

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第6677651号  
(P6677651)

(45) 発行日 令和2年4月8日(2020.4.8)

(24) 登録日 令和2年3月17日(2020.3.17)

(51) Int. Cl.	F I
GO 1 J 3/36 (2006.01)	GO 1 J 3/36
GO 1 J 3/443 (2006.01)	GO 1 J 3/443
GO 1 N 21/64 (2006.01)	GO 1 N 21/64 Z

請求項の数 12 (全 20 頁)

(21) 出願番号	特願2016-562380 (P2016-562380)	(73) 特許権者	000236436
(86) (22) 出願日	平成27年11月19日(2015.11.19)		浜松ホトニクス株式会社
(86) 国際出願番号	PCT/JP2015/082576		静岡県浜松市東区市野町1126番地の1
(87) 国際公開番号	W02016/088568	(74) 代理人	100088155
(87) 国際公開日	平成28年6月9日(2016.6.9)		弁理士 長谷川 芳樹
審査請求日	平成30年9月12日(2018.9.12)	(74) 代理人	100113435
(31) 優先権主張番号	特願2014-243641 (P2014-243641)		弁理士 黒木 義樹
(32) 優先日	平成26年12月2日(2014.12.2)	(74) 代理人	100140442
(33) 優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		弁理士 柴山 健一
		(74) 代理人	100124291
			弁理士 石田 悟
		(72) 発明者	鈴木 健吾
			静岡県浜松市東区市野町1126番地の1
			浜松ホトニクス株式会社内

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 分光測定装置および分光測定方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

測定対象物が配置される内部空間と、外部から光を前記内部空間に入力する光入力部と、前記内部空間から光を外部へ出力する光出力部とを有する積分器と、

前記光出力部から出力される光のうち第1波長域の光を分光して、第1露光時間に亘る第1スペクトルデータを取得する第1分光検出器と、

前記光出力部から出力される光のうち前記第1波長域と一部重複する第2波長域の光を分光して、第2露光時間に亘る第2スペクトルデータを取得する第2分光検出器と、

前記第1露光時間および前記第2露光時間に基づいて前記第1スペクトルデータおよび前記第2スペクトルデータを解析する解析部と、

を備え、

前記第2波長域は、前記第1波長域よりも長波長であり、前記第2露光時間は、前記第1露光時間よりも長い、分光測定装置。

【請求項2】

前記解析部が、前記第1波長域と前記第2波長域とが重複する波長域である共通波長域における前記第1スペクトルデータ及び前記第2スペクトルデータに基づいて算出された補正値を記憶する、請求項1に記載の分光測定装置。

【請求項3】

前記解析部は、前記第1スペクトルデータに基づいて前記共通波長域の光子数を求めるとともに、前記第2スペクトルデータに基づいて前記共通波長域の光子数をも求

め、これらフォトン数に基づいて前記補正值を算出する、請求項 2 に記載の分光測定装置。

【請求項 4】

前記解析部は、前記第 1 スペクトルデータに基づいて前記共通波長域の強度積算値を求めるとともに、前記第 2 スペクトルデータに基づいて前記共通波長域の強度積算値をも求め、これら強度積算値に基づいて前記補正值を算出する、請求項 2 に記載の分光測定装置。

【請求項 5】

前記解析部は、前記補正值ならびに前記第 1 露光時間および前記第 2 露光時間に基づいて前記第 1 スペクトルデータおよび前記第 2 スペクトルデータのうち少なくとも一方を補正して、前記第 1 波長域および前記第 2 波長域の双方を含む全波長域のスペクトルを求める、請求項 2 ～ 4 の何れか一項に記載の分光測定装置。

【請求項 6】

前記解析部が、

励起光の入射により発生光を出射する測定対象物が前記内部空間に配置されていない状態で、前記励起光が前記積分器の前記光入力部から前記内部空間に入力されたときに、前記第 1 スペクトルデータに基づいて励起光波長域のフォトン数を求めるとともに、前記第 2 スペクトルデータに基づいて発生光波長域のフォトン数を求め、

前記測定対象物が前記内部空間に配置されている状態で、前記励起光が前記積分器の前記光入力部から前記内部空間に入力されたときに、前記第 1 スペクトルデータに基づいて励起光波長域のフォトン数を求めるとともに、前記第 2 スペクトルデータに基づいて発生光波長域のフォトン数を求め、

これらフォトン数及び前記補正值、並びに前記第 1 露光時間および前記第 2 露光時間に基づいて前記測定対象物の発光効率を評価する、

請求項 2 ～ 4 の何れか一項に記載の分光測定装置。

【請求項 7】

測定対象物が配置される内部空間と、外部から光を前記内部空間に入力する光入力部と、前記内部空間から光を外部へ出力する光出力部とを有する積分器を用いて、分光測定を行なう方法であって、

光を前記積分器の前記光入力部から前記内部空間に入力させ、

第 1 分光検出器により、前記光出力部から出力される光のうち第 1 波長域の光を分光して、第 1 露光時間に亘る第 1 スペクトルデータを取得し、

第 2 分光検出器により、前記光出力部から出力される光のうち前記第 1 波長域と一部重複する第 2 波長域の光を分光して、第 2 露光時間に亘る第 2 スペクトルデータを取得し、

解析部により、前記第 1 露光時間および前記第 2 露光時間に基づいて前記第 1 スペクトルデータおよび前記第 2 スペクトルデータを解析し、

前記第 2 波長域は、前記第 1 波長域よりも長波長であり、前記第 2 露光時間は、前記第 1 露光時間よりも長い、分光測定方法。

【請求項 8】

前記解析部により、前記第 1 波長域と前記第 2 波長域とが重複する波長域である共通波長域における前記第 1 スペクトルデータ及び前記第 2 スペクトルデータに基づいて算出された補正值を記憶する、請求項 7 に記載の分光測定方法。

【請求項 9】

前記解析部により、前記第 1 スペクトルデータに基づいて前記共通波長域のフォトン数を求めるとともに、前記第 2 スペクトルデータに基づいて前記共通波長域のフォトン数をも求め、これらフォトン数に基づいて前記補正值を算出する、請求項 8 に記載の分光測定方法。

【請求項 10】

前記解析部により、前記第 1 スペクトルデータに基づいて前記共通波長域の強度積算値を求めるとともに、前記第 2 スペクトルデータに基づいて前記共通波長域の強度積算値を

10

20

30

40

50

も求め、これら強度積算値に基づいて前記補正值を算出する、請求項 8 に記載の分光測定方法。

【請求項 1 1】

前記解析部により、前記補正值ならびに前記第 1 露光時間および前記第 2 露光時間に基づいて前記第 1 スペクトルデータおよび前記第 2 スペクトルデータのうち少なくとも一方を補正して、前記第 1 波長域および前記第 2 波長域の双方を含む全波長域のスペクトルを求める、請求項 8 ~ 1 0 の何れか一項に記載の分光測定方法。

【請求項 1 2】

前記解析部により、

励起光の入射により発生光を出射する測定対象物が前記内部空間に配置されていない状態で、前記励起光が前記積分器の前記光入力部から前記内部空間に入力されたときに、前記第 1 スペクトルデータに基づいて励起光波長域のフォトン数を求めるとともに、前記第 2 スペクトルデータに基づいて発生光波長域のフォトン数を求め、

前記測定対象物が前記内部空間に配置されている状態で、前記励起光が前記積分器の前記光入力部から前記内部空間に入力されたときに、前記第 1 スペクトルデータに基づいて励起光波長域のフォトン数を求めるとともに、前記第 2 スペクトルデータに基づいて発生光波長域のフォトン数を求め、

これらフォトン数及び前記補正值、並びに前記第 1 露光時間および前記第 2 露光時間に基づいて前記測定対象物の発光効率を評価する、

請求項 8 ~ 1 0 の何れか一項に記載の分光測定方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0 0 0 1】

本発明の一側面は、分光測定装置および分光測定方法に関するものである。

【背景技術】

【0 0 0 2】

積分器および分光検出器を用いて測定対象物の発光効率等を測定する分光測定技術が知られている。積分器は、測定対象物が配置される内部空間と、光源から出力された光を内部空間に入力する光入力部と、内部空間から被測定光を外部へ出力する光出力部とを有する。積分器の内部空間は、例えば球形状であり、反射率が高く且つ拡散性が優れた内壁面により覆われている。或いは、積分器の内部空間は例えば半球形状であり、この場合、半球部の内壁は、反射率が高く且つ拡散性が優れた壁面となっており、平面部は、反射率が高い平坦なミラーとなっている（特許文献 1 参照）。

