

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6194592号
(P6194592)

(45) 発行日 平成29年9月13日(2017.9.13)

(24) 登録日 平成29年8月25日(2017.8.25)

(51) Int.Cl.

F I

GO 1 J 3/26 (2006.01)

GO 1 J 3/26

GO 1 J 3/51 (2006.01)

GO 1 J 3/51

GO 1 N 21/27 (2006.01)

GO 1 N 21/27

A

請求項の数 7 (全 26 頁)

(21) 出願番号 特願2013-32937 (P2013-32937)
 (22) 出願日 平成25年2月22日(2013.2.22)
 (65) 公開番号 特開2014-163722 (P2014-163722A)
 (43) 公開日 平成26年9月8日(2014.9.8)
 審査請求日 平成28年2月18日(2016.2.18)

(73) 特許権者 000002369
 セイコーエプソン株式会社
 東京都新宿区新宿四丁目1番6号
 (74) 代理人 100116665
 弁理士 渡辺 和昭
 (74) 代理人 100164633
 弁理士 西田 圭介
 (74) 代理人 100179475
 弁理士 仲井 智至
 (72) 発明者 五味 二夫
 長野県諏訪市大和3丁目3番5号 セイコーエプソン株式会社内

審査官 横尾 雅一

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 分光カメラ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

撮像対象からの入射光が入射される入射光学系と、
 前記入射光学系からの光から所定の波長の光を選択し、かつ、前記波長を変更可能な分光フィルターと、
 前記分光フィルターを、前記入射光学系からの光の光路上に配置させ、さらに前記光路上から退避させるフィルター位置切替部と、
 前記入射光学系からの光、又は前記分光フィルターからの光を受光する撮像部と、
 を備え、
前記波長に応じて前記撮像素子の光電素子が選択されることを特徴とする分光カメラ。

10

【請求項2】

請求項1に記載の分光カメラにおいて、
 前記フィルター位置切替部は、可視波長域の画像を撮像する際において、前記分光フィルターを前記光路上から退避させ、分光画像を撮像する際において、前記分光フィルターを前記光路上に移動させることを特徴とする分光カメラ。

【請求項3】

請求項1に記載の分光カメラにおいて、
 前記撮像部は、分光画像の対象波長域の光と、可視波長域における所定波長範囲の光とを透過し、その他の光を遮断するフィルターを備え、
 前記フィルターは、前記可視波長域における透過波長範囲が異なる複数種のカラーフィ

20

ルターを有することを特徴とする分光カメラ。

【請求項 4】

請求項 3 に記載の分光カメラにおいて、

前記分光画像の対象波長域は、赤外波長域または紫外波長域であり、

前記カラーフィルターは、前記透過波長範囲が赤色波長域である R カラーフィルター、前記透過波長範囲が緑色波長域である G カラーフィルター、及び前記透過波長範囲が青色波長域である B カラーフィルターであることを特徴とする分光カメラ。

【請求項 5】

請求項 3 に記載の分光カメラにおいて、

撮像画像を取得する画像取得部を備え、

前記分光フィルターは、ファブリーペローエタロンであり、

前記画像取得部は、前記対象波長域の分光画像を撮像する際において、各撮像画素の複数の光電素子のうち、前記分光画像の対象波長域内に含まれない前記分光フィルターにおける透過スペクトルのピーク波長が前記可視波長域内に含まれないカラーフィルターに対応した光電素子からの信号に基づいて、当該分光画像を取得することを特徴とする分光カメラ。

【請求項 6】

請求項 1 に記載の分光カメラにおいて、

可視波長域の光を遮光し、分光画像の対象波長域の光を透過する可視遮光フィルターを前記入射光学系と前記撮像部との間における前記光路上に備え、

前記フィルター位置切替部は、可視波長域の画像を撮像する際において、前記可視遮光フィルターを前記光路上から退避させ、前記対象波長域の前記分光画像を撮像する際において、前記可視遮光フィルターを前記光路上に移動させることを特徴とする分光カメラ。

【請求項 7】

請求項 1 から請求項 6 のいずれかに記載の分光カメラにおいて、

可視波長域の光を透過し、分光画像の対象波長域の光を遮光する分光対象波長遮光フィルターを備え、

前記フィルター位置切替部は、前記対象波長域の前記分光画像を撮像する際において、前記分光対象波長遮光フィルターを前記光路上から退避させ、可視波長域の画像を撮像する際において、前記分光対象波長遮光フィルターを前記光路上に移動させることを特徴とする分光カメラ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、分光カメラに関する。

【背景技術】

【0002】

従来、被写体のカラー撮像画像とともに、被写体の色情報を取得する分光カメラが知られている（例えば、特許文献 1 参照）。

この特許文献 1 に記載の装置では、被写体からの入射光をビームスプリッターで 2 分岐させ、一方の分岐光を、広帯域透過特性を有する第一のフィルターに透過させて第一の撮像素子で撮像し、他方の分岐光を、狭帯域透過特性を有する第二のフィルターに透過させて第二の撮像素子で撮像している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2010 - 193380 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

10

20

30

40

50

ところで、上記特許文献 1 の装置では、第一のフィルターを透過した光を撮像する第一の撮像素子と、第二のフィルターを透過した光を撮像する第二の撮像素子が設けられている。したがって、装置内に少なくとも 2 つの撮像素子を配置する必要があり、装置の小型化に対応できないという課題がある。

【 0 0 0 5 】

本発明は、構成の簡略化を図れ、小型化が可能な分光カメラを提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 6 】

本発明の一態様の分光カメラは、撮像対象からの入射光が入射される入射光学系と、前記入射光学系からの光から所定の波長の光を選択し、かつ、前記波長を変更可能な分光フィルターと、前記分光フィルターを、前記入射光学系からの光の光路上に配置させ、さらに前記光路上から退避させるフィルター位置切替部と、前記入射光学系からの光、又は前記分光フィルターからの光を受光する撮像部と、を備え、前記波長に応じて前記撮像素子の光電素子を選択されることを特徴とする。

10

上記の本発明に係る分光カメラは、撮像対象からの入射光が入射される入射光学系と、前記入射光学系からの光から所定の波長の光を選択し、かつ、前記波長を変更可能な分光フィルターと、前記分光フィルターを、前記入射光学系からの光の光路上に配置させ、さらに前記光路上から退避させるフィルター位置切替部と、前記入射光学系からの光、又は前記分光フィルターからの光を受光する撮像部と、を備えたことを特徴とする。

20

また、上記の本発明に係る分光カメラは、撮像対象からの入射光が入射される入射光学系と、前記入射光学系からの入射光から所定の波長の光を選択し、かつ、選択する前記波長を変更可能な分光フィルターと、前記分光フィルターを、前記入射光の光路上に進退させるフィルター位置切替部と、前記フィルター位置切替部によって、前記入射光学系からの入射光を直接受光、又は前記分光フィルターを介して受光する撮像部と、を備えたことを特徴とする。

【 0 0 0 7 】

本発明では、フィルター位置切替部により、分光フィルターが入射光の光路上に位置する状態と、分光フィルターが入射光の光路上から退避する状態とを切り替えることができる。したがって、複数の撮像部を設ける必要がなく、分光フィルターを介した分光画像と、分光フィルターを介さない通常の撮像画像との双方を取得することができ、分光カメラの構成の簡略化を図れ、当該分光カメラの小型化を促進することができる。

30

【 0 0 0 8 】

本発明の分光カメラにおいて、前記フィルター位置切替部は、可視波長域の画像を撮像する際において、前記分光フィルターを前記光路上から退避させ、分光画像を撮像する際において、前記分光フィルターを前記光路上に移動させることが好ましい。

本発明では、フィルター位置切替部は、可視光画像（カラー画像）を撮像する際に、分光フィルターを光路上から退避させる。これにより、撮像部に波長可変干渉フィルターを介さない入射光（可視光域を含む光）が到達し、その入射光を受光することでカラー画像を取得することができる。一方、フィルター位置切替部は、分光画像を撮像する際に、分光フィルターを光路上に移動させる。これにより、撮像部には、分光フィルターにより選択された波長の光が到達することになり、その選択された光に対する分光画像を取得することができる。

40

【 0 0 0 9 】

本発明の分光カメラでは、前記撮像部は、分光画像の対象波長域の光と、可視波長域における所定波長範囲の光とを透過し、その他の光を遮断するフィルターを備え、前記フィルターは、前記可視波長域における透過波長範囲が異なる複数種のカラーフィルターを有することが好ましい。

【 0 0 1 0 】

本発明では、撮像部は、可視波長域における透過波長範囲がそれぞれ異なる複数種の力

50

ラーフィルター（例えば、赤色波長域と赤外波長域の光を透過するRカラーフィルター、緑色波長域と赤外波長域の光を透過するGカラーフィルター、青色波長域と赤外波長域の光を透過するBカラーフィルター）を備えている。したがって、分光カメラでカラー画像を撮像する際には、これらのカラーフィルターを透過した光が受光されることになり、例えば各画素のRGBの各色に対する光量値に基づいてカラー画像を取得することができる。一方、分光画像の対象波長域（例えば赤外波長域）の光から分光画像を取得する際でも、各カラーフィルターは、対象波長域の光を透過するため、分光フィルターにより選択された対象波長域の光は、カラーフィルターにより遮光されることなく光電素子に入射する。したがって、各撮像画素における複数の光電素子の少なくともいずれか1つから出力される光量値、または、各光電素子から出力される光量値の平均に基づいて、分光画像を取

10

得することができる。

以上に示すように、本発明の撮像部では、可視光波長域に対応したカラー画像、及び対象波長域の分光画像の双方を撮像画像として取得することができる。

【0011】

本発明の分光カメラにおいて、前記分光画像の対象波長域は、赤外波長域または紫外波長域であり、前記カラーフィルターは、前記透過波長範囲が赤色波長域であるRカラーフィルター、前記透過波長範囲が緑色波長域であるGカラーフィルター、及び前記透過波長範囲が青色波長域であるBカラーフィルターであることが好ましい。

本発明では、測定波長域を赤外波長域又は紫外波長域とし、可視波長域を赤色波長域、緑色波長域、及び青色波長域としている。この場合、上述のように、カラー画像を撮像する際には、赤色波長域、緑色波長域、及び青色波長域に対応したカラーフィルターを用いることで、容易にRGBの各色に対応した光量値を取得できる。また、これらのカラーフィルターが、赤色波長域や紫外波長域等の対象波長域をも透過可能となるので、上記発明のように、可視光域に対応したカラー画像、及び対象波長域の分光画像の双方を適正に撮像することができる。

20

【0012】

本発明の分光カメラにおいて、撮像画像を取得する画像取得部を備え、前記分光フィルターは、ファブリーペローエタロンであり、前記画像取得部は、前記対象波長域の分光画像を撮像する際において、各撮像画素の複数の光電素子のうち、前記分光画像の対象波長域内に含まれない前記分光フィルターにおける透過スペクトルのピーク波長が前記可視波長域内に含まれないカラーフィルターに対応した光電素子からの信号に基づいて、当該分光画像を取得することが好ましい。

