

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6924439号
(P6924439)

(45) 発行日 令和3年8月25日 (2021.8.25)

(24) 登録日 令和3年8月4日 (2021.8.4)

(51) Int. Cl.	F I
GO 1 N 21/27 (2006.01)	GO 1 N 21/27 Z
GO 1 N 21/43 (2006.01)	GO 1 N 21/43
GO 1 N 21/64 (2006.01)	GO 1 N 21/64 Z

請求項の数 8 (全 16 頁)

(21) 出願番号	特願2017-231195 (P2017-231195)	(73) 特許権者	504145342
(22) 出願日	平成29年11月30日 (2017.11.30)		国立大学法人九州大学
(65) 公開番号	特開2019-15708 (P2019-15708A)		福岡県福岡市西区元岡744
(43) 公開日	平成31年1月31日 (2019.1.31)	(73) 特許権者	000102212
審査請求日	令和2年6月9日 (2020.6.9)		ウシオ電機株式会社
(31) 優先権主張番号	特願2017-131126 (P2017-131126)		東京都千代田区丸の内一丁目6番5号
(32) 優先日	平成29年7月4日 (2017.7.4)	(74) 代理人	100109380
(33) 優先権主張国・地域又は機関	日本国 (JP)		弁理士 小西 恵
		(74) 代理人	100109036
			弁理士 永岡 重幸
		(72) 発明者	興 雄司
			福岡県福岡市東区箱崎六丁目10番1号
			国立大学法人九州大学内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光測定装置、導光部材及び光測定方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

試料からの光を測定する光測定装置であって、
 前記試料を内包する容器を収容する容器用空洞と、
 前記試料からの光を検出する光検出部と、
 前記試料からの光を前記光検出部に導光する導光路と、
 入射した光を吸収する吸光部とを備え、
前記吸光部は、前記導光路の入射端及び出射端以外の前記導光路の周囲の少なくとも一
部を覆っていて、

前記入射端から前記出射端までの距離 (L) に対する、前記入射端の面積 (A) の平方
 根の比が、0.4 以下であり、
前記導光路は、複数の導光路からなる導光路群であり、前記光検出部は、単一の光検出部
である、光測定装置。

【請求項 2】

前記入射端の面積 (A) の平方根が、80 μ m 以上である、請求項 1 記載の光測定装置。

【請求項 3】

前記導光路及び前記吸光部が同一の樹脂からなる、請求項 1 または 2 に記載の光測定装
 置。

【請求項 4】

試料からの光を測定する光測定装置であって、

10

20

前記試料を内包する容器を収容する容器用空洞と、
前記試料からの光を検出する光検出部と、
前記容器用空洞に面する入射端及び前記光検出部に面する出射端を有し、前記試料からの光を前記光検出部に導光する複数の導光路からなる導光路群と、
入射した光を吸収する吸光部とを備え、
前記吸光部が、前記導光路の前記入射端及び前記出射端以外の周囲の少なくとも一部を覆っていて、
前記光検出部は、単一の光検出部である、光測定装置。

【請求項 5】

前記試料に光を照射する光源と、
前記導光路群の前記入射端から前記出射端までの間に、光学多層膜フィルタをさらに備える、請求項 4 記載の光測定装置。

10

【請求項 6】

前記導光路群内の前記光学多層膜フィルタから前記出射端までの間に、特定の波長の光を吸収する色ガラスフィルタをさらに備える、請求項 5 記載の光測定装置。

【請求項 7】

前記導光路が、
試料からの光を透過させるシリコン樹脂部と、
前記シリコン樹脂部の中に分散された光学材料粒子とを有し、
前記シリコン樹脂部と前記光学材料粒子の屈折率が、
第 1 波長において一致し、
前記第 1 波長とは異なる第 2 波長において一致しないものである、請求項 4 から 6 のいずれか 1 項に記載の光測定装置。

20

【請求項 8】

請求項 4 記載の光測定装置により試料からの光を測定する光測定方法であって、
前記導光路群に対して光を照射する照射ステップと、
前記導光路群の複数の前記導光路からの光を併せて検出する検出ステップとを含む、光測定方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

30

【0001】

本発明は、光測定装置、導光部材及び光測定方法に関するものである。

【背景技術】

【0002】

光測定装置において、S/N比は測定精度に影響する重要な要素の一つである。光検出器で検出される検出光(S)には、測定対象の試料からの光の他に、ノイズ光(N)が含まれている。例えば、試料を通らずに光測定装置の外部から光検出器に入射する外光及びその散乱光がノイズ光(N)の一例である。

【0003】

そのため、従来の光測定装置は、光測定時に、少なくとも試料容器及び光検出器が、遮光性の筐体で完全に覆われる構造が一般的であった。この場合、筐体には、少なくとも試料容器を収容できる大きさでなければいけないという制約があった。

40

【0004】

光測定に用いる試料容器の中には、全長が百数十mmと大きいものがあり(特許文献1)、上記制約の下では光測定装置の小型化は困難であった。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特許第3765518号公報

【特許文献2】特許第5665811号公報

50

【発明の概要】**【発明が解決しようとする課題】****【0006】**

そこで、本発明は、試料が筐体に完全に覆われない状態でも測定のス/N比を大きくできる光測定装置等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】**【0007】**

本発明の第1の観点は、試料からの光を測定する光測定装置であって、前記試料を内包する容器を納める容器用空洞と、前記試料からの光を検出する光検出部と、前記試料からの光を前記光検出部に導光する導光路と、入射した光を吸収する吸光部とを備え、前記導光路の入射端は、前記容器用空洞に光学的に接続している、又は、前記試料からの光を透過する透明樹脂を介して前記容器用空洞に光学的に接続していて、前記導光路の出射端は、前記光検出部に光学的に接続していて、前記吸光部は、前記入射端及び前記出射端以外の前記導光路の周囲の少なくとも一部を覆っていて、前記入射端から前記出射端までの距離(L)に対する、前記入射端の面積(A)の平方根の比が、0.2以下である、光測定装置である。