【0 0 0 3】

積分器は、光源から出力される励起光を光入力部から内部空間に入力して、その励起光を内部空間内で多重拡散反射させることができる。また、積分器は、内部空間に配置された測定対象物に励起光が照射されたことにより生じた発生光（例えば蛍光等）をも内部空間内で多重拡散反射させることができる。そして、積分器は、内部空間から光出力部を経て外部へ被測定光を出力する。被測定光は励起光および/または発生光である。

【0 0 0 4】

分光検出器は、積分器から外部に出力された被測定光を分光してスペクトルデータを取得する。分光検出器は、グレーティングやプリズム等の分光素子によって被測定光を各波長成分に分光し、その分光した各波長の光の強度を光センサにより検出する。この光センサは、複数の受光部が 1 次元配列されたもので、各波長に対応する受光部により当該波長成分の光の強度を検出することで、被測定光のスペクトルデータを取得することができる。そして、このスペクトルデータを解析することで、測定対象物の発光の角度特性等に依存することなく、測定対象物の発光効率等を測定することができる。

【0 0 0 5】

積分器を用いた分光測定技術における測定対象物として、有機 EL（エレクトロルミネッセンス）材料や蛍光材料が挙げられる。また、測定対象物の形態は、溶液、薄膜および

10

20

30

40

50

粉末など任意である。このような測定対象物では、発光量子収率（内部量子効率）の評価が重要である。発光量子収率は、測定対象物により吸収された励起光の光子数に対する測定対象物で生じた発生光の光子数の比である。積分器を用いた分光測定技術は、測定対象物の発光量子収率を評価する際に好適に用いられる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開2011-196735号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

10

【0007】

積分器を用いた分光測定装置として、波長域200～950nm、波長域350～1100nmまたは波長域900～1650nmの被測定光を分光測定することができる装置が市販されている。

【0008】

しかし、或る測定対象物は、400～600nmの短波長領域に励起光波長があり、1100nm以上の長波長領域に蛍光波長がある。従来の分光測定装置は、400～600nmの波長域及び1100nm以上の波長域を同時に分光測定できなかつたので、より広い波長域の被測定光を分光測定することができず、このような測定対象物の発光効率等を測定することができない。

20

【0009】

特許文献1の段落0037に「測定器70の測定範囲は、光源装置60から照射される励起光の波長範囲および励起光を受けて試料SMPで発生する蛍光の波長範囲の両方をカバーするように適合される」との記載がある。しかし、特許文献1には、励起光および蛍光の双方を含む被測定光の帯域が広い場合に、その被測定光のスペクトルデータを如何にして取得するのかについては記載がない。

【0010】

本発明の一側面は、上記問題点を解消する為になされたものであり、より広い波長域の被測定光を分光測定することができる分光測定装置および分光測定方法を提供することを目的とする。

30

【課題を解決するための手段】

【0011】

本発明の一側面による分光測定装置は、(1)測定対象物が配置される内部空間と、外部から光を内部空間に入力する光入力部と、内部空間から光を外部へ出力する光出力部とを有する積分器と、(2)光出力部から出力される光のうち第1波長域の光を分光して、第1露光時間に亘る第1スペクトルデータを取得する第1分光検出器と、(3)光出力部から出力される光のうち第1波長域と一部重複する第2波長域の光を分光して、第2露光時間に亘る第2スペクトルデータを取得する第2分光検出器と、(4)第1露光時間および第2露光時間に基づいて第1スペクトルデータおよび第2スペクトルデータを解析する解析部と、を備え、第2波長域は、第1波長域よりも長波長であり、第2露光時間は、第1露光時間よりも長い。

40

【0012】

本発明の一側面による分光測定方法は、(1)測定対象物が配置される内部空間と、外部から光を内部空間に入力する光入力部と、内部空間から光を外部へ出力する光出力部とを有する積分器を用いて、分光測定を行なう方法であって、(2)光を積分器の光入力部から内部空間に入力させ、(3)第1分光検出器により、光出力部から出力される光のうち第1波長域の光を分光して、第1露光時間に亘る第1スペクトルデータを取得し、(4)第2分光検出器により、光出力部から出力される光のうち第1波長域と一部重複する第2波長域の光を分光して、第2露光時間に亘る第2スペクトルデータを取得し、(5)解析部により、第1露光時間および第2露光時間に基づいて第1スペクトルデータおよび第

50

2 スペクトルデータを解析し、第2波長域は、第1波長域よりも長波長であり、第2露光時間は、第1露光時間よりも長い。

【発明の効果】

【0013】

本発明の一側面によれば、より広い波長域の被測定光を分光測定することができる。例えば、可視域に励起光波長があつて波長1100nm以上の近赤外域に蛍光波長がある測定対象物の発光効率を評価することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【0014】

【図1】図1は、分光測定装置1の構成を示す図である。

10

【図2】図2は、励起光波長530nmを含む第1波長域の第1スペクトルの例を示す図である。

【図3】図3は、蛍光波長1270nmを含む第2波長域の第2スペクトルの例を示す図である。

【図4】図4は、全波長域のスペクトルを求める手順を説明するフローチャートである。

【図5】図5は、ステップS12, S13で得られた第1スペクトルおよび第2スペクトルの例を示す図である。

【図6】図6は、測定対象物の発光量子収率を評価する手順を説明するフローチャートである。

【図7】図7は、分光測定装置2の構成を示す図である。

20

【図8】図8は、分光測定装置3の構成を示す図である。

【図9】図9は、分光測定装置1Aの構成を示す図である。

【図10】図10は、積分器20のフィルタ取付部25に取り付けられるフィルタ部の透過スペクトルの例を示す図である。

【図11】図11は、積分器20のフィルタ取付部25に取り付けられるフィルタセット60の例を示す図である。

【図12】図12は、分光測定装置1Bの構成を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0015】

以下、添付図面を参照して、本発明を実施するための形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。本発明は、これらの例示に限定されるものではなく、特許請求の範囲によって示され、特許請求の範囲と均等の意味および範囲内でのすべての変更が含まれることが意図される。

30

【0016】

図1は、分光測定装置1の構成を示す図である。分光測定装置1は、光源10、入力用ライトガイド11、積分器20、第1出力用ライトガイド31、第2出力用ライトガイド32、第1分光検出器41、第2分光検出器42、解析部50、表示部51および入力部52を備える。

【0017】

光源10は、積分器20の内部空間21に入力するべき光を出力する。光源10が出力する光は、既知のスペクトルを有し装置全体の感度校正を行なうための標準光、第1分光検出器41および第2分光検出器42それぞれにより取得されるスペクトルデータを補正するための参照光、ならびに、積分器20の内部空間21に配置される測定対象物に照射されるべき励起光、等である。光源10が出力する光の波長は、可変であってもよく、例えば250nm~1600nmの波長範囲で可変に設定可能であるのが好適である。また、光源10は、NDフィルタやリレー光学系を含んでいてもよい。入力用ライトガイド11は、光源10から出力された光を積分器20の光入力部22へ導く。

40

【0018】

積分器(光積分器)20は、測定対象物が光学的に配置される内部空間21と、光源10から出力されて入力用ライトガイド11により導かれた光(入力光)を内部空間21に

50

入力する光入力部 2 2 と、内部空間 2 1 から光（出力光）を外部へ出力する光出力部 2 3 と、測定対象物を取り付ける試料取付部 2 4 と、を有する。内部空間 2 1 は、球形状であり、反射率が高く且つ拡散性が優れた内壁面により覆われている。試料取付部 2 4 は、光入力部 2 2 を経て内部空間 2 1 に入力された光が入射する位置に測定対象物を配置する。

【 0 0 1 9 】

積分器 2 0 は、光源 1 0 から出力される光を光入力部 2 2 から内部空間 2 1 に入力して、その光を内部空間 2 1 内で多重拡散反射させることができる。また、積分器 2 0 は、内部空間 2 1 に配置された測定対象物で生じた発生光（例えば蛍光等）をも内部空間 2 1 内で多重拡散反射させることができる。そして、積分器 2 0 は、内部空間 2 1 から光出力部 2 3 を経て外部へ被測定光を出力する。被測定光は、光源 1 0 から内部空間 2 1 に入力された光、および/または、測定対象物で生じた発生光である。

10

【 0 0 2 0 】

試料取付部 2 4 には、例えば、励起光の入力によりアップコンバージョン光を出力する測定対象物を保持した試料容器が取り付けられる。例えば、測定対象物が液体である場合、光を透過する透明材料（例えば、石英ガラスやプラスチックなど）で構成される溶液サンプル用セルが試料容器として試料取付部 2 4 に取り付けられる。また、測定対象物が粉末や薄膜などの固体である場合、光を透過する透明材料（例えば、石英ガラスやプラスチックなど）または金属で構成される固体サンプル用セルや固体サンプル用容器が試料容器として試料取付部 2 4 に取り付けられる。

