

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6023805号
(P6023805)

(45) 発行日 平成28年11月9日(2016. 11. 9)

(24) 登録日 平成28年10月14日(2016. 10. 14)

(51) Int. Cl. F I
GO 1 N 21/33 (2006.01) GO 1 N 21/33

請求項の数 11 (全 19 頁)

(21) 出願番号	特願2014-520185 (P2014-520185)	(73) 特許権者	509027021
(86) (22) 出願日	平成24年5月31日 (2012. 5. 31)		サーモ エレクトロン サイエントフィ
(65) 公表番号	特表2014-521086 (P2014-521086A)		ック インストルメンツ リミテッド ラ
(43) 公表日	平成26年8月25日 (2014. 8. 25)		イアビリティ カンパニー
(86) 国際出願番号	PCT/US2012/040219		アメリカ合衆国 ウィスコンシン州 5 3
(87) 国際公開番号	W02013/009404		7 1 1 マディソン ヴェローナ ロード
(87) 国際公開日	平成25年1月17日 (2013. 1. 17)		5 2 2 5
審査請求日	平成27年5月29日 (2015. 5. 29)	(74) 代理人	100092093
(31) 優先権主張番号	13/183, 346		弁理士 辻居 幸一
(32) 優先日	平成23年7月14日 (2011. 7. 14)	(74) 代理人	100082005
(33) 優先権主張国	米国 (US)		弁理士 熊倉 禎男
		(74) 代理人	100088694
			弁理士 弟子丸 健
		(74) 代理人	100103609
			弁理士 井野 砂里

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 アンダーフィル光ファイバ試料インタフェースを有する光学分光計

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光学装置 (102) であって、

第1の波長にセンタリングされた第1の光を発するように構成された第1の光源 (704)、前記第1の波長と異なる第2の波長にセンタリングされた第2の光を発するように構成された第2の光源 (706)、及び、前記第1の波長及び前記第2の波長の双方と異なる基線波長の基線光を発するように構成された基線光源 (702)、を有し、前記第1の波長及び第2の波長が共に試料の解析のために選択され、前記基線波長が前記試料の解析に使用されない電磁スペクトルの領域内でセンタリングされるように選択される、光源 (300) と、

前記光源 (300) から光を受け取るように取り付けられた収束レンズ装置 (306) を備え、受け取られる前記光は実質的にコリメートされており、
前記第1の光源 (704) と前記収束レンズ装置 (306) との間に取り付けられビームスプリッタ (302) と、

参照検出器 (304) と、を更に備え、

前記ビームスプリッタ (302) が、前記基線光の基線部分、前記第1の光の第1の部分、及び前記第2の光の第2の部分を前記参照検出器に向けて反射するように構成され、前記参照検出器 (304) が、前記第1の光の前記第1の部分の第1の強度を示す第1の参照信号、前記第2の光の前記第2の部分の第2の強度を示す第2の参照信号、及び前記基線光の前記基線部分の第3の強度を示す第3の参照信号を生成するように構成されてお

り、

入射面 (502) 及び出射面 (504) を備えた送信光ファイバ (308) を更に備え

、
前記収束レンズ装置 (306) は、受け取った前記光を前記送信光ファイバ (308) に収束するように構成され、前記送信光ファイバ (308) は、前記入射面 (502) を通して、収束された前記光を受け取り、受け取った収束光を、前記出射面 (504) から前記試料を通して受信光ファイバ (310) に送信するように取り付けられており、

解析のために前記試料を保持するように構成された試料ホルダ (206) を更に備え、
前記受信光ファイバ (310) は、入射面 (508) 及び出射面 (510) を備え、前記受信光ファイバ (310) は、前記試料を通して送信された後に、送信された前記光を前記受信光ファイバ (310) の前記入射面 (508) を通して受け取るように取り付けられ、

前記収束レンズ装置 (306) は、前記送信光ファイバ (308) の前記入射面 (502) に達する前記収束光の角度分布の半角が、空間寸法及び角度寸法の両方で前記受信光ファイバ (310) の前記入射面 (508) の入射アパーチャをアンダーフィルするように選択されるように、受け取った前記光を前記送信光ファイバ (308) の前記入射面 (502) に収束させるように位置決めされる、光学装置 (102)。

【請求項2】

前記収束レンズ装置 (306) は、収束レンズ (718) を備え、

前記収束レンズ (718) の直径は、前記収束光の第1の部分が前記収束レンズ (718) を透過し、前記送信光ファイバ (308) の前記入射面 (502) に到達できるように選択され、前記収束光の残りの部分は、前記送信光ファイバ (308) の前記入射面 (502) への到達が阻止される、請求項1に記載の光学装置 (102)。

【請求項3】

前記収束レンズ (718) は、 $d_a / 2 \alpha_T$ により定義される距離において、前記送信光ファイバ (308) の入射光軸に沿って位置決めされ、式中、 d_a は前記収束レンズ (718) の直径であり、 α_T は、前記収束光の前記第1の部分の前記角度分布の前記半角である、請求項2に記載の光学装置 (102)。

【請求項4】

前記送信光ファイバ (308) の前記入射面 (502) のコア部分の半径は、

【数1】

$$r_2 - z \frac{\alpha_T}{n} - \Delta r$$

以下であるように選択され、式中、 r_2 は前記受信光ファイバ (310) の前記入射面 (508) のコアの半径であり、 z は、前記送信光ファイバ (308) の前記出射面 (504) と前記受信光ファイバ (310) の前記入射面 (508) との間の最大距離であり、 n は前記試料の屈折率であり、 Δr は、前記送信光ファイバ (308) の前記出射面 (504) の出射光軸に対する前記受信光ファイバ (310) の前記入射面 (508) の中心の最大オフセットである、請求項3に記載の光学装置 (102)。

【請求項5】

前記収束レンズ装置 (306) は、収束レンズ (718) 及びアパーチャ板 (720) を備え、

前記アパーチャ板 (720) は、前記収束レンズ (718) と前記送信光ファイバ (318) の前記入射面 (502) との間に取り付けられ、前記収束光の第1の部分を前記送信光ファイバ (308) の前記入射面 (502) に到達させるように構成されたアパーチャ (1100) を備え、前記アパーチャ板 (720) は、前記収束光の残りの部分が、前記送信光ファイバ (308) の前記入射面 (502) に到達しないように阻止する、請求項1に記載の光学装置 (102)。

【請求項6】

前記アパーチャ板 (720) は、 $d_a / 2 \alpha_T$ により定義される距離において、前記送信

10

20

30

40

50

光ファイバ (308) の入射光軸に沿って位置決めされ、式中、 d_a は前記アパーチャ (1100) の直径であり、 α_T は前記収束光の前記第1の部分の前記半角である、請求項5に記載の光学装置 (102)。

【請求項7】

前記送信光ファイバ (308) の前記コア部分の半径は、

【数2】

$$r_2 - z \frac{\alpha_T}{n} - \Delta r$$

以下になるように選択され、式中、 r_2 は前記受信光ファイバ (310) の前記入射面 (508) の前記コアの半径であり、 z は、前記送信光ファイバ (308) の前記出射面 (504) と前記受信光ファイバ (310) の前記入射面 (508) との最大距離であり、 n は前記試料の屈折率であり、 Δr は、前記送信光ファイバ (308) の前記出射面 (504) の出射光軸に対する前記受信光ファイバ (310) の前記入射面 (508) の中心の最大オフセットである、請求項6に記載の光学装置 (102)。

【請求項8】

前記光源 (300) は、前記第1の光源 (704) と前記収束レンズ装置 (306) との間に取り付けられる帯域制限フィルタ (710) をさらに備え、前記基線光源 (702) は、前記基線光を前記帯域制限フィルタ (710) に向けて発するように取り付けられ、前記帯域制限フィルタ (710) は、前記基線光を前記収束レンズ装置 (306) に向けて反射させ、且つ前記収束レンズ装置 (306) に向けて発せられた前記第1の光をフィルタリングするようにさらに取り付けられている、請求項1に記載の光学装置 (102)。

【請求項9】

前記光源 (300) は、前記第1の光源 (704) と前記収束レンズ装置 (306) との間に取り付けられた第1の帯域制限フィルタ (710) をさらに備え、前記第2の光源 (706) は、前記第1の帯域制限フィルタ (710) に向けて前記第2の光を発するように取り付けられ、前記第1の帯域制限フィルタ (710) は、前記第2の光を前記収束レンズ装置 (306) に向けて反射し、且つ前記収束レンズ装置 (306) に向けて発せられた前記第1の光をフィルタリングするようにさらに取り付けられている、請求項1に記載の光学装置 (102)。