10

【0008】

本発明の第2の観点は、第1の観点の光測定装置であって、前記入射端の面積(A)の平方根が、80 μ m以上である。

【0009】

20

本発明の第3の観点は、第1又は第2の観点の光測定装置であって、複数の前記導光路からなる導光路群を備える。

【0010】

本発明の第4の観点は、第1から第3のいずれかの観点の光測定装置であって、前記導光路及び前記吸光部が同一の樹脂からなる。

【0011】

本発明の第5の観点は、試料からの光を導光する導光部材であって、前記試料を内包する容器を納める容器用空洞と、前記試料からの光を導光する導光路と、入射した光を吸収する吸光部とを備え、前記導光路の入射端は、前記容器用空洞に光学的に接続している、又は、前記試料からの光を透過する透明樹脂を介して前記容器用空洞に光学的に接続していて、前記吸光部は、前記導光路の前記入射端及び出射端以外の前記導光路の周囲の少なくとも一部を覆っていて、前記入射端から前記出射端までの距離(L)に対する、前記入射端の面積(A)の平方根の比が、0.2以下である、導光部材である。

30

【0012】

本発明の第6の観点は、試料からの光を測定する光測定装置であって、前記試料を内包する容器を納める容器用空洞と、前記試料からの光を検出する光検出部と、前記容器用空洞に面する入射端及び前記光検出部に面する出射端を有し、前記試料からの光を前記光検出部に導光する複数の導光路からなる導光路群と、入射した光を吸収する吸光部とを備え、前記吸光部が、前記導光路の前記入射端及び前記出射端以外の周囲の少なくとも一部を覆っていて、前記入射端は、前記容器用空洞に光学的に接続している、又は、前記試料からの光を透過する透明樹脂を介して前記容器用空洞に光学的に接続している、光測定装置である。

40

【0013】

本発明の第7の観点は、第6の観点の光測定装置であって、前記試料に光を照射する光源と、前記導光路群の前記入射端から前記出射端までの間に、光学多層膜フィルタをさらに備える、光測定装置である。

【0014】

本発明の第8の観点は、第7の観点の光測定装置であって、前記導光路群内の前記光学多層膜フィルタから前記出射端までの間に、特定の波長の光を吸収する色ガラスフィルタをさらに備える、光測定装置である。

50

【 0 0 1 5 】

本発明の第 9 の観点は、第 8 の観点の光測定装置であって、前記導光路が、試料からの光を透過させるシリコン樹脂部と、前記シリコン樹脂部の中に分散された光学材料粒子とを有し、前記シリコン樹脂部と前記光学材料粒子の屈折率が、第 1 波長において一致し、前記第 1 波長とは異なる第 2 波長において一致しないものである、光測定装置である。

【 0 0 1 6 】

本発明の第 1 0 の観点は、試料からの光を測定する光測定方法であって、複数の導光路からなる導光路群に対して光を照射する照射ステップと、前記導光路群の複数の前記導光路からの光を併せて検出する検出ステップとを含み、光を吸収する吸光部が、前記導光路の入射端及び出射端以外の周囲を覆っている、光測定方法である。

10

【発明の効果】

【 0 0 1 7 】

本発明の各観点によれば、筐体によって試料容器が完全に覆われていなくても、ノイズ光に対する検出光 (S) の比が十分に高い光測定が可能になる。その結果、試料容器が大きくても光測定装置を小型化することが可能となる。

【 0 0 1 8 】

また、従来の光測定装置においては、試料を光測定装置に挿入した後に、外光を遮断するために蓋を閉める必要があった。それに対し、本発明の光測定装置は、蓋の開閉動作が不要であるため、作業負担が少なく、操作性が良い。

20

【 0 0 1 9 】

本発明の第 3 の観点によれば、必要とする検出光強度を得つつ、十分に高い S / N 比での光測定が可能になる。

【 0 0 2 0 】

本発明の第 4 の観点によれば、導光路と吸光部の界面における光の散乱を抑制することが可能になる。

【 0 0 2 1 】

本発明の第 7 の観点によれば、光学多層膜フィルタを有していても小型の光測定装置を提供することが可能になる。従来、光学多層膜フィルタを備える光測定装置は、光学多層膜フィルタへの入射角を 0 度にするために光学レンズが必要であった。しかしながら、第 7 の観点によれば、導光路群によって、光学多層膜フィルタに入射する光の入射角を 0 度にするため、入射角 0 にするための光学レンズが不要になり、光測定装置をさらに小型化することができる。

30

【 0 0 2 2 】

本発明の第 8 又は 9 の観点によれば、ノイズ光をさらに低減させることが可能になる。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 2 3 】

【図 1】 S O T 構造の吸光度計を示す図である。

【図 2】 本発明の実施例に係る光測定装置の導光路と発光源の概略図である。

【図 3】 本発明の実施例に係る導光路の直径に対する直進光及び外光の強度を示す図である。

40

【図 4】 直径 0.5mm の導光路を 5 本使用する場合における導光路の直径に対する直進光及び外光の強度を示す図である。

【図 5】 本発明の実施例に係る導光路の断面を示す模式図である。

【図 6】 本発明の実施例に係る光測定装置の構造を示す図である。

【図 7】 本発明の実施例に係る吸光度計の構造を示す図である。

【図 8】 本発明の実施例 3 に係る L I F 装置の構造を示す図である。

【図 9】 本発明の実施例 4 に係る L I F 装置の構造を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 2 4 】

50

以下、図面を参照して、本発明の実施例について述べる。なお、本発明の実施の形態は、以下の実施例に限定されるものではない。

【実施例１】

【００２５】

本実施例では、ＳＯＴ技術を用いて作製した光測定装置について述べる。近年、ライフサイエンス分野におけるポイントオブケア（POCT）検査のように、吸光度法やレーザー誘起蛍光法などの光分析技術を用いた光測定装置の小型化が要請されている。