【 0 0 2 1 】

なお、測定対象物は、積分器 2 0 の内部空間 2 1 に完全に配置されることに限らず、測定対象物の一部が積分器 2 0 の内部空間 2 1 に配置されていればよい。試料取付部 2 4 に取り付けられた光学アタッチメントを用いて、積分器 2 0 の内壁外に配置された試料を積分器 2 0 の内部空間 2 1 に光学的に配置してもよい。

20

【 0 0 2 2 】

第 1 出力用ライトガイド 3 1 は、積分器 2 0 の光出力部 2 3 から出力された光を第 1 分光検出器 4 1 へ導く。第 2 出力用ライトガイド 3 2 は、積分器 2 0 の光出力部 2 3 から出力された光を第 2 分光検出器 4 2 へ導く。第 1 出力用ライトガイド 3 1 および第 2 出力用ライトガイド 3 2 は、光出力部 2 3 側において 1 つに束ねられていてもよい。

【 0 0 2 3 】

第 1 分光検出器 4 1 は、積分器 2 0 の光出力部 2 3 から出力されて第 1 出力用ライトガイド 3 1 により導かれた光を受光して、その光のうち第 1 波長域の光を分光して第 1 スペクトルデータを取得する。第 2 分光検出器 4 2 は、積分器 2 0 の光出力部 2 3 から出力されて第 2 出力用ライトガイド 3 2 により導かれた光を受光して、その光のうち第 2 波長域の光を分光して第 2 スペクトルデータを取得する。第 1 波長域と第 2 波長域とは、一部重複する波長域（以下「共通波長域」という）を含み、また、第 1 波長域は第 2 波長域よりも短波長である。

30

【 0 0 2 4 】

分光検出器 4 1 , 4 2 それぞれは、グレーティングやプリズム等の分光素子によって入力光を各波長成分に分光し、その分光した各波長の光の強度を光センサにより検出する。この光センサは、複数の受光部が 1 次元配列されたもので、各波長に対応する受光部により当該波長成分の光の強度を検出することで、被測定光のスペクトルデータを取得することができる。第 1 分光検出器 4 1 の分光素子は第 1 波長域の光を分光し、第 1 分光検出器 4 1 の光センサは第 1 波長域の光に対して感度を有する。第 2 分光検出器 4 2 の分光素子は第 2 波長域の光を分光し、第 2 分光検出器 4 2 の光センサは第 2 波長域の光に対して感度を有する。

40

【 0 0 2 5 】

例えば、第 1 分光検出器 4 1 の光センサは、シリコン基板上に形成された CCD リニアイメージセンサや CMOS リニアイメージセンサであり、第 1 波長域として波長 3 5 0 n m ~ 1 1 0 0 n m の光に対して感度を有する。また、第 2 分光検出器 4 2 の光センサは、

50

InGaAsリニアイメージセンサであり、第2波長域として波長900nm~1650nmの光に対して感度を有する。第1分光検出器41と第2分光検出器42とは、感度特性や波長分解能などが相違していてもよい。

【0026】

分光検出器41, 42それぞれは、測定時間(露光時間)を可変に設定することができるのが好適であり、光センサの感度に応じて露光時間を適切に設定するのが好適である。上記の光センサの例では、第1分光検出器41より第2分光検出器42の光センサ感度が低いので、第1分光検出器41より第2分光検出器42の露光時間を長く設定するのが好適である。

【0027】

解析部(アナライザ)50は、第1分光検出器41により取得された第1スペクトルデータを入力するとともに、第2分光検出器42により取得された第2スペクトルデータを入力して、これら第1スペクトルデータおよび第2スペクトルデータを解析する。解析内容については後述する。解析部50は、入力した第1スペクトルデータおよび第2スペクトルデータや解析結果等を記憶する記憶部(ストレージ)を含む。また、解析部50は、光源10、第1分光検出器41および第2分光検出器42を制御してもよい。解析部50は、プロセッサおよびメモリを備えるコンピュータである。解析部50は、プロセッサにより、各種解析および制御を実行する。このようなコンピュータとしては、例えばパーソナルコンピュータやタブレット端末などがある。また、解析部50は、表示部51および入力部52とともに一体とすることができる。

【0028】

表示部(ディスプレイ)51は、解析部50が入力した第1スペクトルデータおよび第2スペクトルデータを表示し、また、解析部50による解析結果を表示する。入力部52は、例えばキーボードやマウスなどであり、分光測定装置1を用いて分光測定を行なう操作者からの入力指示を受け付け、その入力情報(例えば測定条件や表示条件など)を解析部50に与える。

【0029】

次に、本実施形態の分光測定装置1の動作および本実施形態の分光測定方法について説明する。本実施形態の分光測定方法は、上記の分光測定装置1を用いて分光測定を行なう。本実施形態では、第1分光検出器41が感度を有する第1波長域と、第2分光検出器42が感度を有する第2波長域とが、一部重複する波長域(共通波長域)を含んでおり、このことを利用して分光測定を行なう。

【0030】

以下に説明する動作例では、光源10から出力された励起光を積分器20の光入力部22から内部空間21に入力させ、内部空間21内に配置された測定対象物に励起光を照射して蛍光を発生させ、積分器20の光出力部23から被測定光(励起光および/または発生光)を出力させる。そして、出力された励起光を含む第1波長域の光を第1分光検出器41により分光して第1スペクトルデータを取得するとともに、出力された蛍光を含む第2波長域の光を第2分光検出器42により分光して第2スペクトルデータを取得する。

【0031】

励起光波長を530nmとし、第1波長域を350nm~1100nmとする。また、蛍光波長を1270nmとし、第2波長域を900nm~1650nmとする。共通波長域は900nm~1100nmとなる。図2は、励起光波長530nmを含む第1波長域の第1スペクトルの例を示す図である。図3は、蛍光波長1270nmを含む第2波長域の第2スペクトルの例を示す図である。これらの図において縦軸は光子数(相対値)である。一般に、第1分光検出器41と第2分光検出器42とは感度特性や波長分解能などが相違しているから、第1スペクトルと第2スペクトルとを単純に繋ぎ合わせるだけでは、全波長域のスペクトルを求めることはできないし、測定対象物の発光量子収率を評価することもできない。

【0032】

10

20

30

40

50

本実施形態の第1動作例では、図4に示されるフローに従う手順により、第1波長域および第2波長域の双方を含む全波長域のスペクトルを求めて表示する。

【0033】

ステップS11では、スペクトルが既知である第1波長域の標準光を積分器20に入力させて、そのときに積分器20から出力される光を第1分光検出器41により分光してスペクトルを取得することで、第1分光検出器41の感度校正を行う。同様に、スペクトルが既知である第2波長域の標準光を積分器20に入力させて、そのときに積分器20から出力される光を第2分光検出器42により分光してスペクトルを取得することで、第2分光検出器42の感度校正を行う。以降の各ステップでは、この感度校正をした後のスペクトルが得られる。

10

【0034】

ステップS12では、共通波長域の参照光を積分器20の内部空間21に入力させ、第1分光検出器41により共通波長域の光を受光して、露光時間 $T_{C1}$ に亘る第1スペクトルデータを取得して、解析部50により第1スペクトルデータに基づいて共通波長域のフォトン数 $I_{C1}$ を求める。また、ステップS13では、同じ共通波長域の参照光を積分器20の内部空間21に入力させ、第2分光検出器42により共通波長域の光を受光して、露光時間 $T_{C2}$ に亘る第2スペクトルデータを取得して、解析部50により第2スペクトルデータに基づいて共通波長域のフォトン数 $I_{C2}$ を求める。そして、解析部50は、第1スペクトルデータにおける共通波長域のフォトン数 $I_{C1}$ と、第2スペクトルデータにおける共通波長域のフォトン数 $I_{C2}$ との比を補正值として記憶する。なお、フォトン数 $I_{C1}$ 及びフォトン数 $I_{C2}$ を解析部50にそれぞれ記憶し、必要に応じてその都度その比を計算することも、解析部50に補正值を記憶することと同義である。

20

【0035】

図5は、ステップS12、S13で得られた第1スペクトルおよび第2スペクトルの例を示す図である。フォトン数 $I_{C1}$ 、 $I_{C2}$ は、共通波長域に亘るスペクトルデータの積分値として求めることができる。以降で求めるフォトン数も、同様にして所定波長域に亘るスペクトルデータの積分値として求めることができる。

