

(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2016-171908

(P2016-171908A)

(43) 公開日 平成28年9月29日(2016.9.29)

(51) Int.Cl.

A61B 5/145 (2006.01)
A61B 8/13 (2006.01)

F 1

A 6 1 B 5/14
A 6 1 B 8/13

3 1 O

テーマコード(参考)

4 C 0 3 8
4 C 6 0 1

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 24 頁)

(21) 出願番号

特願2015-53505 (P2015-53505)

(22) 出願日

平成27年3月17日 (2015.3.17)

(71) 出願人 000004226

日本電信電話株式会社

東京都千代田区大手町一丁目5番1号

100064621

弁理士 山川 政樹

100098394

弁理士 山川 茂樹

100153006

弁理士 小池 勇三

田中 雄次郎

東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内

樋口 雄一

東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内

最終頁に続く

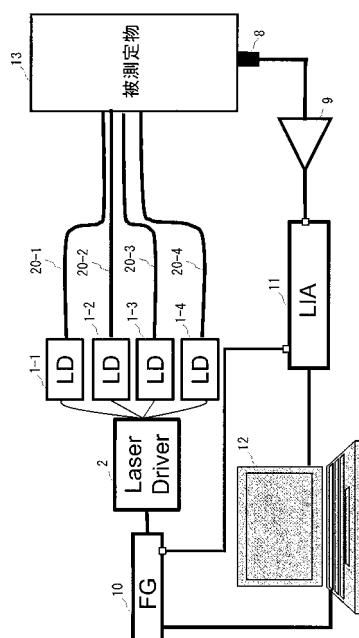
(54) 【発明の名称】成分濃度測定装置

(57) 【要約】 (修正有)

【課題】装置構成を簡略化し、光損失を低減する装置を提供する。

【解決手段】レーザダイオード1-1～1-4のうちの2つは、異なる波長の2波の光を同一周波数で且つ異なる位相の信号により強度変調して照射する。光ファイバ20-1～20-4は、レーザダイオード1-1～1-4からの光を独立に被測定物13に導く。光ファイバ20-1～20-4の出射端は互いに近接して配置されている。音響センサ8は、光音響効果によって被測定物13から発生する光音響信号を検出し、音圧に比例した電気信号に変換する。情報処理装置12は、光のパワーを変化させて、ロックインアンプ11から出力される電気信号の強度が最低となったときの光のパワーの測定結果に基づいて、被測定物13に含まれる測定対象の成分の濃度を導出する。

【選択図】図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

互いに波長が異なる n 波 (n は 3 以上の整数) の光のうち 2 波の光を同一の周波数で且つ異なる位相の信号によりそれぞれ強度変調して放射する光源と、

この光源からの 2 波の光をそれぞれ独立に被測定物に導く光導波手段と、

前記 2 波の光のうち少なくとも一方の光のパワーを変化させる光パワー制御手段と、

光照射によって前記被測定物から発生する光音響信号を検出して電気信号を出力する光音響信号検出手段と、

前記 2 波の光のうち少なくとも一方の光のパワーを測定する光強度測定手段と、

前記電気信号の強度を測定する信号強度測定手段と、

光のパワーを変化させて前記電気信号の強度が最低となったときの前記光強度測定手段の測定結果に基づいて、前記被測定物に含まれる測定対象の成分の濃度を導出する濃度導出手段とを備え、

前記光導波手段は、前記光源からの n 波の光を前記被測定物に独立に照射するための n 個の出射端が互いに近接して配置されたものであり、

前記濃度導出手段は、前記 n 波の光の中から選択し得る 2 波の組み合わせのうち少なくとも一部の組み合わせの各々について求めた前記光強度測定手段の測定結果に基づいて、前記測定対象の成分の濃度を導出することを特徴とする成分濃度測定装置。

【請求項 2】

請求項 1 記載の成分濃度測定装置において、

前記光導波手段の n 個の出射端の間隔は、前記被測定物に照射される 2 波の光が互いに重なる領域の体積が所定値以上となるように設定されることを特徴とする成分濃度測定装置。

【請求項 3】

請求項 1 または 2 記載の成分濃度測定装置において、

前記光導波手段の n 個の出射端と前記被測定物との間隔は、前記被測定物に照射される 2 波の光が互いに重なる領域の体積が所定値以上となるように設定されることを特徴とする成分濃度測定装置。

【請求項 4】

請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の成分濃度測定装置において、

さらに、前記光導波手段の n 個の出射端と前記被測定物との間に前記 n 個の出射端を固定するように設けられた、光を透過する材料からなるスペーサを備えることを特徴とする成分濃度測定装置。

【請求項 5】

請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の成分濃度測定装置において、

前記光導波手段は、少なくとも前記被測定物に近い部分がファイバアレイで構成され、このファイバアレイの n 本のファイバの出射端が前記被測定物と対向するように配置されることを特徴とする成分濃度測定装置。

【請求項 6】

請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の成分濃度測定装置において、

前記光導波手段は、少なくとも前記被測定物に近い部分がマルチコアファイバで構成され、このマルチコアファイバの n 個のコアの出射端が前記被測定物と対向するように配置されることを特徴とする成分濃度測定装置。

【請求項 7】

請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の成分濃度測定装置において、

さらに、前記光導波手段の n 個の出射端と前記被測定物との間に、前記光導波手段からの光を前記被測定物に集光するための光学系を備えることを特徴とする成分濃度測定装置。

【請求項 8】

請求項 7 記載の成分濃度測定装置において、

10

20

30

40

50

前記光学系は、前記光導波手段からの光を平行に出射するものであることを特徴とする成分濃度測定装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、血液中に存在するグルコース、アルブミンなどの成分の濃度を非侵襲で測定する技術に係り、特に、被測定物に照射した光により発生する音響波を検出して濃度を測定する成分濃度測定装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

糖尿病患者の血糖値を連続モニターするための方法として光音響法があり、簡単にまとめるに、以下のような特徴がある。

(a) 光音響法は、連続的な血液グルコースモニタリングを提供する。

(b) 糖尿病患者にとって無痛で、血液サンプルを必要とせず、糖尿病患者に不快感を与えることがない。

(c) 他の光学的な技術と比べて、光散乱による測定精度劣化の影響が小さい。

(d) 光学と音響学の結合により高感度の特性を得ることができる。

【0003】

光音響法には、パルス(pulse)法と連続波(continuous-wave、以下CWとする)法の二つの方式がある。しかし、従来のパルス法やCW法では、数回にわたる血漿中のグルコース濃度測定中に、グルコース濃度以外の他の血漿中パラメータ(例えば体温や、他の成分の濃度等)も変わることの可能性が高いので、グルコース選択性が悪く、正確なグルコース濃度を得ることが難しいという問題点があった。

【0004】

そこで、互いに(180°)だけ位相を異にした2つの波長の連続した矩形波により成分濃度を測定する技術として、発明者らにより光パワーバランスシフト(Optical power balance shift: OPBS)法が開発されている(特許文献1-3参照)。

【0005】

特許文献1-3に開示されたOPBS法では、光波長が異なり、互いに位相差がの2つの矩形連続波形の光ビームを被測定物に対して、同一光出力口から照射する。このとき、2つの光ビームのパワーを増減させながら、光音響信号の振幅が最小な箇所の位相の変曲点を探し、この探索結果から血液中に溶解している分子濃度を求める。2つの光ビームのうち一方の光ビームのパワー P_1 を一定にし、もう一方の光ビームのパワー P_2 を変えながら、光音響信号強度が最低となる光パワーを探す。光音響信号強度が最低となる光パワー P_2 の変化量より被測定物内の特定成分(例えばグルコース)の濃度の正確な測定を行う。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2014-50563号公報

【特許文献2】特開2013-106874号公報

【特許文献3】特開2012-179212号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

従来のOPBS法では、被測定物が多くの成分により構成されている場合、目的とする成分の濃度(例えばグルコース濃度)を選択的かつ高精度に測定するために、2つ以上のいくつかの波長の光を組み合わせて測定を行う必要があり、同一光出力口から照射するためには波長が増えた分だけ測定装置が複雑になるという問題があった。

【0008】

10

20

30

40

50

複数波長の光を同一の光出力口から被測定物の同一領域に照射する場合、光を合波するために光カプラを用いるが、その際原理的に光カプラ1つにつき3dBの光損失が生じる。光の波長の数に応じて必要な光カプラが増加し、光の損失が大きくなり無視できないものとなる。また、光カプラのコストが大きくなる。例えば、4波長の光を用いてOPBS法を行う場合の濃度測定装置の構成を図18に示す。

【0009】

図18の成分濃度測定装置は、レーザ光を放射するレーザダイオード1-1~1-4と、レーザダイオード1-1~1-4を駆動するレーザドライバ2と、レーザダイオード1-1~1-4から放射されたレーザ光を導く光ファイバ3-1~3-4と、レーザダイオード1-1, 1-2から放射されたレーザ光を合波する光カプラ4-1と、レーザダイオード1-3, 1-4から放射されたレーザ光を合波する光カプラ4-2と、光カプラ4-1によって合波されたレーザ光を導く光ファイバ5-1と、光カプラ4-2によって合波されたレーザ光を導く光ファイバ5-2と、光ファイバ5-1, 5-2からのレーザ光を合波する光カプラ6と、光カプラ6によって合波されたレーザ光を導く光ファイバ7と、光音響効果によって被測定物13から発生する光音響信号を検出し、音圧に比例した電気信号に変換する音響センサ8と、音響センサ8から出力された電気信号を増幅する増幅器9と、参照信号を発生するファンクションジェネレータ10と、増幅器9の出力信号とファンクションジェネレータ10から出力された参照信号とを入力として、増幅器9の出力信号から所望の周波数の測定信号を検出するロックインアンプ11と、ファンクションジェネレータ10およびロックインアンプ11を制御すると共に、ロックインアンプ11が検出した測定信号を処理して特定の成分濃度を導出するコンピュータからなる情報処理装置12とから構成される。

