

(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2015-211727
(P2015-211727A)

(43) 公開日 平成27年11月26日(2015.11.26)

(51) Int.Cl.			F I			テーマコード (参考)	
A61B	1/04	(2006.01)	A61B	1/04	370	2H040	
G02B	23/24	(2006.01)	G02B	23/24	B	4C161	
H04N	5/225	(2006.01)	H04N	5/225	Z	5B057	
G06T	1/00	(2006.01)	G06T	1/00	290Z	5C122	

審査請求 未請求 請求項の数 15 O L (全 40 頁)

(21) 出願番号 特願2014-94844 (P2014-94844)
(22) 出願日 平成26年5月1日(2014.5.1)

(71) 出願人 000000376
オリンパス株式会社
東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目4番2号
(74) 代理人 100108855
弁理士 蔵田 昌俊
(74) 代理人 100109830
弁理士 福原 淑弘
(74) 代理人 100103034
弁理士 野河 信久
(74) 代理人 100075672
弁理士 峰 隆司
(74) 代理人 100153051
弁理士 河野 直樹
(74) 代理人 100140176
弁理士 砂川 克

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 内視鏡装置

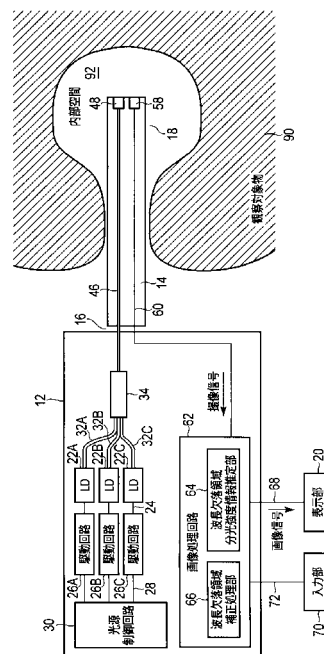
(57) 【要約】

【課題】複数の波長の狭帯域光を照明光に用いた内視鏡装置の色再現性を向上させる。

【解決手段】内視鏡装置は、複数の狭帯域光により構成された照明光を観察対象物に射出する光射出部48と、観察対象物からの反射散乱光を検出して撮像信号を出力する撮像素子58と、撮像信号を処理する画像処理回路62を備えている。画像処理回路62は、撮像素子58の各色感度領域について、その色感度領域に含まれる狭帯域光のピーク波長と、その色感度領域に対応する撮像素子58の光検出要素が検出する反射散乱光の強度とを関連付けて狭帯域光分光強度情報を導出し、これに基づいて波長欠落領域分光強度情報を推定する波長欠落領域分光強度情報推定部64と、狭帯域光分光強度情報と波長欠落領域分光強度情報に基づいて、波長欠落領域のない照明光を照射したときに得られる画像信号に近づけるように、波長欠落領域補正処理を行う波長欠落領域補正処理部66を有している。

【選択図】 図1

図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

観察対象物の内部空間を観察するための内視鏡装置であり、
前記内部空間に挿入される先端部を有する挿入部と、
内部空間表面に照明光を射出する前記先端部に設けられた光射出部と、
前記内部空間表面からの反射散乱光を検出して撮像信号を出力する前記先端部に設けられた撮像素子と、

前記撮像信号を処理して画像信号を出力する画像処理回路と、
前記画像信号に従って画像を表示する表示部とを備え、
前記照明光は、複数の狭帯域光により構成されており、

前記撮像素子が検出可能な波長領域は、前記複数の狭帯域光がそれぞれ存在する複数の狭帯域光領域と、隣接する二つの狭帯域光領域の間の領域である第一波長欠落領域と、最も端の二つの狭帯域光領域の外側の領域である第二波長欠落領域とにより構成されており、

前記撮像素子は、複数の色感度領域内の光をそれぞれ検出する複数種類の光検出要素を含む多数の光検出要素を有しており、

前記画像処理回路は、各色感度領域について、その色感度領域に含まれる狭帯域光のピーク波長と、その色感度領域に対応する光検出要素が検出する前記内部空間表面からの反射散乱光の強度とを関連付けて、狭帯域光分光強度情報（波長、受光強度 P ）を導出し、前記狭帯域光分光強度情報に基づいて、前記第一波長欠落領域における前記内部空間表面からの反射散乱光の強度情報である波長欠落領域分光強度情報を推定する波長欠落領域分光強度情報推定部を有し、

前記画像処理回路は、前記狭帯域光分光強度情報と前記波長欠落領域分光強度情報とに基づいて、波長欠落領域のない照明光を照射したときに得られる画像信号に近づけるように、波長欠落領域補正処理を行う波長欠落領域補正処理部を有している、内視鏡装置。

【請求項 2】

n を 2 以上の自然数、 k を 1 から n までの自然数として、

前記複数の狭帯域光の数と前記複数の色感度領域の数は共に n であり、

ひとつの色感度領域にはひとつの狭帯域光が含まれるように構成されており、

前記複数の狭帯域光を、短波長側から長波長側に向かって 1 番目、2 番目、 \dots 、 n 番目の狭帯域光とし、

前記複数の色感度領域を、短波長側から長波長側に向かって 1 番目、2 番目、 \dots 、 n 番目の色感度領域としたとき、

k 番目の狭帯域光は k 番目の色感度領域に含まれており、

k 番目の狭帯域光のピーク波長を λ_k 、 k 番目の色感度領域に対応する光検出要素が検出する前記内部空間表面からの反射散乱光の強度を P_k としたとき、

前記狭帯域光分光強度情報（波長、受光強度 P ）は、 (λ_k, P_k) として導出する、請求項 1 に記載の内視鏡装置。

【請求項 3】

n 、 m を 2 以上の自然数、 i 、 j を 1 から n までの自然数、 l を 1 から m までの自然数として、

前記複数の色感度領域の数は n であり、

前記複数の狭帯域光の数は n よりも多く、

前記複数の色感度領域を、短波長側から長波長側に向かって 1 番目、2 番目、 \dots 、 n 番目の色感度領域としたとき、

前記複数の色感度領域のうち、前記狭帯域光がひとつのみ含まれる色感度領域を単一狭帯域光色感度領域とし、

前記複数の色感度領域のうち、前記狭帯域光が複数含まれる色感度領域を複数狭帯域光色感度領域とし、

前記単一狭帯域光色感度領域に含まれる色感度領域を j 番目の色感度領域とし、

10

20

30

40

50

前記複数狭帯域光色感度領域に含まれる色感度領域を i 番目 ($i = j$) の色感度領域としたとき、

前記 j 番目の色感度領域に含まれる狭帯域光を j 番目の狭帯域光とし、

前記 i 番目の色感度領域に含まれる狭帯域光の数が m 個であるとき、

前記 i 番目の色感度領域に含まれる m 個の狭帯域光を、それぞれ $i - 1$ 番目、 \dots 、 $i - m$ 番目の狭帯域光として、

j 番目の狭帯域光のピーク波長を λ_j 、 j 番目の色感度領域に対応する光検出要素が検出する前記内部空間表面からの反射散乱光の強度を P_j とし、

$i - 1$ 番目の狭帯域光のピーク波長を λ_{i-1} 、 i 番目の色感度領域に対応する光検出要素が検出する前記内部空間表面からの反射散乱光の強度を P_i とし、

前記狭帯域光分光強度情報 (波長 λ 、受光強度 P) は、

前記 j 番目の色感度領域においては (λ_j 、 P_j) として導出され、

前記 i 番目の色感度領域においては ($(\lambda_{i-1}) / m$ 、 P_i) として導出する、請求項 1 に記載の内視鏡装置。

10

【請求項 4】

n 、 m を 2 以上の自然数、 i 、 j を 1 から n までの自然数、 l を 1 から m までの自然数として、

前記複数の色感度領域の数は n であり、

前記複数の狭帯域光の数は n よりも大きく、

前記複数の色感度領域を、短波長側から長波長側に向かって 1 番目、2 番目、 \dots 、 n 番目の色感度領域としたとき、

20

前記複数の色感度領域のうち、前記狭帯域光がひとつのみ含まれる色感度領域を単一狭帯域光色感度領域とし、

前記複数の色感度領域のうち、前記狭帯域光が複数含まれる色感度領域を複数狭帯域光色感度領域とし、

前記単一狭帯域光色感度領域に含まれる色感度領域を j 番目の色感度領域とし、

前記複数狭帯域光色感度領域に含まれる色感度領域を i 番目 ($i = j$) の色感度領域としたとき、

前記 j 番目の色感度領域に含まれる狭帯域光を j 番目の狭帯域光とし、

前記 i 番目の色感度領域に含まれる狭帯域光の数が m 個であるとき、

30

前記 i 番目の色感度領域に含まれる m 個の狭帯域光を、それぞれ $i - l$ 番目 ($l = 1 \sim m$) の狭帯域光として、

前記光射出部は、前記 $i - l$ 番目 ($l = 1 \sim m$) の狭帯域光を、互いに異なるタイミングで射出するように構成されており、

前記 i 番目の色感度領域に対応する光検出要素が検出する前記内部空間表面からの反射散乱光の強度 P を、前記 $i - l$ 番目 ($l = 1 \sim m$) の狭帯域光の射出に同期して、 P_{i-l} ($l = 1 \sim m$) を分離して検出することで、

前記狭帯域光分光強度情報 (波長 λ 、受光強度 P) は、

前記 j 番目の色感度領域においては (λ_j 、 P_j) として導出され、

前記 i 番目の色感度領域においては (P_{i-l} 、 P_i) ($l = 1 \sim m$) として導出される、請求項 1 に記載の内視鏡装置。

40

【請求項 5】

前記狭帯域光領域は、狭帯域光の発光領域のうち、ピーク強度の半分以上の光量を有する領域である、請求項 1 ないし 4 のいずれかひとつに記載の内視鏡装置。

【請求項 6】

前記狭帯域光はマルチモードまたはシングルモードのレーザ光である、請求項 5 に記載の内視鏡装置。

【請求項 7】

前記画像処理回路は、前記撮像素子から出力される前記撮像信号の情報のうち、狭帯域光強度導出領域の情報のみを用いて、狭帯域光分光強度情報 (波長 λ 、受光強度 P) の受

50

光強度 P を、各波長 λ に対応した反射散乱光の強度情報の狭帯域光強度導出領域全体の平均として導出する、請求項 1 ないし 4 のいずれかひとつに記載の内視鏡装置。

【請求項 8】

前記狭帯域光強度導出領域は、撮像画面全体である、請求項 7 に記載の内視鏡装置。

【請求項 9】

前記狭帯域光強度導出領域は、撮像画面の一部であり、(a) 前記撮像画面全体から、前記撮像素子のダイナミックレンジの上限付近および下限付近の領域を除いた領域か、(b) 前記撮像画面の中心近傍の領域か、(c) 複数の狭帯域光分光強度情報(波長 λ 、受光強度 P) の組合せが所定の比率範囲または撮像画面上で最も多い比率範囲にある領域のいずれかである、請求項 7 に記載の内視鏡装置。

10

【請求項 10】

前記狭帯域光強度導出領域を指定するための入力部をさらに備えている、請求項 7 に記載の内視鏡装置。

【請求項 11】

前記画像処理回路は、前記撮像素子から出力される前記画像信号の情報のうち、複数の狭帯域光強度導出領域の情報を用いて、複数の狭帯域光強度導出領域ごとに、光帯域光分光強度情報(波長 λ 、受光強度 P) の強度 P を、各波長 λ に対応した反射散乱光の強度情報の狭帯域光強度導出領域ごとに導出し、各波長 λ に対応した狭帯域光強度導出領域が、複数の画素領域を含む場合には、その平均として強度 P を導出する、請求項 1 ないし 4 のいずれかひとつに記載の内視鏡装置。

20

【請求項 12】

前記波長欠落領域分光強度情報推定部は、複数の狭帯域光分光強度情報(波長 λ 、受光強度 P) に基づいて、(a) 関数近似(1次関数近似、高次関数近似、最小二乗近似等)により、前記第一波長欠落領域の全体に渡り滑らかに連続するように、または、(b) 隣接する狭帯域光分光強度情報(波長 λ 、受光強度 P) を直線で接続するように、前記波長欠落領域分光強度情報を推定する、請求項 1 ないし 4 のいずれかひとつに記載の内視鏡装置。

【請求項 13】

前記波長欠落領域分光強度情報推定部は、 k 番目の色感度領域全体について、受光強度 P を P_k の一定値として推定し、前記複数の色感度領域は互いに重なりを有しており、第 k 番目の色感度領域と、第 $k+1$ 番目の色感度領域の重なり領域を感度重なり領域 k としたとき、感度重なり領域 k について、第 k 番目の色感度領域の撮像信号としては P_k を用い、第 $k+1$ 番目の色感度領域の撮像信号としては P_{k+1} を用いるように推定するか、感度重なり領域 k について、 P_k と P_{k+1} の平均値として推定する、請求項 2 に記載の内視鏡装置。

30

【請求項 14】

前記波長欠落領域分光強度情報推定部は、前記第二波長欠落領域について、外挿により波長欠落領域分光強度情報を推定する、請求項 11 ないし 13 のいずれかひとつに記載の内視鏡装置。

【請求項 15】

前記波長欠落領域補正処理部は、前記波長欠落領域分光強度情報推定部が推定した波長欠落領域分光強度情報から対応する色感度領域に対応する光検出要素が受光するであろう受光量を算出し、色感度領域ごとの補正受光量情報 PP を、画像情報として出力する、請求項 1 ないし 4 のいずれかひとつに記載の内視鏡装置。

40

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、内視鏡装置に関する。

【背景技術】

【0002】

50

現在、小型光源と光ファイバとを組み合わせた、いわゆるファイバ光源が開発されている。このファイバ光源は、細い構造物の先端から観察対象物を観察する観察装置たとえば内視鏡装置の照明光学系として用いるのに好適である。

【0003】

たとえば特許文献1には、R、G、B3色のレーザ光源と光ファイバと拡散板を組み合わせたファイバ光源を搭載した内視鏡装置が提案されている。特許文献1の内視鏡装置は、3原色である441.6nmの青色レーザ光、537.8nmの緑色レーザ光、636.0nmの赤色レーザ光を同時に発振する3原色(白色)レーザであるHe-Cdレーザと、632.8nmの赤色波長の光を発するHe-Neレーザからのレーザ光をライトガイドで内視鏡先端部まで導光し、拡散板、照度分布調整フィルタを介して観察対象物である生体に照射するように構成されている。

10

【0004】

一般にレーザ光を拡散して照明光として用いる場合、レーザ光の波長に含まれない光の情報が欠落してしまうという問題がある。すなわち、照明対象物である生体の、He-Cdレーザが発振する636.0nmの赤色レーザ光およびその近傍の波長の光の反射率が、赤色領域のそれ以外の波長の光の反射率と異なっている場合、色再現性が悪くなることが知られている。例えば、636nm近傍の光をほとんど反射せず、それ以外の赤色領域の光をよく反射する場合、実際には赤色に見えるにもかかわらず、レーザ光で照明した場合は暗く見えてしまうなどの問題がある。

【0005】

特許文献1は、このような問題に対して、632.8nmの赤色光を加えることで色再現性を向上できるとし、さらに、複数の赤色波長のレーザ光を合波させることを提案している。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開平10-286235号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

レーザ光の波長幅は一般に1nm以下であるため、特許文献1の例において照明光が存在する波長領域の幅は、青色1色と緑色1色と赤色2色を合わせても、概ね4nm以下である。一方、内視鏡などの観察に用いられる撮像素子が受光感度を有する領域である可視光領域は、一般に400nm~700nmの範囲に広がっており、約300nmの幅を有している。したがって、特許文献1の例では、照明光が存在する波長領域は、可視光領域の1.3%以下であり、実に98%以上の波長領域で照明光が存在しないことになる。

30

【0008】

すなわち、特許文献1の内視鏡装置は、赤色レーザ光2本、緑色レーザ光1本、青色レーザ光1本の計4本のレーザ光を照明光に用いているが、撮像素子が受光感度を有する領域の実質的に98%以上には照明光が存在しない。そのため、98%以上の波長領域の観察対象物である生体の色情報を得ることができず、色再現性に乏しい構成となっている。

40

【0009】

本発明は、上記の実状に鑑みてなされたものであって、レーザ光に代表される離散的な複数の波長の狭帯域光を照明光に用いる内視鏡装置において色再現性の向上を達成することとする。

【課題を解決するための手段】

【0010】

本発明による内視鏡装置は、観察対象物の内部空間に挿入される先端部を有する挿入部と、内部空間表面に照明光を射出する前記先端部に設けられた光射出部と、前記内部空間

50

表面からの反射散乱光を検出して撮像信号を出力する前記先端部に設けられた撮像素子と、前記撮像信号を処理して画像信号を出力する画像処理回路と、前記画像信号に従って画像を表示する表示部とを備えている。前記照明光は、複数の狭帯域光により構成されている。前記撮像素子が検出可能な波長領域は、前記複数の狭帯域光がそれぞれ存在する複数の狭帯域光領域と、隣接する二つの狭帯域光領域の間の領域である第一波長欠落領域と、最も端の二つの狭帯域光領域の外側の領域である第二波長欠落領域とにより構成されている。前記撮像素子は、複数の色感度領域内の光をそれぞれ検出する複数種類の光検出要素を含む多数の光検出要素を有している。前記画像処理回路は、各色感度領域について、その色感度領域に含まれる狭帯域光のピーク波長と、その色感度領域に対応する光検出要素が検出する前記内部空間表面からの反射散乱光の強度とを関連付けて、狭帯域光分光強度情報（波長、受光強度P）を導出し、前記狭帯域光分光強度情報に基づいて、前記第一波長欠落領域における前記内部空間表面からの反射散乱光の強度情報である波長欠落領域分光強度情報を推定する波長欠落領域分光強度情報推定部を有している。前記画像処理回路はまた、前記狭帯域光分光強度情報と前記波長欠落領域分光強度情報とに基づいて、波長欠落領域のない照明光を照射したときに得られる画像信号に近づけるように、波長欠落領域補正処理を行う波長欠落領域補正処理部を有している。