【００２６】

発明者らは、このような要請に対応した光学測定装置を提案した。その一例が、特許文献１記載のＰＯＣＴ対応のＬＩＦ（Laser induced fluorescence）装置である。これは、光路を含む光学系をシリコン樹脂で構成するものである。照射光（励起光）及び観測光に透明な樹脂を、導光路の一部に充填する。そして、透明な樹脂を包囲するように、迷光を吸収する特性を有する顔料を含有する樹脂を設ける。

【００２７】

上記透明な樹脂と、顔料含有樹脂との材質を同じにすることにより、以下のような利点を得られる。まず、両樹脂の界面での反射・散乱が抑制される。次に、顔料含有樹脂に入射した迷光が当該樹脂で吸収され導光路に殆ど戻らず、迷光の複雑な多重反射がほとんど発生しない。

【００２８】

よって、光学測定装置の光学系は、複雑な多重反射に対応する必要がある。よって、光学系は小型・簡便化される。結果として、光学測定装置も小型化される。上記したシリコン樹脂で構築した光学系の技術を、ＳＯＴ（Silicone Optical Technologies）と呼称することにする。

【００２９】

ＳＯＴ技術を用いた光学系は、上記したようなＬＩＦ装置以外の光学測定装置に採用されうる。例えば、図１に示すような吸光度計１にも採用可能である。

【００３０】

図１の吸光度計１は、遮光性の筐体３（顔料含有樹脂からなる筐体）内に、検体５を内包するＰＣＲ管７が設置される導光路９と、導光路９の一端に設定されるＬＥＤ等の光源１１と、導光路９の他端に設置される受光センサ１３からなる。導光路９は、光源１１から放出されＰＣＲ管７に内包されている検体５に照射される照射光１５と、照射光１５が照射された検体５から放出される観測光１７に対して透明な樹脂が充填された透明樹脂製導光路である。

【００３１】

また、導光路９に透明樹脂を充填せず、空洞のままにしても良い。その場合は、導光路９とそれを包囲する顔料含有樹脂からなる筐体３との界面における迷光反射の抑制効果は得られないものの、顔料含有樹脂に入射した迷光は当該樹脂で吸収されるので空洞からなる導光路９には殆ど戻らず、迷光の複雑な多重反射がある程度「抑制」される。

【００３２】

ＳＯＴ構造は、また、導光路を顔料含有樹脂で包囲する構造であるので、外部からの外光は導光路に到達しない。例えば、特許文献１のＬＩＦ装置においても、図１に示した吸光度計１においても、外部からの外光は導光路に到達しない。

【００３３】

図２は、本発明の実施例に係る光測定装置の導光路２１と発光源２３の概略図である。発光源２３は、測定対象となる測定光２５を放出している。導光路２１は、測定光２５を透過させる透明樹脂からなる。導光路２１の周囲は、不図示の顔料含有樹脂で覆われている。発光源２３は、導光路２１の入射端２７に対向する位置に配置されるため、導光路２１に入射する測定光２５は、図２に示すように、直進光成分を多く含むと考えられる。

【００３４】

なお僅かではあるが、導光路２１の入射端２７を通過して出射端２９へ進行する光のう

10

20

30

40

50

ち、顔料含有樹脂での吸収を受けることなく、出射端 2 9 へ到達する光も存在する。この光は、直進光でなくとも導光部の出射端 2 9 へ到達する。

【 0 0 3 5 】

一方、光測定に不所望な外光 3 1 は、入射端 2 7 の法線方向 3 3 から当該入射端 2 7 に入射することは殆どない。よって、外光 3 1 の中には出射端 2 9 まで到達せず外光 3 5 となるものもあるが、外光 3 1 の一部は導光路 2 1 の入射端 2 7 で散乱され、散乱光 3 7 として導光路 2 1 の出射端 2 9 に到達する。

【 0 0 3 6 】

図 2 から明らかなように、導光路 2 1 の入射端 2 7 の面積 (A) が大きくなると、導光路 2 1 へ入射する光量は大きくなる。よって、入射端 2 7 の面積 (A) が大きくなると、導光路 2 1 を進む直進光の強度も、導光路 2 1 の入射端 2 7 で散乱して出射端 2 9 へと散乱光として到達する外光 3 1 の強度も大きくなる。

【 0 0 3 7 】

ここで、入射端 2 7 の面積 (A) に対する直進光の強度依存性、および外光 3 1 の強度依存性を調査した。まず、図 2 に示す通り導光路 2 1 を円柱構造と仮定し、外光 3 1 の強度依存性を求めた。具体的には、円柱構造の導光路 2 1 の長さを L、直径を d とし、円座標 (r ,) を設定して、外光 3 1 の量を以下の式 (1) を用いて求めた。

【 0 0 3 8 】

【数 1】

$$\int_0^{\frac{d}{2}} \int_0^{2\pi} \frac{\sqrt{d^2 + 4L^2}(d - 2r \cos[\phi])}{2L^2\pi L^2} r d\phi dr \quad \dots(1)$$

【 0 0 3 9 】

上記式を用いて近似し、入射端 2 7 で散乱して出射端 2 9 へと到達する外光の強度を R とすると、R は以下の式 (2) 及び式 (3) で表される。ここで、 は定数である。

【 0 0 4 0 】

【数 2】

$$R \propto \left(\frac{d}{L}\right)^3 \quad \dots(2)$$

$$R = \beta \left(\frac{d}{L}\right)^3 \quad \dots(3)$$

【 0 0 4 1 】

一方、直進光の強度 P は、導光路 2 1 の面積 (d / 2) ² に比例するので、式 (4) で表される。ここで、 は定数である。

【 0 0 4 2 】

【数 3】

$$P = \alpha \left(\frac{d}{2}\right)^2 \quad \dots(4)$$

【 0 0 4 3 】

式 (3) 及び式 (4) を用いて、導光路の直径に対する直進光及び外光の強度をシミュレーションした結果を図 3 に示す。図 3 に示す通り、導光路の直径の増加に対する外光の強度の増加量は、測定光の強度の増加量より大きいことが分かった。

