

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2012-137429

(P2012-137429A)

(43) 公開日 平成24年7月19日(2012.7.19)

(51) Int.Cl.
G01N 21/39 (2006.01)

F I
G O I N 21/39

テーマコード(参考)
2 G O 5 9

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 22 頁)

(21) 出願番号 特願2010-291044 (P2010-291044)
(22) 出願日 平成22年12月27日(2010.12.27)

(71) 出願人 000006208
三菱重工工業株式会社
東京都港区港南二丁目16番5号
(74) 代理人 100089118
弁理士 酒井 宏明
(74) 代理人 100118762
弁理士 高村 順
(72) 発明者 浅海 慎一郎
東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重
工業株式会社内
(72) 発明者 粟屋 伊智郎
東京都港区港南二丁目16番5号 三菱重
工業株式会社内

最終頁に続く

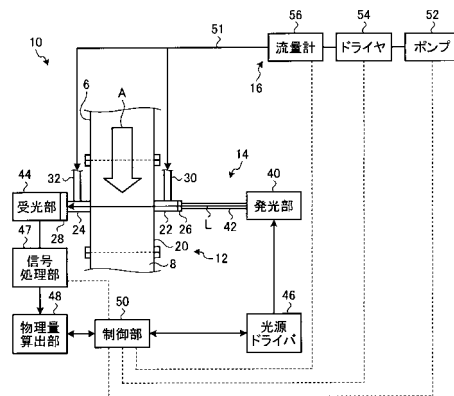
(54) 【発明の名称】 レーザ計測装置

(57) 【要約】

【課題】 ガスの流れの影響を抑制し、測定対象の物理量を高い精度で検出することができるレーザ計測装置を提供することにある。

【解決手段】 計測セルと、測定対象のガスに固有な吸収波長を含む波長域のレーザ光を変調周波数で波長を変調しつつ出力する発光部と、発光部から射出されたレーザ光を計測セルに案内する光学系と、入射部から入射され、計測セルを通過し、出射部から出射されたレーザ光を受光し、受光した光量を受光信号として出力する受光部と、受光部から出力される受光信号を処理し、指定周波数の出力を示すスペクトル信号を出力する信号処理部と、スペクトル信号に基づいて、計測セルを流れる測定対象のガスの物理量を算出する物理量算出部と、各部の動作を制御する制御部と、を有し、変調周波数が80kHz以上の周波数であることで上記課題を解決する。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

流体を流す流路と連結可能な主管、前記主管に連結し、光が通過可能な窓部が形成された入射部、前記主管に連結し光が通過可能な窓部が形成された出射部と、を含む計測セルと、

測定対象のガスに固有な吸収波長を含む波長域のレーザ光を変調周波数で波長を変調しつつ出力する発光部と、

前記発光部から射出されたレーザ光を前記計測セルに案内する光学系と、

前記入射部から入射され、前記計測セルを通過し、前記出射部から射出された前記レーザ光を受光し、受光した光量を受光信号として出力する受光部と、

前記受光部から出力される受光信号を処理し、指定周波数の出力を示すスペクトル信号を出力する信号処理部と、

前記スペクトル信号に基づいて、前記計測セルを流れる測定対象のガスの物理量を算出する物理量算出部と、

各部の動作を制御する制御部と、を有し、

前記変調周波数が 80 kHz 以上の周波数であることを特徴とするレーザ計測装置。

【請求項 2】

前記変調周波数が 100 kHz 以上の周波数であることを特徴とする請求項 1 に記載のレーザ計測装置。

【請求項 3】

前記計測セルは、前記主管が直線部と、直線部の両端にそれぞれ接続した 2 つの屈曲部とを含み、前記入射部が、一方の前記屈曲部の前記直線部の延長線上で配置され、前記出射部が、一方の前記屈曲部の前記直線部の延長線上で配置され、前記入射部から入射したレーザ光が前記直線部を通過して前記出射部から射出することを特徴とする請求項 1 または 2 に記載のレーザ計測装置。

【請求項 4】

流体を流す流路と連結可能な主管、前記主管に連結し、光が通過可能な窓部が形成された入射部、前記主管に連結し光が通過可能な窓部が形成された出射部と、を含む計測セルと、

測定対象のガスに固有な吸収波長を含む波長域のレーザ光を変調周波数で波長を変調しつつ出力し、前記入射部に入射させる発光部と、

前記入射部から入射され、前記計測セルを通過し、前記出射部から射出された前記レーザ光を受光し、受光した光量を受光信号として出力する受光部と、

前記受光部から出力される受光信号を処理し、指定周波数の出力を示すスペクトル信号を出力する信号処理部と、

前記スペクトル信号に基づいて、前記計測セルを流れる測定対象のガスの物理量を算出する物理量算出部と、

各部の動作を制御する制御部と、を有し、

前記変調周波数が 50 kHz 以上の周波数であり、

前記計測セルは、前記主管が直線部と、直線部の両端にそれぞれ接続した 2 つの屈曲部とを含み、前記入射部が、一方の前記屈曲部の前記直線部の延長線上で配置され、前記出射部が、一方の前記屈曲部の前記直線部の延長線上で配置され、前記入射部から入射したレーザ光が前記直線部を通過して前記出射部から射出することを特徴とするレーザ計測装置。

【請求項 5】

前記指定周波数は、前記変調周波数の整数倍の周波数であることを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれか一項に記載のレーザ計測装置。

【請求項 6】

流体を流す流路と連結可能な主管、前記主管に連結し、光が通過可能な窓部が形成された入射部、前記主管に連結し光が通過可能な窓部が形成された出射部と、を含む計測セル

10

20

30

40

50

と、

測定対象のガスに固有な吸収波長を含む波長域内で周期的に波長を掃引したレーザ光を出力する発光部と、

前記発光部から発光されたレーザ光を第1レーザ光と第2レーザ光とに分光する分光器と、前記分光器により分光された第1レーザ光の出力と、第2レーザ光の出力と、をそれぞれ調整する可変光減衰器とを有し、前記第1レーザ光を前記計測セルに入射させ、前記第2レーザ光を、前記計測セルを通過させずに受光部に入射させる光学系と、

前記入射部から入射され、前記計測セルを通過し、前記出射部から出射された前記第1レーザ光を受光する第1受光素子及び前記第2レーザ光を受光する第2受光素子を有し、前記第1受光素子が受光した光量を第1受光信号として出力し、前記第2受光素子が受光した光量を第2受光信号として出力する受光部と、

前記受光部から出力される前記第1受光信号から前記第2受光信号の成分を減算して信号を生成し、当該生成した信号の高周波数成分を抽出するフィルタ処理を行い、当該フィルタ処理を実行した信号をスペクトル信号として出力する信号処理部と、

前記スペクトル信号に基づいて、前記計測セルを流れる測定対象のガスの物理量を算出する物理量算出部と、

各部の動作を制御する制御部と、を有し、

前記発光部は、前記測定対象のガスの吸収信号の半値幅の2倍の周波数帯を5 μ 秒以内で通過することを特徴とするレーザ計測装置。

【請求項7】

前記発光部は、前記測定対象のガスの吸収信号の半値幅の2倍の周波数帯を0.5 μ 秒以内で通過することを特徴とする請求項6に記載のレーザ計測装置。

【請求項8】

前記物理量算出部が算出する物理量は、前記測定対象のガスの濃度であることを特徴とする請求項1から7のいずれか一項に記載のレーザ計測装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、レーザ吸収分光法により測定対象のガスの物理量を算出するレーザ計測装置に関する。

【背景技術】

【0002】

管路内を流れるガス（気体）を分析する方法として、レーザ光を測定光として用いる方法がある。例えば、引用文献1には、波長可変型半導体レーザと、該半導体レーザに波長変調を施す波長変調手段と、半導体レーザから発振されるレーザ光を被測定ガスに透過させる手段と、被測定ガスを透過したレーザ光強度を測定する手段と、該レーザ光強度の測定値より2次微分スペクトルを得る手段とを備えたガスの分光分析装置であって、半導体レーザの特性から変調振幅の最適値を演算して、半導体レーザから発振されるレーザ光の変調振幅が該最適値となるように波長変調手段を制御する変調振幅演算手段と、を備えるガスの分光分析装置が記載されている。

【0003】

また、本件出願人が出願した特許文献2には、測定対象とされるガス状物質に固有な吸収波長のレーザ光を発振する光源と、この光源から発振されるレーザ光の発振波長を少なくとも2つの異なる周波数で変調する手段と、この変調手段により変調されたレーザ光を前記ガス状物質が存在する測定領域に導く手段と、この測定領域において透過または反射または散乱したレーザ光を受光する受光手段と、この受光手段で受光した信号の中から変調された信号を周波数毎に順次それぞれ復調する複数の位相敏感検波器と、を具備することを特徴とするガス濃度計測装置が記載されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

10

20

30

40

50

【 0 0 0 4 】

【特許文献1】特開平11-258156号公報

【特許文献2】特開2001-74653号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【 0 0 0 5 】