【請求項10】

前記第1の帯域制限フィルタ (710) は、前記基線光を前記収束レンズ装置 (306) に向けて反射するようにさらに取り付けられている、請求項9に記載の光学装置 (102)。

【請求項11】

前記光源 (300) は、前記第2の光源 (706) と前記基線光源 (702) との間に取り付けられる第2の帯域制限フィルタ (712) をさらに備え、前記基線光源 (702) は、前記基線光を前記第2の帯域制限フィルタ (712) に向けて発するように取り付けられ、前記第2の帯域制限フィルタ (712) は、前記基線光を前記第1の帯域制限フィルタ (710) に向けて反射させ、且つ前記第1の帯域制限フィルタ (710) に向けて発せられた前記第2の光をフィルタリングするようにさらに取り付けられている、請求項10に記載の光学装置 (102)。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

光学分光計は、1つ又は複数の波長での光の強度を測定して、試料、通常は液体試料の特定の特徴を特定する。光は、通常、紫外線 (UV) 及び／又は可視 (Vis) 波長範囲内にあるが、近赤外線 (NIR) 及び赤外線 (IR) 波長範囲を含め、他の波長範囲を使用することもでき、試料を透過するように向けられ、1つ又は複数の波長での出力光の強度が、1つ又は複数の波長での入力光の強度と比較され、吸光度、透過率、蛍光度、及び

10

20

30

40

50

／又は反射率等の試料の特徴を特定する。測定された特徴は、試料内の構成要素、相対濃度、及び恐らくは試料の他の特徴の識別についての情報を提供する。光学分光計は、被検査物が非常に限られた数量でしか利用できない傾向を有することが多い生物学及び薬理学の分野での価値に基づいて、2マイクロリットル (μl) 以下の容量を有するような小型被検査物の解析にますます人気になりつつある。

【背景技術】

【0002】

分光法では、光ファイバを使用して、光を試料に透過させて、試料の組成を解析し得る。光ファイバは1本のファイバ又は1束になった複数のファイバを含み得る。光ファイバは通常、より低い屈折率を有する透明被覆材料で囲まれた透明コアからなる。光は全ての内部反射によりコア内に保持され、ファイバを導波管として機能させる。光が光ファイバの入射面に入射し、ファイバのコア内を伝播し、光ファイバの出射面から出射し得る光ファイバ軸からの最大角度がある。この最大角度の正弦は、光ファイバの開口数 (NA) である。最大角度により、光ファイバ内に送られる異なる分布の光により、光ファイバから異なる強度測定を生成することができる。

10

【0003】

開始スポットサイズは、光源からの光で照明される光ファイバ面の面積である。開始スポットの直径は、光源のサイズ及び位置決め並びに光源と光ファイバの入射面との間の、レンズ等の光学要素の属性に依存する。角度分布は、光源からの光が光ファイバの入射面に入射する角度範囲である。角度分布は、光源のサイズ及び位置決め並びに光源と光ファイバの入射面との間の光学要素の属性にも依存する。その結果、光ファイバに相対して、光源及び任意の介在する光学要素により生じ、光ファイバに入る光の分布は、2つは空間、2つは角度という4つの自由度での光の統計分布として定義することができる。

20

【0004】

マルチモード光ファイバ開始状況は通常、アンダーフィル又はオーバーフィルとして特徴付けられる。アンダーフィル光ファイバは、光電力の大半を光ファイバの中央に集中させる。開始コア直径及び角度分布が光ファイバコアのものよりも小さい場合、アンダーフィル開始が生じる。

【0005】

UV-Vis 分光法は一般に、紫外線-可視スペクトル範囲での試料の吸光度又は反射率を測定し、したがって、可視範囲及び隣接 (近UV及びNIR) 範囲内の光を使用する。可視範囲内の吸光度又は反射率は、関わる化学物質の知覚される色に直接影響する。ランベルト-ベールの法則は、試料の吸光度が、試料内の吸光種の濃度及び経路長に正比例することを述べている。したがって、経路長が一定の場合、UV/Vis 分光法を使用して、試料内の吸光物質の濃度を特定することができる。試料内の吸光物質の濃度に伴って吸光度がどの程度素早く変化するかを知ることが必要である。例として、これは、参照 (モル吸光係数の表) からとってもよく、又は較正曲線を使用して決定することができる。

30

【0006】

光学分光計は、試料を透過する光の強度を測定し、それを、試料を透過する前の光の強度と比較する。この比率は透過率と呼ばれる。UV-Vis 分光法等の様々な光源を使用して、分光法を実行し得るが、光源の波長は、試料内で識別すべき成分のタイプに基づいて選択される。例えば、光学分光計は、発光ダイオード (LED) 又はタングステンフィラメント、ジュウテリウムアーク灯、及びキセノンアーク灯等の様々な異なるタイプのランプを光源として利用し得る。

40

【0007】

LEDの関連する寿命は、初期強度の半分にどれくらいで達するかに関して与えられる。その結果、LEDの寿命にわたる変動が大きいことが予期される。加えて、LEDの強度は、数分のオーダーで時間尺度に伴い器具の周囲温度又は内部温度の関数として変化し得る。したがって、数分から数時間の期間にわたり測定される連続した解析値は、有用な光学分光計の許容可能な限度を超える顕著な時間依存性を示すおそれがある。ドリフトとは

50

、LEDの強度の報告解析値の経時変化であり、光学分光計が乱れない場合であっても生じるおそれがある。異なる波長のLEDが異なる率で異なる方向にドリフトし得、各LEDの異なる部分がそれ自体、異なる率でドリフトし得、結果として、2つの光学分光計が同一にはドリフトしないことが分かっている。

【0008】

ドリフトに加えて、他の要因が、光学分光計により測定される強度値に変動を生じさせるおそれがある。例えば、光ファイバのうちの一方又は両方での汚染が変動を生じさせるおそれがある。埃、粒子、及び気泡を含む試料内の不透明又は散乱内包物は、変動を生じさせるおそれがある。例えば、手動動作に基づく通常の変動により試料液滴を光ファイバインタフェースに誤って配置すると、変動が生じるおそれがある。

10

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0009】

UV-Vis 伝送分光法の従来の路長は1センチメートル (cm) である。したがって、吸光係数がcm当たりの吸光度の単位で報告される場合、吸光度と吸光係数との間には1:1の関係がある。マイクロリットルの試料の場合、路長はより小さく、0.005~0.02cmのオーダーである。したがって、吸光度測定を大きな値で乗算して(50~200を掛ける)、ユーザにより予期される従来の単位で絶対吸光度を報告する必要がある。この係数は、吸光度測定の誤差も乗算し、強度の変動に関連付けられた誤差修正を、特にLED光源を利用する光学分光計の製造において重要な設計基準にする。

20

【課題を解決するための手段】

【0010】

例示的な実施形態では、試料を解析する光学装置が提供される。光学装置は、収束レンズ装置、送信光ファイバ、試料ホルダ、及び受信光ファイバを含むが、これらに限定されない。収束レンズ装置は、実質的にコリメートされた光を受け取るように取り付けられ、受け取った光を送信光ファイバに収束するように構成される。送信光ファイバは、入射面及び出射面を含み、入射面を通して収束光を受け取り、受け取った収束光を出射面から試料を通して受信光ファイバに送るように取り付けられる。試料ホルダは、解析のために試料を保持するように構成される。受信光ファイバは、入射面及び出射面を含み、送られた光を、試料を透過した後、受信光ファイバの入射面を通して受け取るように取り付けられる。収束レンズ装置は、送信光ファイバの入射面に達する収束光の角度分布の半角が、空間寸法及び角度寸法の両方で受信光ファイバの入射面の入射アパーチャをアンダーフィルするように選択されるように、受け取った光を送信光ファイバの入射面に収束するように位置決めされる。

