

(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
2010年1月28日(28.01.2010)

PCT

(10) 国際公開番号
WO 2010/010684 A1

- (51) 国際特許分類:
G01N 21/39 (2006.01) G01N 21/27 (2006.01)
- (21) 国際出願番号: PCT/JP2009/003398
- (22) 国際出願日: 2009年7月21日(21.07.2009)
- (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 2008-188288 2008年7月22日(22.07.2008) JP
- (71) 出願人 (米国を除く全ての指定国について): 三井造船株式会社(MITSUI ENGINEERING & SHIP-BUILDING CO., LTD.) [JP/JP]; 〒1048439 東京都中央区築地5丁目6番4号 Tokyo (JP).
- (72) 発明者: および
- (75) 発明者/出願人 (米国についてのみ): 木村憲明 (KIMURA, Noriaki) [JP/JP]; 〒7068651 岡山県玉野市玉3丁目1番1号三井造船株式会社 玉野事業所内 Okayama (JP).
- (74) 代理人: グローバル・アイピー東京特許業務法人(GLOBAL IP TOKYO); 〒1600023 東京都新宿区西新宿8丁目3番30号カーメル I I 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, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, 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, PE, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, 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, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

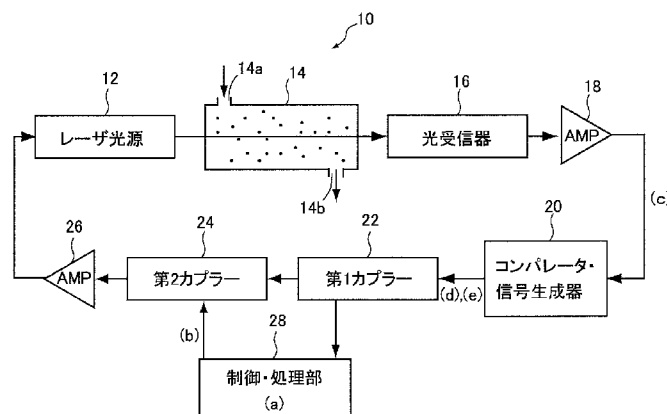
添付公開書類:

- 国際調査報告 (条約第 21 条(3))

(54) Title: INFRARED RADIATION ABSORPTION EXAMINING DEVICE AND INFRARED RADIATION ABSORPTION EXAMINING METHOD

(54) 発明の名称: 赤外線吸収検査装置および赤外線吸収検査方法

[図1]



12 LASER LIGHT SOURCE
16 PHOTODETECTOR
24 SECOND COUPLER
22 FIRST COUPLER
28 CONTROL/PROCESSING UNIT
20 COMPARATOR/SIGNAL GENERATOR

(57) Abstract: Absorption of light passing through an object to be measured is examined. A pulse laser beam is emitted from a laser light source, and the pulse laser beam passing through the object is received to generate a light-reception signal. A rectangular pulse is generated at the timing when the level of the light-reception signal crosses a predetermined threshold level and supplied to the laser light source as a drive pulse to emit a pulse laser beam. Thus, emission of a pulse laser beam is repeated. The timings at which the rectangular pulses are generated are delayed because of the decrease of the intensity of the pulse laser beam due to the absorption, and the total delay time of the timings is determined. By using the total delay time, the absorption of light is examined.

(57) 要約: 測定対象物を透過したときの光の吸収を検査するとき、まず、パルスレーザー光をレーザー光源から出射させ、測定対象物を透過したパルスレーザー光を受光して受光信号を得る。次に、得られた受光信号の信号レベルが設定された閾値を横切るタイミングで、矩形パルスを生じ、この矩形パルスを、パルスレーザー光の出射のため

の駆動パルスとしてレーザー光源に供給する。これにより、パルスレーザー光の出射が繰り返し行われ、パルスレーザー光の吸収による光強度の低下によって生じる矩形パルスの生成のタイミングの累積遅延時間を求め、この累積遅延時間を用いて、光の吸収を検査する。

WO 2010/010684 A1

明 細 書

発明の名称：赤外線吸収検査装置および赤外線吸収検査方法

技術分野

[0001] 本発明は、波長が赤外領域にあるパルスレーザ光を測定対象物に照射し、測定対象物を透過したパルスレーザ光を計測することにより測定対象物による光の吸収を検査する装置および方法に関する。特に、特定の波長における赤外線の吸収から、測定対象物の１つである微量ガス等の濃度を高速かつ高感度に検出する技術分野に属する。

背景技術

[0002] 現在、空気中にppm程度のオーダで含まれるガスの濃度を測定するために、ガス分析計が用いられている。ガス分析計には、定電位電解法、化学発光法、及び高度方式（ザルツマン試薬方式）のいずれかの方式が用いられる。しかし、これらの方法では、いずれも、検査対象のガスを含む空気を特別なセルに一度収納して測定を行うため、流れる検査対象のガスを含む空気をリアルタイムで検査することができないといった問題がある。

[0003] また、波長が赤外領域にあるレーザ光を用いてガス濃度を測定する方法として、マルチプルレフレクションセル法（非特許文献１）やキャビティリングダウン法（非特許文献２）等が挙げられる。このとき、測定対象物を収納する細長い空間を有し、その両端面に反射面を備えるセルが用いられ、この空間の長手方向に沿ってレーザ光を照射する。細長い空間を有するセルを用いるのは、測定対象物が、空気中に含まれる測定対象物のガスの濃度がppm程度と低いとき、レーザ光のセル内の光路を長くすることにより、例えば、光路を１～１５mとすることにより、濃度の低い微量なガスを精度良く検査するためである。

[0004] 図７には、マルチプルレフレクションセル法を用いる装置５０の概略が示されている。この装置５０では、細長い空間を有するセル５１を用い、両端面に反射率の高い鏡５２を設ける。セル５１に入射したレーザ光を、鏡５２

を配した両端面で何度も反射させることでレーザ光の光路を長くすることができる。こうして鏡 5 2 で複数回反射した後のレーザ光を検出器 5 3 で検出するとともに、セル 5 1 にレーザ光が入射する直前に分離して得られた参照光を検出器 5 4 で検出し、検出器 5 3 で得られた信号強度と検出器 5 4 で得られた信号強度との差分を求めることにより、ガスを検査する。このように、レーザ光を鏡で反射させることにより光路長を長くし、測定対象のガスによるレーザ光の吸収量が大きくなるので、微量なガスであってもレーザ光の吸収量を検査することができる。

[0005] 図 8 には、キャビティリングダウン法の装置 6 0 の概略が示されている。この装置 6 0 では、細長い空間 6 1 の両端面に凹面鏡 6 2, 6 3 を設け、この空間 6 1 内にレーザ光を閉じ込めて、レーザ光の光路を長くする。凹面鏡 6 3 から反射回数に応じてレーザ光 $p_0, p_1, \dots, p_M$ が取り出され検出器 6 4 で検出され、コンピュータ 6 5 でガスの吸収量を算出する。このように、凹面鏡 6 2, 6 3 を用いることによりレーザ光の光路を長くすることができ、測定対象のガスによる吸収量が大きくなり、微量なガスであってもレーザ光の吸収量を検査することができる。

[0006] しかし、図 7 に示す装置 5 0 では、反射率の高い鏡を作製することは難しく、さらに、レーザ光の光束の広がりを通長い光路で一定に維持することも難しい。

図 8 に示す装置 6 0 でも、図 7 に示す装置 5 0 と同様に、反射率の高い凹面鏡を作製することは難しい。さらに、反射率の高い凹面鏡を用いるので、レーザ光を端面から細長い空間内に導入するには、出力の大きなレーザ発生装置が必要となる等の課題がある。