【 0 0 4 4 】

つまり、入射端の面積 (A) が狭いほど、S / N の比が向上することが明らかになった。

【 0 0 4 5 】

10

20

30

40

50

具体的には、導光路の入射端の面積（ A ）の平方根と、入射端から出射端までの距離（ L ）が下記の式（５）を満たすと、筐体によって試料容器が完全に覆われていない状態でも容易に S/N 比が十分に高い光測定が可能となる。

【００４６】

【数４】

$$\frac{\sqrt{A}}{L} \leq 0.4 \quad \dots(5)$$

【００４７】

10

SOT構造において、例えばシリコン樹脂の場合、容易に加工可能な導光路の入射端の面積は、 0.01 mm^2 程度である。発明者らが、導光路の入射端の面積を 0.01 mm^2 として導光路の長さを変えてみたところ、上記式（５）の条件を満たしたときに、筐体によって試料容器が完全に覆われていない状態でも S/N 比が十分に高い光測定を実現できた。また、導光路の入射端の面積を 1 mm^2 としたときも同様の結果を得た。

【００４８】

また、回折損失を小さく抑えるためには、導光路が正四角柱構造の場合、正方形形状の入射端の一辺の幅を d_s とすると、式（６）が満たされることが望ましい。なお、導光路が円柱構造の導光路の場合、上記のように d を入射端の直径とすると、式（６'）が満たされることが望ましい。

20

【００４９】

【数５】

$$L < \frac{d_s^2}{\lambda} \quad \dots(6)$$

$$L < \frac{\pi \left(\frac{d}{2}\right)^2}{\lambda} \quad \dots(6')$$

【００５０】

30

ここで、式（６）の分子、式（６'）の分子は、いずれも入射端の面積 A となるので、式（６）及び式（６'）は、結局、下記の式（６''）のように表される。

【００５１】

【数６】

$$L < \frac{A}{\lambda} \quad \dots(6'')$$

【００５２】

さらに、光源として紫外光～赤外光の波長を有する光源を用いること、及び、十分に小型の光測定装置の導光路が 1 cm 以下であることを想定すると、光測定に十分な光強度を得るためには、式（７）が満たされることが望ましい。この場合、 S/N 比が十分に高い光測定が可能になる。

40

【００５３】

【数７】

$$\sqrt{A} \geq 80\mu\text{m} \quad \dots(7)$$

【実施例２】

【００５４】

本実施例に係る光測定装置は、導光路を複数備える。例えば、直径 0.5 mm の導光路を5本使用することを考える。図４の点A1は、直径 0.5 mm の導光路5本を使用するときの外

50

光強度を示しており、直径0.5mmの導光路 1 本を使用するときの外光強度の 5 倍の値である。そして、図 4 の点 B 1 は、直径0.5mmの導光路 5 本を使用するときの測定光強度を示しており、直径0.5mmの導光路 1 本を使用するときの測定光強度の 5 倍の値である。

【 0 0 5 5 】

直径0.5mmの導光路 5 本を使用するときと同じ測定光強度を、1 本の導光路で得る場合は、図 4 の点 B 2 となり、導光路の直径は1.18mmである。直径1.18mmの導光路 1 本を用いる場合の外光強度は、図 4 の点 A 2 である。つまり、1 本の導光路（直径1.18mm）の場合と 5 本の導光路（直径各0.5mm）の場合とでは、測定光強度は点 B 2 と点 B 1 に示される通り同じであるが、外光強度は点 A 2 と点 A 1 に示される通り後者の方が小さくなる。

【 0 0 5 6 】

ここで、導光路に入射する測定光を直進光と仮定すると、直径 d の導光路の出射端から取り出される直進光の強度 P は式（ 4 ）、外光の強度 R は式（ 3 ）で表される。したがって、直径 d の導光路 1 本から取り出される光の強度 I（ d ）は下記の式（ 8 ）で表される。

【 0 0 5 7 】

【 数 8 】

$$I(d) = P + R \quad \dots(8)$$

【 0 0 5 8 】

また、直径 d / 5 の導光路の出射端から取り出される直進光の強度 P ' は式（ 9 ）、外光の強度 R ' は式（ 1 0 ）、直径 d / 5 の導光路 1 本から取り出される光の強度 I（ d / 5 ）は式（ 1 1 ）で表される。

【 0 0 5 9 】

【 数 9 】

$$\begin{aligned} P' &= \alpha \left(\frac{1}{2} \times \frac{d}{5} \right)^2 \\ &= \left(\frac{1}{25} \right) P \end{aligned} \quad \dots(9)$$

$$\begin{aligned} R' &= \beta \left(\frac{1}{L} \times \frac{d}{5} \right)^3 \\ &= \left(\frac{1}{125} \right) R \end{aligned} \quad \dots(10)$$

$$\begin{aligned} I\left(\frac{d}{5}\right) &= P' + R' \\ &= \frac{1}{25} P + \frac{1}{125} R \end{aligned} \quad \dots(11)$$

【 0 0 6 0 】

上記から明らかなように、導光路の出射端から取り出す直進光の強度を、直径 d の導光路のときの強度と同じにしようとすると、直径 d / 5 の導光路は、2 5 本必要となる。また、直径 d / 5 の導光路を 2 5 本用いると、外光の強度は、直径 d の導光路のときの 1 / 5 となる。

【 0 0 6 1 】

さらに、1 本よりも複数の導光路を用いた方が S / N 比が大きくなるという上記の知見を、S O T 構造に適用する場合を考える。図 5 は、S O T 構造における導光路の断面を示す模式図である。図 5（ a ）の導光路 4 5 は、円筒型をしており、入射端 4 1 から出射端 4 3 の距離が L で、直径は d である。図 5（ b ）の導光路 4 6 は、円筒型をしており、入射端 4 2 から出射端 4 4 の距離が L で、直径は d / 5 であるとする。なお、導光路 4 5 , 4 6 は、入射端 4 1 , 4 2、出射端 4 3 , 4 4 を除き、顔料含有樹脂 4 7 , 4 8 に包囲さ