30

【0011】

本発明の他の原理特徴及び利点が、以下の図面、詳細な説明、及び添付の特許請求の範囲を検討した上で当業者に明らかになるだろう。

【0012】

本発明の例示的な実施形態について、同様の番号が同様の要素を示す添付図面を参照して以下に説明する。

40

【図面の簡単な説明】

【0013】

【図1】例示的な実施形態による分光システムのブロック図を示す。

【図2】例示的な実施形態による分光計の斜視図を示す。

【図3】例示的な実施形態による図2の分光計に組み込まれたセンサのブロック図を示す。

。

【図4】例示的な実施形態による図3のセンサの斜視図を示す。

【図5a】例示的な実施形態による図3のセンサの一部分の切り欠き図を示す。

【図5b】例示的な実施形態による図5aのセンサの第2の部分の拡大図を示す。

【図6】例示的な実施形態による図3のセンサに組み込まれた光源を収容する筐体の斜視

50

図を示す。

【図 7】図 6 の筐体の切り欠き図を示すとともに、例示的な実施形態による異なる波長の光源の光路を示す。

【図 8】図 6 の筐体の切り欠き図を示すとともに、例示的な実施形態による異なる波長の光源の光路を示す。

【図 9】図 6 の筐体の切り欠き図を示すとともに、例示的な実施形態による異なる波長の光源の光路を示す。

【図 10】例示的な実施形態による図 3 のセンサの送信及び受信光ファイバインタフェースの図を示す。

【図 11】例示的な実施形態による収束レンズ装置及び図 3 のセンサの送信光ファイバインタフェースの図を示す。

【発明を実施するための形態】

【0014】

図 1 を参照して、例示的な実施形態による分光システム 100 のブロック図を示す。例示的な実施形態では、分光システム 100 は、分光計 102 と、分光計 102 を接続し得るインタフェース付き計算装置 104 と、を含み得る。分光計 102 は、インタフェース付き計算装置 104 に接続されなくてもよい。接続される場合、分光計 102 及びインタフェース付き計算装置 104 は、直接又はネットワークを通して接続し得る。ネットワークは、セルラネットワーク、ローカルエリアネットワーク、インターネット等の広域ネットワーク等を含む任意の種類の有線及び／又は無線公衆又は私設ネットワークであり得る。分光計 102 は、インタフェース付き計算装置 104 と情報をやりとりし得る。例えば、分光計 102 は、試料について得られた結果を、インタフェース付き計算装置 104 に記憶するために送信し得る。別の例として、分光計 102 は、インタフェース付き計算装置 104 からソフトウェア更新を受信し得る。インタフェース付き計算装置 104 は、限定ではなく、個人情報端末、デスクトップコンピュータ、ラップトップコンピュータ、統合メッセージング装置、携帯電話、スマートフォン、ページャ等の任意のフォームファクタの計算装置を含み得る。

【0015】

分光計 102 は、入力インタフェース 106、センサ 108、キーパッド 110、出力インタフェース 112、ディスプレイ 114、通信インタフェース 116、コンピュータ可読媒体 118、プロセッサ 120、及び制御アプリケーション 122 を含み得る。異なる追加の構成要素を分光計 102 に組み込み得る。例えば、リチウムイオン電池等の電池が、分光計 102 の様々な構成要素に電力を提供し得る。

【0016】

入力インタフェース 106 は、当業者に既知のように、分光計 102 に入力するためにユーザから情報を受信するためのインタフェースを提供する。入力インタフェース 106 は、ユーザが情報を分光計 102 に入力できるようにするか、又はディスプレイ 114 に表示されたユーザインタフェースで提示される選択を行えるようにする、キーボード、ペン及びタッチスクリーン、マウス、トラックボール、タッチスクリーン、キーパッド 110、1 つ又は複数のボタン等を含むが、これらに限定されない様々な入力技術を使用し得る。入力インタフェース 106 はさらに、当業者に既知のように、分光計 102 に入力するために、センサ 108 からの情報を受信するためのインタフェースを提供し得る。例示的な実施形態では、センサ 108 は、タンパク質及び DNA 濃度特定の場合に関心がある 1 つ又は複数の波長、例えば、260 及び 280 ナノメートル (nm) での光の強度を測定し、液体試料の吸光度を特定する。分光計 102 は、同じ又は異なる入力インタフェース技術を使用する 1 つ又は複数の入力インタフェースを有し得る。

【0017】

出力インタフェース 112 は、分光計 102 のユーザによるレビューのために情報を出力するインタフェースを提供する。例えば、出力インタフェース 112 は、ディスプレイ 114、スピーカ、プリンタ等へのインタフェースを含み得る。ディスプレイ 114 は、

薄膜トランジスタディスプレイ、発光ダイオードディスプレイ、液晶ディスプレイ、又は当業者に既知の任意の様々な異なるディスプレイであり得る。分光計102は、同じ又は異なるインタフェース技術を使用する1つ又は複数の出力インタフェースを有し得る。同じインタフェースが、入力インタフェース106及び出力インタフェース112の両方をサポートし得る。例えば、タッチスクリーンは、ユーザによる入力を可能にするとともに、ユーザに出力を提示する。ディスプレイ114、スピーカ、及び／又はプリンタはさらに、通信インタフェース116を通して分光計102にアクセス可能であり得る。

【0018】

通信インタフェース116は、当業者に既知のように、様々なプロトコル、伝送技術、及び媒体を使用して装置間でデータの受信及び送信を行うためのインタフェースを提供する。通信インタフェース116は、有線又は無線であり得る様々な伝送媒体を使用して通信をサポートし得る。分光計102は、同じ又は異なる通信インタフェース技術を使用する1つ又は複数の通信インタフェースを有し得る。データ及びメッセージは、通信インタフェース116を使用して分光計102とインタフェース付き計算装置104との間で転送し得る。

10

【0019】

コンピュータ可読媒体118は、当業者に既知のように、プロセッサ120が情報にアクセス可能なような情報の電子保持場所又は記憶装置である。コンピュータ可読媒体118は、任意の種類のランダムアクセスメモリ(RAM)、任意の種類の読み取り専用メモリ(ROM)、磁気記憶装置(例えば、ハードディスク、フロッピー(登録商標)ディスク、磁気ストリップ、・・・)、光ディスク(例えば、CD、DVD、・・・)、スマートカード、フラッシュメモリ装置等のような任意の種類のフラッシュメモリ等を含むことができるが、これらに限定されない。分光計102は、同じ又は異なるメモリ媒体技術を使用する1つ又は複数のコンピュータ可読媒体を有し得る。分光計102は、CD又はDVD等のメモリ媒体のロードをサポートする1つ又は複数のドライブも有し得る。コンピュータ可読媒体118は、センサ108の動作に際して制御アプリケーション122が使用する情報を記憶するデータベースの電子記憶媒体を提供し得る。

20

【0020】

プロセッサ120は、当業者に既知のように命令を実行する。命令は、専用コンピュータ、論理回路、又はハードウェア回路により実行し得る。したがって、プロセッサ120は、ハードウェア、ファームウェア、若しくはこれらの方法の任意の組み合わせで、且つ／又はソフトウェアと組み合わせて実施し得る。「実行」という用語は、アプリケーションを実行するプロセス又は命令が必要とする動作を実行するプロセスである。命令は、1つ又は複数のプログラミング言語、スクリプト言語、アセンブリ言語等を使用して書き得る。プロセッサ120は命令を実行し、これは、その命令により要求される動作を実行／制御することを意味する。プロセッサ120は、出力インタフェース112、入力インタフェース106、コンピュータ可読媒体118、及び通信インタフェース116に動作可能に結合して、情報の受信、送信、及び処理を行う。プロセッサ120は、永久的なメモリ装置から命令セットを検索し、命令を実行可能な形態で、一般に何らかの形態のRAMである一時的なメモリ装置にコピーし得る。分光計102は、同じ又は異なる処理技術を使用する複数のプロセッサを含み得る。

30

40

【0021】

制御アプリケーション122は、恐らくはユーザ入力に伴い、センサ108の動作の制御、維持、更新等に関連付けられた動作を実行する。本明細書に記載される動作のいくつか又はすべては、制御アプリケーション122において実施し得る。動作は、ハードウェア、ファームウェア、ソフトウェア、又はこれらの方法の任意の組み合わせを使用して実施し得る。図1の実施形態例を参照すると、制御アプリケーション122は、コンピュータ可読媒体118に記憶され、制御アプリケーション122の動作を実施する命令の実行のために、プロセッサ120によりアクセス可能であるソフトウェア(コンピュータ可読命令及び／又はコンピュータ実行可能命令からなる)で実施される。制御アプリケーショ

