

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5531832号
(P5531832)

(45) 発行日 平成26年6月25日 (2014. 6. 25)

(24) 登録日 平成26年5月9日 (2014. 5. 9)

(51) Int. Cl.

F I

G O 2 B 26/00 (2006. 01)

G O 2 B 26/00

G O 2 B 5/28 (2006. 01)

G O 2 B 5/28

G O 1 J 3/12 (2006. 01)

G O 1 J 3/12

請求項の数 12 (全 32 頁)

(21) 出願番号 特願2010-154158 (P2010-154158)
 (22) 出願日 平成22年7月6日 (2010. 7. 6)
 (65) 公開番号 特開2012-18226 (P2012-18226A)
 (43) 公開日 平成24年1月26日 (2012. 1. 26)
 審査請求日 平成25年7月5日 (2013. 7. 5)

(73) 特許権者 000002369
 セイコーエプソン株式会社
 東京都新宿区西新宿 2 丁目 4 番 1 号
 (74) 代理人 100090479
 弁理士 井上 一
 (74) 代理人 100104710
 弁理士 竹腰 昇
 (74) 代理人 100124682
 弁理士 黒田 泰
 (72) 発明者 松下 友紀
 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
 (72) 発明者 漆谷 多二男
 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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光フィルター、光フィルターモジュール、分光測定器および光機器

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第 1 波長可変バンドパスフィルターと、
 第 2 波長可変バンドパスフィルターと、
 前記第 1 波長可変バンドパスフィルターおよび前記第 2 波長可変バンドパスフィルターの各々の分光帯域を可変に制御する制御部と、を含み、

前記第 1 波長可変バンドパスフィルターは、所望波長帯域における第 1 波長帯域の光を分光可能であり、かつ、分光帯域として、前記第 1 波長帯域内の第 1 波長を中心波長とする第 1 分光帯域と、前記第 1 波長帯域内の第 2 波長を中心波長とする第 2 分光帯域と、を少なくとも有し、

前記第 2 波長可変バンドパスフィルターは、前記所望波長帯域における、前記第 1 波長帯域に隣接する第 2 波長帯域の光を分光可能であり、かつ、分光帯域として、前記第 2 波長帯域内の第 3 波長を中心波長とする第 3 分光帯域と、前記第 2 波長帯域内の第 4 波長を中心波長とする第 4 分光帯域と、を少なくとも有し、

前記第 2 波長帯域は、前記第 1 波長帯域よりも長波長側の波長帯域であり、かつ、前記第 2 波長帯域の帯域幅は、前記第 1 波長帯域の帯域幅よりも広いことを特徴とする光フィルター。

【請求項 2】

請求項 1 記載の光フィルターであって、
 前記第 1 波長可変バンドパスフィルターは、

第 1 基板と、
 前記第 1 基板と対向する第 2 基板と、
 前記第 1 基板に設けられた第 1 光学膜と、
 前記第 2 基板に設けられ、前記第 1 光学膜と対向する第 2 光学膜と、
 前記第 1 基板に設けられた第 1 電極と、
 前記第 2 基板に設けられ、前記第 1 電極と対向する第 2 電極と、を有し、前記第 1 電極と前記第 2 電極との間の静電力によって、前記第 1 光学膜と前記第 2 光学膜との間のギャップが制御されて前記第 1 分光帯域または前記第 2 分光帯域の光が分光可能であり、
 前記第 2 波長可変バンドパスフィルタは、
 第 3 基板と、
 前記第 3 基板と対向する第 4 基板と、
 前記第 3 基板に設けられた第 3 光学膜と、
 前記第 4 基板に設けられ、前記第 3 光学膜と対向する第 4 光学膜と、
 前記第 3 基板に設けられた第 3 電極と、
 前記第 4 基板に設けられ、前記第 3 電極と対向する第 4 電極と、を有し、前記第 3 電極と前記第 4 電極との間の静電力によって、前記第 3 光学膜と前記第 4 光学膜との間のギャップが制御されて前記第 3 分光帯域または前記第 4 分光帯域の光が分光可能である、
 ことを特徴とする光フィルター。