30

【0013】

本発明では、分光フィルターとして、ファブリーペローエタロンが用いられる。ここでファブリーペローエタロンは、第一反射膜と、第二反射膜とが対向して配置され、これらの第一反射膜及び第二反射膜の間に入射した光を干渉させて、第一反射膜及び第二反射膜のギャップ寸法に応じた所定の波長の光を透過または反射させる素子である。

このようなファブリーペローエタロンでは、一般に、 $m = 2nd \cos \theta$ （ただし、 m ：次数、 n ：反射膜間の媒体の屈折率、 d ：反射膜間のギャップ寸法、 θ ：入射角）の光が取り出される（透過または反射）。例えば、入射光が各反射膜に垂直に入射するとし、2次のピーク波長（ $m = 2$ ）として赤外波長800nmの分光画像を取得する場合、1次のピーク波長として、400nmの可視光域の光もファブリーペローエタロンにより取り出される。

40

これに対して、本実施形態では、画像取得部は、赤外波長域に対する分光画像を取得する場合、分光画像の波長（例えば800nm）とは異なる次数のピーク波長（例えば2次ピークの400nmの光）が、透過可視波長域内に含まれないカラーフィルター（例えば、RカラーフィルターやGカラーフィルター）に対応した光電素子の信号に基づいて分光画像を取得する。このため、可視波長域の光をカットした高精度な分光画像を取得することができる。

【0014】

50

本発明の分光カメラにおいて、可視波長域の光を遮光し、分光画像の対象波長域の光を透過する可視遮光フィルターを前記入射光学系と前記撮像部との間における前記光路上に備え、前記フィルター位置切替部は、可視波長域の画像を撮像する際において、前記可視遮光フィルターを前記光路上から退避させ、前記対象波長域の前記分光画像を撮像する際において、前記可視遮光フィルターを前記光路上に移動させることが好ましい。

本発明では、さらに、可視遮光フィルターを備え、フィルター位置切替部は、可視波長域の画像（カラー画像）を撮像する際に、可視遮光フィルターを光路上から退避させる。これにより、カラー画像を撮像する際には、入射光が可視遮光フィルターにより遮光されず、適切なカラー画像を撮像することができる。一方、対象波長域（例えば赤外波長域）の分光画像を撮像する場合は、可視遮光フィルターを光路上に移動させる。これにより、可視遮光フィルターにより可視光波長域の光が遮光されるため、上述した発明のように、波長可変干渉フィルターにより取り出す光の波長に応じて光電素子を選択する必要がなく、対象波長域に対する分光画像を容易に取得することができる。

【0015】

本発明の分光カメラにおいて、可視波長域の光を透過し、分光画像の対象波長域の光を遮光する分光対象波長遮光フィルターを備え、前記フィルター位置切替部は、前記対象波長域の前記分光画像を撮像する際において、前記分光対象波長遮光フィルターを前記光路上から退避させ、可視波長域の画像を撮像する際において、前記分光対象波長遮光フィルターを前記光路上に移動させることが好ましい。

本発明では、さらに、分光対象波長遮光フィルターを備え、フィルター位置切替部は、可視波長域の画像（カラー画像）を撮像する際に、分光対象波長遮光フィルターを光路上に移動させる。これにより、カラー画像を撮像する際には、入射光から例えば赤外波長域等の対象波長の光を遮光することができる。したがって、可視波長域の各波長の光量値に基づいた高精度なカラー画像を取得することができる。また、赤外波長域の分光画像等、赤外波長域の画像を撮像する場合、分光対象波長遮光フィルターは光路上から退避されるので、適切な赤外波長域の画像を撮像することができる。

【図面の簡単な説明】

【0016】

【図1】本発明に係る第一実施形態の分光測定装置の概略構成を示す斜視図。

【図2】第一実施形態の分光測定装置の概略構成を示す図。

【図3】第一実施形態の波長可変干渉フィルターの平面図。

【図4】図3におけるI-V-I-V線を断面した波長可変干渉フィルターの断面図。

【図5】第一実施形態の撮像部における1つの撮像素子の概略構成を示す図。

【図6】第一実施形態におけるRカラーフィルターの透過特性の一例を示す図。

【図7】第一実施形態におけるGカラーフィルターの透過特性の一例を示す図。

【図8】第一実施形態におけるBカラーフィルターの透過特性の一例を示す図。

【図9】第一実施形態における光電素子の受光特性の一例を示す図。

【図10】第一実施形態の分光測定装置の概略構成を示すブロック図。

【図11】第一実施形態の分光測定装置による成分分析処理のフローチャート。

【図12】第一実施形態の分光測定装置において、波長可変干渉フィルターを退避させた状態を示す図。

【図13】第一実施形態の分光測定装置において、分光撮像波長に対して選択する光電素子を示す図。

【図14】第一実施形態の分光測定装置で取得された分光画像の一例を示す図。

【図15】図14における画素Aにおける分光スペクトルを示す図。

【図16】図14における画素Bにおける分光スペクトルを示す図。

【図17】本発明に係る第二実施形態の分光測定装置の概略構成を示す図。

【図18】本発明に係る第三実施形態の分光測定装置の概略構成を示す図。

【発明を実施するための形態】

【0017】

[第一実施形態]

以下、本発明に係る第一実施形態に係る分光カメラ（分光測定装置）について、図面に基づいて説明する。

[分光測定装置の概略構成]

図 1 は、第一実施形態の分光測定装置の正面構成を示す斜視図である。図 2 は、分光測定装置の断面構成を示す概略図である。

分光測定装置 10 は、本発明の分光カメラであり、撮像対象の複数波長に対する分光画像を撮像し、これらの分光画像に基づいて、各画素における赤外波長域（分光画像の対象波長域）のスペクトルを分析し、分析したスペクトルから撮像対象の成分を分析する装置である。ここで、本実施形態の分光測定装置 10 は、撮像対象の分光画像を撮像する際に、ユーザーが撮像対象を容易に認識できるよう、撮像対象のカラー画像（可視波長域の画像）を取得してディスプレイ 14 にリアルタイム表示させる機能を有する。また、本実施形態では、撮像対象として食品を対象とし、食品に含まれる各栄養素（炭水化物、タンパク質、脂質、水分等）や食品のカロリーを算出する分光測定装置 10 の一例を以下に示す。

10

【 0018 】

本実施形態の分光測定装置 10 は、図 1 及び図 2 に示すように、筐体 11 と、撮像モジュール 12 と、温度センサー 13 と、ディスプレイ 14 と、操作部 15 と、制御部 16 と、を備えている。

【 0019 】

20

[筐体の構成]

筐体 11 は、例えば厚み寸法が 1 ~ 2 cm 程度で、衣服のポケット等により容易に収納可能な薄型箱状に形成されている。この筐体 11 は、撮像モジュール 12 が配置される撮像窓 111、及び温度センサー 13 が配置されるセンサー窓 112 を備えている。また、筐体 11 は、図 2 に示すように、例えば背面側にディスプレイ 14 が配置される表示窓を備えている。更に、筐体 11 の一部には、操作部 15（例えばシャッターボタン等）が設けられている。

【 0020 】

[撮像モジュールの構成]

撮像モジュール 12 は、撮像窓 111 に臨んで設けられる光入射部 121（入射光学系）と、撮像窓 111 に臨んで設けられる光源部 122 と、波長可変干渉フィルター 5（分光フィルター）と、入射光を受光する撮像部 123 と、フィルター位置切替部 127 と、制御基板 128（図 10 参照）とを備えている。

30

【 0021 】

（光入射部の構成）

光入射部 121 は、図 2 に示すように、複数のレンズにより構成されており、本発明の入射光学系を構成する。この光入射部 121 は、複数のレンズにより、視野角が所定角度以下に制限されており、視野角内の検査対象物の像を、撮像部 123 に結像する。また、これらの複数のレンズの内の一部は、例えばユーザーにより操作部 15 が操作されることで、レンズ間隔を調整することが可能となり、これにより、取得する画像の拡大縮小が可能となる。本実施形態では、光入射部 121 を構成するこれらのレンズとして、テレセントリックレンズを用いることが好ましい。このようなテレセントリックレンズでは、入射光の光軸を主光線に対して平行な方向に揃えることができ、後述する波長可変干渉フィルター 5 の固定反射膜 54 や可動反射膜 55 に対して垂直に入射させることが可能となる。また、光入射部 121 を構成するレンズとしてテレセントリックレンズを用いる場合、テレセントリックレンズの焦点位置に絞りが設けられる。この絞りは、制御部 16 により絞り径が制御されることで、視野角を制御することが可能となる。なお、レンズ群や絞り等によって制限する入射光の入射角度は、レンズ設計等により異なるが、光学軸から 20 度以下に制限されることが好ましい。

40

【 0022 】

50

(光源部の構成)

光源部 122 は、図 1 及び図 2 に示すように、撮像窓 111 の外周部に沿って、円環状に配列して配置される複数の光源 122A (LED) を備えている。なお、本実施形態では、光源 122A として LED を例示するが、例えばレーザー光源等が用いられていてもよい。光源 122A として LED やレーザー光源が用いられることで、光源部 122 の小型化、省電力化を図ることができる。

【0023】

(波長可変干渉フィルターの構成)

図 3 は、波長可変干渉フィルターの概略構成を示す平面図である。図 4 は、図 3 の I V - I V 線を断面した際の波長可変干渉フィルターの断面図である。

波長可変干渉フィルター 5 は、ファブリーペローエタロンである。この波長可変干渉フィルター 5 は、例えば矩形板状の光学部材であり、厚み寸法が例えば 500 μm 程度に形成される固定基板 51 と、厚み寸法が例えば 200 μm 程度に形成される可動基板 52 を備えている。これらの固定基板 51 及び可動基板 52 は、それぞれ例えば、ソーダガラス、結晶性ガラス、石英ガラス、鉛ガラス、カリウムガラス、ホウケイ酸ガラス、無アルカリガラスなどの各種ガラスや、水晶などにより形成されている。そして、これらの固定基板 51 及び可動基板 52 は、固定基板 51 の第一接合部 513 及び可動基板の第二接合部 523 が、例えばシロキサンを主成分とするプラズマ重合膜などにより構成された接合膜 53 (第一接合膜 531 及び第二接合膜 532) により接合されることで、一体的に構成されている。

【0024】

固定基板 51 には、固定反射膜 54 が設けられ、可動基板 52 には、可動反射膜 55 が設けられている。これらの固定反射膜 54 および可動反射膜 55 は、反射膜間ギャップ G1 を介して対向配置されている。そして、波長可変干渉フィルター 5 には、この反射膜間ギャップ G1 のギャップ量を調整 (変更) するのに用いられる静電アクチュエーター 56 が設けられている。この静電アクチュエーター 56 は、固定基板 51 に設けられた固定電極 561 と、可動基板 52 に設けられた可動電極 562 とにより構成されている。これらの固定電極 561、可動電極 562 は、電極間ギャップ G2 を介して対向する。ここで、これらの固定電極 561、可動電極 562 は、それぞれ固定基板 51 及び可動基板 52 の基板表面に直接設けられる構成であってもよく、他の膜部材を介して設けられる構成であってもよい。ここで、電極間ギャップ G2 のギャップ量は、反射膜間ギャップ G1 のギャップ量より大きい。