50

ン 1 2 2 は、1 つ又は複数のプログラミング言語、アセンブリ言語、スクリプト言語等を使用して書き得る。

【0022】

図 2 を参照して、例示的な実施形態による分光計 1 0 2 の斜視図を示す。分光計 1 0 2 の構成要素は、筐体 2 0 0 内に取り付けられるか、又は筐体 2 0 0 に取り付けられ、様々な様式で配置し得る。本開示において使用される場合、「取り付け」という用語は、結合、一体化、接続、関連付け、挿入、懸架、保持、取り付け、付着、締め付け、固定、バインド、貼り付け、固定、ボルト、ネジ、リベット、はんだ、溶接、のり付け、上部形成、層、及び他の同様の用語を含む。「上に取り付ける」及び「に取り付ける」という語句は、言及された要素の任意の内部又は外部を含む。ディスプレイ 1 1 4 及びキーパッド 1 1 0 は、ユーザによるアクセスを容易にするために筐体 2 0 0 上に取り付け得る。さらに、ヒンジ 2 0 2 が筐体 2 0 0 に取り付けられる。センサアーム 2 0 4 がヒンジ 2 0 2 に取り付けられて、センサアーム 2 0 4 をセンサ 1 0 8 の試料ホルダ 2 0 6 から離れて回転移動させる。試料を解析のために試料ホルダ 2 0 6 上又は試料ホルダ 2 0 6 内に配置することができるよう、試料ホルダ 2 0 6 から離れてセンサアーム 2 0 4 を移動することができるよう、他の機構を使用してもよい。

10

【0023】

図 3 を参照して、例示的な実施形態によるセンサ 1 0 8 のブロック図を示す。例示的な実施形態では、センサ 1 0 8 は、光源 3 0 0、ビームスプリッタ 3 0 2、参照検出器 3 0 4、収束レンズ装置 3 0 6、送信光ファイバ 3 0 8、試料ホルダ 2 0 6、受信光ファイバ 3 1 0、検出器 3 1 2、及びアクチュエータ 3 1 4 を含み得るが、これらに限定されない。光源 3 0 0 は、試料ホルダ 2 0 6 上又は試料ホルダ 2 0 6 内に配置された試料の解析のために選択された 1 つ又は複数の波長に概ねセンタリングされた光を発する 1 つ又は複数の光源を含み得る。例示的な実施形態では、光源 3 0 0 は、実質的にコリメートされ、複数の異なる波長にセンタリングし得る光を発する。

20

【0024】

ビームスプリッタ 3 0 2 は、光源 3 0 0 により発せられた光の参照部分を参照検出器 3 0 4 に向けて反射するように位置決めされ構成される。ビームスプリッタ 3 0 2 は、当業者に既知のように、部分的に透過性のミラー等の様々な光学装置を含み得る。ビームスプリッタ 3 0 2 はさらに、参照検出器 3 0 4 により測定を行うために必要な電力量に応じて、光源 3 0 0 により発せられる様々な量の光を反射するように選択し得る。例示的な実施形態では、ビームスプリッタ 3 0 2 は、光源 3 0 0 により発せられた光の約 1 0 % を参照検出器 3 0 4 に向けて反射するように傾斜して保持された熔融石英板を含む。

30

【0025】

参照検出器 3 0 4 は、光源 3 0 0 により発せられる光の非減衰電力レベルを特定するために、光の参照部分の強度を示す参照信号を生成するように構成される。例示的な実施形態では、参照検出器 3 0 4 はシリコンフォトダイオードを含むが、他の検出器を使用してもよい。

【0026】

収束レンズ装置 3 0 6 は、光源 3 0 0 により発せられた光を受け取るように位置決めされ、受け取った光を送信光ファイバ 3 0 8 に収束するように構成される。図 1 0 及び図 1 1 を関してより詳細に考察するように、収束レンズ装置 3 0 6 はさらに、送信光ファイバ 3 0 8 の入射面 5 0 2 に対する収束光の角度分布の半角が、受信光ファイバ 3 1 0 の入射面 5 0 8 (図 5 を参照して示される) の入射アパーチャをアンダーフィルするように選択されるように、受け取った光を空間的及び角度的に送信光ファイバ 3 0 8 の入射面 5 0 2 (図 5 を参照して示される) のコア部分に収束するように位置決めされる。入射アパーチャは、空間及び角度の両方で定義される。

40

【0027】

送信光ファイバ 3 0 8 は、入射面 5 0 2 及び出射面 5 0 4 (図 5 を参照して示される) を含む。受信光ファイバ 3 1 0 は、入射面 5 0 8 及び出射面 5 1 0 (図 5 を参照して示さ

50

れる)を含む。送信光ファイバ308は、試料ホルダ206により保持される試料を通して、受信光ファイバ310に向かって収束光を送るために使用される。受信光ファイバ310は、試料ホルダ206により保持される試料を透過した後の光を受け取るために使用される。送信光ファイバ308及び／又は受信光ファイバ310は、1本のファイバ又は1束になった複数のファイバを含み得る。

【0028】

試料ホルダ206は、解析のために試料を保持するように構成される。試料ホルダ206は、様々な容量の試料を保持するようなサイズであり得る。例示的な実施形態では、試料ホルダ206は、0.25~20マイクロリットル(μ l)の範囲の試料サイズを保持するようなサイズである。例示的な実施形態では、試料ホルダ206は、ガラス、プラスチック、水晶等で作られる試料台座又はキュベットである。

10

【0029】

検出器312は、試料を透過し、受信光ファイバ310を通して受け取られ伝播した光を受け取る。検出器312は、受け取った光を、試料を透過した後、受け取った光の強度を示す電気信号に変換する。例示的な実施形態では、検出器312はフォトダイオード検出器を含む。

【0030】

アクチュエータ314を使用して、センサ108の1つ又は複数の構成要素の並進移動及び／又は回転移動を制御し得る。例示的なアクチュエータは、電気モータ、サーボ、ステッパ、又は圧電モータ、空気圧アクチュエータ、ガスモータ等を含む。例えば、アクチュエータ314は、送信光ファイバ308及び／又は受信光ファイバ310の移動を制御して、送信光ファイバ308の出射面504と、受信光ファイバ310の入射面508との距離又は路長を調整するために結合し得る。例示的な実施形態では、アクチュエータ314は、送信光ファイバ308の移動を制御するために結合される。

20

【0031】

センサ108の様々な構成要素は、プロセッサ120に動作可能に結合して、制御アプリケーション122の制御下で情報をプロセッサ120から受信し、且つ／又は情報をプロセッサ120に送信する。例えば、プロセッサ120は、光源300に動作可能に結合されて、光源300のうちの1つ又は複数の光源のオン又はオフ切り替えを制御する。プロセッサ120は、参照検出器304及び検出器312にも動作可能に結合して、各検出器により生成される電気信号を受信し得る。プロセッサ120はさらに、アクチュエータ314に動作可能に結合して、送信光ファイバ308の出射面504と、受信光ファイバ310の入射面508との距離の調整を制御し得る。プロセッサ120は、各検出器304、312により生成される電気信号に基づいて、試料の吸光度を特定する。プロセッサ120はさらに、光源300のオン又はオフ動作に基づいて電気信号を生成するように、参照検出器304及び検出器312に指示し得る。プロセッサ120は、ディスプレイ114に試料の吸光度の値を示す出力信号を生成し、且つ／又はその値を他の関連情報とともに、インタフェース付き計算装置104に送信し得る。プロセッサ120はさらに、例えば、異なる波長又は異なる路長での、試料の複数の読み取り値の収集を制御し得る。

30

【0032】

分光計102を使用するために、ユーザは、センサアーム204を試料ホルダ206から離れて回転させ、試料の液滴を試料ホルダ206上又は試料ホルダ206内に配置し得る。例えば、ユーザは、ピペットを使用して、試料の液滴を試料ホルダ206上に配置し得る。ユーザは、液滴を試料ホルダ206上に配置した後、センサアーム204を試料ホルダ206に向けて回転し得る。これらの動作のうちの1つ又は複数は自動化し得る。

40

【0033】

強度測定は、例えば、制御アプリケーション122の制御下で測定シーケンスの開始をトリガーするキーパッド110のボタン又はディスプレイ114上のボタンインジケータを選択することにより開始し得る。試料に隣接して位置決めした後、回転センサアーム204は、図4、図5a、及び図5bを参照して示されるように位置内に移動する。

50

【0034】

参照検出器304及び検出器312の両方において検出された強度を示す電気信号が、光源300がオンにされた状態及びオフにされた状態で受信される。光源300の所与の波長で報告される吸光度は、

$$A = -\log \left[(I_{\text{sample on}} - I_{\text{sample off}}) / (I_{\text{reference on}} - I_{\text{reference off}}) \right] \quad (1)$$