特許文献1および特許文献2に記載されているように、測定光として波長変調を行いつつ出力したレーザ光を用い、当該レーザ光の吸収を計測することで、測定対象物質の濃度等の物理量を計測することができる。レーザ光を用いてガス濃度を計測することで高い応答性でガス濃度を計測することができる。

10

【 0 0 0 6 】

ここで、レーザ計測装置の受光部が受光し検出するガスを通じたレーザ光の受光信号には、ノイズが含まれる。受光信号に含まれるノイズには、計測領域を流れるガスの流れに起因する成分が多く含まれている。レーザ計測装置は、受光信号に処理を行うことで、ノイズを除去し、低減する。しかしながら、ノイズが大きくなると受光信号から検出信号（所定の周波数成分）を抽出する処理の負担が大きくなったり、検出信号の検出精度が低下したりする。また、計測領域を流れるガスの流れに起因するノイズ成分は、ガスの流れの条件が変化するとノイズ成分も変化するため、ノイズの処理が困難である。

【 0 0 0 7 】

本発明は、上記に鑑みてなされたものであって、ガスの流れの影響を抑制し、測定対象の物理量を高い精度で検出することができるレーザ計測装置を提供することを目的とする。

20

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 8 】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明は、レーザ計測装置であって、流体を流す流路と連結可能な主管、前記主管に連結し、光が通過可能な窓部が形成された入射部、前記主管に連結し光が通過可能な窓部が形成された出射部と、を含む計測セルと、測定対象のガスに固有な吸収波長を含む波長域のレーザ光を変調周波数で波長を変調しつつ出力する発光部と、前記発光部から射出されたレーザ光を前記計測セルに案内する光学系と、前記入射部から入射され、前記計測セルを通過し、前記出射部から出射された前記レーザ光を受光し、受光した光量を受光信号として出力する受光部と、前記受光部から出力される受光信号を処理し、指定周波数の出力を示すスペクトル信号を出力する信号処理部と、前記スペクトル信号に基づいて、前記計測セルを流れる測定対象のガスの物理量を算出する物理量算出部と、各部の動作を制御する制御部と、を有し、前記変調周波数が80kHz以上の周波数であることを特徴とする。

30

【 0 0 0 9 】

ここで、前記変調周波数が100kHz以上の周波数であることが好ましい。

【 0 0 1 0 】

また、前記計測セルは、前記主管が直線部と、直線部の両端にそれぞれ接続した2つの屈曲部とを含み、前記入射部が、一方の前記屈曲部の前記直線部の延長線上で配置され、前記出射部が、一方の前記屈曲部の前記直線部の延長線上で配置され、前記入射部から入射したレーザ光が前記直線部を通過して前記出射部から出射することが好ましい。

40

【 0 0 1 1 】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明は、レーザ計測装置であって、流体を流す流路と連結可能な主管、前記主管に連結し、光が通過可能な窓部が形成された入射部、前記主管に連結し光が通過可能な窓部が形成された出射部と、を含む計測セルと、測定対象のガスに固有な吸収波長を含む波長域のレーザ光を変調周波数で波長を変調しつつ出力し、前記入射部に入射させる発光部と、前記入射部から入射され、前記計測セルを通過し、前記出射部から出射された前記レーザ光を受光し、受光した光量を受光信号として出力する受光部と、前記受光部から出力される受光信号を処理し、指定周波数の出力

50

を示すスペクトル信号を出力する信号処理部と、前記スペクトル信号に基づいて、前記計測セルを流れる測定対象のガスの物理量を算出する物理量算出部と、各部の動作を制御する制御部と、を有し、前記変調周波数が50kHz以上の周波数であり、前記計測セルは、前記主管が直線部と、直線部の両端にそれぞれ接続した2つの屈曲部とを含み、前記入射部が、一方の前記屈曲部の前記直線部の延長線上で配置され、前記出射部が、一方の前記屈曲部の前記直線部の延長線上で配置され、前記入射部から入射したレーザー光が前記直線部を通過して前記出射部から出射することを特徴とする。

【0012】

ここで、前記指定周波数は、前記変調周波数の整数倍の周波数であることが好ましい。

【0013】

上述した課題を解決し、目的を達成するために、本発明は、レーザー計測装置であって、流体を流す流路と連結可能な主管、前記主管に連結し、光が通過可能な窓部が形成された入射部、前記主管に連結し光が通過可能な窓部が形成された出射部と、を含む計測セルと、測定対象のガスに固有な吸収波長を含む波長域内で周期的に波長を掃引したレーザー光を出力する発光部と、前記発光部から発光されたレーザー光を第1レーザー光と第2レーザー光とに分光する分光器と、前記分光器により分光された第1レーザー光の出力と、第2レーザー光の出力と、をそれぞれ調整する可変光減衰器と、を有し、前記第1レーザー光を前記計測セルに入射させ、前記第2レーザー光を、前記計測セルを通過させずに受光部に入射させる光学系と、前記入射部から入射され、前記計測セルを通過し、前記出射部から出射された前記第1レーザー光を受光する第1受光素子及び前記第2レーザー光を受光する第2受光素子を有し、前記第1受光素子が受光した光量を第1受光信号として出力し、前記第2受光素子が受光した光量を第2受光信号として出力する受光部と、前記受光部から出力される前記第1受光信号から前記第2受光信号の成分を減算して信号を生成し、当該生成した信号の高周波数成分を抽出するフィルタ処理を行い、当該フィルタ処理を実行した信号をスペクトル信号として出力する信号処理部と、各部の動作を制御する制御部と、を有し、前記発光部は、前記測定対象のガスの吸収信号の半値幅の2倍の周波数帯を5μ秒以内で通過することを特徴とする。

【0014】

また、前記発光部は、前記測定対象のガスの吸収信号の半値幅の2倍の周波数帯を0.5μ秒以内で通過することが好ましい。

【0015】

また、前記物理量算出部が算出する物理量は、前記測定対象のガスの濃度であることが好ましい。

【発明の効果】

【0016】

本発明にかかるレーザー計測装置は、ガスの流れの影響を抑制し、測定対象の物理量を高い精度で検出することができるという効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【0017】

【図1】図1は、レーザー計測装置の一実施形態の概略構成を示す模式図である。

【図2】図2は、図1に示すレーザー計測装置の計測セルの一部を拡大して示す拡大模式図である。

【図3】図3は、図1に示すレーザー計測装置の出力するレーザー光と受光素子の出力との関係を示す模式図である。

【図4】図4は、変調周波数とノイズとの関係を示すグラフである。

【図5】図5は、濃度の検出結果の一例を示すグラフである。

【図6】図6は、濃度の検出結果の一例を示すグラフである。

【図7】図7は、計測セルの他の実施形態の概略構成を示す模式図である。

【図8】図8は、変調周波数とノイズとの関係を示すグラフである。

【図9】図9は、レーザー計測装置の他の実施形態の概略構成を示す模式図である。

10

20

30

40

50

【図 10】図 10 は、レーザ計測装置の他の実施形態の概略構成を示す模式図である。

【図 11】図 11 は、図 10 に示すレーザ計測装置の出力するレーザ光と受光素子の出力との関係を示す模式図である。

【図 12】図 12 は、信号処理部の処理を説明するための説明図である。

【図 13】図 13 は、信号処理部の処理を説明するための説明図である。

【図 14】図 14 は、測定対象の物質の吸収強度の波長分布を示すグラフである。

【図 15】図 15 は、レーザ光の波長掃引と測定対象物質の吸収特性との関係の説明図である。

【発明を実施するための形態】

【0018】

10

以下に、本発明にかかるレーザ計測装置の一実施形態を図面に基づいて詳細に説明する。なお、この実施形態によりこの発明が限定されるものではない。なお、レーザ計測装置は、流路を流れる種々の気体（ガス）、液体等の流体に含まれる測定対象物質の物理量（濃度、量）を計測することができる。レーザ計測装置は、例えば、ディーゼルエンジンに取付、ディーゼルエンジンから排出される排ガスに含まれる窒素酸化物、硫化酸化物、一酸化炭素、二酸化炭素、アンモニア等の濃度等を計測してもよい。なお、測定対象のガスを排出（供給）する装置は、これに限定されず、ガソリンエンジンや、ガスタービン等種々の内燃機関に用いることができる。また、内燃機関を有する装置としては、車両、船舶、発電機等種々の装置が例示される。さらに、レーザ計測装置は、ゴミ焼却炉、ボイラ等の燃焼機器から排出される排ガスに含まれる測定対象物質の濃度等を計測することもできる。なお、以下の実施形態では、配管を流れる排ガスに含まれる測定物質の濃度を計測する場合として説明する。

