(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2010-249808
(P2010-249808A)
(43)公開日　平成22年11月4日(2010.11.4)

(51)Int.Cl.		F I		テーマコード（参考）
G01N 21/27	(2006.01)	G01N 21/27	A	2G043
G01N 21/64	(2006.01)	G01N 21/64	Z	2G059

審査請求 未請求　請求項の数 10　ＯＬ　（全 30 頁）

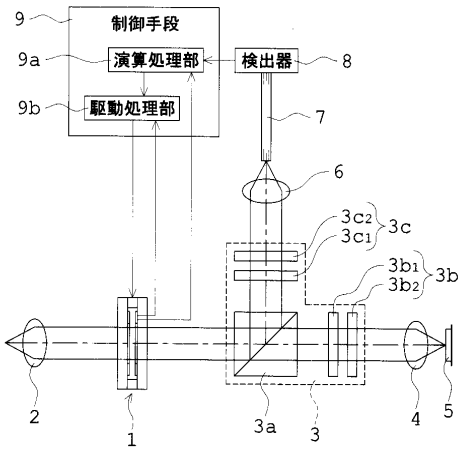
(21)出願番号　特願2010-62894(P2010-62894)
(22)出願日　平成22年3月18日(2010.3.18)
(31)優先権主張番号　特願2009-72900(P2009-72900)
(32)優先日　平成21年3月24日(2009.3.24)
(33)優先権主張国　日本国(JP)

(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４３番２号
(74)代理人　100065824
弁理士　篠原　泰司
(74)代理人　100104983
弁理士　藤中　雅之
(72)発明者　松本　伸也
東京都渋谷区幡ヶ谷２丁目４３番２号　オリンパス株式会社内
(72)発明者　森下　弘靖
東京都渋谷区幡ヶ谷２丁目４３番２号　オリンパス株式会社内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】分光透過率可変素子を備えた分光イメージング装置及び分光イメージング装置における分光透過率可変素子の調整方法

(57)【要約】　（修正有）
【課題】分光透過率可変素子を備えた分光イメージング装置を提供する。
【解決手段】波長に対して周期的に透過率が変動する分光透過率特性を有し該周期を変化可能で被観察物体からの光を複数のピーク波長を有する光にする分光透過率可変素子１と、複数のピーク波長を有する光から使用者が指定した指令波長近傍のピーク波長を含む撮像用の光と該指令波長近傍のピーク波長以外のピーク波長を含む校正用の光にする光抽出手段３と、被観察物体の像を撮影する撮像素子５と、校正用の光から指令波長近傍のピーク波長以外のピーク波長を検出する検出器８と、検出された指令波長近傍のピーク波長以外のピーク波長から指令波長近傍のピーク波長を算出し、該算出したピーク波長と指令波長のずれを算出し該ずれに基づいて周期の調整量を決定する演算処理部９ａと該調整量に基づいて分光透過率可変素子を駆動させ周期を変化させる駆動処理部９ｂを含む制御手段９を備える。
【選択図】図３



【特許請求の範囲】
【請求項１】
波長に対して周期的に透過率が変動する分光透過率特性を有していて該変動周期を変化させることができ被観察物体からの光を複数のピーク波長を有する光に変換する分光透過率可変素子と、
前記複数のピーク波長を有する光から使用者が指定した指令波長近傍のピーク波長を含む撮像用の光と該指令波長近傍のピーク波長以外のピーク波長を含む校正用の光とを抽出する光抽出手段と、
前記撮像用の光により形成される前記被観察物体の像を撮影する撮像素子と、
前記校正用の光から前記指令波長近傍のピーク波長以外のピーク波長を検出する検出器と、
前記検出器により検出された前記校正用の光の有する前記指令波長近傍のピーク波長以外のピーク波長から前記撮像用の光の有する前記指令波長近傍のピーク波長を算出し該算出した前記指令波長近傍のピーク波長と前記指令波長とのずれを算出し該ずれの量に基づいて前記変動周期の調整量を決定する演算処理部と該調整量に基づいて前記分光透過率可変素子を駆動させて前記変動周期を変化させる駆動処理部とを含む制御手段とを備えることを特徴とする分光イメージング装置。
【請求項２】
前記光抽出手段が、ダイクロイックミラーであることを特徴とする請求項１に記載の分光イメージ装置。
【請求項３】
前記光抽出手段が、前記分光透過率可変素子を透過した光の光路上に配置されたビームスプリッターと、該ビームスプリッターにより分割された一方の光の光路上に配置されていて前記撮像用の光のみを透過するフィルターと、該ビームスプリッターにより分割された他方の光の光路上に配置されていて前記校正用の光のみを透過するフィルターとにより構成されていることを特徴とする請求項１に記載の分光イメージング装置。
【請求項４】
前記光抽出手段が、前記分光透過率可変素子の前記撮像装置側に配置されていて前記分光透過率可変素子を透過した光から前記撮像用の光のみを透過するフィルターと、前記分光透過率可変素子と前記被観察物体との間に配置されていて前記被観察物体からの光を透過し前記分光透過率可変素子で反射された光を反射するハーフミラーと、前記ハーフミラーからの光のうち前記校正用の光のみを透過するフィルターとにより構成されていることを特徴とする請求項１に記載の分光イメージング装置。
【請求項５】
前記校正用の光の含むピーク波長を含み前記撮像用の光の含むピーク波長を含まない波長帯域の光を発する校正用光源と、前記被観察物体と前記分光透過率可変素子との間に配置されていて前記校正用光源からの光の光路を前記被観察物体からの光の光路と合成する光路合成手段とを備えていることを特徴とする請求項１乃至４のいずれか１項に記載の分光イメージング装置。
【請求項６】
前記分光透過率可変素子が、対向するように配置された一対の基板を備えており、該一対の基板の面間隔を変化させることにより該分光透過率特性の変動周期を変化させることができることを特徴とする請求項１乃至５のいずれか１項に記載の分光イメージング装置。
【請求項７】
前記指令波長近傍のピーク波長以外のピーク波長が、該指令波長近傍のピーク波長と隣接するピーク波長であることを特徴とする請求項１乃至６のいずれか１項に記載の分光イメージング装置。
【請求項８】
前記指令波長近傍のピーク波長以外のピーク波長が、該指令波長近傍のピーク波長と隣

接し、且つ、該指令波長近傍のピーク波長よりも短波長帯域に存在するピーク波長であり、

前記分光透過率可変素子が、対向するように配置された一対の基板を備えており、該一対の基板の面間隔を変化させることにより該分光透過率特性の変動周期を変化させることができ、

前記校正用光源の発する光が、以下の条件式（１）、（２）を満足することを特徴とする請求項５に記載の分光イメージング装置。

$$\lambda_{m+1}-\frac{FWHM_{m+1}}{2}\leq\lambda_{ref}\leq\lambda_{m+1}+\frac{FWHM_{m+1}}{2} \quad \cdots (1)$$

$$\lambda_{m+2}<\lambda_{ref}<\lambda_{Em-min} \quad \cdots (2)$$

但し、

$$\lambda_{m+1}=\frac{m}{m+1}\cdot\lambda_m$$

$$\lambda_{m+2}=\frac{m}{m+2}\cdot\lambda_m$$

$$FWHM_{m+1}=\frac{\lambda_{m+1}^2}{m\cdot\lambda_m}\cdot\frac{1-R}{\pi\sqrt{R}}$$

$$2ndcos\theta = m\lambda_m$$

であり、ｍは１以上の整数、λ_{ref}は前記校正用光源の波長帯域、λ_mは前記指令波長近傍のピーク波長、λ_{m+1}、λ_{m+2}は前記指令波長近傍のピーク波長以外のピーク波長、λ_{Em-min}は前記撮像素子に入射する光の最短波長、$FWHM_{m+1}$は前記ピーク波長λ_{m+1}の半値全幅、Ｒは前記一対の基板の対向する面の反射率、ｎは前記一対の基板間の媒質の屈折率、ｄは前記一対の基板の面間隔、θは前記一対の基板に対する前記被観察物体からの光の入射角である。

【請求項９】

前記指令波長近傍のピーク波長以外のピーク波長が、該指令波長近傍のピーク波長と隣接し、且つ、該指令波長近傍のピーク波長よりも長波長帯域に存在するピーク波長であり、

前記分光透過率可変素子が、対向するように配置された一対の基板を備えており、該一対の基板の面間隔を変化させることにより該分光透過率特性の変動周期を変化させることができ、

前記校正用光源の発する光が、以下の条件式（１）’、（２）’を満足することを特徴とする請求項５に記載の分光イメージング装置。

$$\lambda_{m-1}-\frac{FWHM_{m-1}}{2}\leq\lambda_{ref}\leq\lambda_{m-1}+\frac{FWHM_{m-1}}{2} \quad \cdots (1)'$$

$$\lambda_{Em-max}<\lambda_{ref}<\lambda_{m-2} \quad \cdots (2)'$$

但し、

$$\lambda_{m-1}=\frac{m}{m-1}\cdot\lambda_m$$

$$\lambda_{m-2}=\frac{m}{m-2}\cdot\lambda_m$$

$$FWHM_{m-1}=\frac{\lambda_{m-1}^2}{m\cdot\lambda_m}\cdot\frac{1-R}{\pi\sqrt{R}}$$

$$2ndcos\theta = m\lambda_m$$

であり、ｍは１以上の整数、λ_{ref}は前記校正用光源の波長帯域、λ_mは前記指令波長近傍のピーク波長、λ_{m-1}、λ_{m-2}は前記指令波長近傍のピーク波長以外のピーク波長、λ_{Em-max}は前記撮像素子に入射する光の最長波長、$FWHM_{m-1}$は前記ピーク波長λ_{m-1}の半値全幅、Ｒは前記一対の基板の対向する面の反射率、ｎは前記一対の基板間の媒質の屈折率、ｄは前記一対の基板の面間隔、θは前記一対の基板に対する前記被観察物体からの光の入射角である。

【請求項１０】

波長に対して周期的に透過率が変動する分光透過率特性を有していて該変動周期を変化させることができ被観察物体からの光を複数のピーク波長を有する光に変換する分光透過率可変素子と、使用者が指定した指令波長近傍の波長帯域の光により前記被観察物体の像を撮影する撮像素子を備えた分光イメージング装置の調整方法において、

光抽出手段が、前記分光透過率可変素子を介して変換した複数のピーク波長を有する光から前記指令波長近傍のピーク波長を含む撮像用の光と該指令波長近傍のピーク波長以外のピーク波長を含む校正用の光とを抽出し、制御手段が、検出器によって前記校正用の光から検出された前記指令波長近傍のピーク波長以外のピーク波長から前記撮像用の光の有する前記指令波長近傍のピーク波長を算出し、該算出した前記指令波長近傍のピーク波長と前記指令波長とのずれを算出し、該ずれの量に基づいて前記分光透過率可変素子の前記変動周期を調整することを特徴とする分光イメージング装置の調整方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【０００１】

本発明は、分光透過率可変素子を備えた分光イメージング装置、及び、分光イメージング装置における分光透過率可変素子の調整方法に関する。

【背景技術】

【０００２】

従来、波長に対して周期的に透過率が変動する分光透過率特性を有し、その変動周期を変化させることができ、入射又は反射した光を複数のピーク波長を有する光に変換する分光透過率可変素子が、画像観察や光通信などの分野で用いられている。

【０００３】

そして、そのような分光透過率可変素子を用いた装置としては、例えば、特許文献１に記載されているような光通信システムや、特許文献２に記載されているような画像観察装置が知られている。