[0007] このように、ガスの濃度を測定するには測定用の特別なセルが必要である。また、赤外線レーザ光を用いるマルチプルレフレクションセル法やキャビティリングダウン法を実施する装置では、高い反射率の鏡を作製することやレーザ光の導入方法に難点がある他、測定したいガスをセルに導入する必要があるため、化学反応生成物等をその場でリアルタイムで計測することが

難しい。

先行技術文献

非特許文献

[0008] 非特許文献1 : Laser Spectroscopy, Springer出版, Wolfgang Demtroder, P370

非特許文献2 : Laser Spectroscopy, Springer出版, Wolfgang Demtroder, P383

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] このような状況下、本発明は、特別なセルを必要とせず、レーザ光の光路を長くすることなく、リアルタイムで測定対象物による光の吸収を正確に検査できる、レーザ吸収法を用いた光吸収検査装置および光吸収検査方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0010] 上記目的を達成するために、本発明は、パルスレーザ光を測定対象物に照射し、測定対象物を透過したときのパルスレーザ光の吸収を検査する装置であって、

供給される駆動パルスに応じて、パルスレーザ光を出射するレーザ光源と、

測定対象物を保持し、前記パルスレーザ光を測定対象物に照射し透過させる測定部と、

前記測定対象物を透過したパルスレーザ光を受光し、受光信号を出力する受光部と、

前記受光部から出力された受光信号の信号レベルが、設定された閾値を横切るタイミングで、単一の矩形パルスを生成するパルス生成器と、

生成された前記矩形パルスを、前記レーザ光源におけるパルスレーザ光の出射のための前記駆動パルスとして前記レーザ光源に供給し、該駆動パルス

の供給のたびに、前記レーザ光源から単一のパルスレーザ光を出射させるレーザドライバと、

前記レーザドライバに、パルスレーザ光の出射開始のための立ち上げ用の駆動パルスが供給されて前記レーザ光源がパルスレーザ光を出射した後、前記パルス生成器から前記矩形パルスが複数回供給されることにより、前記レーザ光源が単一のパルスレーザ光を複数回出射し、前記パルス生成器で生成される前記矩形パルスの生成回数が所定の数に達したとき、前記矩形パルスの生成回数が前記所定の数に達したときに生成された矩形パルスと前記立ち上げ用の駆動パルスとの間の時間内に、パルスレーザ光の吸収による光強度の低下によって生じる前記矩形パルスの生成のタイミングの累積遅延時間を求め、求めた前記累積遅延時間を用いて、測定対象物によるパルスレーザ光の吸収を検査する制御・処理部と、を有することを特徴とする光吸収検査装置を提供する。

[0011] その際、前記測定対象物は、気体に含まれるガスであり、前記制御・処理部は、前記ガスの光吸収があるときの、前記矩形パルスの生成のタイミングの遅延時間と、前記ガスの濃度との対応関係を表した参照テーブルを予め備え、この参照テーブルを用いて、求めた前記累積遅延時間から前記ガスの濃度を算出することが好ましい。

また、前記レーザ光源が出射するレーザ光の波長は、前記制御・処理部によって可変に制御され、前記制御・処理部は、前記累積遅延時間が最大となる第1の波長と、最小となる第2の波長を前記レーザ光源に設定し、前記第1の波長において求められる前記累積遅延時間と、前記第2の波長において求められる前記累積遅延時間との差分を用いて、測定対象物による赤外線の吸収を検査することが好ましい。

[0012] また、前記レーザ光源から出射したパルスレーザ光を、前記測定部に入射する前に分離させるビームスプリッタと、分離したパルスレーザ光を受光し、パルスレーザ光の光強度を検知する強度センサと、前記パルスレーザ光の光強度の揺らぎを補償するために、前記強度センサで得られた光強度に基づ

いて、前記閾値を調整する閾値調整部と、を有することも好ましい。その際、前記閾値調整部は、前記強度センサで得られる前記光強度に比例するように、前記閾値を設定することが好ましい。

前記パルスレーザ光は、例えば、波長が赤外領域にあるレーザ光である。

[0013] また、本発明は、パルスレーザ光を測定対象物に照射し、測定対象物を透過したときのパルスレーザ光の吸収を検査する方法であって、

パルスレーザ光の出射ために供給される駆動パルスを用いて、前記パルスレーザ光をレーザ光源から出射させ、測定対象の測定対象物を透過したパルスレーザ光を受光して受光信号を得る第1のステップと、

得られた受光信号の信号レベルが設定された閾値を横切るタイミングで、単一の矩形パルスを生成させる第2のステップと、

生成された前記矩形パルスを、単一のパルスレーザ光の出射のための前記駆動パルスとして前記レーザ光源に供給する第3のステップと、

前記第1のステップ、前記第2のステップおよび前記第3のステップを繰り返し行い、

前記生成される矩形パルスの生成回数が所定の数に達したときの矩形パルスと、前記パルスレーザ光の出射開始のために生成された立ち上げ用の駆動パルスとの間の時間内に、パルスレーザ光の吸収による光強度の低下によって生じる前記矩形パルスの生成のタイミングの累積遅延時間を求め、この累積遅延時間を用いて、測定対象物によるパルスレーザ光の吸収を検査する第4のステップと、を有することを特徴とする光吸収検査方法を提供する。

[0014] その際、前記第1のステップにおいて、前記累積遅延時間が最大となる第1の波長と、最小となる第2の波長を前記レーザ光源に設定し、前記第4のステップにおいて、前記第1の波長において求められる前記累積遅延時間と、前記第2の波長において求められる前記累積遅延時間との差分を用いて、測定対象物の赤外線吸収を検査することが好ましい。

[0015] また、前記第1のステップにおいて、前記レーザ光源から出射したパルスレーザ光を、測定対象物に照射する前に分離し、分離した前記パルスレーザ

光を受光し、パルスレーザ光の光強度を検知し、前記パルスレーザ光の光強度の揺らぎを補償するために、前記検知した光強度に基づいて、前記閾値を調整する第5のステップをさらに有することが好ましい。

前記パルスレーザ光は、例えば、波長が赤外領域にあるレーザ光である。

発明の効果

[0016] 本発明では、パルス生成器で生成される矩形パルスの生成回数が所定の数に達したときの矩形パルスと立ち上げ用の駆動パルスとの間の時間内に、パルスレーザ光の吸収による光強度の低下によって生じる矩形パルスの生成のタイミングの累積遅延時間を求め、この累積遅延時間を用いて、測定対象物による光の吸収を検査する。したがって、従来のように、受光信号の振幅の変化によって求める場合に比べて、精度の高い検査を行うことができる。

また、パルスレーザ光が、測定部に入射する前に、その一部分をビームスプリッタで分離させることにより、分離したパルスレーザ光を強度センサで測定し、この強度センサで得られた光強度に基づいて、パルス生成器で用いる閾値を調整するので、パルスレーザ光の光強度に出射の度にばらつきがあっても、正確な遅延時間を求めることができ、精度の高い検査を行うことができる。