10

【請求項 3】

請求項 2 に記載の光フィルターであって、
 前記第 1 電極は、前記第 1 基板の基板厚み方向から見た平面視において、前記第 1 光学膜の周囲に形成され、
 前記第 2 電極は、前記第 2 基板の基板厚み方向から見た平面視において、前記第 2 光学膜の周囲に形成され、
 前記第 3 電極は、前記第 3 基板の基板厚み方向から見た平面視において、前記第 3 光学膜の周囲に形成され、
 前記第 4 電極は、前記第 4 基板の基板厚み方向から見た平面視において、前記第 4 光学膜の周囲に形成されていることを特徴とする光フィルター。

20

【請求項 4】

請求項 3 記載の光フィルターであって、
 前記第 1 光学膜、前記第 2 光学膜、前記第 3 光学膜および前記第 4 光学膜は、同じ材料で構成されていることを特徴とする光フィルター。

30

【請求項 5】

請求項 1 ~ 請求項 4 のいずれか記載の光フィルターであって、
 前記第 1 波長帯域内において、所定帯域幅の複数の分光帯域が設けられ、また、前記第 2 波長帯域内において、前記所定帯域幅の複数の分光帯域が設けられ、前記第 1 波長帯域内に設けられる前記複数の分光帯域の数を m とし、前記第 2 波長帯域内において設けられる前記複数の分光帯域の数を n とした場合に、 $m < n$ が成立することを特徴とする光フィルター。

【請求項 6】

請求項 5 記載の光フィルターであって、
 前記第 1 波長可変バンドパスフィルタの分光帯域が m 回変化する場合における一つの分光帯域あたりの保持期間を t_m とし、前記第 2 波長可変バンドパスフィルタの分光帯域が n 回変化する場合における一つの分光帯域あたりの保持期間を t_n とした場合に、 $t_m > t_n$ が成立することを特徴とする光フィルター。

40

【請求項 7】

請求項 6 記載の光フィルターであって、
 前記制御部は、 $m \cdot t_m$ と、 $n \cdot t_n$ とが同じになるように、 t_m および t_n を設定することを特徴とする光フィルター。

【請求項 8】

50

第 1 波長可変バンドパスフィルターと、
第 2 波長可変バンドパスフィルターと、
第 3 波長可変バンドパスフィルターと、
前記第 1 波長可変バンドパスフィルターおよび前記第 2 波長可変バンドパスフィルター
の各々の分光帯域を可変に制御する制御部と、を含み、

前記第 1 波長可変バンドパスフィルターは、所望波長帯域における第 1 波長帯域の光を
分光可能であり、かつ、分光帯域として、前記第 1 波長帯域内の第 1 波長を中心波長とす
る第 1 分光帯域と、前記第 1 波長帯域内の第 2 波長を中心波長とする第 2 分光帯域と、を
少なくとも有し、

前記第 2 波長可変バンドパスフィルターは、前記所望波長帯域における、前記第 1 波長
帯域に隣接する第 2 波長帯域の光を分光可能であり、かつ、分光帯域として、前記第 2 波
長帯域内の第 3 波長を中心波長とする第 3 分光帯域と、前記第 2 波長帯域内の第 4 波長を
中心波長とする第 4 分光帯域と、を少なくとも有し、

第 3 波長可変バンドパスフィルターは、前記所望波長帯域における、前記第 2 波長帯域
に隣接する第 3 波長帯域の光を分光可能であり、

前記第 3 波長帯域は、前記第 1 波長帯域および前記第 2 波長帯域よりも長波長側の波長
 帯域であり、前記第 3 波長帯域の帯域幅は、前記第 1 波長帯域の帯域幅よりも広く設定さ
 れており、前記第 3 波長帯域内において、前記所定帯域幅の複数の分光帯域が設けられ、
 かつ、前記第 1 波長帯域内において設けられる前記複数の分光帯域の数を m とし、前記第
 2 波長帯域内において設けられる前記複数の分光帯域の数を n とし、前記第 3 波長帯域内
 において設けられる前記複数の分光帯域の数を s とした場合に、 $m < n$ s または m n
 $< s$ が成立し、かつ、 $m < n$ であるとき、 $n = m + 1$ であり、また、 $n < s$ であるとき、
 $s = n + 1$ であることを特徴とする光フィルター。