20

【0019】

図 1 は、本発明のレーザ計測装置の一実施形態の概略構成を示す模式図であり、図 2 は、図 1 に示すレーザ計測装置の計測セルの一部を拡大して示す拡大模式図である。図 1 に示すようにレーザ計測装置 10 は、計測セル 12 と、計測手段 14 と、パージガス供給手段 16 と、を有する。ここで、レーザ計測装置 10 は、計測セル 12 が排ガス A が流れる配管 6 と配管 8 との間に設けられている。また、排ガス A は、配管 6 の上流側から供給され、配管 6、レーザ計測装置 10（の計測セル 12）、配管 8 を通過し、配管 8 よりも下流に排出される。なお、配管 6 の上流側には、排ガスの発生装置（供給装置）が配置されている。

30

【0020】

計測セル 12 は、基本的に主管 20 と、入射管 22 と、出射管 24 とを有する。また、入射管 22 には、窓 26 と、パージガス供給管 30 とが設けられており、出射管 24 は、窓 28 と、パージガス供給管 32 が設けられている。主管 20 は、筒状の管状部材であり、一方の端部が配管 6 と連結され、他方の端部が配管 8 と連結されている。つまり、主管 20 は、排ガス A が流れる流路の一部となる位置に配置されている。これにより、排ガス A は、配管 6、主管 20、配管 8 の順に流れる。また、配管 6 を流れる排ガスは、基本的に全て主管 20 を流れる。

【0021】

40

入射管 22 は、管状部材であり、一方の端部が主管 20 に連結されている。また、主管 20 は、入射管 22 との連結部が、入射管 22 の開口（端部の開口）と略同一形状の開口となっている。つまり、入射管 22 は、主管 20 と、空気の流通が可能な状態で連結されている。また、入射管 22 の他方の端部には、窓 26 が設けられており、窓 26 により封止されている。なお、窓 26 は、光を透過する部材、例えば、透明なガラス、樹脂等で構成されている。これにより、入射管 22 は、窓 26 が設けられている端部が、空気が流通しない状態で、かつ、光が透過できる状態となる。

【0022】

入射管 22 は、図 1 及び図 2 に示すように、窓 26 側の端部の開口（つまり、窓 26 により塞がれている開口）の面積と、主管 20 側の端部（つまり、主管 20 と連結している

50

部分の開口)の面積とが実質的に同一の円筒形状である。なお、入射管22の形状は円筒形状に限定されず、空気及び光を通過させる筒型の形状であればよく、種々の形状とすることができる。例えば、断面が四角、多角形、楕円、非対称曲面となる形状としてもよい。また筒形状の断面の形状、径が位置によって変化する形状でもよい。なお、入射管22は、後述するパージガスが安定して流れる形状とすることが好ましい。

【0023】

また、入射管22には、さらにパージガス供給管30が連結されている。パージガス供給管30は、図2に示すように、窓26が封止されている端部と主管20と連結されている端部との間に配置されている。パージガス供給管30は、パージガス供給手段16から供給されたパージガスを入射管22に案内する。また、パージガス供給管30は、パージガスの噴出し口となる部分が窓26側に向けて傾斜している。

10

【0024】

出射管24は、入射管22と略同一形状の管状部材であり、一方の端部が主管20に連結され、出射管24の他方の端部には、窓28が設けられている。出射管24も、主管20と空気が流通可能な状態で、窓28が設けられている端部が、空気が流通しない状態で、かつ、光が透過できる状態となる。また、出射管24は、中心軸が入射管22の中心軸と略同一となる位置に配置されている。つまり、入射管22と出射管24とは、主管20の対向する位置に配置されている。

【0025】

また、出射管24も、窓28側の端部の開口(つまり、窓28により塞がれている開口)の面積と、主管20側の端部(つまり、主管20と連結している部分の開口)の面積とが実質的に同一の円筒形状である。なお、出射管24も形状は円筒形状に限定されず、空気及び光を通過させる筒型の形状であればよく、種々の形状とすることができる。例えば、断面が四角、多角形、楕円、非対称曲面となる形状としてもよい。また筒形状の断面の形状、径が位置によって変化する形状でもよい。なお、出射管24も、後述するパージガスが安定して流れる形状とすることが好ましい。

20

【0026】

また、出射管24の、窓28が封止されている端部と主管20と連結されている端部との間には、パージガス供給管32が連結されている。パージガス供給管32は、パージガス供給手段16から供給されたパージガスを出射管24に案内する。また、パージガス供給管32も吹出し口が窓28側を向いた形状である。

30

【0027】

次に、計測手段14は、発光部40と、光ファイバ42と、受光部44と、光源ドライバ46と、信号処理部47と、物理量算出部48と、制御部50と、を有する。なお、本実施形態では、信号処理部47と、物理量算出部48と、を別々に設けたが一体で(1つの処理部として)設けてもよい。また、光源ドライバ46と、信号処理部47と、物理量算出部48と、制御部50と、を一体で(1つの処理部として)設けてもよい。

【0028】

発光部40は、所定波長のレーザ光を出力(発光)させる発光素子を有する。なお、発光部40の発光素子は、出力するレーザ光の出力波長を所定の波長幅(周波数幅)で設定した周波数で変化させることができる発光素子である。発光素子としては、波長可変の半導体レーザ素子(LD:Laser Diode)を用いることができる。発光部40は、測定対象の物質(ガス)が吸収する波長域(好ましくは近赤外波長域)を含む波長域のレーザ光を出力する。例えば、計測対象が一酸化窒素の場合、発光部40は、一酸化窒素を吸収する近赤外波長域を含む波長域のレーザ光を出力する。また、計測対象が二酸化窒素の場合、発光部40は、二酸化窒素を吸収する近赤外波長域の波長域を含むレーザ光を出力する。また、計測対象が亜酸化窒素の場合、発光部40は、亜酸化窒素を吸収する近赤外波長域の波長域を含むレーザ光を出力する。なお、測定対象が複数の物質である場合、発光部40は、夫々の物質が吸収する波長域の光を発光する発光素子を複数備え、それぞれの波長域の光を出力するようにしてもよい。光ファイバ42は、発光部40から出力されたレー

40

50

ザ光を案内し、窓 2 6 から計測セル 1 2 内に入射させる。

【 0 0 2 9 】

受光部 4 4 は、計測セル 1 2 の主管 2 0 の内部を通過し、出射管 2 4 の窓 2 8 から出力されたレーザ光を受光する受光部である。なお、受光部 4 4 は、例えば、フォトダイオード (P D、Photodiode) 等の受光素子 (光検出器) を備え、受光素子によってレーザ光を受光し、その光の強度を検出する。受光部 4 4 は、受光したレーザ光の強度 (光量) を受光信号として、信号処理部 4 7 に送る。

【 0 0 3 0 】

光源ドライバ 4 6 は、発光部 4 0 を駆動する機能を有し、発光部 4 0 に供給する電流、電圧を調整することで、発光部 4 0 から出力されるレーザ光の波長、強度を調整する。光源ドライバ 4 6 は、発振器であり、電流、電圧を所定の波形で発光部 4 0 に供給することで時間により波長が変化するレーザ光を出力させる。本実施形態の光源ドライバ 4 6 は、設定された変調周波数でレーザ光の波長を振動させる。光源ドライバ 4 6 は、制御部 5 0 を介して物理量算出部 4 8 に、発光部 4 0 から出力しているレーザ光の強度の情報を出力する。これにより、発光部 4 0 は、測定対象の物質が吸収する波長域 (好ましくは近赤外波長域) を含む波長域のレーザ光を変調周波数で波長を変調しつつ出力する。具体的には、発光部 4 0 は、測定対象の物質が吸収する吸収波長を中心とした一定波長幅で波長を変調させる。この時の一定波長幅の波長の変動を周期的に行い、その変動の周期の周波数が変調周波数となる。本実施形態の光源ドライバ 4 6 は、変調周波数として、8 0 k H z 以上の周波数、より好ましくは、1 0 0 k H z 以上の周波数を用いる。この点については後述する。

10

20

【 0 0 3 1 】

信号処理部 4 7 は、受光部 4 4 がレーザ光を受光することで生成した信号 (受光信号) を処理する。具体的には、信号処理部 4 7 は、受光信号に含まれるノイズ成分を除去し、発光部 4 0 から出力され受光部 4 4 に到達したレーザ光の成分 (つまり変調周波数に対応した信号成分) を抽出する。なお、抽出して生成される信号を以下スペクトル信号という。

【 0 0 3 2 】

物理量算出部 4 8 は、信号処理部 4 7 から出力されたスペクトル信号に基づいて、計測セル 1 2 を流れる排ガスの濃度を算出する。物理量算出部 4 8 は、信号処理部 4 7 から出力されたスペクトル信号と、制御部 5 0 により光源ドライバ 4 6 を駆動させている条件とに基づいて、計測対象の物質の濃度を算出する。具体的には、物理量算出部 4 8 は、制御部 5 0 により光源ドライバ 4 6 を駆動させている条件に基づいて発光部 4 0 から出力されるレーザ光の強度を算出し、信号処理部 4 7 で生成されたスペクトル信号に基づいて受光したレーザ光の強度を算出する。物理量算出部 4 8 は、この発光したレーザ光の強度と受光したレーザ光の強度と比較し、排ガス A に含まれる測定対象の物質の濃度を算出する。