として計算し得、式中、 $I_{\text{sample on}}$ は、光源300が光を発する状態で検出器312において測定される強度であり、 $I_{\text{sample off}}$ は、光源300がオフの状態では検出器312において測定される強度であり、 $I_{\text{reference on}}$ は、光源300が光を発する状態で参照検出器304において測定される強度であり、 $I_{\text{reference off}}$ は、光源300がオフである状態で参照検出器304において測定される強度である。したがって、参照検出器304の使用により、光源300の変動を補正することができる。例示的な実施形態では、強度測定に関連付けられた電気信号は、参照検出器304及び検出器312からの電流測定である。

【0035】

例示的な実施形態では、制御アプリケーション122はさらに、差動測定を開始し、差動測定は吸光係数を測定する技法であり、吸光度測定が2つの路長で行われ、それらの差分が、単一の吸光値をもたらす、路長差で除算することにより吸光係数に変換することができる。試料は、差動吸光路を用いて測定することもできる。例えば、試料吸光度は、1つ又は複数の路長のそれぞれで試料を測定して、吸光度が測定される光路長（試料高さ）を変更することにより測定することができ、路長差を送信強度の差と組み合わせて使用して、試料吸光度を計算することができる。これは、試料の吸光度が高く、小さな路長差の経路差の精度を絶対完全光路よりも良好に特定することができる場合、大きな価値があるものであることができる。測定は、送信光ファイバ308の出射面504と受信光ファイバ310の入射面508との間の比較的長い経路及び比較的短い路長を用いて行うことができる。より短い経路での吸光度がより長い経路のうちの1つ又は複数の吸光度から減算される場合、試料の吸光度を計算することができる。したがって、アクチュエータ314は、送信光ファイバ308及び受信光ファイバ310のうちの一方又は両方に動作可能に結合して、制御アプリケーション122の制御下で路長を調整し得る。例示的な実施形態では、路長は、約0mm（接触する）～約1mmで調整し得る。

【0036】

図4を参照して、例示的な実施形態によるセンサ108の斜視図を示す。第1の筐体400は、光源300、ビームスプリッタ302、参照検出器304、収束レンズ装置306、及び送信光ファイバ308の第1の部分700（図7を参照して示される）を収容し得る。第2の筐体402は、送信光ファイバ308の第2の部分500（図5を参照して示される）及びアクチュエータ314を収容し得る。試料ホルダ206は、当業者に理解されるように様々な様式でプラットフォーム404内に取り付け得る。センサアーム204は、受信光ファイバ310及び検出器312を収容する。

【0037】

図5aを参照して、例示的な実施形態によるセンサ108の一部分の切り欠き図を示す。アクチュエータ314が取り付けられ、送信光ファイバ308の出射面504を光軸506に沿って受信光ファイバ310の入射面508に近付けるか、又は遠ざけるように移動させる。送信光ファイバ308は、送信光ファイバ308がアクチュエータ314の制御下以外で移動しないように、固定構成で第2の筐体402内に取り付けられる。

【0038】

図5bを参照して、例示的な実施形態による図5aのセンサ108の一部分の拡大図を示す。センサ108は下部フェルール512を含み、下部フェルール512はボア514と、試料ホルダ206を形成する研磨された上部とを含む。別の例示的な実施形態では、試料ホルダ206は、送信光ファイバ308の出射面504と受信光ファイバ310の入射面508との間に位置決めされるキュベットを含み得る。下部フェルール512は軌道

輪 5 1 6 によりセンタリングされ、軌道輪 5 1 6 を通して、下部フェルール 5 1 2 は上下に摺動することができる。例示的な実施形態では、下部フェルール 5 1 2 の少なくとも一部分はねじ切りされ、ねじ山はアクチュエータ 3 1 4 の回転子に係合する。下部フェルール 5 1 2 のボア 5 1 4 は、送信光ファイバ 3 0 8 を受け入れる。送信光ファイバ 3 0 8 は、接着剤により所定位置に保持し得る。送信光ファイバ 3 0 8 の出射面 5 0 4 は、試料ホルダ 2 0 6 と同一平面になるように研磨し得る。

【0039】

センサ 1 0 8 はさらに、ボア 5 2 0 を含む上部フェルール 5 1 8 を含む。上部フェルール 5 1 8 はセンサアーム 2 0 4 に取り付けられる。上部フェルール 5 1 8 のボア 5 2 0 は、受信光ファイバ 3 1 0 を受け入れる。受信光ファイバ 3 1 0 は、接着剤により所定位置に保持し得、上部フェルール 5 1 8 の接触台座 5 2 2 と同一平面になるように研磨し得る。接触台座 5 2 2 及び受信光ファイバ 3 1 0 の入射面 5 0 8 を一緒に研磨して、同一平面の表面を形成し得る。

【0040】

試料を試料ホルダ 2 0 6 上又は試料ホルダ 2 0 6 内に配置し、センサアーム 2 0 4 を位置決めした後、試料「カラム」を送信光ファイバ 3 0 8 の出射面 5 0 4 と受信光ファイバ 3 1 0 の入射面 5 0 8 との間に形成し得る。カラムは、試料ホルダ 2 0 6 と接触台座 5 2 2 との間の毛細管現象により保持され、光軸 5 0 6 に沿って光ファイバ 3 0 8、3 1 0 の間に光路を確立する。アクチュエータ 3 1 4 を使用して、送信光ファイバ 3 0 8 の出射面 5 0 4 と受信光ファイバ 3 1 0 の入射面 5 0 8 との間に、異なる路長を確立し得る。

【0041】

図 6 を参照して、例示的な実施形態による第 1 の筐体 4 0 0 の斜視図を示す。第 1 の筐体 4 0 0 は、基線発光ダイオード (LED) 搭載板 6 0 0、第 1 の LED 搭載板 6 0 2、第 2 の LED 搭載板 6 0 4、参照検出搭載板 6 0 6、及び送信光ファイバ搭載板 6 0 8 を含む。図 7 を参照して、例示的な実施形態による、第 1 の筐体 4 0 0 内に収容される構成要素の切り欠き図を示す。

【0042】

第 1 の筐体 4 0 0 は光源 3 0 0 を収容する。図 6 ～ 図 9 の例示的な実施形態では、光源 3 0 0 は、基線 LED 7 0 2、第 1 の LED 7 0 4、及び第 2 の LED 7 0 6 を含む。光源 3 0 0 は、より少数又は多数の LED を含み得る。さらに、光源 3 0 0 は、LED の代替又は追加として、タングステンフィラメント、ジュウテリウムアーク灯、及びキセノンアーク灯等の様々な異なるタイプのランプを含み得る。光源 3 0 0 はさらに、UV、Vis、IR、近 IR、近 UV 等を放射し得る。したがって、光源 3 0 0 から発せられる光は可視でなくてもよい。

【0043】

基線 LED 搭載板 6 0 0 は、第 1 の筐体 4 0 0 内に基線 LED 7 0 2 を取り付け、固定して位置決めされる。基線 LED 7 0 2 は、概ね基線波長にセンタリングされた基線光を発するように選択される。第 1 の LED 7 0 4 は、試料の解析に選択される第 1 の波長で概ねセンタリングされた第 1 の光を発するように選択される。第 2 の LED 7 0 6 は、試料の解析に選択される第 2 の波長で概ねセンタリングされた第 2 の光を発するように選択される。基線波長は、第 1 の波長及び第 2 の波長と異なり、試料の解析に使用されない電磁スペクトルの領域、すなわち、関心のある解析材料 (試料) が識別可能に光を吸収しないスペクトル領域内でセンタリングされるように選択される。試料をタンパク質及び DNA について解析すべき例示的な実施形態では、試料の解析に選択される第 1 の波長は 280 nm であり得、試料の解析に選択される第 2 の波長は 260 nm であり得、基線波長は 365 nm として選択し得る。解析すべき試料のタイプに基づいて、UV、Vis、IR、近 IR、及び／又は近 UV スペクトル内の他の波長を使用してもよい。図 7 の例示的な実施形態では、LED 7 0 2、7 0 4、及び 7 0 6 は、「z」パターンを形成するビーム路を形成するように配置されるが、LED 7 0 2、7 0 4、及び 7 0 6 と送信光ファイバ 3 0 8 との間にビーム路を形成するために、他の配置も可能である。例えば、LED 7 0