【請求項 9】

請求項 1 ~ 請求項 8 のいずれかに記載の光フィルターと
 前記光フィルターを透過した光を受光する受光素子と、
 を含むことを特徴とする光フィルターモジュール。

【請求項 10】

請求項 1 ~ 請求項 8 のいずれかに記載の光フィルターと、
 前記光フィルターを透過した光を受光する受光素子と、
 前記受光素子から得られる信号に基づく信号処理に基づいて所与の信号処理を実行する
 信号処理部と、
 を含むことを特徴とする分光測定器。

【請求項 11】

請求項 1 ~ 請求項 8 のいずれかに記載の光フィルターを含むことを特徴とする光機器。

【請求項 12】

所望波長帯域の光を複数の波長可変バンドフィルターにより分担して分光する光フィル
ターであって、

異なる波長帯域を分担する 2 つの前記波長可変バンドフィルターにおいて、短波長側の
 波長帯域を担当する前記波長可変バンドフィルターにおける前記短波長側の波長帯域の幅
 よりも、長波長側の波長帯域を担当する前記波長可変バンドフィルターにおける前記長波
 長側の波長帯域の幅の方が広いことを特徴とする光フィルター。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光フィルター、光フィルターモジュール、分光測定器および光機器等に関す
 る。

【背景技術】

【0002】

干渉フィルターは従来から分光測定器等に用いられている。干渉フィルターの一態様と

10

20

30

40

50

して、透過波長を可変に制御する干渉フィルター（ファブリペローエタロン干渉フィルター）が知られている（例えば、特許文献1参照）。特許文献1に記載される、透過波長が可変である透過波長可変干渉フィルター（以下、可変ギャップエタロンフィルター、あるいは単に可変ギャップエタロンという場合がある）は、互いに平行に保持された一対の基板と、この一対の基板上に互に対向すると共に一定間隔のギャップを有するように形成された一対の多層膜（光学膜）とを備え、外力により一対の多層膜（光学膜）間のギャップの大きさを变化させて、透過波長を可変に制御している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

10

【特許文献1】特開平11-142752号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかし、所望波長帯域を一つの波長可変フィルター（例えば可変ギャップエタロンフィルター）でカバーする場合、透過光の波長範囲が広いと、アクチュエーターによって波長可変フィルターの可動部を広範囲にわたって移動させる必要が生じる。つまり、波長可変フィルターの可動部の可動範囲が大きくなり、駆動電圧が増加してしまうという課題が生じる。

【0005】

20

また、透過光の波長範囲が広いほど波長可変フィルターの帯域を確保するために、光学膜の構造が複雑になるという課題も生じる。つまり、所望波長帯域の全帯域をカバーできる光学膜の設計が必要となり、光学膜の構造が複雑になる。光学膜の構造が複雑化すると、製造上の負担が増え、また、透過光の強度が低下するといった不都合が生じ易くなる。

【0006】

本発明の少なくとも一つの態様によれば、例えば、波長可変フィルターの可動範囲を抑制することができる。また、例えば、光学膜の構造の複雑化を抑制することができる。

【課題を解決するための手段】

【0007】

（1）本発明の光フィルターの一態様は、第1波長可変バンドパスフィルターと、第2波長可変バンドパスフィルターと、前記第1波長可変バンドパスフィルターおよび前記第2波長可変バンドパスフィルターの各々を駆動する駆動部と、前記第1波長可変バンドパスフィルターおよび前記第2波長可変バンドパスフィルターの各々の分光帯域を可変に制御する制御部と、を含み、前記第1波長可変バンドパスフィルターは、所望波長帯域における第1波長帯域の光を分光可能であり、かつ、分光帯域として、前記第1波長帯域内の第1波長を中心波長とする第1分光帯域と、前記第1波長帯域内の第2波長を中心波長とする第2分光帯域と、を少なくとも有し、前記第2波長可変バンドパスフィルターは、前記所望波長帯域における、前記第1波長帯域に隣接する第2波長帯域の光を分光可能であり、かつ、分光帯域として、前記第2波長帯域内の第3波長を中心波長とする第3分光帯域と、前記第2波長帯域内の第4波長を中心波長とする第4分光帯域と、を少なくとも有する。