10

20

30

40

50

れている。

【 0 0 6 2 】

図 5 に示す S O T 構造の場合、導光路 4 5 , 4 6 が顔料含有樹脂 4 7 , 4 8 と同じ材質からなる透明なシリコン樹脂（すなわち、顔料を含まない樹脂）であれば、上記したように、導光路 4 5 , 4 6 と顔料含有樹脂 4 7 , 4 8 との界面での反射は発生しない。なお、顔料に入射する外光やその散乱光 4 9 , 5 0 はほぼ吸収されるが、わずかながら顔料表面で散乱され、直進光 5 1 , 5 2 と合わせて出射端から取り出される。

【 0 0 6 3 】

そして、発明者らの実験によれば、L が 4 mm とすると、出射端 4 3 , 4 4 から取り出される散乱光 4 9 , 5 0 の強度は、入射端 4 1 , 4 2 での散乱光 4 9 , 5 0 の強度の 0 . 0 1 % であった。

10

【 0 0 6 4 】

よって、S O T 構造を取り、導光路 4 5 , 4 6 が透明なシリコン樹脂である場合、直径 d の導光路 4 5 から取り出される光の強度は式 (1 2) 、直径 d / 5 の導光路 4 6 から取り出される光の強度は式 (1 3) で表される。

【 0 0 6 5 】

【数 1 0 】

$$\begin{aligned} I(d, SOT \text{透明シリコン樹脂}) &= P + R - (1 - 0.0001)R \\ &= P + 0.0001R \quad \dots (12) \\ I\left(\frac{d}{5}, SOT \text{透明シリコン樹脂}\right) &= P' + 0.0001R' \\ &= \frac{1}{25}P + \frac{1}{1250000}R \quad \dots (13) \end{aligned}$$

20

【 0 0 6 6 】

一方、導光路 4 5 が空洞（空気）である場合は、顔料含有樹脂 4 7 に包囲された導光路 4 5 の出射端 4 3 から取り出される散乱光 4 9 の強度は、導光路 4 5 と顔料含有樹脂 4 7 との界面での反射が発生するので、導光路 4 5 の入射端 4 1 での散乱光 4 9 の強度の 1 0 % であった。

【 0 0 6 7 】

30

よって、S O T 構造を取り、導光路 4 5 が空洞である場合、直径 d の導光路 4 5 から取り出される光の強度は式 (1 4) 、直径 d / 5 の導光路 4 5 から取り出される光の強度は式 (1 5) で表される。

【 0 0 6 8 】

【数 1 1 】

$$\begin{aligned} I(d, SOT \text{空洞}) &= P + R - (1 - 0.1)R \\ &= P + 0.1R \quad \dots (14) \\ I\left(\frac{d}{5}, SOT \text{空洞}\right) &= P' + 0.1R' \\ &= \frac{1}{25}P + \frac{1}{1250}R \quad \dots (15) \end{aligned}$$

40

【 0 0 6 9 】

ここで、導光路 4 5 の直径が d のときの直進光 5 1 の強度 P を 3 (a u) 、散乱光 4 9 の強度を 2 (a u) とする（すなわち、導光路 4 5 へ入射する光の全強度を 5 (a u) とすると、導光路 4 5 から取り出される光の強度、散乱光 4 9 (外光) の強度は、以下の表のようになる。

【 0 0 7 0 】

【表 1】

取り出し光の強度

	d	d/5	d/5 (25本)	d/4	d/4 (16本)	d/3	d/3 (9本)	d/2	d/2 (4本)
NOT SOT	5	0.136	3.4	0.219	3.5	0.407407	3.67	1	4
SOT (空気)	3.2	0.1216	3.04	0.191625	3.05	0.3407407	3.067	0.775	3.1
SOT (樹脂)	3.002	0.1200016	3.00004	0.187503125	3.00005	0.33334074	3.000067	0.750025	3.0001

散乱光(外光)の強度

	d	d/5	d/5 (25本)	d/4	d/4 (16本)	d/3	d/3 (9本)	d/2	d/2 (4本)
NOT SOT	2 (100%)	0.016 (0.8%)	0.4 (20%)	0.031 (1.56%)	0.5 (25%)	0.074 (3.7%)	0.67 (33.5%)	0.25 (12.5%)	1 (50%)
SOT (空気)	0.2 (10%)	0.0016 (0.08%)	0.04 (2%)	0.0031 (0.156%)	0.05 (2.5%)	0.0074 (0.37%)	0.067 (3.35%)	0.025 (0.125%)	0.1 (5%)
SOT (樹脂)	0.002 (0.1%)	0.0000016 (0.00008%)	0.00004 (0.002%)	0.0000031 (0.000156%)	0.00005 (0.0025%)	0.0000074 (0.00037%)	0.00067 (0.0335%)	0.000025 (0.00125%)	0.0001 (0.005%)

【0071】

2つの表から明らかなように、SOT構造を取っていない場合でも、例えば導光路45の直径を $d/5$ とし、その導光路を25本の導光路群として使用すると、直径 d である1本の導光路を用いるときと比して、導光路群の出射端から取り出される散乱光(外光)の強度を80%削減し、20%にすることができる。これが、導光路群が空洞であるSOT構造の場合は、散乱光の強度を98%削減し、2%にすることができる。更に、導光路群が顔料含有樹脂と同じ材質の透明なシリコン樹脂であるSOT構造の場合は、散乱光の強度を99.998%削減し、0.002%にすることができる。

【0072】

また、SOT構造においても、導光路が空洞(空気)からなり直径 d の1本の導光路を、透明なシリコン樹脂製であって直径 $d/5$ の25本の導光路群と置き換えると、散乱光強度を0.02%とすることができる。ここで、透明なシリコン樹脂製の直径 $d/5$ の導光路群を10本にすると、導光路群から取り出される光の強度は約40%に減少してしまうが、散乱光(外光)強度を空洞導光路のときの0.008%にまで抑制できるので、精度の高い測定を行うことができる。