図面の簡単な説明

[0017] [図1] 本発明の光吸収検査装置の一実施形態の概略構成図である。

[図2] 本発明の光吸収検査装置で得られる遅延時間を説明する図である。

[図3] (a) ~ (e) は、図1に示す装置で生成される信号のタイミングチャートである。

[図4] 図1に示す装置における矩形パルスの遅延時間を説明する図である。

[図5] 図1に示す装置に組み込まれる装置の概略構成図である。

[図6] 本発明の光吸収検査装置の他の実施形態の概略構成図である。

[図7] 従来のマルチプルレフレクションセル法を用いる装置の概略構成図である。

[図8] 従来のキャビティリングダウン法を用いる装置の概略構成図である。

発明を実施するための形態

[0018] 以下、本発明の光吸収検査装置および光吸収検査方法について説明する。

図 1 は、本発明の光吸収検査装置の一実施形態である、赤外線吸収法による微量ガスの検査装置 10 の概略構成図である。

検査装置 10 は、レーザ光源 12、測定部 14、光受信器 16、受光信号用増幅器 18、コンパレータ・信号生成器（以降、単にコンパレータという）20、第 1 カプラー 22、第 2 カプラー 24、駆動信号用増幅器 26、および制御・処理部 28 を有する。レーザ光源 12、測定部 14、光受信器 16、受光信号用増幅器 18、コンパレータ 20、第 1 カプラー 22、第 2 カプラー 24、駆動信号用増幅器 26 の構成部品がループ状に設けられている。

[0019] レーザ光源 12 は、波長が赤外領域にある単一のパルスレーザ光を、供給される単一の駆動パルスに応じて出射する光源である。例えば、赤外領域からテラヘルツ領域において任意の波長領域のレーザ光を出射する量子カスケードレーザ（QCL）光源が用いられ、予め設定された赤外領域の範囲にレーザ発振器を設定したものが好適に用いられる。赤外領域には、検査対象とするガス分子の吸収線が多数存在し、各種のガス分子の吸収を測定することができる。レーザ光源 12 は、制御・処理部 28 によって、出射するレーザ光の波長が可変に制御されるように構成されている。レーザ光源 12 からのパルスレーザ光の出射時間は例えば 1 n ～数 10 n 秒程度に設定されている。

[0020] 測定部 14 は、検査対象とするガス成分を含んだ気体を収納する空間を有する筒状容器で構成され、レーザ光源 12 から出射したパルスレーザ光が筒状容器の一方の端から他方の端に向かって通過するように、両端に光透過窓が設けられている。筒状容器は、密閉された容器である必要はなく、検査対象とするガス成分を含んだ気体の流れる状態で検査できるように、気体導入口 14 a および気体排出口 14 b が設けられている。このように、流れる気体を検査対象とできるのは、気体に含まれる検査対象のガス成分の濃度を、

後述するように略リアルタイムで計測することができるからである。

また、筒状容器の、レーザ光の進行方向に沿った長さも、従来のように 1 ～ 1.5 m と長い必要はなく、数 cm ～ 1 m であってもよい。

[0021] 光受信器 16 は、筒状容器内の、検査対象とするガス成分を含む気体を透過したパルスレーザ光を受光し、受光信号を出力する部分で、例えば、HgCdTe を受光面とする光導電素子（MCT 素子）が好適に用いられる。光受信器 16 にて受光される、測定部 14 の透過後のパルスレーザ光は、ガス成分の光吸収を受けて光強度が低下している。

[0022] 受光信号用増幅器 18 は、光受信器 16 から出力された受光信号を増幅する。受光信号用増幅器 18 として公知の増幅器が用いられる。

コンパレータ 20 は、光受信器 16 から出力され増幅された受光信号を、予め設定された閾値と比較し、この受光信号の信号レベルが設定された閾値を横切るとき、この横切るタイミングで、矩形パルスを生成するもので、本発明におけるパルス生成器に対応する。

[0023] 第 1 カプラー 22 は、コンパレータ 20 で生成された矩形パルスを分配するデバイダーとして機能し、3 dB カプラー、6 dB カプラー等が用いられる。第 1 カプラー 22 で分配された一方の矩形パルスは、制御・処理部 28 に供給される。一方、分配された他方の矩形パルスは第 2 カプラー 24 に供給される。

第 2 カプラー 24 は、第 1 カプラー 22 から供給された矩形パルスをスルーして、駆動信号用増幅器 26 に供給する。さらに、第 2 カプラー 24 は、制御・処理部 28 から供給される立ち上がり用の駆動パルスを駆動信号用増幅器 26 に供給するために、制御・処理部 28 からの信号線路を、第 2 カプラー 24 を介して、第 1 カプラー 22 と駆動信号用増幅器 26 とを接続する信号線路に結合させる。

[0024] 駆動信号用増幅器 26 は、第 2 カプラー 24 から供給された矩形パルスおよび立ち上げ用駆動パルスを所定のレベルに増幅して、レーザ光源 12 の駆動パルスとして、レーザ光源 12 に供給する。駆動信号用増幅器 26 は、レ

ーザ光源 12 のレーザドライバに対応する。レーザ光源 12 は、駆動パルスが供給されるたびに、この駆動パルスに応じてパルスレーザ光を出射する。

[0025] 制御・処理部 28 は、ガス成分の検査の開始と終了を制御するとともに、ガス成分の光吸収の検査を実施する部分であり、例えばコンピュータにより構成される。なお、ループを形成する図 1 に示す回路の一部に図示されない RF スイッチが設けられており、制御・処理部 28 は、検査が終了すると RF スイッチを OFF にするように制御する。

制御・処理部 28 は、レーザ光源 12 からパルスレーザ光が出射を開始するように、立ち上げ用の駆動パルスを生成する。また、制御・処理部 28 は、第 1 カプラー 22 から供給された矩形パルスを得て、コンパレータ 20 で生成される矩形パルスの生成回数が所定の数に達したときの矩形パルスと立ち上げ用の駆動パルスとの間の経過時間内に発生する、光吸収による累積遅延時間を計測し、この計測した累積遅延時間を用いて、検査対象のガス成分の赤外線吸収を検査する。累積遅延時間は、光吸収があるときの上記経過時間から、光吸収がないときの上記経過時間を差し引いた時の時間差をいう。

[0026] 具体的には、図 2 に示すように、コンパレータ 20 に供給される受光信号は、赤外吸収がないときの受光信号 $f_a(t)$ に比べて、光強度が低下している。図 2 には、赤外吸収のない時の受光信号（実線）と赤外吸収のあるときの受光信号（点線）とが示されている。コンパレータ 20 は、増幅された受光信号が予め設定された閾値を横切るとき、この横切るタイミングで、矩形パルスを生成するので、赤外吸収により光強度が低下した受光信号 $\gamma \cdot f_a(t)$ ($\gamma < 1$) における矩形パルスの生成のタイミングは Δt 遅延する。一方、制御・処理部 28 で立ち上げ用の駆動パルスが生成され、レーザ光源 12 からパルスレーザ光が出射されると、光受信器 16 で生成される受光信号を介してコンパレータ 20 で矩形パルスが生成される。これが、第 1 カプラー 22、第 2 カプラー 24、駆動信号用増幅器 26 を介してレーザ光源 12 の駆動パルスとしてレーザ光源 12 に供給されるので、レーザ光源 12 から

のパルスレーザ光の出射と、矩形パルスの生成が繰り返し行われる。このとき、測定部 14 の容器を透過したレーザ光の光強度は低下しているので、矩形パルスの生成の繰り返し回数を N としたとき、矩形パルス生成するタイミングは、光吸収がない場合に比べてトータルで $N \Delta t$ 遅延する。この $N \Delta t$ が累積遅延時間である。パルスの生成回数は、図示されないカウンタ回路等を用いて計数され、この計数結果が N のとき、 N 回目の矩形パルスが制御・処理部 28 に供給されるように構成する。計数結果が、 N 回目に達しないとき、矩形パルスは第 2 カプラー 24 に送られるように、第 1 カプラー 22 は設定されている。