30

【 0 0 3 3 】

具体的には、発光部 4 0 から出力された近赤外の波長域のレーザ光 L は、光ファイバ 4 2 から計測セル 1 2 の所定経路、具体的には、窓 2 6、入射管 2 2、主管 2 0、出射管 2 4、窓 2 8 を通過した後、受光部 4 4 に到達する。このとき、計測セル 1 2 内の排ガス A 中に測定対象の物質が含まれていると、計測セル 1 2 を通過するレーザ光が吸収される。そのため、レーザ光 L は、排ガス A 中の測定対象の物質の濃度によって、受光部 4 4 に到達するレーザ光の出力が変化する。受光部 4 4 は、受光したレーザ光を受光信号に変換する。受光部 4 4 で生成された受光信号は、信号処理部 4 7 で処理されスペクトル信号として物理量算出部 4 8 に入力される。また、制御部 5 0 および光源ドライバ 4 6 は、発光部 4 0 から出力したレーザ光 L の強度を物理量算出部 4 8 へ出力する。物理量算出部 4 8 は、発光部 4 0 から出力した光の強度と、スペクトル信号から算出される強度とを比較し、その減少割合から計測セル 1 2 内を流れる排ガス A の測定対象物の濃度を算出する。このように計測手段 1 4 は、いわゆる T D L A S 方式 (Tunable Diode Laser Absorption Spectroscopy : 可変波長ダイオードレーザー分光法) を用いることで、出力したレーザ光の

40

50

強度と、受光部 4 4 で検出した受光信号とに基づいて主管 2 0 内の所定位置、つまり、測定位置を通過する排ガス A 中の測定対象物質の濃度を、算出および/または計測することができる。また、計測手段 1 4 は、連続的に測定対象物質の濃度を、算出および/または計測することができる。なお、レーザ計測装置 1 0 は、発光部 4 0 から出力されるレーザ光の強度を一定として、スペクトル信号のみに基づいて排ガス A に含まれる測定対象の物質の濃度を算出してもよい。

【 0 0 3 4 】

制御部 5 0 は、各部の動作を制御する制御機能を有し、必要に応じて、各部の動作を制御する。なお、制御部 5 0 は、計測手段 1 4 の制御のみならず、レーザ計測装置 1 0 の全体の動作を制御する。つまり、制御部 5 0 は、レーザ計測装置 1 0 の動作を制御する制御部である。

10

【 0 0 3 5 】

パージガス供給手段 1 6 は、配管 5 1 と、ポンプ 5 2 と、ドライヤ 5 4 と、流量計 5 6 と、を有し、計測セル 1 2 のパージガス供給管 3 0、3 2 に所定流量の空気を供給する。なお、本実施形態では、空気を供給しているが、ポンベ等を使用してパージガスとして窒素などを供給する構成としてもよい。

【 0 0 3 6 】

配管 5 1 は、パージガス供給管 3 0、3 2 と連結している。また、配管 5 1 には、パージガス供給管 3 0、3 2 から最も遠い側（空気の流れの上流）から順に、ポンプ 5 2、ドライヤ 5 4、流量計 5 6 が配置されている。ポンプ 5 2 は、配管 5 1 に空気を供給することで、パージガス供給管 3 0、3 2 に空気を供給する。また、ポンプ 5 2 は、制御部 5 0 により動作が制御される。

20

【 0 0 3 7 】

ドライヤ 5 4 は、配管 5 1 を流れる空気を乾燥させる乾燥機構である。ドライヤ 5 4 として、空気中に含まれる水分を低減することができればよく、種々の吸湿機構、吸湿材料を用いることができる。

【 0 0 3 8 】

流量計 5 6 は、配管 5 1 を流れる空気の量、つまり、流量を計測する。流量計 5 6 は、計測した流量の情報を制御部 5 0 に送る。なお、配管 5 1 には、基本的にポンプ 5 2 から送られる空気が通過するため、流量が安定している。このため、通常用いる種々の流量計を使用することができる。

30

【 0 0 3 9 】

パージガス供給手段 1 6 は、制御部 5 0 が、流量計 5 6 での計測結果に基づいてパージガスの流量を制御することで、配管 5 1 を流れる空気の量を制御することができ、パージガス供給管 3 0 から入射管 2 2 に供給する空気の量、流速、パージガス供給管 3 2 から出射管 2 4 に供給する空気の量を所定の量とすることができる。また、ドライヤ 5 4 で空気を乾燥させることで、流量計 5 6 に水分が付着する可能性を低減することができる。レーザ計測装置 1 0 は、以上のような構成である。

【 0 0 4 0 】

次に、図 3 を用いて、レーザ計測装置 1 0 の発光部 4 0 から出力するレーザ光と、受光部 4 4 で検出する受光信号との関係について説明する。ここで、図 3 は、図 1 に示すレーザ計測装置の出力するレーザ光と受光素子の出力との関係を示す模式図である。図 3 には、測定対象の物質の光の透過率と波長との関係、出力するレーザ光の波長と時間との関係、受光素子（受光部）の受光信号の出力と時間との関係を示す。図 3 の左上側の図の波形 6 0 に示すように、測定対象の物質は、波長によって透過率が変化し、透過率が低くなるつまり光を吸収する波長がある。波形 6 0 の中で透過率が最も低くなる波長が測定対象の物質の吸収波長となる。発光部 4 0 は、図 3 の下側の図の波形 6 2 に示すように、吸収波長を中心とし、測定対象の物質の透過率が低くなる波長幅を振幅として、波長を変化（時間によって変化）させながらレーザ光を出力する。ここで、レーザ光の波長は周波数 f で変調する。ここで、周波数 f は、上述した変調周波数となる。

40

50

【 0 0 4 1 】

レーザ計測装置 10 は、波形 6 2 のレーザ光を発光部 4 0 から計測セル 1 2 に向けて出力する。このとき、計測セル 1 2 内に一定濃度の測定対象の物質が含まれていると受光素子に到達する信号は、波長が吸収波長のとき透過率が低くなり（光が大きく吸収され）、波長が吸収波長から離れるに従って透過率が高くなる（光の吸収量が小さくなる）。これにより、図 3 の右側の図に示すように、波形 6 2 に応じて受光素子の出力も振動し波形 6 4 となる。なお、図 3 に示す例では、吸収波長がレーザ光の中心となっているため、波形 6 4 は、レーザ光の波長が振幅の中心の位置のとき透過率が最小（吸収率が最大）となる。また、波形 6 4 は、波形 6 2 の 2 倍の周波数となる。つまり、波形 6 4 の周波数は $2f$ となる。このように、受光部 4 4 が検出する受光信号には、変調周波数の 2 倍の周波数で測定対象の物質のレーザ光の吸収の反応が出力される。したがって、信号処理部 4 7 は、受光信号から、変調周波数の 2 倍の周波数成分を抽出することで、波形 6 4 に示すような測定対象の物質のレーザ光の吸収の反応を示す波形（スペクトル信号）を検出することができる。なお、以下では、信号処理部 4 7 が受光信号から抽出する成分の周波数、つまりスペクトル信号の抽出に用いた周波数を指定周波数という。

10

【 0 0 4 2 】

次に、図 4 を用いて、変調周波数とノイズレベルとの関係について説明する。ここで、図 4 は、変調周波数とノイズとの関係を示すグラフである。なお、図 4 は、縦軸をノイズ [dB] とし、横軸を変調周波数 [kHz] とした。図 4 のグラフは、ガス流量を種々の値に変化させ、それぞれのガス流量の場合について、変調周波数を順次変化させ、受光信号のノイズ成分を検出し、変調周波数とノイズ成分との関係を計測した結果である。また、計測では、ガスの流量を 0（つまりガスを流さない場合）とした場合、 $61\text{ m}^3/\text{h}$ とした場合、 $116\text{ m}^3/\text{h}$ とした場合、 $160\text{ m}^3/\text{h}$ とした場合、 $199\text{ m}^3/\text{h}$ とした場合、 $258\text{ m}^3/\text{h}$ とした場合について変調周波数とノイズとの関係を計測した。また、ページ流量は、 $10\text{ L}/\text{min}$ とした。ここで、図 3 の測定では、受光信号から指定周波数として変調周波数の 2 倍の周波数を抽出して出力を検出しその際のノイズの出力を検出した。

20

【 0 0 4 3 】

図 4 に示すように、受光信号のノイズ成分は、変調周波数を 80 kHz 以上（指定周波数を 160 kHz 以上）とすることで計測セルを流れるガスの流量によらず、 -70 dB 以下かつ -80 dB の近傍まで飛躍的に低減することができる。さらに、変調周波数を 100 kHz 以上（指定周波数を 200 kHz 以上）とすることで計測セルを流れるガスの流量によらず、より -80 dB の近傍まで低減することができる。なお、ノイズ成分の -80 dB は、装置固有のノイズ成分である。このように、変調周波数を 80 kHz 以上、より好ましくは 100 kHz とすることで、ガスの濃度の検出時のノイズ成分を好適に低減、具体的には、装置固有のノイズ成分と同程度のノイズ以外は生じない状態とすることができる。これにより、レーザ計測装置 10 は、測定対象のガスをより高い精度で計測することができる。