【０００４】

この特許文献１の光通信システムや特許文献２の画像観察装置には、分光透過率可変素子として、ファブリペロー・エタロンが用いられている。そのファブリペロー・エタロンとは、光の干渉を利用するものであり、対向するように配置された一対のミラー面の間隔を変化させることによって、透過又は反射し得る光の波長を変化させることができるものである。

【０００５】

そのようなファブリペロー・エタロンのミラー面は、通常、石英などの光学基板の上にコーティングを施すことによって形成される。しかし、実際には、製造誤差の無い完全にフラットな光学基板を作製することはできない。また、コーティングを施す際に、光学基板に対して発生する応力により基板が歪んでしまうことがある。このように、一対の光学基板、すなわち、対向する一対のミラー面には、必ず歪みが生じている。さらに、エタロンの使用環境によっては、作製後の光学基板やミラー面に歪みが生じることもある。

【０００６】

そして、対向する一対のミラー面のいずれか一方にでも歪みが生じていると、局所的にそれらの面間隔に違いが生じ、部分ごとに干渉距離が異なってしまう。その結果、そのエタロンの透過又は反射し得る光の波長が場所によって異なってしまい、所望の分光透過率特性が得られないことになる。

【０００７】

また、仮にミラー面自体に歪みが生じていないとしても、対向する一対のミラー面の平行度が低い場合には、局所的に対向する一対のミラー面の間隔に違いが生じるため、同様に、部分ごとの干渉距離が異なり、そのエタロンは、所望の分光透過率特性が得られないことがある。

【０００８】

そこで、特許文献１の光通信システムや特許文献２の画像観察装置では、使用する際に、エタロンの分光透過率特性の校正を行い、そのずれを認識するとともに、そのずれを解消するための調整を行っている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００９】

【特許文献１】特開平０９－１８６６７３号公報

【特許文献２】特開２００５－３０８６８８号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【００１０】

特許文献１の光通信システムでは、送信用の光の光路と独立して設けられた校正用の光の光路において校正を行う構成となっている。

【００１１】

しかし、特許文献１の光通信システムにおいてこのような構成を採用できるのは、光通信に関する用途において必要とされるエタロンの口径が数十～数百μｍ程度であり、エタロンの製造誤差の影響がそれほど問題とならないためである。つまり、必要とされるエタロンの口径が数ｍｍ以上である分光イメージング装置においては、エタロンの製造誤差が大きく影響してしまうため、このような構成を採用しても、正確な校正を行うことができないという問題があった。

【００１２】

一方、特許文献２の画像観察装置では、同一の光路で校正と撮像を行っているため、エタロンの製造誤差が校正に影響を及ぼさない。

【００１３】

しかし、特許文献２の画像観察装置のような構成の場合、光路が同一であるため、校正を撮像と同時に行うことは困難であるという問題があった。また、校正を撮像と同時に行わず別個に行った場合には、校正を行った後、実際に撮像を行う際に、すでに分光透過率特性にずれが生じていても、そのずれを認識することができず、結果として、正確な校正が行えないという問題があった。さらに、校正と撮像とを同時に行うと、校正に用いる光の波長帯域と撮像に用いる光の波長帯域とが同一であるため、撮影している画像の画質が低下するなどの影響が生じてしまうという問題があった。

【００１４】

本発明は、このような従来技術の問題点に鑑みてなされたものであり、その目的とする

ところは、任意のタイミングで高精度な校正を行うことができる分光透過率可変素子を備えた分光イメージング装置、及び、任意のタイミングで高精度に行うことができる分光イメージング装置の分光透過率可変素子の調整方法を提供することである。

【課題を解決するための手段】

【００１５】

上記の目的を達成するために、波長に対して周期的に透過率が変動する分光透過率特性を有していて該変動周期を変化させることができ被観察物体からの光を複数のピーク波長を有する光に変換する分光透過率可変素子と、前記複数のピーク波長を有する光から使用者が指定した指令波長近傍のピーク波長を含む撮像用の光と該指令波長近傍のピーク波長以外のピーク波長を含む校正用の光とを抽出する光抽出手段と、前記撮像用の光により形成される前記被観察物体の像を撮影する撮像素子と、前記校正用の光から前記指令波長近傍のピーク波長以外のピーク波長を検出する検出器と、前記検出器により検出された前記校正用の光の有する前記指令波長近傍のピーク波長以外のピーク波長から前記撮像用の光の有する前記指令波長近傍のピーク波長を算出し該算出した前記指令波長近傍のピーク波長と前記指令波長とのずれを算出し該ずれの量に基づいて前記変動周期の調整量を決定する演算処理部と該調整量に基づいて前記分光透過率可変素子を駆動させて前記変動周期を変化させる駆動処理部とを含む制御手段とを備えることを特徴とする。

【００１６】

また、本発明の分光イメージング装置は、前記光抽出手段が、ダイクロイックミラーであることが好ましい。

【００１７】

また、本発明の分光イメージング装置は、前記光抽出手段が、前記分光透過率可変素子を透過した光の光路上に配置されたビームスプリッターと、該ビームスプリッターにより分割された一方の光の光路上に配置されていて前記撮像用の光のみを透過するフィルターと、該ビームスプリッターにより分割された他方の光の光路上に配置されていて前記校正用の光のみを透過するフィルターとにより構成されていることが好ましい。

【００１８】

また、本発明の分光イメージング装置は、前記光抽出手段が、前記分光透過率可変素子の前記撮像装置側に配置されていて前記分光透過率可変素子を透過した光から前記撮像用の光のみを透過するフィルターと、前記分光透過率可変素子と前記被観察物体との間に配置されていて前記被観察物体からの光を透過し前記分光透過率可変素子で反射された光を反射するハーフミラーと、前記ハーフミラーからの光のうち前記校正用の光のみを透過するフィルターとにより構成されていることが好ましい。

【００１９】

また、本発明の分光イメージング装置は、前記校正用の光の含むピーク波長を含み前記撮像用の光の含むピーク波長を含まない波長帯域の光を発する校正用光源と、前記被観察物体と前記分光透過率可変素子との間に配置されていて前記校正用光源からの光の光路を前記被観察物体からの光の光路と合成する光路合成手段とを備えていることが好ましい。

【００２０】

また、本発明の分光イメージング装置は、前記分光透過率可変素子が、対向するように配置された一対の基板を備えており、該一対の基板の面間隔を変化させることにより該分光透過率特性の変動周期を変化させることができることが好ましい。

【００２１】

また、本発明の分光イメージング装置は、前記指令波長近傍のピーク波長以外のピーク波長が、該指令波長近傍のピーク波長と隣接するピーク波長であることが好ましい。

【００２２】

また、本発明の分光イメージング装置は、校正用光源を備えている場合、前記指令波長近傍のピーク波長以外のピーク波長が、該指令波長近傍のピーク波長と隣接し、且つ、該指令波長近傍のピーク波長よりも短波長帯域に存在するピーク波長であり、前記分光透過率可変素子が、対向するように配置された一対の基板を備えており、該一対の基板の面間

隔を変化させることにより該分光透過率特性の変動周期を変化させることができ、前記校正用光源の発する光が、以下の条件式（１）、（２）を満足することが好ましい。

$$\lambda_{m+1}-\frac{FWHM_{m+1}}{2}\leq\lambda_{ref}\leq\lambda_{m+1}+\frac{FWHM_{m+1}}{2} \quad \cdots (1)$$

$$\lambda_{m+2}<\lambda_{ref}<\lambda_{Em\ min} \quad \cdots (2)$$

但し、

$$\lambda_{m+1}=\frac{m}{m+1}\cdot\lambda_m$$

$$\lambda_{m+2}=\frac{m}{m+2}\cdot\lambda_m$$

$$FWHM_{m+1}=\frac{\lambda_{m+1}^2}{m\cdot\lambda_m}\cdot\frac{1-R}{\pi\sqrt{R}}$$

$$2ndcos\theta = m\lambda_m$$

であり、ｍは１以上の整数、λ_{ref}は前記校正用光源の波長帯域、λ_mは前記指令波長近傍のピーク波長、λ_{m+1}、λ_{m+2}は前記指令波長近傍のピーク波長以外のピーク波長、λ_{Em-min}は前記撮像素子に入射する光の最短波長、$FWHM_{m+1}$は前記ピーク波長λ_{m+1}の半値全幅、Ｒは前記一対の基板の対向する面の反射率、ｎは前記一対の基板間の媒質の屈折率、ｄは前記一対の基板の面間隔、θは前記一対の基板に対する前記被観察物体からの光の入射角である。

【００２３】

また、本発明の分光イメージング装置は、前記指令波長近傍のピーク波長以外のピーク波長が、該指令波長近傍のピーク波長と隣接し、且つ、該指令波長近傍のピーク波長よりも長波長帯域に存在するピーク波長であり、前記分光透過率可変素子が、対向するように配置された一対の基板を備えており、該一対の基板の面間隔を変化させることにより該分光透過率特性の変動周期を変化させることができ、前記校正用光源の発する光が、以下の条件式（１）’、（２）’を満足することが好ましい。

$$\lambda_{m-1}-\frac{FWHM_{m-1}}{2}\leq\lambda_{ref}\leq\lambda_{m-1}+\frac{FWHM_{m-1}}{2} \quad \cdots (1)'$$

$$\lambda_{Em-max}<\lambda_{ref}<\lambda_{m-2} \quad \cdots (2)'$$

但し、

$$\lambda_{m-1}=\frac{m}{m-1}\cdot\lambda_m$$

$$\lambda_{m-2}=\frac{m}{m-2}\cdot\lambda_m$$

$$FWHM_{m-1}=\frac{\lambda_{m-1}^2}{m\cdot\lambda_m}\cdot\frac{1-R}{\pi\sqrt{R}}$$

$$2ndcos\theta = m\lambda_m$$

であり、ｍは１以上の整数、λ_{ref}は前記校正用光源の波長帯域、λ_mは前記指令波長近傍

のピーク波長、λ_{m-1}、λ_{m-2}は前記指令波長近傍のピーク波長以外のピーク波長、λ_{Em-max}は前記撮像素子に入射する光の最長波長、$FWHM_{m-1}$は前記ピーク波長λ_{m-1}の半値全幅、Ｒは前記一対の基板の対向する面の反射率、ｎは前記一対の基板間の媒質の屈折率、ｄは対向する前記一対の基板の面間隔、θは前記一対の基板に対する前記被観察物体からの光の入射角である。

【００２４】

また、上記の目的を達成するために、本発明の分光イメージング装置の分光透過率可変素子の調整方法は、波長に対して周期的に透過率が変動する分光透過率特性を有していて該変動周期を変化させることができ被観察物体からの光を複数のピーク波長を有する光に変換する分光透過率可変素子と、使用者が指定した指令波長近傍の波長帯域の光により前記被観察物体の像を撮影する撮像素子を備えた分光イメージング装置の調整方法において、光抽出手段が、前記分光透過率可変素子を介して変換した複数のピーク波長を有する光から前記指令波長近傍のピーク波長を含む撮像用の光と該指令波長近傍のピーク波長以外のピーク波長を含む校正用の光とを抽出し、制御手段が、検出器によって前記校正用の光から検出された前記指令波長近傍のピーク波長以外のピーク波長から前記撮像用の光の有する前記指令波長近傍のピーク波長を算出し、該算出した前記指令波長近傍のピーク波長と前記指令波長とのずれを算出し、該ずれの量に基づいて前記分光透過率可変素子の前記変動周期を調整することを特徴とする。