[0027] 制御・処理部 28 は、 N 回目の矩形パルスと立ち上げ用の駆動パルスとの間の経過時間内に発生する、 N 回目の矩形パルスが生成されるタイミングの累積遅延時間を計測し、この累積遅延時間から 1 回の遅延時間を求め、ガス成分の赤外線吸収を検査し、さらに、ガス成分の濃度を求める。具体的には、ガスの赤外吸収があるときの N 回目の矩形パルスと立ち上げ用の駆動パルスとの間の経過時間 T とガス成分の赤外吸収がないと想定されるとき経過時間 T' との差異から得られる 1 回の矩形パルスの生成時に生じる遅延時間 $\Delta t = (T - T') / N$ と、ガスの濃度との対応関係を表した参照テーブルを予め備え、この参照テーブルを用いて、1 回の矩形パルスの生成のタイミングの遅延時間 Δt からガス成分の濃度を算出する。赤外吸収がないと想定されるとき経過時間 T' には、パルスレーザ光が受光部 14 を通過する時間の他に、受光信号や矩形パルスの信号線路上の伝送時間も含まれる。

[0028] また、制御・処理部 28 は、上記処理の替わりに、以下のように行うこともできる。制御・処理部 28 は、レーザ光の波長を、上記累積遅延時間が最大となる第 1 の波長と、最小となる第 2 の波長において累積遅延時間を計測し、このときの第 1 の波長における累積遅延時間（最大累積遅延時間）と第 2 の波長における累積遅延時間（最小累積遅延時間）との差分を本来の累積遅延時間とし、この累積遅延時間から得られる 1 回の矩形パルスの生成のタイミングの遅延時間 Δt から、上述の参照テーブルを用いてガス成分の赤外

線の吸収を検査するように構成することもできる。このように、赤外線を吸収する場合の累積遅延時間と赤外線を吸収しない場合の累積遅延時間とを、パルスレーザ光の波長の変化を利用して求める。これにより、高い精度の処理結果を得ることができる。なお、上記累積遅延時間が最大となる波長と最小となる波長は、測定対象とするガス成分が判っている場合、既知の波長である。

[0029] 図3は、検査装置10で得られる各種信号の例によるタイミングチャートである。

図3(a)は、制御・処理部28で用いられるクロック信号の分周信号を、図3(b)は、制御・処理部28で生成される立ち上げ用の駆動パルスを示している。立ち上げ用の駆動パルスは、図3(a)に示すクロック信号の分周信号に同期して生成されている。図3(c)は、光受信器16から出力され増幅された受光信号を、図3(d)は、光吸収がないときのコンパレータ20で生成される矩形パルスを、図3(e)は、光吸収があるときのコンパレータ20で生成される矩形パルスを、示している。

[0030] 図3(a)～(e)では、分周信号の周期を T_0 とし、光吸収がないときの1周期を T_p としている。

[0031] 制御・処理部26は、図3(e)に示すように、 N' 回目のパルスの立ち上がりから、それ以降において発生する最初の矩形パルス(N 回目の矩形パルス)の立ち上がりまでの時間 δt を、クロック信号のパルスを用いて計測する。この時間 δt に、図3(b)に示す立ち上げ用の駆動パルスと N' 回目のパルスの立ち上がりとの間の時間 $(N' - 1) \cdot T_0$ を加算して経過時間 T を求める。この経過時間 T から光吸収がないときの経過時間 T' を差し引いて累積遅延時間 $N \cdot \Delta t$ を求める。この累積遅延時間 $N \cdot \Delta t$ から、遅延時間 Δt を求め、この遅延時間 Δt を用いて、ガス成分の赤外線の吸収を検査し、ガス成分の濃度を求める。このとき、遅延時間 Δt と、予め記憶している遅延時間とガス成分の濃度との関係を表した参照テーブルを用いて、検査対象とするガス成分の濃度を求める。

[0032] 図4には、上記内容をわかりやすく説明した図である。図4に示すトーラス面29上をパルスレーザ光、受光信号、および矩形パルスが移動するとき、トーラス面29の円断面を1周したとき、遅延時間 Δt が発生するように、らせん状に移動する。このようにして、N回円断面を周回したときの累積の遅延時間 $N \cdot \Delta t$ が求められる。

[0033] なお、制御・処理部28が、受光信号の振幅の低下により発生する、矩形パルスの生成のタイミングの遅れの情報を用いてガス成分の光吸収を検査するのは、ガス成分の赤外光の吸収によりパルスレーザ光の光強度の低下を計測するよりも、累積遅延時間 $N \Delta t$ を計測する方が精度が高いからである。例えば、上記Nを数10000回以上とすることにより、極めて精度の高い赤外線吸収を検査することができる。Nの数を大きくすることにより、矩形パルスが生成されるタイミングにばらつきがあっても、このばらつきの平均値は、Nの回数の増加に伴って0に近づくため、精度の高い1回の遅延時間 Δt を求めることができる。

[0034] 図7、8に示す従来の方法で行われるガス成分の濃度測定を行うには、複数回の反射を利用して光路を長くする必要がある。これに対して、本発明では、電気回路を経由して信号が何回も同一の光路を通過する。そのとき、本発明では、1つのパルスレーザ光は、測定部14中の筒状容器を1回しか通過しない。そのため、光路長の増大によってレーザ光の光束が拡がることなく、細く光束を絞ったレーザ光で所望の位置を通過させることができる。測定部14の筒状容器におけるレーザ光の進行方向の長さを数cmとした場合、1つのパルスレーザ光が、濃度の薄いガス成分（ppm程度の濃度）により吸収される光吸収量は僅かである。このときの光受信器16から出力される受光信号と、光吸収がないとしたときの受光信号との間の差分は、12～16ビットのAD変換器では検出できない。平均化処理を行っても上記差分を得ることはできない。これは、光吸収による受光信号の変化が、AD変換器の有効桁の範囲内で捉えることができない程度に微小であるためである。本発明では、従来のように、受光信号の振幅の計測を用いず、精度の高い

時間計測を用いることにより、光吸収量を正確に計測することができる点で、従来の方法と大きく異なる。

[0035] なお、上記実施形態では、制御・処理部 28 において、時間 δt を制御・処理部 28 における正確なクロック信号のパルスを用いて計測するが、時間 δt の計測は、以下のように行うこともできる。すなわち、図 3 (a) に示す N' 回目のパルスの立ち上がりのタイミングで、三角波信号をスタートさせ、 N 回目の矩形パルスが立ち上る時の三角波信号の信号レベルを用いて、図 3 (e) に示す時間 δt を計測する。計測された時間 δt に時間 $(N' - 1) \cdot T_0$ を加算することにより、経過時間 T を求めるように構成してもよい。

[0036] なお、レーザ光源 12 からパルスレーザ光が出射するたびに、パルスレーザ光の光強度がばらつく場合、あるいは、パルスレーザ光の波長を設定された範囲内で変える場合、図 5 に示すような装置構成を追加することにより、光強度のばらつきを補償することができる。

すなわち、レーザ光源 12 から出射したパルスレーザ光を、測定部 14 に入射する前に分離させるビームスプリッタ 30 と、分離したパルスレーザ光を受光し、パルスレーザ光の光強度を検知する強度センサ 32 と、パルスレーザ光の光強度の揺らぎを補償するために、強度センサ 32 で得られた光強度に基づいて、コンパレータ 20 に用いる閾値を調整するゲイン調整器（閾値調整部） 34 と、を設けるとよい。

[0037] ビームスプリッタ 30 を用いてパルスレーザ光を分離させ、分離した一方のパルスレーザ光の光強度を強度センサ 32 でモニタリングし、強度センサ 32 で得られた光強度の情報を用いて、コンパレータ 20 に用いる閾値を調整する。ゲイン調整器 34 では、強度センサ 32 で得られる光強度に比例するように閾値を設定する。これにより、パルスレーザ光の光強度が 1 回ごとの出射で変化しても、コンパレータ 20 では遅延時間を一定に保つことができる。