10

【発明の効果】

【0011】

本発明によれば、離散的な複数の波長の狭帯域光を照明光に用いる内視鏡装置において色再現性の向上が達成される。

20

【図面の簡単な説明】

【0012】

【図1】第1実施形態における観察装置を概略的に示している。

【図2】波長450nmの光を発する半導体レーザの発光スペクトルの一例である。

【図3】光ファイバ型の光コンパイナの接続部を示している。

【図4】入射側ポートと出射側ポートが一体となっている光ファイバ型の光コンパイナを示している。

【図5】光射出部の断面構造を示している。

【図6】第1実施形態における色感度領域と狭帯域光領域と波長欠落領域の関係を示している。

30

【図7】第1実施形態における狭帯域光発光情報と狭帯域光分光情報と推定された第一波長欠落領域分光強度情報を示している。

【図8】推定された第一波長欠落領域分光強度情報に基づいて、色感度領域1に対する補正值の求め方の一例を示している。

【図9】ベイア配列を有する撮像素子における最小ユニットである2×2の4画素の領域を示している。

【図10】推定の対象となる撮像画面全体および10×10画素の領域を示している。

【図11】撮像素子のダイナミックレンジにおいて入射光量が弱すぎたり強すぎたりする領域を含む撮像画像を示している。

【図12】第1実施形態の変形例における狭帯域光発光情報と第一波長欠落領域分光強度情報の推定例を示している。

40

【図13】第2実施形態における観察装置を概略的に示している。

【図14】第2実施形態における色感度領域と狭帯域光領域と波長欠落領域の関係を示している。

【図15】第2実施形態における狭帯域光発光情報と狭帯域光分光情報と推定された第一波長欠落領域分光強度情報を示している。

【図16】第3実施形態における各半導体レーザとフレームタイミングの関係を示している。

【図17】第3実施形態における狭帯域光発光情報と狭帯域光分光情報と推定された第一波長欠落領域分光強度情報を示している。

50

【図 18】第 3 実施形態の変形例における狭帯域光発光情報と第一波長欠落領域分光強度情報の推定例を示している。

【図 19】第 1 実施形態において狭帯域光 2 を省いた照明光における狭帯域光発光情報と狭帯域光分光情報と推定された第一波長欠落領域分光強度情報を示している。

【図 20】3 個の LED 素子を組み合わせた照明光の例を示している。

【図 21】試験色 1、2、3、4、5、6 の分光反射率のスペクトルを示している。

【図 22】試験色 7、8、15 の分光反射率のスペクトルを示している。

【発明を実施するための形態】

【0013】

[第 1 実施形態]

以下に、本発明に係る観察装置の実施形態を図面に基づいて詳細に説明する。なお、以下の実施形態により本発明が限定されるものではない。

【0014】

[構成]

図 1 は、本実施形態における観察装置を概略的に示している。図 1 に示すように、本観察装置は、たとえば内視鏡装置であり、光源部を含む本体部 12 と、観察対象物 90 の内部空間 92 に挿入される先端部 18 を有する挿入部 14 と、観察対象物 90 の内部空間表面の画像を表示する表示部 20 とから構成されている。

【0015】

本体部 12 には、発光波長が互いに異なる 3 台の半導体レーザ (LD) 22A、22B、22C と、それぞれ対応する半導体レーザ 22A、22B、22C を駆動する駆動回路 26A、26B、26C と、駆動回路 26A、26B、26C を経由して半導体レーザ 22A、22B、22C を制御する光源制御回路 30 と、半導体レーザ 22A、22B、22C から射出されるレーザ光をそれぞれ導光する 3 本の光ファイバ 32A、32B、32C と、3 本の光ファイバ 32A ~ 32C によって導光されるレーザ光を合波する光コンバイナ 34 と、光コンバイナ 34 によって合波されたレーザ光を導光する一本の光ファイバ 46 が搭載されている。

【0016】

光源制御回路 30 と駆動回路 26A、26B、26C は制御信号線 28 で接続され、駆動回路 26A、26B、26C と半導体レーザ 22A、22B、22C とは電気配線 24 でそれぞれ接続されている。光源制御回路 30 は、半導体レーザ 22A、22B、22C のそれぞれから射出されるレーザ光の光量や、各半導体レーザ 22A、22B、22C の点灯 / 消灯などを駆動回路 26A、26B、26C を経由して制御可能となっている。なお、制御信号線 28、電気配線 24 は共に一本の直線で図示したが、実際には複数本を配置する場合もある。さらに、電源ケーブル等、当然必要となるものは省略されている。

【0017】

光ファイバ 46 は、挿入部 14 と本体部 12 との接続部 16 を経由して挿入部 14 の内部まで延びており、本体部 12 の反対側に位置する挿入部 14 の先端部 18 に設けられた光射出部 48 に光学的に接続されている。光射出部 48 は、光ファイバ 46 によって導光されたレーザ光を観察対象物 90 の内部空間 92 の表面に照射する機能を有している。接続部 16 では、光ファイバ 46 は着脱可能に構成されているが、便宜上着脱機構は省略してあり、接続部 16 の近傍に設けられる着脱機構の本体部 12 側、挿入部 14 側とも光ファイバ 46 と呼ぶものとする。

【0018】

挿入部 14 の先端部 18 にはさらに、観察対象物 90 の内部空間 92 の表面からの反射散乱光を検出して撮像信号 (撮像情報の電気信号) を出力する撮像素子 58 が設けられている。撮像素子 58 は、複数の色感度領域内の光をそれぞれ検出する複数種類の光検出要素を含む多数の光検出要素を有している。撮像素子 58 には、撮像素子 58 が出力する撮像信号を送信する信号線 60 が接続されており、この信号線 60 は、挿入部 14 と本体部 12 との接続部 16 を経由して本体部 12 の内部まで延びている。信号線についても着脱

10

20

30

40

50

機構は省略してあり、共通の信号を伝達する信号線は信号線 60 と呼ぶものとする。

【0019】

すなわち、挿入部 14 は、先端部 18 に設けられた光射出部 48 と撮像素子 58 を有しており、また、光射出部 48 に接続された光ファイバ 46 と、撮像素子 58 に接続された信号線 60 を部分的に有している。

【0020】

本体部 12 の内部に延びた信号線 60 は、撮像素子 58 が出力する撮像信号を処理して画像信号を出力する画像処理回路 62 に接続されている。すなわち、本体部 12 はさらに、信号線 60 の一部と画像処理回路 62 を有している。また、画像処理回路 62 は、後述する波長欠落領域分光強度情報推定部 64 と波長欠落領域補正処理部 66 とを有している。

10

【0021】

画像処理回路 62 は信号線 68 で表示部 20 と接続されている。画像処理回路 62 が出力する画像信号は、信号線 68 を経由して表示部 20 に送信される。表示部 20 は、受信した画像信号に従って画像を表示する。また画像処理回路 62 には、画像処理のための情報を入力するための入力部 70 が電気配線 72 で接続されている。信号線 68 と電気配線 72 は共に一本の直線で図示したが、実際には複数本を配置する場合もある。

【0022】

挿入部 14 は、細長い略円筒形状の外観を有しており、観察対象物 90 の内部空間 92 に挿入し易い形状となっている。言い換えると、挿入部 14 は、一般の観察装置では観察し難い、狭い入り口を有する観察対象物 90 の内部空間 92 の内部を観察し易い形状となっている。観察対象物 90 の内部空間 92 は、例えば図 1 に示すように、狭い入り口の奥側にやや広がった空間などが考えられるが、このような空間の内部には、室内照明や太陽光などの外光が侵入しにくい。特に挿入部 14 を挿入すると、もとより狭い入り口をさらに挿入部 14 が塞ぐ形となり、外光はほとんど内部に侵入しない。すなわち、観察対象物 90 の内部空間 92 における照明光はほとんどが、光射出部 48 から射出された照明光のみであり、この照明光と比較して、外光はほとんど無視できる。本実施形態による観察装置はこのような、照明光と比較して外光がほとんど無視できる内部空間 92 を観察するのに好適である。

20

【0023】

半導体レーザー (LD)

半導体レーザーは、半導体素子に電流を流すことでレーザー光を射出する固体光源であり、紫外光から赤外光まで、様々な波長のものが実用化されている。半導体レーザーは、小型、省電力などの特長があり、近年、高輝度化、波長多様化に向け開発が盛んである。レーザー光は一般に、波長幅が非常に狭い線スペクトルの波長特性を有する光である。半導体レーザーの場合、一般にスペクトル線の幅 (スペクトル線幅) は 1 nm 以下である。半導体レーザーには、ウェハのへき開面から光を射出する端面発光タイプ (ストライプレーザー) やウェハの表面から光を射出する面発光タイプ (垂直共振器型面発光レーザー; VCSEL) などがある。さらに、半導体レーザーの射出部に非線形結晶を組合せ、半導体レーザーの発振波長を半分にするような 2 倍高調波タイプ (SHG 半導体レーザー) などに代表される複合型半導体レーザーなども実用化されている。

30

40

【0024】

本実施形態における本体部 12 は、発振波長の短いものから順に、3 台の半導体レーザー 22A、22B、22C を有している。

半導体レーザー 22A は、波長約 450 nm の青色レーザー光を射出するマルチモード半導体レーザーである。

半導体レーザー 22B は、波長約 540 nm の緑色レーザー光を射出するマルチモード半導体レーザーである。

半導体レーザー 22C は、波長約 640 nm の赤色レーザー光を射出するマルチモード半導体レーザーである。

50

【 0 0 2 5 】

各半導体レーザはいずれもマルチモードレーザであり、例えば図 2 に示すように、複数の波長でレーザ発振するが、発振波長の最短のものから最長のものまで含めても 1 nm 以下の波長域に含まれる。図 2 は、波長 4 5 0 nm の光を発する半導体レーザ 2 2 A の発光スペクトルの一例である。発光スペクトルは数十本の線スペクトル成分を有し、時間と共に比率や線スペクトルの数が変化する。発光スペクトルの波長領域の幅は、全体で 1 nm 程度の広がりをもっている。このようなスペクトルを有するマルチモードレーザ光を狭帯域光として用いる場合の狭帯域光としてのピーク波長 $p e a k$ は、最も光強度の高い波長と定義する。本実施形態では、半導体レーザ 2 2 A のピーク波長 $p e a k = 4 5 0 n m$ である。同様に、半導体レーザ 2 2 B のピーク波長 $p e a k = 5 4 0 n m$ 、半導体レーザ 2 2 C のピーク波長 $p e a k = 6 4 0 n m$ である。

10

【 0 0 2 6 】

図 6 の下段に示すように、撮像素子 5 8 が検出可能な領域であって、レーザ光がほとんどない領域を波長欠落領域と定義し、特に、波長的に隣接する二つのレーザ光の間の領域を第一波長欠落領域と定義し、最も短波長のレーザ光よりも短波長側の領域と、最も長波長のレーザ光よりも長波長側の領域を第二波長欠落領域と定義する。より詳しくは、各レーザ光スペクトルの波長範囲内に狭帯域光領域を想定し、隣接する二つのレーザ光の狭帯域光領域の間の領域を第一波長欠落領域と定義し、また、最も短波長のレーザ光の狭帯域光領域よりも短波長側の領域と、最も長波長のレーザ光の狭帯域光領域よりも長波長側の領域を第二波長欠落領域と定義する。さらには、レーザ光のピーク強度に対して 1 / 2 よりも大きな強度を有する領域を狭帯域光領域とする。今後、特に断り無く波長欠落領域という場合、第一波長欠落領域と第二波長欠落領域とを合わせた領域を言うものとする。

20

【 0 0 2 7 】

すなわち、本実施形態では、撮像素子 5 8 が検出可能な波長領域は、4 0 0 nm から 7 0 0 nm までの波長幅約 3 0 0 nm を有する波長領域であり、この波長領域に 1 nm 以下の幅を有する 3 箇所の狭帯域光領域があり、それ以外の 2 9 7 nm 以上の領域は、波長欠落領域となっている。すなわち撮像素子 5 8 が検出可能な波長領域のうち、9 9 % 以上が波長欠落領域となっている。

【 0 0 2 8 】

駆動回路

駆動回路 2 6 A、2 6 B、2 6 C は、それぞれの半導体レーザ 2 2 A、2 2 B、2 2 C に適切な電流を印加する機能を有しており、光源制御回路 3 0 から制御信号線 2 8 を経由して出力される制御信号に基づいて、半導体レーザ 2 2 A、2 2 B、2 2 C の点灯 / 消灯状態を切り替えたり、パルス発光させるなど、発光状態を制御したりする機能を有している。さらに、急激な電流増加や、規格外の電流量や電圧が印加されることにより半導体レーザ 2 2 A、2 2 B、2 2 C が電氣的に破壊されるのを防ぐ機能を有している。そのほか、一般の半導体レーザ駆動回路が有する様々な機能を有している。

30

【 0 0 2 9 】

光源制御回路

光源制御回路 3 0 は、半導体レーザ 2 2 A、2 2 B、2 2 C を関係付けて制御し、また、単独で制御する機能を有している。

40

【 0 0 3 0 】

例えば、上述の 3 台の半導体レーザ 2 2 A、2 2 B、2 2 C を組み合わせた場合、3 台の半導体レーザ 2 2 A、2 2 B、2 2 C を互いに略等しい強度で発光させると、ほぼ白色光となる。また、照明用途に応じて照明光の色を調整したい場合は、半導体レーザ 2 2 A、2 2 B、2 2 C の光量比を適切に調整することで、様々な色の照明光を実現することが可能である。本実施形態における光源制御回路 3 0 は、3 台の半導体レーザ 2 2 A、2 2 B、2 2 C を、レーザ光の光強度の比を一定に維持したまま、全てのレーザ光の光量を同時に増減させることが可能である。また、特定のレーザ光の光量のみを単独に増減させ、また点灯・消灯させることが可能である。

50

【0031】

例えば、半導体レーザ22A、22B、22Cの光量比を一定に保ったまま、全体の光量を増減させるように光源制御回路30が制御すれば、照明光の色は変化せず、明るさだけを増減させることができる。また、半導体レーザ22A、22B、22Cの光量を個別に調整することで、照明光の色を様々に調整することができる。さらに、全ての半導体レーザ22A、22B、22Cを同時に点滅させれば、所望の色で点滅する光源部を実現できるし、異なるタイミングで順次点滅させることで、照明光の色が順次変化する光源部を実現することができる。

【0032】

その他、用途に応じて様々な制御が可能ないように光源制御回路30を構成することが可能である。

10

【0033】

光ファイバ

本実施形態では、半導体レーザ22A、22B、22Cからのレーザ光を光コンバイナ34に導光するために、また、光コンバイナ34から光射出部48まで導光するために、光ファイバ32A、32B、32C、46が用いられている。さらに、光コンバイナ34として、後述するような光ファイバ型光コンバイナ34を用いている。

【0034】

これらの光ファイバ32A、32B、32C、46として、実用化されている様々な光ファイバを利用することが可能である。本実施形態では、半導体レーザ22A、22B、22Cとしてマルチモード半導体レーザを用いているため、このマルチモードのレーザ光を効率的に入射・導光するために、光ファイバ32A、32B、32C、46には、マルチモード型の光ファイバを用いている。マルチモード型の光ファイバは、コア径が数十 μm から200 μm 程度のものが一般的である。光ファイバのコア径は、半導体レーザ22A、22B、22Cから射出されるレーザ光の入射光率を向上させるためには太いものがよく、一方、曲げ易さや挿入部14の細径化には細いものが望ましいため、使用する半導体レーザ22A、22B、22Cから射出されるレーザ光の広がりや、半導体レーザ22A、22B、22Cと光ファイバ32A、32B、32Cを光学的に接続する接続部分の光学構造、挿入部14の太さや、後述する光コンバイナ34の光学的入出力要件などに基づいて選択される。本実施形態では、挿入部14に搭載し、光射出部48までレーザ光を導光する光ファイバ46としては、コア径50 μm 、クラッド径125 μm 程度の光ファイバを用いている。

20

30

【0035】

コア径の違い以外にも、光ファイバは様々な特性を有するものが用途ごとに実用化されている。例えばコアとクラッドの屈折率差に基づく開口数NAの大小や、曲がり易さや強度に影響する、クラッド径やその外側の被覆構造など、用途に応じて適切に選択できる。

【0036】

また、光ファイバは、様々な素材のものを利用することができる。旧来より利用されているガラスコア/ガラスクラッドのものはもちろん、短距離光伝送用として普及しているプラスチックコア、プラスチッククラッドのものも用いることができる。さらに、コアとクラッドの屈折率差を大きくするために、ガラスコアとプラスチッククラッドを組み合わせた複合型の光ファイバも用いることができる。本実施形態では、利用する光の強度や波長から、比較的光耐久性の高い、石英コア、ガラスクラッドの光ファイバを用いている。

40

【0037】

光コンバイナ

光コンバイナ34は、複数の入力端から入射した光をひとつの射出端に合波する機能を有する光学素子である。例えば、クロスプリズム、ダイクロイックミラー等を組み合わせた、空間光学系によるものや、複数の径の細い光ファイバのコア部を、一本の径の太い光ファイバのコア部に接続した光ファイバ型のものなど、複数のレーザからのレーザ光を一

50

本の光ファイバに結合可能なものを利用することができる。図3に光ファイバ型の光コンバイナ34の例を示す。

【0038】

図3は、光ファイバ型の光コンバイナ34の接続部を示している。図3は、3つの入力ポートに接続された3本の入射側光ファイバ32A～32Cと、ひとつの出力ポートに接続された出射側光ファイバ46とを、その端面同士が対向するように押し当てて光学的に接続した、3入力1出力の光コンバイナ34の例である。なお、図3は分かり易さを優先したイメージ図となっているが、実際には接続部近傍は融着または接着剤等で固定されており、また、接続部の機械的強度を向上するためのカバー等で全体が覆われている。なお、このような光ファイバ型の光コンバイナ34の場合、図4に示すように、入射側ポートとしての光ファイバ36A、36B、36Cや出射側ポートとしての光ファイバ42が光コンバイナ40と一体となっている場合がある。このような場合、接続部近傍の（カバー等で覆われた）部分のみを光コンバイナと呼ぶ場合もあるし、入射側ポートのコネクタ38A、38B、38Cと出射側ポートのコネクタ44までを含めて光コンバイナと呼ぶ場合もある。

10

【0039】

なお、図3に示した光コンバイナ34は、入射側光ファイバ32A～32Cの径よりも出射側光ファイバ46の径が太い構成となっている。このように径違いのまま光源部に組み込むことももちろん可能であり、また、出射側光ファイバ46を、緩やかなテーパーとなるように徐々に細くなるように加工することも可能である。