30

【 0 0 4 4 】

次に、図 5 および図 6 は、変調周波数による濃度の検出結果について説明する。図 5 および図 6 は、それぞれ濃度の検出結果の一例を示すグラフである。また、図 5 および図 6 は、縦軸を濃度 [ppm] およびガス温度 [] とし、横軸を経過時間 [m (分) : s (秒) . 0] とした。ここで、図 5 および図 6 では、測定対象の物質（ガス）を NH_3 とし、計測セルを流れる排ガスの NH_3 濃度を計測した。また、本測定のレーザ計測装置は、計測セルのレーザ光の経路にレーザ光を反射させる反射部材を設け、レーザ光を計測セル内で複数回反射させる構成とした。これにより、レーザ光の経路を計測セルの径よりも長くすることができる。また、計測セルは直径を 50 mm とした。また、計測時に排ガスの温度を変化（基本的には温度を上昇）させ、計測セル内の環境を変化させた。なお、図 5 および図 6 に計測を行ったレーザ計測装置は、排ガスにアンモニアを供給することで、アンモニアと排ガス中の窒素酸化物とを反応させ、排ガス中の窒素酸化物を低減する排ガス

40

50

処理装置の配管経路に設けられている。排ガス処理装置は、排ガスの温度の変化の前後で窒素酸化物よりもアンモニアが多くなり、排ガス中にアンモニアが残留する。このような条件で計測を行った結果を図5および図6に示す。図5は、変調周波数を10kHzとした場合の測定結果であり、図6は、変調周波数を100kHzとした場合の測定結果である。なお、図5は、温度変化を示す波形を波形70で示し、濃度の検出結果を波形72で示す。また、図6は、温度変化を示す波形を波形74で示し、濃度の検出結果を波形76で示す。

【0045】

図5および図6に示すように、波形72と波形76は、ともにアンモニアの排出時に信号の出力が上昇しアンモニアを検出している。ここで、波形72と波形76との波形を比較すると、波形72が大きく振動しているのに対し、波形76は、振動が小さい。特に、波形70と波形74に示す温度の変化が生じている間は、波形72の振動が大きくなっている。ここで、波形のぶれは、ノイズにより生じる。以上より、図5および図6に示すように変調周波数100kHz以上とすることで、計測結果のノイズを抑制できる。また、排ガスの温度変化に起因して発生するノイズ成分も好適に低減することができる。

10

【0046】

次に、図7を用いて計測セルの他の実施形態について説明する。ここで、図7は、計測セルの他の実施形態の概略構成を示す模式図である。なお、図7に示す計測セルは、主管20の形状を除いて他の構成は、計測セル12と同様であるので、図示および説明を省略する。図7に示す計測セル80の主管82は、直線部82aと、第1湾曲部82bと、第2湾曲部82cと、を有する。直線部82aは、中心軸が直線で軸方向に延在する円筒形状である。

20

【0047】

第1湾曲部82bは、一方の端部が直線部82aと連結し他方の端部が配管6と連結している。第1湾曲部82bは、中心軸が湾曲した円筒形状である。第1湾曲部82bは、壁面のうち、直線部82aの延長線上に含まれる部分、つまり内壁が直線部82aと対面している部分に出射管24が配置されている。また、出射管24は、一方の端部が第1湾曲部82bと連結し他方の端部が受光部44と連結している。

【0048】

第2湾曲部82cは、一方の端部が直線部82aと連結し他方の端部が配管8と連結している。第2湾曲部82cは、中心軸が湾曲した円筒形状である。第2湾曲部82cは、壁面のうち、直線部82aの延長線上に含まれる部分、つまり内壁が直線部82aと対面している部分に入射管22が配置されている。また、入射管22は、一方の端部が第2湾曲部82cと連結し他方の端部が光ファイバ42を介して発光部40と連結している。

30

【0049】

主管82は、以上のような構成で、排ガスの流れ方向の上流から第1湾曲部82b、直線部82a、第2湾曲部82cの順で連結しており、それぞれの中心軸を連結すると、直線部が長いS字形状となる。つまり、直線部82aを介して連結している第1湾曲部82bと第2湾曲部82cとが逆方向に湾曲しており、直線部82aの延長線上にある部分の内面部分が互いに向かい合っている。また、この主管82の向かい合っている部分に入射管22と出射管24とが配置されているため、入射管22と出射管24が向かい合っている。また、計測セル80は、発光部40から出力されたレーザ光は、入射管22から主管82の直線部82a、出射管24を通り受光部44に到達する。また、レーザ光は、主管82の直線部82a内を排ガスの流れ方向とは逆の方向に進む。

40

【0050】

このように、計測セルの形状を排ガスの流れ方向がS字となる形状としても、好適に対象物質の濃度を計測することができる。なお、計測セルの形状は種々の形状とすることができる。また、計測セルは、上述したように反射部材を設け、レーザ光を主管内で多重反射させるようにしてもよい。これにより、計測セル内の種々の領域を通過させたレーザ光を受光部に到達させることができる。これにより、計測セル内で測定対象の物質の濃度に

50

むらがある場合も平均化した濃度を算出することができる。

【0051】

次に、図1に示す計測セルの形状（ワンパス）と図7に示す計測セルの形状（S型）とのそれぞれについて、変調周波数とノイズレベルとの関係を計測した結果を図8に示す。ここで、図8は、変調周波数とノイズとの関係を示すグラフである。なお、図8は、縦軸をノイズ[dB]とし、横軸を変調周波数[kHz]とした。図8のグラフは、それぞれの形状の計測セルについて光軸のズレを種々の値とした場合について、変調周波数を順次変化させ、受光信号のノイズ成分を検出し、変調周波数とノイズ成分との関係を計測した結果である。なお本測定では、光軸ズレが100%、95%、90%の場合について計測を行った。なお、光軸ズレが100%とは、光軸が一致している場合である。なお、光軸ズレとは、受光部に到達するレーザー光の到達位置の受光部の中心からのズレにより、ズレがない場合に比較して受光部に入射する光の割合が減少する程度を示し、計測セルにガスを流通させない場合に計測した値である。計測セルにガスを流通させた場合、乱流によりレーザー光の光路の屈折の向きが変動することにより、入射率が振動するが、光軸ズレがなく、入射率が最大に調整された場合に比較して、光軸ズレのある場合には、入射光量の変動がより大きく、乱流によるノイズが大きいことが判明している。また、本計測では、ガスの流量を268m³/hとし、パージ流量は、10L/minとした。ここで、図8の測定でも、受光信号から指定周波数として変調周波数の2倍の周波数を抽出して出力を検出しその際のノイズの出力を検出した。

10

【0052】

図8に示すように、受光信号のノイズ成分は、計測セルの形状によらず、具体的には光軸ズレにより乱流ノイズが大きくなった場合でも、変調周波数を80kHz以上（指定周波数を160kHz以上）とすることで、-70dB以下かつ-80dBの近傍まで低減することができる。さらに、変調周波数を100kHz以上（指定周波数を200kHz以上）とすることで、より-80dBの近傍まで低減することができる。このように、光軸ズレがある場合も計測セルの形状が異なる場合でも、変調周波数を80kHz以上、より好ましくは100kHzとすることで、ガスの濃度の検出時のノイズ成分を好適に低減、具体的には、装置固有のノイズ成分と同程度のノイズ以外はほとんど生じない状態とすることができる。これにより、レーザー計測装置10は、測定対象のガスをより高い精度で計測することができる。

20

30

【0053】

また、図8に示す領域92にあるワンパスの計測セルの計測結果よりも領域92にあるS型の計測セルの計測結果の方がノイズをより低減できることがわかる。特に、計測セルをS型とした場合は、変調周波数を50kHz以上とすることで、-70dB以下かつ-80dBの近傍まで低減ことができ、変調周波数を80kHz以上、100kHz以上とすることで、ノイズの低減効果をより大きく得ることができる。

【0054】

以上のように、変調周波数を80kHz以上、100kHz以上また計測セルの形状によっては変調周波数を50kHz以上とすることで、ノイズ成分を飛躍的に低減することができる。これは、ガスの温度勾配や、渦流による圧力勾配によって発生するガスの密度差によって光が屈折し、さらに流れにより屈折の向きが変化し、光軸が激しく変化した場合でも、その影響が生じるよりも短い間隔で計測が実行できるため、つまり乱流によるノイズの影響を受けずに計測可能となるであると考えられる。

40

【0055】

ここで、レーザー計測装置は、径が小さい配管を流れる排ガス等の計測に用いることが好ましい。特に、自動車等に搭載されている小さい原動機、燃焼装置の配管経路を流れる排ガス等の計測に用いることが好ましい。このように、断面径が小さい配管内を流れる排ガスは、流量が安定せず、流れの比較的早く、流れるガスも温度差のあるガスを混合して温度のムラを生じる場合もあるが、本実施形態のレーザー計測装置を用いることで、ノイズの発生を抑制しつつ濃度を計測することができる。なお、上述したように、レーザー計測装置