また、波長可変干渉フィルター 5 を固定基板 51 (可動基板 52) の基板厚み方向から見た図 3 に示すようなフィルター平面視において、固定基板 51 及び可動基板 52 の平面中心点 O は、固定反射膜 54 及び可動反射膜 55 の中心点と一致し、かつ後述する可動部 521 の中心点と一致する。

なお、以降の説明に当たり、固定基板 51 または可動基板 52 の基板厚み方向から見た平面視、つまり、固定基板 51、接合膜 53、及び可動基板 52 の積層方向から波長可変干渉フィルター 5 を見た平面視を、フィルター平面視と称する。

【0025】

(固定基板の構成)

固定基板 51 には、エッチングにより電極配置溝 511 および反射膜設置部 512 が形成されている。この固定基板 51 は、可動基板 52 に対して厚み寸法が大きく形成されており、固定電極 561 および可動電極 562 間に電圧を印加した際の静電引力や、固定電極 561 の内部応力による固定基板 51 の撓みはない。

また、固定基板 51 の頂点 C1 には、切欠部 514 が形成されており、波長可変干渉フィルター 5 の固定基板 51 側に、後述する可動電極パッド 564P が露出する。

【0026】

電極配置溝 511 は、フィルター平面視で、固定基板 51 の平面中心点 O を中心とした環状に形成されている。反射膜設置部 512 は、前記平面視において、電極配置溝 511

10

20

30

40

50

の中心部から可動基板 5 2 側に突出して形成されている。この電極配置溝 5 1 1 の溝底面は、固定電極 5 6 1 が配置される電極設置面 5 1 1 A となる。また、反射膜設置部 5 1 2 の突出先端面は、反射膜設置面 5 1 2 A となる。

また、固定基板 5 1 には、電極配置溝 5 1 1 から、固定基板 5 1 の外周縁の頂点 C 1 , 頂点 C 2 に向かって延出する電極引出溝 5 1 1 B が設けられている。

【 0 0 2 7 】

電極配置溝 5 1 1 の電極設置面 5 1 1 A には、固定電極 5 6 1 が設けられている。より具体的には、固定電極 5 6 1 は、電極設置面 5 1 1 A のうち、後述する可動部 5 2 1 の可動電極 5 6 2 に対向する領域に設けられている。また、固定電極 5 6 1 上に、固定電極 5 6 1 及び可動電極 5 6 2 の間の絶縁性を確保するための絶縁膜が積層される構成としてもよい。

10

そして、固定基板 5 1 には、固定電極 5 6 1 の外周縁から、頂点 C 2 方向に延出する固定引出電極 5 6 3 が設けられている。この固定引出電極 5 6 3 の延出先端部（固定基板 5 1 の頂点 C 2 に位置する部分）は、制御基板 1 2 8 に接続される固定電極パッド 5 6 3 P を構成する。

なお、本実施形態では、電極設置面 5 1 1 A に 1 つの固定電極 5 6 1 が設けられる構成を示すが、例えば、平面中心点 O を中心とした同心円となる 2 つの電極が設けられる構成（二重電極構成）などとしてもよい。

【 0 0 2 8 】

反射膜設置部 5 1 2 は、上述したように、電極配置溝 5 1 1 と同軸上で、電極配置溝 5 1 1 よりも小さい径寸法となる略円柱状に形成され、当該反射膜設置部 5 1 2 の可動基板 5 2 に対向する反射膜設置面 5 1 2 A を備えている。

20

この反射膜設置部 5 1 2 には、図 4 に示すように、固定反射膜 5 4 が設置されている。この固定反射膜 5 4 としては、例えば A g 等の金属膜や、A g 合金等の合金膜を用いることができる。また、例えば高屈折層を TiO_2 、低屈折層を SiO_2 とした誘電体多層膜を用いてもよい。さらに、誘電体多層膜上に金属膜（又は合金膜）を積層した反射膜や、金属膜（又は合金膜）上に誘電体多層膜を積層した反射膜、単層の屈折層（ TiO_2 や SiO_2 等）と金属膜（又は合金膜）とを積層した反射膜などを用いてもよい。

【 0 0 2 9 】

また、固定基板 5 1 の光入射面（固定反射膜 5 4 が設けられない面）には、固定反射膜 5 4 に対応する位置に反射防止膜を形成してもよい。この反射防止膜は、低屈折率膜および高屈折率膜を交互に積層することで形成することができ、固定基板 5 1 の表面での可視光の反射率を低下させ、透過率を増大させる。

30

【 0 0 3 0 】

そして、固定基板 5 1 の可動基板 5 2 に対向する面のうち、エッチングにより、電極配置溝 5 1 1、反射膜設置部 5 1 2、及び電極引出溝 5 1 1 B が形成されない面は、第一接合部 5 1 3 を構成する。この第一接合部 5 1 3 には、第一接合膜 5 3 1 が設けられ、この第一接合膜 5 3 1 が、可動基板 5 2 に設けられた第二接合膜 5 3 2 に接合されることで、上述したように、固定基板 5 1 及び可動基板 5 2 が接合される。

【 0 0 3 1 】

40

（可動基板の構成）

可動基板 5 2 は、図 3 に示すようなフィルター平面視において、平面中心点 O を中心とした円形状の可動部 5 2 1 と、可動部 5 2 1 と同軸であり可動部 5 2 1 を保持する保持部 5 2 2 と、保持部 5 2 2 の外側に設けられた基板外周部 5 2 5 と、を備えている。

また、可動基板 5 2 には、図 3 に示すように、頂点 C 2 に対応して、切欠部 5 2 4 が形成されており、波長可変干渉フィルター 5 を可動基板 5 2 側から見た際に、固定電極パッド 5 6 3 P が露出する。

【 0 0 3 2 】

可動部 5 2 1 は、保持部 5 2 2 よりも厚み寸法が大きく形成され、例えば、本実施形態では、可動基板 5 2 の厚み寸法と同一寸法に形成されている。この可動部 5 2 1 は、フィ

50

ルター平面視において、少なくとも反射膜設置面 5 1 2 A の外周縁の径寸法よりも大きい径寸法に形成されている。そして、この可動部 5 2 1 には、可動電極 5 6 2 及び可動反射膜 5 5 が設けられている。

なお、固定基板 5 1 と同様に、可動部 5 2 1 の固定基板 5 1 とは反対側の面には、反射防止膜が形成されていてもよい。このような反射防止膜は、低屈折率膜および高屈折率膜を交互に積層することで形成することができ、可動基板 5 2 の表面での可視光の反射率を低下させ、透過率を増大させることができる。

【 0 0 3 3 】

可動電極 5 6 2 は、電極間ギャップ G 2 を介して固定電極 5 6 1 に対向し、固定電極 5 6 1 と同一形状となる環状に形成されている。また、可動基板 5 2 には、可動電極 5 6 2 の外周縁から可動基板 5 2 の頂点 C 1 に向かって延出する可動引出電極 5 6 4 を備えている。この可動引出電極 5 6 4 の延出先端部（可動基板 5 2 の頂点 C 1 に位置する部分）は、制御基板 1 2 8 に接続される可動電極パッド 5 6 4 P を構成する。

可動反射膜 5 5 は、可動部 5 2 1 の可動面 5 2 1 A の中心部に、固定反射膜 5 4 と反射膜間ギャップ G 1 を介して対向して設けられる。この可動反射膜 5 5 としては、上述した固定反射膜 5 4 と同一の構成の反射膜が用いられる。

なお、本実施形態では、上述したように、電極間ギャップ G 2 のギャップ量が反射膜間ギャップ G 1 のギャップ量よりも大きい例を示すがこれに限定されない。例えば、測定対象光として赤外線や遠赤外線を用いる場合等、測定対象光の波長域によっては、反射膜間ギャップ G 1 のギャップ量が、電極間ギャップ G 2 のギャップ量よりも大きくなる構成としてもよい。

【 0 0 3 4 】

保持部 5 2 2 は、可動部 5 2 1 の周囲を囲うダイアフラムであり、可動部 5 2 1 よりも厚み寸法が小さく形成されている。このような保持部 5 2 2 は、可動部 5 2 1 よりも撓みやすく、僅かな静電引力により、可動部 5 2 1 を固定基板 5 1 側に変位させることが可能となる。この際、可動部 5 2 1 が保持部 5 2 2 よりも厚み寸法が大きく、剛性が大きくなるため、保持部 5 2 2 が静電引力により固定基板 5 1 側に引っ張られた場合でも、可動部 5 2 1 の形状変化が起こらない。したがって、可動部 5 2 1 に設けられた可動反射膜 5 5 の撓みも生じず、固定反射膜 5 4 及び可動反射膜 5 5 を常に平行状態に維持することが可能となる。

なお、本実施形態では、ダイアフラム状の保持部 5 2 2 を例示するが、これに限定されず、例えば、平面中心点 O を中心として、等角度間隔で配置された梁状の保持部が設けられる構成などとしてもよい。

【 0 0 3 5 】

基板外周部 5 2 5 は、上述したように、フィルター平面視において保持部 5 2 2 の外側に設けられている。この基板外周部 5 2 5 の固定基板 5 1 に対向する面は、第一接合部 5 1 3 に対向する第二接合部 5 2 3 を備えている。そして、この第二接合部 5 2 3 には、第二接合膜 5 3 2 が設けられ、上述したように、第二接合膜 5 3 2 が第一接合膜 5 3 1 に接合されることで、固定基板 5 1 及び可動基板 5 2 が接合されている。

【 0 0 3 6 】

（ 撮像部の構成 ）

撮像部 1 2 3 は、例えば C C D や C M O S 等のイメージセンサー等を用いることができる。具体的には、撮像部 1 2 3 は、図 5 に示すような撮像画素 1 2 4 が複数設けられ、これらの撮像画素 1 2 4 がアレイ状に配置されることで構成されている。

図 5 は、撮像部における 1 画素（撮像画素）の概略構成を示す図である。

また、各撮像画素 1 2 4 は、図 5 に示すように、3 種のカラーフィルター 1 2 5（R カラーフィルター 1 2 5 R、G カラーフィルター 1 2 5 G、及び B カラーフィルター 1 2 5 B）と、3 つの光電素子 1 2 6（R 光電素子 1 2 6 R、G 光電素子 1 2 6 G、及び B 光電素子 1 2 6 B）とを備えている。なお、3 種のカラーフィルター 1 2 3 により本発明のフィルターが構成されている。

【 0 0 3 7 】

図 6 は、R カラーフィルター 1 2 5 R の透過特性の一例を示す図であり、図 7 は、G カラーフィルター 1 2 5 G の透過特性の一例を示す図であり、図 8 は、B カラーフィルター 1 2 5 B の透過特性の一例を示す図である。また、図 9 は、各光電素子 1 2 6 の受光特性を示す図である。