【0036】

ステップS14では、積分器20の内部空間21に測定対象物を配置した状態で励起光を積分器20に入力させ、第1分光検出器41により第1波長域の光を受光して、露光時間 $T_{S1}$ に亘る第1スペクトルデータを取得する。また、ステップS15では、同じく積分器20の内部空間21に測定対象物を配置した状態で励起光を積分器20に入力させ、第2分光検出器42により第2波長域の光を受光して露光時間 $T_{S2}$ に亘る第2スペクトルデータを取得する。

30

【0037】

ステップS16では、解析部50により、ステップS12で得られたフォトン数 $I_{C1}$ 、ステップS13で得られたフォトン数 $I_{C2}$ 、ステップS12の露光時間 $T_{C1}$ 、ステップS13の露光時間 $T_{C2}$ 、ステップS14の露光時間 $T_{S1}$ およびステップS15の露光時間 $T_{S2}$ に基づいて、ステップS14で得られた第1スペクトルデータおよびステップS15で得られた第2スペクトルデータの双方または何れか一方を補正する。これにより、第1波長域および第2波長域の双方を含む全波長域のスペクトルを求め、この全波長域のスペクトルを表示部51に表示する。

40

【0038】

ステップS16において、エネルギーベースで補正をする場合、下記(1)式で表される補正係数(E)をエネルギーベースの第2スペクトルデータに乗じたものを、エネルギーベースの第1スペクトルデータと繋ぎ合わせて、エネルギーベースの全波長域のスペクトルを求める。(1)式における $I_{C1}/I_{C2}$ は、解析部50に記憶された補正值である。

## 【数 1】

$$\text{補正係数}(E) = \frac{I_{C1}}{I_{C2}} \times \frac{T_{S1}}{T_{C1}} \times \frac{T_{C2}}{T_{S2}} \quad \dots (1)$$

## 【0039】

ステップ S 1 6 において、フォトン数ベースで補正をする場合、下記(2)式で表される補正係数(PN)をフォトン数ベースの第2スペクトルデータに乗じたものを、フォトン数ベースの第1スペクトルデータと繋ぎ合わせて、フォトン数ベースの全波長域のスペクトルを求める。 $\lambda_1$  は第1分光検出器 4 1 の波長分解能であり、 $\lambda_2$  は第2分光検出器 4 2 の波長分解能である。(2)式における  $I_{C1} / I_{C2}$  は、解析部 5 0 に記憶された補正値である。

10

## 【数 2】

$$\text{補正係数}(PN) = \frac{I_{C1}}{I_{C2}} \times \frac{T_{S1}}{T_{C1}} \times \frac{T_{C2}}{T_{S2}} \times \frac{\Delta\lambda_1}{\Delta\lambda_2} \quad \dots (2)$$

## 【0040】

なお、ステップ S 1 6 において、上記補正係数の逆数を第1スペクトルデータに乗じたものを、第2スペクトルデータと繋ぎ合わせて、全波長域のスペクトルを求めてもよい。また、任意の係数  $k_1$  を第1スペクトルデータに乗じたものと、係数  $k_2$  (= 上記補正係数  $\times k_1$ ) を第2スペクトルデータに乗じたものとを繋ぎ合わせて、全波長域のスペクトルを求めてもよい。

20

## 【0041】

なお、ステップ S 1 2 ~ S 1 5 の順は任意である。ステップ S 1 2 , S 1 3 における露光期間は一部重複していてもよい。ステップ S 1 4 , S 1 5 における露光期間は一部重複していてもよい。

## 【0042】

ステップ S 1 1 ~ S 1 3 は分光測定装置 1 が工場から出荷される前に行われ、ステップ S 1 4 ~ S 1 6 は工場出荷後に分光測定装置 1 の利用者によって行われてもよい。ステップ S 1 1 ~ S 1 3 により得られた結果は、その後の測定の度に用いられてもよい。ステップ S 1 1 ~ S 1 3 は、ステップ S 1 4 ~ S 1 6 に先立って毎回行われてもよい。励起光または蛍光の波長が共通波長域に含まれる場合には、ステップ S 1 2 , S 1 3 では励起光または蛍光を測定してもよい。

30

## 【0043】

本実施形態の第2動作例では、図 6 に示されるフローに従う手順により、測定対象物の発光量子収率を評価する。第2動作例におけるステップ S 2 1 ~ S 2 3 は、前述した第1動作例におけるステップ S 1 1 ~ S 1 3 と同様である。

## 【0044】

ステップ S 2 4 , S 2 5 では、積分器 2 0 の内部空間 2 1 に測定対象物を配置しない状態でリファレンス測定を行なう。ステップ S 2 6 , S 2 7 では、積分器 2 0 の内部空間 2 1 に測定対象物を配置した状態でサンプル測定を行なう。サンプル測定の際に測定対象物が容器に入れられた状態で内部空間 2 1 に配置される場合には、リファレンス測定の際には該容器が内部空間 2 1 に配置される。

40

## 【0045】

ステップ S 2 4 では、積分器 2 0 の内部空間 2 1 に測定対象物を配置しない状態で励起光を積分器 2 0 に入力させ、第1分光検出器 4 1 により第1波長域の光を受光して、露光時間  $T_{R1}$  に亘る第1スペクトルデータを取得する。そして、解析部 5 0 により第1スペクトルデータに基づいて励起光波長域のフォトン数  $I_{R1}$  を求める。

## 【0046】

ステップ S 2 5 では、積分器 2 0 の内部空間 2 1 に測定対象物を配置しない状態で励起光を積分器 2 0 に入力させ、第2分光検出器 4 2 により第2波長域の光を受光して、露光

50

時間  $T_{R2}$  に亘る第 2 スペクトルデータを取得する。そして、解析部 50 により第 2 スペクトルデータに基づいて蛍光波長域の光子数  $I_{R2}$  を求める。

【0047】

ステップ S 26 では、積分器 20 の内部空間 21 に測定対象物を配置した状態で励起光を積分器 20 に入力させ、第 1 分光検出器 41 により第 1 波長域の光を受光して露光時間  $T_{S1}$  に亘る第 1 スペクトルデータを取得する。そして、解析部 50 により第 1 スペクトルデータに基づいて励起光波長域の光子数  $I_{S1}$  を求める。

【0048】

ステップ S 27 では、積分器 20 の内部空間 21 に測定対象物を配置した状態で励起光を積分器 20 に入力させ、第 2 分光検出器 42 により第 2 波長域の光を受光して露光時間  $T_{S2}$  に亘る第 2 スペクトルデータを取得する。そして、解析部 50 により第 2 スペクトルデータに基づいて蛍光波長域の光子数  $I_{S2}$  を求める。

【0049】

なお、ステップ S 24, S 25, S 26, S 27 における励起光波長域および蛍光波長域は、分光測定装置 1 の利用者が入力部 52 によって設定してもよいし、第 1 スペクトルデータや第 2 スペクトルデータに基づいて解析部 50 が自動的に設定してもよい。ステップ S 24 における励起光波長域と、ステップ S 26 における励起光波長域とは、互いに同じ波長域である。ステップ S 25 における蛍光波長域と、ステップ S 27 における蛍光波長域とは、互いに同じ波長域である。

【0050】

ステップ S 28 では、解析部 50 により、各ステップの露光時間  $T_{C1}$ ,  $T_{C2}$ ,  $T_{R1}$ ,  $T_{R2}$ ,  $T_{S1}$ ,  $T_{S2}$ 、および、各ステップで得られた光子数  $I_{C1}$ ,  $I_{C2}$ ,  $I_{R1}$ ,  $I_{R2}$ ,  $I_{S1}$ ,  $I_{S2}$  に基づいて、下記 (3) 式により、測定対象物の発光量子収率 PLQY (Photoluminescence Quantum Yield) を求める。この式の右辺の 4 つの因子のうち、第 1 因子は補正前の発光量子収率であり、第 2 因子はステップ S 22, S 23 で検出された共通波長域の光子数に関する補正因子であり、第 3 因子および第 4 因子は各ステップの露光時間に関する補正因子である。測定対象物の吸収率と内部量子収率との積により外部量子効率を求めることもできる。なお、数式 (3) における  $I_{C1} / I_{C2}$  は、解析部 50 に記憶された補正值である。

【数 3】

$$PLQY = \frac{I_{S2} - I_{R2}}{I_{R1} - I_{S1}} \times \frac{I_{C1}}{I_{C2}} \times \frac{T_{S1}}{T_{C1}} \times \frac{T_{C2}}{T_{S2}} \quad \dots (3)$$

【0051】

なお、ステップ S 22 ~ S 27 の順は任意である。ステップ S 22, S 23 における露光期間は一部重複していてもよい。ステップ S 24, S 25 における露光期間は一部重複していてもよい。ステップ S 26, S 27 における露光期間は一部重複していてもよい。