実際、レーザ光源 12 から出射されるパルスレーザ光に含まれるノイズ成

分が、受光信号用増幅器 18、駆動信号用増幅器 26にて含まれるノイズ成分に比べて大きいと、パルスレーザ光に含まれるノイズ成分により、パルスレーザ光の光強度が変化しても、コンパレータ 20では遅延時間を一定に保つことができる。

また、上述したように、第 1 の波長における累積遅延時間と第 2 の波長における累積遅延時間との差分を本来の累積遅延時間として用いるとき、パルスレーザ光の光強度が、第 1 の波長と第 2 の波長において変化する場合もある。この場合、上記のように、パルスレーザ光の光強度の情報をを用いて、コンパレータ 20に用いる閾値を調整することが好ましい。

[0038] このような検査装置 10では、まず、パルスレーザ光の出射開始のために生成された立ち上げ用の駆動パルス（図 3（b）参照）を用いて、単一のパルスレーザ光をレーザ光源 12から出射させ、測定対象のガス成分を含む気体を透過したパルスレーザ光を受光して受光信号を得る。

次に、得られた受光信号の信号レベルが、設定された閾値を横切るタイミングで、単一の矩形パルス（図 3（d）参照）を生成させる。

この後、生成された矩形パルスを駆動用信号増幅器 26で増幅した後、パルスレーザ光の出射のための駆動パルスとしレーザ光源 12に供給する。

このレーザ光源 12からのパルスレーザ光の出射を繰り返し行い、生成される矩形パルスの生成回数がN回に達したときの矩形パルスと、図 3（b）に示す立ち上げ用の駆動パルスとの間の時間内で生じる矩形パルスの生成のタイミングの累積遅延時間 $N \Delta t$ を求め、この累積遅延時間を用いて、ガス成分の赤外線吸収を検査する。

[0039] このような検査装置 10および検査方法では、パルスレーザ光の出射時間を $1/n$ 秒とし、信号が検査装置 10を1周する周期を $10/n$ 秒とし、Nを 10^6 回としたとき、累積遅延時間 $N \cdot \Delta t$ を計測するのに、 $10m$ 秒が必要となる。このとき、パルスレーザ光は、測定部 14の筒状容器の光路を $1mm$ としたとき、測定部 14の光路の合計は $1km$ となり、従来の測定方法と同程度以上の光路長を通過することとなる。すなわち、 $10m$ 秒の計測時間に

より、1 kmの光路長における光吸収量を知ることができるので、略リアルタイムで気体中に含まれるガス成分の赤外線吸収量を検査することができる。

[0040] なお、本発明では、赤外線吸収法による微量ガスの検査装置に適用する他に、赤外線の吸収を検査することにより、赤外線を吸収するプラズマや燃焼火炎の断面における分子種やラジカル種、固体表面での、赤外線を吸収する特定の分子種や分子集団の分布を求めることもできる。例えば、図6に示す走査型近接場顕微鏡のような、局所的な赤外吸収測定に好適に適用できる。

[0041] 図6は、走査型近接場顕微鏡（以降、顕微鏡という）40の概略構成図である。

顕微鏡40は、レーザ光源42、プリズム44と、光ファイバ45と、PZT走査機構46と、光検出器47と、ループ回路48と、制御・処理部49とを有して構成される。

[0042] レーザ光源42は、赤外領域のパルスレーザ光を出射する光源である。

プリズム44は、レーザ光源12からのレーザ光を、測定対象物Mを載置する底面で完全反射するように構成されている。

光ファイバ45は、プリズム44の底面から漏れ出るエバネッセント光のうち測定対象物Mを透過した光を収集し、光検出器47に送る。

PZT走査機構46は、プリズム44の底面に載置した測定対象物Mの各位置におけるエバネッセント光の透過光を光ファイバ45が収集するように、プリズム44の底面に沿って光ファイバ45の先端を移動し走査する移動機構である。

光検出器47は、光ファイバ45から送られる光を受光信号に変換するセンサである。得られた受光信号は、ループ回路48に送られる。

[0043] ループ回路48は、図1に示す受光信号用増幅器18、コンパレータ20、第1カプラー22、第2カプラー24および駆動信号用増幅器26と同様の回路を備え、光検出器47で得られた受光信号が、設定された閾値を横切るタイミングで矩形パルスを生成し、この矩形パルスを増幅してレーザ光源

４２に供給するように構成されている。

[0044] 制御・処理部４９は、図１に示す制御・処理部２８と同様の機能を発揮する。したがって、制御・処理部４９は、矩形パルスの遅延時間 Δt を求め、測定対象物Ｍの赤外線吸収量を求めることができる。ＰＺＴ走査機構４６で走査しながら、赤外線吸収量を求めることにより、赤外線吸収分布を求めることができる。これにより、制御・処理部４９は、測定対象物Ｍ中に含まれる、赤外線を吸収する特定物質の分布（画像）を得ることができ、顕微鏡４０として機能する。このように、赤外線を吸収する特定の物質の分布を知ることができる。

[0045] 以上、本発明の光吸収検査装置、検査方法について詳細に説明したが、本発明は上記実施形態に限定されず、本発明の主旨を逸脱しない範囲において、種々の改良や変更をしてもよいのはもちろんである。

符号の説明

- [0046] １０ 検査装置
- １２， ４２ レーザ光源
- １４ 測定部
- １６ 光受信器
- １８ 受光信号用増幅器
- ２０ コンパレータ・信号生成器
- ２２ 第１カプラー
- ２４ 第２カプラー
- ２６ 駆動信号用増幅器
- ２８， ４９ 制御・処理部
- ２９ トーラス面
- ３０ ビームスプリッタ
- ３２ 強度センサ
- ３４ ゲイン調整器
- ４０ 走査型近接場顕微鏡

- 4 4 プリズム
- 4 5 充ファイバ
- 4 6 P Z T 走査機構
- 4 7 光検出器
- 4 8 ループ回路
- 5 0, 6 0 装置
- 5 1 セル
- 5 2 鏡
- 5 3, 5 4 検出器
- 6 1 空間
- 6 2, 6 3 凹面鏡
- 6 4 検出器

請求の範囲

[請求項1]

パルスレーザ光を測定対象物に照射し、測定対象物を透過したときのパルスレーザ光の吸収を検査する装置であって、

供給される駆動パルスに応じて、パルスレーザ光を出射するレーザ光源と、

測定対象物を保持し、前記パルスレーザ光を測定対象物に照射し透過させる測定部と、

前記測定対象物を透過したパルスレーザ光を受光し、受光信号を出力する受光部と、

前記受光部から出力された受光信号の信号レベルが、設定された閾値を横切るタイミングで、単一の矩形パルスを生成するパルス生成器と、

生成された前記矩形パルスを、前記レーザ光源におけるパルスレーザ光の出射のための前記駆動パルスとして前記レーザ光源に供給し、該駆動パルスの供給のたびに、前記レーザ光源から単一のパルスレーザ光を出射させるレーザドライバと、

前記レーザドライバに、パルスレーザ光の出射開始のための立ち上げ用の駆動パルスが供給されて前記レーザ光源がパルスレーザ光を出射した後、前記パルス生成器から前記矩形パルスが複数回供給されることにより、前記レーザ光源が単一のパルスレーザ光を複数回出射し、前記パルス生成器で生成される前記矩形パルスの生成回数が所定の数に達したとき、前記矩形パルスの生成回数が前記所定の数に達したときに生成された矩形パルスと前記立ち上げ用の駆動パルスとの間の時間内に、パルスレーザ光の吸収による光強度の低下によって生じる前記矩形パルスの生成のタイミングの累積遅延時間を求め、求めた前記累積遅延時間を用いて、測定対象物によるパルスレーザ光の吸収を検査する制御・処理部と、を有することを特徴とする光吸収検査装置。