図 6 に示すように、R カラーフィルター 1 2 5 R は、赤色波長域以上の光（例えば 5 8 0 n m 以上の波長の光）を透過し、その他の波長域の光を遮光する。つまり、R カラーフィルター 1 2 5 R は、赤色可視波長域及び赤外波長域の光を透過させる。R 光電素子 1 2 6 R は、R カラーフィルター 1 2 5 R に対向して配置され、R カラーフィルター 1 2 5 R を透過した光を受光し、その光量に応じた信号を出力する。

10

図 7 に示すように、G カラーフィルター 1 2 5 G は、緑色波長域（例えば 5 1 0 n m 近傍をピークとした所定範囲の波長域）の光、及び赤外波長域（例えば 7 0 0 n m 以上の波長域）の光を透過し、その他の波長域の光を遮光する。G 光電素子 1 2 6 G は、G カラーフィルター 1 2 5 G に対向して配置され、G カラーフィルター 1 2 5 G を透過した光を受光し、その光量に応じた信号を出力する。

図 8 に示すように、B カラーフィルター 1 2 5 B は、青色波長域（例えば 4 5 0 n m 近傍をピークとした所定範囲の波長域）の光、及び赤外波長域（例えば 7 0 0 n m 以上の波長域）の光を透過し、その他の波長域以下の光を遮光する。B 光電素子 1 2 6 B は、B カラーフィルター 1 2 5 B に対向して配置され、B カラーフィルター 1 2 5 B を透過した光を受光し、その光量に応じた信号を出力する。

20

【 0 0 3 8 】

各光電素子 1 2 6（フォトダイオード）は、図 9 に示すように、可視波長域から赤外波長域に亘る受光感度特性を有する素子であり、感度特性を有する波長域の光を受光すると、その光量値に応じた信号を出力する。

なお、図 5 に示す例では、R : G : B = 1 : 1 : 1 として 1 画素を形成する例を示したが、例えば R : G : B = 1 : 2 : 1 として 1 画素を形成する構成としてもよい。また、1 つの撮像素子 1 2 4 で、R G B のうちいずれか 1 つの各色のカラーフィルター 1 2 5 が配置された、いわゆるパイヤ型画素配置などとしてもよい。

【 0 0 3 9 】

（フィルター位置切替部の構成）

30

フィルター位置切替部 1 2 7 は、波長可変干渉フィルター 5 を、光入射部 1 2 1 から入射した入射光の光路 L に対して進退させる。

このフィルター位置切替部 1 2 7 としては、波長可変干渉フィルター 5 が光路 L 上に位置するフィルター配置状態と、波長可変干渉フィルター 5 が光路 L から退避する退避状態と、を切り替え可能な構成であればいかなる構成を用いてもよい。

例えば、波長可変干渉フィルター 5 を保持するフィルター保持部と、フィルター保持部の一方向への移動を案内するレール部材と、を備え、モーター等の駆動手段によりフィルター保持部をレールに沿って進退移動させる構成等が例示できる。

また、その他の構成例として、回転板に 2 つの貫通孔を設け、1 つの貫通孔に波長可変干渉フィルター 5 を装着する例などとしてもよい。この場合では、回転板を回転されることで波長可変干渉フィルター 5 を光路 L 上に位置する状態と、波長可変干渉フィルター 5 が設けられない貫通孔が光路 L に位置する状態とを切り替えることができる。

40

その他、モーターの駆動力により、波長可変干渉フィルターを保持するフィルター保持部を回動させて光路 L から退避させる構成などとしてもよい。

【 0 0 4 0 】

（制御基板の構成）

制御基板 1 2 8 は、撮像モジュール 1 2 の動作を制御する回路基板であり、光入射部 1 2 1、光源部 1 2 2、波長可変干渉フィルター 5、撮像部 1 2 3、及びフィルター位置切替部 1 2 7 等に接続される。そして、制御基板 1 2 8 は、制御部 1 6 から入力される制御信号に基づいて、各構成の動作を制御する。例えば、カラー画像を撮像する際には、フィ

50

ルター位置切替部 127 を制御して、波長可変干渉フィルター 5 を光路 L 上から退避させ、撮像部 123 で撮像されたカラー画像（カラー画像信号）を制御部 16 に出力する。また、ユーザーによりズーム操作が行われると、制御基板 128 は、光入射部 121 の所定のレンズを移動させたり、絞りの絞り径を変化させたりする。また、成分分析のために撮像対象の分光画像の撮像を実施する旨の操作が行われると、制御部 16 からの制御信号に基づいて、光源部 122 の各光源 122A の点灯及び消灯を制御する。さらに、制御基板 128 は、フィルター位置切替部 127 を制御して、波長可変干渉フィルター 5 を光路 L 上に移動させる。そして、制御部 16 からの制御信号に基づいた所定電圧を波長可変干渉フィルター 5 の静電アクチュエーター 56 に印加し、撮像部 123 で撮像された分光画像（分光画像信号）を制御部 16 に出力する。

10

【0041】

（温度センサーの構成）

温度センサー 13 は、筐体 11 のセンサー窓 112 に臨んで配置されており、検査対象物の温度を検出する。この温度センサー 13 としては、例えばサーモパイルアレイや、非接触型ボロメーター等を用いることができる。

【0042】

（ディスプレイの構成）

ディスプレイ 14 は、筐体 11 の表示窓に面して設けられる。ディスプレイ 14 としては、画像を表示可能な構成であればいかなるものであってもよく、例えば液晶パネルや有機 EL パネルなどを例示できる。

20

また、本実施形態のディスプレイ 14 は、タッチパネルを兼ねており、操作部 15 の一つとしても機能する。

【0043】

（操作部の構成）

操作部 15 は、上述のように、筐体 11 に設けられるシャッターボタンや、ディスプレイ 14 に設けられるタッチパネル等により構成される。ユーザーにより入力操作が行われると、操作部 15 は、入力操作に応じた操作信号を制御部 16 に出力する。なお、操作部 15 としては、上記の構成に限られず、例えば、タッチパネルに代えて、複数の操作ボタン等が設けられる構成などとしてもよい。

【0044】

（制御部の構成）

図 10 は、分光測定装置 10 の概略構成を示すブロック図である。

制御部 16 は、例えば CPU やメモリー等が組み合わされることで構成され、分光測定装置 10 の全体動作を制御する。この制御部 16 は、図 10 に示すように、記憶部 17（記憶手段）及び演算部 18 を備える。

30

【0045】

記憶部 17 は、分光測定装置 10 の全体動作を制御するための OS や、各種機能を実現するためのプログラムや、各種データが記憶される。また、記憶部 17 には、取得した分光画像やカラー画像、成分分析結果等を一時記憶する一時記憶領域を備える。

そして、記憶部 17 には、各種データとしては、波長可変干渉フィルター 5 の静電アクチュエーター 56 に印加する駆動電圧に対する、当該波長可変干渉フィルター 5 を透過する光の波長の関係を示す V - データが記憶される。

40

また、記憶部 17 には、温度に対する、各成分の吸光スペクトルの補正值が記憶される。

更に、記憶部 17 には、分析対象の各成分に対する吸光スペクトルから抽出された特徴量（特定波長における吸光度）と、成分含有率との相関を示す相関データ（例えば検量線）が記憶される。

【0046】

演算部 18 は、記憶部 17 に記憶されたプログラムを読み込むことで各種処理を実行され、撮像モード切替手段 181、モジュール制御手段 182、成分分析手段 183、及び

50

表示制御手段 184 として機能する。

【0047】

撮像モード切替手段 181 は、ユーザーの操作に基づいて、撮像モジュール 12 で可視波長域のカラー画像を撮像するカラー画像撮像モードと、撮像モジュール 12 で赤外波長域の分光画像を撮像する分光画像撮像モードとを切り替える。

【0048】

モジュール制御手段 182 は、撮像モジュール 12 を制御する。具体的には、モジュール制御手段 182 は、カラー画像撮像モードにおいて、波長可変干渉フィルター 5 を光路 L から退避させる旨の制御信号を制御基板 128 に出力し、撮像部 123 で取得されたカラー画像を取得する。また、モジュール制御手段 182 は、分光画像撮像モードにおいて、波長可変干渉フィルター 5 を光路 L から退避させる旨の制御信号を制御基板 128 に出力する。さらに、記憶部 17 に記憶された V - データに基づいて、静電アクチュエーター 56 を制御し、所定波長間隔毎の分光画像を取得する。すなわち、モジュール制御手段 182 は、撮像部 123 により撮像された撮像画像を取得する本発明の画像取得部として機能する。

【0049】

成分分析手段 183 は、モジュール制御手段 182 の制御により取得された各波長の分光画像に基づいて撮像対象の食品に含まれる成分（各栄養素やその含有量）、及びカロリーを算出する。

具体的には、成分分析手段 183 は、質量推定手段 183A 及び解析手段 183B を備えている。

質量推定手段 183A は、撮像画像に基づいて、測定対象食品の体積を推算し、推算した体積に基づいて質量を推算する。なお、本実施形態では、質量推定手段 183A により、質量を推算する例を示すが、例えば、分光測定装置 10 の一部にデジタル秤等が設けられ、デジタル秤により計測された質量を取得する構成としてもよい。

解析手段 183B は、取得された分光画像の各画素の光量から吸光度を算出し、記憶部 17 に記憶された相関データを用いて各栄養素に対する含有率、含有量、及び食品のカロリーを算出し、食品栄養データとして、測定が実施された日時と関連付けて記憶部 17 に記憶する。

表示制御手段 184 は、モジュール制御手段 182 により撮像モジュール 12 が制御され、撮像画像が取得されると、その取得された撮像画像をディスプレイ 14 に表示させる。また、成分分析手段 183 により算出された成分分析結果をディスプレイ 14 に表示させる。

なお、演算部 18 による具体的な処理については、後述する。

【0050】

[分光測定装置の動作]

次に、上述したような分光測定装置 10 による動作について、図面に基づいて以下に説明する。

本実施形態の分光測定装置 10 により成分分析を実施する場合、まず、吸光度を算出するための基準受光量を取得する初期処理を実施する。この初期処理では、例えば白色板等の基準校正板に対して撮像が行われることで実施され、各波長における受光量 I_0 が測定される。具体的には、演算部 18 は、撮像モード切替手段 181 により、分光画像撮像モードに切り替え、モジュール制御手段 182 により静電アクチュエーター 56 に印加する電圧を順次切り替え、所定の近赤外波長域（例えば $700\text{ nm} \sim 1500\text{ nm}$ ）に対して、例えば 10 nm 間隔で透過波長を切り替えさせる。そして、各波長に対する受光量を撮像部 123 で検出し、記憶部 17 に記憶する。なお、分光画像を取得する際に使用する光電素子 126 についての詳細な説明は、後述する分光画像の取得処理（ステップ S7）において説明する。

ここで、演算部 18 は、基準校正板の 1 点のみの受光量を基準受光量としてもよく、各分光画像のうち、基準校正板の画素範囲を特定し、特定した画素範囲内の所定個数の画素

10

20

30

40

50

又は全画素における受光量の平均値を算出してもよい。

【 0 0 5 1 】

次に、実際に分光測定装置 1 0 を用いて、撮像対象の成分分析を実施する処理について、図 1 1 に基づいて説明する。図 1 1 は、分光測定装置 1 0 による成分分析処理のフローチャートである。