【発明の効果】

【００２５】

本発明によれば、任意のタイミングで高精度な校正を行うことができる分光透過率可変素子を備えた分光イメージング装置、及び、任意のタイミングで高精度に行うことができる分光イメージング装置の分光透過率可変素子の調整方法を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【００２６】

【図１】本発明に用いる分光透過率可変素子の一例であるエタロンの構成を模式的に示す断面図である。

【図２】図１のエタロンの波長に対する透過率特性の一例を示す特性図である。

【図３】実施例１の分光イメージング装置の構成を示す模式図である。

【図４】図３の分光イメージング装置が備えているエタロンの波長に対する透過率特性の一例を示す特性図である。

【図５】図３の分光イメージング装置が備えているダイクロイックミラーの波長に対する透過率特性を示す特性図である。

【図６】図３の分光イメージング装置が備えている撮像用フィルターの波長に対する透過率特性を示す特性図であり、（ａ）は第１撮像用フィルターの透過率特性、（ｂ）は第２撮像用フィルターの透過率特性、（ｃ）は撮像用フィルター全体の透過率特性を示している。

【図７】図３の分光イメージング装置が備えている校正用フィルターの波長に対する透過率特性を示す特性図であり、（ａ）は第１校正用フィルターの透過率特性、（ｂ）は第２校正用フィルターの透過率特性、（ｃ）は校正用フィルター全体の透過率特性を示している。

【図８】図３の分光イメージング装置に入射する光の波長に対する強度を示す特性図である。

【図９】図３の分光イメージング装置が備えている分光透過率可変素子を透過した光の波長に対する強度を示す特性図である。

【図１０】図３の分光イメージング装置が備えている光抽出手段の撮像用フィルターを透過した光の波長に対する強度を示す特性図である。

【図１１】図３の分光イメージング装置が備えている光抽出手段の校正用フィルターを透過した光の波長に対する強度を示す特性図である。

【図１２】図３の分光イメージング装置が行う処理の手順を示すフローチャート図である

。
【図１３】使用者が指定した指令波長近傍の波長帯域を示す特性図である。
【図１４】図３の分光イメージング装置が備えている撮像素子に入射する光の波長に対する強度を示す特性図であり、（ａ）はエタロンにより変換された光のピーク波長と使用者が指定した指令波長とが一致している場合、（ｂ）はエタロンにより変換された光のピーク波長と使用者が指定した指令波長とが一致していない場合を示している。
【図１５】実施例２の分光イメージング装置の構成を示す模式図である。
【図１６】校正用光源の発する光の波長に対する強度を示す特性図である。
【図１７】図１５の分光イメージング装置の備えている光抽出手段のハーフミラーの波長に対する透過率特性を示す特性図である。
【図１８】校正用光源が光を発していない状態の図１５の分光イメージング装置のエタロンに入射する光の波長に対する強度を示す特性図である。
【図１９】校正用光源が光を発していない状態の図１５の分光イメージング装置に図１８の特性を有する光が入射した場合に、検出器に到達する光の波長に対する強度を示す特性図であり、（ａ）はエタロンにより変換された光のピーク波長と使用者が指定した指令波長とが一致している場合、（ｂ）はエタロンにより変換された光のピーク波長と使用者が指定した指令波長とが一致していない場合を示している。
【図２０】校正用光源が光を発している状態の図１５の分光イメージング装置のエタロンに入射する光の波長に対する強度を示す特性図である。
【図２１】校正用光源が光を発している状態の図１５の分光イメージング装置に図２０の特性を有する光が入射した場合に、検出器に到達する光の波長に対する強度を示す特性図であり、（ａ）はエタロンにより変換された光のピーク波長と使用者が指定した指令波長とが一致している場合、（ｂ）はエタロンにより変換された光のピーク波長と使用者が指定した指令波長とが一致していない場合を示している。
【図２２】実施例３の分光イメージング装置の構成を示す模式図である。
【図２３】実施例４の分光イメージング装置の構成を示す模式図である。
【図２４】実施例５の分光イメージング装置の構成を示す模式図である。
【図２５】エタロンで反射することにより変換された光の波長に対する強度を示す特性図である。
【図２６】実施例６の分光イメージング装置の構成を示す模式図である。
【図２７】実施例７の分光イメージング装置の構成を示す模式図である。
【図２８】実施例８の分光イメージング装置の構成を示す模式図である。
【発明を実施するための形態】
【００２７】
まず、本発明の分光イメージング装置の実施例の説明に先立ち、本発明の分光イメージング装置が備えている分光透過率可変素子について図面を参照して説明する。
【００２８】
図１は、本発明に用いる分光透過率可変素子の一例であるエタロンの構成を模式的に示す断面図である。図２は、図１のエタロンの波長に対する透過率特性の一例を示す特性図である。
【００２９】
本発明の分光イメージング装置に用いられる分光透過率可変素子の代表的なものとしては、エアギャップ式のファブリペロー・エタロンが知られている。そこで、以下においては、そのエタロンを用いて、本発明の分光透過率可変素子についての説明を行う。
【００３０】
図１に示すように、エタロン１は、対向するように配置された一対の光学基板１ａと、反射コート１ｂと、静電容量センサ１ｃと、圧電素子１ｄとにより構成されている。
【００３１】
一対の光学基板１ａは、精密に研磨されたガラス等の透明な部材で形成された２枚のプレートを、非常に高い平行度となるように配置したものである。

【００３２】
２つの反射コート１ｂは、一対の基板１ａの対向する面上であって、少なくともエタロン１を透過する光束の通過する部分に、互いに対向するようにして、それぞれ形成されている。
【００３３】
２つ静電容量センサ１ｃは、それぞれ電極１ｃ$_1$と電極１ｃ$_2$とからなっており、それらの電極１ｃ$_1$と電極１ｃ$_2$は、一対の対向する光学基板１ａの対向する面上であって、エタロン１を透過する光束を遮らない部分に、互いに対向するようにして配置されている。これらの静電容量センサ１ｃは、それぞれの電極１ｃ$_1$と電極１ｃ$_2$との間の静電容量が面間隔に比例して変化するという特性を有しており、その静電容量を電圧信号に変換して出力するようになっている。
【００３４】
複数の圧電素子１ｄは、一対の対向する光学基板１ａの間であって、エタロン１を透過する光束を遮らない部分に取り付けられている。これらの圧電素子１ｄは、電圧を加えることにより、一対の対向する光学基板１ａの対向する面の間隔、すなわち、２つの反射コート１ｂの面間隔を変化させることができるようになっている。
【００３５】
このような構成のエタロン１は、図２に示すように、波長に対して周期的に透過率が大きく変動する分光透過率特性を有している。そのため、エタロン１を透過した光やエタロン１で反射された光は、複数のピーク波長を有する光に変換されることになる。
【００３６】
また、このような構成のエタロンの分光透過率特性は、エタロン自体の構成により決定されるという特性を有している。例えば、波長に対する透過率（Ｔ）は、反射コートの反射率等により決定される。また、波長に対する透過率の変動周期、すなわち、ピークとなる波長同士の間隔である自由スペクトル領域（ＦＳＲ）は、２つの反射コートの面間隔等により決定される。さらに、透過率（Ｔ）に対する波長の半値全幅（ＦＷＨＭ）は、自由スペクトル領域等により決定される。つまり、図２に示す分光透過率特性は、エタロン１の分光透過率特性の一例に過ぎない。
【００３７】
具体的には、このような構成のエタロンの分光透過率特性は、対向する２つの反射コート１ｂ間の媒質の屈折率をｎ、対向する反射コート１ｂ間の間隔をｄ、光の入射角をθとすると、次式を満たす波長λ_mにおいて透過率が最大値となる。

$$2ndcos\theta = m\lambda_m$$

但し、ｍは１以上の整数である。
【００３８】
また、反射コート１ｂの１面の反射率をＲとすると、このような構成のエタロンの透過率（Ｔ）は、次式で表わされる。

$$T=\frac{1}{1+\frac{4R}{(1-R)^2}sin^2\left(\frac{2\pi nd}{\lambda}cos\theta\right)}$$

【００３９】
また、このような構成のエタロンの自由スペクトル領域（ＦＳＲ）は、次式で表される。

$$FSR=\frac{\lambda}{2nd}$$

【００４０】
さらに、このような構成のエタロンの半値全幅（ＦＷＨＭ）は、次式で表される。

$$FWHM = FSR \cdot \frac{1-R}{\pi\sqrt{R}} = \frac{\lambda^2}{2nd} \cdot \frac{1-R}{\pi\sqrt{R}}$$

【００４１】
このため、エタロン１では、圧電素子１ｄにより、２つの反射コート１ｂの面間隔を自在に変化させることができるので、自由スペクトル領域を自在に変化させることができる。つまり、エタロン１では、透過率がピークとなる波長を、２つの反射コート１ｂの面間隔から算出することができる。
【００４２】
なお、上述したように、このエタロン１は、本発明の分光透過率可変素子の一例に過ぎない。つまり、本発明の分光透過率可変素子は、このエタロン１のような透過率特性を有するものであれば良い。
【００４３】
以下、本発明の実施例について、図面を参照して詳細に説明する。
【実施例１】
【００４４】
図３～図１０を用いて、本実施例に係る分光イメージング装置について詳細に説明する
【００４５】
なお、図３は、本実施例の分光イメージング装置の構成を示す模式図である。図４は、図３の分光イメージング装置が備えているエタロンの波長に対する透過率特性の一例を示す特性図である。図５は、図３の分光イメージング装置が備えているダイクロイックミラーの波長に対する透過率特性を示す特性図である。図６は、図３の分光イメージング装置が備えている撮像用フィルターの波長に対する透過率特性を示す特性図であり、（ａ）は第１撮像用フィルターの透過率特性、（ｂ）は第２撮像用フィルターの透過率特性、（ｃ）は撮像用フィルター全体の透過率特性を示している。図７は、図３の分光イメージング装置が備えている校正用フィルターの波長に対する透過率特性を示す特性図であり、（ａ）は第１校正用フィルターの透過率特性、（ｂ）は第２校正用フィルターの透過率特性、（ｃ）は校正用フィルター全体の透過率特性を示している。
【００４６】
また、図８は、図３の分光イメージング装置に入射する光の波長に対する強度を示す特性図である。図９は、図３の分光イメージング装置が備えている分光透過率可変素子を透過した光の波長に対する強度を示す特性図である。図１０は、図３の分光イメージング装置が備えている光抽出手段の撮像用フィルターを透過した光の波長に対する強度を示す特性図である。図１１は、図３の分光イメージング装置が備えている光抽出手段の校正用フィルターを透過した光の波長に対する強度を示す特性図である。
【００４７】
さらに、図１２は、図３の分光イメージング装置が行う処理の手順を示すフローチャート図である。図１３は、使用者が指定した指令波長近傍の波長帯域を示す特性図である。図１４は、図３の分光イメージング装置が備えている撮像素子に入射する光の波長に対する強度を示す特性図であり、（ａ）はエタロンにより変換された光のピーク波長と使用者が指定した指令波長とが一致している場合、（ｂ）はエタロンにより変換された光のピーク波長と使用者が指定した指令波長とが一致していない場合を示している。
【００４８】
まず、図３～図７を用いて、本実施例の分光イメージング装置の構成について説明する。
【００４９】
本実施例の分光イメージング装置は、図３に示すように、エタロン１と、対物光学系２と、光抽出手段３と、結像光学系４と、撮像素子５と、集光光学系６と、ライトガイドファイバー７と、検出器８と、制御手段９とを備えている。
【００５０】