【0052】

ステップ S 21 ~ S 23 は分光測定装置 1 が工場から出荷される前に行われ、ステップ S 24 ~ S 28 は工場出荷後に分光測定装置 1 の利用者によって行われてもよい。ステップ S 21 ~ S 23 により得られた結果は、その後の測定の度に用いられてもよい。ステップ S 21 ~ S 23 は、ステップ S 24 ~ S 28 に先立って毎行われてもよい。

【0053】

図 7 は、分光測定装置 2 の構成を示す図である。図 1 に示された分光測定装置 1 の構成と比較すると、図 7 に示される分光測定装置 2 は、積分器 20 が光出力部 23 に替えて第 1 分光出力部 23<sub>1</sub> および第 2 分光出力部 23<sub>2</sub> を有する点で相違している。第 1 出力用ライトガイド 31 は、積分器 20 の第 1 分光出力部 23<sub>1</sub> から出力された光を第 1 分光検出器 41 へ導く。第 2 出力用ライトガイド 32 は、積分器 20 の第 2 分光出力部 23<sub>2</sub> から出力された光を第 2 分光検出器 42 へ導く。

【0054】

10

20

30

40

50

このような構成とすることにより、第1分光出力部23<sub>1</sub>と第1分光検出器41との間の光路上に第1分光フィルタを設けることで、第1分光検出器41へ入力される第1波長域の光のパワーを容易に調整することができ、第1分光検出器41の露光時間を容易に調整することができる。また、第2分光出力部23<sub>2</sub>と第2分光検出器42との間の光路上に第2分光フィルタを設けることで、第2分光検出器42へ入力される第2波長域の光のパワーを容易に調整することができ、第2分光検出器42の露光時間を容易に調整することができる。

【0055】

図8は、分光測定装置3の構成を示す図である。図1、図7に示された分光測定装置1、2の積分器20が積分球であったのに対して、図8に示される分光測定装置3の積分器20は積分半球である点で相違している。この積分器20の内部空間21は半球形状であり、半球部の内壁は、反射率が高く且つ拡散性が優れた壁面となっており、平面部は、反射率が高い平坦なミラーとなっている。光入力部22および光出力部23は半球部および平面部の何れの箇所にも設けられてもよい。

【0056】

分光測定装置2、3を用いた場合にも、分光測定装置1を用いた場合と同様に、より広い波長域の被測定光を分光測定することができる。

【0057】

第1分光検出器および第2分光検出器に加えて、第3波長域のスペクトルデータを取得する第3分光検出器が設けられてもよい。この場合、例えば、第2波長域のうちの短波長側の一部が第1波長域のうちの長波長側の一部と重複し、第2波長域のうちの長波長側の一部が第3波長域のうちの短波長側の一部と重複するようにする。このようにすることで、更に広い波長域の被測定光を分光測定することができる。

【0058】

一般に、発生光強度と比べて励起光強度は数桁大きい。そこで、励起光波長域および発生光波長域のうち励起光波長域の光を選択的に減衰させるフィルタを、励起光波長域の光を検出する分光検出器と積分器との間の光路上に設けるのも好適である。このようにすることで、各分光検出器は飽和することなく適切な露光時間で分光測定をすることができる。

【0059】

上記の実施形態では、発生光(例えば蛍光)波長は励起光波長より長い。しかし、これとは逆に、発生光波長は励起光波長より短くてもよい。後者の場合、発生光は例えばアップコンバージョン光である。分光測定装置1を用いて、励起光およびアップコンバージョン光の双方を含むスペクトルを測定する場合や、アップコンバージョン発光効率を測定する場合には、第1分光検出器41が検出する短波長側の第1波長域はアップコンバージョン光波長を含み、第2分光検出器42が検出する長波長側の第2波長域は励起光波長を含む。

【0060】

また、アップコンバージョン光を発生させるためには、測定対象物に照射する励起光の強度密度を高める必要がある。一方、アップコンバージョン発光効率が小さいことから、吸収された励起光強度およびアップコンバージョン光強度の双方を取得する必要がある発光量子収率(内部量子効率)などの評価を行う場合、高強度の励起光により分光検出器が飽和することがある。また、アップコンバージョン発光材料の中には、照射する励起光の強度密度を高くすると発光量子収率も上がる材料がある。そのような材料では、高強度のアップコンバージョン光により分光検出器が飽和することがある。

【0061】

そこで、アップコンバージョン発光効率を測定する際には、積分器20から出力される励起光に対して適切な減衰を与えるだけでなく、積分器20から出力されるアップコンバージョン光に対しても適切な減衰を与えるのが好適である。このとき減衰を与えるフィルタ部は、励起光に対する減衰率がアップコンバージョン光に対する減衰率より大きい透過スペクトルを有するものとする。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 6 2 】

以下、図 9 ~ 図 1 2 を用いて、アップコンバージョン発光効率を測定するのに好適な分光測定装置について説明する。

## 【 0 0 6 3 】

図 9 は、分光測定装置 1 A の構成を示す図である。図 9 に示される分光測定装置 1 A は、図 1 に示された分光測定装置 1 の構成と比べて、積分器 2 0 がフィルタ部を取り付けるフィルタ取付部 2 5 を有する点で相違する。フィルタ取付部 2 5 は、積分器 2 0 の光出力部 2 3 に設けられ、光出力部 2 3 から出力される光を減衰させる上記のフィルタ部を配置する。

## 【 0 0 6 4 】

図 1 0 は、積分器 2 0 のフィルタ取付部 2 5 に取り付けられるフィルタ部の透過スペクトルの例を示す図である。このフィルタ部の透過特性は、励起光波長域 ( 9 8 0 nm を含む波長域 ) での減衰率が、アップコンバージョン光波長域での減衰率より大きい。フィルタ部は、このような透過スペクトルに従って、光出力部 2 3 から出力される光を減衰させる。このフィルタ部は、励起光およびアップコンバージョン光のうち長波長側の励起光を選択的に減衰させる第 1 フィルタと、励起光およびアップコンバージョン光の双方を減衰させる第 2 フィルタと、を含んで構成され得る。

## 【 0 0 6 5 】

第 1 フィルタは、ショートパスフィルタまたはバンドパスフィルタであってもよい。第 2 フィルタは、ND フィルタであってもよいし、光反射物質で構成されたものであってもよい。後者の場合、光反射物質として、積分器 2 0 の内壁面に設けられる反射率が高く且つ拡散性が優れた材料であるスペクトラロン ( 登録商標 ) を用いることができる。スペクトラロンは、可視域から近赤外域までの広い波長域に亘って略一定の反射率を有する。スペクトラロンをシート状にしたスペクトラロンフィルタを第 2 フィルタとして用いることができる。このようなスペクトラロンフィルタは、第 2 フィルタとして用いられるだけでなく、積分器 2 0 の内壁面の一部として光を拡散反射させるものとしても用いられ得る。

## 【 0 0 6 6 】

積分器 2 0 のフィルタ取付部 2 5 は、図 1 0 に示されるような透過スペクトルを有するフィルタ部の他、他の透過スペクトルを有するフィルタと、光路上で交換自在であるのが好適である。図 1 1 は、積分器 2 0 のフィルタ取付部 2 5 に取り付けられるフィルタセット 6 0 の例を示す図である。このフィルタセット 6 0 は、図 1 0 に示されるような透過スペクトルを有するフィルタ部 6 1 と、励起光およびアップコンバージョン光のうち励起光を選択的に減衰させるショートパスフィルタ 6 2 と、開口部 ( フィルタ無し ) 6 3 と、を並列に配置したものである。フィルタ取付部 2 5 においてフィルタセット 6 0 をスライドさせることで、何れかのフィルタを光路上に配置することができる。

## 【 0 0 6 7 】

図 1 2 は、分光測定装置 1 B の構成を示す図である。図 1 2 に示される分光測定装置 1 B は、図 1 に示された分光測定装置 1 の構成と比べて、第 1 分光検出器 4 1 の光入力部にフィルタ取付部 4 3 が設けられる点、および、第 2 分光検出器 4 2 の光入力部にフィルタ取付部 4 4 が設けられる点、で相違する。これらフィルタ取付部 4 3 , 4 4 は、分光検出器 4 1 , 4 2 に入力される光を減衰させる上記のフィルタ部 6 1 またはフィルタセット 6 0 を配置する。

## 【 0 0 6 8 】

分光測定装置 1 B では、フィルタ取付部 4 3 , 4 4 それぞれの光入力部に、同じ透過スペクトルを有するフィルタ部を配置してもよいし、互いに異なる透過スペクトルを有するフィルタ部を配置してもよい。後者の場合、アップコンバージョン光波長域を分光測定する第 1 分光検出器 4 1 の光入力部に設けられるフィルタはアップコンバージョン光波長域を選択的に減衰させることができればよく、励起光波長域を分光測定する第 2 分光検出器 4 2 の光入力部に設けられるフィルタは励起光波長域を選択的に減衰させることができればよい。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 6 9 】