【0010】

複数の波長の光を合波する上記以外の装置構成としては、図19に示すようにアレイ導波路型回折格子(AWG:arrayed-waveguide grating)14と、AWG14によって合波されたレーザ光を導く光ファイバ15とを用いる構成や、図20に示すように偏光ビームスプリッタ(PBS:Polarizing Beam Splitter)16-1~16-4を用いる構成や、図21に示すように回折格子17を用いる構成がある。しかしながら、図19~図21に示した構成では、実効的な光の損失が避けられず、装置構成も複雑になってしまふことが問題である。

【0011】

本発明は、上記課題を解決するためになされたもので、装置構成を簡略化し、また光損失を低減することができる成分濃度測定装置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】

【0012】

本発明の成分濃度測定装置は、互いに波長が異なるn波(nは3以上の整数)の光のうち2波の光を同一の周波数で且つ異なる位相の信号によりそれぞれ強度変調して放射する光源と、この光源からの2波の光をそれぞれ独立に被測定物に導く光導波手段と、前記2波の光のうち少なくとも一方の光のパワーを変化させる光パワー制御手段と、光照射によって前記被測定物から発生する光音響信号を検出して電気信号を出力する光音響信号検出手段と、前記2波の光のうち少なくとも一方の光のパワーを測定する光強度測定手段と、前記電気信号の強度を測定する信号強度測定手段と、光のパワーを変化させて前記電気信号の強度が最低となったときの前記光強度測定手段の測定結果に基づいて、前記被測定物に含まれる測定対象の成分の濃度を導出する濃度導出手段とを備え、前記光導波手段は、前記光源からのn波の光を前記被測定物に独立に照射するためのn個の出射端が互いに近接して配置されたものであり、前記濃度導出手段は、前記n波の光の中から選択し得る2波の組み合わせのうち少なくとも一部の組み合わせの各々について求めた前記光強度測定手段の測定結果に基づいて、前記測定対象の成分の濃度を導出することを特徴とするものである。

【0013】

10

20

30

40

50

また、本発明の成分濃度測定装置の1構成例において、前記光導波手段のn個の出射端の間隔は、前記被測定物に照射される2波の光が互いに重なる領域の体積が所定値以上となるように設定されることを特徴とするものである。

また、本発明の成分濃度測定装置の1構成例において、前記光導波手段のn個の出射端と前記被測定物との間隔は、前記被測定物に照射される2波の光が互いに重なる領域の体積が所定値以上となるように設定されることを特徴とするものである。

また、本発明の成分濃度測定装置の1構成例は、さらに、前記光導波手段のn個の出射端と前記被測定物との間に前記n個の出射端を固定するように設けられた、光を透過する材料からなるスペーサを備えることを特徴とするものである。

【0014】

また、本発明の成分濃度測定装置の1構成例において、前記光導波手段は、少なくとも前記被測定物に近い部分がファイバアレイで構成され、このファイバアレイのn本のファイバの出射端が前記被測定物と対向するように配置されることを特徴とするものである。

また、本発明の成分濃度測定装置の1構成例において、前記光導波手段は、少なくとも前記被測定物に近い部分がマルチコアファイバで構成され、このマルチコアファイバのn個のコアの出射端が前記被測定物と対向するように配置されることを特徴とするものである。

また、本発明の成分濃度測定装置の1構成例は、さらに、前記光導波手段のn個の出射端と前記被測定物との間に、前記光導波手段からの光を前記被測定物に集光するための光学系を備えることを特徴とするものである。

また、本発明の成分濃度測定装置の1構成例において、前記光学系は、前記光導波手段からの光を平行に出射するものである。

【発明の効果】

【0015】

本発明によれば、光源からの光をそれぞれ独立に被測定物に導く光導波手段を設け、光源からのn波の光を被測定物に独立に照射するための光導波手段のn個の出射端を互いに近接して配置することにより、光カプラなどの合波器を必要とせず、成分濃度測定装置の光学系の構成を簡略化することができ、光損失を低減することができる。また、本発明では、光の損失を低減することで光源に要求される出力強度を緩和することができる。また、本発明では、測定に用いる光の波長数（光源数）が増えても、光導波手段の変更のみで装置構成の大きな変更を伴わずに、波長数の変更に対応することができる。

【0016】

また、本発明では、光導波手段のn個の出射端の間隔を、被測定物に照射される2波の光が互いに重なる領域の体積が所定値以上となるように設定することにより、O P B S法の実施可能な条件を満たすことができる。

【0017】

また、本発明では、光導波手段のn個の出射端と被測定物との間隔を、被測定物に照射される2波の光が互いに重なる領域の体積が所定値以上となるように設定することにより、O P B S法の実施可能な条件を満たすことができる。

【0018】

また、本発明では、光導波手段のn個の出射端と被測定物との間に、光を透過する材料からなるスペーサを設けることにより、光導波手段のn個の出射端と被測定物との間隔を一定に維持することができる。

【0019】

また、本発明では、光導波手段の少なくとも被測定物に近い部分をファイバアレイで構成することにより、光導波手段のn個の出射端の間隔を一定に維持することができる。

【0020】

また、本発明では、光導波手段の少なくとも被測定物に近い部分をマルチコアファイバで構成することにより、光導波手段のn個の出射端の間隔を一定に維持することができる。

10

20

30

40

50

【0021】

また、本発明では、光導波手段のn個の出射端と被測定物との間に、光導波手段からの光を被測定物に集光するための光学系を設けることにより、光導波手段からの光をより近接させて被測定物に照射することができる。

【図面の簡単な説明】

【0022】

【図1】本発明の第1の実施の形態に係る成分濃度測定装置の構成を示すブロック図である。

【図2】本発明の第1の実施の形態に係る成分濃度測定装置の情報処理装置の構成を示すブロック図である。 10

【図3】本発明の第1の実施の形態に係る成分濃度測定装置の動作を示すフローチャートである。

【図4】本発明の第1の実施の形態における光ファイバの出射端の配置例を示す図である。

【図5】本発明の第1の実施の形態における光ファイバの出射端の別の配置例を示す図である。

【図6】2本のシングルモードファイバから光を出射させたときの光が重なる領域を示す図である。

【図7】本発明の第1の実施の形態に係る成分濃度測定装置の別の構成を示すブロック図である。 20

【図8】本発明の第2の実施の形態に係る成分濃度測定装置の構成を示すブロック図である。

【図9】本発明の第3の実施の形態に係る成分濃度測定装置の構成を示すブロック図である。

【図10】本発明の第4の実施の形態に係る成分濃度測定装置の構成を示すブロック図である。

【図11】本発明の第5の実施の形態に係る成分濃度測定装置の構成を示すブロック図である。

【図12】本発明の第6の実施の形態に係る成分濃度測定装置の構成を示すブロック図である。 30

【図13】本発明の第7の実施の形態に係る成分濃度測定装置の構成を示すブロック図である。

【図14】本発明の第8の実施の形態に係る成分濃度測定装置の構成を示すブロック図である。

【図15】本発明の第8の実施の形態に係る成分濃度測定装置の光学系の構成例を示す図である。

【図16】本発明の第8の実施の形態に係る成分濃度測定装置の光学系の別の構成例を示す図である。

【図17】本発明の第9の実施の形態に係る成分濃度測定装置の構成を示すブロック図である。 40

【図18】従来の成分濃度測定装置の構成を示すブロック図である。

【図19】従来の成分濃度測定装置の別の構成を示すブロック図である。

【図20】従来の成分濃度測定装置の別の構成を示すブロック図である。

【図21】従来の成分濃度測定装置の別の構成を示すブロック図である。

【発明を実施するための形態】

【0023】

[第1の実施の形態]

以下、本発明の実施の形態について図面を参照して説明する。図1は本発明の第1の実施の形態に係る成分濃度測定装置の構成を示すブロック図であり、図18～図21と同様の構成には同一の符号を付してある。本実施の形態の成分濃度測定装置は、レーザ光を放

10

20

30

40

50

射する光源となるレーザダイオード 1 - 1 ~ 1 - 4 と、レーザダイオード 1 - 1 ~ 1 - 4 を駆動するレーザドライバ 2 と、光音響効果によって被測定物 13 から発生する光音響信号を検出し、音圧に比例した電気信号に変換する光音響信号検出手段となる音響センサ 8 と、音響センサ 8 から出力された電気信号を増幅する増幅器 9 と、参照信号を発生するファンクションジェネレータ 10 と、増幅器 9 の出力信号とファンクションジェネレータ 10 から出力された参照信号とを入力として、増幅器 9 の出力信号から所望の周波数の測定信号を検出するロックインアンプ 11 と、ファンクションジェネレータ 10 およびロックインアンプ 11 を制御すると共に、ロックインアンプ 11 が検出した測定信号を処理して特定の成分濃度を導出するコンピュータからなる情報処理装置 12 と、レーザダイオード 1 - 1 ~ 1 - 4 から放射されたレーザ光をそれぞれ独立に被測定物 13 に導く光導波手段となる光ファイバ 20 - 1 ~ 20 - 4 とから構成される。

10

【0024】

情報処理装置 12 とファンクションジェネレータ 10 とは、光パワー制御手段を構成している。レーザダイオード 1 - 1 ~ 1 - 4 の例としては、例えば分布帰還型半導体レーザ (DFB-LD) 等がある。音響センサ 8 の例としては、マイクロホンがある。

【0025】

図 2 は情報処理装置 12 の構成を示すブロック図である。情報処理装置 12 は、ファンクションジェネレータ 10 を介して光のパワーを制御する光パワー制御部 120 と、レーザダイオード 1 - 1 ~ 1 - 4 から放射された光のパワーを測定する光強度測定手段となる光パワー測定部 121 と、ロックインアンプ 11 から出力される測定信号の強度を測定する信号強度測定部 122 と、光パワー測定部 121 と信号強度測定部 122 の測定結果に基づいて、被測定物 13 内の特定成分 (例えばグルコース) の濃度を導出する濃度導出部 123 と、情報記憶のための記憶部 124 とを有する。