分光透過率可変素子であるエタロン１は、対物光学系２から出射される光の光路上に配置されている。

【００５１】

このエタロン１は、図１に示したエタロンと同様の構成である。そのため、エタロン１は、図４に示すように波長に対して周期的に透過率が大きく変動する分光透過率特性を有しており、その変動周期、すなわち、透過率がピークとなる波長とその波長同士の間隔である自由スペクトル領域は、一対の光学基板、すなわち、それらに形成された反射コートの面間隔を変化させることにより、任意に変化させることができるようになっている。

【００５２】

なお、このエタロン１では、反射コートの面間隔を変化させることにより、透過率がピークとなる波長λ_mを約５００～５８０ｎｍの波長帯域内、波長λ_mよりも短波長帯域でピークとなる波長λ_{m+1}を約４１０～４８０ｎｍの波長帯域内で変化させることができるようになっている。なお、波長λ_mは次数がｍであるときの波長である。また、波長λ_{m+1}は次数がｍ＋１であるときの波長である。

【００５３】

光抽出手段３は、エタロン１から出射される光の光路上に配置されたダイクロイックミラー３ａと、ダイクロイックミラー３ａを透過し結像光学系４及び撮像素子５の配置された方向へ向かう光の光路上に配置された撮像用フィルター３ｂと、ダイクロイックミラー３ａで反射され集光光学系６の配置された方向へ向かう光の光路上に配置された校正用フィルター３ｃにより構成されている。なお、撮像用フィルター３ｂは、第１撮像用フィルター$3b_1$と第２撮像用フィルター$3b_2$とにより構成されている。また、校正用フィルター３ｃは、第１校正用フィルター$3c_1$と第２校正用フィルター$3c_2$とにより構成されている。

【００５４】

なお、ダイクロイックミラー３ａは、図５に示すように、撮像用の光を含む波長帯域の光（約４９０ｎｍ以上）のみを透過し、それ以外の波長帯域（約４９０ｎｍ以下）の光を反射する透過率特性を有している。

【００５５】

また、撮像用フィルター３ｂのうち、第１撮像用フィルター$3b_1$は、図６（ａ）に示すように約５００ｎｍ以下の波長帯域の光を遮断するような透過率特性を有している。一方、第２撮像用フィルター$3b_2$は、図６（ｂ）に示すように約５８０ｎｍ以上の波長帯域の光を遮断するような透過率特性を有している。そのため、撮像用フィルター３ｂは全体として、図６（ｃ）に示すように約５００～５８０ｎｍの波長帯域内の光以外を遮断するような透過率特性を有することになる。なお、この撮像用フィルター３ｂが透過する光の波長帯域は、エタロン１の透過率がピークとなる波長のうち、長波長帯域の波長λ_mを変化させ得る波長帯域と略一致するようになっている。

【００５６】

また、この光抽出手段３を構成する校正用フィルター３ｃのうち、第１校正用フィルター$3c_1$は、図７（ａ）に示すように約４１０ｎｍ以下の波長帯域の光を遮断するような透過率特性を有している。一方、第２校正用フィルター$3c_2$は、図７（ｂ）に示すように約４８０ｎｍ以上の波長帯域の光を遮断するような透過率特性を有している。そのため、校正用フィルター３ｃは全体として、図７（ｃ）に示すように約４１０～４８０ｎｍの波長帯域内の光以外を遮断するような透過率特性を有することになる。なお、この校正用フィルター３ｃが透過する光の波長帯域は、エタロン１の透過率がピークとなる波長のうち、短波長帯域の波長λ_{m+1}を変化させ得る波長帯域と略一致するようになっている。

【００５７】

撮像素子５は、光抽出手段３の撮像用フィルター３ｂを通過した光により結像光学系４が像を結ぶ位置と撮像面とが一致するように配置されている。なお、この撮像素子５には、不図示の画像表示手段が接続されており、撮影された像は、その画像表示手段に表示される。

【００５８】
集光光学系６は、光抽出手段３の校正用フィルター３ｃを通過した光の光路上に配置されており、その光をライトガイドファイバー７の入射端面に集光する。
【００５９】
ライトガイドファイバー７は、検出器８に接続されており、その検出器８に、集光光学系６により集光された光を導く。
【００６０】
検出器８は、ライトガイドファイバー７に導かれて入射した光、すなわち、光抽出手段３の校正用フィルター３ｃを通過した光のピーク波長を検出する。
【００６１】
制御手段９は、エタロン１と検出器８とに接続されており、その内部に演算処理部９ａと駆動処理部９ｂとを有している。なお、演算処理部９ａは、エタロン１の静電容量センサ１ｃからの情報と検出器８からの情報を取得して、それらの情報に基づいて演算を行う。また、駆動処理部９ｂは、演算処理部９ａからの指令に基づき、エタロン１の電圧素子１ｄを駆動させるとともに、エタロン１の静電容量センサ１ｃからの情報を取得して、フィードバック制御を行う。
【００６２】
次に、図３～図１１を用いて、本実施例の分光イメージング装置を通過する光と、その光路について説明する。
【００６３】
被観察物体からの光は、対物光学系２により、エタロン１に導かれる。そして、そのエタロン１は、波長に対して透過率が周期的に変動する図４に示すような分光透過率特性を有しているため、エタロン１に入射した被観察物体からの光が図８において斜線で示すような特性を有している場合には、被観察物体からの光は、図９において斜線で示すような複数のピーク波長を有する光に変換され出射される。
【００６４】
なお、上述したように、本実施例の分光イメージング装置に用いられているエタロン１は、反射コートの面間隔に応じて、分光透過率特性の自由スペクトル領域が決定される。つまり、エタロン１により変換された光のピーク波長も、反射コートの面間隔に応じて変化する。したがって、図９に示すようなピーク波長を有する光は、このエタロン１により変換された光の一例に過ぎない。
【００６５】
そして、エタロン１により変換された光は、光抽出手段３のダイクロイックミラー３ａに入射する。そして、ダイクロイックミラー３ａは、上述したように、図５に示すような透過率特性を有している。そのため、ダイクロイックミラー３ａに入射した光のうち、撮像用の光を含む波長帯域（約４９０ｎｍ以上）の光は透過して撮像素子５方向へ出射され、それ以外の波長帯域（約４９０ｎｍ以下）の光は反射されて検出器８方向へ出射される。
【００６６】
ダイクロイックミラー３ａを透過した光は、光抽出手段３の撮像用フィルター３ｂに入射する。この撮像用フィルター３ｂは、上述したように、全体として図６（ｃ）に示すような透過率特性を有している。そのため、この撮像用フィルター３ｂを透過して出射された光は、図１０において斜線で示すような特性を有する光となる。
【００６７】
その後、撮像用フィルター３ｂを透過した光は、結像光学系４を介して、撮像素子５の撮像面上に像を形成する。その結果、本実施例の分光イメージング装置では、所定の波長帯域の光の強度のみが強い光によって形成された画像が撮影される。そのため、本実施例の分光イメージング装置では、例えば、エタロン１の分光透過率特性を変化させつつ同一の観察範囲の画像を撮影することにより、その観察範囲内のいずれの部分がどのような光を発しているのかを測定することができる。

【００６８】
一方、ダイクロイックミラー３ａに反射された光は、光抽出手段３の校正用フィルター３ｃに入射する。この校正用フィルター３ｃは、上述したように、全体として図７（ｃ）に示すような透過率特性を有している。そのため、この校正用フィルター３ｃを透過して出射された光は、図１１において斜線で示すような特性を有する光になる。
【００６９】
その後、校正用フィルター３ｃを透過した光は、集光光学系６とライトガイドファイバー７とを介して、検出器８へ入射する。その結果、本実施例の分光イメージング装置では、画像を形成する光を含まない波長帯域に存在するピーク波長が検出器８において検出される。
【００７０】
ここで、図１２のフローチャート図を参照しつつ、図１、図１３及び図１４を用いて、本実施例の分光イメージング装置の分光透過率可変素子の調整方法とその手順について説明する。
【００７１】
例えば、図１３で示すような波長λ_o（５５５ｎｍ）を中心とする一定範囲の波長帯域（５５０～５６０ｎｍ）の光が、被観察物体のいずれの部分から発せられているのかを、本実施例の分光イメージング装置を用いて測定するとする。
【００７２】
その際、まず、使用者が、指定した波長（指令波長λ_o）を制御手段９に入力する（ステップ１）と、制御手段９の演算処理部９ａは、その内部に備えているルックアップテーブルから、指令波長λ_oに対応するセンサ出力値（指令電圧V_o）を取得し（ステップ２）、それを駆動処理部９ｂに送信する。
【００７３】
その後、駆動手段９ｂは、エタロン１の備える静電容量センサの出力値Ｖｓを取得する（ステップ３）。そして、駆動手段９ｂは、指令電圧Ｖｏと静電容量センサの出力値Ｖｓとを比較し（ステップ４）、その値が一致するまで圧電素子を駆動させてエタロン１の反射コートの面間隔を変更する（ステップ５）。そして、指令電圧V_oと静電容量センサの出力値V_sとが等しくなった後、検出器８は、そのとき入射している校正用の光から、短波長帯域のピーク波長λ_{m+1}を検出する（ステップ６）。
【００７４】
ところで、上述したように、エタロン１の透過率がピークとなる波長同士の間隔である自由スペクトル領域は、一対の反射コートの面間隔により算出することができる。すなわち、短波長帯域でエタロン１の透過率がピークとなる波長λ_{m+1}と一対の反射コートの面間隔とから、長波長帯域でエタロン１の透過率がピークとなる波長λ_mを算出することができる。つまり、撮像用の光を直接用いなくとも、校正用の光のピーク波長λ_{m+1}から、撮像用の光のピーク波長λ_mを算出することができる。
【００７５】
そこで、次に、制御手段９の演算処理部９ａは、エタロン１の静電容量センサから取得した値V_sからエタロン１の一対の反射コートの面間隔を算出し、その算出した面間隔と検出器８で取得したピーク波長λ_{m+1}とから撮像用の光に含まれているピーク波長λ_mを算出する（ステップ７）。なお、このとき、検出器８で取得したピーク波長λ_{m+1}と撮像用の光に含まれているピーク波長λ_mとの関係は、次式で表わされる。

$$\lambda_m = \frac{m+1}{m} \cdot \lambda_{m+1}$$

【００７６】
その後、演算処理部９ａは、その算出した波長λ_mの値と指令波長λ_oとを比較する（ステップ８）。
【００７７】

このとき、撮像用の光のピーク波長λ_mと使用者が指定した指令波長λ_oとが一致するのであれば、図１４（ａ）において斜線で示した部分のように、画像を形成する光の強度は十分に強くなり、十分な光量で撮像を行うことができる。つまり、目的とする波長における物体面の分光画像を取得することができる。そのため、指令波長λ_oを変更しつつ繰り返し波長走査を行えば、被観察物体に含まれるスペクトル成分を正確に抽出することができる。

【００７８】

そこで、波長λ_mの値と指令波長λ_oとの値が一致した場合には、不図示の画像表示手段に画像が表示される（ステップ９）。

【００７９】

一方、撮像用の光のピーク波長λ_mと使用者が指定した指令波長λ_oとが大きくずれていると、図１４（ｂ）において斜線で示した部分のように、画像を形成する光の強度は波長λ_mと波長λ_oとが一致している場合に比べ非常に弱くなり、十分な光量で撮像を行うことができない。つまり、目的とする波長における物体面の分光画像を取得することができない。そのため、指令波長λ_oを変更しつつ繰り返し波長走査しても、被観察物体に含まれるスペクトル成分を正確に抽出することができない。そして、十分な光量で撮像を行うためには、撮像用の光のピーク波長λ_m、すなわち、エタロン１の透過率が長波長帯域でピークとなる波長λ_mと使用者が指定した指令波長λ_oとが一致するように、エタロン１を調整する必要がある。