30

40

【0008】

本態様では、所望波長帯域を一つの波長可変フィルターでカバーするのではなく、複数の（つまり2以上の）波長可変バンドパスフィルターを用いてカバーする。すなわち、第1波長可変バンドパスフィルターならびに第2波長可変バンドパスフィルターが少なくとも設けられる。第1波長可変バンドパスフィルターは、所望波長帯域における第1波長帯域の光を分光可能とし、第2波長可変バンドパスフィルターは、所望波長帯域における、第1波長帯域に隣接する第2波長帯域の光を分光可能とする。

【0009】

第1波長可変バンドパスフィルターおよび第2波長可変バンドパスフィルターは、例え

50

ば、可変ギャップエタロンフィルターによって構成することができる。可変ギャップエタロンのギャップ値を制御することによって、一つの光学フィルターを用いて、実質的に複数の（つまり2以上の）分光帯域を実現することが可能となる。つまり、第1波長可変バンドパスフィルターは、分光帯域として、第1波長帯域内の第1波長を中心波長とする第1分光帯域と、第1波長帯域内の第2波長（例えば、波長軸上で、第1波長から、少なくとも第1分光帯域の帯域幅以上離れている波長）を中心波長とする第2分光帯域と、を少なくとも有する。同様に、第2波長可変バンドパスフィルターは、分光帯域として、第2波長帯域内の第3波長を中心波長とする第3分光帯域と、第2波長帯域内の第4波長（例えば、波長軸上で、第3波長から、少なくとも第3分光帯域の帯域幅以上離れている波長）を中心波長とする第4分光帯域と、を少なくとも有する。

10

【0010】

波長可変バンドパスフィルターは、一つの光学フィルターで、実質的に複数の分光帯域を実現することができ、簡易な構成で広い波長域をカバーでき、使い勝手がよいという特性を有する。この波長可変バンドパスフィルターを複数個使用し、各フィルターに、分光する帯域を割り当てることによって、より広い範囲の波長域を効率的にカバーできる、簡素化された構成をもつ光フィルターが実現される。これによって、例えば、個々の波長可変バンドパスフィルターの可動部の可動範囲を抑制して、アクチュエーターの駆動電圧の上昇を抑制することができる。また、例えば、各波長可変バンドパスフィルターに使用される光学膜（例えば、屈折率の異なる膜を積層した構造をもち、光の反射特性と透過特性とを併せ持つ光学膜）の構造または構成（厚み等を含む）を簡素化することができる。本態様によれば、光フィルターの設計上の負荷（設計負荷）ならびに製造上の負荷（プロセス負荷）を低減することができる。

20

【0011】

(2) 本発明の光フィルターの他の態様は、前記第1波長可変バンドパスフィルターは、第1基板と、前記第1基板と対向する第2基板と、前記第1基板に設けられた第1光学膜と、前記第2基板に設けられ、前記第1光学膜と対向する第2光学膜と、前記第1基板に設けられた第1電極と、前記第2基板に設けられ、前記第1電極と対向する第2電極と、を有し、前記第1電極と前記第2電極との間の静電力によって、前記第1光学膜と前記第2光学膜との間のギャップが制御されて前記第1分光帯域または前記第2分光帯域の光が分光可能であり、前記第2波長可変バンドパスフィルターは、第3基板と、前記第3基板と対向する第4基板と、前記第3基板に設けられた第3光学膜と、前記第4基板に設けられ、前記第3光学膜と対向する第4光学膜と、前記第3基板に設けられた第3電極と、前記第4基板に設けられ、前記第3電極と対向する第4電極と、を有し、前記第3電極と前記第4電極との間の静電力によって、前記第3光学膜と前記第4光学膜との間のギャップが制御されて前記第3分光帯域または前記第4分光帯域の光が分光可能である。