20

【0040】

図3と図4では、本実施形態の構成に合わせ、3入力1出力（入射端3箇所、射出端1箇所の意味）の光コンバイナ34の例を示したが、これに限らない。用途に応じて2入力1出力のものから、多数の入力側光ファイバを1本の光ファイバと結合させる多入力1出力のものも実用化されており、このような様々な光コンバイナを利用することができる。また、複数の光コンバイナを直列に接続して入射端数を目的に合わせて調整することができる。例えば、2入力1出力の光コンバイナの一方の入射端に別の2入力1出力の光コンバイナの射出端を接続する構成とすることで、全体として3入力1出力の光コンバイナを構成することが可能となる。同様に、様々な光コンバイナを直列、または並列に接続することでさまざまなタイプの光コンバイナを構成することができる。

30

【0041】

さらに、本実施形態では、1出力の光コンバイナのみを示したが、これに限らない。たとえば、光ファイバのコアの側面を光学的に接続した2×2の光カブラを組み合わせることで、先端部18に複数の光射出部48を設けることができる。これにより観察対象物90に凹凸がある場合、影がなく良好な観察画像を得ることが可能となる。さらに、3×3以上の光カブラなど様々な光カブラを単独または光コンバイナと組み合わせる用いることが可能である。

【0042】

光射出部

光射出部48は、3つの半導体レーザ22A、22B、22Cから射出され光コンバイナ34により一本の光ファイバ46に入射された互いに波長の異なる3つの狭帯域光であるレーザ光を、照明用途に合わせて光学特性を調整し、照明光として射出する機能を有している。すなわち、光源部から射出された1次光であるレーザ光の光学特性を調整して照明光とし、これを射出する機能を有している。

40

【0043】

レーザ光がそのまま射出されると、その放射角や単位角度あたりの光強度によっては人体に危険な場合があるため、レーザ光を安全なレベルまで放射角を拡げることや、発光点の大きさを大きくする必要がある。

【0044】

また、レーザ光はその光学的特徴である可干渉長の長さ、すなわちコヒーレンシーの高

50

さから、散乱面等に照射されると、ランダムに輝点が発生する、いわゆるスペックルノイズが発生する。スペックルノイズは観察者にちらつき感など、不快感を与えるだけでなく、観察対象物のディテール観察の阻害要因となる。このため、コヒーレンシーを低下させる必要がある。

【0045】

さらに、光ファイバのコアとクラッドの屈折率差に基づく指標であるNAは、屈折率同様波長依存性を有している。光ファイバの射出端から射出されるレーザ光の放射角はこのNAに依存するため、放射角も波長依存性を有している。波長ごとに放射角が異なると、同心円状の色ムラが発生するため、照明対象物の位置によって色の見え方が変わってしまうという問題点がある。波長ごとの放射角の違いを解消するため、放射角や配光分布を調整する必要がある。

10

【0046】

すなわち、光射出部48は、上述した種々の理由により、放射角や配光角、コヒーレンシー、発光点の大きさなどの光学特性を調整する機能が搭載されている。本実施形態では、光射出部48は、図5に示される構造となっている。図5は、光ファイバ46の先端部の中心軸を通る平面に沿って破断された光射出部48の断面を示している。光射出部48は、円錐台形状の貫通孔を持つホルダ50を有している。貫通孔の内面には反射ミラー54が設けられており、キャビティ52を定めている。また、キャビティ52には、半導体レーザ22A、22B、22Cから射出されるレーザ光に対し透明な樹脂が充填されている。キャビティ52に小径側の一端には、光ファイバ46が接続されており、その反対側のホルダ50の貫通孔の開口部には拡散板56がフタ状に取り付けられている。

20

【0047】

光ファイバ46とホルダ50は、フェルールやスリーブなど、図示しない部材により光学的な位置関係を保持するように組み立てられている。

【0048】

光ファイバ46によって導光され光ファイバ46から射出されたレーザ光は、キャビティ52内の透明な樹脂に侵入し、光ファイバ46のNA、キャビティ52内の樹脂の屈折率、レーザ光の波長などに応じた広がり角で広がりながら進行し、拡散板56に入射する。拡散板56は、透明な樹脂の中にアルミナ等屈折率の大きな粒子を分散させたものや、逆に微細な気泡など屈折率の小さな構造体を分散させたもの、表面に微細な凹凸を有するスリガラスなど、およびこれらの複合体を利用することができる。その他、拡散板として知られている様々な部材を適用することができる。

30

【0049】

拡散板56に入射したレーザ光の一部は拡散板56を透過して外部に射出され、また別の一部は後方に反射散乱されて進行する。後方に反射散乱されたレーザ光は円錐台形状の反射ミラー54により反射され再び前方に進行し、一部は外部に射出され、別の一部は再び後方に射出される。これらの一連の動作を繰り返しながら、光射出部48に入射した1次光であるレーザ光は、光射出部48によりその光学特性である放射角、配光分布、コヒーレンシーなどが調整されて照明光として外部に進行する。また、発光点の大きさについては、光射出部48がない場合はファイバのコア部のサイズであるが、光射出部48を通過した後では、拡散板56の外表面のサイズとなる。すなわち、発光点の大きさは光射出部48によりも大きくなる。

40

【0050】

本実施形態では、このような光射出部48により、半導体レーザ22A、22B、22Cから射出されたレーザ光の配光をほぼ均一にすることで色ムラなく、安全であり、コヒーレンシーも低くなり、良好な照明光を実現できる。

【0051】

本実施形態における、光射出部48から射出される照明光のスペクトルのイメージ図を図6の下段に示す。

【0052】

50

図に示すように、各レーザ光の波長や強度比は、半導体レーザ 22A、22B、22C から射出されたときと大きく変化することなく、略等しい波長、強度比の3本の狭帯域光であるレーザ光が照明光として射出される。すなわち、1次光と照明光とでは、波長、および3本のレーザ光の強度比は略等しい。

【0053】

なお、ここで示した光射出部48の構成は一例に過ぎず、様々な変形が可能である。例えば、コヒーレンシーを十分に低くし、スペックルが発生し難くするために、光射出部48全体を微小振動させたり、光射出部48の後段に従来技術による別のスペックル対策用光学系を設けたりするなど、様々な変形が可能である。同様に拡散板56を2枚以上設けたり、光射出部48の後段に別の拡散板56を設けることも可能である。さらに、配光や放射角を微調整するために、レンズ等の光学系を用いることも可能である。

10

【0054】

撮像素子

撮像素子は、挿入部14先端に設けられた撮像素子58であるイメージャと、本体部12の内部に設けられた画像処理回路62とにより構成されており、イメージャと撮像素子処理回路とは信号線60により接続されている(図1)。

【0055】

本実施形態の観察装置は、観察対象物90の内部空間92に挿入部14を挿入し、照明光の光量と比較して、自然光や室内光等の外光の光量が無視できる環境での利用を想定している。従って撮像素子58は、観察対象物90に向けて光射出部48から射出された照明光の反射散乱光による観察対象物90の内部空間92の表面の画像を取得する。撮像素子58は、赤色領域(R領域)、緑色領域(G領域)、青色領域(B領域)の3つの波長領域の光をそれぞれ分離して独立に画像取得できる機能を有している。すなわち、撮像素子58は、R領域の光を検出するR光検出要素、G領域の光を検出するG光検出要素、B領域の光を検出するB光検出要素の3種類の光検出要素を有している。R光検出要素、G光検出要素、B光検出要素はそれぞれ、図6の上段に示すような分光特性を有するR、G、Bフィルタが設けられた光検出素子である。図6は、一般的な撮像素子58用原色フィルタの例を示している。撮像素子58は、広く利用されている一般の撮像素子58のように、それぞれ多数のR光検出要素、G光検出要素、B光検出要素がマトリックス状に配列している。例えばベイア配列している(図示しない)。撮像素子58は、互いに波長特性の異なる3種類の光検出要素を有している。

20

30

【0056】

RGB各フィルタの特性は、図6の上段に示すように、高透過率の領域があり、そこから徐々に透過率が減少するような特性を有している。また、透過率ゼロ%の領域はほとんどなく、各フィルタは可視光の広い領域で数%から10%程度の透過率が残存している。言い換えると、各フィルタは、撮像素子58が検出することを目的とした波長領域以外の領域において、おおよそ5~20%程度の透過率を有している。すなわち、この程度の透過率はカラー画像撮影の目的に対して、無視できるレベルであると言える。そこでこれらの領域を除いた20%以上の透過率を有する領域を、各光検出要素の感度領域と定義する。この場合、本実施形態における各光検出要素の感度領域は、可視領域において、B光検出要素の感度領域は、400nm~525nmとなり、G光検出要素の感度領域は470nmから625nmとなり、R光検出要素の感度領域は570nmから700nmとなる。さらに波長的に隣接する光検出要素間では感度重なり領域が存在している。本実施形態における感度重なり領域1(BG)は470nm~525nmの領域であり、感度重なり領域2(GR)は570nm~625nmの領域である。この感度重なり領域に含まれる波長の光は、波長的に隣接する二つの光検出要素において、無視できない感度で検出されることになる。

40

【0057】

また、一般的な撮像素子58は、不要な赤外線を除去する目的で、赤外線カットフィルタが設けられている。本実施形態では、波長700nm以上の光を除去する赤外線カット

50

フィルタが設けられている。このため、図6に示す色感度領域3におけるRフィルタ特性は700nm付近では高い透過率を示しているが、撮像素子58が検出可能な領域の長波長側の限界は700nmとなっている。

【0058】

また、一般的な撮像素子58は、その撮像素子58を構成する材料により検出できる下限の波長が決められている。本実施形態で使用する撮像素子58は、シリコン半導体を用いたCCDやC-MOSイメージャが用いられている。シリコン半導体を用いた撮像素子58の短波長側の検出限界はおおよそ400nmである。このため、本実施形態における、撮像素子58が検出可能な領域の短波長側の限界は、400nmとなっている。

【0059】

図6は、本実施形態における、色感度領域と、感度重なり領域と、3つの半導体レーザ22A、22B、22Cから射出されるレーザ光の波長、狭帯域光領域、波長欠落領域の波長関係を示している。

【0060】

図6に示すように、本実施形態では半導体レーザ22Aから射出される波長450nmの青色光はBフィルタが透過する青色の色感度領域1に含まれ、半導体レーザ22Bから射出される波長540nmの緑色光はGフィルタが透過する緑色の色感度領域2に、半導体レーザ22Cから射出される波長640nmの赤色光はRフィルタが透過する色感度領域3に含まれている。また、半導体レーザ22Aからの光、半導体レーザ22Bからの光、半導体レーザ22Cからの光のいずれも、感度重なり領域には含まれていない。

【0061】

言い換えると、色感度領域1に対応する光検出要素は、半導体レーザ22Aからの波長450nmの青色光のみを検出し、それ以外の光を検出しない。同様に色感度領域2に対応する光検出要素は、半導体レーザ22Bからの波長540nmの緑色光のみを検出し、それ以外の光を検出せず、色感度領域3に対応する光検出要素は、半導体レーザ22Cからの波長640nmの赤色光のみを検出し、それ以外の光を検出しない。このように、単一の狭帯域光のみを検出する色感度領域を単一狭帯域光色感度領域と定義すると、本実施形態では、色感度領域1、2、3のいずれも単一狭帯域光色感度領域である。

【0062】

撮像素子58は、図示しない電気配線を通じて電力が供給され、また、撮像開始・終了の指示がなされる。撮像開始の指示に従って撮像素子58は撮像を開始し、観察対象物90の内部空間92の表面により反射散乱された照明光を受光する。撮像素子58の各光検出要素は、組み合わせられているフィルタの波長特性に基づいて、色感度領域ごとの撮像信号を検出し、信号線60を通じて画像処理回路62に撮像信号として伝送する。

【0063】

画像処理回路

画像処理回路62は、受信した撮像信号に適切な画像処理を施すことで画像情報に変換し、画像信号として表示部20に出力する機能を有している。

【0064】

光射出部48から射出される照明光は、図6下段に示すように、3本のレーザ光のみであり、撮像素子58が検出可能な領域のいたるところが波長欠落領域となっている。このため、画像処理回路62は波長欠落領域を補正し、波長欠落領域のない照明光(撮像素子58が検出可能な波長領域全体に波長帯域が広がっている広帯域光)を用いた場合に得られる画像に近づけるように画像処理を行う。

【0065】

画像処理回路62は、受信した撮像信号に基づいて、波長欠落領域の分光強度情報を推定する波長欠落領域分光強度情報推定部64と、推定した波長欠落領域分光強度情報から、波長欠落領域のない照明光に用いた場合の画像に近づける補正を行うための波長欠落領域補正処理部66とを有している。

【0066】

10

20

30

40

50

波長欠落領域分光強度情報推定部 64 は、3本のレーザ光により構成された照明光が観察対象物 90 により反射散乱された光の情報から、波長欠落領域における観察対象物 90 による反射散乱光を推定する。この流れを図 7 に基づいて順に説明する。

【0067】

本実施形態における照明光のスペクトルは、図 7 の上段に示されるような、3本の狭帯域光により構成されている。すなわち、各レーザ光のピーク波長とその強度から、狭帯域光発光強度情報 (λ 、 I) が決められている。狭帯域光発光強度情報 (波長 λ 、発光強度 I) は、その観察装置の使用目的等に応じて適宜設定することができる。本実施形態では、3本のレーザ光の波長は、前述の通りそれぞれ、 $\lambda_1 = 450 \text{ nm}$ 、 $\lambda_2 = 540 \text{ nm}$ 、 $\lambda_3 = 640 \text{ nm}$ となっている。また、それぞれの強度比は、全てのレーザを点灯させたときに、おおよそ白色の光に見えるように調整されている。すなわち、 $I_1 : I_2 : I_3 = 1 : 1 : 1$ となっている。

10

【0068】

このような、狭帯域光発光強度情報 (λ_1 、 I_1)、(λ_2 、 I_2)、(λ_3 、 I_3) を有する照明光を観察対象物 90 に照射したとき、例えば図 7 の中段に示すような、撮像信号である狭帯域光分光強度情報 (波長 λ 、受光強度 P) が得られる。実際の場面での狭帯域光分光強度情報 (λ 、 P) の導出方法については、後述する。

【0069】

波長欠落領域分光強度情報推定部 64 は、狭帯域光分光強度情報 (λ_1 、 P_1)、(λ_2 、 P_2)、(λ_3 、 P_3) に基づいて波長欠落領域分光強度情報を算出する。本実施形態では、第一波長欠落領域のみについての波長欠落領域分光強度情報である、第一波長欠落領域分光強度情報を推定している。すなわち、波長欠落領域分光強度情報推定部 64 は、横軸に波長 λ を、縦軸に受光強度 P を取った仮想的なグラフにおいて、図 7 下段に示すように、狭帯域光分光強度情報の 3 点の座標の間を、滑らかに連続的に接続するような仮想的な曲線を、内挿により算出する。曲線の算出は、本実施形態では関数近似によるスムージング技術を用いている。関数近似としては、例えば最小二乗法による近似や、高次関数による近似、べき乗関数による近似など、一般的に用いられる様々なスムージング技術を用いることができる。

20

【0070】

このようにして求めた、第一波長欠落領域分光強度情報の曲線は、波長欠落領域のない広帯域光であるブロードな照明光を観察対象物 90 に照射した際に反射散乱光を分光器で分光検出した場合の分光スペクトルを推定したものとイえる。ここで言う分光器とは、所定の波長領域に対し、単位波長あたりの光強度を分離検出可能な光検出器を言う。

30

【0071】

このように、狭帯域光分光強度情報 (λ 、 P) を、滑らかに連続するように接続して第一波長欠落領域分光強度情報を推定することで、ブロードな照明光を用いた場合に近い第一波長欠落領域分光強度情報を得ることができる。なぜなら、生体など自然界に存在する物体は、折れ線グラフのようなとがった部分が存在するような分光反射率や、直線的な分光反射率ではなく、滑らかに連続して、多少の凹凸を有するような分光反射率を有しているものがほとんどだからである。

40

【0072】

以上のように、波長欠落領域分光強度情報推定部 64 は、狭帯域分光強度情報 (λ 、 P) を滑らかに連続的に接続するように第一波長欠落領域分光強度情報を推定する。

【0073】

次に波長欠落領域補正処理部 66 の機能について説明する。

波長欠落領域補正処理部 66 は、波長欠落領域分光強度情報推定部 64 が推定した第一波長欠落領域分光強度情報から、波長欠落領域のない照明光を用いた場合に、撮像素子 58 の各色感度領域に対応する光検出要素が受光するであろう光量情報 $P_{\text{estimated}}$ を、色感度領域ごとに推定する。さらに波長欠落領域補正処理部 66 は、撮像素子 58 の色感度領域に対応する光検出要素が実際に受光した受光強度 P_{detect} と推定し

50

た光量 $P_{estimate}$ とを比較し、補正値を算出する。波長欠落領域補正処理部 66 は、算出された補正値に基づき、受信した撮像信号を処理し、補正受光量情報 P_P である、画像信号として表示部 20 に伝送する。なお、波長欠落領域のない照明光を照明して観察した場合に近い画像信号である補正受光量情報 P_P としては、推定した光量 $P_{estimate}$ をそのまま用いてもよいし、 P_{detect} と $P_{estimate}$ の比較から求められる係数と P_{detect} を対にして用いてもよい。前者の場合には、表示部 20 の処理負荷がほとんどないシンプルな構成が可能であり、後者の場合には、表示部 20 側で更なる微調整を行うことが可能である。さらに、後者の場合、後述するように撮像画面全体で補正を行う場合、ひとつの補正受光量情報 P_P として P_{detect} と $P_{estimate}$ の比を送り、個々の画素については P_{detect} を伝送することで、伝送する情報をシンプルにすることが可能となる。

10

【0074】

波長欠落領域補正処理部 66 の処理について、図 8 を参照しながら説明する。

図 8 は、波長欠落領域分光強度情報推定部 64 が推定した第一波長欠落領域分光強度情報に基づいて、上述の補正値を算出する流れを示すイメージ図である。

【0075】

図 8 の最上段は、波長欠落領域分光強度情報推定部 64 が推定した分光反射スペクトルとしての第一波長欠落領域分光強度情報を示すグラフであり、横軸は波長である。2 段目、3 段目は色感度領域 1 に対する補正値の求め方の一例を示すイメージ図である。