【００８０】

そこで、波長λ_mの値と指令波長λ_oとの値が一致しない場合には、制御手段９が、それらのずれの量に基づいて、指令波長λ_oとそれに対応するセンサ出力値（指令電圧V_o）に関するルックアップテーブルの変更を行う（ステップ１０）。そして、算出される波長λ_mの値と指令波長λ_oが一致するまで、ステップ２～８までの処理を繰り返し行う。

【００８１】

このように、本実施例の分光イメージング装置は、分光透過率可変素子の調整を、撮像を行っている最中であればいつでも、使用者の任意のタイミングで行うことができる。そして、この調整方法によれば、調整に必要な校正と画像観察との間に時間的なずれが生じないため、非常に高精度な調整を行うことが可能となる。

【００８２】

また、本実施例の分光イメージング装置は、画像観察を行うためのエタロンと同一のエタロンを用いて、且つ、画像観察を行うための光路と同一の光路を用いて校正を行っている。そのため、エタロン自体の製造誤差が校正に影響することはあり得ない。

【００８３】

また、本実施例の分光イメージング装置は、単一の分光透過率可変素子を介して変換された光から撮像用の光と校正用の光とを抽出した後に、撮像用の光のみを用いて撮像を行うとともに、校正用の光のみを用いて分光透過率可変素子の調整を行っている。そのため、撮像用の光の光量を低下させることなく、校正用の光を抽出することができ、撮影する画像の画質が低下することもない。

【実施例２】

【００８４】

図１５～図２１を用いて、本実施例に係る分光イメージング装置について詳細に説明する。

【００８５】

なお、図１５は、本実施例の分光イメージング装置の構成を示す模式図である。図１６は、校正用光源の発する光の波長に対する強度を示す特性図である。図１７は、図１５の分光イメージング装置の備えている光抽出手段のハーフミラーの波長に対する透過率特性を示す特性図である。

【００８６】

また、図１８は、校正用光源が光を発していない状態の図１５の分光イメージング装置

のエタロンに入射する光の波長に対する強度を示す特性図である。図１９は、校正用光源が光を発していない状態の本実施例の分光イメージング装置に、図１８の特性を有する光が入射した場合に、検出器に到達する光の波長に対する強度を示す特性図であり、（ａ）はエタロンにより変換された光のピーク波長と使用者が指定した指令波長とが一致している場合、（ｂ）はエタロンにより変換された光のピーク波長と使用者が指定した指令波長とが一致していない場合を示している。図２０は、校正用光源が光を発している状態の図１５の分光イメージング装置のエタロンに入射する光の波長に対する強度を示す特性図である。図２１は、校正用光源が光を発している状態の本実施例の分光イメージング装置に図２０の特性を有する光が入射した場合に、検出器に到達する光の波長に対する強度を示す特性図であり、（ａ）はエタロンにより変換された光のピーク波長と使用者が指定した指令波長とが一致している場合、（ｂ）はエタロンにより変換された光のピーク波長と使用者が指定した指令波長とが一致していない場合を示している。

【００８７】

なお、本実施例の分光イメージング装置において、実施例１の分光イメージング装置とほぼ同じ構成や作用を有する部材には、同一の符号を付し、それらについての詳細な説明は省略する。

【００８８】

まず、図１５～図１７を用いて、本実施例の分光イメージング装置の構成について説明する。

【００８９】

本実施例の分光イメージング装置は、実施例１の分光イメージング装置の構成に加えて、校正用光源１０と、校正光照明光学系１１と、光路合成手段であるハーフミラー１２とを備えている。また、実施例１の分光イメージング装置の光抽出手段３とは異なり、ダイクロイックミラー３ａの代わりに、ハーフミラー３ｄを備えている。

【００９０】

校正用光源１０は、分光イメージング装置の内部に配置されている。この校正用光源１０が発する光は、図１６において斜線で示すような特性、すなわち、本実施例の分光イメージング装置で撮像し得る波長帯域、具体的には、撮像用フィルター３ｂの立ち上がり波長である約５００（λ_{Em-min}）ｎｍから立ち下がり波長である約５８０（λ_{Em-max}）ｎｍの波長帯域の光を含まず、且つ、エタロン１の校正に用いるピーク波長の存在し得る約４１０～４８０ｎｍの波長帯域（λ_{ref}）の光を含むという特性を有するものである。

【００９１】

なお、校正用光源１０は、発する光の波長帯域（λ_{ref}）が、撮像素子に入射する光のピーク波長の次数をｍとし、その波長をλ_mとした場合、以下の式（１）、（２）を満足するように構成されている。

$$\lambda_{m+1}-\frac{FWHM_{m+1}}{2}\leq\lambda_{ref}\leq\lambda_{m+1}+\frac{FWHM_{m+1}}{2} \quad \cdots (1)$$

$$\lambda_{m+2}<\lambda_{ref}<\lambda_{Em-min} \quad \cdots (2)$$

但し、

$$\lambda_{m+1}=\frac{m}{m+1}\cdot\lambda_m$$

$$\lambda_{m+2}=\frac{m}{m+2}\cdot\lambda_m$$

$$FWHM_{m+1}=\frac{\lambda_{m+1}^2}{m\cdot\lambda_m}\cdot\frac{1-R}{\pi\sqrt{R}}$$

$$2ndcos\theta = m\lambda_m$$

なお、Ｒは一対の基板の対向する面の反射率、ｎは一対の基板間の媒質の屈折率、ｄは一対の基板の面間隔、θは一対の基板に対する被観察物体からの光の入射角である。

【００９２】

なお、校正用光源１０の発する光が、この条件式（１）に規定する波長帯域の光を含んでいない場合、十分な精度で校正のためのピーク波長を検出することができない。また、この条件式（２）の下限値を下回ると、カットする帯域を広くしなければならないため、撮像用フィルターやビームスプリッターの製造が困難になり、その結果として、製造コストの増大につながってしまう。一方、この条件式（２）の上限値を上回ると、校正用の光が撮像用の光の波長帯域に含まれてしまうため、正確な分光画像を取得することができなくなってしまう。

【００９３】

校正光照明光学系１１は、校正用光源１０とハーフミラー１２との間に配置されている。この校正光照明光学系１１により、校正用光源１０からの光は、ハーフミラー１２へ導かれる。

【００９４】

ハーフミラー１２は、校正光照明光学系１１により導かれた校正用光源１０からの光の光路と対物光学系２によりエタロン１へ導かれる被観察物体からの光の光路とが交わる位置に配置されている。このハーフミラー３ｄにより、校正用光源１０からの光は、被観察物体からの光に合成される。

【００９５】

光抽出手段３がダイクロイックミラー３ａに代わり備えているハーフミラー３ｄは、図１７に示すような透過率特性を有しており、入射した光の７０％がハーフミラー３ｄを透過して撮像素子５方向へ出射され、入射した光の３０％がハーフミラー３ｄにより反射されて検出器８方向へ出射される。

【００９６】

次に、図１５～図２０を用いて本実施例の分光イメージング装置を通過する光と、その光路について説明する。

【００９７】

本実施例の分光イメージング装置において、校正用光源１０が光を発していない場合には、エタロン１に入射する光は、被観察物体からの光のみとなる。

【００９８】

ここで、被観察物体からの光が、図１８において斜線で示すように非常に微弱な強度しか有していない場合、検出器８にまで到達する光は、使用者が指定した指令波長λ_0とエタロン１での透過率がピークとなる波長λ_mとが一致していたとしても、図１９（ａ）において斜線で示すような、微弱な強度しか有さないものになる。さらに、使用者が指定した指令波長λ_0とエタロン１での透過率がピークとなる波長λ_mとが一致していなければ、図１９（ｂ）において斜線で示すような、それらの波長が一致していた場合よりもさらに微弱な強度しか有さないものになる。

【００９９】

その結果、エタロン１の校正や調整を十分にすることができず、正確な測定や画像観察を行うことができない。

【０１００】

しかし、被観察物体からの光が図１８において斜線で示すような非常に微弱な強度しか有していない場合であっても、校正用光源１０が光を発している場合には、エタロン１に入射する光は図２０において斜線で示すような特性を有するものとなる。

【０１０１】

そのため、校正用光源１０が光を発している場合、検出器８にまで到達する光は、使用者が指定した指令波長λ_oとエタロン１の透過率がピークとなる波長λ_mとが一致していてもいなくても、図２１（ａ）や図２１（ｂ）において斜線で示すような特定のピーク波長に対する強度が高いものになる。

【０１０２】

その結果、被観察物体からの光の強度にかかわらず、エタロン１の校正や調整を十分にすることができ、正確な測定や画像観察を行うことができる。

【０１０３】

なお、本実施例の分光イメージング装置では、エタロン１により変換された光は、光抽出手段３によって撮像用の光と校正用の光とに分けられる際、光抽出手段３のハーフミラー３ｄにより、撮像素子５方向には入射した光のうち７０％の光が出射されるが、検出器８方向には入射した光のうち３０％の光しか出射されない。

【０１０４】

しかし、本実施例の分光イメージング装置の場合、校正用の光のピーク波長が存在し得る波長帯域の光を校正用光源が発している状態であれば、たとえ、エタロン１から出射された光のうち３０％の光であっても、十分にピーク波長の検出をすることができる。その結果、本実施例の分光イメージング装置は、被観察物体からの光の強度によらずに、エタロン１の校正や調整を高精度に行うことができる。

【０１０５】

一方、入射光のうち７０％を撮像に用いることができるため、本来測定を行おうとしている被観察物体からの微弱な光を、校正を行いつつ、十分に撮像することができる。なお、この割合は、この値に限定されるものではなく、被観察物体からの光や校正用光源からの光の光量に対応させて、適宜変更してもかまわない。

【０１０６】

また、本実施例の分光イメージング装置の校正用光源１０は、一定の波長帯域の光を照射するようになっている。しかし、その校正用光源１０が照射する光の波長帯域は、使用者が指定した指令波長や検出器が検出するピーク波長に応じて、制御手段９が自動的に変更するようにしても良い。

【０１０７】

なお、その後に行われる画像の形成やエタロン１の調整方法とその手順は、実施例１の分光イメージング装置と同様であるため、その詳細な説明については省略する。

【実施例３】

【０１０８】

図２２を用いて、本実施例に係る分光イメージング装置について詳細に説明する。

【０１０９】

なお、図２２は、本実施例の分光イメージング装置の構成を示す模式図である。

【０１１０】

また、本実施例の分光イメージング装置において、上記実施例の分光イメージング装置とほぼ同じ構成や作用を有する部材には、同一の符号を付し、それらについての詳細な説明は省略する。

【０１１１】

本実施例の分光イメージング装置は、実施例１の分光イメージング装置の構成に加えて、励起用光源１３と、励起光光学系１４と、光路合成手段であるハーフミラー１５とを備

えている。また、実施例２の分光イメージング装置の光抽出手段３と同様に、ダイクロイックミラー３ａの代わりに、ハーフミラー３ｄを備えている。

【０１１２】

励起光光学系１４は、励起用光源１３とハーフミラー１５との間に配置されている。この励起光光学系１４により、励起用光源１３からの光は、ハーフミラー１５へ導かれる。

【０１１３】

ハーフミラー１５は、励起光光学系１４により導かれた励起用光源１３からの光の光路と対物光学系２によりエタロン１へ導かれる被観察物体からの光の光路とが交わる位置に配置されている。