30

【0012】

本態様では、第1波長可変バンドパスフィルターおよび第2波長可変バンドパスフィルターとして、静電駆動式の可変ギャップエタロンフィルターを使用する。第1波長可変バンドパスフィルターは、第1基板（例えば固定基板）と、第1基板に対向して配置される第2基板（例えば可動基板）とを有する。第1基板（例えば固定基板）には、静電アクチュエーターの構成要素である第1電極が形成され、さらに、第1光学膜が形成されている。第2基板（例えば可動基板）には、静電アクチュエーターの構成要素である第2電極が、例えば第1電極と対向して配置され、例えば第1光学膜と対向するように第2光学膜が形成されている。第1光学膜と第2光学膜は、干渉計の構成要素である反射膜としての機能を有する。第1電極と第2電極との間に所定の電位差が生じると、電極間に例えば静電力（例えば静電引力）が生じる。例えば可動基板である第2基板は可撓性を有しており、第2基板に、静電力による撓みが生じ、第1光学膜と第2光学膜との間のギャップ（干渉ギャップ）の大きさが変化し（例えば縮小し）、可変ギャップエタロンフィルターの光透過帯域（つまり分光帯域）が変化する。

40

【0013】

50

第2波長可変バンドパスフィルターの構成と動作も同様である。つまり、第2波長可変バンドパスフィルターは、第3基板（例えば固定基板）と、第3基板に対向して配置される第4基板（例えば可動基板）とを有する。第3基板（例えば固定基板）には、静電アクチュエーターの構成要素である第3電極が形成され、さらに、第3光学膜が形成されている。第4基板（例えば可動基板）には、静電アクチュエーターの構成要素である第4電極が、第3電極に対向して配置され、例えば第3光学膜に対向するように第4光学膜が形成されている。第3光学膜と第4光学膜は、干渉計の構成要素である反射膜としての機能を有する。

【0014】

可変ギャップエタロンフィルターは、ファブリペロー干渉計の原理を利用した、構成が簡易で、小型化、低価格に適した波長可変フィルターであり、本態様では、この可変ギャップエタロンフィルターを複数使用して、各フィルターの各々に異なる波長帯域の光を分光させる。波長可変フィルターを複数用いることによって、1つのフィルターにおけるアクチュエーターの可動範囲が狭くなり、よって、駆動電圧を低減でき（省電力効果）、ならびに、1回の駆動電圧の変化量が小さくなることから、駆動電圧を大きく変化させる場合に比べて、駆動電圧の精度が向上するという効果を得ることができる。また、光学膜の設計も容易化される。よって、設計負荷ならびにプロセス負荷を低減することが可能となる。

【0015】

本態様によれば、例えば、簡素化された構成を備え、小型軽量で、広い波長範囲をカバー可能な使い勝手のよい光フィルターを実現することができる。

【0016】

(3) 本発明の光フィルターの他の態様では、前記第1電極は、前記第1基板の基板厚み方向から見た平面視において、前記第1光学膜の周囲に形成され、前記第2電極は、前記第2基板の基板厚み方向から見た平面視において、前記第2光学膜の周囲に形成され、前記第3電極は、前記第3基板の基板厚み方向から見た平面視において、前記第3光学膜の周囲に形成され、前記第4電極は、前記第4基板の基板厚み方向から見た平面視において、前記第4光学膜の周囲に形成されている。

【0017】

本態様では、第1波長可変バンドパスフィルターの第1電極、第2電極はそれぞれ第1光学膜、第2光学膜の周囲に形成されている。また、第2波長可変バンドパスフィルターの第3電極、第4電極はそれぞれ第3光学膜、第4光学膜の周囲に形成されている。このように第1光学膜、第2光学膜の周囲に第1電極、第2電極を設け、第3光学膜、第4光学膜の周囲に第3電極、第4電極を設けることで、電極間に生じた静電力で第1光学膜の間および第2光学膜の間のギャップを精度よく制御することが可能となる。