【0076】

図 8 の上段のような分光反射スペクトルが推定されたとき、波長欠落領域補正処理部 66 は、その分光反射スペクトルを、色感度領域 1 の波長範囲であって、有効な分光反射スペクトルが存在する領域について積分する。図 8 に示す例では、分光反射スペクトルを、半導体レーザ 22A の発光波長 $\lambda_1 = 450 \text{ nm}$ から、色感度領域 1 の上限波長である 525 nm まで積分し、図 8 の 2 段目斜線で示した略台形状の領域の面積を求める。次に、波長欠落補正処理部は、斜線で示した略台形状の領域の面積と同じ面積を有する、波長方向の幅が略台形状の領域と等しい長方形を算出し、その高さを補正後の光量 $P_{1, estimate}$ として求める。画像処理装置は、この値をそのまま画像信号として表示部 20 に送信してもよい。または、補正値として、例えば $P_{1, estimate} / P_{1, detect}$ の値を算出し、これを用いて他のタイミングで撮像した画像や、同時に撮像した画像のほかの色領域などに流用することも可能である。

20

30

【0077】

上記説明は、撮像素子 58 の色感度領域 1 についてのみ説明したが、色感度領域 2、3 についても同様の処理を行うことで、それぞれ $P_{2, estimate}$ 、 $P_{3, estimate}$ を求めることができる。

【0078】

また、上記説明では、第一波長欠落領域のみについて、分光反射スペクトルである第一波長欠落領域分光強度情報を推定したが、同様の方法に基づいて、第二波長欠落領域分光強度情報を推定することができる。この場合、第二波長欠落領域分光強度情報の推定のため、この領域の分光反射率を、外挿により求めることができる。すなわち、上述した、関数近似によるスムージングで外挿し、第二波長欠落領域全体について分光反射スペクトルを推定すればよい(図 8 の最下段)。

40

【0079】

以上の通り、本実施形態の構成によると、3 本のレーザ光により構成された波長欠落領域のある照明光を観察対象物 90 に照射した場合であっても、波長欠落領域のない照明光を照射した場合に光検出要素が検出するであろう光強度を推定することができる。すなわち、色感度領域 1 に対応する光検出要素が検出する反射散乱光の強度が $P_{1, detect}$ であったとき、この情報に加え、色感度領域 2 に対応する光検出要素が検出する反射散乱光の強度 $P_{2, detect}$ 、色感度領域 3 に対応する光検出要素が検出する反射散乱光の強度 $P_{3, detect}$ の情報を活用して観察対象物 90 の分光反射スペクトルを推

50

定することで、波長欠落領域のない照明光を照射したときに、色感度領域 1 に対応する光検出要素に入射するであろう光強度を推定することができる。

【0080】

波長欠落領域分光強度情報を推定する画像領域

次に、波長欠落領域分光強度情報を推定する画像領域である、狭帯域光強度導出領域について説明する。

上述した一連の波長欠落領域分光強度情報の推定は、撮像素子 58 の色感度領域 1 に対応する光検出要素と、色感度領域 2 に対応する光検出要素と、色感度領域 3 に対応する光検出要素とを含む最小ユニットであれば実施することが可能である。ここで、最小ユニットとは、撮像素子 58 の有する全ての色画素を含んでおり、そのユニットを敷き詰めることで撮像素子 58 の撮像画面全体を形成可能なユニットのことを言う。一般的なベイヤ配列を有する撮像素子 58 の場合、一つの B 画素と一つの R 画素と二つの G 画素を組み合わせた 2×2 の 4 画素が最小ユニットとなる。すなわち、 2×2 の 4 画素を狭帯域光強度導出領域として用いることが可能である。

【0081】

なお、一般的なベイヤ配列において、二つの G 画素のうち一方のみを用いることで、最小ユニットとして R, G, B それぞれ 1 画素ずつを組み合わせても本発明の効果を奏することが可能である。ただし、この場合は組み合わせに含まない G 画素の情報を用いないこととなるため、 2×2 の 4 画素を最小ユニットとしてもちいるほうが望ましいと言える。

【0082】

一方、撮像素子 58 の撮像画面全体を狭帯域光強度導出領域として用いることも可能である。すなわち、撮像素子 58 の撮像画面全体にわたり、色感度領域 1、2、3 に対応する光検出要素のそれぞれの受光強度 P の値について、平均等の手法により代表値を抽出し、その値を用いて波長欠落領域分光強度情報を推定することも可能である。

【0083】

最小ユニットに対して推定を行った場合、撮像画面全体についてきめ細かい補正を行うことができるため、色再現性の向上する割合が高く、波長欠落領域のない照明光を用いたときの画像により近づけることが可能となる。一方、撮像画面全体を単位として推定を行った場合、画像処理回路 62 の負荷が小さくて済むため、高速の処理や小型の画像処理回路 62 を実現することが可能となる。

【0084】

ここで、上述した二つの例は両極端な場合であり、中間的な領域を狭帯域光強度導出領域に設定することももちろん可能である。たとえば、撮像画面をいくつかの領域に分割し、それらの領域ごとに推定を行うことも可能である。このように処理を行うことで、色再現性と、処理速度や回路の小型化を両立することが可能である。

【0085】

また、推定を行わない領域を取り除くなどし、推定を行う領域を絞り込むことも有効である。例えば黒つぶれしてしまった領域や白とびしているような領域、すなわち撮像素子 58 のダイナミックレンジにおいて入射光量が弱すぎたり強すぎたりする領域、言い換えれば撮像素子 58 のダイナミックレンジの上限付近および下限付近の領域を除くことで、適正な補正を行うことが可能となる(図 11)。さらに、観察対象物 90 の狭帯域光分光強度情報(波長、受光強度 P)の予想される、色感度領域 1、2、3 の比が分かっている場合には、これに近い比率を有する画像領域のみを自動抽出し、その領域のみに対し、画像補正を行うことも可能である。また、観察中に作業者が、入力部 70 を経由して、画像補正を行いたい領域を指定することも可能である。これらのように、色再現性を向上したい領域を特定し、その部分のみ推定作業を用いた画像補正を行うことで、画像処理回路 62 の負荷を軽減し、高速な画像処理を行いつつ、目的とする観察対象物 90 の色再現性を向上することが可能となる。

【0086】

このように、波長欠落領域分光強度情報を推定する画像領域が変わる場合、上述した観

10

20

30

40

50

察装置の基本的な構成は変わらないが、画像処理回路 6 2 が行う狭帯域光分光強度情報（波長、受光強度 P）の抽出方法が異なってくる。次に、この狭帯域光分光強度情報について、波長情報に対する受光強度 P の算出について説明する。

【0087】

狭帯域光分光強度情報、波長に対する受光強度 P の算出

基本的に、受光強度 P は、推定する画像領域での平均値を取ることが望ましい。すなわち、ベイア配列を有する撮像素子 5 8 に対して、図 9 に示すように、最小ユニットである 2×2 の 4 画素について推定を行う場合、色感度領域 1（B 画素）と色感度領域 3（R 画素）については検出値がそのまま受光強度 $P_{1, detect}$ 、 $P_{3, detect}$ となる。一方、色感度領域 2（G 画像）については、2 画素が存在するため、それぞれの平均を取ることによって $P_{2, detect}$ を求めることができる。すなわち、二つの G 画素が検出する受光強度をそれぞれ P_{2a} 、 P_{2b} としたとき、 $P_{2, detect} = (P_{2a, detect} + P_{2b, detect}) / 2$ として求めることができる。

10

【0088】

同様に、図 10 に示すように撮像画面全体について、まとめて推定、画像補正を行う場合は、撮像画面全体中の色感度領域 1、色感度領域 2、色感度領域 3 の各画素が受光する受光強度を色感度領域ごとに平均したものを算出し、受光強度 $P_{1, detect}$ 、 $P_{2, detect}$ 、 $P_{3, detect}$ として求めればよい。

【0089】

上述した撮像画面全体をいくつかの中間的な領域（例えば図 10 に示される 10×10 画素の複数の領域）に分割し、その中間的な領域について、それぞれ平均値を求める場合についても、基本的に同様の方法で受光強度を求めることができる。

20

【0090】

その他、代表値の求め方として平均値を求める以外の方法を用いることも可能である。一例として、所定領域内で、もっとも発生頻度の高い値を代表値として用いることも出来る。すなわち、横軸に各画素の受光強度を、縦軸を画素数としたヒストグラムにおいて、最も画素数の多い受光強度を代表値として用いることができる。この方法によると、撮像画面全体の所定領域において、最も多い画素言い換えると最も広い領域の受光強度を代表値として用いることができるため、最も広い領域の色再現性を向上することができる。

【0091】

また、別の一例として、特定の色感度領域の受光強度がもっとも大きい画素の値を代表値とすることができる。例えば内視鏡装置の場合、観察対象物 90 である生体内面はほとんど赤色であるため、赤色領域の色再現性が重要となる。このため、色感度領域 3（R 画素）の受光強度が最も大きい画素の値を代表値とすることで、赤色の観察対象物 90 の色再現性をより向上することが可能となる（図 11）。なお図 11 では便宜上、画素をイメージする升目状のラインと、入射光量や色領域の境界を示す線が一致していないが、実際の場面では、このような境界を設定するラインも、前述した最小ユニットと一致させることは言うまでもない。

30

【0092】

また、上記を組み合わせて代表値を求めることができる。例えば、特定の色感度領域、例えば赤色領域の受光強度が最も高い画素を抽出し、それらの画素の平均値を求める方法で代表値を求めることができる。このような方法によると、赤色っぽく見える観察対象物 90 の、真っ赤以外の赤色っぽい領域も含めた色再現性を向上することが可能となる。

40

【0093】

〔動作〕

次に本実施形態の動作について説明する。

図 1 に示す通り、半導体レーザ 22 A、22 B、22 C は駆動回路 26 A、26 B、26 C を挟んでひとつの光源制御回路 30 に接続されている。光源制御回路 30 は図示しない外部からの入力や画像処理回路 6 2 の情報などに応じて駆動回路 26 A、26 B、26 C に接続された制御信号線 28 を経由して、制御信号を駆動回路 26 A、26 B、26 C

50

に出力する。駆動回路 26 A、26 B、26 C は、それぞれ光源制御回路 30 からの制御信号に応じた電力を半導体レーザ 22 A、22 B、22 C に供給する。半導体レーザ 22 A、22 B、22 C は得られた電力により光源制御回路 30 の求めに応じた光量、タイミングでそれぞれ固有の波長のレーザ光を発する。レーザ光は、半導体レーザ 22 A、22 B、22 C に接続された光ファイバ 32 A、32 B、32 C を経由して光コンバイナ 34 に入射する。光コンバイナ 34 に入射した異なる 3 つの波長のレーザ光はここで光学的に結合し、一本の光ファイバ 46 に入射する。一本の光ファイバ 46 に入射した 3 つの波長のレーザ光は光ファイバ 46 内を伝搬し、光ファイバ端に設けられた光射出部 48 に入射する。光射出部 48 は一例として図 5 に示すように構成されており、光射出部 48 に入射したレーザ光は、光射出部の項に記載したような動作を通じて拡散光である照明光となり、観察対象物 90 の内部空間 92 の表面に向けて照射される

照明光に求められる特性に応じて光源制御回路 30 は、各半導体レーザ 22 A、22 B、22 C の発光の光量比やタイミングを設定することができる。例えば、赤、緑、青の順に光らせることも出来る。また、特定の組合せの光を特定のタイミングで発光させることもできる。

【0094】

光射出部 48 から射出された照明光は、波長的には 3 つの狭帯域光である、青色レーザ光、緑色レーザ光、赤色レーザ光であり、配光分布としては、十分に拡散され、コヒーレンシーが十分に低くなった拡散光である。このような照明光は観察対象物 90 に照射され、観察対象物 90 の分光反射率に応じた反射散乱光となる。この反射散乱光のうち、挿入部 14 の先端部 18 に設けられた撮像素子 58 に向かって進行する成分は、この撮像素子 58 に入射し、撮像信号として検出される。撮像素子 58 は、図 6 に示すような 3 つの波長感度帯である R 光感度領域、G 光感度領域、B 光感度領域を有している。撮像素子 58 の光感度領域と 3 つの狭帯域光の波長の関係は前述の通りである。このため、R 光感度領域に対応する光検出要素には、半導体レーザ 22 C からの赤色レーザ光が、観察対象物 90 の赤色光に対する分光反射率に応じて反射されて入射する。同様に、G 光感度領域に対応する光検出要素には、半導体レーザ 22 B からの緑色レーザ光が入射し、B 感度領域に対応する光検出要素には、半導体レーザ 22 A からの青色レーザ光が入射する。すなわち、R 光検出要素、G 光検出要素、B 光検出要素にはそれぞれ 1 つの狭帯域光が入射する構成となっている。本実施形態では、半導体レーザ 22 A、22 B、22 C から射出され、光射出部 48 から射出された照明光の 3 つの狭帯域光の強度比は、図 7 に示されるように略等しい強度比となっている。従って、観察対象物 90 の分光反射率がフラットな場合、各光検出要素に入射する光量は略等しい強度となるように構成されている。また、分光反射率がフラットではない場合、各光検出要素に入射する光量は、それぞれに入射する狭帯域光 $\lambda_1 \sim \lambda_3$ の波長における分光反射率に従った強度比で各光検出要素に受光される。

【0095】

撮像素子 58 に入射した照明光の反射散乱光は、撮像素子 58 および図示しない電気回路により撮像信号に変換され、信号線 60 を経由して画像処理回路 62 に伝送される。撮像信号を受信した画像処理回路 62 では、波長欠落領域の分光強度を推定する単位ユニットごとに、波長欠落領域分光強度情報推定部 64 が波長欠落領域の分光強度を推定する(図 7)。本実施形態では、ベイア配列の撮像素子 58 を想定しており、分光強度を推定する単位ユニットは、 2×2 画素の最小ユニットとしている。

【0096】

初めに、画像処理回路 62 は、上記 2×2 画素の最小ユニットごとに狭帯域光分光強度情報 (I、P) を算出する。本実施形態では、光射出部 48 から射出される 3 つのレーザ光の強度は互いに等しく構成されている。すなわち、図 7 の最上段に示されている照明光のスペクトルにおいて、各レーザ光のピーク波長 λ_1 、 λ_2 、 λ_3 でのピーク強度は $I_1 = I_2 = I_3 = I$ となっている。

【0097】

光射出部 48 から射出された照明光は観察対象物 90 の、波長ごとの反射率である分光

反射率に従って反射散乱されて、その一部が撮像素子58に入射する。分光強度を推定する撮像素子58の最小ユニットに入射した光の光量が、色感度領域1（B画素）では P_1 、色感度領域3（R画素）では P_3 だったとすると、狭帯域光強度座標は、それぞれ (λ_1, P_1) 、 (λ_3, P_3) となる。また、二つの画素を有する色感度領域2（G画素）においては、一つ目のG画素に入射した光の強度を P_{2a} 、二つ目のG画素に入射した光の強度を P_{2b} としたとき、 $P_2 = (P_{2a} + P_{2b}) / 2$ として求めた P_2 を用いて (λ_2, P_2) となる。

【0098】

ここで、狭帯域光分光強度情報 (λ, P) における P_1 、 P_2 、 P_3 は、一定強度の光が入射したときに受光素子の各色感度領域に入射する光量の比である必要がある。このため、3つのレーザ光の強度をそれぞれ I_1 、 I_2 、 I_3 とすると、受光素子に入射した光量がそれぞれ P_1 、 P_2 、 P_3 のとき、狭帯域光分光強度情報 (λ, P) の P は、 P_1 / I_1 、 P_2 / I_2 、 P_3 / I_3 とすべきである。しかしながら本実施形態では $I_1 = I_2 = I_3 = I$ であるため、このような計算は不要である。

10

【0099】

以上の通り、画像処理回路62は、狭帯域光分光強度情報 (λ, P) を推定する狭帯域光分光強度情報生成部により狭帯域光分光強度情報を、 (λ_1, P_1) 、 (λ_2, P_2) 、 (λ_3, P_3) として導出する。

【0100】

次に、画像処理回路は波長欠落領域分光強度情報推定部64により、波長欠落領域の分光強度情報を推定する。波長欠落領域分光強度情報推定部64は、狭帯域光分光強度情報である3つの座標の情報から、関数近似技術を用いて第一波長欠落領域の分光強度情報を推定する。関数近似技術については、様々な技術分野で用いられている、座標間を保管する技術であればどのような技術を用いてもよい。なお、本実施の形態では、図7に示すように、波長欠落領域のうち、二つの隣接するレーザ光の間の領域である第一波長欠落領域のみについて推定を行っている。

20

【0101】

波長欠落領域分光強度情報推定部64が推定した第一波長欠落領域分光強度情報に基づいて、波長欠落領域補正処理部66は、画像補正を行い、波長欠落領域のない照明光（撮像素子58が検出可能な波長領域全体に波長帯域が広がっている広帯域光）を用いた場合の画像に近づけるための画像補正処理を行う。

30

【0102】

波長欠落領域補正処理部66は、撮像素子58の各色感度領域が検出できる波長範囲である色感度領域において、第一波長欠落領域分光強度情報に基づいて、波長欠落領域のない照明光を用いて同じ観察対象物90を観察したときに、撮像素子58の各色感度領域が受光するであろう光強度情報 $P_{1, estimate}$ を推定する。すなわち、波長欠落領域のある照明光により実際に撮像素子58の色感度領域1に入射した光強度情報である $P_{1, detect}$ を、光強度情報 $P_{1, estimate}$ に補正するための補正值を求める。

40

【0103】

波長欠落領域補正処理部66は、推定された第一波長欠落領域分光強度情報を、色感度領域1内であって、半導体レーザ22Aの波長と半導体レーザ22Bの波長との間の領域について積分を行い、その面積を求める（図8）。次に求めた面積と同じ面積となるような仮想的な長方形の高さを求める。この高さが $P_{1, estimate}$ である。

【0104】

色感度領域2、3についても同様の処理を行うことで、 $P_{2, estimate}$ 、 $P_{3, estimate}$ を求めることができる。

【0105】

なお、本実施形態では、観察装置が観察する画像ごとに、最小単位であるベイヤ配列ごとにこの推定作業を行うことを想定しているが、それに限らない。

50

【0106】

例えば、あるタイミングで撮像された画像に対し、 $P_{1, estimate}$ を求めた後、補正係数 $P_{1, estimate} / P_{1, detect}$ を求め、次に撮像された画像については、この補正係数を補正前の光強度情報に乘じるように処理することも好適である。すなわち、次に撮像された画像における色感度領域1の光強度情報を $P_{1', detect}$ としたとき、 $P_{1', estimate} = P_{1', detect} \times P_{1, estimate} / P_{1, detect}$ として求めることができる。このようにすることで画像処理回路62の負荷を軽減でき、高速な画像表示が可能となる。