また、上記のようなフィルタ部を設けることに加えて、または、これに替えて、分光検出器 4 1 , 4 2 それぞれの露光時間を適切に設定してもよい。前述したとおり、光センサとして InGaAs リニアイメージセンサを含む第 2 分光検出器 4 2 は、光センサとしてシリコンのリニアイメージセンサを含む第 1 分光検出器 4 1 と比べて感度が低いので、分光検出器 4 1 , 4 2 それぞれの感度を考慮して、フィルタの透過スペクトルや露光時間を適切に設定するのが好適である。

## 【 0 0 7 0 】

上記のような励起光または発生光を減衰させるフィルタ部 6 1 を設ける場合、解析部 5 0 は、分光検出器 4 1 , 4 2 により取得された分光スペクトルデータをフィルタ部 6 1 の透過スペクトルデータに基づいて補正して、減衰前の分光スペクトルデータに基づいて上述した解析を行う。

10

## 【 0 0 7 1 】

フィルタ部の透過スペクトルは以下のようにして求める。積分器 2 0 の内部空間 2 1 に測定対象物を配置しない状態とする。フィルタ取付部 2 5 において光路上にフィルタ部 6 1 または開口部 ( フィルタ無し ) 6 3 を配置した場合において、標準光を積分器 2 0 に入力させて、そのときに積分器 2 0 から出力される光を分光検出器 4 1 , 4 2 により分光してスペクトルを取得する。

## 【 0 0 7 2 】

光路上にフィルタ部 6 1 を配置したときに第 1 分光検出器 4 1 により取得されたスペクトルデータを  $S_{11}(\lambda)$  とし、光路上に開口部 6 3 を配置したときに第 1 分光検出器 4 1 により取得されたスペクトルデータを  $S_{10}(\lambda)$  とする。スペクトルデータ  $S_{11}(\lambda)$  ,  $S_{10}(\lambda)$  を取得する際の露光時間を同じとする。光路上にフィルタ部 6 1 を配置したときに第 2 分光検出器 4 2 により取得されたスペクトルデータを  $S_{21}(\lambda)$  とし、光路上に開口部 6 3 を配置したときに第 2 分光検出器 4 2 により取得されたスペクトルデータを  $S_{20}(\lambda)$  とする。スペクトルデータ  $S_{21}(\lambda)$  ,  $S_{20}(\lambda)$  を取得する際の露光時間を同じとする。

20

## 【 0 0 7 3 】

第 1 分光検出器 4 1 に入力する光に対するフィルタ部 6 1 の透過スペクトルデータ  $T_1(\lambda)$  は、下記 ( 4 a ) 式で求められる。第 2 分光検出器 4 2 に入力する光に対するフィルタ部 6 1 の透過スペクトルデータ  $T_2(\lambda)$  は、下記 ( 4 b ) 式で求められる。  $\lambda$  は波長である。この透過スペクトルデータ  $T_1(\lambda)$  ,  $T_2(\lambda)$  は、解析部 5 0 の記憶部に記憶される。

30

## 【 数 4 】

$$T_1(\lambda) = S_{11}(\lambda) / S_{10}(\lambda) \quad \dots (4a)$$

$$T_2(\lambda) = S_{21}(\lambda) / S_{20}(\lambda) \quad \dots (4b)$$

## 【 0 0 7 4 】

リファレンス測定およびサンプル測定それぞれで、光路上にフィルタ部 6 1 を配置した状態で第 1 分光検出器 4 1 により取得された分光スペクトルデータを透過スペクトルデータ  $T_1(\lambda)$  で割るとともに、第 2 分光検出器 4 2 により取得された分光スペクトルデータを透過スペクトルデータ  $T_2(\lambda)$  で割ることで、フィルタ部 6 1 による減衰前の各々の分光スペクトルデータを求めることができる。このようにして補正された分光スペクトルデータを用いて、上述した全波長域のスペクトルの算出や測定対象物の発光量子収率の評価を行なう。

40

## 【 0 0 7 5 】

ただし、第 1 分光検出器 4 1 が発生光 ( アップコンバージョン光 ) を分光検出するとともに第 2 分光検出器 4 2 が励起光を分光検出する点で、上述した場合と比べると逆であるので、このことに応じて PLQY 算出式は相違する。アップコンバージョン発光材料の発光量子収率 PLQY は下記 ( 5 ) 式で表される。この式の右辺の各パラメータは上記 ( 3 ) 式中の

50

ものと同様である。なお、数式(3)における  $I_{C2} / I_{C1}$  は、解析部50に記憶された補正值である。

【0076】

以上、本発明の実施形態について説明したが、本発明は、上記実施形態に限られるものではなく、様々な変形が可能である。また、本発明は、各請求項に記載した要旨を変更しない範囲で変形し、又は他のものに適用してもよい。

【0077】

例えば、分光スペクトルデータは、それぞれの波長に対する光子数を示すデータに限らず、それぞれの波長に対する検出強度を示すデータでもよい。この場合、それぞれの波長に対する検出強度を示すデータから第1スペクトルデータにおける共通波長域の強度積算値を求めるとともに、第2スペクトルデータにおける共通波長域の強度積算値を求め、それら強度積算値の比である補正值を求めてもよい。また、それぞれの波長に対する検出強度を示すデータから光子数  $I_{C1}$ 、 $I_{C2}$ 、 $I_{R1}$ 、 $I_{R2}$ 、 $I_{S1}$ 、 $I_{S2}$  を求めてもよい。

【数5】

$$PLQY = \frac{I_{S1} - I_{R1}}{I_{R2} - I_{S2}} \times \frac{I_{C2}}{I_{C1}} \times \frac{T_{S2}}{T_{C2}} \times \frac{T_{C1}}{T_{S1}} \quad \dots (5)$$

【0078】

上記実施形態による分光測定装置では、(1)測定対象物が配置される内部空間と、外部から光を内部空間に入力する光入力部と、内部空間から光を外部へ出力する光出力部とを有する積分器と、(2)光出力部から出力される光のうち第1波長域の光を分光して、第1露光時間に亘る第1スペクトルデータを取得する第1分光検出器と、(3)光出力部から出力される光のうち第1波長域と一部重複する第2波長域の光を分光して、第2露光時間に亘る第2スペクトルデータを取得する第2分光検出器と、(4)第1露光時間および第2露光時間に基づいて第1スペクトルデータおよび第2スペクトルデータを解析する解析部と、を備える構成としている。

【0079】

上記実施形態による分光測定方法では、(1)測定対象物が配置される内部空間と、外部から光を内部空間に入力する光入力部と、内部空間から光を外部へ出力する光出力部とを有する積分器を用いて、分光測定を行なう方法であって、(2)光を積分器の光入力部から内部空間に入力させ、(3)第1分光検出器により、光出力部から出力される光のうち第1波長域の光を分光して、第1露光時間に亘る第1スペクトルデータを取得し、(4)第2分光検出器により、光出力部から出力される光のうち第1波長域と一部重複する第2波長域の光を分光して、第2露光時間に亘る第2スペクトルデータを取得し、(5)解析部により、第1露光時間および第2露光時間に基づいて第1スペクトルデータおよび第2スペクトルデータを解析する構成としている。

【0080】

上記構成の分光測定装置及び方法では、解析部により、第1波長域と第2波長域とが重複する波長域である共通波長域の光が積分器の光入力部から内部空間に入力されたときに、第1スペクトルデータに基づいて共通波長域の光子数を求めるとともに、第2スペクトルデータに基づいて共通波長域の光子数を求め、これら光子数、第1露光時間および第2露光時間に基づいて第1スペクトルデータおよび第2スペクトルデータの双方または何れか一方を補正して、第1波長域および第2波長域の双方を含む全波長域のスペクトルを求める構成としても良い。

【0081】

また、上記構成の分光測定装置及び方法では、解析部により、第1波長域と第2波長域とが重複する波長域である共通波長域の光が積分器の光入力部から内部空間に入力されたときに取得される、共通波長域における第1スペクトルデータ及び共通波長域における第2スペクトルデータに基づいて補正值が算出され、記憶される構成としても良い。

10

20

30

40

50

## 【 0 0 8 2 】

また、分光測定装置では、解析部が、第1波長域と第2波長域とが重複する波長域である共通波長域における第1スペクトルデータ及び第2スペクトルデータに基づいて算出された補正値を記憶する構成としても良い。また、分光測定方法では、解析部により、第1波長域と第2波長域とが重複する波長域である共通波長域における第1スペクトルデータ及び第2スペクトルデータに基づいて算出された補正値を記憶する構成としても良い。