【0073】

SOT構造においては、直径 d の円筒形状の導光路を、直径 d/n の円筒形状の導光路を n^2 本ではなく、 m 本($< n^2$)を用いても、その分、SN比が良好な精度が高い測定を行うことができる。すなわち、SOT構造において、導光路の本数を、必要とする測定光強度が得られ、更に、測定光強度と外光の強度によるSN比が十分に小さくなるような本数にすることができる。

【0074】

図6に本発明の光測定装置61の構造例を示す。光測定装置61は、例えば、特許文献2に開示されているような発光体を内包する検体ホルダ65が脱着可能な構造を有しているものであり、図6(a)に示すように、顔料含有樹脂からなる筐体67に検体ホルダ65を収容可能な検体ホルダ収容部69が設けられている。

【0075】

図6(b)は、検体ホルダ収容部69に検体ホルダ65が収容されている場合を示す。同図において検体ホルダ65の長さは、検体ホルダ収容部69に収容時に光測定装置61の上面から突出する長さとなっている。そのため、外光71が検体ホルダ65の突出部分から検体ホルダ65内に入射する。

【0076】

導光路73は、検体ホルダ65の発光部63から発光された光を光学センサ75へ導光するように、例えば検体ホルダ65に接する、または隣接させるなどして光学的に接続さ

10

20

30

40

50

れている。こうすることで検体ホルダ 65 の発光部 63 から発光する光は、導光路 73 を介して光学センサ 75 へと導光される。上記したように、外光 71 が検体ホルダ 65 の突出部分から入射するので、入射した外光 71 の一部は、導光路 73 の光入射端に入射して散乱し、散乱光の一部は導光路に入射して、測定光 77 とともに光学センサ 75 に導光される。この外光 71 の影響を小さくするために、上記した知見により、発光部 63 と光学センサ 65 をつなぐ導光路は複数本設けられる。導光路 73 の本数は、本実施例では図示したとおり 4 本としているが、必要とする測定光強度が得られ、測定光強度と外光 71 の強度による S / N 比が十分に小さくなるような本数とすることができる。

【0077】

また、図 7 に示すように、本発明の光測定装置を吸光度計 81 とすることも想定される。吸光度計 81 は、遮光性の筐体 83 (顔料含有樹脂からなる筐体) 内に、検体 85 を内包する PCR 管 87 が設置される導光路 89 と、導光路 89 の一端に設定される LED 等の光源 91 と、導光路 89 の他端に設置される受光センサ 93 からなる。導光路 89 は、光源 91 から放出され PCR 管 87 に内包されている検体 85 に照射される照射光 95 と、照射光 95 が照射された検体 85 から放出される観測光 97 に対して透明な樹脂が充填された透明樹脂製導光路である。

【実施例 3】

【0078】

図 8 に、本発明の導光路群を備える LIF 装置 101 の構成例を示す。LIF 装置 101 は、特許文献 2 に開示された LIF 装置が備える、励起光を放出する光源 103 (例えば、レーザ光源等の固体光源)、被測定試料を保持する試料ケース 105、ノッチフィルタ 107 (本願請求項記載の「光学多層膜フィルタ」の一例)、色ガラスフィルタ 109、光センサ 111 (例えば、光電子増倍管などの蛍光測定器) 及び顔料含有樹脂部 113 に加え、複数の導光路からなる導光路群 115 をさらに備える。

【0079】

試料ケース 105 は、測定時には LIF 装置 101 内の光照射空間 117 に保持される。光照射空間 117 は、光源 103 からの照射光 (励起光)、試料ケース 105 に保持される試料から放出される蛍光を含む光に対して透明な P D M S 等の透明シリコン樹脂で構成される。光源 103 から放出される照射光 (励起光) は、この光照射空間 117 を介して試料ケース 105 が保持する試料に照射される。

【0080】

導光路群 115 を構成する導光路は、例えば、光照射空間 117 を構成する透明シリコン樹脂と同素材からなる円筒形状のものであり、光照射空間 117 内を上記照射光が試料ケースに向かって進行する方向と異なる方向 (例えば上記進行方向と直交する方向) 側であって、光照射空間 117 と例えば接触したり隣接したりするなどして光学的に接続するように設けられる。なお、上記導光部材は、透明シリコン樹脂ではなく、空洞であってもよい。

【0081】

導光路群 115 の光出射側は、光センサ 111 と光学的に接続される。光照射空間 117 及び導光路群 115 の導光路は、励起光、試料ケース 105 に励起光が照射される際に発生する自家蛍光、及び、励起光が樹脂内を進行する際に樹脂から発生するラマン光を吸収する波長特性を有する顔料をほぼ一様に含有するシリコン樹脂 (以後、「顔料含有シリコン樹脂 113」と称する) により包囲される。すなわち、光照射空間 117 と顔料含有シリコン樹脂 113、導光路群 115 と顔料含有シリコン樹脂 113 とは S O T 構造を構成する。

【0082】

なお、光源 103、光センサ 111、図示を省略した光源 103・光センサ 111 に電力を給電する給電部材も、適宜、顔料含有シリコン樹脂 113 に埋設してもよい。ここで、光源 103 の光放出面、光センサ 111 の光受光面は、顔料含有シリコン樹脂 113 が介在せず、光照射空間 117 や導光路群 115 の導光路と光学的に接続される。

【0083】

導光路群115の導光路は、試料ケース105が保持する試料から放出される観測光（蛍光）を、光センサ111に導光するものである。ここで試料から放出される観測光（蛍光）は、光照射空間117を介して当該光照射空間117と光学的に接続される導光路群115の導光路に入射する。ただし、導光路群115の導光路に入射する光は観測光（蛍光）のみではなく、励起光の迷光、試料ケース105からの自家蛍光、及び、透明シリコーン樹脂を励起光が通過するときに放出されるラマン光等のノイズ光も入射する。そこで、光照射空間117から光センサ111までの導光路内に、上記ノイズ光を低減するためのノッチフィルタ107が挿入される。