図 1 1 に示すように、成分分析処理を実施する場合、分光測定装置 1 0 の被写体として撮像対象（食品）をセットする。また、分光測定装置 1 0 を起動させると、撮像モード切替手段 1 8 1 は、初期設定として撮像モードをカラー画像撮像モードに切り替える（ステップ S 1 ）。

これにより、モジュール制御手段 1 8 2 は、制御基板 1 2 8 に制御信号を出力し、フィルタ位置切替部 1 2 7 は、図 1 2 に示すように、波長可変干渉フィルタ 5 を光路 L 上から退避位置に退避させる（ステップ S 2 ）。

【 0 0 5 2 】

したがって、入射光学系からの入射光は、波長可変干渉フィルタ 5 を通過せずに撮像部 1 2 3 にて受光される。そして、撮像部 1 2 3 の各光電素子 1 2 6 からの信号は、制御基板 1 2 8 を介して、制御部 1 6 に入力され、モジュール制御手段 1 8 2 は、各撮像画素 1 2 4 の各光電素子 1 2 6 の信号（光量値）に基づいて、カラー撮像画像を取得する。また、表示制御手段 1 8 4 は、このカラー撮像画像をリアルタイムでディスプレイ 1 4 に表示させる（ステップ S 3 ）。

【 0 0 5 3 】

そして、制御部 1 6 は、例えばシャッターが押される等、ユーザーの操作部 1 5 の操作により、撮像対象の成分分析を実施する旨の操作が実施されたか否かを判断する（ステップ S 4 ）。

ステップ S 4 において、ユーザーの操作がない場合、ステップ S 3 に戻り、撮像対象のカラー画像のリアルタイム表示を継続する。一方、ステップ S 4 において、撮像対象の成分分析を実施する旨の操作が実施されたと判断された場合、撮像モード切替手段 1 8 1 は、撮像モードを分光画像撮像モードに設定する（ステップ S 5 ）。これにより、モジュール制御手段 1 8 2 は、制御基板 1 2 8 に制御信号を出力し、フィルタ位置切替部 1 2 7 は、図 2 に示すように、波長可変干渉フィルタ 5 を光路 L 上に移動させる（ステップ S 6 ）。

【 0 0 5 4 】

この後、モジュール制御手段 1 8 2 は、記憶部 1 7 に記憶された V - データを参照して、制御基板 1 2 8 に波長可変干渉フィルタ 5 を駆動させる旨の制御信号を出力する。これにより、波長可変干渉フィルタ 5 の静電アクチュエータ 5 6 に印加する駆動電圧が切り替えられ、波長可変干渉フィルタ 5 から駆動電圧に応じた（反射膜 5 4 , 5 5 間のギャップ寸法に応じた）分光撮像波長の光が撮像部 1 2 3 にて受光される。つまり、分光撮像波長に対応した分光画像を取得される（ステップ S 7 ）。

【 0 0 5 5 】

ここで、撮像部 1 2 3 の各光電素子 1 2 6 からの信号は、制御基板 1 2 8 を介して、制御部 1 6 に入力される。そして、モジュール制御手段 1 8 2 は、各撮像画素 1 2 4 の各光電素子 1 2 6 からの信号（光量値）のうち、分光撮像波長に応じて予め設定された光電素子 1 2 6 の信号を選択して、分光画像を取得する。

つまり、波長可変干渉フィルタ 5 により入射光を入射させると、次数 m が異なる複数のピーク波長の光が波長可変干渉フィルタ 5 を透過し、分光撮像波長以外の可視光域のピーク波長の光が撮像部 1 2 3 に入射する場合がある。本実施形態では、このような可視光域のピーク波長の光による測定誤差を除去するために、モジュール制御手段 1 8 2 は、可視光域のピーク波長の光が入射しない光電素子 1 2 6 を選択し、選択した光電素子 1 2 6 の信号に基づいて分光画像を取得する。

図 1 3 は、分光撮像波長に対して、選択する光電素子 1 2 6 を示した図である。

本実施形態では、図 1 3 に示すような、各分光撮像波長に対して選択される光電素子の

10

20

30

40

50

種別のデータが予め記憶部 17 に記憶されており、モジュール制御手段 182 は、このデータに基づいて、光電素子を選択する。

【0056】

例えば、1 次ピーク波長の光として分光撮像波長 1000 nm の光を透過させる場合、2 次ピーク波長として 500 nm 近傍の光も同時に波長可変干渉フィルター 5 を透過する。この場合、モジュール制御手段 182 は、R 光電素子 126 R を選択し、R 光電素子 126 R からの信号値に基づいて分光画像を取得する。

また、分光撮像波長 700 nm の光を透過させる場合、2 次ピーク波長として 350 nm 近傍の光も同時に波長可変干渉フィルター 5 を透過する。この場合、モジュール制御手段 182 は、R 光電素子 126 R または G 光電素子 126 G を選択する。なお、この場合、R 光電素子 126 R 及び G 光電素子 126 G のいずれか一方の信号値を採用してもよく、R 光電素子 126 R 及び G 光電素子 126 G の信号値の平均を採用してもよい。

【0057】

そして、モジュール制御手段 182 は、ステップ S7 において、制御基板 128 からの分光画像を受信すると、分光撮像波長と分光画像とを関連付けて記憶部 17 に記憶する。

次に、モジュール制御手段 182 は、他に未取得の分光画像があるか否かを判定する（ステップ S8）。ステップ S8 において、未取得の分光画像がある場合、ステップ S7 に戻り、分光画像の取得処理を継続する。

ここで、本実施形態では、脂質、糖質、タンパク質、及び水分の成分量及びカロリーを検出する。したがって、ステップ S7 において設定する分光撮像波長としては、少なくとも脂質、糖質、タンパク質、及び水分に対する特徴量が得られる波長が設定されればよく、ステップ S8 において、これらの分光撮像波長の分光画像が取得されたか否かを判定すればよい。

なお、測定対象となる栄養素はこれに限定されず、その他の栄養素に対する特徴量が得られる波長の分光画像を取得してもよい。また、所定波長間隔（例えば 10 nm 間隔）の分光画像を順次取得し、これらの分光画像から分光スペクトルを推定してもよい。

分光スペクトルを推定する方法としては、例えば、複数の分光撮像波長に対する光量のそれぞれを行列要素とした計測スペクトル行列を生成し、この計測スペクトル行列に対して、所定の変換行列を作用させることで、測定対象となる光の分光スペクトルを推定する。この場合、分光スペクトルが既知である複数のサンプル光を、予め撮像モジュール 12 により測定し、測定により得られた光量に基づいて生成される計測スペクトル行列に変換行列を作用させた行列と、既知の分光スペクトルとの偏差が最小となるように、変換行列を設定する。

【0058】

また、ステップ S7 における分光撮像波長に対する駆動電圧の設定では、温度センサー 13 により検出される温度を用いて分光撮像波長を補正し、補正した分光撮像波長に対する駆動電圧を取得することが好ましい。この場合、モジュール制御手段 182 は、測定対象食品の温度分布から、各点（撮像画像の各画素）における温度を検出し、検出した温度に基づいて各分光撮像波長を補正する。

例えば、基準温度 T_0 において、成分 A の含有率によって波長 λ_{A0} の吸光度が変化する場合、基準温度 T_0 における成分 A の特徴量は、波長 λ_{A0} の吸光度となる。しかしながら、温度 T_1 では、成分 A の含有率によって波長 λ_{A1} の吸光度が変化する場合があります。この場合、温度 T_1 における成分 A の特徴量は、波長 λ_{A1} の吸光度となる。特に、水分は、温度変化による吸光スペクトルの変化が大きいことが知られており、各成分の分析を行う上で、特徴量が検出される波長を補正することが好ましい。

したがって、モジュール制御手段 182 は、記憶部 17 に記憶される各成分の各温度に対する補正値を読み出し、波長 λ_{A0} に補正値をかけ合せて、温度 T_1 に対して特徴量が検出される波長 λ_{A1} を算出する。また、検査対象物の部位によって温度が異なる場合、各部位の温度に対応して、それぞれ分光撮像波長を算出する。

【0059】

図 1 1 に戻り、ステップ S 8 において、未取得の分光画像がないと判定された場合、成分分析手段 1 8 3 は、撮像対象の成分分析処理を実施する。

この成分分析処理では、まず、解析手段 1 8 3 B は、ステップ S 7 により得られた分光画像に基づいて、撮像対象の食品の成分分析を実施し、各成分の成分含有率を算出する（ステップ S 9）。

【 0 0 6 0 】

図 1 4 は、取得された分光画像の一例である。図 1 5 は、図 1 4 における画素 A における分光スペクトルを示す図であり、図 1 6 は、図 1 4 における画素 B における分光スペクトルを示す図である。図 1 4 から図 1 6 に示したように、取得された分光画像に基づいて、各画素の分光スペクトルを解析することで、光の吸収スペクトルの特徴値を解析することができ、撮像対象の食品に含まれる各成分を解析することができる。

10

具体的には、まず、解析手段 1 8 3 B は、測定対象食品が映し出されている画素範囲を特定し、測定対象食品全体における各成分の含有率を算出する。

撮像対象の食品の特定は、分光画像、またはカラー画像に基づいて特定される。撮像対象の食品の特定方法としては、従来の画像処理技術を用いることができ、例えば、画像内のエッジ検出等により、撮像対象の食品が映し出されている画素範囲を特定する。なお、撮像対象の食品の特定方法としてはこれに限定されず、例えば、記憶部 1 7 に撮像対象の食品の形状特徴値が記憶されている場合、形状特徴値に基づいて画像を分析して撮像対象の食品を特定してもよい。

【 0 0 6 1 】

20

そして、解析手段 1 8 3 B は、各成分に対して、特定された撮像対象の食品の各画素における含有率の平均値を算出し、撮像対象の食品全体における成分含有率とする。なお、特定された撮像対象の食品の画素範囲から、複数個の画素をピックアップし、これらの画素に対して分析された成分含有率を平均してもよい。

含有率の求め方としては、解析手段 1 8 3 B は、例えば基準受光量 I_0 と、撮像された波長 λ の分光画像の各画素における受光量 I とに基づいて、以下の式 (1) により、各画素における波長 λ の吸光度 A を算出する。

【 0 0 6 2 】

$$A = -\log(I / I_0) \quad \dots (1)$$

【 0 0 6 3 】

30

なお、基準受光量 I_0 は、上述した初期処理により取得される値を用いる。

この後、解析手段 1 8 3 B は、算出された吸光度 A と、記憶部 1 7 に記憶された相関データとに基づいて、各成分の含有率を分析する。この成分含有率の分析方法としては、従来用いられているケモメトリックス法により行うことができる。ケモメトリックス法としては、例えば、重回帰分析、主成分回帰分析、部分最小二乗法等の方法を用いることができる。なお、これらのケモメトリックス法を用いた各分析手法は周知技術であるため、ここでの説明は省略する。