【０１１４】

また、励起用光源１３が発する光は、校正用光源１０の発する光や撮像用の光の波長帯域とは異なる波長帯域の光である。

【０１１５】

励起用光源１３からの光は、まず、このハーフミラー１５で対物光学系２方向へ反射され、その後、対物光学系２を介して被観察物体に照射される。そして、励起光を照射されることにより被観察物体が発する蛍光は、対物光学系２に入射し、その後、ハーフミラー１５を透過してエタロン１に入射する。

【０１１６】

なお、その後に行われる画像の形成やエタロン１の調整方法とその手順は、実施例２の分光イメージング装置と同様であるため、その詳細な説明については省略する。

【０１１７】

本実施例の分光イメージング装置は、このような構成とすることにより、励起光により励起された蛍光についても好適に分光画像を取得することができる。

【実施例４】

【０１１８】

図２３を用いて、本実施例に係る分光イメージング装置について詳細に説明する。

【０１１９】

なお、図２３は、本実施例の分光イメージング装置の構成を示す模式図である。

【０１２０】

また、本実施例の分光イメージング装置において、上記実施例の分光イメージング装置とほぼ同じ構成や作用を有する部材には、同一の符号を付し、それらについての詳細な説明は省略する。

【０１２１】

本実施例の分光イメージング装置は、実施例２の分光イメージング装置とほぼ同じ構成を備えているが、実施例３の分光イメージング装置と同様の励起用光源１３と、励起光光学系１４と、光路合成手段であるハーフミラー１５とを備えている。なお、その他の構成や、エタロン１の校正や調整方法については、他の実施例と同様であるため、詳細な説明については省略する。

【実施例５】

【０１２２】

図２４及び図２５を用いて、本実施例に係る分光イメージング装置について詳細に説明する。

【０１２３】

なお、図２４は、本実施例の分光イメージング装置の構成を示す模式図である。図２５は、エタロンで反射することにより変換された光の波長に対する強度を示す特性図である。

【０１２４】

また、本実施例の分光イメージング装置において、実施例１や実施例２の分光イメージング装置とほぼ同じ構成や作用を有する部材には、同一の符号を付し、それらについての詳細な説明は省略する。

【０１２５】
本実施例の分光イメージング装置は、実施例１の分光イメージング装置とほぼ同じ構成をしているが、光抽出手段の構成が実施例１の分光イメージング装置とは異なっている。
【０１２６】
本実施例の分光イメージング装置は、光抽出手段３が、エタロン１の像側に配置された撮像用フィルター３ｂと、エタロン１の物体側に配置されたハーフミラー３ｄ’と、ハーフミラー３ｄ’と集光光学系６との間に配置された校正用フィルター３ｃとによって構成されている。
【０１２７】
ハーフミラー３ｄ’は、被観察物体からの光の光路上であって対物光学系２とエタロン１との間に配置されている。このハーフミラー３ｄ’は、被観察物体側からの光を透過し、エタロン１側からの光を検出器８方向に向かって反射する特性を有している。
【０１２８】
ところで、本実施例の分光イメージング装置が備えているエタロン１は、上述のように、入射した光が透過した際には、その光を図４に示すような特性を有する光に変換する。このとき、このエタロン１に反射された光は、図２５に示すような特性を有する光となる。本実施例では、この反射された光を用いて、校正用の光のピークを検出する。
【０１２９】
なお、その他の構成や、エタロン１の校正や調整方法については、他の実施例と同様であるため、詳細な説明については省略する。
【０１３０】
本実施例の分光イメージング装置は、このような構成であるため、エタロン１と撮像素子５との間にビームスプリッターを配置する必要がなく、構造を簡略化することができ、撮像用フィルター$３ｂ_{1}$，$３ｂ_{2}$の配置の自由度や、結像光学系４の設計の自由度を上げることができる。
【実施例６】
【０１３１】
図２６を用いて、本実施例に係る分光イメージング装置について詳細に説明する。
【０１３２】
なお、図２６は、本実施例の分光イメージング装置の構成を示す模式図である。
【０１３３】
また、本実施例の分光イメージング装置において、上記実施例の分光イメージング装置とほぼ同じ構成や作用を有する部材には、同一の符号を付し、それらについての詳細な説明は省略する。
【０１３４】
本実施例の分光イメージング装置は、実施例２の分光イメージング装置とほぼ同じ構成を備えているが、光抽出手段の構成が、実施例２の分光イメージング装置とは異なっており、実施例５の分光イメージング装置と同様の構成となっている。
【０１３５】
なお、その他の構成や、エタロン１の校正や調整方法については、他の実施例と同様であるため、詳細な説明については省略する。
【実施例７】
【０１３６】
図２７を用いて、本実施例に係る分光イメージング装置について詳細に説明する。
【０１３７】
なお、図２７は、本実施例の分光イメージング装置の構成を示す模式図である。
【０１３８】
また、本実施例の分光イメージング装置において、上記実施例の分光イメージング装置とほぼ同じ構成や作用を有する部材には、同一の符号を付し、それらについての詳細な説明は省略する。

【０１３９】
本実施例の分光イメージング装置は、実施例６の分光イメージング装置とほぼ同じ構成を備えているが、校正用光源１０と、校正光照明光学系１１と、光路合成手段であるハーフミラー１２の配置位置が、実施例６の分光イメージング装置とは異なっている。
【０１４０】
具体的には、ハーフミラー１２は、対物光学系２とエタロン１との間に配置されたハーフミラー３ｄ’と、校正用フィルター３ｃとの間に配置に配置されている。そして、校正光照明光学系１１は、校正用光源１０からの光を、そのように配置されたハーフミラー１２へと導くように配置されている。
【０１４１】
本実施例の分光イメージング装置では、校正用光源１０と、校正光照明光学系１１と、光路合成手段であるハーフミラー１２が、このような位置に配置されているため、校正用光源１０からの光は、まず、ハーフミラー１２によってハーフミラー３ｄ’方向へ反射され、その後、ハーフミラー３ｄ’によって、被観察物体からの光に合成されエタロン１へと導かれる。そして、エタロン１によって反射された光は、ハーフミラー３ｄ’によってハーフミラー１２方向へ反射され、その後、ハーフミラー１２を透過し、校正用フィルター３ｃ、集光光学系６、ライトガイドファイバー７を介して、検出器８へと導かれる。
【０１４２】
なお、その他の構成や、エタロン１の校正や調整方法については、他の実施例と同様であるため、詳細な説明については省略する。
【０１４３】
本実施例の分光イメージング装置は、このような構成であるため、対物光学系と結像光学系との間に配置しなければならないハーフミラーを１個にすることができ、校正用光源を配置したとしても、光軸に沿う方向に対する装置全長の小型化を図ることができる。
【実施例８】
【０１４４】
図２８を用いて、本実施例に係る分光イメージング装置について詳細に説明する。
【０１４５】
なお、図２８は、本実施例の分光イメージング装置の構成を示す模式図である。
【０１４６】
また、本実施例の分光イメージング装置において、上記実施例の分光イメージング装置とほぼ同じ構成や作用を有する部材には、同一の符号を付し、それらについての詳細な説明は省略する。
【０１４７】
本実施例の分光イメージング装置は、実施例４の分光イメージング装置とほぼ同じ構成を備えているが、対物光学系２、校正用光源１０及び励起用光源１３の配置位置が、実施例４の分光イメージング装置と異なっている。
【０１４８】
具体的には、対物光学系２、校正用光源１０及び励起用光源１３は、分光イメージング装置本体部１６の外部に配置されている。なお、対物光学系２と分光イメージング装置本体部１６との間には、ライトガイドファイバー１７が配置されている。また、校正用光源１０には、ライトガイドファイバー１８が接続されている。同様に、励起用光源１３には、ライトガイドファイバー１９が接続されている。
【０１４９】
このような構成であるため、本実施例の分光イメージング装置において、校正用光源１０からの光は、ライトガイドファイバー１８を介して、被観察物体に照射される。同様に、励起用光源１３からの光は、ライトガイドファイバー１９を介して、被観察物体に照射される。そして、被観察物体に反射された校正用の光や被観察物体に励起光を照射することによって発生した蛍光は、対物光学系２に入射し、ライトガイドファイバー１７を介して、エタロン１に入射する。

【０１５０】
なお、その他の構成や、エタロン１の校正や調整方法については、他の実施例と同様であるため、詳細な説明については省略する。
【０１５１】
なお、ライトガイドファイバー１７のようなファイバースコープや硬性鏡等における内視鏡装置や顕微鏡装置等からの結像光線の射出ＮＡは大きくても０．１程度であるため、エタロンへの入射角度θは６度以下となり、光線の広がり角度による波長λ_mのシフト量は０．５％以下であり、実使用上問題はない。
【０１５２】
本実施例の分光イメージング装置は、このような構成であるため、光抽出手段、ひいては、装置全体の小型化を図ることができる。そのため、特に、内視鏡装置に用いる場合に好適である。
【０１５３】
なお、このように構成する場合には、必ずしも、対物光学系２や校正用光源１０や励起用光源１３の全てを分光イメージング装置の外部に配置する必要は無く、それらのいずれかのみを外部に配置するようにしても良い。
【０１５４】
さらに、本発明は、これらの例に限定されるものではなく、上記実施例の種々の組み合わせも本発明に含まれる。
【０１５５】
なお、上記実施例においては、撮像用の光のピーク波長（λ_m）を、そのピーク波長よりも短い波長帯域に存在し、且つ、そのピーク波長に隣接するピーク波長（λ_{m+1}）を用いて算出している。
【０１５６】
しかし、本発明の分光イメージング装置は、必ずしも、そのような算出手段に限定されるものではなく、撮像用の光のピーク波長（λ_m）よりも長い波長帯域に存在し、且つ、そのピーク波長に隣接するピーク波長（λ_{m-1}）を含む光を用いて算出を行っても良い。
【０１５７】
そして、この場合には、検出器で取得したピーク波長λ_{m-1}と撮像用の光に含まれているピーク波長λ_mとの関係は、次式で表わされる。

$$\lambda_m = \frac{m-1}{m} \cdot \lambda_{m-1}$$

【０１５８】
また、この場合には、撮像用フィルターの立ち上がり波長を$\lambda_{Em\text{-}min}$、立ち下がり波長を$\lambda_{Em\text{-}max}$、校正用光源１０発する光の波長帯域をλ_{ref}、撮像素子に入射する光のピーク波長の次数をｍとし、その波長をλ_mとした場合、以下の式（１）’、（２）’を満足することが好ましい。

$$\lambda_{m-1} - \frac{FWHM_{m-1}}{2} \leq \lambda_{ref} \leq \lambda_{m-1} + \frac{FWHM_{m-1}}{2} \quad \cdots (1)'$$

$$\lambda_{Em\text{-}max} < \lambda_{ref} < \lambda_{m-2} \quad \cdots (2)'$$

但し、

$$\lambda_{m-1}=\frac{m}{m-1}\cdot\lambda_m$$

$$\lambda_{m-2}=\frac{m}{m-2}\cdot\lambda_m$$

$$FWHM_{m-1}=\frac{\lambda_{m-1}^2}{m\cdot\lambda_m}\cdot\frac{1-R}{\pi\sqrt{R}}$$

$$2ndcos\theta = m\lambda_m$$

なお、Ｒは一対の基板の対向する面の反射率、ｎは一対の基板間の媒質の屈折率、ｄは一対の基板の面間隔、θは一対の基板に対する被観察物体からの光の入射角である。

【０１５９】

なお、校正用光源の発する光が、この条件式（１）’に規定する波長帯域の光を含んでいない場合、十分な精度で校正のためのピーク波長を検出することができない。また、この条件式（２）’の下限値を下回ると、校正用の光が撮像用の光の波長帯域に含まれてしまうため、正確な分光画像を取得することができなくなってしまう。一方、この条件式（２）’の上限値を上回ると、カットする帯域を広くしなければならないため、撮像用フィルターやビームスプリッターの製造が困難になり、その結果として、製造コストが増大してしまう。