【0084】

ノッチフィルタ107は、当該ノッチフィルタ107へのノイズ光の入射角が0°のとき、最も効果的に上記ノイズ光を減衰する。特許文献2に開示されたLIF装置においては、光学レンズを用いて、ノッチフィルタへの光の入射角が0°となるようにしていた。

【0085】

ここで、導光路群115の導光路は、例えば円筒状に構成し、かつ、直径dを適宜設定することにより、導光路群115により導光される光はほぼ直進光となり、直進光ではない光は、導光路群115の導光路を包囲する顔料含有シリコーン樹脂113に吸収される。よって、導光路群115の途中の位置であって、導光路群115の伸びる方向と直交するようにノッチフィルタ107を挿入することにより、当該ノッチフィルタ107へのノイズ光の入射角はほぼ0°となる。そのため、本発明に係るLIF装置101においては、特許文献2に開示されているLIF装置と異なり、光学レンズは不要となる。

【0086】

このように、本発明の導光路群115を用いることにより、レンズ等の光学部品が不要となり、LIF装置をより小型に構成することが可能となる。また、ノッチフィルタ等の光学素子や試料ケース、光源、光センサ等の各構成部品は、顔料含有シリコーン樹脂に埋設されるので、LIF装置に振動や衝撃が加えられたとしても光学素子等の位置の変動が起こりにくい。

【0087】

なお、上記ノイズ光は、ノッチフィルタ107を僅かに通過するものもあるため、ノッチフィルタ107の光出射側に上記ノイズ光を吸収し、観測光（蛍光）を透過する色ガラスフィルタ109を設けても良い。

【実施例4】

【0088】

図9に、図8のLIF装置101の色ガラスフィルタ109に代えて、導光路群121の導光路に、ノイズ光を吸収する色素（染料）を分散させたLIF装置125の構成例を示す。図9のLIF装置125では、導光路群121の導光路自体が色ガラスフィルタと同様に機能し、ノイズ光を効果的に減衰させることが可能となる。

【0089】

なお、導光路群121の導光路がシリコーン樹脂製である場合、当該導光路内に分散している色素（染料）が、隣接する顔料含有シリコーン樹脂127との界面を通過して、顔料含有シリコーン樹脂127に染み出す可能性もある。

【0090】

このような不具合を回避する必要がある場合、色素（染料）が分散されているシリコーン樹脂（以後、「色素分散シリコーン樹脂」ともいう）製の導光路を顔料含有シリコーン樹脂127に埋設する前に、色素分散シリコーン樹脂に例えば波長172nmの真空紫外光を照射し、当該色素分散シリコーン樹脂表面に酸化シリコン（ SiO_2 ）の薄膜を設けることが好ましい。これにより、色素分散シリコーン樹脂製の導光路と顔料含有シリコーン樹脂127との界面に酸化シリコン薄膜が介在するので、導光路を構成する色素分散シリコーン樹脂の色素（染料）が顔料含有シリコーン樹脂127の内部に染み出すことはない。

10

20

30

40

50

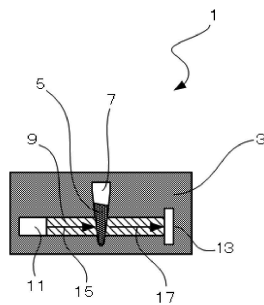
【符号の説明】

【 0 0 9 1 】

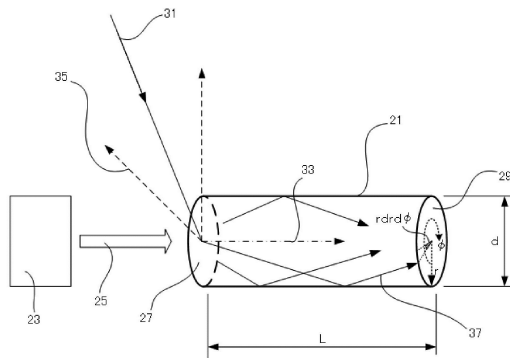
1・・・吸光度計、3・・・筐体、5・・・検体、7・・・PCR管、9・・・導光路、
 11・・・光源、13・・・受光センサ、15・・・照射光、17・・・観測光、21・・・
 導光路、23・・・発光源、25・・・測定光、27・・・入射端、29・・・出射
 端、31・・・外光、33・・・法線方向、35・・・出射端まで到達しない外光、37
 ・・・・散乱光、41・・・入射端、43・・・出射端、45・・・導光路、47・・・顔
 料含有樹脂、49・・・散乱光、51・・・直進光、61・・・光測定装置、63・・・
 発光部、65・・・検体ホルダ、67・・・筐体、69・・・検体ホルダ収容部、71・
 ・・・・外光、73・・・導光路、75・・・光学センサ、77・・・測定光、81・・・吸
 光度計、83・・・筐体、85・・・検体、87・・・PCR管、89・・・導光路、9
 1・・・光源、93・・・受光センサ、95・・・照射光、97・・・観測光、101・
 ・・・・L I F 装置、103・・・光源、105・・・試料ケース、107・・・ノッチフィ
 ルタ、109・・・色ガラスフィルタ、111・・・光センサ、113・・・顔料含有樹
 脂部、115・・・導光路群、117・・・光照射空間、121・・・導光路群、125
 ・・・・L I F 装置、127・・・顔料含有シリコン樹脂