2、704、及び706の異なる配置を、エッジフィルタ又はノッチフィルタ等の異なるタイプのフィルタと組み合わせて使用し得る。したがって、様々な帯域制限フィルタを使用し得る。

【0044】

LED702、704、及び706は選択される波長にセンタリングされるが、部分間の変動がLED702、704、及び706の間のスペクトル差を超える場合、LED702、704、及び706により生成される光のスペクトル分布において重複し得る。強度測定の精度を向上させるために、帯域通過フィルタをLED702、704、及び706のうちの1つ又は複数の前に配置して、各LEDから発せられる、光源300の形成に使用されるLED702、704、及び706のうちの別のLEDと波長が重複し得る任意の光をフィルタリングして除去し得る。

10

【0045】

図7の例示的な実施形態では、基線LED702から発せられる光は、基線フィルタ708を通してフィルタリングされる。基線フィルタ708は、Hoya B390フィルタガラス等の青色フィルタガラスのシートを含み得る。第1のLED704から発せられた光は、第1のフィルタ710を通してフィルタリングされる。第1のLED704が、波長280nmでセンタリングされたLEDを含む例示的な実施形態では、第1のフィルタ710は、280nmにセンタリングされた帯域通過フィルタである。第1のフィルタ708は参照波長において反射もする。例として、第1のフィルタ710は、通過帯域外の波長を反射する薄膜帯域通過フィルタであり得る。第2のLED706から発せられた光は、第2のフィルタ712を通してフィルタリングされる。第2のLED706が波長260nmでセンタリングされるLEDを含む例示的な実施形態では、第2のフィルタ712は、260nmでセンタリングされた帯域通過フィルタである。第2のフィルタ712は、第1の波長及び緯線波長において反射もする。例として、第2のフィルタ712は、通過帯域外の波長を反射する薄膜帯域通過フィルタであり得る。例示的な実施形態では、通過帯域は6nm及び14nmであり得るが、特定の分光計設計に識別されるコスト及び性能目標に基づいて、他の通過帯域を選択してもよい。

20

【0046】

図7の例示的な実施形態では、第2のLED706からの光は、送信光ファイバ308の第1の部分700に向けられた第1の軸714に沿って第2のフィルタ712によりフィルタリングされる。第2のLED706からの光は実質的にコリメートされる。第1の軸714は、送信光ファイバ308の入射光軸であり、送信光ファイバ308の入射面502に垂直である。光の一部分は、ビームスプリッタ302により、第2の軸716に沿って参照検出器304に向かって反射される。残りの光は、第1の軸714に沿って収束レンズ装置306及び送信光ファイバ308の入射面502に向かって続く。

30

【0047】

図7の例示的な実施形態では、収束レンズ装置306は、収束レンズ718及びアパーチャ板720を含むが、これらに限定されない。収束レンズ718は、両凸又は平凸であり、第1の軸714にセンタリングされた溶融石英レンズを含み得る。アパーチャ板720は、収束レンズ715と送信光ファイバ308の入射面502との間に取り付けられる。アパーチャ板720は、収束光の第1の部分を送信光ファイバ308の入射面502に到達させ、残りの光を送信光ファイバ308の入射面502に到達しないように遮断又は阻止するように構成されるアパーチャ1100（図11を参照して示される）を含むが、これらに限定されない。アパーチャ1100はアパーチャ板720の穴又は開口部であり、そこを通して光が移動する。より具体的には、アパーチャ1100は、送信光ファイバ308の入射面502に収束される光の円錐角を決める開口部である。

40

【0048】

代替の実施形態では、収束レンズ718の直径は、光の一部分が収束レンズ718を透過し、送信光ファイバ308の入射面502に到達するように選択される。光の残りの部分は、収束レンズ718を第1の筐体400内に取り付ける収束レンズ718の支持構造

50

により遮断又は阻止される。

【0049】

図8を参照すると、第1のLED704からの第2の光は、第2のフィルタ712に向けられた第3の軸800に沿って第1のフィルタ710によりフィルタリングされる。第1のLED704からの第2の光は実質的にコリメートされる。第2のフィルタ712は、送信光ファイバ308の第1の部分700に向かう第1の軸714に沿って第2の光を反射する。第2の光の一部分は、ビームスプリッタ302により、第2の軸716に沿って参照検出器304に向けて反射される。残りの第2の光は、収束レンズ装置306及び送信光ファイバ308の入射面502に向かう第1の軸714に沿って続く。

【0050】

図9を参照すると、基線LED702からの第3の光は、第1のフィルタ710に向けられた第4の軸900に沿って基線フィルタ708によりフィルタリングされる。基線LED702からの第3の光は実質的にコリメートされる。第1のフィルタ710は、第2のフィルタ712に向かう第3の軸800に沿って第3の光を反射する。第2のフィルタ712は、送信光ファイバ308の第1の部分700に向かう第1の軸714に沿って第3の光を反射する。第3の光の一部分は、第2の軸716に沿って参照検出器304に向かいビームスプリッタ302により反射される。残りの第3の光は、収束レンズ装置306及び送信光ファイバ308の入射面502に向かう第1の軸714に沿って続く。

【0051】

分光計102が、光源300の例示的な実施形態を参照して説明されるように、複数の波長を処理するように構成される場合、吸光度は波長の関数になる。その結果、式(1)は、以下に示されるように変更され：

$$a(\lambda) = -\log [(I_{\text{sample on}}(\lambda) - I_{\text{sample off}}) / (I_{\text{reference on}}(\lambda) - I_{\text{reference off}})] \quad (2)$$

式中、 λ は波長である。

【0052】

参照補正測定は、化学吸光測定での関心のある波長での吸光値を、「基線」波長（基線LED702により発せられるような）と結合し、吸光度は試料濃度から独立するものと予期されるが、恐らく、試料ホルダの汚染、デブリ、泡等の要因に依存する。この場合、吸光度は、

$$A_{\text{reported}} = A(\lambda_{\text{sample}}) - A(\lambda_{\text{baseline}}) \quad (3)$$

であるものとして計算され、式中、 $A(\lambda_{\text{sample}})$ は、式(2)を使用して関心のある波長で計算される吸光度であり、 $A(\lambda_{\text{baseline}})$ は、式(2)を使用して基線波長で計算される吸光度である。したがって、基線LED702の使用により、試料の汚染に関連するファクタを補正することができる。

【0053】

図10を参照して、当業者に理解されるように、光ファイバインタフェース内に取り付けられる試料ホルダ206がない例示的な実施形態によるセンサ108の光ファイバインタフェースの図を示す。アクチュエータ314は、送信光ファイバ308の出射面504を、受信光ファイバ310の入射面508から最大距離1000に位置決めし得る。送信光ファイバ308は、半角ビーム広がり1002を生成するように選択される。受信光ファイバ310の入射面508は、送信光ファイバ308の出射面504の中心1008に対して、受信光ファイバ310の入射面508の中心1006の最大オフセット1004を含むように取り付けられる。受信光ファイバ310の入射面508の中心1006及び送信光ファイバ308の出射面504の中心1008は、光軸506に配置される。受信光ファイバ310の入射アパーチャをアンダーフィルするために、以下の条件が満たされ：

$$r_1 + z \sin(\alpha) / n + \Delta r < r_2 \quad (4)$$

式中、 r_1 は送信光ファイバ308のコア半径であり、 r_2 は受信光ファイバ310のコア半径であり、 z は最大距離1000であり、 α は送信光ファイバ308と受信光ファイバ

10

20

30

40

50

310との間のギャップのラジアン単位の半角ビーム広がり1002であり、 Δr は、最大オフセット1004であり、 n は試料ホルダ206上に配置される試料の屈折率である。 $\sin \alpha$ α である小角の場合、 α 及び $\sin \alpha$ は、

$$r_1 + z \alpha / n + \Delta r < r_2 \quad (5)$$

であるように区別せずに使用することができる。したがって、

【数1】

$$\alpha < \frac{n(r_2 - r_1 - \Delta r)}{z} \quad (6)$$

である。

【0054】

式(6)で表された広がり条件は、送信光ファイバ308の出口でのビーム広がりを示す。光ファイバシステムでは、光ファイバは、空間及び角度の両方の制限アパーチャとして機能することが可能であり得る。空間アパーチャは、ファイバコアの半径により定義される。角度アパーチャは、ファイバコア及び被覆材の屈折率により定義される。光ファイバは、空気中で $\sin \alpha$ に等しい定義された開口数(NA)を有する。しかし、ファイバのNAは、式(6)の場合、 α の制限値を超えることができる。この場合、送信光ファイバ308により受け入れられ、試料を透過する光線は、受信光ファイバ310をオーバーフィルし得る。これが生じる場合、集められる光の量は、1) 光ファイバ308、310の位置合わせずれ、すなわち Δr 、2) LEDの使用に起因し得るような、光源300から来る光の空間分布及び角度分布の小さな変化、及び3) 路長 z の変化という小さな変化の影響を受けやすくなるが、分光計102は、複数の路長での試料の透過率を測定するように設計し得る。したがって、最適な安定性及び正確性のために、送信光ファイバ308は、分光計102の唯一の制限アパーチャでなくてもよい。