20

【0026】

次に、本実施の形態の成分濃度測定装置の動作を図 3 のフローチャートを参照して説明する。レーザドライバ 2 から駆動電流が供給されると、レーザダイオード 1 - 1 ~ 1 - 4 はレーザ光を放射する。本実施の形態では、4つのレーザダイオード 1 - 1 ~ 1 - 4 のうちいずれか 2 つからレーザ光を放射させる。このとき、ファンクションジェネレータ 10 は、一方のレーザダイオードを駆動するための参照信号と、他方のレーザダイオードを駆動するための参照信号とを出力する。

30

【0027】

レーザドライバ 2 は、ファンクションジェネレータ 10 から出力される 2 つの参照信号に応じて、同一周波数で逆位相の矩形波の駆動電流を 2 つのレーザダイオードに供給することにより、2 つのレーザダイオードから放射される光を同一周波数で逆位相の信号によりそれぞれ強度変調する。

【0028】

4 つのレーザダイオード 1 - 1 ~ 1 - 4 から放射される光の波長は互いに異なる。本実施の形態では、特許文献 1 で挙げている 4 波長を使うものとして、レーザダイオード 1 - 1 から放射される光の波長 ₁ を 2120 nm、レーザダイオード 1 - 2 から放射される光の波長 ₂ を 1870 nm、レーザダイオード 1 - 3 から放射される光の波長 ₃ を 1610 nm、レーザダイオード 1 - 4 から放射される光の波長 ₄ を 1380 nm とする。ファンクションジェネレータ 10 から出力される 2 つの参照信号の周波数は同一であり、位相が (180°) だけ異なっている。したがって、本実施の形態のように、4 つのレーザダイオード 1 - 1 ~ 1 - 4 のうちいずれか 2 つからレーザ光を放射させると、互いに異なる波長の 2 波のレーザ光を同一周波数で逆位相の信号によりそれぞれ強度変調して 2 つの強度変調光を生成することになる。

40

【0029】

まず、2 つのレーザダイオード 1 - 1, 1 - 2 (₁ = 2120 nm, ₂ = 1870 nm) を動作させる。情報処理装置 12 の光パワー制御部 120 は、ファンクションジェネレータ 10 を制御して、レーザダイオード 1 - 1 を駆動するための参照信号の電圧 V_1 、

50

レーザダイオード 1 - 2 を駆動するための参照信号の電圧 V_2 をそれぞれ初期値に設定することにより、レーザダイオード 1 - 1 から放射される光のパワー P_1 、レーザダイオード 1 - 2 から放射される光のパワー P_2 を初期値に設定する（図 3 ステップ S 1）。

【0030】

レーザダイオード 1 - 1, 1 - 2 から放射された強度変調光は、それぞれ光ファイバ 20 - 1, 20 - 2 によって導かれ、被測定物 13 に照射される（図 3 ステップ S 2）。ここで、本実施の形態では、全ての光ファイバ 20 - 1 ~ 20 - 4 の出射端が近接して配置されている。この近接配置については後でより詳細に説明する。

【0031】

情報処理装置 12 の光パワー測定部 121 は、レーザダイオード 1 - 2 から放射された光のパワー P_2 を測定する（図 3 ステップ S 3）。光パワー測定部 121 は、ファンクションジェネレータ 10 から出力されている、レーザダイオード 1 - 2 の駆動用の参照信号の電圧 V_2 を取得する。情報処理装置 12 の記憶部 124 には、参照信号の電圧 V_2 とレーザダイオード 1 - 2 から放射される光のパワー P_2 との関係を示すキャリブレーションデータが予め記憶されている。キャリブレーションデータは、電圧 V_2 とパワー P_2 の実測により予め求めておくことができる。光パワー測定部 121 は、このようなキャリブレーションデータを参照し、取得した参照信号の電圧 V_2 を、レーザダイオード 1 - 2 から放射された光のパワー P_2 に換算する。このパワー P_2 の値は記憶部 124 に格納される。

【0032】

音響センサ 8 は、被測定物 13 から発生する光音響信号を検出し、増幅器 9 は、音響センサ 8 から出力された電気信号を増幅する。ロックインアンプ 11 は、増幅器 9 の出力に含まれる信号のうち、ファンクションジェネレータ 10 から出力される参照信号によって決まる周波数の測定信号を検出する。

【0033】

情報処理装置 12 の信号強度測定部 122 は、ロックインアンプ 11 から出力される測定信号の強度 S （信号振幅）を測定する（図 3 ステップ S 4）。この強度 S の値は記憶部 124 に格納される。

【0034】

予め定められた所定のパワー P_2 の範囲について測定を終えていない場合（図 3 ステップ S 5 において NO）、情報処理装置 12 の光パワー制御部 120 は、ファンクションジェネレータ 10 を制御して、レーザダイオード 1 - 2 を駆動するための参照信号の電圧 V_2 を変化させることにより、レーザドライバ 2 からレーザダイオード 1 - 2 に供給される駆動電流の大きさを変化させ、レーザダイオード 1 - 2 から放射される光のパワー P_2 を変化させる（図 3 ステップ S 6）。このとき、レーザダイオード 1 - 1 を駆動するための参照信号の電圧 V_1 は一定、すなわちレーザダイオード 1 - 1 から放射される光のパワー P_1 は初期値のまま一定である。こうして、予め定められた所定のパワー P_2 の範囲について測定を終えるまで（ステップ S 5 において YES）、ステップ S 3 ~ S 6 の処理が繰り返し実行される。

【0035】

予め定められたレーザの組み合わせについて測定を終えていない場合（図 3 ステップ S 7 において NO）、次のレーザの組み合わせ、具体的にはレーザダイオード 1 - 1, 1 - 3 ($\lambda_1 = 2120 \text{ nm}$, $\lambda_3 = 1610 \text{ nm}$) を動作させる。光パワー制御部 120 は、ファンクションジェネレータ 10 を制御して、レーザダイオード 1 - 1 を駆動するための参照信号の電圧 V_1 、レーザダイオード 1 - 3 を駆動するための参照信号の電圧 V_3 をそれぞれ初期値に設定することにより、レーザダイオード 1 - 1 から放射される光のパワー P_1 、レーザダイオード 1 - 3 から放射される光のパワー P_3 を初期値に設定する（ステップ S 1）。

【0036】

レーザダイオード 1 - 1, 1 - 3 から放射された強度変調光は、それぞれ光ファイバ 20 - 1, 20 - 3 によって導かれ、被測定物 13 に照射される（ステップ S 2）。光パワー

10

20

30

40

50

－測定部 121 は、レーザダイオード 1 - 3 から放射された光のパワー P_3 を測定する（ステップ S3）。光パワー測定部 121 は、参照信号の電圧 V_3 とレーザダイオード 1 - 3 から放射される光のパワー P_3 との関係を示すキャリブレーションデータを用いて、参照信号の電圧 V_3 を、光のパワー P_3 に換算する。このパワー P_3 の値は記憶部 124 に格納される。

【0037】

ステップ S4 の処理は上記のとおりである。予め定められた所定のパワー P_3 の範囲について測定を終えていない場合（ステップ S5においてNO）、光パワー制御部 120 は、ファンクションジェネレータ 10 を制御して、参照信号の電圧 V_3 を変化させることにより、レーザダイオード 1 - 3 から放射される光のパワー P_3 を変化させる（ステップ S6）。このとき、レーザダイオード 1 - 1 から放射される光のパワー P_1 は初期値のまま一定である。こうして、予め定められた所定のパワー P_3 の範囲について測定を終えるまで（ステップ S5においてYES）、ステップ S3～S6 の処理が繰り返し実行される。

10

【0038】

次に、別のレーザの組み合わせ、具体的にはレーザダイオード 1 - 1, 1 - 4 ($\lambda_1 = 2120 \text{ nm}$ 、 $\lambda_4 = 1380 \text{ nm}$) を動作させる。光パワー制御部 120 は、ファンクションジェネレータ 10 を制御して、レーザダイオード 1 - 1 を駆動するための参照信号の電圧 V_1 、レーザダイオード 1 - 4 を駆動するための参照信号の電圧 V_4 をそれぞれ初期値に設定することにより、レーザダイオード 1 - 1 から放射される光のパワー P_1 、レーザダイオード 1 - 4 から放射される光のパワー P_4 を初期値に設定する（ステップ S1）。

20

【0039】

レーザダイオード 1 - 1, 1 - 4 から放射された強度変調光は、それぞれ光ファイバ 20 - 1, 20 - 4 によって導かれ、被測定物 13 に照射される（ステップ S2）。光パワー測定部 121 は、レーザダイオード 1 - 4 から放射された光のパワー P_4 を測定する（ステップ S3）。光パワー測定部 121 は、参照信号の電圧 V_4 とレーザダイオード 1 - 4 から放射される光のパワー P_4 との関係を示すキャリブレーションデータを用いて、参照信号の電圧 V_4 を、光のパワー P_4 に換算する。このパワー P_4 の値は記憶部 124 に格納される。

30

【0040】

ステップ S4 の処理は上記のとおりである。予め定められた所定のパワー P_4 の範囲について測定を終えていない場合（ステップ S5においてNO）、光パワー制御部 120 は、ファンクションジェネレータ 10 を制御して、参照信号の電圧 V_4 を変化させることにより、レーザダイオード 1 - 4 から放射される光のパワー P_4 を変化させる（ステップ S6）。このとき、レーザダイオード 1 - 1 から放射される光のパワー P_1 は初期値のまま一定である。こうして、予め定められた所定のパワー P_4 の範囲について測定を終えるまで（ステップ S5においてYES）、ステップ S3～S6 の処理が繰り返し実行される。