【０１６０】

また、本発明の分光イメージング装置は、必ずしも、撮像用の光のピーク波長（λ_m）に隣接するピーク波長（λ_{m-1}，λ_{m+1}）を用いて算出する必要は無く、そのピーク波長に隣接しないピーク波長（・・・、λ_{m+3}、λ_{m+2}、λ_{m-2}、λ_{m-3}・・・）を用いて算出を行っても良い。

【０１６１】

また、上記実施例においては、分光透過率可変素子の調整の際に、静電容量センサの出力値に基づくルックアップテーブルを用いて校正や調整を行っているが、必ずしも、そのルックアップテーブルは静電容量センサの出力値に基づくものである必要は無く、圧電素子の入力電圧等に基づくものを用いても良い。これは、圧電素子の入力電圧も、エタロンの一対の対向する光学基板の面間隔に対応して変化するためである。

【０１６２】

また、上記実施例においては、励起用光源を備えていないものもあるが、本発明の構成はこのような構成に限定されるものではなく、いずれの実施例においても、励起用光源を備えていてかまわない。

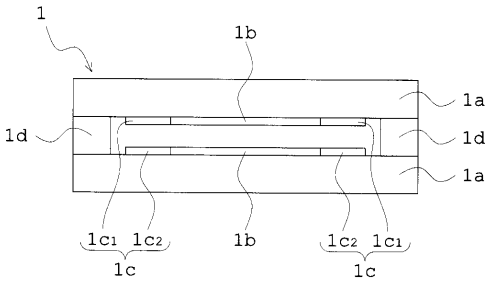
【符号の説明】

【０１６３】

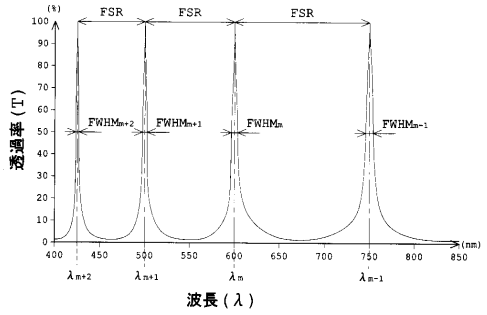
１	エタロン
１ａ	光学基板
１ｂ	反射コート
１ｃ	静電容量センサ
$１ｃ_1$，$１ｃ_2$	静電容量センサの電極
１ｄ	圧電素子
２	対物光学系
３	光抽出手段
３ａ	ダイクロイックミラー
３ｂ	撮像用フィルター
$３ｂ_1$	第１撮像用フィルター
$３ｂ_2$	第２撮像用フィルター

３ｃ　校正用フィルター
３ｃ$_1$　第１校正用フィルター
３ｃ$_2$　第２校正用フィルター
３ｄ，３ｄ’，１２，１５　ハーフミラー
４　結像光学系
５　撮像素子
６　集光光学系
７，１７，１８，１９　ライトガイドファイバー
８　検出器
９　制御手段
９ａ　演算処理部
９ｂ　駆動処理部
１０　校正用光源
１１　校正光照明光学系
１３　励起用光源
１４　励起光照明光学系
１６　分光イメージング装置本体部

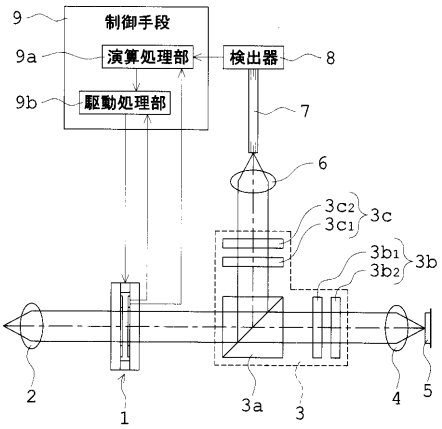
【図１】



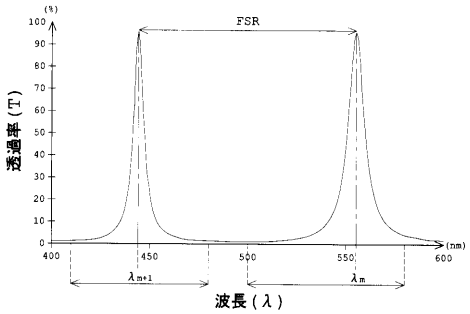
【図２】



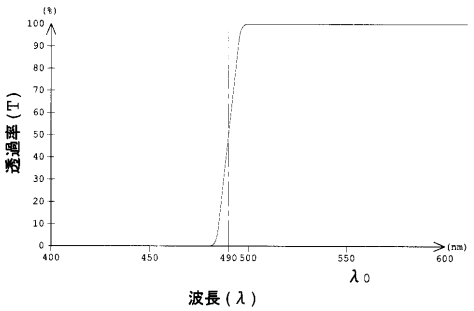
【図３】



【図４】

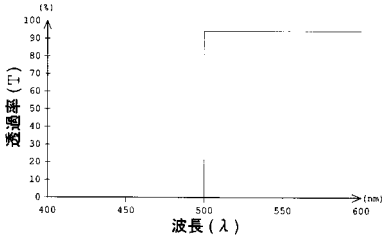


【図５】

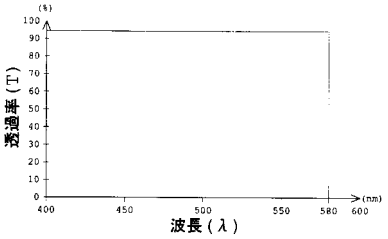


【図６】

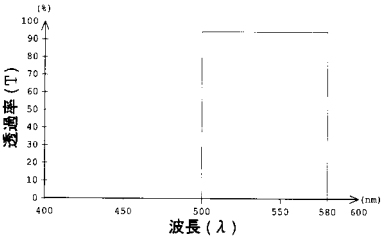
(a)



(b)

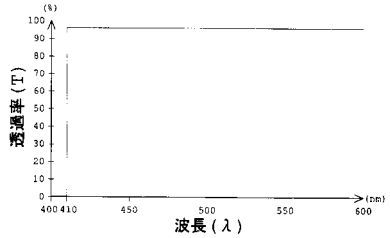


(c)

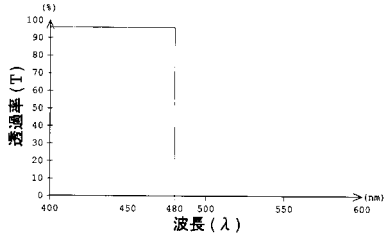


【図７】

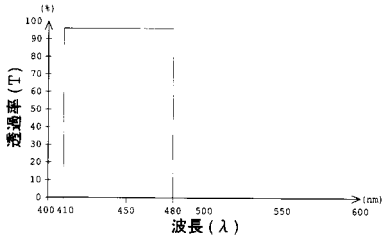
(a)



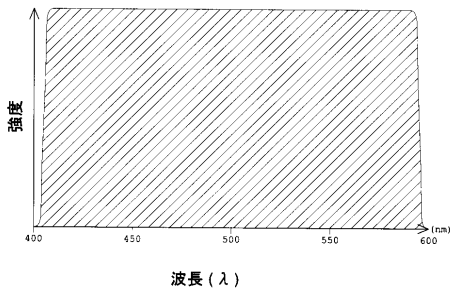
(b)



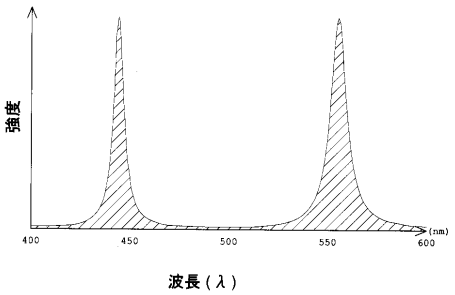
(c)



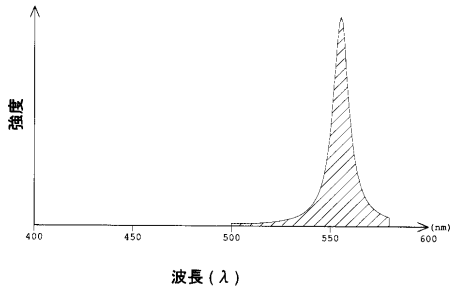
【図８】



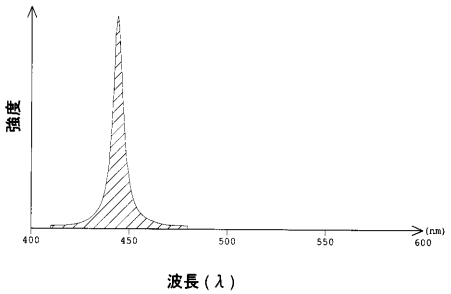
【図９】



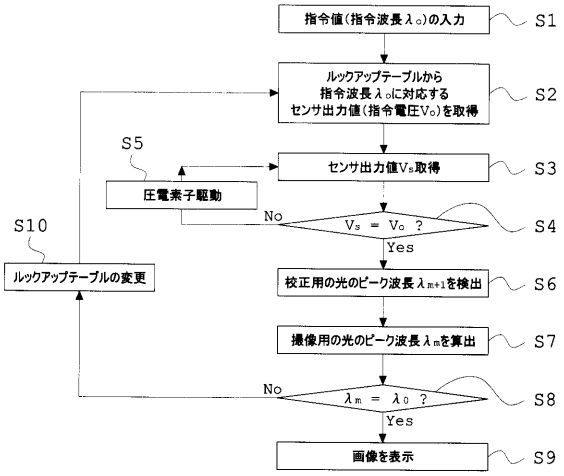
【図１０】



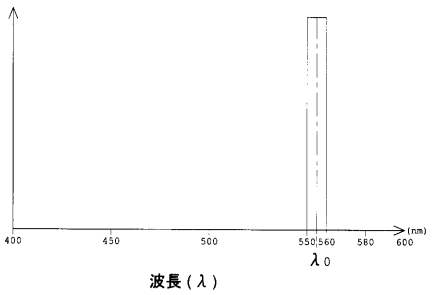
【図１１】



【図１２】

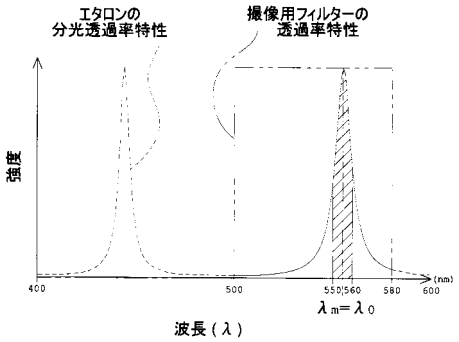


【図１３】

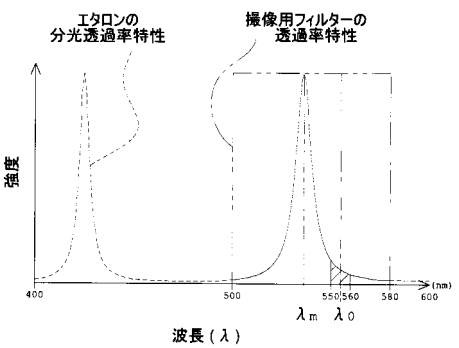


【図１４】

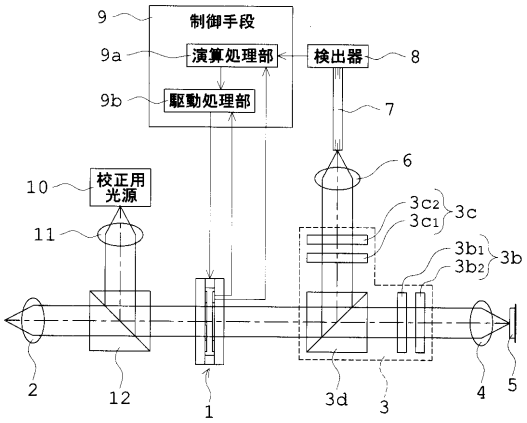
(a)