【 0 0 6 4 】

次に、質量推定手段 1 8 3 A は、撮像対象の食品の質量を推算する（ステップ S 1 0）。

40

このステップ S 1 1 では、質量推定手段 1 8 3 A は、撮像画像に基づいて撮像対象の食品の体積を推算する。撮像画像としては、取得された分光画像のうちの 1 つであってもよく、カラー画像であってもよい。

本実施形態では、撮像対象の食品とともに、サイズが既知となる基準物が撮像される。質量推定手段 1 8 3 A は、撮像画像に基づいて、基準物のサイズと検査対象物のサイズとを比較することで、検査対象物の大凡の体積を推算する。

なお、基準物質を用いた体積の推算に限定されず、例えば、画像処理により検査対象物の体積を推算してもよい。例えば、検査対象物を異なる角度から撮像した撮像画像を用い、3次元分析処理により検査対象物の体積を求める処理を行ってもよい。

【 0 0 6 5 】

50

そして、質量推定手段 183A は、ステップ S10 により分析された各成分の含有率と、推算された撮像対象の食品の体積とから、撮像対象の食品の質量を推算する。

なお、分光測定装置 10 に電子秤等の質量計測部が設けられる場合は、当該質量計測部により質量を計測してもよい。

【0066】

この後、解析手段 183B は、ステップ S10 で推算した質量と、ステップ S9 により分析された各成分の含有率とに基づいて、各栄養素の含有量を算出する。また、解析手段 183B は、算出された各成分の含有量（脂質、糖質、タンパク質の含有量）から、式（2）に基づいて、検査対象物のカロリーを算出する（ステップ S11）。

【0067】

カロリー（kcal）＝脂質量（g）× 9 ＋ タンパク質量（g）× 4 ＋ 糖質量（g）× 4 ...（2）

【0068】

この後、解析手段 183B は、算出した栄養素の含有量及びカロリーを、記憶部 17 に記憶する。また、表示制御手段 184 は、ステップ S12 により算出された各成分の含有量やステップ S13 により算出されたカロリーをディスプレイ 14 に表示させる（ステップ S12）。

【0069】

〔第一実施形態の作用効果〕

本実施形態の分光測定装置 10 では、フィルター位置切替部 127 により、波長可変干渉フィルター 5 が入射光の光路 L 上に位置する状態と、光路 L 上から退避する状態とを切り替えることができる。このため、単一の撮像部 123 で、波長可変干渉フィルター 5 が入射光の光路 L 上に位置する状態における画像と、波長可変干渉フィルター 5 が光路 L から退避した状態における画像とを撮像することができる。これにより、分光測定装置 10 の構成の簡略化、及び小型化を図ることができる。

【0070】

本実施形態では、フィルター位置切替部 127 は、制御部 16 のモジュール制御手段 182 の制御により、カラー画像撮像モードにおいて、分光フィルターを光路 L 上から退避させる。この場合、入射光が波長可変干渉フィルター 5 を介さず、直接撮像部 123 に入射されることになり、可視波長域の光が撮像されることで適切なカラー画像を撮像することができる。また、フィルター位置切替部 127 は、分光画像撮像モードにおいて、分光フィルターを光路 L 上に移動させる。この場合、撮像部 123 に波長可変干渉フィルター 5 を透過した所定の分光撮像波長の光が入射されることになり、分光撮像波長に対する分光画像を取得することができる。

【0071】

本実施形態では、撮像部 123 は、RGB の各色に対応した 3 つのカラーフィルター 125、及びこれらの 3 つのカラーフィルター 125 に対応した 3 つの光電素子 126 を備えた撮像素子 124 を備えている。そして、モジュール制御手段 182 は、分光画像を取得する際に、波長可変干渉フィルター 5 により透過させる分光撮像波長に対する次数とは異なる次数の可視波長域のピーク波長の光を遮光するカラーフィルター 125 に対応する光電素子 126 を選択し、選択した光電素子 126 の信号値に基づいて分光画像を取得する。したがって、可視波長域の光をカットした分光画像の撮像が可能となり、高精度な分光画像を取得することができる。

【0072】

本実施形態では、波長可変干渉フィルター 5 は、固定反射膜 54 及び可動反射膜 55 の間のギャップ寸法を、静電アクチュエーター 56 により変更することで、変更したギャップ寸法に応じた波長に光を透過させる波長可変型のファブリーペローエタロンが用いられている。このようなファブリーペローエタロンは、厚み寸法が例えば 1 mm 以内に抑えることが可能であり、分光測定装置 10 の小型化を図ることができる。

【0073】

〔第二実施形態〕

次に、本発明の第二実施形態について、図面に基づいて説明する。

上述した第一実施形態では、光電素子 126 のうち、波長可変干渉フィルター 5 において分光撮像波長と異なるピーク波長の光を遮断するカラーフィルター 125 を透過した光を受光する光電素子 126 からの信号（光量値）に基づいて、分光画像を取得する例を示した。これに対して、本実施形態では、光路 L 上に設けられた可視遮光フィルターにより可視波長域の光を遮光して分光画像を取得する点で、上記第一実施形態と相違する。

【0074】

図 17 は、第二実施形態における分光測定装置 10A の断面構成を示す概略図である。

図 17 に示すように、本実施形態の分光測定装置 10A では、波長可変干渉フィルター 5 の前段に可視波長域の光を遮光し、赤外波長域の光を透過する可視遮光フィルター 129A が設けられている。

ここで、可視遮光フィルター 129A は、波長可変干渉フィルター 5 の前段に設けられる例を示すが、撮像部 123 の前段に設けられていれば、いかなる位置に配置されていてもよい。例えば、波長可変干渉フィルター 5 と撮像部 123 の間に設けられていてもよく、光入射部 121 内に設けられていてもよい。

そして、本実施形態では、フィルター位置切替部 127 は、波長可変干渉フィルター 5 とともに、可視遮光フィルター 129A を移動させる。すなわち、モジュール制御手段 182 は、カラー画像撮像モードにおいて、フィルター位置切替部 127 を制御して、波長可変干渉フィルター 5 及び可視遮光フィルター 129A を光路 L から退避させる。また、モジュール制御手段 182 は、分光画像撮像モードにおいて、フィルター位置切替部 127 を制御して、波長可変干渉フィルター 5 及び可視遮光フィルター 129A を光路 L 上に移動させる。

【0075】

なお、可視遮光フィルター 129A は、例えば波長可変干渉フィルター 5 の光入射面または光射出面に直接貼り付けられていてもよい。この場合、フィルター位置切替部 127 として、可視遮光フィルター 129A を移動させる移動機構を別途設ける必要がなく、構成の簡略化を図ることができる。

【0076】

また、本実施形態の分光測定装置 10A では、分光画像撮像モードにおいて、上述した第一実施形態のステップ S7 において、分光画像を取得する方法が異なる。

すなわち、上述した第一実施形態では、可視波長域の透過ピーク波長の光をカットするために、分光撮像波長に応じて光電素子 126 を選択し、選択された光電素子 126 から出力される光量値に基づいた分光画像を取得した。

これに対して、本実施形態では、光電素子 126 を選択する必要がない。つまり、上述したように、本実施形態では、分光画像撮像モードにおいて、波長可変干渉フィルター 5 とともに、可視遮光フィルター 129A が光路 L 上に配置されるので、可視光が撮像部 123 に入射されない。したがって、例えば、R 光電素子 126R、G 光電素子 126G、及び B 光電素子 126B のうち、いずれか 1 つ（例えば R 光電素子 126R）を赤外受光用の光電素子 126 とし、この赤外受光用の光電素子 126 からの信号（光量値）に基づいて分光画像を取得する。

なお、3 つの光電素子 126（126R、126G、126B）のいずれかを赤外受光用の光電素子とする例を示すが、これに限定されず、例えば、3 つの光電素子 126（126R、126G、126B）の光量値の平均や中央値、合計値等に基づいて、分光画像を取得してもよい。

【0077】

〔第二実施形態の作用効果〕

本実施形態の分光測定装置 10A では、可視遮光フィルター 129A を備え、フィルター位置切替部 127 は、カラー画像撮像モードにおいて、波長可変干渉フィルター 5 とともに、可視遮光フィルター 129A を光路 L 上から退避させる。これにより、上記第一実施形態と同様、適切なカラー画像を撮像することが可能となる。一方、フィルター位置切

替部 127 は、分光画像撮像モードにおいて、波長可変干渉フィルター 5 とともに、可視遮光フィルター 129A を光路 L に移動させる。このような構成では、第一実施形態と比べて、可視遮光フィルター 129A が設けられる分、分光測定装置 10A における部品点数が増大し、構成が複雑化するが、分光画像を取得する際に、分光撮像波長に応じて光量値を取得する光電素子 126 を選択する必要がない。したがって、3 種の光電素子 126R, 126G, 126B のうち、予め設定しておいた 1 つの光電素子の光量値により分光画像を取得することができる。また、上記のように赤外波長域の光を受光する際に光電素子を固定することで、カラーフィルター 125 (125R, 125G, 125B) の透過特性の違いによる誤差を抑えることができ、高精度に分光画像を取得することができる。

【0078】

10

また、3 種の光電素子 126R, 126G, 126B の光量値の平均や合計値等を算出して光量値として採用してもよく、この場合、より精度の高い分光画像を取得することが可能となる。

【0079】

[第三実施形態]

次に、本発明の第三実施形態について、図面に基づいて説明する。

上述した第一及び第二実施形態では、カラー画像撮像モードにおいて、光入射部 121 からの入射光を直接撮像部 123 に入射させた。これに対して、本実施形態では、光路 L 上に設けられた赤外遮光フィルターにより赤外波長域の光を遮光してカラー画像を取得する点で、上記第一及び第二実施形態と相違する。

20

【0080】

図 18 は、第三実施形態における分光測定装置 10B の断面構成を示す概略図である。

図 18 に示すように、本実施形態の分光測定装置 10B では、光路 L 上に赤外波長域の光を遮光し、可視波長域の光を透過させる赤外遮光フィルター 129B (分光対象波長遮光フィルター) が設けられている。

ここで、赤外遮光フィルター 129B は、光路 L における波長可変干渉フィルター 5 の移動及び退避位置の前段に設けられる例を示すが、撮像部 123 の前段に設けられていれば、いかなる位置に配置されていてもよい。

例えば、赤外遮光フィルター 129B を波長可変干渉フィルター 5 の配置面と同一面に設ける構成としてもよい。

30

【0081】

そして、本実施形態では、フィルター位置切替部 127 は、波長可変干渉フィルター 5 とともに、赤外遮光フィルター 129B を移動させる。すなわち、モジュール制御手段 182 は、カラー画像撮像モードにおいて、フィルター位置切替部 127 を制御して、波長可変干渉フィルター 5 (第二実施形態のように、可視遮光フィルター 129A が設けられる場合は、波長可変干渉フィルター 5 及び可視遮光フィルター 129A) を光路 L から退避させ、赤外遮光フィルター 129B を光路 L 上に移動させる。また、モジュール制御手段 182 は、分光画像撮像モードにおいて、フィルター位置切替部 127 を制御して、波長可変干渉フィルター 5 (第二実施形態のように、可視遮光フィルター 129A が設けられる場合は、波長可変干渉フィルター 5 及び可視遮光フィルター 129A) を光路 L 上に移動させ、赤外遮光フィルター 129B を光路 L から退避させる。