【0055】

マルチモード光ファイバが概ね、光ファイバに入る光線の角度分布を保つことが周知である。したがって、送信光ファイバ308の出射面504を通る角度分布を、送信光ファイバ308の入射面502に入る光線の分布を制御することにより制限することができる。したがって、式(6)を、送信光ファイバ308に入る光を準備するための設計式として使用し得る。

【0056】

図11を参照して、例示的な実施形態による収束レンズ装置306及び送信光ファイバ308の入射面502を示す。収束レンズ装置306は、第1の軸714に沿って発せられる光1106を受け、受け取った光を空間的且つ角度的に送信光ファイバ308の入射面502の一部分に収束するように位置決めされる。例示的な実施形態では、収束レンズ装置306は、収束レンズ718及びアパーチャ板720を含み、アパーチャ板720はアパーチャ1100を含む。アパーチャ板720は、第1の軸714と平行して測定される送信光ファイバ308の入射面502から距離1102に位置決めされる。

【0057】

アパーチャ1100により、光1106の第1の部分1108は、送信光ファイバ308の入射面502に到達させ、光1106の第2の部分1110を送信光ファイバ308の入射面502に到達させないようにする。したがって、アパーチャ1100は、送信光ファイバ308の入射面502に投入される第1の部分1108の角度分布の半角1104を決める開口部である。

【0058】

アパーチャ1100は、収束レンズ718の直径であり得、

$$\alpha_s = r_s / z_s \quad (7)$$

であるように位置決めされ、式中、 α_s は、第1の部分1108の角度分布の半角1104であり、 α 、すなわち、ラジアン単位の、送信光ファイバ308と受信光ファイバ310との間のギャップの半角ビーム広がり1002に等しくもあり、 z_s は距離1102で

10

20

30

40

50

あり、 r_s はアパーチャ1100の半径である。式(6)と式(7)を結合すると、受信光ファイバ310の入射面508の入射アパーチャのアンダーフィルを生じさせるアパーチャ1100の設計式になる。

【数2】

$$r_s \leq z_s \frac{n(r_2 - r_1 - \Delta r)}{z} \quad (8)$$

【0059】

説明したように、分光計102は、空間寸法及び角度寸法の両方で受信光ファイバ310の入射面508の入射アパーチャをアンダーフィルするように半角1104を選択することにより、受信光ファイバ310に入る光の入射アパーチャを、恐らくは受信光ファイバ310の開口数よりもかなり小さい値に制限する光学要素を含む。光学要素は、所与の路長(z)において、受信光ファイバ310に入る光の最大直径が、受信光ファイバ310のコア直径以下であるように、受信光ファイバ310に入る光のアパーチャを制限する。

10

【0060】

「例示的な」という用語は、本明細書において、例、事例、又は説明として機能することを意味するために使用される。「例示的」として本明細書に記載されるいかなる態様又は設計も、必ずしも他の態様又は設計よりも好ましい又は有利であるものとして解釈されるべきではない。さらに、本開示では、特に別段の定めがある場合を除き、「a」又は「an」は「1つ又は複数」を意味する。さらに、「及び」又は「又は」の使用は、特に別記する場合を除き、「及び／又は」を含むことが意図される。

20

【0061】

本発明の例示的な実施形態の上記説明は、例示及び説明のために提示された。網羅的である、すなわち、開示される厳密な形態に本発明を限定することは意図されず、変更及び変形が、上記教示に鑑みて可能であり、又は本発明の実施から取得し得る。実施形態は、本発明の原理を説明するとともに、本発明の実際用途として、当業者が本発明を様々な実施形態で、意図される特定の使用に合うように様々な変更を用いて利用することができるように選ばれ説明された。本発明の範囲が、本明細書に添付される特許請求の範囲及びその均等物により規定されることが意図される。