【0107】

なお、本実施形態では、推定した波長欠落領域分光強度情報を積分して補正後光強度情報 $P_{, estimate}$ を求める例を示したが、これに限らない。例えば、各色感度領域内で有効な波長欠落領域分光強度情報の波長範囲において、光強度の平均値を求めてもよい。この方法によれば、積分を用いる方法より簡便に $P_{, estimate}$ を求めることができる。更に同じ波長範囲の最小値と最大値の平均を求めてもよい。この方法によれば、さらに簡便に $P_{, estimate}$ を求めることができる。

10

【0108】

画像処理回路62は、このようにして求めた $P_{, estimate}$ に基づいて補正された画像信号を、補正受光量情報 PP として表示部20に伝送する。

【0109】

なお、本実施形態では、狭帯域光間の波長欠落領域である第一波長欠落領域についてのみ波長欠落領域分光強度情報を推定して補正する例を示したが、これに限らない。第2波長欠落領域に対し、外挿により波長欠落領域分光強度情報を推定し、前述の方法にて補正後の光強度情報 $P_{, estimate}$ を求めることができる。このようにすることで、より広い波長範囲で波長欠落領域分光強度情報を推定し、 $P_{, estimate}$ に活用することが可能となる。これは、狭帯域光の数が2本の場合や、3本以上の場合でも緑色から赤色領域など一部の波長領域に集中している場合などに有効である。

20

【0110】

さらに撮像素子58の感度特性を考慮した補正を行ってもよい。撮像素子58は、撮像素子58の材料系の違いにより固有の特性を有しており、シリコン半導体による撮像素子58の場合、400nm以下の波長域の検出感度はきわめて低くなる。一方、長波長側の検出感度は高く、近赤外線領域においても良好な検出感度を有している。さらに、色感度領域の幅を決定するため、撮像素子58は、図6の上段に示すような波長特性を有するフィルタを有している。さらに図示しない赤外線カットフィルタや、その他、用途ごとに様々なフィルタを組み合わせて用いられている。このようなフィルタの特性は、図7における照明光のスペクトル 狭帯域光分光強度情報(、 P)の受光強度 P の強度に影響する。撮像素子58の特性やフィルタの波長特性は事前に分かっているため、これを補正するように、実際に検出された光強度 $P_{, detect}$ から、撮像素子58に入射する $P_{, detect, real}$ を推定してもよい。このような処理を行うことにより、より正確な波長欠落領域の分光強度情報を推定でき、色再現性をより向上することができる。

30

【0111】

〔作用・効果〕

以上の通り、本実施形態のように構成することで、波長欠落領域のある照明光を用いた観察装置に対し、その色再現性を向上し、波長欠落領域のない照明光を用いた観察装置により得られる画像に近づけることが可能となる。特に、狭帯域光として、波長幅の特に狭いレーザ光を照明光に用いるような、撮像素子58が検出可能な領域のほとんどが波長欠落領域である観察装置であっても、波長欠落領域のない照明光を用いた画像に近い画像を、画像処理回路62に機能を追加することで実現することが可能となる。

40

【0112】

さらに、上述したように、撮像画面全体に対して一括した波長欠落領域補正処理を行うことで、高いフレームレートに対応した速度で、色再現性の高い画像を得ることが可能と

50

なる。

【0113】

また、撮像素子58の最小ユニットごとに波長欠落領域補正処理を行うことで、撮像画面全体に渡り色再現性の高い画像を得ることが可能となる。

【0114】

その他、上述した説明を逸脱しない範囲で様々な組合せや変形が可能であり、目的に応じた速度、回路規模、サイズの、色再現性の高い画像を得ることが可能な観察装置を提供することができる。

【0115】

[第1実施形態の変形例]

次に第1実施形態の変形例について、図12を参照しながら説明する。

【0116】

本変形例では、画像処理回路62の有する波長欠落領域分光強度情報推定部64の機能が第1実施形態とは異なっている。第1実施形態では、図7に示したように、3本の狭帯域光に対応する狭帯域光分光強度情報(波長、受光強度P)について、関数近似を用いたスムージング技術により、3点の座標の間を滑らかに連続的に接続するような仮想的な曲線を内挿により算出する方法を示した。本変形例では波長欠落領域分光強度情報推定部64が、図12に示すような不連続な直線となるように、波長欠落領域分光強度情報を推定する点が第1実施形態とは異なっている。

【0117】

図12の中段に示した変形例は、撮像素子58の各色感度領域に対応する光検出要素が受光した受光強度が、波長領域全体に渡り一定の光強度であったとして推定する例(推定4)を示している。例えば、波長 λ_1 の点において受光強度Pであったとき、色感度領域1の受光する全波長領域に対し一定の光強度の光が照射されたものとみなして波長欠落領域の分光強度を推定する。このように構成することで、極めてシンプルな構成で、波長欠落領域の分光強度情報を推定することが可能となる。さらに、このように推定することで、一点の情報のみでは不可能であった、撮像素子58のフィルタ特性や撮像素子58の受光感度特性を補正し、波長欠落領域のない照明光が観察対象物90で反射散乱され撮像素子58に入射する入射光のスペクトル情報を推定することが可能となる。

【0118】

さらに、第1実施形態に示した撮像素子58の色感度領域は、隣接する色感度領域と重なりを有している。このため、「推定1」では、この感度重なり領域1、2においては、それを挟む両側の色感度領域ごとに異なる分光強度情報として推定されることになる。これに対し、図12の下段に示した「推定2」の例では、波長欠落領域における、隣接する色感度領域の感度重なり領域については、二つの色感度領域に対応する光検出要素が受光した受光強度Pの平均値により波長欠落領域分光強度情報を推定する例を示している。これにより、「推定1」に示す例と比べ、推定を演算する演算速度を大きく損なうことなく、色再現性を向上し、波長欠落領域のない照明光を用いた場合に得られる画像に近づけることが可能となる。

【0119】

なお、本変形例の構成は、画像処理回路62内の波長欠落領域分光強度情報推定部64の推定方法のみが変わっているだけであるため、それ以外の構成については、第1実施形態で示した様々な構成を用いることが可能である。また、このような変形例は、画像処理回路62のソフトウェアのみを変更することで実現することが可能であるため、色再現性より演算速度を優先したいタイミングにおいてのみ利用し、それ以外のタイミングにおいては、第1実施形態で示したような、滑らかに連続するような、関数近似によるスムージング技術を用いることも好適である。

【0120】

[第2実施形態]

次に本発明の第2実施形態について図13から図15を参照しながら説明する。

第2実施形態の説明においては、第1実施形態と共通の部分についてはその説明を省略し、異なる部分についてのみ説明する。

【0121】

第1実施形態では、色感度領域と狭帯域光の数が互いに等しく3つずつであって、3つの色感度領域1、2、3に対し、それぞれひとつの狭帯域光1、2、3が配置された例を示した。本実施形態では、3つの色感度領域に対し、4つの狭帯域光1、2、3-1、3-2を配置した点が第1実施形態とは異なっている。

【0122】

〔構成〕

本実施形態における観察装置を図13に示す。

本実施形態では、前述した通り、4つの狭帯域光を射出する光源部を用いている。このため、本体部12は、4台の半導体レーザ22A、22B、22D、22Eと、それに組み合わせられる駆動回路26A、26B、26D、26Eと、半導体レーザ22A、22B、22D、22Eから射出されるレーザ光をそれぞれ導光する4本の光ファイバ32A、32B、32D、32Eを有している。光源制御回路30は、駆動回路26A、26B、26D、26Eと制御信号線28により電氣的に接続されており、駆動回路26A、26B、26D、26Eを経由して半導体レーザ22A、22B、22D、22Eを自在に制御可能となっている。半導体レーザ22A、22B、22D、22Eは、それぞれ、光ファイバ32A、32B、32D、32Eによって光コンバイナ34に結合されている。光コンバイナ34は、4本の光ファイバ32A、32B、32D、32Eによって導光されるレーザ光を合波して、一本の光ファイバ46に出力する。

【0123】

本実施形態で用いている4台のレーザは、以下の通りである。

半導体レーザ22Aは、波長約450nmの狭帯域光1である青色レーザ光を射出するマルチモード半導体レーザである。

半導体レーザ22Bは、波長約540nmの狭帯域光2である緑色レーザ光を射出するマルチモード半導体レーザである。

半導体レーザ22Dは、波長約630nmの狭帯域光3-1である赤色レーザ光を射出するマルチモード半導体レーザである。

半導体レーザ22Eは、波長約680nmの狭帯域光3-2であるの赤色レーザ光を射出するマルチモード半導体レーザである。

【0124】

すなわち、半導体レーザ22A、22Bは、第1実施形態と同じマルチモード半導体レーザである。半導体レーザ22Dは、第1実施形態の半導体レーザ22Cよりも10nmだけ短波長のピーク波長を有する光を射出する、ピーク波長630nmのマルチモード半導体レーザである。半導体レーザ22Eは、ピーク波長680nmのマルチモード半導体レーザである。半導体レーザ22D、22Eがそれぞれ射出する狭帯域光3-1、3-2は、図14に示すように、いずれも色感度領域3のみに含まれている。

【0125】

〔動作〕

基本的な動作については、第1実施形態と同様であり、画像処理回路62の動作が若干異なっている。

光源制御回路30の指示に従って、半導体レーザ22A、22B、22D、22Eは、それぞれ、予め定められた波長、光量のレーザ光を射出する。各半導体レーザ22A、22B、22D、22Eから射出されたレーザ光である狭帯域光は、光コンバイナ34により合波され、一本の光ファイバ46によって導光され、光射出部48から観察対象物90の内部空間92の表面に向けて照明光として照射される。

【0126】

半導体レーザ22A、22B、22D、22Eは、光源制御回路30により自在に発光可能であるが、本実施形態における基本的な発光モードとしては、全てを連続点灯させる

10

20

30

40

50

ように制御する。すなわち、半導体レーザ 22A、22B、22D、22E は、図 15 の上段に示すように、略等しい光強度となるように調整されて連続的に発光される。すなわち、 $I_1 = I_2 = I_4 = I_5 = I$ となるように構成されている。

【0127】

観察対象物 90 により反射散乱された照明光の一部は撮像素子 58 に入射し、撮像信号として画像処理回路 62 に伝送される。

【0128】

本実施形態においても、ベイア配列を有する撮像素子 58 を想定しており、分光強度を推定する単位ユニットは 2×2 画素の最小ユニットとしている。このとき、撮像素子 58 の有する色感度領域 1 の画素と色感度領域 2 の画素に入射する光は、それぞれ、青色レーザ光と緑色レーザ光であり、第 1 実施形態と同様である。すなわち、色感度領域 1 と色感度領域 2 は、単一狭帯域光色感度領域である。一方、色感度領域 3 の画素に入射する光は、赤色レーザ光 (630 nm) と赤色レーザ光 (680 nm) の二本の狭帯域光である。撮像素子 58 の色感度領域 3 に対応する光検出要素は、この二つの波長の赤色レーザ光を区別することなく受光し、対応する撮像信号を画像処理回路 62 に出力する。すなわち、画像処理回路 62 は、半導体レーザ 22D から射出された赤色レーザ光 (630 nm) と赤色レーザ光 (680 nm) を、一つの色感度領域である色感度領域 3 の画素からの情報として受信する。言い換えると、色感度領域 3 は、狭帯域光 3-1 と狭帯域光 3-2 の二つの狭帯域光を受光する複数狭帯域光色感度領域である。

【0129】

画像処理回路 62 は、第 1 実施形態と同様に、3 つの色感度領域 1、2、3 の情報に基づいて、狭帯域光分光強度情報 (λ 、 P) を導出する。すなわち、ある単位ユニットにおいて、色感度領域 1、2、3 に対応する光検出要素から出力される光強度を、それぞれ、 P_1 、 P_{2a} 、 P_{2b} 、 P_3 とする。このとき、色感度領域 1 (B 画素) の狭帯域光分光強度情報は (λ_1 、 P_1)、色感度領域 2 (G 画素) の狭帯域光分光強度情報は (λ_2 、 $P_2 = (P_{2a} + P_{2b}) / 2$) であり、第 1 実施形態と変わらない。一方、色感度領域 3 (R 画素) の狭帯域光分光強度情報は、($(\lambda_4 + \lambda_5) / 2$ 、 P_3) となる。

【0130】

すなわち、色感度領域 3 の画素に入射する光は、波長 λ_4 の狭帯域光 3-1 と波長 λ_5 の狭帯域光 3-2 との混合光であるが、色感度領域 3 に対応する光検出要素は、 λ_4 の光と λ_5 の光を識別して検出することが出来ないため、仮想的に $(\lambda_4 + \lambda_5) / 2$ の一本の狭帯域光が入射したものとみなして狭帯域光分光強度情報を ($(\lambda_4 + \lambda_5) / 2$ 、 P_3) と導出することになる。なお、ここでは λ_4 の狭帯域光の強度 I_4 と λ_5 の狭帯域光の強度 I_5 とが互いに等しいため、単純な算術平均として仮想的な波長を $(\lambda_4 + \lambda_5) / 2$ として求めているが、 $I_4 \neq I_5$ の場合、それらを考慮して、狭帯域光分光強度情報を $(I_4 \times \lambda_4 + I_5 \times \lambda_5) / (I_4 + I_5)$ 、 P_3) とする必要がある。複数狭帯域光色感度領域 3 は、この様に狭帯域光分光強度情報を $(I_4 \times \lambda_4 + I_5 \times \lambda_5) / (I_4 + I_5)$ 、 P_3) とする必要がある。

【0131】

このようにして狭帯域光分光強度情報を求めることで、ひとつの色感度領域に複数の狭帯域光が含まれる場合であっても、狭帯域光分光強度情報を求めることが可能となる。

【0132】

本実施形態において、狭帯域光分光強度情報導出後の動作については、第 1 実施形態と同様である。

【0133】

なお、本実施形態では、二つの狭帯域光は、一つの色感度領域に含まれるが、二つの色感度領域が重なる色感度重なり領域には含まれない例を示したが、これに限らない。複数の色感度領域に含まれる、色感度領域が重なる領域に狭帯域光が存在する場合も同様に、仮想的な波長を算出することが可能である。このとき、色感度領域が重なる領域に存在する狭帯域光は、二つの色感度領域それぞれの仮想的な波長の算出に用いる必要がある。

【 0 1 3 4 】

二つの色感度領域の感度重なり領域では、図 1 4 等に示されるように、フィルタの透過特性が十分に高くない場合がある。このような場合はフィルタの透過特性も含めて仮想的な波長を算出することが望ましい。

【 0 1 3 5 】

〔作用・効果〕

上記のように構成することで、ひとつの色感度領域に複数の狭帯域光が含まれるような構成であっても、各狭帯域光を連続等同時に発光させた状態のまま狭帯域光分光強度情報を求めることが可能となり、第 1 実施形態で示した様々な波長欠落領域分光強度情報を推定することが可能となる。その結果、波長欠落領域のある照明光を用いた場合であっても、波長欠落領域のない照明光を用いた場合に得られる画像に近づけるような画像処理を行うことが可能となる。

10

【 0 1 3 6 】

また、本実施形態の構成によると、特段の追加部材、追加加工を必要とせず、狭帯域強度情報導出のプログラム等の変更のみで本機能を実現できるため、例えば、本実施形態の半導体レーザ 2 2 A、2 2 B、2 2 Dのみを点灯させる場合には第 1 実施形態の方法をとり、半導体レーザ 2 2 Eも含めた全ての半導体レーザ 2 2 A、2 2 B、2 2 D、2 2 Eを点灯させる場合には第二実施形態の方法を取るなど、観察対象物 9 0 や観察目的等に応じて適宜切り替えて利用することも容易である。

20

【 0 1 3 7 】

〔第 3 実施形態〕

次に第 3 実施形態について、図 1 6 と図 1 7 を参照しながら説明する。

説明に当たっては、第 1 実施形態、第 2 実施形態と共通の構成についてはその説明を省略し、異なる部分についてのみ説明を行う。

【 0 1 3 8 】

〔構成・動作〕

本実施形態では、図 1 3 に示すように光源制御回路 3 0 は、駆動回路 2 6 A、2 6 B、2 6 D、2 6 E と電氣的に接続されており、半導体レーザ 2 2 A、2 2 B、2 2 D、2 2 E を所望の明るさ、所望のタイミングで点灯 / 消灯させることが可能なように構成されている。また、本実施形態の撮像素子 5 8 と半導体レーザ 2 2 A、2 2 B、2 2 D、2 2 E の波長関係は図 1 4 に示す第 2 実施形態と同様である。すなわち 4 台のマルチモード半導体レーザ 2 2 A、2 2 B、2 2 D、2 2 E は、第 2 実施形態と同じ発光波長のものであり、半導体レーザ 2 2 A の青色レーザ光は色感度領域 1 のみに含まれ、半導体レーザ 2 2 B の緑色レーザ光は色感度領域 2 のみに含まれ、半導体レーザ 2 2 D の赤色レーザ光 (6 3 0 n m) と半導体レーザ 2 2 E の赤色レーザ光 (6 8 0 n m) は色感度領域 3 のみに含まれるように構成されている。色感度領域 1 と色感度領域 2 は単一狭帯域光色感度領域であり、色感度領域 3 は複数狭帯域光色感度領域である。

30

【 0 1 3 9 】

本実施形態では、半導体レーザ 2 2 D を発光させるタイミングと半導体レーザ 2 2 E を発光させるタイミングとが異なっている点が第 2 実施形態とは異なっている。すなわち、第 1 実施形態、第 2 実施形態では、それぞれ、3 台、4 台の半導体レーザを同時に連続的に発光させる例を示したが、第 3 実施形態では、撮像素子 5 8 が一枚の画像の撮像動作を行うフレームタイミングごとに各半導体レーザ 2 2 A、2 2 B、2 2 D、2 2 E の点灯 / 消灯を切り替える点が異なっている。本実施形態における、各半導体レーザ 2 2 A、2 2 B、2 2 D、2 2 E とフレームタイミングの関係を図 1 6 に示す。この例では、撮像素子 5 8 のフレームタイミングに従って、半導体レーザ 2 2 A、2 2 D を点灯させ、かつ、半導体レーザ 2 2 B、2 2 E を消灯させるフレーム (図では偶数番号のフレーム) と、半導体レーザ 2 2 B、2 2 E を点灯させ、かつ、半導体レーザ 2 2 A、2 2 D を消灯させるフレーム (図では奇数番号のフレーム) とを交互に繰り返すように、光源制御回路 3 0 が半導体レーザ 2 2 A、2 2 B、2 2 D、2 2 E を駆動する。このとき、撮像素子 5 8 のフレ