【0018】

(4) 本発明の光フィルターの他の態様では、前記第1光学膜、前記第2光学膜、前記第3光学膜および前記第4光学膜は、同じ材料で構成される。

【0019】

本態様では、複数の波長可変バンドパスフィルターの各々に設けられる光学膜の構成材料を共通化することができる。よって、光フィルターの製造負荷の軽減（例えば、製造プロセスの簡素化）を図ることができる。

【0020】

(5) 本発明の光フィルターの他の態様では、前記第2波長帯域は、前記第1波長帯域よりも長波長側の波長帯域であり、かつ、前記第2波長帯域の帯域幅は、前記第1波長帯域の帯域幅よりも広く設定されている。

【0021】

本態様では、第2波長可変バンドパスフィルターが分光可能とする第2波長帯域が、第1波長可変バンドパスフィルターが分光可能とする第1波長帯域よりも長波長側の波長帯域である場合に、第2波長帯域の帯域幅を、第1波長帯域の帯域幅よりも広く設定する。

10

20

30

40

50

【0022】

例えば、各フィルターで使用する光学膜の材料（ならびに構成）を共通化したとき、共通の光学膜を用いて実現できるバンドパスフィルターの帯域幅は、短波長側ほど短くなる傾向がある。例えば、バンドパスフィルターの帯域幅を決定するパラメーターとして、そのバンドパスフィルターを透過する波長自体が含まれている場合には、波長が短いほど、そのパラメーターの値が小さくなり、結果的にバンドパスフィルターの帯域幅も短くなる。また、分光測定器において、所定帯域幅の8つの分光帯域が必要である場合に、第1波長帯域に4つの分光帯域を割り当て、第2波長帯域に同じく4つの分光帯域を割り当てる場合を想定する。この場合、上述の事情から、短波長側の第1波長帯域が、第2波長帯域に比べて短くなり、したがって、第1波長帯域において、4つの分光帯域を割り当てる（つまり、4点の測定点を確保する）ことが難しくなる場合があり得る。この場合には、短波長側の波長帯域を分光可能とする第1波長可変バンドパスフィルターに使用する光学膜に関して、別材料の使用（ならびに別構造の採用）といった対策が必要となる。この場合には、光学膜の製造上の負担が増加する。

10

【0023】

そこで、本態様では、第1波長帯域と第2波長帯域とで帯域幅に差があることを許容し、長波長側の第2波長帯域の帯域幅を、短波長側の第1波長帯域の帯域幅よりも広く設定する。これによって、短波長側の第1波長帯域において、分光帯域の数を無理に確保する必要がなくなり、無理のない光フィルターの設計が可能となる。

【0024】

20

（6）本発明の光フィルターの他の態様では、前記第1波長帯域内において、所定帯域幅の複数の分光帯域が設けられ、また、前記第2波長帯域内において、前記所定帯域幅の複数の分光帯域が設けられ、前記第1波長帯域内に設けられる前記複数の分光帯域の数を m とし、前記第2波長帯域内において設けられる前記複数の分光帯域の数を n とした場合に、 $m < n$ が成立する。

【0025】

上記（5）の態様で説明したように、長波長側の第2波長帯域の帯域幅を、短波長側の第1波長帯域の帯域幅よりも広く設定することによって、短波長側の第1波長帯域において、分光帯域の数を無理に確保する必要がなくなる。

【0026】

30

そこで、本態様では、第1波長帯域と第2波長帯域の各々に割り当てる分光帯域の数を均等にせず、短波長側の第1波長帯域では、その数を少なく設定するという設計手法を採用する。つまり、第1波長帯域内に設けられる複数の分光帯域の数を m とし、第2波長帯域内において設けられる複数の分光帯域の数を n とした場合に、 $m < n$ が成立する。