【0041】

次に、レーザダイオード 1 - 2, 1 - 3 ($\lambda_2 = 1870 \text{ nm}$ 、 $\lambda_3 = 1610 \text{ nm}$) を動作させる。このときの動作は、上記のレーザダイオード 1 - 1, 1 - 3 ($\lambda_1 = 2120 \text{ nm}$ 、 $\lambda_3 = 1610 \text{ nm}$) の組み合わせにおいて、レーザダイオード 1 - 1 の代わりにレーザダイオード 1 - 2 を用いたものに相当するので、説明は省略する。

40

【0042】

次に、レーザダイオード 1 - 2, 1 - 4 ($\lambda_2 = 1870 \text{ nm}$ 、 $\lambda_4 = 1380 \text{ nm}$) を動作させる。このときの動作は、上記のレーザダイオード 1 - 1, 1 - 4 ($\lambda_1 = 2120 \text{ nm}$ 、 $\lambda_4 = 1380 \text{ nm}$) の組み合わせにおいて、レーザダイオード 1 - 1 の代わりにレーザダイオード 1 - 2 を用いたものに相当するので、説明は省略する。

【0043】

最後に、レーザダイオード 1 - 3, 1 - 4 ($\lambda_3 = 1610 \text{ nm}$ 、 $\lambda_4 = 1380 \text{ nm}$) を動作させる。このときの動作は、上記のレーザダイオード 1 - 1, 1 - 4 ($\lambda_1 = 2120 \text{ nm}$ 、 $\lambda_4 = 1380 \text{ nm}$) の組み合わせにおいて、レーザダイオード 1 - 1 の代わりにレーザダイオード 1 - 3 を用いたものに相当するので、説明は省略する。

50

20 nm、 $\lambda_4 = 1380 \text{ nm}$ の組み合わせにおいて、レーザダイオード 1 - 1 の代わりにレーザダイオード 1 - 3 を用いたものに相当するので、説明は省略する。

こうして、選択し得る 2 つのレーザダイオードの全ての組み合わせについて測定を終えるまで（ステップ S 7 において YES）、ステップ S 1 ~ S 6 の処理を繰り返す。

【0044】

次に、測定開始時から任意の時間 t 経過後に再び測定を行う。図 3 のステップ S 8, S 9, S 10, S 11, S 12, S 13, S 14 の処理は、それぞれ S 1, S 2, S 3, S 4, S 5, S 6, S 7 の処理と同じなので、説明は省略する。

【0045】

測定開始時点と任意の時間 t 経過後の時点の 2 回測定を行った後に（図 3 ステップ S 14 において YES）、情報処理装置 12 の濃度導出部 123 は、被測定物 13 内の特定成分の濃度 C_a, C_b, C_c, \dots 、および被測定物 13 の温度 T を導出する（図 3 ステップ S 15）。

【0046】

2 波長による O P B S 法を n 波長（ n は 3 以上の整数で、本実施の形態では $n = 4$ ）による O P B S 法に拡張すると、 $(n(n-1)/2)$ の組み合わせを取り得る。結果として、 n 個の光波長から、 $(n(n-1)/2)$ の方程式を得ることができる。ここで、 M 個（ M は 2 以上の整数）の未知パラメータ、例えば C_a, C_b, C_c, \dots, T を有する被測定物 13 を考える。上記のとおり、 C_a, C_b, C_c, \dots は被測定物 13 中の特定成分の濃度であり、 T は被測定物の温度である。濃度 C_a の例としては、血液グルコースの濃度がある。濃度 C_b の例としてはアルブミンの濃度がある。 $(n(n-1)/2)$ の方程式を解くためには、上記の波長の数 n は $(n(n-1)/2) \geq M$ を満たす整数である必要がある。

【0047】

レーザダイオード 1 - 1, 1 - 2 ($\lambda_1 = 2120 \text{ nm}, \lambda_2 = 1870 \text{ nm}$) の組み合わせを用いたときに、測定開始時点のステップ S 3 ~ S 6 の処理において測定信号の強度 S が最低となったときの光のパワー P_2 を $P_2(t=0)$ 、任意の時間 t 経過後のステップ S 10 ~ S 13 の処理において測定信号の強度 S が最低となったときの光のパワー P_2 を $P_2(t)$ とすると、測定結果である信号レスポンス O P B S (λ_1, λ_2) は以下のようになる。

【0048】

【数 1】

$$\text{OPBS}(\lambda_1, \lambda_2) = \frac{P_2(t) - P_2(t=0)}{P_2(t=0)} \quad \dots \quad (1)$$

【0049】

レーザダイオード 1 - 1, 1 - 3 ($\lambda_1 = 2120 \text{ nm}, \lambda_3 = 1610 \text{ nm}$) の組み合わせを用いたときに、測定開始時点のステップ S 3 ~ S 6 の処理において測定信号の強度 S が最低となったときの光のパワー P_3 を $P_3(t=0)$ 、任意の時間 t 経過後のステップ S 10 ~ S 13 の処理において測定信号の強度 S が最低となったときの光のパワー P_3 を $P_3(t)$ とすると、測定結果である信号レスポンス O P B S (λ_1, λ_3) は以下のようになる。

【0050】

【数 2】

$$\text{OPBS}(\lambda_1, \lambda_3) = \frac{P_3(t) - P_3(t=0)}{P_3(t=0)} \quad \dots \quad (2)$$

【0051】

10

20

30

40

50

レーザダイオード 1 - 1 , 1 - 4 ($\lambda_1 = 2120 \text{ nm}$, $\lambda_4 = 1380 \text{ nm}$) の組み合わせを用いたときに、測定開始時点のステップ S 3 ~ S 6 の処理において測定信号の強度 S が最低となったときの光のパワー P_4 を $P_4(t=0)$ 、任意の時間 t 経過後のステップ S 10 ~ S 13 の処理において測定信号の強度 S が最低となったときの光のパワー P_4 を $P_4(t)$ とすると、測定結果である信号レスポンス O P B S (λ_1 , λ_4) は以下のようになる。

【 0 0 5 2 】

【 数 3 】

$$\text{OPBS}(\lambda_1, \lambda_4) = \frac{P_4(t) - P_4(t=0)}{P_4(t=0)} \quad \dots \quad (3)$$

10

【 0 0 5 3 】

レーザダイオード 1 - 2 , 1 - 3 ($\lambda_2 = 1870 \text{ nm}$, $\lambda_3 = 1610 \text{ nm}$) の組み合わせを用いたときに、測定開始時点のステップ S 3 ~ S 6 の処理において測定信号の強度 S が最低となったときの光のパワー P_3 を $P_3(t=0)$ 、任意の時間 t 経過後のステップ S 10 ~ S 13 の処理において測定信号の強度 S が最低となったときの光のパワー P_3 を $P_3(t)$ とすると、測定結果である信号レスポンス O P B S (λ_2 , λ_3) は以下のようになる。

【 0 0 5 4 】

20

【 数 4 】

$$\text{OPBS}(\lambda_2, \lambda_3) = \frac{P_3(t) - P_3(t=0)}{P_3(t=0)} \quad \dots \quad (4)$$

【 0 0 5 5 】

レーザダイオード 1 - 2 , 1 - 4 ($\lambda_2 = 1870 \text{ nm}$, $\lambda_4 = 1380 \text{ nm}$) の組み合わせを用いたときに、測定開始時点のステップ S 3 ~ S 6 の処理において測定信号の強度 S が最低となったときの光のパワー P_4 を $P_4(t=0)$ 、任意の時間 t 経過後のステップ S 10 ~ S 13 の処理において測定信号の強度 S が最低となったときの光のパワー P_4 を $P_4(t)$ とすると、測定結果である信号レスポンス O P B S (λ_2 , λ_4) は以下のようになる。

30

【 0 0 5 6 】

【 数 5 】

$$\text{OPBS}(\lambda_2, \lambda_4) = \frac{P_4(t) - P_4(t=0)}{P_4(t=0)} \quad \dots \quad (5)$$

【 0 0 5 7 】

レーザダイオード 1 - 3 , 1 - 4 ($\lambda_3 = 1610 \text{ nm}$, $\lambda_4 = 1380 \text{ nm}$) の組み合わせを用いたときに、測定開始時点のステップ S 3 ~ S 6 の処理において測定信号の強度 S が最低となったときの光のパワー P_4 を $P_4(t=0)$ 、任意の時間 t 経過後のステップ S 10 ~ S 13 の処理において測定信号の強度 S が最低となったときの光のパワー P_4 を $P_4(t)$ とすると、測定結果である信号レスポンス O P B S (λ_3 , λ_4) は以下のようになる。

40

【 0 0 5 8 】

【数6】

$$OPBS(\lambda_3, \lambda_4) = \frac{P_4(t) - P_4(t=0)}{P_4(t=0)} \quad \dots \quad (6)$$

【0059】

OPBS法による測定結果である信号レスポンスOPBS(λ_1, λ_2), OPBS(λ_1, λ_3), OPBS(λ_1, λ_4), ..., OPBS(λ_{n-1}, λ_n)は、次式のように表現できる。n個(本実施の形態ではn=4)のレーザダイオードの中から選択し得る2つのレーザダイオードの全ての組み合わせはn(n-1)/2とおりであるから、OPBS法により得られる信号レスポンスもn(n-1)/2個となる。

$$OPBS(\lambda_1, \lambda_2) = Q a_{1,2} C a + Q b_{1,2} C b + Q c_{1,2} C c \\ + \dots + Q t_{1,2} T$$

$$OPBS(\lambda_1, \lambda_3) = Q a_{1,3} C a + Q b_{1,3} C b + Q c_{1,3} C c \\ + \dots + Q t_{1,3} T$$

$$OPBS(\lambda_1, \lambda_4) = Q a_{1,4} C a + Q b_{1,4} C b + Q c_{1,4} C c \\ + \dots + Q t_{1,4} T$$