- [請求項2] 前記測定対象物は、気体に含まれるガスであり、
前記制御・処理部は、前記ガスの光吸収があるときの、前記矩形パルスの生成のタイミングの遅延時間と、前記ガスの濃度との対応関係を表した参照テーブルを予め備え、この参照テーブルを用いて、求めた前記累積遅延時間から前記ガスの濃度を算出する請求項1に記載の光吸収検査装置。
- [請求項3] 前記レーザ光源が出射するレーザ光の波長は、前記制御・処理部によって可変に制御され、
前記制御・処理部は、前記累積遅延時間が最大となる第1の波長と、最小となる第2の波長を前記レーザ光源に設定し、前記第1の波長において求められる前記累積遅延時間と、前記第2の波長において求められる前記累積遅延時間との差分を用いて、測定対象物による赤外線吸収を検査する請求項1または2に記載の光吸収検査装置。
- [請求項4] 前記レーザ光源から出射したパルスレーザ光を、前記測定部に入射する前に分離させるビームスプリッタと、
分離したパルスレーザ光を受光し、パルスレーザ光の光強度を検知する強度センサと、
前記パルスレーザ光の光強度の揺らぎを補償するために、前記強度センサで得られた光強度に基づいて、前記閾値を調整する閾値調整部と、を有する請求項1～3のいずれか1項に記載の光吸収検査装置。
- [請求項5] 前記閾値調整部は、前記強度センサで得られる前記光強度に比例するように、前記閾値を設定する請求項4に記載の光吸収検査装置。
- [請求項6] 前記パルスレーザ光は、波長が赤外領域にあるレーザ光である請求項1～5のいずれか1項に記載の光吸収検査装置。
- [請求項7] パルスレーザ光を測定対象物に照射し、測定対象物を透過したときのパルスレーザ光の吸収を検査する方法であって、
パルスレーザ光の出射ために供給される駆動パルスを用いて、前記パルスレーザ光をレーザ光源から出射させ、測定対象の測定対象物を

透過したパルスレーザ光を受光して受光信号を得る第1のステップと、

得られた受光信号の信号レベルが設定された閾値を横切るタイミングで、単一の矩形パルスを生成させる第2のステップと、

生成された前記矩形パルスを、単一のパルスレーザ光の出射のための前記駆動パルスとして前記レーザ光源に供給する第3のステップと、

前記第1のステップ、前記第2のステップおよび前記第3のステップを繰り返し行い、

前記生成される矩形パルスの生成回数が所定の数に達したときの矩形パルスと、前記パルスレーザ光の出射開始のために生成された立ち上げ用の駆動パルスとの間の時間内に、パルスレーザ光の吸収による光強度の低下によって生じる前記矩形パルスの生成のタイミングの累積遅延時間を求め、この累積遅延時間を用いて、測定対象物によるパルスレーザ光の吸収を検査する第4のステップと、を有することを特徴とする光吸収検査方法。

[請求項8] 前記第1のステップにおいて、前記累積遅延時間が最大となる第1の波長と、最小となる第2の波長を前記レーザ光源に設定し、

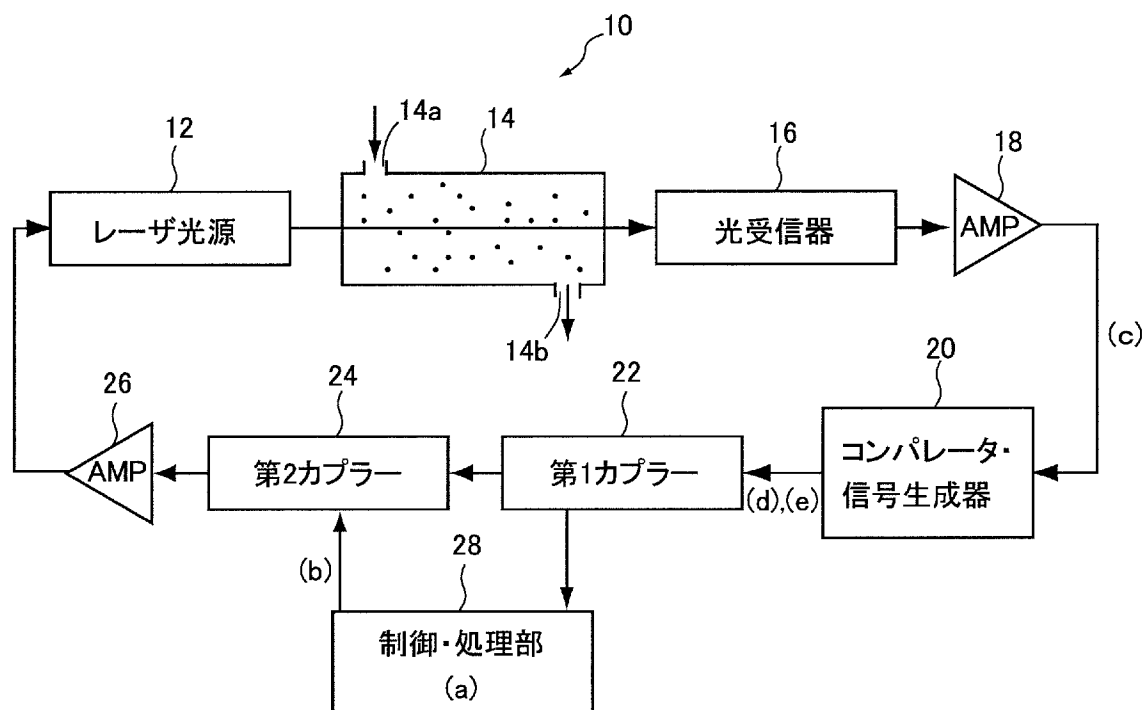
前記第4のステップにおいて、前記第1の波長において求められる前記累積遅延時間と、前記第2の波長において求められる前記累積遅延時間との差分を用いて、測定対象物の赤外線吸収を検査する請求項7に記載の光吸収検査方法。

[請求項9] 前記第1のステップにおいて、前記レーザ光源から出射したパルスレーザ光を、測定対象物に照射する前に分離し、

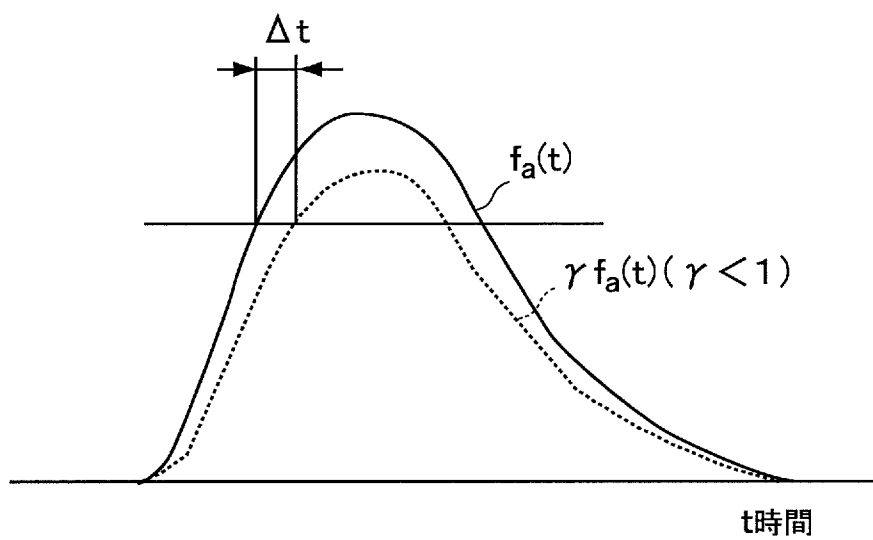
分離した前記パルスレーザ光を受光し、パルスレーザ光の光強度を検知し、前記パルスレーザ光の光強度の揺らぎを補償するために、前記検知した光強度に基づいて、前記閾値を調整する第5のステップをさらに有する請求項7または8に記載の光吸収検査方法。