40

【0082】

[第三実施形態の作用効果]

本実施形態の分光測定装置 10B では、赤外遮光フィルター 129B を備え、フィルター位置切替部 127 は、カラー画像撮像モードにおいて、波長可変干渉フィルター 5 を光路 L 上から退避させ、赤外遮光フィルター 129B を光路 L 上に移動させる。このような構成では、第一実施形態と比べて、赤外遮光フィルター 129B が設けられる分、分光測定装置 10B における部品点数が増大し、構成が複雑化するが、カラー画像を取得する際に、赤外波長域の光が遮光されるので、当該赤外波長域の光の光量値が加算されることなく、正確な可視光の光量値に基づいたカラー画像を取得することができる。

50

【 0 0 8 3 】

[その他の実施形態]

なお、本発明は前述の実施形態に限定されるものではなく、本発明の目的を達成できる範囲での変形、改良等は本発明に含まれるものである。

例えば、上記各実施形態では、分光測定装置 1 0 , 1 0 A , 1 0 B の例を示したが、撮像対象の成分分析等を実施しない通常の分光カメラに対しても本発明を適用することができる。

また、食品の成分を分析する分光測定装置 1 0 , 1 0 A , 1 0 B を例示したが、その他の物質の成分分析を実施する装置にも適用できる。

【 0 0 8 4 】

また、上記実施形態では、本発明の分光画像の対象波長域を赤外波長域とし、赤外波長域における分光画像を取得する例を示した。これに対して、対象波長域を例えば紫外波長域に設定してもよい。この場合でも、フィルター位置切替部 1 2 7 により、波長可変干渉フィルター 5 を光路 L に対して進退移動可能な構成とすることで、カラー画像と、紫外波長域の分光画像とを適切に取得することができる。この場合、撮像部 1 2 3 の各カラーフィルター 1 2 6 として、赤色波長域及び紫外波長域を透過可能な R カラーフィルター、緑色波長域及び紫外波長域を透過可能な G カラーフィルター、及び青色波長域及び紫外波長域を透過可能な B カラーフィルターを用いる。

【 0 0 8 5 】

また、可視波長域の分光画像を取得する分光カメラに対しても本発明を適用できる。この場合では、上記第一実施形態の分光測定装置 1 0 と同一の構成により、カラー画像及び可視波長域の各分光画像を取得することができる。また、第二実施形態において、可視遮光フィルター 1 2 9 A の代わりに、可視波長域以外の光を遮光するバンドパスフィルター（例えば赤外遮光フィルター 1 2 9 B 等）を用いることで、可視光以外の波長の光を遮断することができ、精度の高い分光画像を撮像することができる。さらに、第三実施形態における赤外遮光フィルター 1 2 9 B を光路 L 上に固定する（フィルター位置切替部 1 2 7 により移動させない）構成としてもよく、この場合、第三実施形態と同様、赤外波長域の光をカットした精度の高いカラー画像の撮像が可能であるとともに、可視波長域の分光画像の撮像時にも、赤外波長域の光をカットすることができ、精度の高い分光画像を取得できる。

【 0 0 8 6 】

上記各実施形態では、波長可変干渉フィルター 5 がフィルター保持部等に保持されて、光路 L に対して進退移動可能となる構成を例示したが、波長可変干渉フィルター 5 を筐体内に収納した上でフィルター保持部に保持させる構成としてもよい。

この場合、筐体内を真空密閉することで、波長可変干渉フィルター 5 の静電アクチュエーター 5 6 に電圧を印加した際の駆動応答性を向上させることができる。

【 0 0 8 7 】

波長可変干渉フィルター 5 は、電圧印加により反射膜 5 4 , 5 5 間のギャップ寸法を変動させる静電アクチュエーター 5 6 を備える構成としたが、これに限定されない。

例えば、固定電極 5 6 1 の代わりに、第一誘電コイルを配置し、可動電極 5 6 2 の代わりに第二誘電コイルまたは永久磁石を配置した誘電アクチュエーターを用いる構成としてもよい。

更に、静電アクチュエーター 5 6 の代わりに圧電アクチュエーターを用いる構成としてもよい。この場合、例えば保持部 5 2 2 に下部電極層、圧電膜、及び上部電極層を積層配置させ、下部電極層及び上部電極層の間に印加する電圧を入力値として可変させることで、圧電膜を伸縮させて保持部 5 2 2 を撓ませることができる。

【 0 0 8 8 】

また、本実施形態では、ファブリーペローエタロンとして、固定基板 5 1 及び可動基板 5 2 が互いに対向する状態で接合され、固定基板 5 1 に固定反射膜 5 4 が設けられ、可動基板 5 2 に可動反射膜 5 5 が設けられる波長可変干渉フィルター 5 を例示したが、これに

10

20

30

40

50

限らない。

例えば、固定基板 5 1 及び可動基板 5 2 が接合されておらず、これらの基板間に圧電素子等の反射膜間ギャップを変更するギャップ変更部が設けられる構成などとしてもよい。

また、2 つ基板により構成される構成に限られない。例えば、1 つの基板上に犠牲層を介して 2 つの反射膜を積層し、犠牲層をエッチング等により除去してギャップを形成した波長可変干渉フィルターを用いてもよい。

また、分光フィルターとして、例えば A O T F (Acousto Optic Tunable Filter) や L C T F (Liquid Crystal Tunable Filter) が用いられてもよい。ただし、この場合、分光カメラ (分光測定装置 1 0 , 1 0 A , 1 0 B) の小型化が困難になる可能性もあり、分光フィルターとしては、ファブリーペローエタロンを用いることが好ましい。

10

【 0 0 8 9 】

上記実施形態では、温度センサー 1 3 を備え、検出された温度に基づいて、分析対象の成分の特徴量を取得可能な波長を補正し、分光撮像波長とした。

これに対して、温度センサー 1 3 が設けられない構成などとしてもよい。この場合でも、温度による吸光スペクトルの変化が小さい成分に対しては、誤差の少ない成分分析を実施することができる。

【 0 0 9 0 】

その他、本発明の実施の際の具体的な構造は、本発明の目的を達成できる範囲で他の構造等に適宜変更できる。

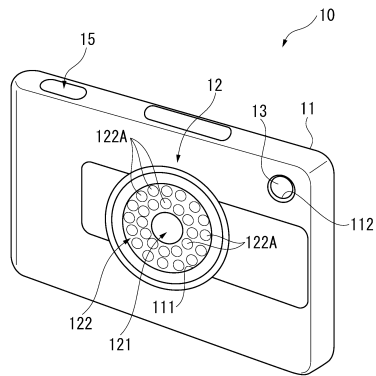
20

【 符号の説明 】

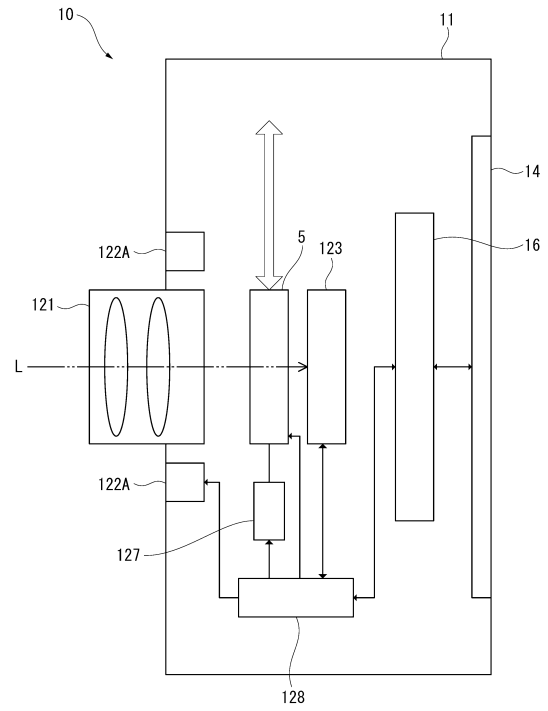
【 0 0 9 1 】

5 ... 波長可変干渉フィルター、1 0 , 1 0 A , 1 0 B ... 分光測定装置カメラ、1 2 ... 撮像モジュール、1 4 ... ディスプレイ、1 6 ... 制御部、5 4 ... 固定反射膜、5 5 ... 可動反射膜、5 6 ... 静電アクチュエーター、1 2 1 ... 光入射部、1 2 2 ... 光源部、1 2 3 ... 撮像部、1 2 4 ... 撮像画素、1 2 5 ... カラーフィルター、1 2 5 R ... R カラーフィルター、1 2 5 G ... G カラーフィルター、1 2 5 B ... B カラーフィルター、1 2 6 ... 光電素子、1 2 6 R ... R 光電素子、1 2 6 G ... G 光電素子、1 2 6 B ... B 光電素子、1 2 7 ... フィルター位置切替部、1 2 8 ... 制御基板、1 8 1 ... 撮像モード切替手段、1 8 2 ... モジュール制御手段、1 8 3 ... 成分分析手段、1 8 4 ... 表示制御手段。