...

$$OPBS(\lambda_{n-1}, \lambda_n) = Q a_{n-1,n} C a + Q b_{n-1,n} C b + Q c_{n-1,n} C c \\ + \dots + Q t_{n-1,n} T \quad \dots \quad (7)$$

20

【0060】

ここで、 $Q a_{i,j}$, $Q b_{i,j}$, $Q c_{i,j}$, ..., $Q t_{i,j}$ ($i, j = 1 \sim n$ で、 $i \neq j$)は比例係数である。この係数 $Q a_{i,j}$, $Q b_{i,j}$, $Q c_{i,j}$, ..., $Q t_{i,j}$ の値は、想定されるそれぞれの組成物(グルコースやアルブミン、その他の血液成分等)を一つ一つ評価したキャリブレーション測定で予め実験的に得られている。こうして、濃度導出部123は、式(7)の連立方程式を解くことにより、M個の未知パラメータ $C a$, $C b$, $C c$, ..., T を決定することができる。

【0061】

なお、光の波長は本実施の形態の例に限るものではなく、また波長の組み合わせの順番も本実施の形態の順番どおりにしなくても構わない。光の波長は、目的とする成分の濃度を高精度に測定できるように適宜選択すればよい。また、n波の光の中から選択し得る2波の組み合わせの全てを使用しなくてもよく、選択し得る2波の組み合わせのうち一部を用いて測定を行ってもよい。

30

【0062】

また、本実施の形態では、図4に示すように光ファイバ20-1~20-4の出射端を1次元的に配置しているが、図5に示すように光ファイバ20-1~20-4の出射端を2次元的に配置してもよい。

【0063】

本実施の形態では、隣接する光ファイバ20-1~20-4の出射端の間隔(図4、図5のD)と、光ファイバ20-1~20-4の出射端と被測定物13との間隔(図4、図5のL)を調節することで、光が照射される被測定物13上の領域を適切に設定することができる。

40

【0064】

隣接する光ファイバ20-1~20-4の出射端の間隔と、光ファイバ20-1~20-4の出射端と被測定物13との間隔の目安について説明する。波長の光がコア径dの光ファイバから照射された場合、光が距離z進んだときの光ビームの半径rは、光の回折から下記のように記述できる。

$$r = 1.22 (d / \lambda) z \quad \dots \quad (8)$$

【0065】

50

例えば 1382 nm と 1610 nm の波長の光を用いて、この 2 つの波長の光を出射する 2 本のシングルモードファイバ（ビーム径 10 μm）の出射端を 100 μm の間隔で近接させたときに、それぞれのシングルモードファイバから出射する光ビームの重なり方は図 6 に示すようになっている。

【0066】

図 6 の横軸は出射端からの距離、縦軸は 2 本のシングルモードファイバの出射端が並ぶ方向（例えば図 4 の上下方向）の距離である。ここでは、波長 1382 nm の光を出射するシングルモードファイバの出射端を縦軸上の距離 0 mm の位置に配置し、波長 1610 nm の光を出射するシングルモードファイバの出射端を 100 μm ずらしていることになる。

10

【0067】

2 本の直線 60, 61 は波長 1382 nm の光ビームの外縁を表しており、この直線 60, 61 で囲まれる領域が波長 1382 nm の光ビームが照射される領域である。同様に、2 本の直線 62, 63 は波長 1610 nm の光ビームの外縁を表しており、この直線 62, 63 で囲まれる領域が波長 1610 nm の光ビームが照射される領域である。光ビームが重なる領域のズレが 200 μm 程度以下に収まることが望ましいため、図 6 の例の場合、シングルモードファイバの出射端と被測定物 13 との間隔を 2 mm 以上として測定を行うことが望ましいことが分かる。

【0068】

OPS 法が実施可能な条件として、2 つの波長の光のうち 1 つの波長の光が照射される領域の体積を 100 % としたとき、照射される 2 つの波長の光が互いに重なる領域の体積が 80 % 以上になることが望ましい。他の波長の組み合わせの場合も本条件を満たすように光を照射することが望ましい。また、この条件を満たすように光ファイバ 20-1 ~ 20-4 の出射端を配置することが必要である。光ファイバの出射端と被測定物 13 との間隔 x は、1 つの波長の光が照射される領域の体積 V_1 と、2 つの波長の光が互いに重なる領域の体積 $V_1 \cap V_2$ の条件を満たす関数として下記のように書くことができる。

20

【0069】

【数 7】

$$x = f\left(\frac{V_{\lambda_1 \cap \lambda_2}}{V_{\lambda_1}} > 0.8\right) \quad \dots (9)$$

30

【0070】

測定に際し、OPS 信号を観察し、光音響効果により発生する測定信号の強度 S の最小値を見ることで、光が照射される被測定物 13 上の領域の調節が適切かどうかを確認することができる。

【0071】

具体的には、従来のように測定に利用する 2 波長の光を光カプラで合波して被測定物 13 に照射したときに光音響効果により発生する測定信号の強度 S の最小値と、本実施の形態の構成で 2 波長の光を被測定物 13 に照射したときに光音響効果により発生する測定信号の強度 S の最小値とを比較することで、本実施の形態の構成で被測定物 13 に光が適切に照射されているかどうかを確認することができる。

40

【0072】

光ファイバ 20-1 ~ 20-4 の出射端と被測定物 13 との間隔の維持が不完全であると、測定精度が劣化するため、図 7 に示すように間隔を調節するために光の吸収の少ない光透過材料からなるスペーサ 21 を光ファイバ 20-1 ~ 20-4 の出射端と被測定物 13 との間に設けることが望ましい。このようなスペーサ 21 に光ファイバ 20-1 ~ 20-4 の出射端を固定すればよい。スペーサ 21 の材料としては、例えば、石英、サファイアグラスが利用できる。スペーサ 21 には、反射防止膜が設けられていることが望ましい。

50

【0073】

同様に、光ファイバ20-1～20-4の出射端には、反射防止膜が設けられていることが望ましい。反射防止膜を設けることで、光が照射される領域が多重反射によって不安定になることを防止することができる。

【0074】

以上のように、本実施の形態では、光カプラなどの合波器を必要とせず、成分濃度測定装置の光学系の構成を簡略化することができ、光損失を低減することができる。4波長の光を用いる場合で考えると、図18に示した従来の成分濃度測定装置の構成と比較して光カプラ3つを省略することができるので、光損失については6dB分低減することができる。

10

【0075】

特許文献1によれば、血液中グルコースの濃度測定に利用する光として、2120nm、1870nm、1610nm、1380nmの4波長を提案している。この場合、測定の組み合わせとして6セットの測定を行う必要があるが、本実施の形態のように、光ファイバ20-1～20-4の出射端を十分に近接させておけば、光カプラを用いることなく、光のオン／オフだけで測定を行うことができる。

【0076】

[第2の実施の形態]

次に、本発明の第2の実施の形態について説明する。図8は本発明の第2の実施の形態に係る成分濃度測定装置の構成を示すブロック図であり、図1と同一の構成には同一の符号を付してある。本実施の形態の成分濃度測定装置は、レーザダイオード1-1～1-4と、レーザドライバ2と、音響センサ8と、増幅器9と、ファンクションジェネレータ10と、ロックインアンプ11と、情報処理装置12と、光ファイバ20-1～20-4と、光ファイバ20-1～20-4と共に光導波手段を構成するファイバアレイ22とから構成される。

20

【0077】

本実施の形態は、第1の実施の形態において、光ファイバ20-1～20-4の先端にファイバアレイ22を接続し、このファイバアレイ22から被測定物13に光を照射するようにしたものである。第1の実施の形態の例では、4本の光ファイバ20-1～20-4を用いているので、ファイバアレイ22としては、4本の光ファイバ20-1～20-4からの光を被測定物13に独立に導く光ファイバ芯線が最低4芯あるものを用いればよい。

30

【0078】

ファイバアレイ22中の各ファイバの出射端の間隔と、ファイバアレイ22中の各ファイバの出射端と被測定物13との間隔は、第1の実施の形態の式(9)で説明した条件を満たすように設定すればよい。被測定物13内の特定成分の濃度の測定方法は第1の実施の形態で説明したとおりである。こうして、本実施の形態では、第1の実施の形態と同様の効果を得ることができる。

【0079】

[第3の実施の形態]

次に、本発明の第3の実施の形態について説明する。図9は本発明の第3の実施の形態に係る成分濃度測定装置の構成を示すブロック図であり、図1と同一の構成には同一の符号を付してある。本実施の形態の成分濃度測定装置は、レーザダイオード1-1～1-4と、レーザドライバ2と、音響センサ8と、増幅器9と、ファンクションジェネレータ10と、ロックインアンプ11と、情報処理装置12と、光ファイバ20-1～20-4と、光ファイバ20-1～20-4と共に光導波手段を構成する平面光波回路(PLC:Planar Lightwave Circuit)23とから構成される。

40

【0080】

本実施の形態は、第1の実施の形態において、光ファイバ20-1～20-4の先端にPLC23を接続し、このPLC23から被測定物13に光を照射するようにしたもので

50

ある。第1の実施の形態の例では、4本の光ファイバ20-1~20-4を用いているので、PLC23としては、4本の光ファイバ20-1~20-4からの光を被測定物13に独立に導く光導波路が最低4つあるものを用いればよい。

【0081】

PLC23中の各光導波路の出射端の間隔と、PLC23中の各光導波路の出射端と被測定物13との間隔は、第1の実施の形態の式(9)で説明した条件を満たすように設定すればよい。被測定物13内の特定成分の濃度の測定方法は第1の実施の形態で説明したとおりである。こうして、本実施の形態では、第1の実施の形態と同様の効果を得ることができる。

【0082】

[第4の実施の形態]