## 【 0 0 8 3 】

上記した補正値は、第1スペクトルデータにおける共通波長域の光子数及び第2スペクトルデータにおける共通波長域の光子数に基づいて算出されてもよい。また、分光測定装置では、解析部が、第1スペクトルデータに基づいて共通波長域の光子数を求めるとともに、第2スペクトルデータに基づいて共通波長域の光子数をも求め、これら光子数に基づいて補正値を算出する構成としても良い。また、分光測定方法では、解析部により、第1スペクトルデータに基づいて共通波長域の光子数を求めるとともに、第2スペクトルデータに基づいて共通波長域の光子数をも求め、これら光子数に基づいて補正値を算出する構成としても良い。

10

## 【 0 0 8 4 】

また、上記した補正値は、第1スペクトルデータにおける共通波長域の強度積算値及び第2スペクトルデータにおける共通波長域の強度積算値に基づいて算出されてもよい。また、分光測定装置では、解析部が、第1スペクトルデータに基づいて共通波長域の強度積算値を求めるとともに、第2スペクトルデータに基づいて共通波長域の強度積算値をも求め、これら強度積算値に基づいて補正値を算出する構成としても良い。また、分光測定方法では、解析部により、第1スペクトルデータに基づいて共通波長域の強度積算値を求めるとともに、第2スペクトルデータに基づいて共通波長域の強度積算値をも求め、これら強度積算値に基づいて補正値を算出する構成としても良い。

20

## 【 0 0 8 5 】

また、分光測定装置では、解析部が、補正値ならびに第1露光時間および第2露光時間に基づいて第1スペクトルデータおよび第2スペクトルデータの双方または何れか一方を補正して、第1波長域および第2波長域の双方を含む全波長域のスペクトルを求める構成としても良い。また、分光測定方法では、解析部により、補正値ならびに第1露光時間および第2露光時間に基づいて第1スペクトルデータおよび第2スペクトルデータの双方または何れか一方を補正して、第1波長域および第2波長域の双方を含む全波長域のスペクトルを求める構成としても良い。

30

## 【 0 0 8 6 】

また、上記構成の分光測定装置及び方法では、解析部により、励起光の入射により発生光を出射する測定対象物が内部空間に配置されていない状態で、励起光が積分器の光入力部から内部空間に入力されたときに、第1スペクトルデータに基づいて励起光波長域の光子数を求めるとともに、第2スペクトルデータに基づいて発生光波長域の光子数を求め、測定対象物が内部空間に配置されている状態で、励起光が積分器の光入力部から内部空間に入力されたときに、第1スペクトルデータに基づいて励起光波長域の光子数を求めるとともに、第2スペクトルデータに基づいて発生光波長域の光子数を求め、これら光子数及び補正値、並びに第1露光時間および第2露光時間に基づいて測定対象物の発光効率を評価する構成としても良い。

40

## 【 0 0 8 7 】

また、上記構成の分光測定装置及び方法では、第2波長域が、第1波長域よりも長波長であり、第2露光時間が、第1露光時間よりも長い構成としても良い。

## 【 0 0 8 8 】

また、上述した数式(1)あるいは数式(2)、数式(3)、数式(5)において、第1分光検出器41について、測定対象物を配置する場合の露光時間 $T_{S1}$ の代わりに、測定対象物を配置しない場合の露光時間 $T_{R1}$ を用いてもよい。その場合、第2分光検出器42について、測定対象物を配置する場合の露光時間 $T_{S2}$ の代わりに、測定対象物を配置しな

50

い場合の露光時間  $T_{R2}$  を用いる。

【産業上の利用可能性】

【0089】

本発明は、より広い波長域の被測定光を分光測定することができる分光測定装置および分光測定方法として利用可能である。

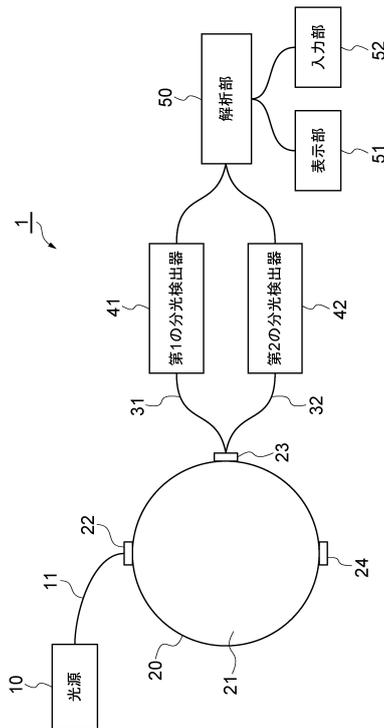
【符号の説明】

【0090】

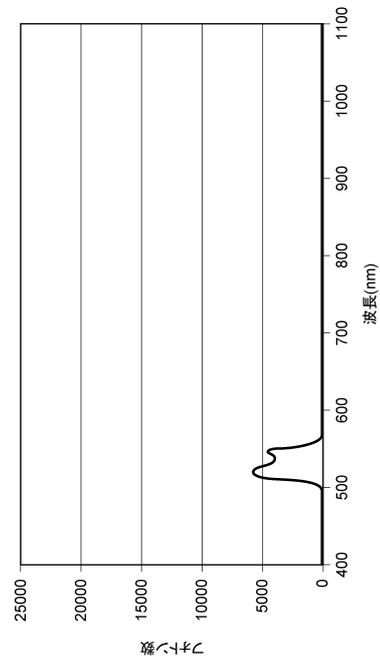
1, 1A, 1B, 2, 3 ... 分光測定装置、10 ... 光源、11 ... 入力用ライトガイド、20 ... 積分器、21 ... 内部空間、22 ... 光入力部、23 ... 光出力部、24 ... 試料取付部、25 ... フィルタ取付部、31 ... 第1出力用ライトガイド、32 ... 第2出力用ライトガイド、41 ... 第1分光検出器、42 ... 第2分光検出器、43, 44 ... フィルタ取付部、50 ... 解析部、51 ... 表示部、52 ... 入力部、60 ... フィルタセット、61 ... フィルタ部。