[請求項10] 前記パルスレーザ光は、波長が赤外領域にあるレーザ光である請求項7～9のいずれか1項に記載の光吸収検査方法。

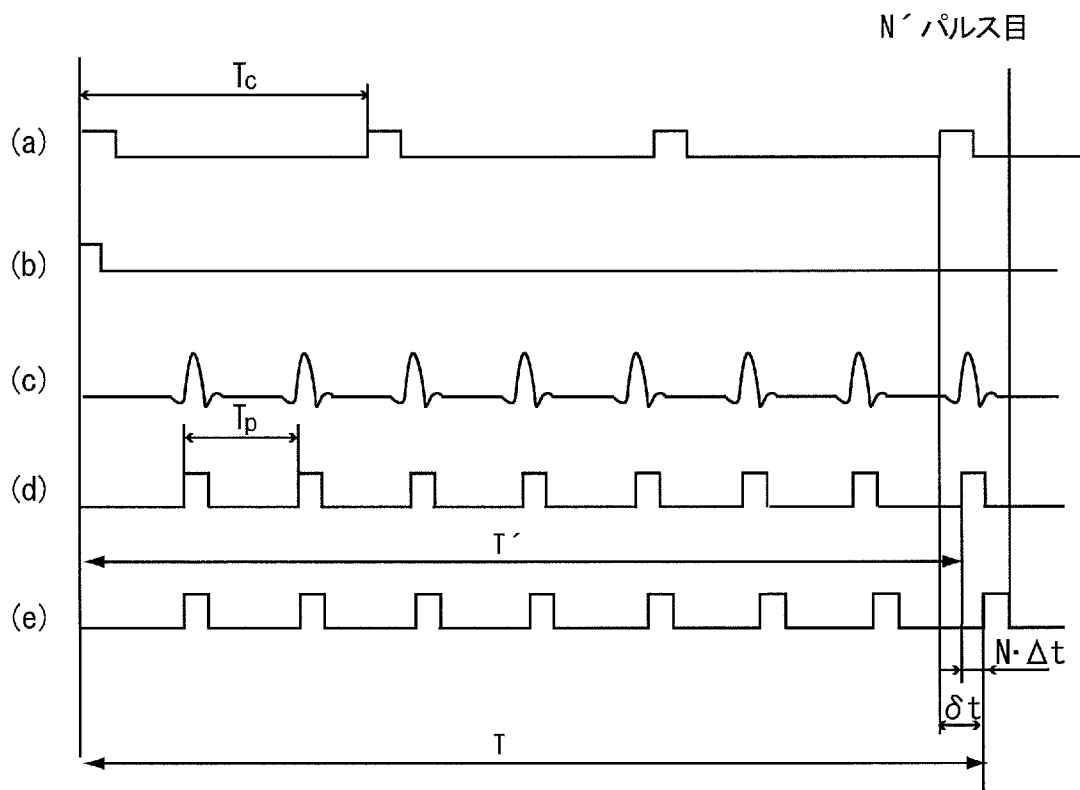
[図1]



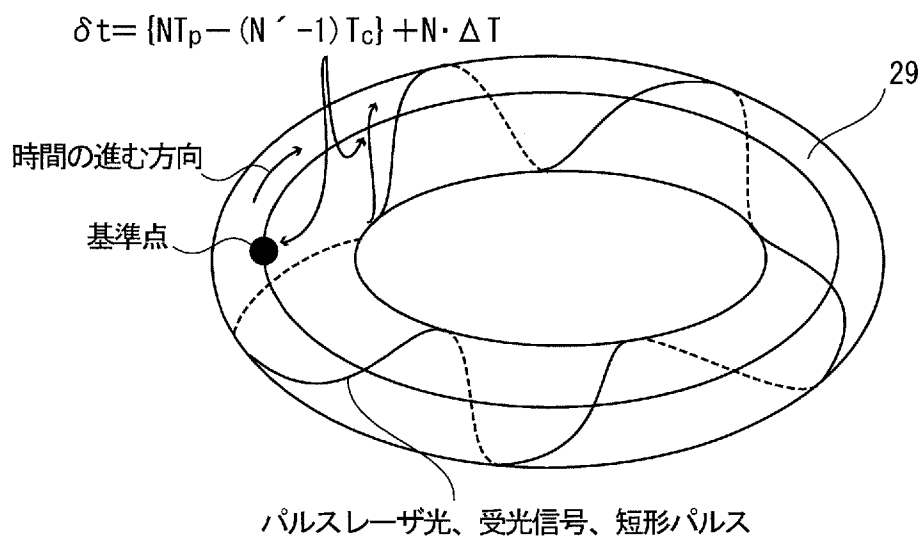
[図2]



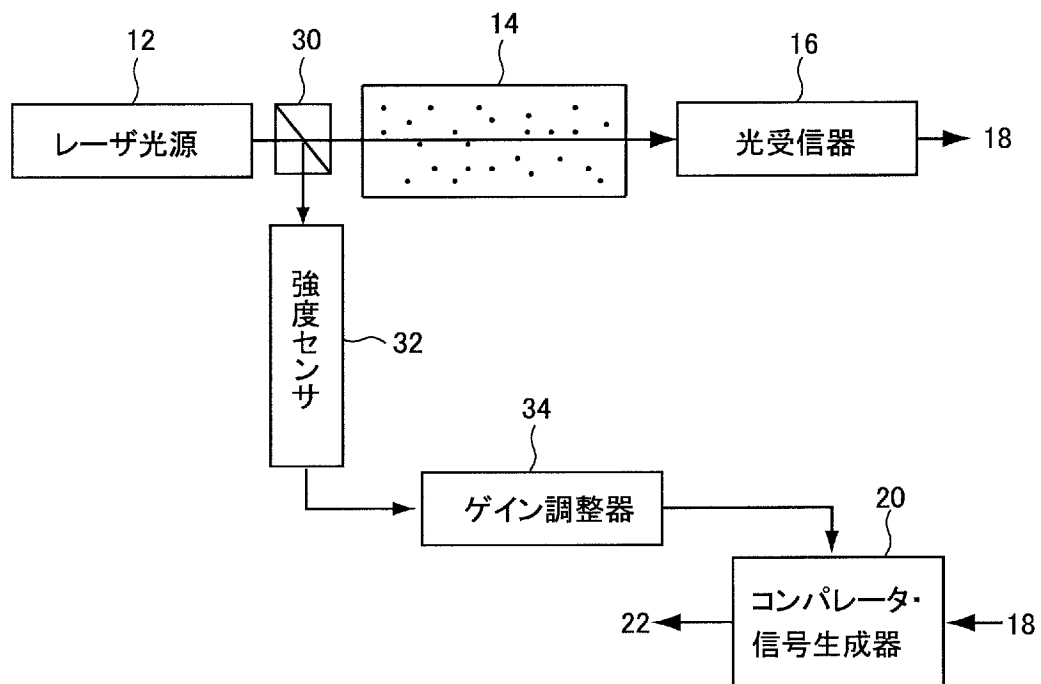
[図3]