40

50

ームタイミングの情報は、図示しないフレームタイミング情報伝達手段によって光源制御回路30に伝えられており、光源制御回路30はこのフレームタイミング情報に従って適切なタイミングで各半導体レーザー22A、22B、22D、22Eの点灯/消灯を切り替える。

【0140】

このような発光制御を行ったとき、撮像素子58から伝送される画像信号は、偶数フレームにおいては、色感度領域1の青色レーザーによる撮像信号と色感度領域3の赤色レーザー(630nm)の撮像信号が出力され、色感度領域2は対応する波長領域の照明光がないため真っ黒な撮像信号が出力される。同様に奇数フレームにおいては、色感度領域2の緑色レーザーによる撮像信号と、色感度領域3の赤色レーザー(680nm)の撮像信号が出力され、色感度領域1は対応する波長領域の照明光がないため真っ黒な撮像信号が出力される。

10

【0141】

この情報に基づいて、狭帯域光分光強度情報(、P)を生成すると、色感度領域3の $\lambda_4 = 630\text{nm}$ の照明光の反射散乱光を撮像素子58が受光したときの光強度情報 P_4 と、 $\lambda_5 = 680\text{nm}$ の照明光の反射散乱光を撮像素子58が受光したときの光強度情報 P_5 とを分離して検出することが可能となる。言い換えると、複数狭帯域光色感度領域に含まれる狭帯域光を異なるタイミングで点灯させ、それぞれの画像を独立に撮像することで、各狭帯域光を分離して検出し、独立して狭帯域光分光強度情報(、P)を得ることが出来る。

20

【0142】

以上より、本実施形態における狭帯域光分光強度情報(、P)は、色感度領域の数である3を上回る、半導体レーザーの数と同じ4とすることが可能となる(図17)

狭帯域光分光強度情報導出後の画像処理回路62の動作については、第1実施形態で説明した手法を用いることが可能である。これにより、波長欠落領域の光強度情報を推定することが可能となる。

【0143】

[作用・効果]

本実施形態のように、光源の発光タイミングを適切に設定することで撮像素子58の有する色感度領域の数を上回る数の狭帯域光分光強度情報(、P)を導出することが可能となる。これにより、特殊な撮像素子58を用いることなく、波長欠落領域の光強度情報の推定精度を向上することができる。

30

【0144】

なお、本実施形態では、撮像素子58のフレームタイミングに対応し、半導体レーザー22A、22B、22D、22Eを図16に示すタイミングで発光させる例を示したが、これに限らない。本実施形態の効果を奏するためには、同じ色感度領域に含まれる半導体レーザー22A、22B、22D、22Eを異なるフレームタイミングで点灯/消灯を切り替えればよい。すなわち、二つの半導体レーザー22A、22Bは連続点灯とし、偶数フレームと奇数フレームの出力の和を光強度情報 P_1 、 P_2 としてもよい。このとき照明光の発光強度 I_1 、 I_2 を半分にしてもよい。これにより、光源制御回路30の負荷を軽減することが可能となる。

40

【0145】

[さまざまな変形例]

[波長欠落領域の光強度情報の推定の変形例]

なお、本発明における実施形態では波長欠落領域の光強度情報を推定する方法として、関数近似によるスムージング技術を用い、滑らかに連続する曲線として推定する技術についてのみ説明したが、これに限らない。

【0146】

例えば、図18に示すような、いくつかの方法により波長欠落領域の光強度情報を推定することが可能である。図18は、第3実施形態で説明した4本の狭帯域光についての狭

50

帯域光分光強度情報 (λ 、 P) が得られているときの推定の例を示している。

【 0 1 4 7 】

図 1 8 の 2 段目には「推定 3」として、第 1 実施形態ないし第 3 実施形態で用いた推定方法であるスムージングの例が示されている。これに対し、図 1 8 の 3 段目に示した「推定 4」では、直線近似により波長欠落領域を推定する例を示している。直線近似の手法については、一般に用いられている様々な手法を用いることが可能である。例えば、得られた狭帯域光分光強度情報 (λ 、 P) の光強度 P と、ある数式で表される直線と波長 λ との交点との差の二乗を全ての狭帯域光に対して計算し、それらの和が最小となるように直線を表す関数を求める、最小二乗法を用いてもよい。

【 0 1 4 8 】

この様に、直線近似により波長欠落領域を推定することで、画像処理回路 6 2 の負荷が軽減できる。特に波長欠落部補正処理部の取り扱う演算式が簡素化されるため、比較的小規模な回路構成、プログラム構成で比較的色彩再現性の高い画像を得ることが可能となる。また、狭帯域光分光強度情報 (λ 、 P) の点数が少ない場合や、点が散在するような場合、スムージングを行うことが難しく、実際とは大きく異なる波長欠落領域光強度情報が推定結果として得られるリスクがある。このような場合、直線近似による方法では、実際の波長欠落領域光強度情報との乖離が大きくなるおそれは小さいため、このような場合に特に好適である。

【 0 1 4 9 】

図 1 8 の最下段に示した「推定 5」では、得られた狭帯域光分光強度情報 (λ 、 P) に対し、隣接する狭帯域光分光強度情報 (λ 、 P) の座標を直線で結ぶ、折れ線グラフのような隣接点直線接続による推定技術の例を示した。このような推定方法によると、画像処理回路 6 2 のうち、特に波長欠落領域分光強度情報推定部 6 4 の処理において複雑な処理を行う必要がないなど、波長欠落領域分光強度情報推定部 6 4 の負荷を軽減したり、回路規模やプログラム規模を簡素化したりすることが可能となる。このとき、推定される波長欠落領域分光強度情報の誤差は比較的小さく抑えることが可能となる。従って、この「推定 5」の方法によると、画像処理回路 6 2 のうち、波長欠落領域分光強度情報推定部 6 4 の負荷を軽減した上で、比較的良好な色彩再現性を有する画像が得られるような画像処理を実現することが可能となる。

【 0 1 5 0 】

〔狭帯域光の数の変形例〕

なお、これまで説明した実施形態はすべて、色感度領域の数が 3 であり、狭帯域光の数はそれと同じかそれよりも多い場合について説明したが、これに限らない。たとえば、図 1 9 に示すような、第 1 実施形態における狭帯域光 2 を除いた二つの狭帯域光のみを有する照明光を用いた場合であっても、これまで説明した手法に基づいて波長欠落領域における観察対象物 9 0 による反射散乱光を推定することが可能である。

【 0 1 5 1 】

図 1 9 に示すように、照明光のスペクトルは、狭帯域光発光強度情報 (λ_1 、 I_1) を有する狭帯域光 1 と、狭帯域光発光強度情報 (λ_3 、 I_3) を有する狭帯域光 3 との二つの狭帯域光により構成されている。狭帯域光 1 は色感度領域 1 のみに含まれており、狭帯域光 3 は色感度領域 3 のみに含まれており、色感度領域 2 に含まれる狭帯域光は存在していない。

【 0 1 5 2 】

このような照明光を観察対象物 9 0 に照射した場合、撮像素子 5 8 に入射する観察対象物 9 0 による反射散乱光は、狭帯域光分光強度情報 (λ_1 、 P_1) と、狭帯域光分光強度情報 (λ_3 、 P_3) となる。この情報に基づいて、波長欠落領域分光強度情報推定部 6 4 は、波長欠落領域分光強度情報を推定する。波長欠落領域分光強度情報の推定の手法としては、第 1 実施形態ないし第 3 実施形態で説明した推定手法のいずれかに基づいて行うことができる。

【 0 1 5 3 】

10

20

30

40

50

また、波長欠落領域補正処理部 66 は、上述の手法に従って波長欠落領域の補正処理を行う。このとき、色感度領域 1 と色感度領域 3 は、撮像素子 58 の色感度領域に対応する光検出要素が実際に受光した受光強度 P_{detect} が存在するが、色感度領域 2 には P_{detect} が存在しないことになる。このため、波長欠落領域補正処理部 66 が出力する補正受光光量情報 PP は、少なくとも色感度領域 2 については $P_{estimate}$ そのものとなる。なお、 $P_{estimate}$ の導出手順については、たとえば第 1 実施形態に関連して図 9 で説明した手順に従って行うことができる。

【0154】

ここでは色感度領域の数に対して狭帯域光の数が少ない場合について説明したが、これに限らない。色感度領域と同じかそれよりも多い狭帯域光を用いた場合であっても、狭帯域光を含まない色感度領域がある場合に適用することが可能である。たとえば、第 1 の色感度領域に二つの狭帯域光が、第 3 の色感度領域にひとつの狭帯域光が含まれ、第 2 の色感度領域に狭帯域光が含まれない場合などについても、上記手順により波長欠落領域補正処理部は、補正受光光量情報 PP を導出することが可能である。

10

【0155】

〔光源の変形例〕

また、実施形態では、狭帯域光を射出する光源としてマルチモード半導体レーザを用いる例のみを示したがこれに限らない。様々な固体レーザやガスレーザ、SHG 素子等と組み合わせた複合型半導体レーザなどを用いることができる。さらに、SLD (スーパー Luminescent Diode) や LED などを用いることができる。LED やレーザと蛍光体を組み合わせた光源であって、波長欠落領域が存在するような光源も好適である。

20

【0156】

シングルモードレーザを用いると、狭帯域光のピーク波長が安定に 1 点に決定されるため、狭帯域光分光強度情報 (λ 、 P) の λ の値が安定し、分光推定の精度が向上する。一方、マルチモードレーザを用いると、明るい狭帯域光を射出できるため、広い空間を照明するような場合に有効である。

【0157】

また、LED とレーザを組み合わせるなど、複合的な光源システムを用いた観察装置とすることも好適である。図 20 は 3 個の LED 素子を組み合わせた照明光の例を示している。図の通り、複数の LED であっても波長欠落領域が存在するが、実施形態で説明した技術により波長欠落領域の光強度情報を推定することが可能である。

30

【0158】

また、本発明における実施形態では、ひとつの光源からひとつの狭帯域光のみを射出する光源を例として挙げたが、これに限らない。例えば 441.6 nm の青色レーザ光、537.8 nm の緑色レーザ光、636.0 nm の赤色レーザ光を同時に発振する 3 原色 (白色) レーザである He-Cd レーザなど、複数の狭帯域光を同時に発光できる光源部を用いることができる。このとき、図 1 等に示す内視鏡装置の構成において、光源部に配置される光源である半導体レーザ 22A、22B、... の個数と、光源部から射出される狭帯域光の数は異なっており、必ず光源の個数よりも狭帯域光の数のほうが多くなる。

【0159】

〔光ファイバ〕

さらに実施形態では、光ファイバには、マルチモードの単線の光ファイバのみを用いているが、これに限らない。例えば、シングルモードファイバを用いることができる。さらに、ステップインデックスやグレーデッドインデックスのもの、プラスチックファイバやプラスチックのクラッドとガラスのコアを有する複合材料型の光ファイバなど、様々な光ファイバを用いることができる。

40

【0160】

また、これらの光ファイバを複数束ねたバンドルファイバや、樹脂基板や半導体基板上に屈折率分布を持たせて導光路を形成した一般的なフィルム型やスラブ型の導波路などを用いることも可能である。

50

【 0 1 6 1 】

〔 利用分野 〕

本発明は、外光がほとんど無視できる閉じた空間の内部を観察するのに好適である。特に、医療用途に用いられる、消化器や呼吸器、耳鼻、泌尿器に用いられる内視鏡に用いるのに好適である。医療用内視鏡は、観察対象物の分光反射スペクトルの種類が比較的少なく、実施形態に記載した様々な波長欠落領域推定技術により波長欠落領域の分光反射スペクトルを推定し易い。また、工業用途に用いられる、様々な検査や調査に用いられる内視鏡に好適である。工業用内視鏡では、観察対象物の注目部位を他の領域と区別して見やすくすることが必要であるが、実施形態に記載した様々な波長欠落領域推定技術により狭帯域光領域における反射散乱光強度の微妙な違いに基づいて波長欠落領域の分光反射率を推定することで、傷やさびなど注目すべき部位の分光反射率を推定し、他の領域と区別して表示することが可能となる。

10

【 0 1 6 2 】

本発明の上記実施形態は一例に過ぎず、本発明の主旨を逸脱しない範囲で様々な組合せや変形が可能である。

【 0 1 6 3 】

〔 分光反射スペクトルの補足説明 〕

分光反射率について説明する。一般に色再現性を数値化する指標として、平均演色評価数 R_a が用いられる。平均演色指数は日本工業規格 J I S Z 8 7 2 6 「光の演色性評価方法」に定義されている。演色評価数の評価には、分光反射率の異なる 15 の試験色の色サンプルが用いられ、それぞれの試験色に対する演色評価数として $R_1 \sim R_{15}$ までが測定される。 $R_1 \sim R_8$ に対応する試験色 1 ~ 8 は自然に存在するものを想定した分光反射率であり、 $R_9 \sim R_{14}$ に対応する試験色は比較的彩度の高いものを想定した分光反射率として設定されている。また、 R_{15} に対応する試験色 15 は日本人の肌の色が想定されている。

20

【 0 1 6 4 】

色再現性の指標として最も広く用いられている平均演色指数は、 R_1 から R_8 までの平均値であり、色再現性を表現する値として広く用いられている。

【 0 1 6 5 】

図 2 1 に試験色 1、2、3、4、5、6 の分光反射率のスペクトルを示し、図 2 2 に試験色 7、8、15 の分光反射率のスペクトルを示す。ここで言う分光反射率とは、物体に光が当たったときに、どれぐらいの光を反射するのかの割合を、波長ごとの反射率 (%) として表したものである。

30

【 0 1 6 6 】

図 2 1 では、横軸である波長範囲を、紫外領域の 350 nm から赤外領域の 800 nm まで示しているが、一般的な可視光領域である 400 nm ~ 700 nm の範囲で見ると、分光反射率が波長に伴ってステップ状に変化しているサンプルはない。可視光領域内で分光反射率が最も急峻に変化している、試験色 8 の 610 nm 付近や、試験色 15 の 590 nm 付近でも、分光反射率の変化率は 1 % / nm 程度に留まっており、特許文献 1 に示されるように、数 nm だけ波長の異なるレーザ光を複数用いても色再現性の向上度合いはわずかであることが分かる。

40

【 0 1 6 7 】

分光反射率が大きく変化している波長を λ_k と定義すると、試験色 8 では $\lambda_k = 610$ nm、試験色 15 では $\lambda_k = 590$ nm である (図 2 2)。

【 0 1 6 8 】

図 2 1 と図 2 2 に示す通り、試験色 1 ~ 8、15 における分光反射率の変化は、上記試験色 8、15 における λ_k で最も大きく変化しているが、その変化率はおおよそ 1 % / nm 程度に留まり、これら二つの領域を除くと、概ね 0.5 % / nm 程度がそれ以下の緩やかな変化に留まっている。すなわち、分光反射スペクトルが極端に変化するような観察対象物 90 は少ないことが推測され、実施形態で説明したようなスムージング等による波長

50

欠落領域の補間を行ったとしても色再現性向上の効果が期待できる。

【0169】

主たる観察対象物の分光反射スペクトルが既知である場合、狭帯域光源としてのレーザーの波長は、その分光反射スペクトルが大きく変化している波長 λ_k を挟むようにピーク波長 λ_{peak} を配置することが望ましい。このように構成することで、分光反射スペクトルに急峻な変化があるような観察対象物に対しても、いたるところ波長欠落であるような照明であってもこのような分光反射スペクトルを推定することが可能となり、色再現性のよい画像を得ることが可能となる。

【0170】

一方、より多くのレーザー光を発光できる観察装置のほうが色再現性が高いのは自明である。すなわち、可視光領域に数 nm 置きに 100 以上のレーザー光を並べることができれば色再現性は相当程度高くできる。しかしながら、レーザー光源として一般に流通しているものの波長は特定の領域に限られており、それ以外の波長域は、入手できないか、できたとしても高価である。さらに、多数のレーザー光源を用いることは、それ自体高コストとなり易く、高消費電力や大型化など様々な問題が発生する。従って、レーザー光源の個数はなるべく少ないことが望ましい。

【0171】

このような事情を鑑みて本実施形態では、レーザー光源数を最大 4 個と、色再現性を得るために最低限必要な個数にとどめたが、観察装置の要求される性能に応じてレーザー光源の数は 2 個でもよいし、5 個以上でもよいことは言うまでもない。

【0172】

[まとめ]

以上をまとめると、本明細書には、以下に列記する観察装置が開示されている。言い換えれば、上述した実施形態は、以下に示す通り一般化できる。

【0173】

〔1〕 観察対象物の内部空間を観察するための観察装置であり、
前記内部空間に挿入される先端部を有する挿入部と、
内部空間表面に照明光を射出する前記先端部に設けられた光射出部と、
前記内部空間表面からの反射散乱光を検出して撮像信号を出力する前記先端部に設けられた撮像素子と、

前記撮像信号を処理して画像信号を出力する画像処理回路と、

前記画像信号に従って画像を表示する表示部とを備え、

前記照明光は、複数の狭帯域光により構成されており、

前記撮像素子が検出可能な波長領域は、前記複数の狭帯域光がそれぞれ存在する複数の狭帯域光領域と、隣接する二つの狭帯域光領域の間の領域である第一波長欠落領域と、最末端の二つの狭帯域光領域の外側の領域である第二波長欠落領域とにより構成されており、

前記撮像素子は、複数の色感度領域内の光をそれぞれ検出する複数種類の光検出要素を含む多数の光検出要素を有しており、

前記画像処理回路は、各色感度領域について、その色感度領域に含まれる狭帯域光のピーク波長と、その色感度領域に対応する光検出要素が検出する前記内部空間表面からの反射散乱光の強度とを関連付けて、狭帯域光分光強度情報（波長 λ 、受光強度 P ）を導出し、前記狭帯域光分光強度情報に基づいて、前記第一波長欠落領域における前記内部空間表面からの反射散乱光の強度情報である波長欠落領域分光強度情報を推定する波長欠落領域分光強度情報推定部を有し、

前記画像処理回路は、前記狭帯域光分光強度情報と前記波長欠落領域分光強度情報とに基づいて、波長欠落領域のない照明光を照射したときに得られる画像信号に近づけるように、波長欠落領域補正処理を行う波長欠落領域補正処理部を有している、観察装置。

【0174】

〔2〕 n を 2 以上の自然数、 k を 1 から n までの自然数として、

前記複数の狭帯域光の数と前記複数の色感度領域の数は共に n であり、
 ひとつの色感度領域にはひとつの狭帯域光が含まれるように構成されており、
 前記複数の狭帯域光を、短波長側から長波長側に向かって 1 番目、2 番目、 \dots 、 n
 番目の狭帯域光とし、