次に、本発明の第4の実施の形態について説明する。図10は本発明の第4の実施の形態に係る成分濃度測定装置の構成を示すブロック図であり、図1と同一の構成には同一の符号を付してある。本実施の形態の成分濃度測定装置は、レーザダイオード1-1~1-4と、レーザドライバ2と、音響センサ8と、増幅器9と、ファンクションジェネレータ10と、ロックインアンプ11と、情報処理装置12と、光ファイバ20-1~20-4と、光ファイバ20-1~20-4と共に光導波手段を構成するマルチコアファイバ24とから構成される。

【0083】

本実施の形態は、第1の実施の形態において、光ファイバ20-1~20-4の先端にマルチコアファイバ24を接続し、このマルチコアファイバ24から被測定物13に光を照射するようにしたものである。第2の実施の形態で説明したファイバアレイ22が複数の光ファイバ芯線を束ねたものであるのに対して、マルチコアファイバ24は、クラッド内に複数のコアを設けたものである。第1の実施の形態の例では、4本の光ファイバ20-1~20-4を用いているので、マルチコアファイバ24としては、4本の光ファイバ20-1~20-4からの光を被測定物13に独立に導くコアが最低4つあるものを用いればよい。

【0084】

マルチコアファイバ24中の各コアの出射端の間隔と、マルチコアファイバ24中の各コアの出射端と被測定物13との間隔は、第1の実施の形態の式(9)で説明した条件を満たすように設定すればよい。被測定物13内の特定成分の濃度の測定方法は第1の実施の形態で説明したとおりである。こうして、本実施の形態では、第1の実施の形態と同様の効果を得ることができる。

【0085】

[第5の実施の形態]

次に、本発明の第5の実施の形態について説明する。図11は本発明の第5の実施の形態に係る成分濃度測定装置の構成を示すブロック図であり、図1と同一の構成には同一の符号を付してある。本実施の形態の成分濃度測定装置は、レーザダイオード1-1~1-4と、レーザドライバ2と、音響センサ8と、増幅器9と、ファンクションジェネレータ10と、ロックインアンプ11と、情報処理装置12と、光ファイバ20-1~20-4とから構成される。

【0086】

本実施の形態は、第1の実施の形態において、光ファイバのような光導波手段を用いるのではなく、光源となるレーザダイオード1-1~1-4を被測定物13に近接配置して、レーザダイオード1-1~1-4から被測定物13に光を直接照射するようにしたものである。

【0087】

各レーザダイオード1-1~1-4の出射端の間隔と、各レーザダイオード1-1~1-4の出射端と被測定物13との間隔は、第1の実施の形態の式(9)で説明した条件を満たすように設定すればよい。被測定物13内の特定成分の濃度の測定方法は第1の実施

10

20

30

40

50

の形態で説明したとおりである。こうして、本実施の形態では、第1の実施の形態と同様の効果を得ることができる。また、本実施の形態では、光ファイバのような光導波手段を省くことができる。

【0088】

[第6の実施の形態]

次に、本発明の第6の実施の形態について説明する。図12は本発明の第6の実施の形態に係る成分濃度測定装置の構成を示すブロック図であり、図1と同一の構成には同一の符号を付してある。本実施の形態の成分濃度測定装置は、レーザドライバ2aと、音響センサ8と、增幅器9と、ファンクションジェネレータ10と、ロックインアンプ11と、情報処理装置12と、光ファイバ20-1～20-4と、垂直共振器型面発光レーザ（VCSEL：Vertical Cavity Surface Emitting Laser）25-1～25-4とから構成される。

10

【0089】

本実施の形態は、第1の実施の形態において、レーザダイオード1-1～1-4の代わりに、光源としてVCSEL25-1～25-4を用いたものである。レーザドライバ2aは、VCSEL25-1～25-4を駆動する。4つのVCSEL25-1～25-4から放射される光の波長は互いに異なる。光ファイバ20-1～20-4は、VCSEL25-1～25-4から放射されたレーザ光を被測定物13に導く。

20

【0090】

その他の構成は第1の実施の形態と同様であり、本実施の形態においても、第1の実施の形態と同様の効果を得ることができる。なお、本実施の形態のVCSEL25-1～25-4を第2～第5の実施の形態に適用してもよいことは言うまでもない。

20

【0091】

[第7の実施の形態]

次に、本発明の第7の実施の形態について説明する。図13は本発明の第7の実施の形態に係る成分濃度測定装置の構成を示すブロック図であり、図1と同一の構成には同一の符号を付してある。本実施の形態の成分濃度測定装置は、ドライバ2bと、音響センサ8と、增幅器9と、ファンクションジェネレータ10と、ロックインアンプ11と、情報処理装置12と、光ファイバ20-1～20-4と、発光ダイオード（LED：Light Emitting Diode）26-1～26-4とから構成される。

30

【0092】

本実施の形態は、第1の実施の形態において、レーザダイオード1-1～1-4の代わりに、光源としてLED26-1～26-4を用いたものである。ドライバ2bは、LED26-1～26-4を駆動する。4つのLED26-1～26-4から放射される光の波長は互いに異なる。光ファイバ20-1～20-4は、LED26-1～26-4から放射されたレーザ光を被測定物13に導く。

【0093】

その他の構成は第1の実施の形態と同様であり、本実施の形態においても、第1の実施の形態と同様の効果を得ることができる。なお、本実施の形態のLED26-1～26-4を第2～第5の実施の形態に適用してもよいことは言うまでもない。

40

【0094】

[第8の実施の形態]

次に、本発明の第8の実施の形態について説明する。図14は本発明の第8の実施の形態に係る成分濃度測定装置の構成を示すブロック図であり、図1と同一の構成には同一の符号を付してある。本実施の形態の成分濃度測定装置は、レーザダイオード1-1～1-4と、レーザドライバ2と、音響センサ8と、增幅器9と、ファンクションジェネレータ10と、ロックインアンプ11と、情報処理装置12と、光ファイバ20-1～20-4と、光ファイバ20-1～20-4から照射された光を被測定物13に集光するための光学系27とから構成される。

【0095】

50

本実施の形態は、第1の実施の形態において、光ファイバ20-1～20-4の出射端と被測定物13との間に光学系27を設けたものである。光学系27としては、1枚乃至は複数枚のレンズがある。被測定物13内の特定成分の濃度の測定方法は第1の実施の形態で説明したとおりである。こうして、本実施の形態では、第1の実施の形態と同様の効果を得ることができる。また、本実施の形態では、光学系27としてレンズを用いることで、各光ファイバ20-1～20-4からの光をより近接させて被測定物13に照射することができる。

【0096】

光学系27の具体的な構成としては、図15(A)に示すように、2枚のレンズ100, 101または2枚以上のレンズを用いて光ファイバ20-1～20-4からの平行な光をビーム幅を狭めて平行に出射するガリレー型の構成や、図15(B)に示すように、2枚のレンズ102, 103または2枚以上のレンズを用いて光ファイバ20-1～20-4からの平行な光をビーム幅を狭めて平行に出射するケプラー型の構成がある。

10

【0097】

あるいは、光学系27として、図16に示すように、適当な角度を持って配置された光ファイバ20-1～20-4から照射される光に対して平行なビームを出射するプリズム104を用いてもよい。

【0098】

【第9の実施の形態】

次に、本発明の第9の実施の形態について説明する。図17は本発明の第9の実施の形態に係る成分濃度測定装置の構成を示すブロック図であり、図1、図18と同一の構成には同一の符号を付してある。本実施の形態の成分濃度測定装置は、レーザダイオード1-1～1-4と、レーザドライバ2と、光ファイバ3-1～3-4と、光カプラ4-1, 4-2と、音響センサ8と、增幅器9と、ファンクションジェネレータ10と、ロックインアンプ11と、情報処理装置12と、光ファイバ28-1, 28-2とから構成される。

20

【0099】

本実施の形態は、図18に示した従来の構成において、光カプラ6を省いたものである。光ファイバ28-1, 28-2は、それぞれ光カプラ4-1, 4-2からの光を被測定物13に導く。被測定物13内の特定成分の濃度の測定方法は第1の実施の形態で説明したとおりである。

30

【0100】

本実施の形態では、第1の実施の形態と比較して光カプラ4-1, 4-2の分だけ光損失が増大するが、図18に示した従来の構成と比較して光カプラ1つを省略することができ、光損失については3dB分低減することができる。

【0101】

第1～第9の実施の形態の情報処理装置12は、例えばCPU(Central Processing Unit)、記憶装置およびインターフェースを備えたコンピュータとこれらのハードウェア資源を制御するプログラムによって実現することができる。CPUは、記憶装置に格納されたプログラムに従って第1～第9の実施の形態で説明した処理を実行する。

40

【産業上の利用可能性】

【0102】

本発明は、血液グルコース、アルブミン等の成分の濃度をモニターする技術に適用することができる。

【符号の説明】

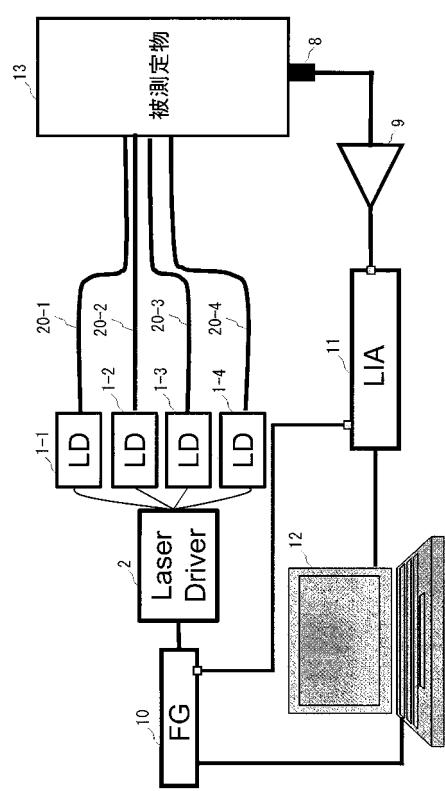
【0103】

1-1～1-4…レーザダイオード、2, 2a…レーザドライバ、2b…ドライバ、3-1～3-4, 20-1～20-4, 28-1, 28-2…光ファイバ、4-1, 4-2…光カプラ、8…音響センサ、9…増幅器、10…ファンクションジェネレータ、11…ロックインアンプ、12…情報処理装置、21…スペーサ、22…ファイバアレイ、23…平面光波回路、24…マルチコアファイバ、25-1～25-4…垂直共振器型面発光