10

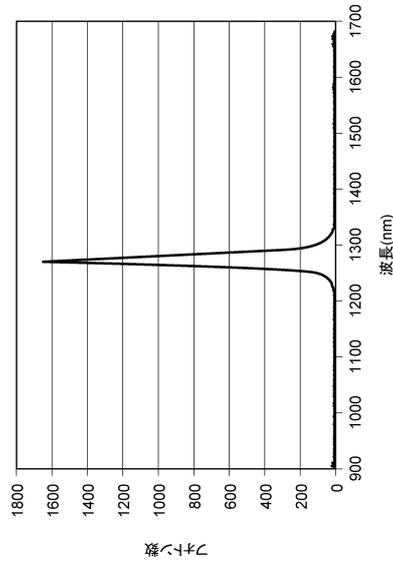
【図1】



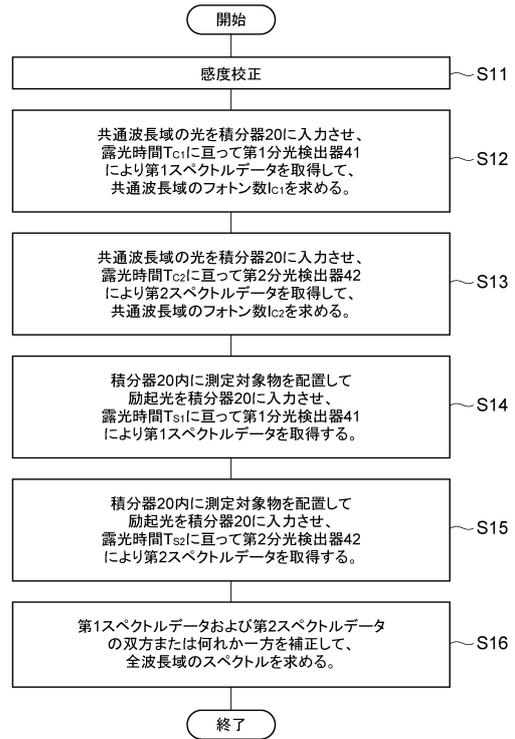
【図2】



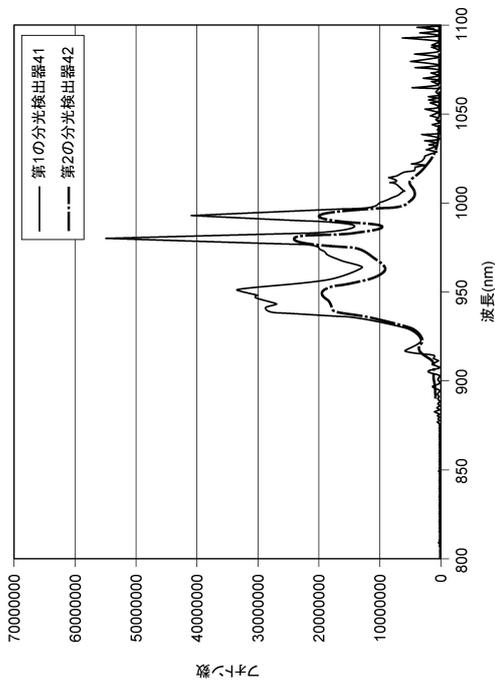
【 図 3 】



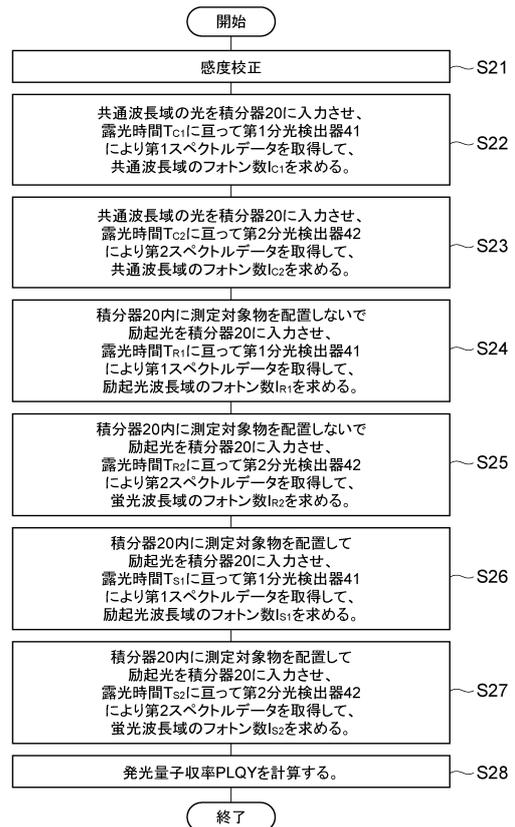
【 図 4 】



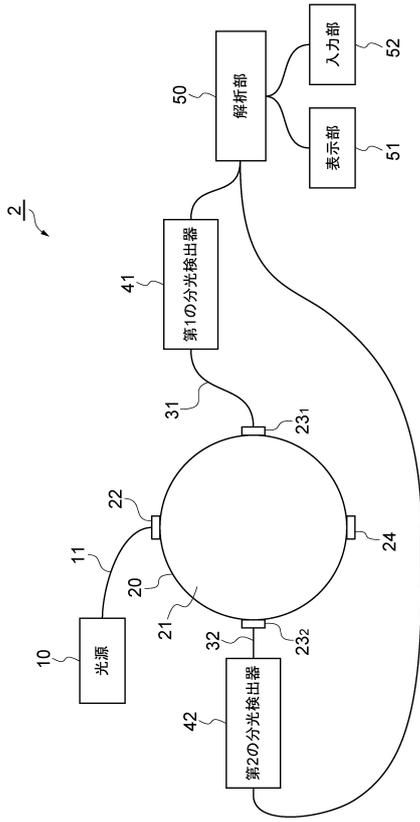
【 図 5 】



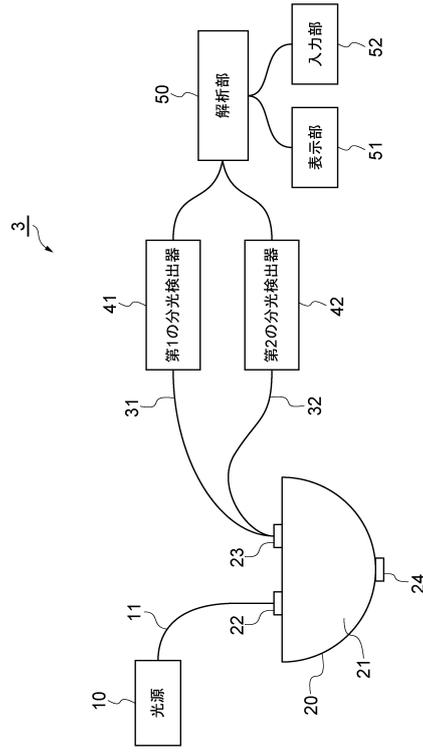
【 図 6 】



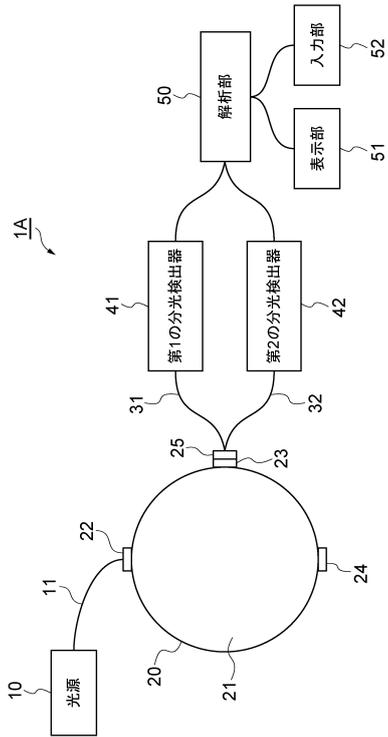
【図7】



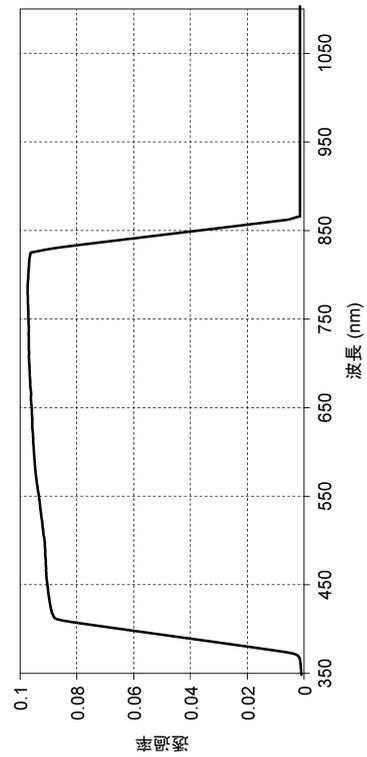
【図8】



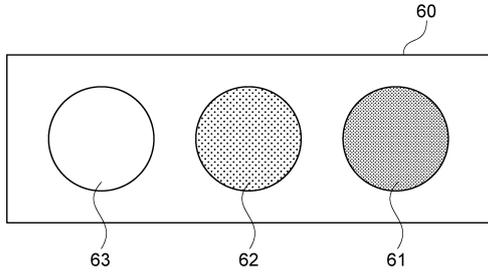
【図9】



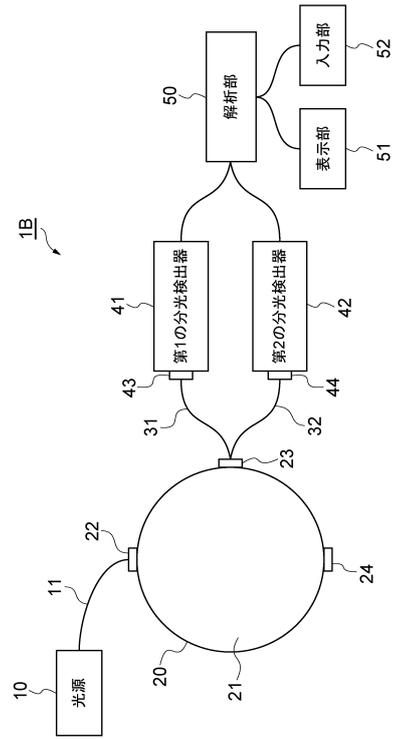
【図10】



【図 1 1】



【図 1 2】



---

フロントページの続き

(72)発明者 井口 和也

静岡県浜松市東区市野町1126番地の1 浜松ホトニクス株式会社内

審査官 横尾 雅一

(56)参考文献 特開2002-062189(JP,A)

特開2005-192610(JP,A)

特開2011-196735(JP,A)

特開2006-023284(JP,A)

特開2004-257835(JP,A)

特開昭63-250534(JP,A)

米国特許第5424545(US,A)

特開2007-183153(JP,A)

BOYER, John-Christopher et al., Absolute quantum yield measurements of colloidal NaYF<sub>4</sub>: Er<sup>3+</sup>, Yb<sup>3+</sup> upconverting nanoparticles, *Nanoscale*, 2010年, Vol.2, No.8, p.1417-1419

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01J 3/00 - 4/04

G01J 7/00 - 9/04

G01N 21/00 - 21/01

G01N 21/17 - 21/61

G01N 21/64