前記複数の色感度領域を、短波長側から長波長側に向かって 1 番目、2 番目、 \dots 、
 n 番目の色感度領域としたとき、

k 番目の狭帯域光は k 番目の色感度領域に含まれており、

k 番目の狭帯域光のピーク波長を λ_k 、 k 番目の色感度領域に対応する光検出要素が検
 出する前記内部空間表面からの反射散乱光の強度を P_k としたとき、

前記狭帯域光分光強度情報（波長 λ_k 、受光強度 P_k ）は、 (λ_k, P_k) として導出する
 、〔1〕に記載の観察装置。

10

【0175】

〔3〕 n 、 m を 2 以上の自然数、 i 、 j を 1 から n までの自然数、 l を 1 から m まで
 の自然数として、

前記複数の色感度領域の数は n であり、

前記複数の狭帯域光の数は n よりも多く、

前記複数の色感度領域を、短波長側から長波長側に向かって 1 番目、2 番目、 \dots 、
 n 番目の色感度領域としたとき、

前記複数の色感度領域のうち、前記狭帯域光がひとつのみ含まれる色感度領域を単一狭
 帯域光色感度領域とし、

20

前記複数の色感度領域のうち、前記狭帯域光が複数含まれる色感度領域を複数狭帯域光
 色感度領域とし、

前記単一狭帯域光色感度領域に含まれる色感度領域を j 番目の色感度領域とし、

前記複数狭帯域光色感度領域に含まれる色感度領域を i 番目 ($i = j$) の色感度領域と
 したとき、

前記 j 番目の色感度領域に含まれる狭帯域光を j 番目の狭帯域光とし、

前記 i 番目の色感度領域に含まれる狭帯域光の数が m 個であるとき、

前記 i 番目の色感度領域に含まれる m 個の狭帯域光を、それぞれ $i - 1$ 番目、 \dots 、
 $i - m$ 番目の狭帯域光として、

j 番目の狭帯域光のピーク波長を λ_j 、 j 番目の色感度領域に対応する光検出要素が検
 出する前記内部空間表面からの反射散乱光の強度を P_j とし、

30

$i - 1$ 番目の狭帯域光のピーク波長を λ_{i-1} 、 i 番目の色感度領域に対応する光検出
 要素が検出する前記内部空間表面からの反射散乱光の強度を P_i とし、

前記狭帯域光分光強度情報（波長 λ 、受光強度 P ）は、

前記 j 番目の色感度領域においては (λ_j, P_j) として導出され、

前記 i 番目の色感度領域においては $(\lambda_{i-1} / m, P_i)$ として導出する、〔
 1〕に記載の観察装置。

【0176】

〔4〕 n 、 m を 2 以上の自然数、 i 、 j を 1 から n までの自然数、 l を 1 から m まで
 の自然数として、

40

前記複数の色感度領域の数は n であり、

前記複数の狭帯域光の数は n よりも大きく、

前記複数の色感度領域を、短波長側から長波長側に向かって 1 番目、2 番目、 \dots 、
 n 番目の色感度領域としたとき、

前記複数の色感度領域のうち、前記狭帯域光がひとつのみ含まれる色感度領域を単一狭
 帯域光色感度領域とし、

前記複数の色感度領域のうち、前記狭帯域光が複数含まれる色感度領域を複数狭帯域光
 色感度領域とし、

前記単一狭帯域光色感度領域に含まれる色感度領域を j 番目の色感度領域とし、

前記複数狭帯域光色感度領域に含まれる色感度領域を i 番目 ($i = j$) の色感度領域と

50

したとき、

前記 j 番目の色感度領域に含まれる狭帯域光を j 番目の狭帯域光とし、

前記 i 番目の色感度領域に含まれる狭帯域光の数が m 個であるとき、

前記 i 番目の色感度領域に含まれる m 個の狭帯域光を、それぞれ $i - 1$ 番目 ($l = 1 \sim m$) の狭帯域光として、

前記光射出部は、前記 $i - 1$ 番目 ($l = 1 \sim m$) の狭帯域光を、互いに異なるタイミングで射出するように構成されており、

前記 i 番目の色感度領域に対応する光検出要素が検出する前記内部空間表面からの反射散乱光の強度 P を、前記 $i - 1$ 番目 ($l = 1 \sim m$) の狭帯域光の射出に同期して、 P_{i-1} ($l = 1 \sim m$) を分離して検出することで、

10

前記狭帯域光分光強度情報 (波長、受光強度 P) は、

前記 j 番目の色感度領域においては (λ_j 、 P_j) として導出され、

前記 i 番目の色感度領域においては (P_{i-1} 、 P_i) ($l = 1 \sim m$) として導出する、〔1〕に記載の観察装置。

【0177】

〔5〕 前記狭帯域光領域は、狭帯域光の発光領域のうち、ピーク強度の半分以上の光量を有する領域であり、

前記第二波長欠落領域は、前記撮像素子が検出可能な波長領域内にあり、かつ、最も長波長側の狭帯域光領域よりも長波長側の領域と、最も短波長側の狭帯域光領域よりも短波長側の領域を含む、〔1〕ないし〔4〕のいずれかひとつに記載の観察装置。

20

【0178】

〔6〕 前記狭帯域光はマルチモードまたはシングルモードのレーザ光であり、前記撮像素子が検出可能な波長領域は、いたるところ波長欠落領域である、〔5〕に記載の観察装置。

【0179】

〔7〕 前記撮像素子が検出可能な波長領域は、400 nm 付近から 700 nm 付近までの、いわゆる可視光領域であり、短波長側の境界は撮像素子の感度限界で決まり、長波長側の境界は赤外線カットフィルタによりカットされる赤外線の下限波長で決まる、〔6〕に記載の観察装置。

【0180】

30

〔8〕 前記画像処理回路は、前記撮像素子から出力される前記撮像信号の情報のうち、狭帯域光強度導出領域の情報のみを用いて、狭帯域光分光強度情報 (波長、受光強度 P) の強度 P を、各波長に対応した反射散乱光の強度情報の狭帯域光強度導出領域全体の平均として導出する、〔1〕ないし〔4〕のいずれかひとつに記載の観察装置。

【0181】

〔9〕 前記狭帯域光強度導出領域は、撮像画面全体である、〔8〕に記載の観察装置。

【0182】

〔10〕 前記狭帯域光強度導出領域は、撮像画面全体から、前記撮像素子のダイナミックレンジの上限付近および下限付近の領域を除いた領域である、〔8〕に記載の観察装置。

40

【0183】

〔11〕 前記狭帯域光強度導出領域は、前記撮像画面の中心近傍の領域である、〔8〕に記載の観察装置。

【0184】

〔12〕 前記狭帯域光強度導出領域は、複数の狭帯域光分光強度情報 (波長、受光強度 P) の組合せが所定の比率範囲または撮像画面上で最も多い比率範囲にある領域である、〔8〕に記載の観察装置。

【0185】

〔13〕 前記狭帯域光強度導出領域を指定するための入力部をさらに備えている、〔

50

8) に記載の観察装置。

【0186】

〔14〕 前記画像処理回路は、前記撮像素子から出力される前記画像信号の情報のうち、複数の狭帯域光強度導出領域の情報をを用いて、複数の狭帯域光強度導出領域ごとに、光帯域光分光強度情報（波長、受光強度 P ）の強度 P を、各波長に対応した反射散乱光の強度情報の狭帯域光強度導出領域ごとの平均として導出する、〔1〕ないし〔4〕のいずれかひとつに記載の観察装置。

【0187】

〔15〕 前記狭帯域光強度導出領域は単位ピクセルである、〔14〕に記載の観察装置。

【0188】

〔16〕 前記波長欠落領域分光強度情報推定部は、前記狭帯域光分光強度情報（波長、受光強度 P ）に基づいて、前記第一波長欠落領域の分光強度情報を推定する、〔1〕ないし〔4〕のいずれかひとつに記載の観察装置。

【0189】

〔17〕 前記波長欠落領域分光強度情報推定部は、複数の狭帯域光分光強度情報（波長、受光強度 P ）に基づいて、前記第一波長欠落領域の全体に渡り滑らかに連続するように、前記波長欠落領域分光強度情報を推定する、〔16〕に記載の観察装置。

【0190】

〔18〕 前記波長欠落領域分光強度情報推定部は、関数近似（1次関数近似、高次関数近似、最小二乗近似等）により推定を行う、〔17〕に記載の観察装置。

【0191】

〔19〕 前記波長欠落領域分光強度情報推定部は、隣接する狭帯域光分光強度情報（波長、受光強度 P ）を直線で接続するように、前記波長欠落領域分光強度情報を推定する、〔16〕に記載の観察装置。

【0192】

〔20〕 前記波長欠落領域分光強度情報推定部は、 k 番目の色感度領域全体について、受光強度 P を P_k の一定値として推定する、〔2〕に記載の観察装置。

【0193】

〔21〕 前記複数の色感度領域は互いに重なりを有しており、第 k 番目の色感度領域と、第 $k+1$ 番目の色感度領域の重なり領域を感度重なり領域 k としたとき、重なり感度領域 k について、第 k 番目の色感度領域の撮像信号としては P_k を用い、第 $k+1$ 番目の色感度領域の撮像信号としては P_{k+1} を用いる、〔20〕に記載の観察装置。

【0194】

〔22〕 前記複数の色感度領域は互いに重なりを有しており、第 k 番目の色感度領域と、第 $k+1$ 番目の色感度領域の重なり領域を感度重なり領域 k としたとき、感度重なり領域 k について、 P_k と P_{k+1} の平均値を用いる、〔20〕に記載の観察装置。

【0195】

〔23〕 前記波長欠落領域分光強度情報推定部は、前記第二波長欠落領域について、外挿により波長欠落領域分光強度情報を推定する、〔14〕ないし〔22〕のいずれかひとつに記載の観察装置。

【0196】

〔24〕 前記波長欠落領域補正処理部は、前記波長欠落領域分光強度情報推定部が推定した波長欠落領域分光強度情報から、色感度領域ごとの補正光量情報 PP を算出する、〔1〕ないし〔4〕のいずれかひとつに記載の観察装置。

【0197】

〔25〕 前記波長欠落領域補正処理部は、推定した波長欠落領域分光強度情報の光を受光したとき、対応する色感度領域に対応する光検出要素が受光する受光量を推定し、補正光量情報 PP を画像情報として出力する、〔24〕に記載の観察装置。

【0198】

10

20

30

40

50

〔 2 6 〕 前記波長欠落領域補正処理部は、推定した波長欠落領域分光強度情報を積分し、積分した値を対応する波長領域の幅で除した値を受光量として推定する、〔 2 5 〕に記載の観察装置。

【 0 1 9 9 】

〔 2 7 〕 前記波長欠落領域補正処理部は、波長欠落領域分光強度情報と、対応する色感度領域の波長フィルタの透過スペクトル情報、および/または、撮像素子の波長スペクトル受光感度情報に基づいて、色感度領域に対応する光検出要素が受光するであろう受光量を推定し画像情報として出力する、〔 2 4 〕ないし〔 2 6 〕のいずれかひとつに記載の観察装置。

【 0 2 0 0 】

〔 2 8 〕 〔 1 〕ないし〔 2 6 〕のいずれかひとつに記載の観察装置を有する内視鏡装置。

【 0 2 0 1 】

〔 2 9 〕 n 、 m を2以上の自然数、 i 、 j を1から n までの自然数、 l を1から m までの自然数として、

前記複数の色感度領域の数は n であり、

前記複数の狭帯域光の数は n よりも多く、

前記複数の色感度領域を、短波長側から長波長側に向かって1番目、2番目、・・・、 n 番目の色感度領域としたとき、

前記複数の色感度領域のうち、前記狭帯域光がひとつのみ含まれる色感度領域を単一狭帯域光色感度領域とし、

前記複数の色感度領域のうち、前記狭帯域光が複数含まれる色感度領域を複数狭帯域光色感度領域とし、

前記単一狭帯域光色感度領域に含まれる色感度領域を j 番目の色感度領域とし、

前記複数狭帯域光色感度領域に含まれる色感度領域を i 番目($i = j$)の色感度領域としたとき、

前記 j 番目の色感度領域に含まれる狭帯域光を j 番目の狭帯域光とし、

前記 i 番目の色感度領域に含まれる狭帯域光の数が m 個であるとき、

前記 i 番目の色感度領域に含まれる m 個の狭帯域光を、それぞれ $i - 1$ 番目、・・・、 $i - m$ 番目の狭帯域光として、

j 番目の狭帯域光のピーク波長を λ_j 、 j 番目の色感度領域に対応する光検出要素が検出する前記内部空間表面からの反射散乱光の強度を P_j とし、

前記射出窓から射出される、 $i - 1$ 番目の狭帯域光の光強度を I_{i-1} としたときに、

前記狭帯域光分光強度情報(波長 λ 、受光強度 P)は、

前記 j 番目の色感度領域においては(λ_j 、 P_j)として導出され、

前記 i 番目の色感度領域においては($(\lambda_{i-1} \times I_{i-1}) / (I_{i-1})$ 、 P_i)として導出する、〔 1 〕に記載の観察装置。

【符号の説明】

【 0 2 0 2 】

1 2 ... 本体部、 1 4 ... 挿入部、 1 6 ... 接続部、 1 8 ... 先端部、 2 0 ... 表示部、 2 2 ... 内部空間、 2 2 A、 2 2 B、 2 2 C、 2 2 D、 2 2 E ... 半導体レーザ、 2 4 ... 電気配線、 2 6 A、 2 6 B、 2 6 C、 2 6 D、 2 6 E ... 駆動回路、 2 8 ... 制御信号線、 3 0 ... 光源制御回路、 3 2 A、 3 2 B、 3 2 C、 3 2 D、 3 2 E ... 光ファイバ、 3 4 ... 光コンバイナ、 3 6 A、 3 6 B、 3 6 C ... 光ファイバ、 3 8 A、 3 8 B、 3 8 C ... コネクタ、 4 0 ... 光コンバイナ、 4 2 ... 光ファイバ、 4 4 ... コネクタ、 4 6 ... 光ファイバ、 4 8 ... 光射出部、 5 0 ... ホルダ、 5 2 ... キャピティ、 5 4 ... 反射ミラー、 5 6 ... 拡散板、 5 8 ... 撮像素子、 6 0 ... 信号線、 6 2 ... 画像処理回路、 6 4 ... 波長欠落領域分光強度情報推定部、 6 6 ... 波長欠落領域補正処理部、 6 8 ... 信号線、 7 0 ... 入力部、 7 2 ... 電気配線、 9 0 ... 観察対象物、 9 2 ... 内部空間。