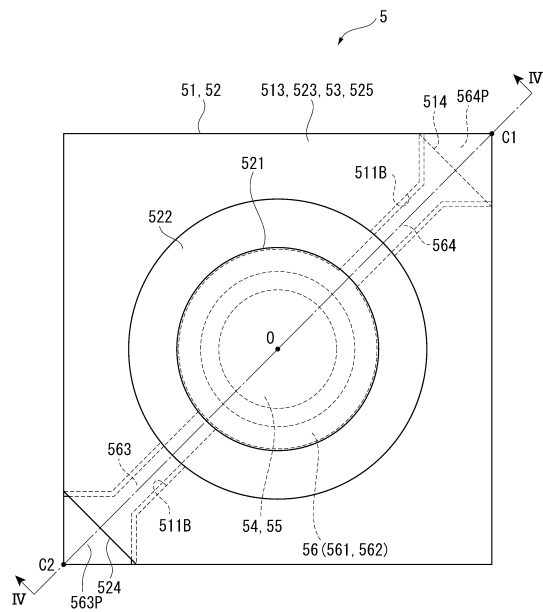
【図 1】



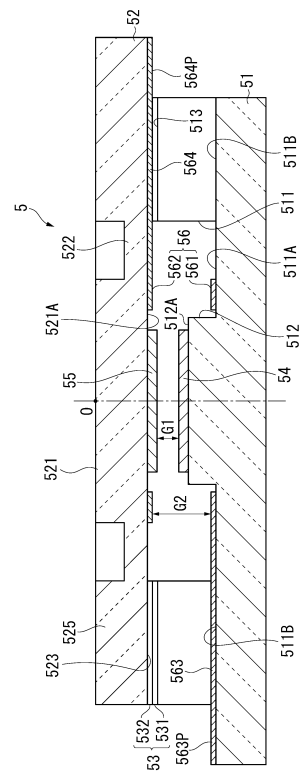
【図 2】



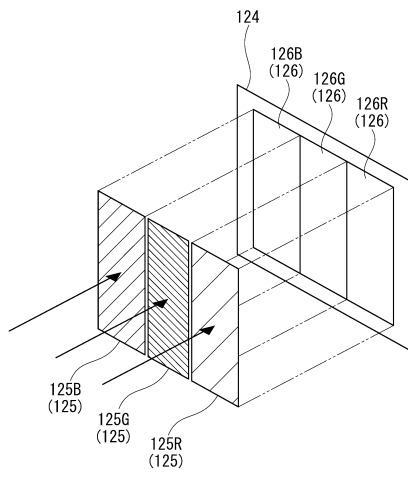
【図 3】



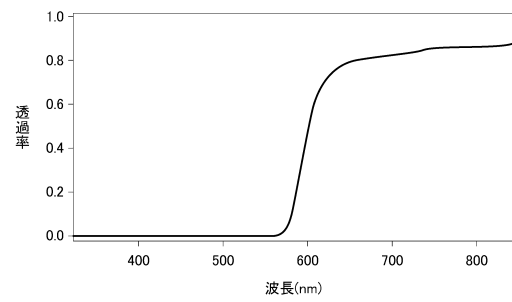
【図 4】



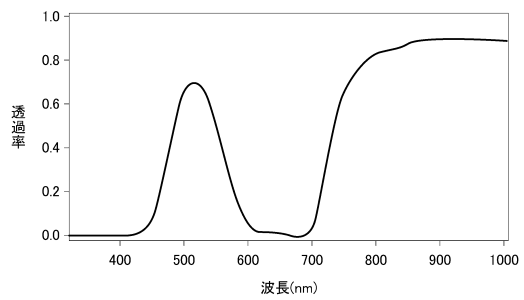
【図 5】



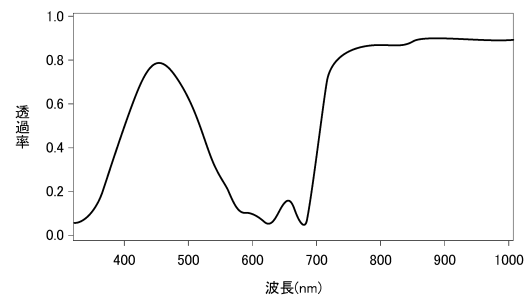
【図 6】



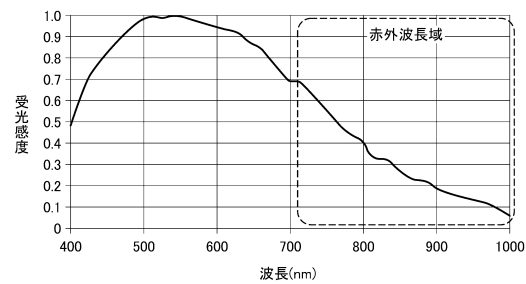
【図 7】



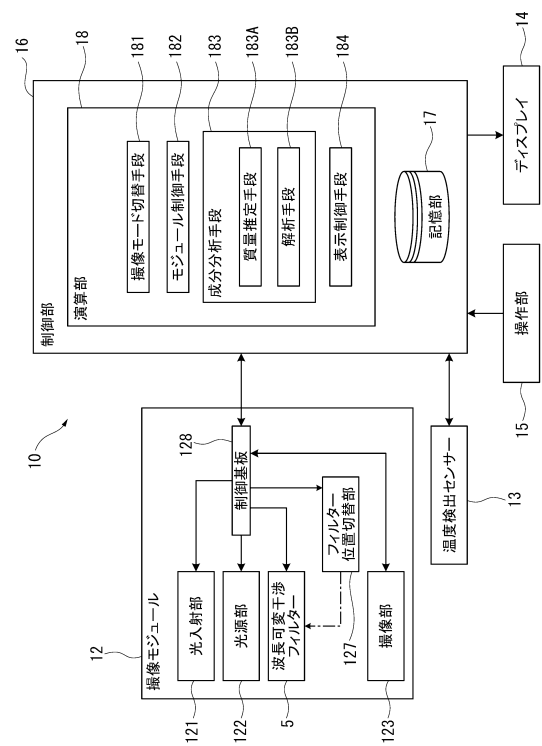
【図 8】



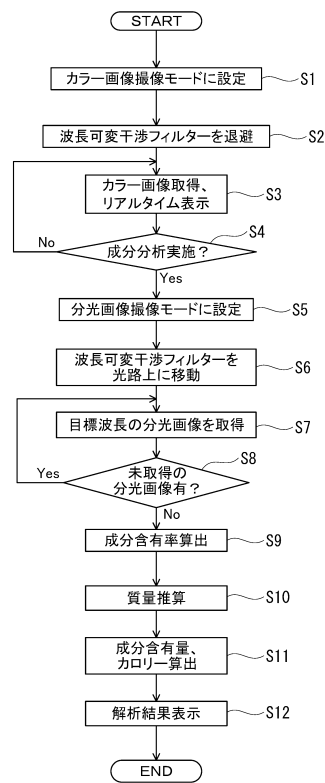
【図 9】



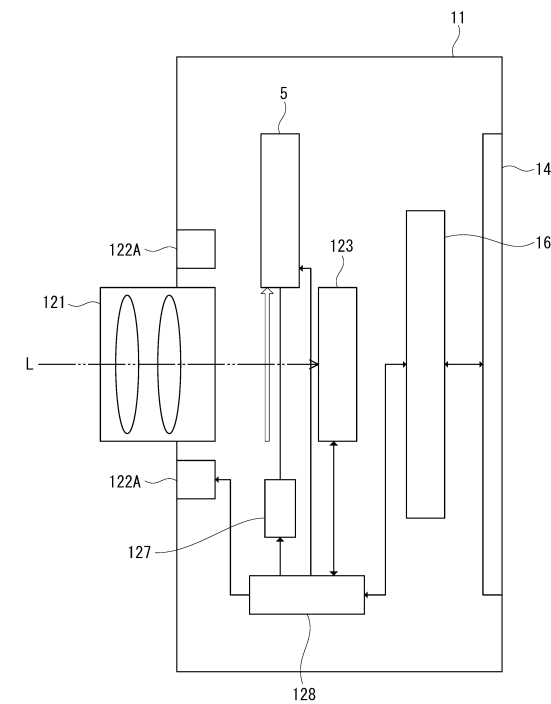
【図 10】



【図 11】



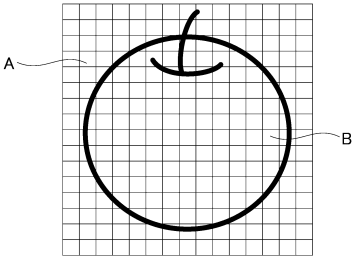
【図 12】



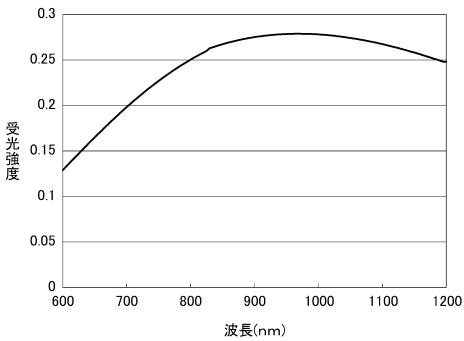
【図 1 3】

分光撮像 波長	可視域の 透過ピーク	選択する光電素子の種別		
		R	G	B
1000nm	500nm	○		
900nm	450nm	○		
800nm	400nm	○	○	
700nm	350nm	○	○	
600nm	300nm	○	○	○

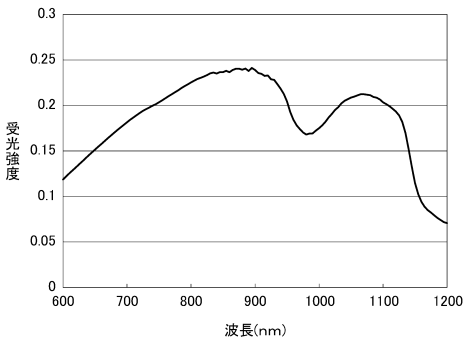
【図 1 4】



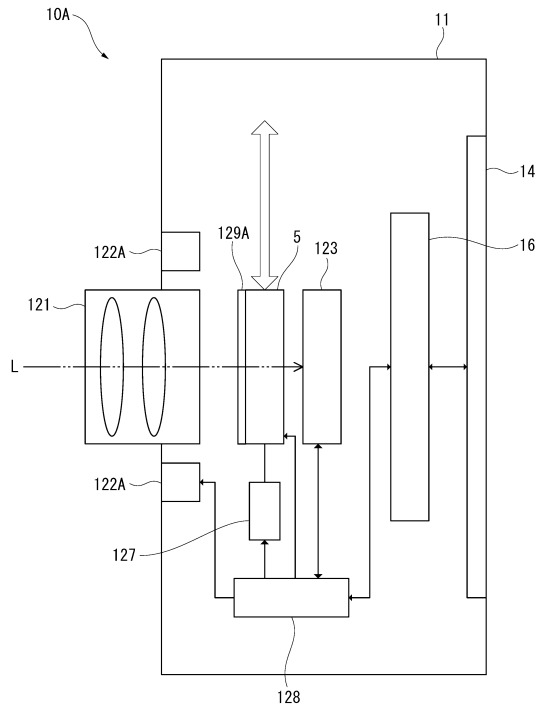
【図 1 5】



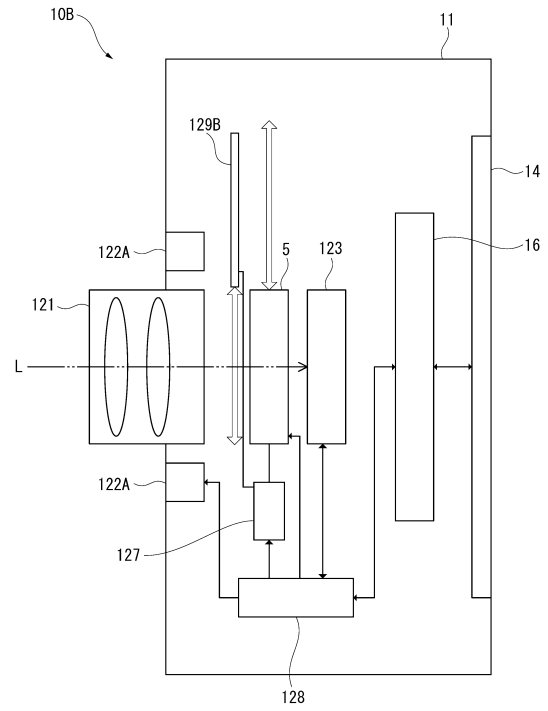
【図 1 6】



【図 17】



【図 18】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開 2005 - 341175 (JP, A)
特開 2003 - 050159 (JP, A)
特開 2012 - 014006 (JP, A)
特開 2005 - 167444 (JP, A)
特開 2013 - 036907 (JP, A)
米国特許出願公開第 2009 / 0021739 (US, A1)
米国特許出願公開第 2010 / 0245832 (US, A1)
米国特許第 5528295 (US, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01J 3 / 00 - 3 / 52
G01N 21 / 00 - 21 / 61