50

は、自動車等に用いることが好ましいが、上述したようにボイラなど径の大きな煙道での計測にも用いることもできる。

【0056】

また、本実施形態のように、配管の一部に計測セルを設けることで、配管を流れる排ガスの物理量をより早く計測することができる。このように、レーザ計測装置は、配管の一部に計測セルを設けることが好ましいが、これに限定されない。

【0057】

次に、図9を用いてレーザ計測装置の他の実施形態について説明する。図9は、レーザ計測装置の他の実施形態の概略構成を示す模式図である。

レーザ計測装置100は、配管ユニット112と計測セル113と計測手段114とを有する。

10

【0058】

配管ユニット112は、サンプリング配管120と流量計122と配管124とを有する。サンプリング配管120は、計測対象配管9と接続し、計測対象配管9を流れる流通ガスの一部を捕集する配管であり、一方の端部が計測対象配管9の内部に配置されており、他方の端部が計測セル113と連結されている。流量計122は、サンプリング配管120を流れる空気の量、つまり、流量を計測する。配管124は、一方の端部が計測セル113と接続され、他方の端部が排ガスを排気する部分と連結している。なお、配管124の他方の端部は、大気に開放されていても、排ガスの処理装置に連結してもよい。

【0059】

20

計測セル113は、基本的に主管152と、流入管154と、排出管156とを有する。主管152は、筒形状の部材であり、内部に流通ガスが流れる。主管152の筒形状の一方の端部(上面)には窓158が配置され、他方の端部(下面)には窓159が配置されている。つまり、主管152は、筒形状の上面と下面が、それぞれ窓158、窓159に塞がれた形状となっている。なお、窓158、159は、光を透過する部材、例えば、透明なガラス、樹脂等で構成されている。これにより、主管152は、窓158、159が設けられている両端部が、空気が流通しない状態で、かつ、光が透過できる状態となる。つまり、主管152の外部から内部に光を入射させ、主管152の内部から外部に光を射出させることができる。

【0060】

30

流入管154は、一方の端部がサンプリング配管120に接続されており、他方の端部が、主管152の側面(周面)の窓158側に接続されている。排出管156は、一方の端部が、主管152の側面(周面)の窓159側に接続され、他方の端部が、配管124と接続されている。計測セル113は、サンプリング配管120から供給される排ガスを流入管154から主管152に供給する。また、計測セル113は、主管152を流れた流通ガスを排出管156から外部に排出する。

【0061】

次に、計測手段114は、発光部140と、入光部143と、光ファイバ142と、受光部144と、光源ドライバ46と、信号処理部47と、物理量算出部48と、制御部50と、を有する。なお、光源ドライバ46と、信号処理部47と、物理量算出部48と、制御部50とは、レーザ計測装置100の各部と同様であるので、説明を省略する。

40

【0062】

発光部140は、発光部40と同様の構成であり、光源ドライバ46の制御に基づいて変調周波数で波長を変調したレーザ光を出力する。光ファイバ142は、発光部140から出力されるレーザ光を入光部143に案内する。入光部143は、窓158に配置された光学系(ミラー、レンズ等)であり、光ファイバ142により案内されたレーザ光を窓158から主管152の内部に入射させる。

【0063】

受光部144は、計測セル113の主管152の内部を通過し、窓159から出力されたレーザ光を受光する受光部である。なお、受光部144は、受光部44と同様の構成で

50

ある。受光部 1 4 4 は、受光信号を信号処理部 4 7 に送る。

【 0 0 6 4 】

レーザ計測装置 1 0 0 は、以上のような構成であり、サンプリング配管 1 2 0 で排ガスの一部を捕集し、捕集した排ガスを計測セル 1 1 3 の主管 1 5 2 まで搬送する。レーザ計測装置 1 0 0 は、主管 1 5 2 を通過したレーザ光を受光部 1 4 4 で受光することで、排ガスに含まれる計測対象の物質の濃度を計測する。このように、計測対象配管 9 から一部の排ガスを捕集して計測を行う場合も上述したように変調周波数として所定の周波数以上の周波数を用いることで、上記と同様の効果を得ることができる。

【 0 0 6 5 】

なお、指定周波数は、上記実施形態のように変調周波数の 2 倍の周波数を用いることが好ましい。指定周波数を変調周波数の 2 倍の周波数とすることで、検出信号をより大きい強度で検出することができる。なお、上記効果を得ることができるため指定周波数は、変調周波数の 2 倍の周波数とすることが好ましいが、変調周波数の整数倍の種々の周波数も用いることができる。指定周波数として、変調周波数の 4 倍の周波数を用いても、変調周波数に含まれる吸収スペクトル（検出対象のスペクトル）の変化を検出することができる。なお、指定周波数として、変調周波数の 4 倍の周波数を用いて解析を行うとスペクトルの 4 次微分波形が検出される。このように変調周波数の 2 倍以外の周波数を用いることで、変調周波数の 2 倍の周波数にノイズ成分がある場合も吸収スペクトル（検出対象のスペクトル）の変化を検出することができる。

【 0 0 6 6 】

レーザ計測装置 1 0 は、発光部 4 0 から出力するレーザ光の波長を変調周波数よりも低い周波数である掃引周波数（例えば 0 . 1 k H z 、 1 k H z ）で掃引することが好ましい。レーザ光を掃引周波数掃引させることで、測定対象の物質の吸収波長がずれている場合や、レーザ光の出力波長が変動した場合でも補正することができ、測定対象の物質の物理量をより高い精度で計測できる。ここで、変調周波数に基づいたレーザ光の波長の振動の振動幅は、掃引周波数に基づいたレーザ光の波長の変化幅よりも小さくすることが好ましい。これにより、発光部 4 0 から出力されるレーザ光は、変調周波数で振動する振動の中心が、掃引周波数に基づいて変化するレーザ光となる。

【 0 0 6 7 】

また、上記実施形態では、レーザ光を所定周波数以上の変調周波数で変調したがこれに限定されない。以下、図 1 0 を用いて、レーザ計測装置の他の実施形態について説明する。図 1 0 は、レーザ計測装置の他の実施形態の概略構成を示す模式図である。図 1 0 に示すレーザ計測装置 2 1 0 は、計測セル（ガス計測セル）2 2 0 と、計測手段 2 2 2 とを有する。なお、レーザ計測装置 2 1 0 の計測セル 2 2 0 は、排ガスが流れる第 1 配管（図示省略）と第 2 配管（図示省略）との間に設けられている。また、排ガスは、第 1 配管の上流側から供給され、第 1 配管、計測セル 2 2 0 、第 2 配管を通過し、第 2 配管よりも下流に排出される。なお、第 1 配管の上流側には、排ガスの発生装置（供給装置）が配置されている。また、制御部 2 5 0 は、各部の動作を制御する制御機能を有し、必要に応じて、各部の動作を制御する。

【 0 0 6 8 】

計測セル 2 2 0 は、基本的に第 1 配管及び第 2 配管と連結された主管と、レーザ光を主管内に入射させる入射管と、主管を通過したレーザ光を出射させる出射管とを有する。なお、入射管及び出射管には、レーザ光が通過可能な窓が設けられている。主管は、円筒状の管状部材であり、一方の端部が第 1 配管と連結され、他方の端部が第 2 配管と連結されている。つまり、主管は、排ガスが流れる流路の一部となる位置に配置されている。これにより、排ガスは、第 1 配管、主管、第 2 配管の順に流れる。また、第 1 配管を流れる排ガスは、基本的に全て主管に流れ、その後、第 2 配管に流れる。なお、レーザ光の主管内の通過経路は、種々の設定とすることができる。例えば、主管の軸方向に直交する方向にレーザ光が通過するようにすることができる。また、主管の軸方向に対して所定角度傾斜させてレーザ光を通過させるようにしてもよい。また、反射部材を設け、主管内でレーザ

10

20

30

40

50

光を反射させ、主管内を往復させて通過させるようにしてもよい。

【0069】

計測手段222は、発光部240と、光学系241と、受光部244と、物理量算出部248、制御部250と、を有する。発光部240は、発光部40と同様の構成であり、光源ドライバ246の制御に基づいて変調周波数で波長を変調したレーザ光を出力する。

【0070】

光学系241は、分光器230と、可変光減衰器(Variable Optical Attenuator、以下「VOA」という。)232、234と、コリメータ236、238と、を有する。また、光学系241の各部は、光ファイバ等の光を案内する部材(導光部材)で連結されており、レーザ光は、導光部材内を通過して各部に移動される。

10

【0071】

分光器230は、発光部240から射出されたレーザ光を2つのレーザ光に分光する。VOA232、234は、レーザ光の出力を調整する。具体的には、一定範囲で減衰量を変更することができる調整機構である。VOA232とVOA234は、分光器230と接続されている。VOA232は、分光器230で分光された一方のレーザ光の出力を調整し、VOA234は、分光器230で分光された他方のレーザ光の出力を調整する。