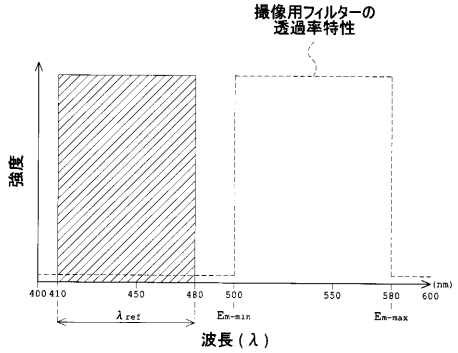
(b)



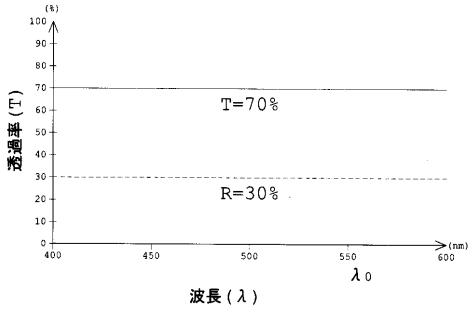
【図１５】



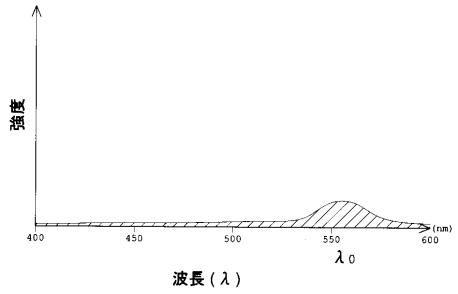
【図１６】



【図１７】

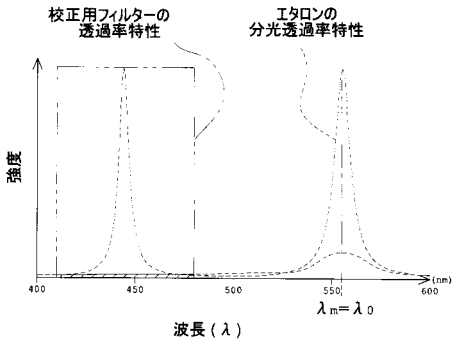


【図１８】

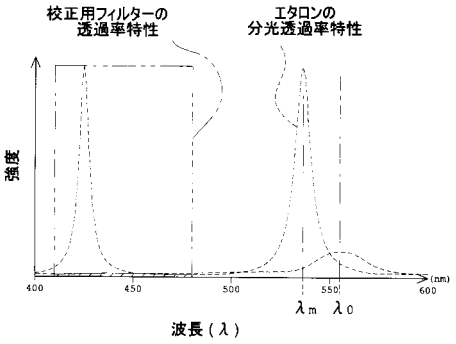


【図１９】

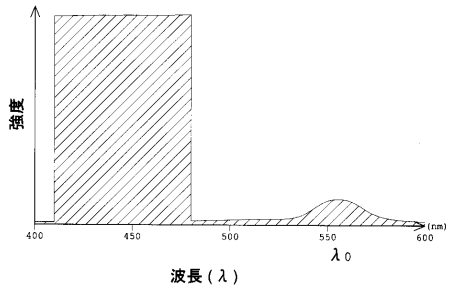
(a)



(b)

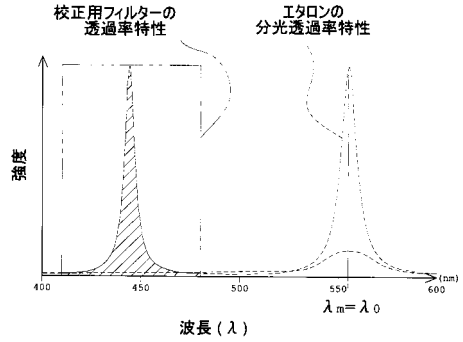


【図２０】

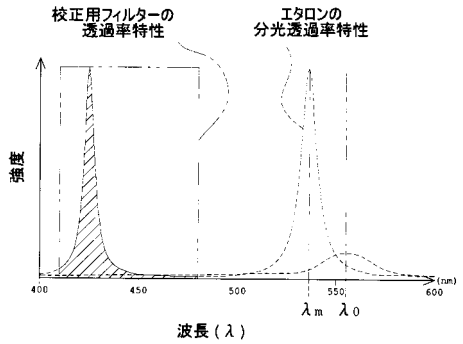


【図２１】

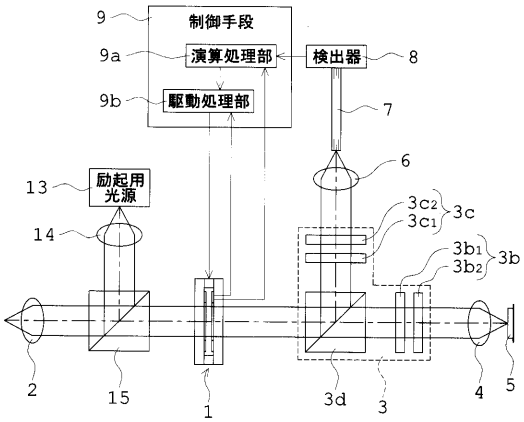
(a)



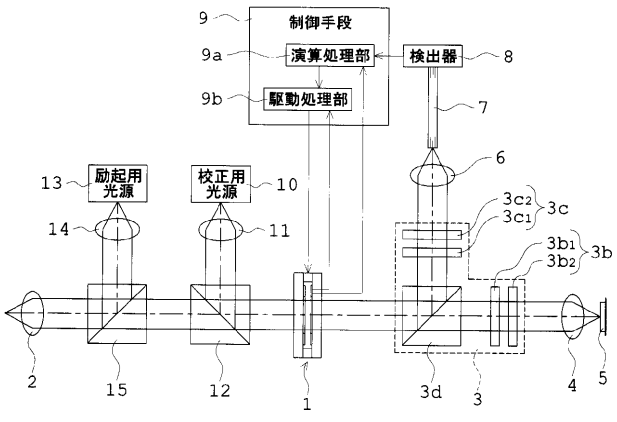
(b)



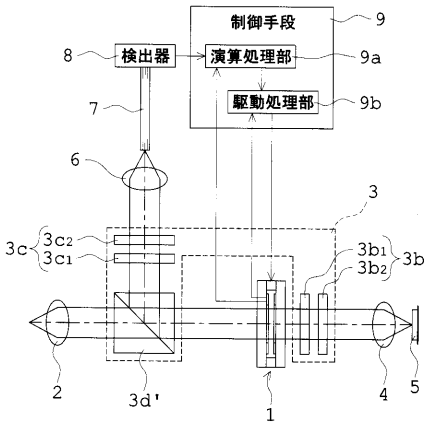
【図２２】



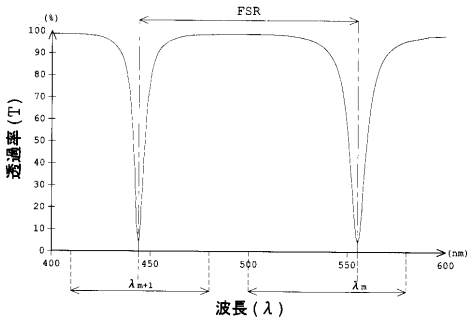
【図２３】



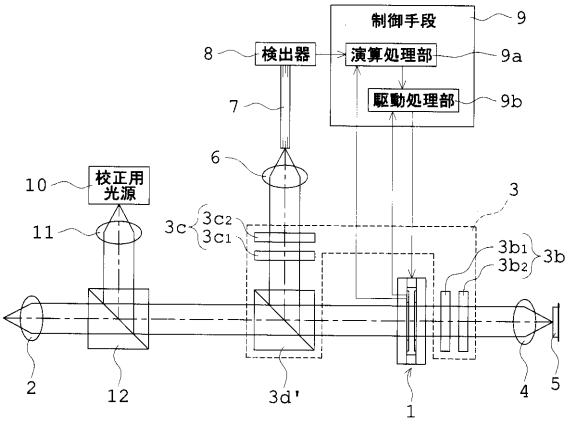
【図２４】



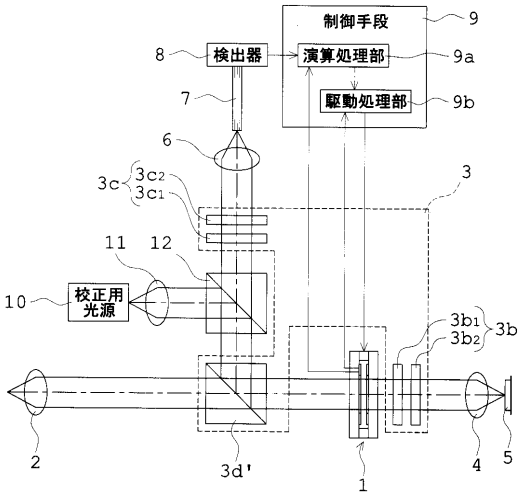
【図２５】



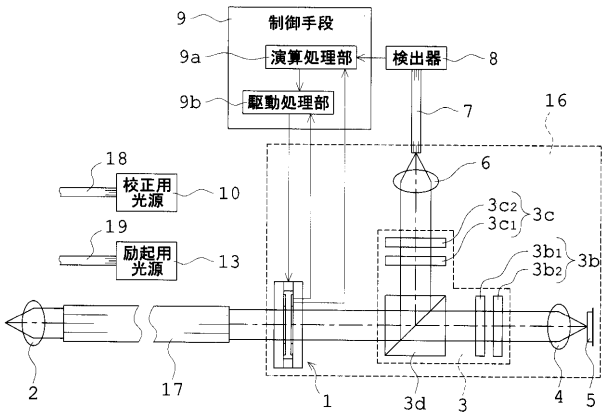
【図２６】



【図２７】



【図２８】



フロントページの続き

(72)発明者　三田村　元裕
東京都渋谷区幡ヶ谷２丁目４３番２号　オリンパス株式会社内

Ｆターム(参考) 2G043 AA03 EA01 FA01 FA06 GA01 GB01 GB18 GB19 HA01 HA05
HA09 JA02 JA03 JA08 KA02 KA05 LA03 NA13
2G059 AA05 EE07 EE11 FF01 HH02 HH06 JJ02 JJ03 JJ07 JJ11
JJ17 JJ22 KK04 MM01 MM14