30

【図 1】

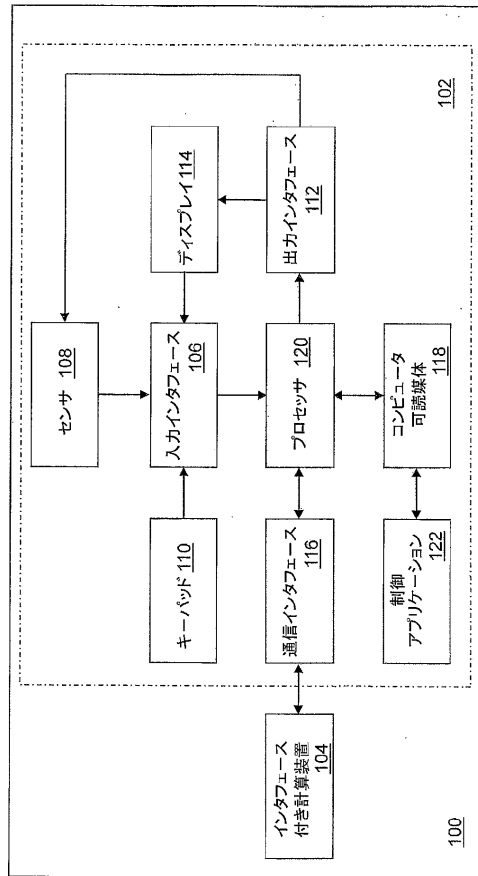


図 1

【図 2】

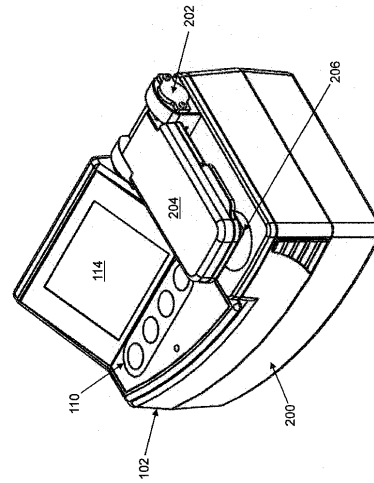


Fig. 2

【図 3】

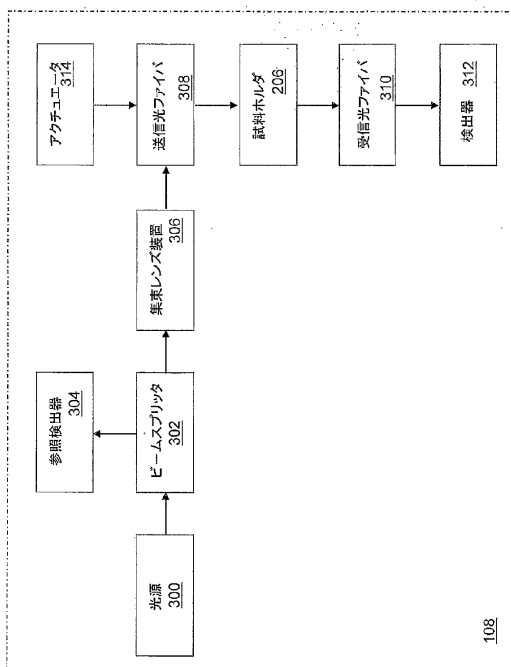


図 3

【図 4】

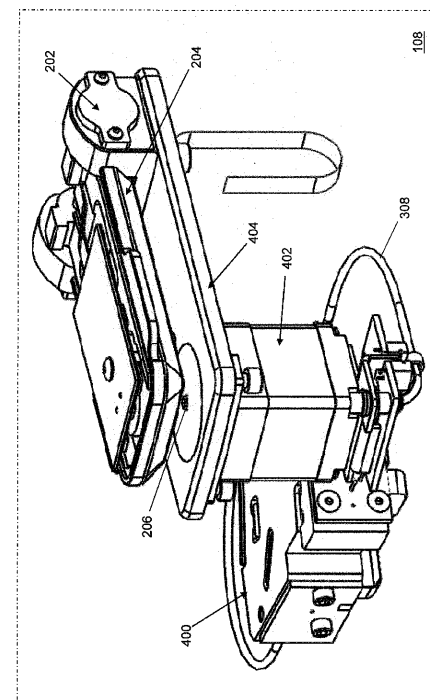


Fig. 4

【図 5 a】

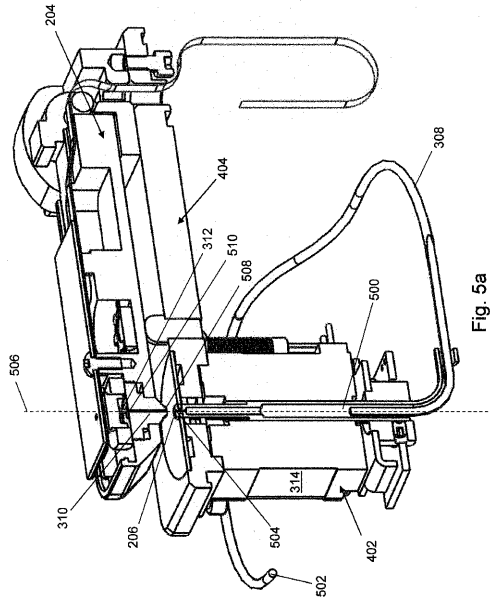


Fig. 5a

【図 5 b】

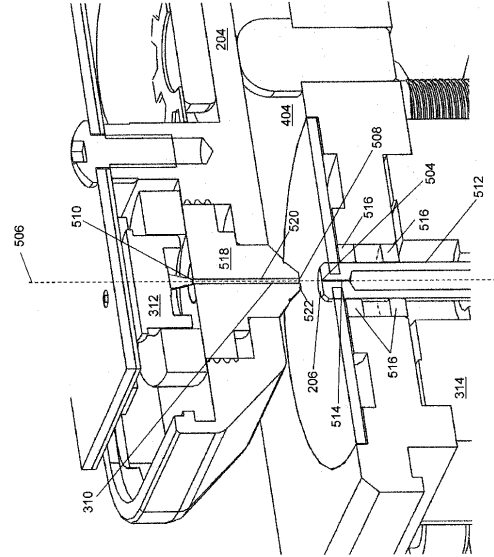


Fig. 5b

【図 6】

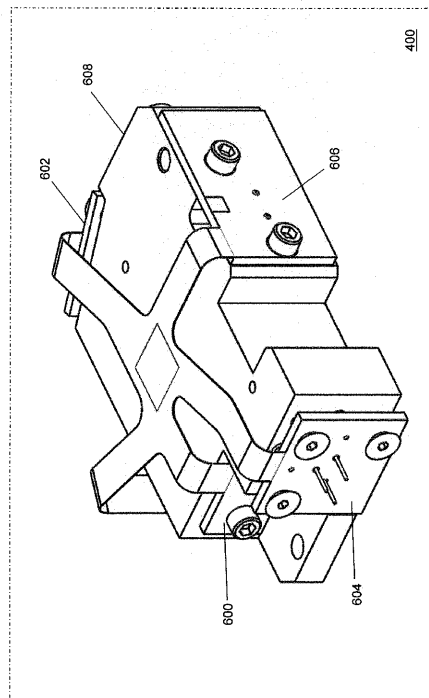


Fig. 6

【図 7】

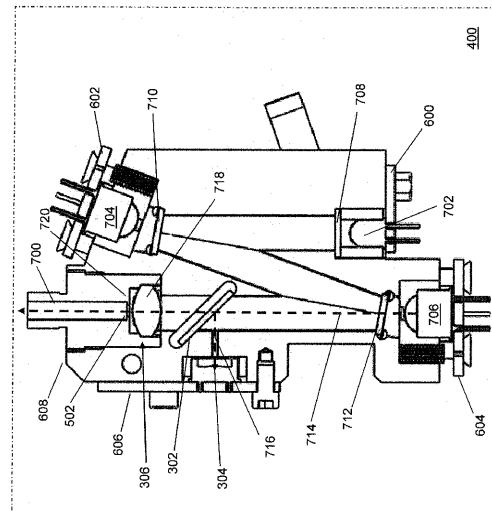


Fig. 7

【図 8】

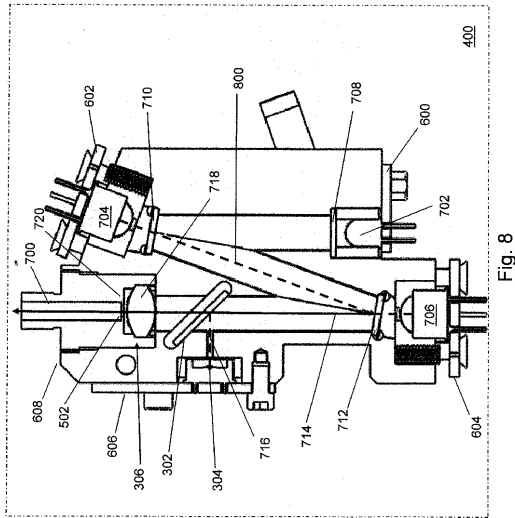


Fig. 8

【図 9】

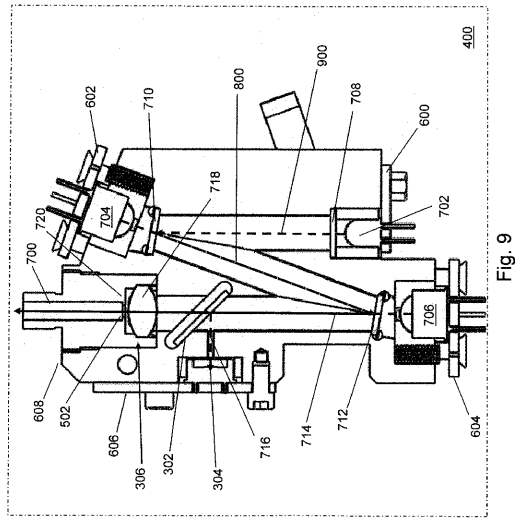


Fig. 9

【図 10】

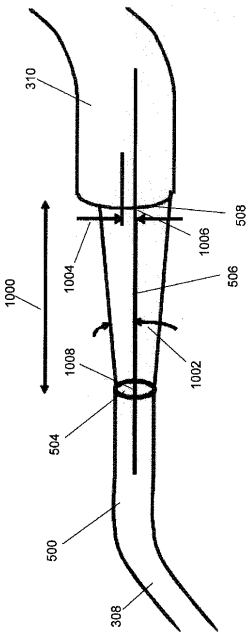


Fig. 10

【図 11】

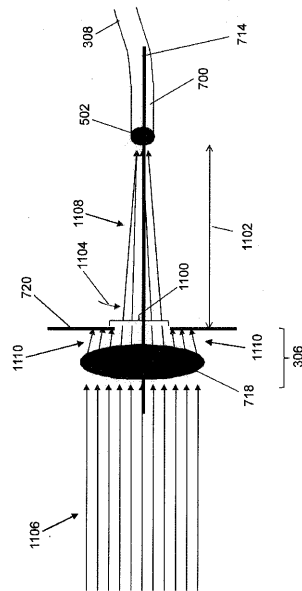


Fig. 11

フロントページの続き

(74)代理人 100095898

弁理士 松下 満

(74)代理人 100098475

弁理士 倉澤 伊知郎

(74)代理人 100130937

弁理士 山本 泰史

(72)発明者 アシュミード ダミアン ダブリュー

アメリカ合衆国 デラウェア州 19709 ミドルタウン エヴァーグリーン エイカーズ ボ
ックスウッド レーン 419

(72)発明者 デック フランシス ジェイ

アメリカ合衆国 ウィスコンシン州 53705 マディソン リージェント ストリート 48
05

審査官 奥田 雄介

(56)参考文献 米国特許出願公開第2002/0140931 (US, A1)

特開平07-092348 (JP, A)

特開2008-058664 (JP, A)

特開2010-211164 (JP, A)

特開2000-121883 (JP, A)

特開2004-335532 (JP, A)

特開平11-244243 (JP, A)

特開2008-116314 (JP, A)

特開2002-156326 (JP, A)

特開2000-338039 (JP, A)

特開平8-247935 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N 21/33