【0072】

コリメータ236、238は、レーザ光を平行光とする。コリメータ236は、VOA232とそれぞれ連結されており、VOA232を通過した一方のレーザ光を、平行光にする。また、コリメータ238は、VOA234と連結されており、VOA234を通過した他方のレーザ光を平行光とする。

20

【0073】

光学系241は、以上の構成であり、発光部240から出力されたレーザ光をそれぞれ、一方のレーザ光と、他方のレーザ光に分光した後、コリメータ236で一方のレーザ光を平行光とし、コリメータ238で他方のレーザ光を平行光とする。光学系241は、このようにして、波長成分が同様の測定光と参照光を作成する。また、光学系241は、コリメータ236を通過した光を測定光として計測セル220に入射させ、コリメータ238を通過した光を参照光として計測セル220を通過せずに受光部244に入射させる。

【0074】

受光部244は、2つの受光素子244a、244bを有し、光学系241から出射された2つのレーザ光(測定光と参照光)を受光する。具体的には、受光素子244aは、光学系241のコリメータ236を通過し、計測セル220を通過した測定光を受光する。また、受光素子244bは、光学系241のコリメータ238を通過し、計測セル220を通過していない参照光を受光する。受光素子244a、244bは、例えば、フォトダイオード(PD、Photodiode)等の光検出器であり、受光したレーザ光の強度を検出する。受光部244は、受光したレーザ光の強度を受光信号として、信号処理部247に送る。

30

【0075】

光源ドライバ246は、発光部240を駆動する機能を有し、発光部240に供給する電流、電圧を調整することで、発光部240から出力されるレーザ光の波長、強度を調整する。なお、光源ドライバ246の基本構成は、光源ドライバ46と同様であるので省略する。ここで、本実施形態の光源ドライバ246は、設定された周期でレーザ光の波長を掃引している。つまり波長を徐々に変化させる。これにより、発光部240は、測定対象の物質が吸収する波長域(好ましくは近赤外波長域)を含む波長域のレーザ光で波長を徐々に変化させつつ(掃引しつつ)出力する。具体的には、発光部240は、測定対象の物質が吸収する吸収波長を中心とした一定波長幅で波長を変化させる。この時の一定波長幅の波長の変動を周期的に行い、その変動の周期が掃引周期(掃引周期を周波数換算した周波数を掃引周波数)となる。本実施形態の光源ドライバ46は、測定対象のガスの吸収信号の半値幅の2倍の周波数帯を0.5μ秒以内で通過する速度で波長を変化させる。この点については後述する。

40

50

【0076】

信号処理部247は、差分検出部247aと、ハイパスフィルタ247bと、を有する。差分検出部247aは、受光素子244aから送られる受光信号と、受光素子244bから送られる受光信号との差分を検出する。ハイパスフィルタ247bは、差分検出部247aで検出した差分信号の高周波数成分を抽出する、つまり閾値周波数以下の成分を除去または低減する処理を行う。なお、ハイパスフィルタ247bは、吸収信号の周波数帯域以下の周波数成分を除去または低減する処理を行う。なお、本実施形態では、測定対象のガスの吸収信号の半値幅の2倍の周波数帯を5 μ 秒以内で通過する速度で波長を変化させるため、吸収信号(吸収の反応が生じる周波数)は、200kHz以上となる。従って本実施形態、ハイパスフィルタ247bは、周波数200kHz以下の周波数成分を除去または低減する処理を行う。また、ハイパスフィルタとしては、閾値よりも低周波成分を除去または低減し、所望の周波数成分を抽出できるフィルタ処理を行う各種フィルタを用いることができる。また、ハイパスフィルタとしては、ソフト処理によってベースラインフィッティング処理を行う演算装置も用いることができる。ベースラインフィッティング処理は、ある時間幅の差分信号を設定次数の多項式により近似することにより、差分信号の低周波成分を多項式として抽出し、これを元の差分信号から差し引くことで、高周波成分(閾値周波数より大きい成分)のみを残す処理である。信号処理部247は、ハイパスフィルタ247bでの処理を行った信号に対して各種処理(例えば増幅処理)を行い、生成した信号(スペクトル信号)を物理量算出部248に送る。なお、信号処理部247は、計測セル220を通過しているレーザ光の受光信号と、計測セル220を通過していないレーザ光の受光信号との間の差分を検出することで、計測セル220の通過により変化した成分をより正確に抽出することができる。

10

20

【0077】

物理量算出部248は、信号処理部247から送られる信号と、発光部240を駆動させている条件、光学系241(特にVOAによる減衰)の条件とに基づいて、解析を行い、測定対象の物質の濃度を算出する。具体的には、物理量算出部248は、各種条件に基づいて計測セル220に入射したレーザ光の強度を算出し、算出したレーザ光の強度と、受光部244で受光したレーザ光の強度と比較し、排ガスに含まれる測定対象の物質の濃度を算出する。つまり入射光と出射光との強度の比較から、計測セル220を通過することで、計測セル220中の排ガスの測定対象の物質によるレーザ光の吸収量を算出し、その吸収量に基づいて、排ガスに含まれる測定対象の物質の濃度を算出する。なお、物理量算出部248は、信号処理部247から送られる信号と、予め記憶されている条件のみに基づいて測定対象の物質の濃度を算出してもよい。レーザ計測装置210は、以上のような構成である。

30

【0078】

次に、図11から図15を用いて、レーザ計測装置210の動作について説明する。ここで、図11は、図10に示すレーザ計測装置の出力するレーザ光と受光素子の出力との関係を示す模式図である。図12および図13は、それぞれ信号処理部の処理を説明するための説明図である。図14は、測定対象の物質の吸収強度の波長分布を示すグラフである。図15は、レーザ光の波長掃引と測定対象物質の吸収特性との関係の説明図である。

40

【0079】

ここで、図11には、測定対象の物質の光の吸収強度(透過率)と波長との関係、出力するレーザ光の波長と時間との関係、受光素子(受光部)の受光信号の出力と時間との関係を示す。図11の左側の図の波形260に示すように、測定対象の物質は、波長によって透過率が変化し、吸収強度が高くなる(透過率が低くなる)つまり光を吸収する波長がある。波形260の中で吸収強度が最も高くなる(透過率が最も低くなる)波長が測定対象の物質の吸収波長となる。発光部240は、図11の右側の図の波形262に示すように、吸収波長を含む波長域で波長を変化(時間によって変化)させつつレーザ光を出力する。ここで、本実施形態では、レーザ光の波長を、時間当たりの波長の変化率(変化速度)を一定にして変調させる。また、発光部240は、波形262に示すように、波長が変

50

化幅の中で最大の波長となったら、最小の波長に戻しその後一定変化速度で波長を変化させる。

【0080】

レーザ計測装置210は、波形262のレーザ光を発光部240から出力する。波形262のレーザ光は、2つに分岐され、一方のレーザ光は計測セル220を通過した後受光素子244aに到達し、他方のレーザ光は計測セル220を通過せずに受光素子244bに到達する。このとき、計測セル220内に一定濃度の測定対象の物質が含まれていると受光素子244aに到達する信号は、波長が吸収波長のとき透過率が低くなり（光が大きく吸収され）、波長が吸収波長から離れるに従って透過率が高くなる（光の吸収量が小さくなる）。これにより、図11の右側の図に示すように、波形262に応じて受光素子の出力も振動し波形264となる。また、受光素子244bは、計測セル220を通過せずに到達したレーザ光を受光するため、発振波長の波形262の波形に光学系241を通過したことで生じる変化を加えた波形となる。

10

【0081】

信号処理部247は、受光素子244aの受光信号から受光素子244bの受光信号を減算する（差分を算出）ことで波形266に示す差分信号を検出する。受光素子244aの受光信号と受光素子244bの受光信号との差は、計測セル220を通過しているか否かであるため、差分信号としては、測定対象の物質によりレーザ光が吸収されることで生じる成分を検出することができる。

20

【0082】

ここで、本実施形態の差分信号は、図12に示す波形272に示すような波形となる。この波形には、ガスによる吸収で生じる信号成分にノイズ成分（乱流等により生じる成分）に起因する信号成分が重畳された状態で検出される。ここで、ノイズ成分に起因する信号成分を波形274で示す。次に信号処理部247は、図12に示す波形272の差分信号をハイパスフィルタ247bで処理することで、図13に示す波形276が生成される。本実施形態では、測定対象のガスの吸収信号の半値幅の2倍の周波数帯を5 μ 秒以内で通過する速度で波長を変化させるため、ガスによる吸収の成分は、周波数200kHz以上の帯域となる。これに対して、上述の図3及び図8に示すように、波長変調法による計測の場合、変調周波数を100kHz以上とすることで計測セルの通過によるノイズ成分が飛躍的に低減することができる。ここで、波長変調法では、通常受光信号の成分を変調周波数の2倍で検出するため、レーザ光が計測セルを通過することで生じるノイズ成分は200kHz以下が支配的であることがわかる。したがって、ハイパスフィルタ247bにより差分信号から周波数200kHz以下の成分を除去低減することで、図13に示すガスによる吸収の成分が支配的な波形276を検出することができる。