10

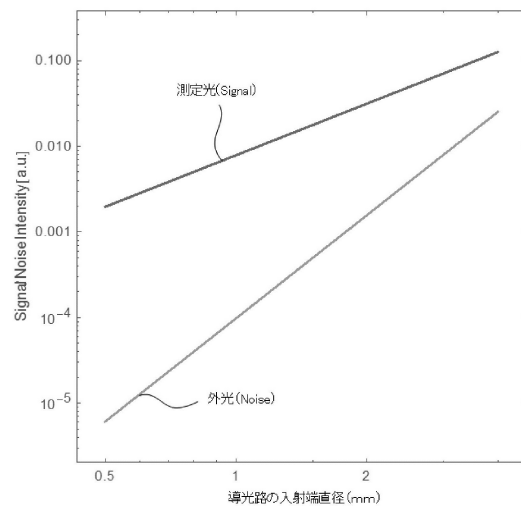
【図 1】



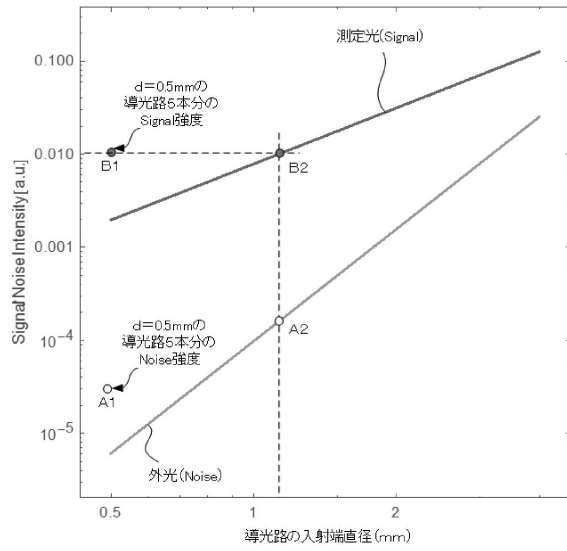
【図 2】



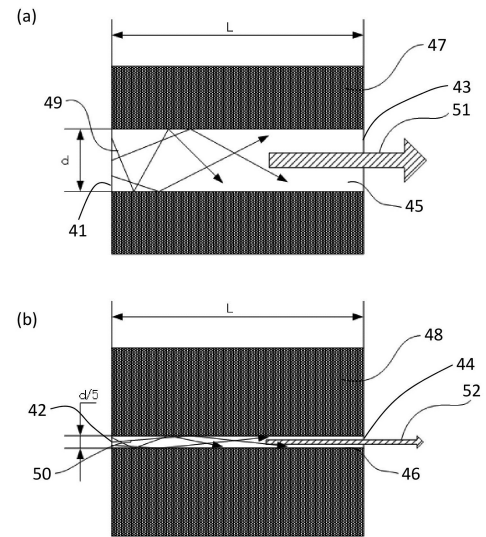
【図 3】



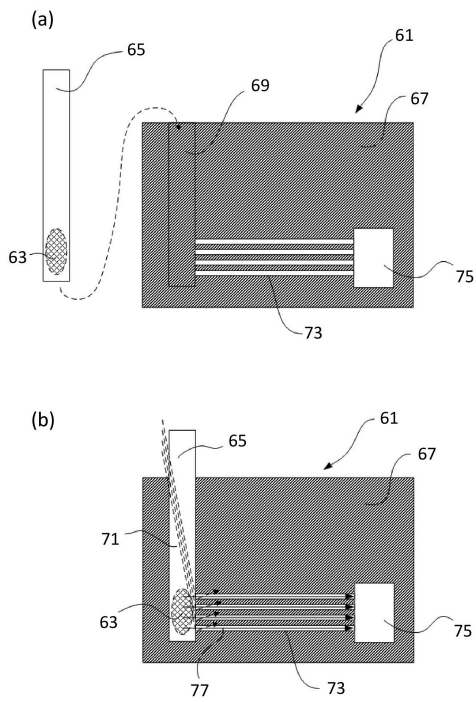
【図 4】



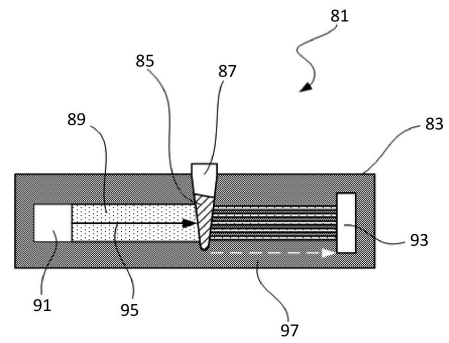
【図 5】



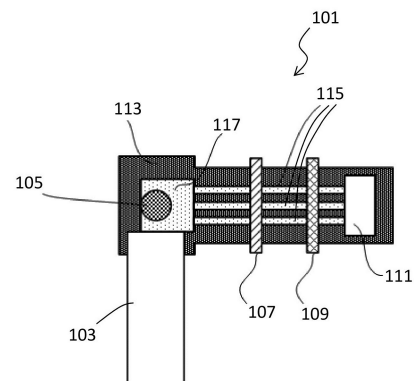
【図 6】



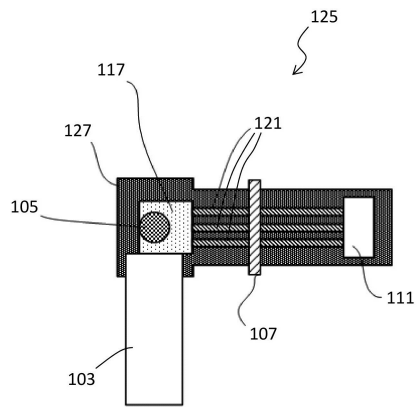
【図 7】



【図 8】



【図 9】



フロントページの続き

(72)発明者 森田 金市
東京都千代田区丸の内1丁目6番5号 ウシオ電機株式会社内

審査官 小野寺 麻美子

(56)参考文献 国際公開第2017/051638(WO,A1)
特表2003-515160(JP,A)
特開平08-054338(JP,A)
特開2006-300564(JP,A)
特開2000-028526(JP,A)
特開平07-063607(JP,A)
特開2006-300741(JP,A)
米国特許出願公開第2014/0158911(US,A1)
米国特許第06046814(US,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01N	21/00	-	G01N	21/74
G02B	6/12	-	G02B	6/14