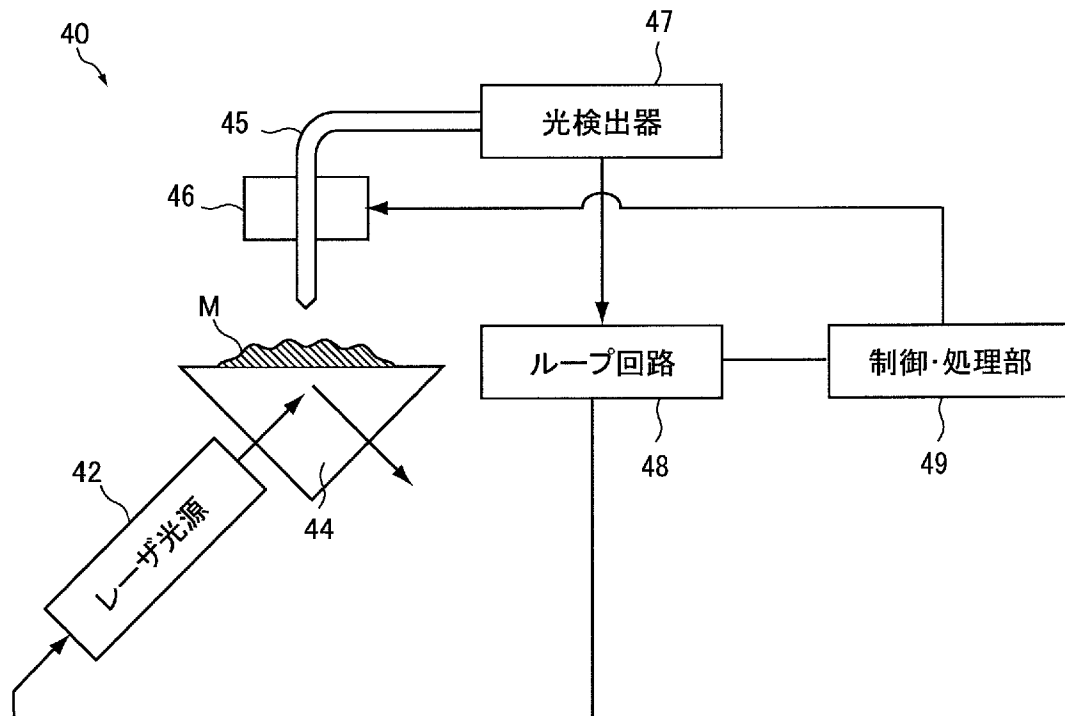
[図4]



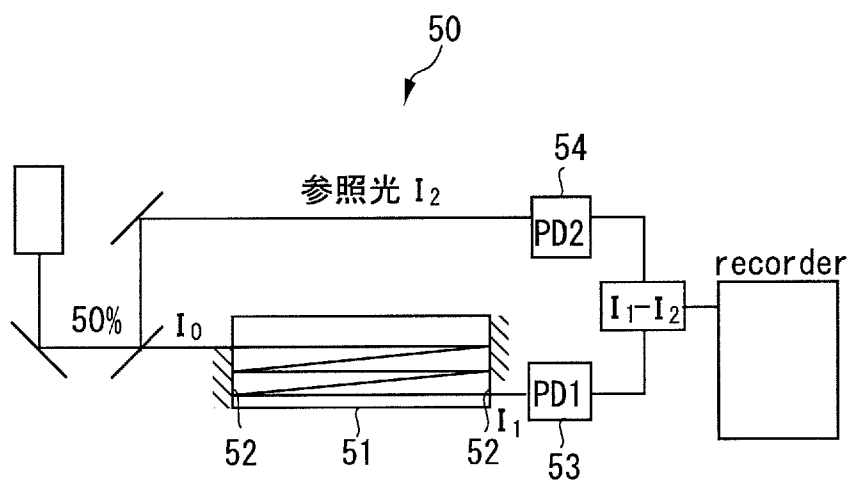
[図5]



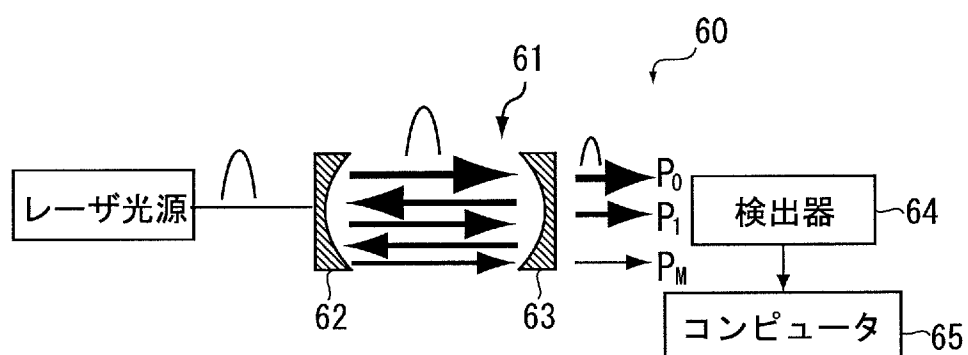
[図6]



[図7]



[図8]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/003398

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G01N21/39(2006.01) i, G01N21/27(2006.01) 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)

G01N21/17-21/61

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2009

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2009 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2009

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

JSTPlus (JDreamII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2005-535411 A (Optiscan Biomedical Corp.), 24 November, 2005 (24.11.05), Par. Nos. [0071] to [0076], [0084] to [0085] & WO 2004/016171 A1	1-10
A	JP 2005-157601 A (Canon Inc.), 16 June, 2005 (16.06.05), Par. No. [0030]; Fig. 5 & WO 2005/052509 A1	1-10
A	JP 2003-247941 A (National Institute of Advanced Industrial Science and Technology), 05 September, 2003 (05.09.03), Par. No. [0007] (Family: none)	1-10

☒ 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
05 August, 2009 (05.08.09)Date of mailing of the international search report
18 August, 2009 (18.08.09)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2009/003398

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2006-105720 A (Topcon Corp.), 20 April, 2006 (20.04.06), Par. Nos. [0059], [0067] & EP 1643236 A2	1-10

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（I P C））
Int.Cl. G01N21/39(2006.01)i, G01N21/27(2006.01)i

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（I P C））

Int.Cl. G01N21/17-21/61

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	1 9 2 2 - 1 9 9 6 年
日本国公開実用新案公報	1 9 7 1 - 2 0 0 9 年
日本国実用新案登録公報	1 9 9 6 - 2 0 0 9 年
日本国登録実用新案公報	1 9 9 4 - 2 0 0 9 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）

JSTPlus(JDreamII)

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 請求項の番号
A	JP 2005-535411 A（オプティスキャン・バイオメディカル・コーポレーション）2005.11.24, [0071]-[0076], [0084]-[0085] & WO 2004/016171 A1	1-10
A	JP 2005-157601 A（キヤノン株式会社）2005.06.16, [0030], 図5 & WO 2005/052509 A1	1-10

☒ 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

0 5 . 0 8 . 2 0 0 9

国際調査報告の発送日

1 8 . 0 8 . 2 0 0 9

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁（I S A / J P）

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）

島田 英昭

2W

3311

電話番号 03-3581-1101 内線 3292

C (続き) . 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 請求項の番号
A	JP 2003-247941 A (独立行政法人産業技術総合研究所) 2003. 09. 05, [0007] (ファミリーなし)	1-10
A	JP 2006-105720 A (株式会社トプコン) 2006. 04. 20, [0059], [0067] & EP 1643236 A2	1-10