10B

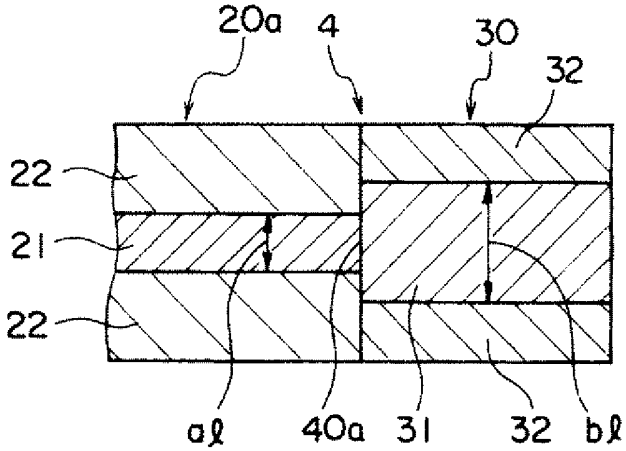
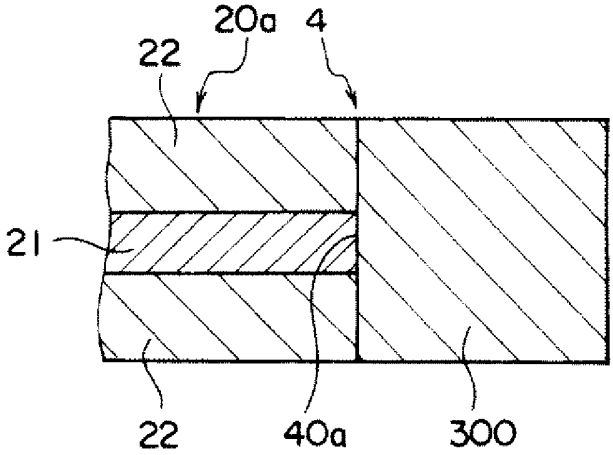


FIG. 10C



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2004/015266

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl[7] G01N21/55

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)
Int.Cl[7] G01N21/00-21/61

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched
Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2004
Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2004 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)
PATOLIS

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X Y	JP 2002-350335 A (Tama-TLO Kabushiki Kaisha), 04 December, 2002 (04.12.02), Full text (Family: none)	1-3,5,6,9, 10,12,16,18, 22 4,7,8,11, 13-15,17, 19-21
Y	JP 2000-121552 A (Suzuki Motor Corp.), 28 April, 2000 (28.04.00), Full text (Family: none)	4,7,8,11, 13-15,17, 19-21
Y	JP 2001-337036 A (Masao KARUBE), 07 December, 2001 (07.12.01), Full text (Family: none)	4,7,8,11, 13-15,17, 19-21

☐ 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 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	Date of mailing of the international search report
15 November, 2004 (15.11.04)	30 November, 2004 (30.11.04)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office Facsimile No.	Authorized officer Telephone No.

Form PCT/ISA/210 (second sheet) (January 2004)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2004/015266

Box No. II Observations where certain claims were found unsearchable (Continuation of item 2 of first sheet)

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2)(a) for the following reasons:

1. ☐ Claims Nos.:
because they relate to subject matter not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claims Nos.:
because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out, specifically:

3. ☐ Claims Nos.:
because they are dependent claims and are not drafted in accordance with the second and third sentences of Rule 6.4(a).

Box No. III Observations where unity of invention is lacking (Continuation of item 3 of first sheet)

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application, as follows:

The inventions of claims 1-3, 5, 6, 9, 10, 12, 16, 18, 22 are the same as the known technique disclosed in the prior art document 1 (JP 2002-350335 A (Tama-TLO Kabushiki Kaisha) 04 December, 2002 (04.12.02) and are not novel. The technical feature of the present application is in the limitation matters of the remaining claims 4, 7, 8, 11, 13-15, 17, 19-21. Among these claims, claims 4, 7, 14, 20 limits the inventions by fixation of a detector chemical on a surface of the hetero core portion while claims 8, 11, 13, 15, 17, 19, 20 limits the inventions by providing reflection means on the end surface of the hetero core portion.

(Continued to extra sheet)

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims.

2. ☒ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, this Authority did not invite payment of any additional fee.

3. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims for which fees were paid, specifically claims Nos.:

4. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claims Nos.:

Remark on Protest

☐ The additional search fees were accompanied by the applicant's protest.

☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

Continuation of Box No.III of continuation of first sheet(2)

These technical features are different in the purpose, function, and means for solving the problems.

Accordingly, this application is divided into two groups of inventions and does not satisfy the requirement of unity of invention.

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２００４／０１５２６６

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Ｉｎｔ．Ｃｌ⁷　Ｇ０１Ｎ２１／５５

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Ｉｎｔ．Ｃｌ⁷　Ｇ０１Ｎ２１／００－２１／６１

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２００４年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２００４年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２００４年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）
ＰＡＴＯＬＩＳ

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求の範囲の番号
X	JP 2002-350335 A(ﾀﾏﾃｨｰｴﾙｵｰ株式会社), 2002.12.04, 全文, (ﾌｧﾐﾘｰなし)	1-3, 5, 6, 9, 10, 12, 16, 18, 22
Y		4, 7, 8, 11, 13-15, 17, 19-21
Y	JP 2000-121552 A(ｽｽﾞｷ株式会社), 2000.04.28, 全文, (ﾌｧﾐﾘｰなし)	4, 7, 8, 11, 13-15, 17, 19-21
Y	JP 2001-337036 A(軽部征夫), 2001.12.07, 全文, (ﾌｧﾐﾘｰなし)	4, 7, 8, 11, 13-15, 17, 19-21

☐ Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。　☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー
「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日 15.11.2004	国際調査報告の発送日 30.11.2004
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ） 郵便番号１００－８９１５ 東京都千代田区霞が関三丁目４番３号	特許庁審査官（権限のある職員） 樋口　宗彦　　２Ｗ　９１１８ 電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２９０

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２００４／０１５２６６

第Ⅱ欄　請求の範囲の一部の調査ができないときの意見（第１ページの２の続き）

法第８条第３項（ＰＣＴ１７条(2)(a)）の規定により、この国際調査報告は次の理由により請求の範囲の一部について作成しなかった。

1．☐ 請求の範囲 _____ は、この国際調査機関が調査をすることを要しない対象に係るものである。
つまり、

2．☐ 請求の範囲 _____ は、有意義な国際調査をすることができる程度まで所定の要件を満たしていない国際出願の部分に係るものである。つまり、

3．☐ 請求の範囲 _____ は、従属請求の範囲であってＰＣＴ規則6.4(a)の第２文及び第３文の規定に従って記載されていない。

第Ⅲ欄　発明の単一性が欠如しているときの意見（第１ページの３の続き）

次に述べるようにこの国際出願に二以上の発明があるとこの国際調査機関は認めた。

公知の先行技術文献１（JP 2002-350335 A(ダイティーエルオー株式会社), 2002.12.04）との比較に於いて本願発明のうち請求の範囲1-3, 5, 6, 9, 10, 12, 16, 18, 22に係る発明は該文献記載の公知技術と同一であって新規性を有さず、本願発明の技術的特徴点は残る請求の範囲4, 7, 8, 11, 13-15, 17, 19-21に於ける限定事項にある。これらのうち請求の範囲4, 7, 14, 20はヘテロコア部表面に検出薬を固定化することを限定し、請求の範囲8, 11, 13, 15, 17, 19, 20はヘテロコア部端面に反射手段を設けることを限定するものであって、それぞれの目的・作用・解決手段に於いて該各技術的特徴点は相互に相違している。
よって、本願には２の発明があり、単一性を満たさない。

1．☐ 出願人が必要な追加調査手数料をすべて期間内に納付したので、この国際調査報告は、すべての調査可能な請求の範囲について作成した。

2．☒ 追加調査手数料を要求するまでもなく、すべての調査可能な請求の範囲について調査することができたので、追加調査手数料の納付を求めなかった。

3．☐ 出願人が必要な追加調査手数料を一部のみしか期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、手数料の納付のあった次の請求の範囲のみについて作成した。

4．☐ 出願人が必要な追加調査手数料を期間内に納付しなかったので、この国際調査報告は、請求の範囲の最初に記載されている発明に係る次の請求の範囲について作成した。

追加調査手数料の異議の申立てに関する注意

☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがあった。

☐ 追加調査手数料の納付と共に出願人から異議申立てがなかった。