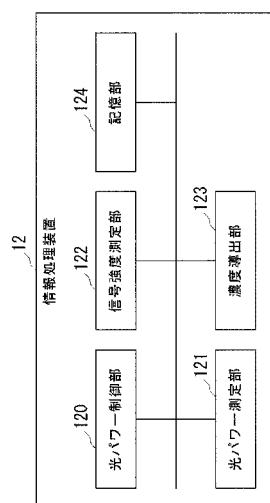
50

レーザ、26-1～26-4…発光ダイオード、27…光学系、100～103…レンズ、104…プリズム、120…光パワー制御部、121…光パワー測定部、122…信号強度測定部、123…濃度導出部、124…記憶部。

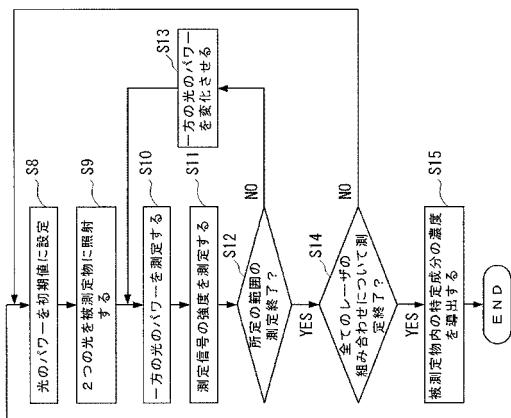
【図1】



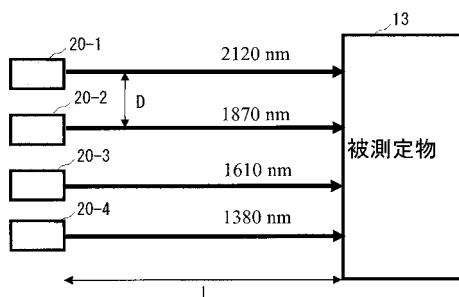
【図2】



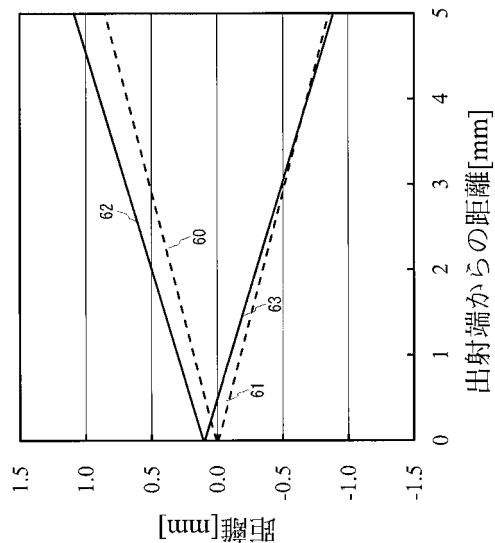
【図3】



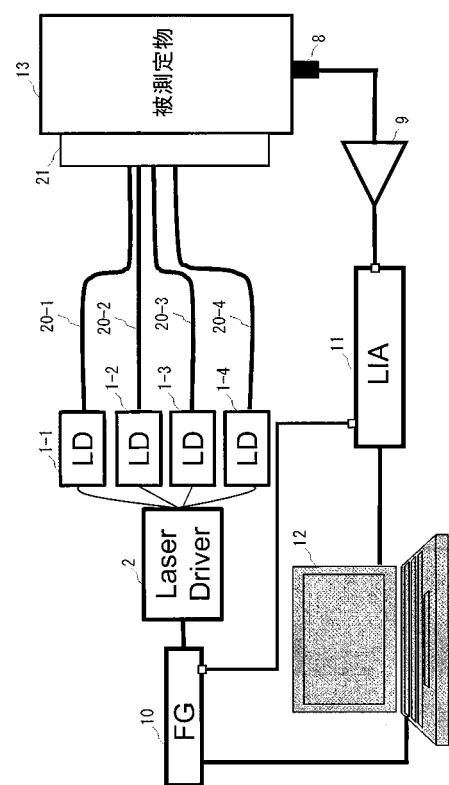
【図4】



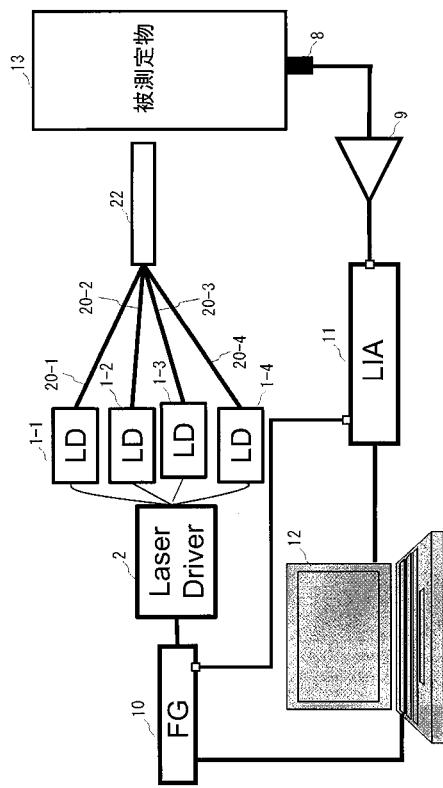
【図6】



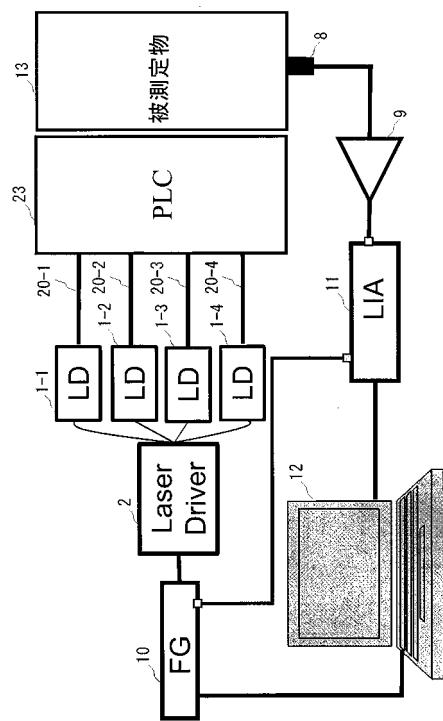
【図7】



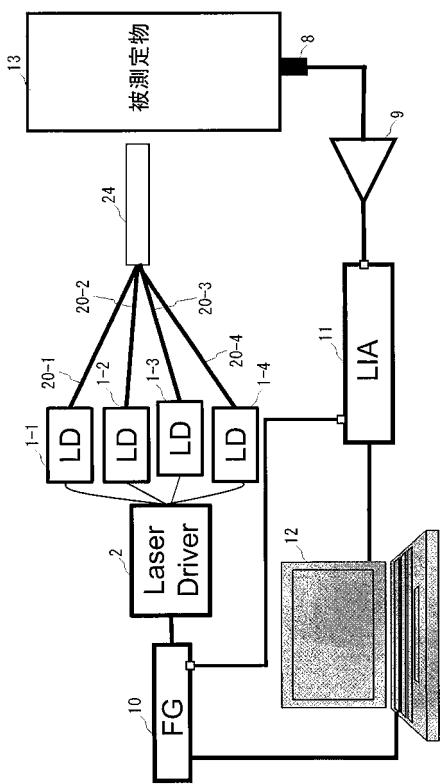
【図 8】



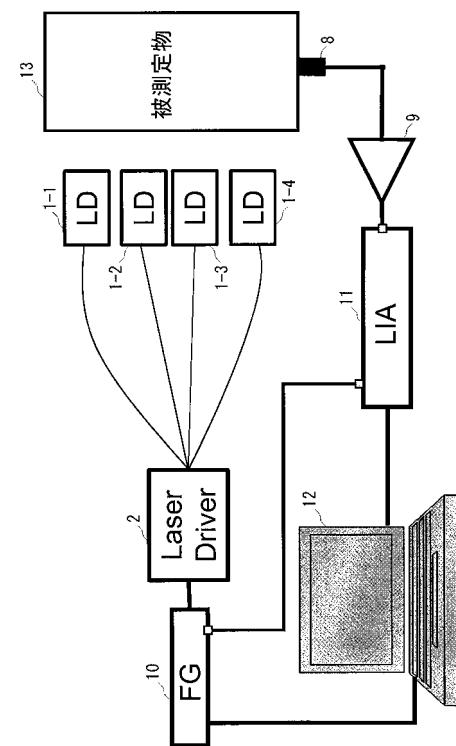
【図 9】



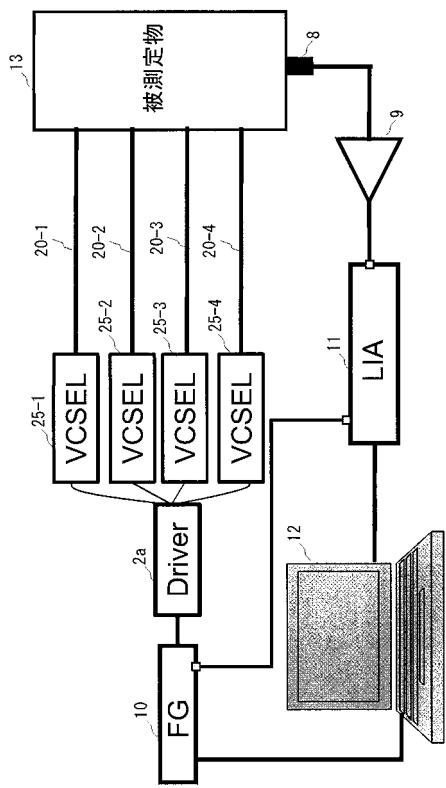
【図 10】



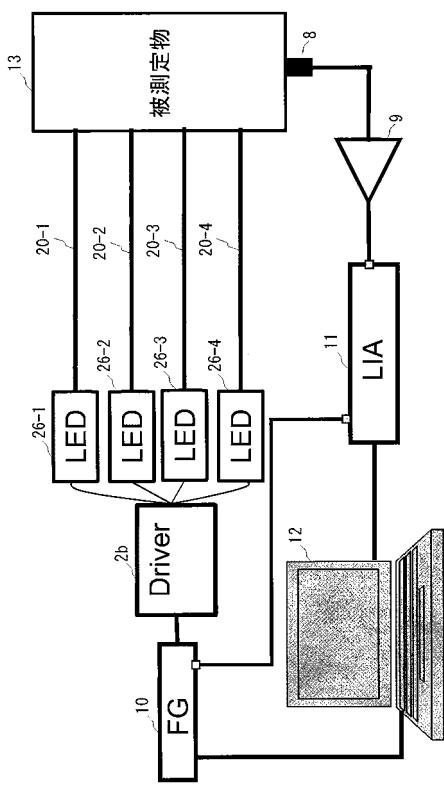
【図 11】



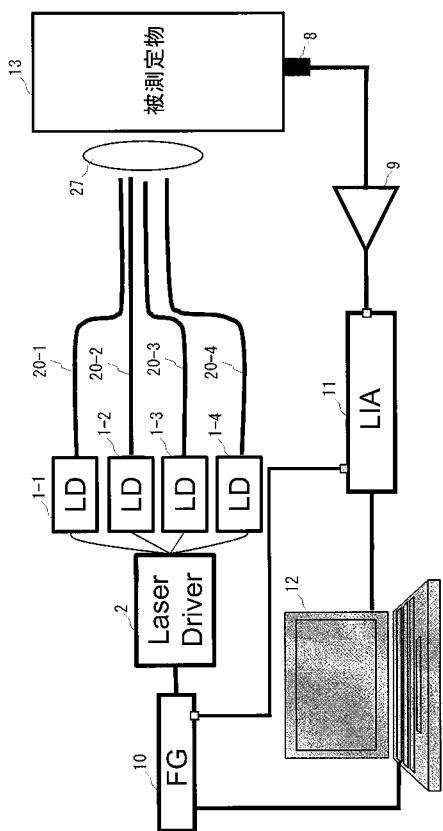