10

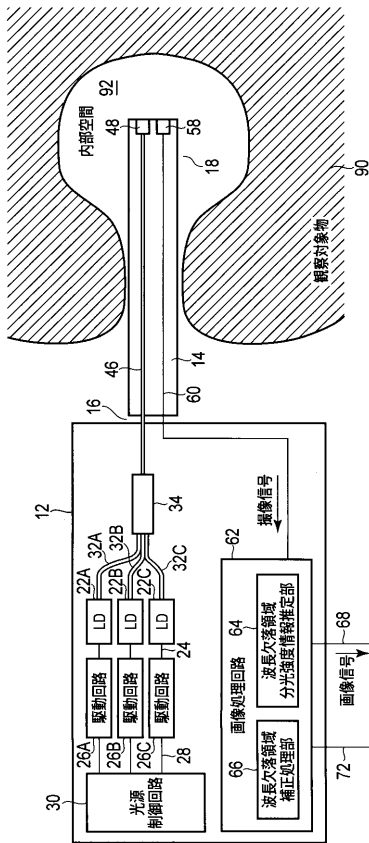
20

30

40

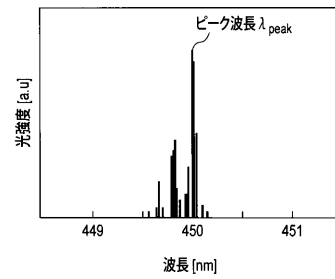
【 図 1 】

図 1



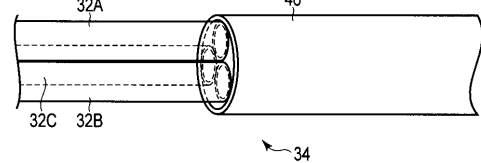
【 図 2 】

図 2



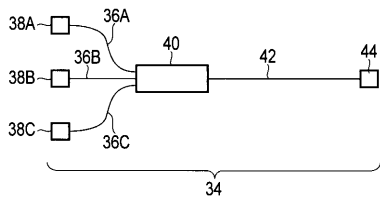
【 図 3 】

図 3



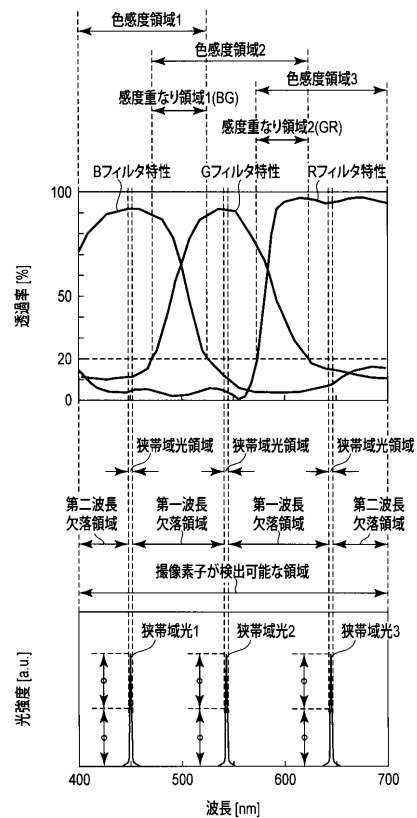
【 図 4 】

図 4



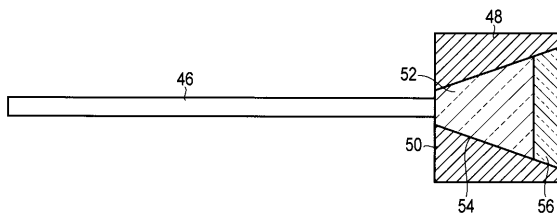
【 図 6 】

図 6



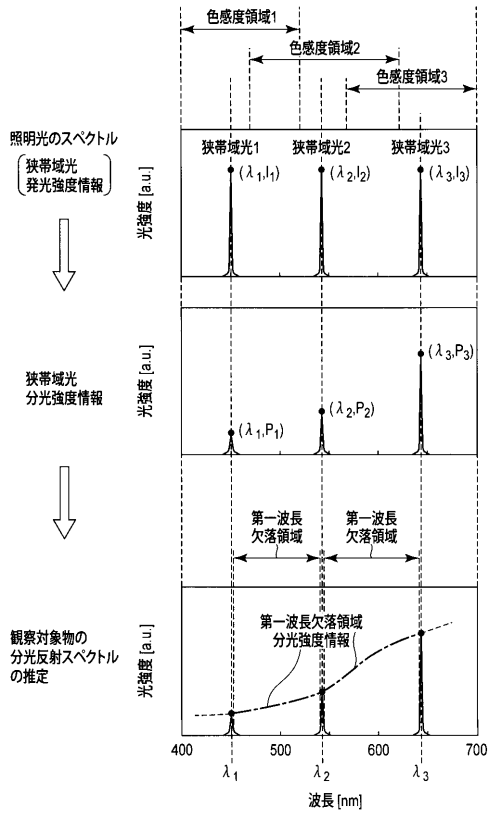
【 図 5 】

図 5



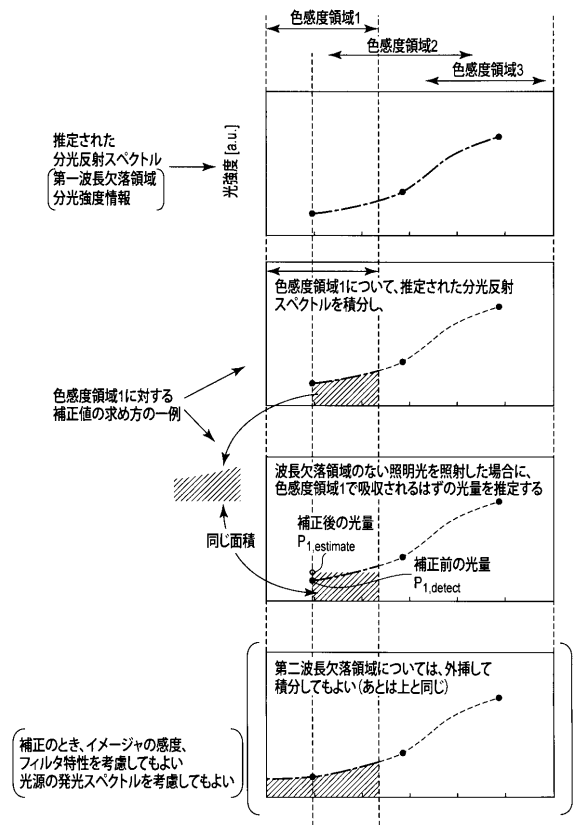
【 図 7 】

図 7



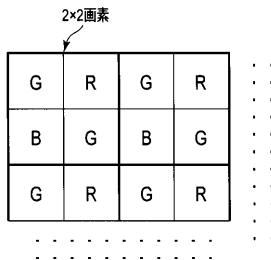
【 図 8 】

図 8



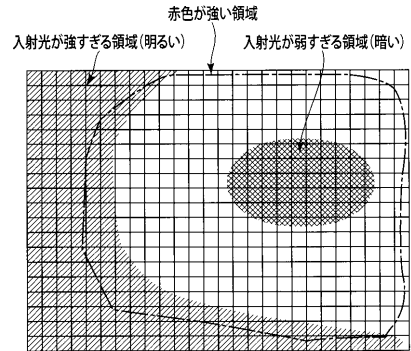
【 図 9 】

図 9



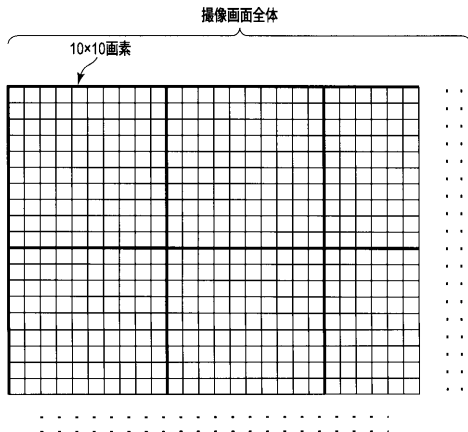
【 図 1 1 】

図 11



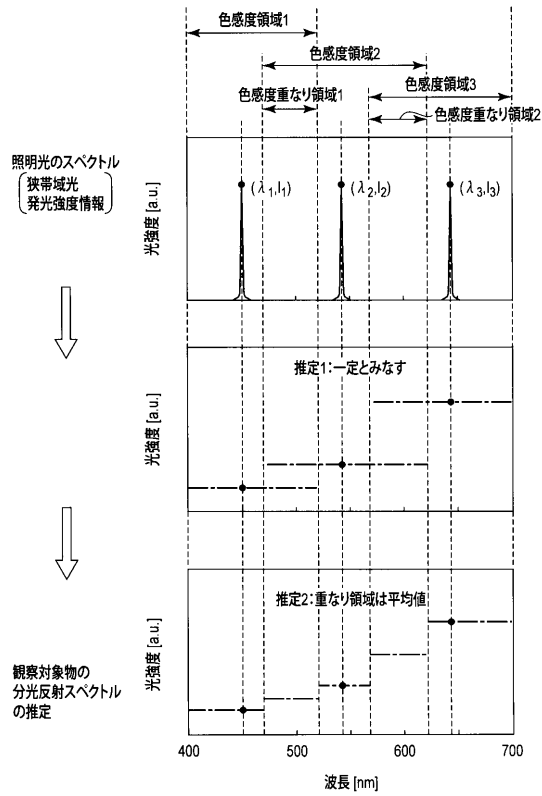
【 図 1 0 】

図 10



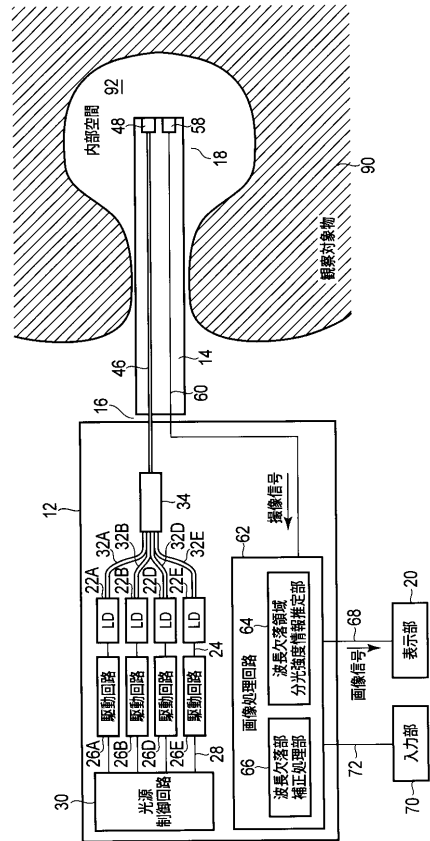
【図12】

図12



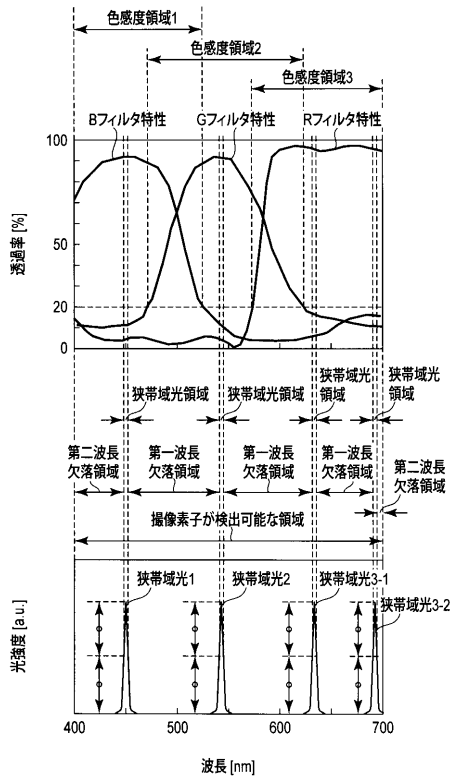
【図13】

図13



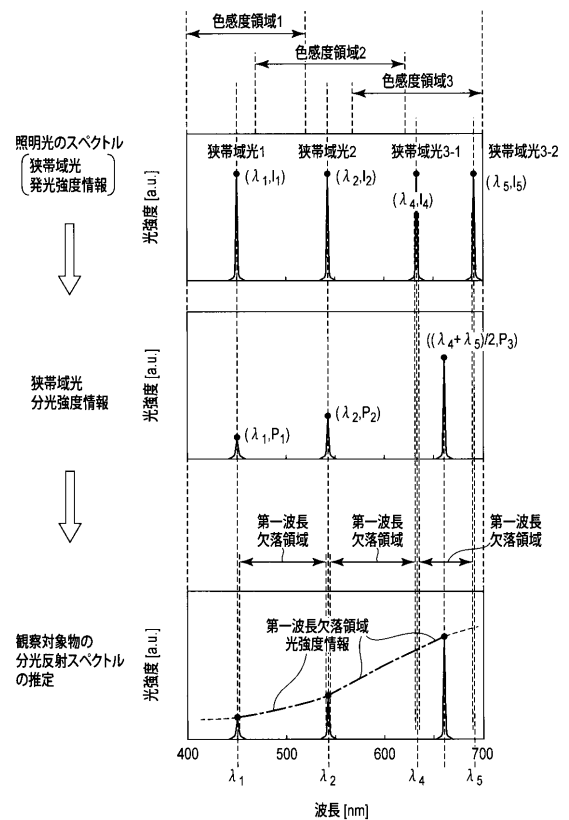
【図14】

図14



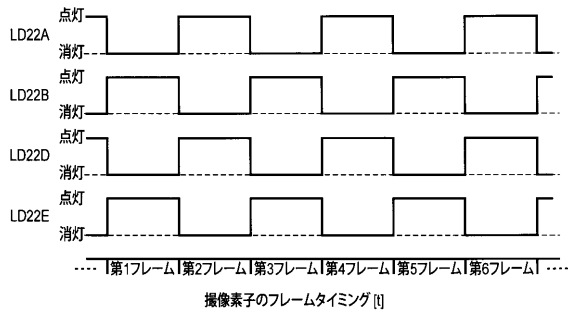
【図15】

図15



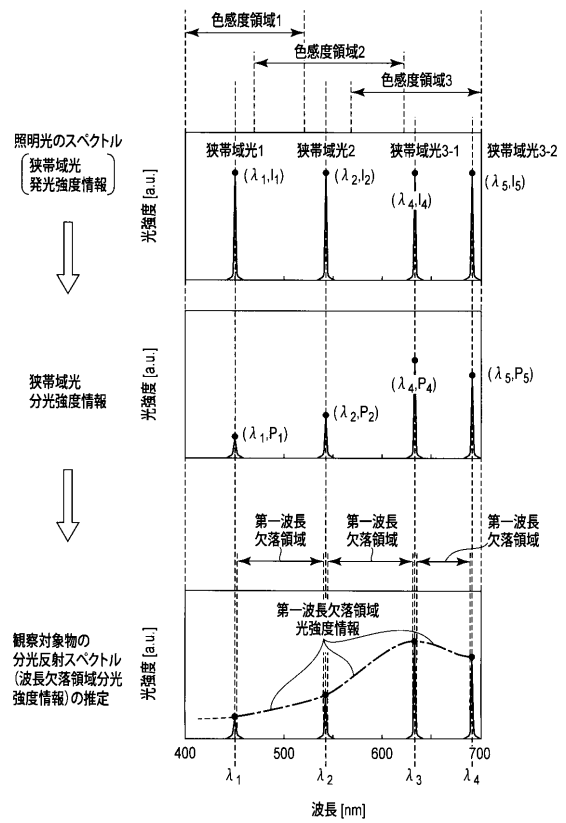
【 図 1 6 】

図 16



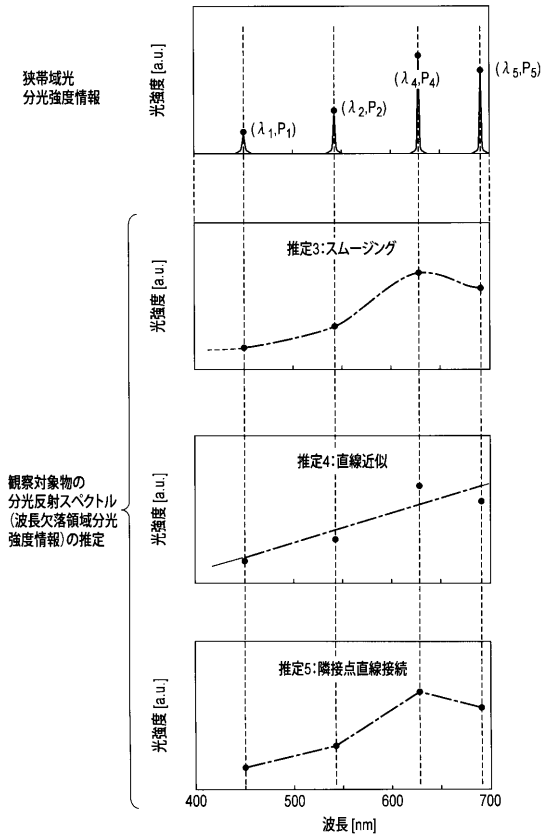
【 図 1 7 】

図 17



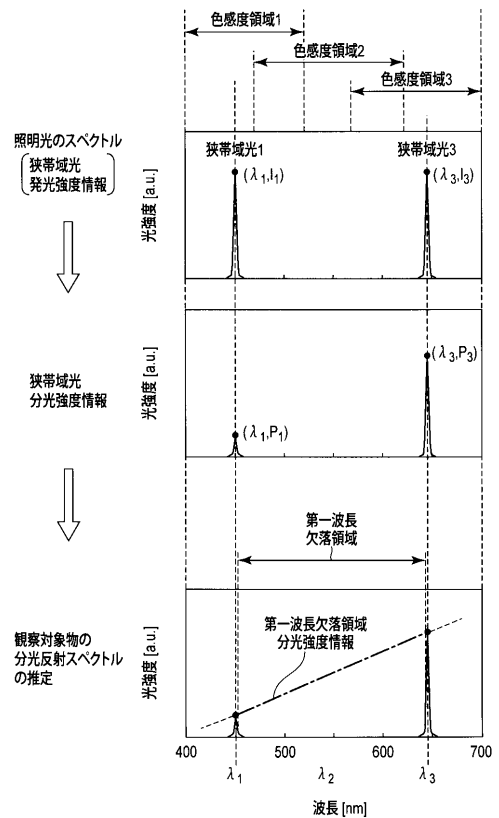
【 図 1 8 】

図 18



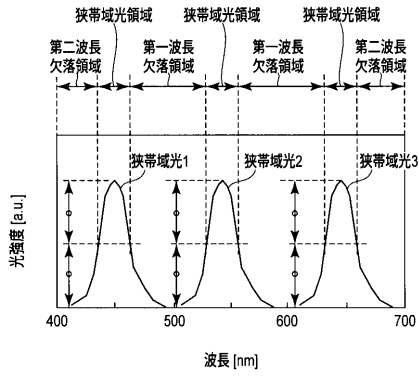
【 図 1 9 】

図 19



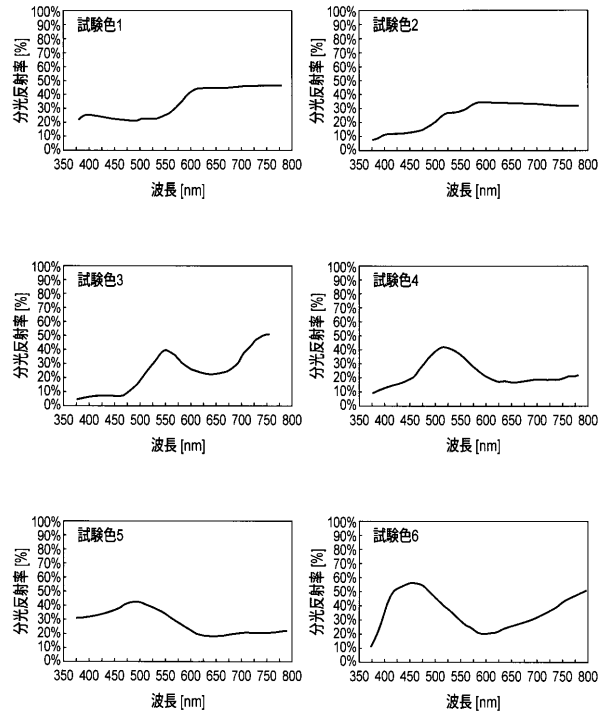
【 図 2 0 】

図 20



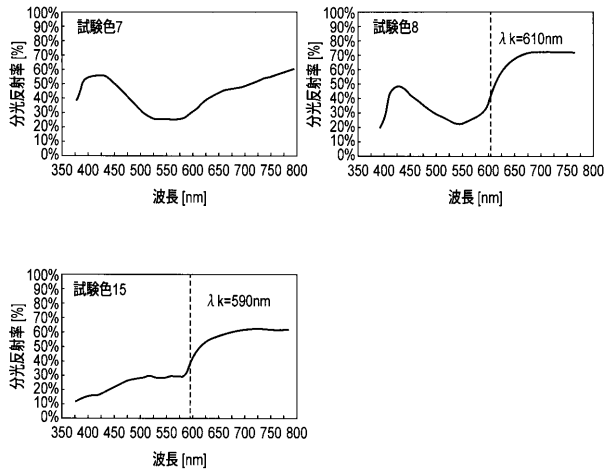
【 図 2 1 】

図 21



【 図 2 2 】

図 22



フロントページの続き

(74)代理人 100158805

弁理士 井関 守三

(74)代理人 100179062

弁理士 井上 正

(74)代理人 100124394

弁理士 佐藤 立志

(74)代理人 100112807

弁理士 岡田 貴志

(74)代理人 100111073

弁理士 堀内 美保子

(72)発明者 伊藤 毅

東京都渋谷区幡ヶ谷 2 丁目 4 3 番 2 号 オリパス株式会社内

(72)発明者 亀江 宏幸

東京都渋谷区幡ヶ谷 2 丁目 4 3 番 2 号 オリパス株式会社内

Fターム(参考) 2H040 CA02 GA02 GA06

4C161 CC06 JJ17 NN05 QQ07 SS21 TT20 WW04 WW09

5B057 AA07 CA01 CA08 CA12 CA16 CB01 CB08 CB12 CB16 CE17

5C122 DA26 EA12 EA47 GG05 GG14 HB07