30

【0083】

以上より、本実施形態のように、測定対象のガスの吸収信号の半値幅の2倍の周波数帯を0.5 μ 秒以内で通過する速度で波長を変化させ、ガスによる吸収の成分を周波数200kHz以上の帯域で検出できるようにすることで、ノイズ成分と、ガスによる吸収の成分とを分離することができる。これにより、測定対象の物質の物理量（本実施形態では濃度）をより高い精度で計測することができる。

40

【0084】

ここで、レーザ光を測定対象のガスの吸収信号の半値幅の2倍の周波数帯を5 μ 秒以内で通過させることで上記効果を得ることができるが、レーザ光を測定対象のガスの吸収信号の半値幅の2倍の周波数帯を0.5 μ 秒以内で通過するようにすることが好ましい。

【0085】

図14及び図15を用いて測定対象の物質がCO₂の場合として説明する。図14に示すようにCO₂は、1582nm付近の吸収強度の分布が波形280となる。この波形280に示すCO₂の1582nm付近の吸収波長の半値幅282は、常温常圧では約8 μ mとなる。ここで、本実施形態では、半値幅相当の2倍の波長幅を通過する時間を1周期

50

とする周波数を吸収信号の特徴的周波数とし、これをノイズ周波数帯域の上限値 200 kHz の 10 倍（周期 0.5 μ 秒）とする。つまり、半値幅相当の 2 倍の波長幅を通過する時間が 0.5 秒以内となるようにする。この場合、波長掃引を 16 pm / 0.5 μ 秒、つまり 32 pm / μ 秒以上の速度で行えばよいこととなる。

【0086】

このように、波長掃引を 16 pm / 0.5 μ 秒、つまり 32 pm / μ 秒以上の速度で行うことで、ノイズ成分と、ガスによる吸収の成分（吸収信号）と、を好適に分離することができる。つまり、図 15 に示すように、200 kHz 成分のノイズである波形 290 に対して、吸収の成分（吸収信号）の波形 292 が十分に波長の小さい波形となるため、信号処理等により確実に分離することができる。なお、矢印 296 は、波形 292 の半値幅である。

10

【0087】

図 15 に示すように、ガスによる吸収の成分を、受光信号でノイズとして想定される最大周波数の 200 kHz の十倍以上の周波数で計測することで、ノイズ成分と、ガスによる吸収の成分（吸収信号）と、をより好適に分離することができる。

【0088】

また、上記実施形態のようにハイパスフィルタで分離することで、ガスによる吸収の成分を簡単に検出することができ、装置構成を簡単にすることができる。なお、ハイパスフィルタを用いることなく、その他の解析方法でガスによる吸収の成分を検出するようにしてもよい。例えばスペクトル信号の周波数解析をしてもよい。このように周波数解析でガスによる吸収の成分を検出した場合でもノイズ成分が検出される周波数帯、ガスによる吸収の成分が検出される周波数帯と、異なる帯域となるため、ガスによる吸収の成分を容易に検出することができる。また、ガスによる吸収の成分が検出される周波数の出力にノイズ成分が実質的に重畳していない状態にすることができる。これにより高い精度で物理量（濃度）を計測することができる。

20

【符号の説明】

【0089】

6、8 配管

10 レーザ計測装置

12 計測セル

14 計測手段

20 主管

22 入射管

24 出射管

26、28 窓

40 発光部

42 光ファイバ

44 受光部

46 光源ドライバ

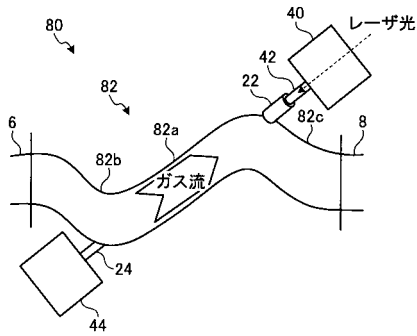
48 物理量算出部

50 制御部

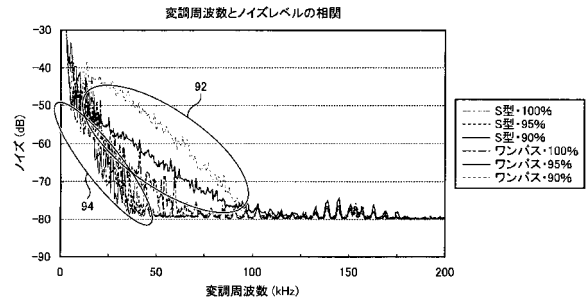
30

40

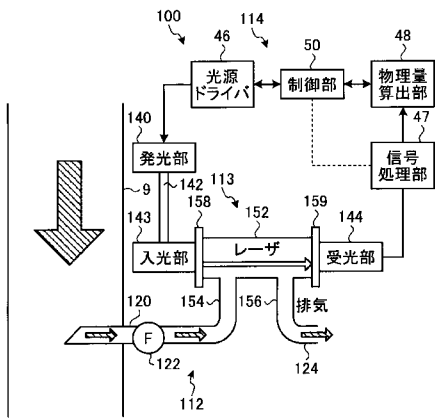
【 図 7 】



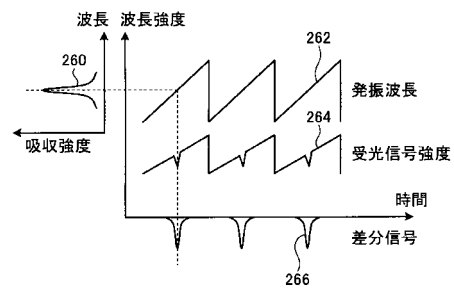
【 図 8 】



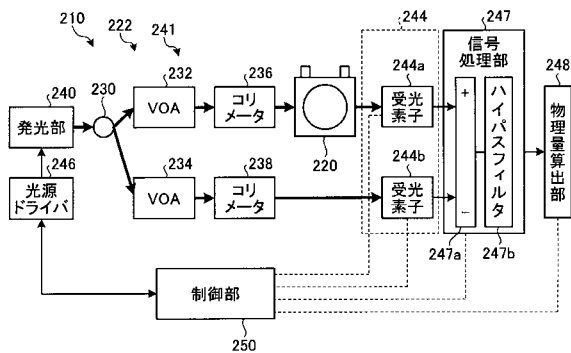
【 図 9 】



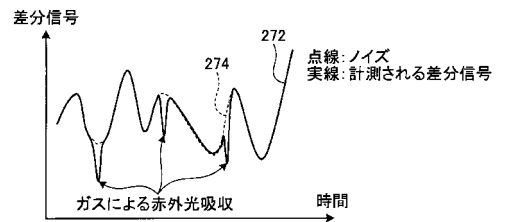
【 図 1 1 】



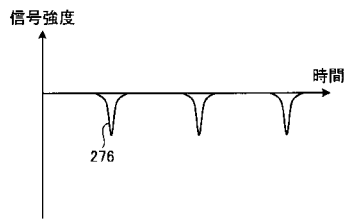
【 図 1 0 】



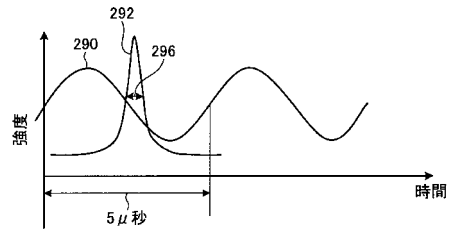
【 図 1 2 】



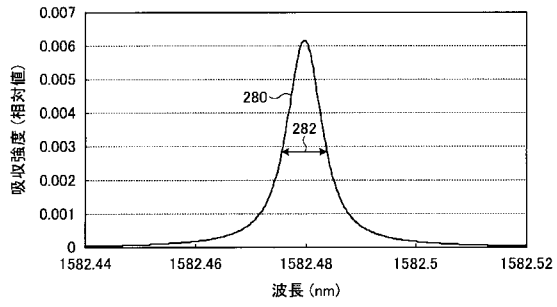
【 図 1 3 】



【 図 1 5 】



【 図 1 4 】



フロントページの続き

- (72)発明者 田浦 昌純
東京都港区港南二丁目1番5号 三菱重工業株式会社内
- (72)発明者 団野 実
東京都港区港南二丁目1番5号 三菱重工業株式会社内
- (72)発明者 瀧田 篤史
東京都港区港南二丁目1番5号 三菱重工業株式会社内
- (72)発明者 近藤 明生
東京都港区港南二丁目1番5号 三菱重工業株式会社内
- (72)発明者 藤井 雅之
東京都港区港南二丁目1番5号 三菱重工業株式会社内
- (72)発明者 井上 学
東京都港区港南二丁目1番5号 三菱重工業株式会社内
- (72)発明者 青木 直志
東京都港区港南二丁目1番5号 三菱重工業株式会社内
- Fターム(参考) 2G059 AA01 BB01 CC01 DD12 EE01 GG01 GG06