【図 1 2】



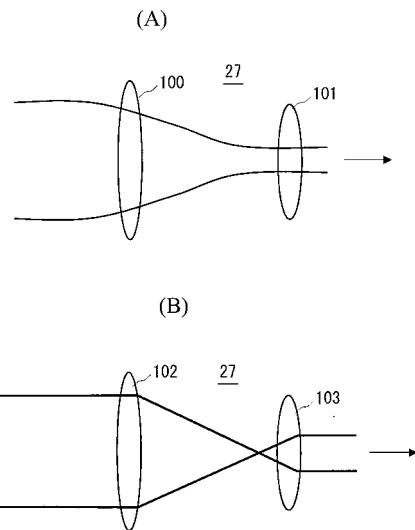
【図 1 3】



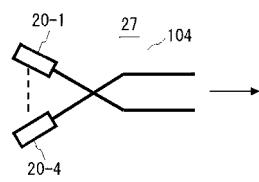
【図 1 4】



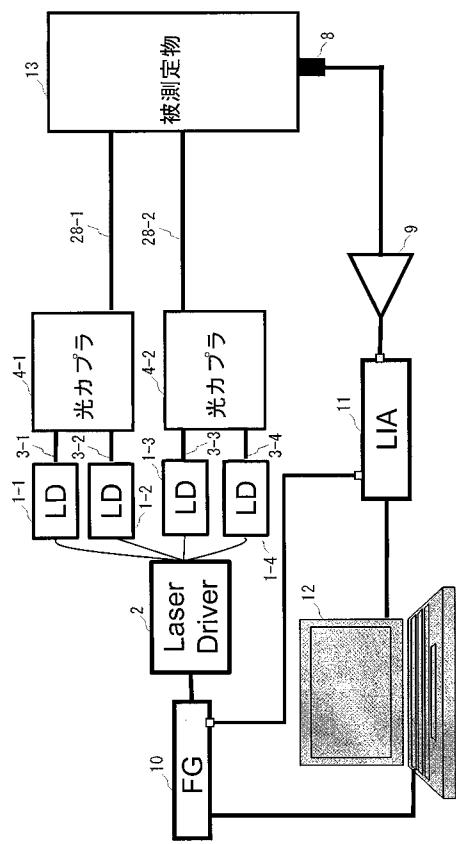
【図 1 5】



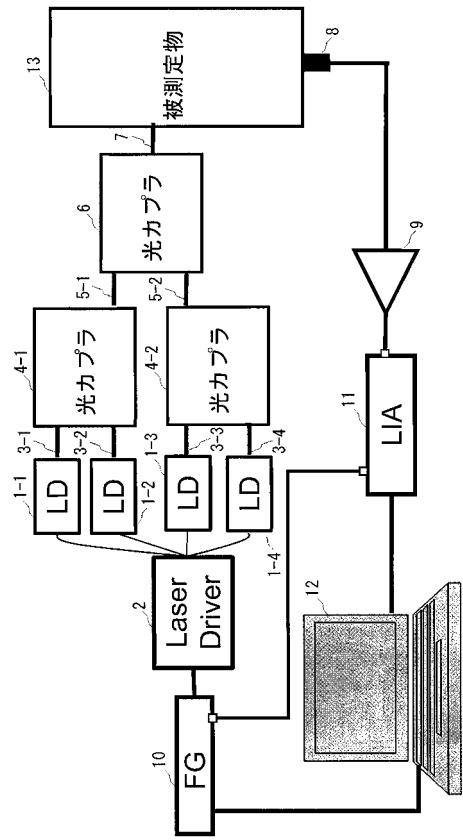
【図 1 6】



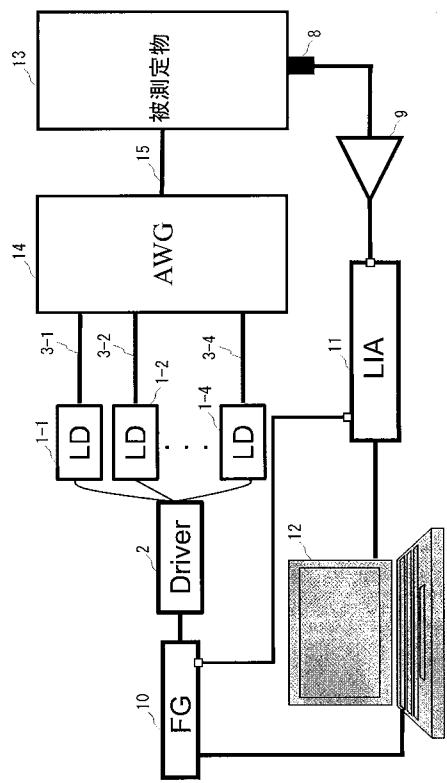
【図 17】



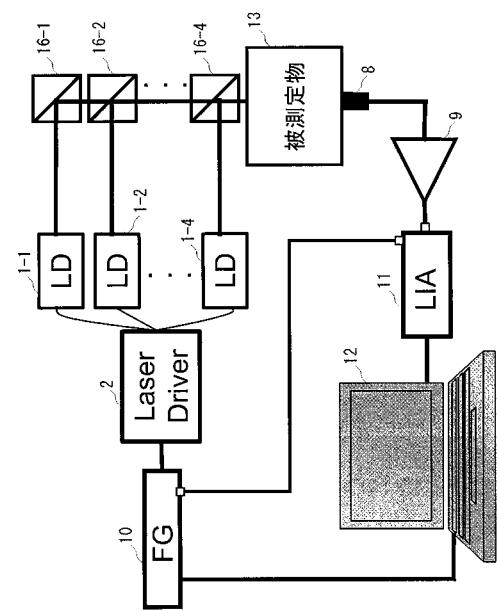
【図 18】



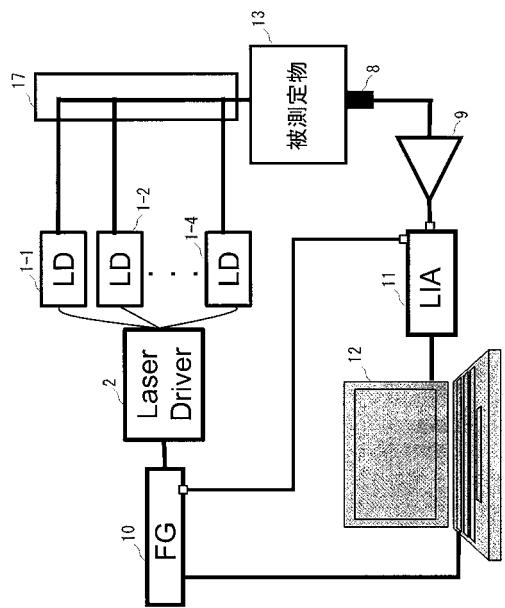
【図 19】



【図 20】



【図 2 1】



フロントページの続き

(72)発明者 葉玉 恒一
東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内

(72)発明者 カムー セルジュ
東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内

(72)発明者 小泉 弘
東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内

F ターム(参考) 4C038 KK10 KL05 KL07 KM01 KX01
4C601 DD03 DE16 EE03 EE12