【0027】

例えば、7つの分光帯域（7つの測定ポイント）が必要である場合に、第1波長帯域には3個（ $m = 3$ ）の分光帯域（3個の測定ポイント）を設定し、第2波長帯域には4個（ $n = 4$ ）の分光帯域（4個の測定ポイント）を設定する。これによって、短波長側の波長帯域に関しても、共通の光学膜を用いた波長可変バンドパスフィルターによる分光が可能となり、光フィルター（複数の波長可変バンドパスフィルターを備える光フィルター装置）の全体としての構成が複雑化しない。よって、製造上の負荷や設計上の負荷の増大が生じない。

40

【0028】

（7）本発明の光フィルターの他の態様では、前記第1波長可変バンドパスフィルターの分光帯域が m 回変化する場合における一つの分光帯域あたりの保持期間を t_m とし、前記第2波長可変バンドパスフィルターの分光帯域が n 回変化する場合における一つの分光帯域あたりの保持期間を t_n とした場合に、 $t_m > t_n$ が成立する。

【0029】

本態様では、各波長可変バンドパスフィルターにおける、一つの分光帯域あたりの保持期間に着目する。第1波長可変バンドパスフィルターの分光帯域が m 回変化し、前記第2

50

波長可変バンドパスフィルターの分光帯域が n 回変化する。上記 (5) の態様で説明したように、 $m < n$ が成立する。

【0030】

ここで、例えば、第1波長可変バンドパスフィルターおよび第2波長可変バンドパスフィルターとして、可変ギャップエタロンフィルターを使用し、また、例えば、各波長可変バンドパスフィルターにおける可動基板（第2基板および第4基板）のトータルの移動量（トータルのギャップ変化量）が同じである場合を想定する。例えば、可動基板のトータルのギャップ変化量を G としたとき、第1波長可変バンドパスフィルターに関しては、分光帯域を1回変化させる毎に、ギャップ値は (G/m) だけ変化することになり、第2波長可変バンドパスフィルターに関しては、分光帯域を1回変化させる毎に、ギャップ値は (G/n) だけ変化することになる。 $m < n$ であるため、 $(G/m) > (G/n)$ である。つまり、各バンドパスフィルターの1回あたりのギャップ変化量を比較すると、第1波長可変バンドパスフィルターの1回あたりのギャップ変化量 (G/m) の方が大きい。よって、アクチュエーターに供給される駆動電圧の、1回あたりの変化量（ステップ的な電圧変化量）は、第1波長可変バンドパスフィルターの方が大きいことになる。駆動電圧の変化量が大きいと、その駆動電圧が安定するまでのセトリングタイム（安定化時間）が長くなる。

【0031】

この点に着目し、本態様では、第1波長可変バンドパスフィルターにおける一つの分光帯域あたりの保持期間を t_m とし、第2波長可変バンドパスフィルターにおける一つの分光帯域あたりの保持期間を t_n とした場合に、 $t_m > t_n$ に設定する。つまり、第1波長可変バンドパスフィルターの駆動電圧の1回あたりの変化量が大きいことから、セトリングタイムを長くとって、1回の分光帯域の保持期間 t_m を、 t_n に比べて長く設定するものである。これによって、第1波長可変バンドパスフィルターの駆動に関しては、駆動電圧のセトリング期間を確保することができ、第2波長可変バンドパスフィルターの駆動に関しては、無駄に長い保持期間を設けることがなくなる。よって、無理のない、かつ効率的な分光処理が実現される。

【0032】

(8) 本発明の光フィルターの他の態様では、前記制御部は、 $m \cdot t_m$ と、 $n \cdot t_n$ とが同じになるように、 t_m および t_n を設定する。

【0033】

本態様では、各波長可変バンドパスフィルターが分光処理を開始してから分光処理を終了するまでの時間の略均一化を実現する。上記の(6)の態様では、 $t_m > t_n$ に設定される。ここで、 t_m および t_n の長さを調整すれば、 $m \cdot t_m$ と、 $n \cdot t_n$ とを略同じにすることができる。これによって、各波長可変バンドパスフィルターが分光処理を開始してから分光処理を終了するまでの時間が、略均一化されることになる。各波長可変バンドパスフィルターの、トータルの分光処理時間が均一化されることによって、例えば分光測定器における信号処理が容易化される（例えば各信号の処理タイミングを合わせやすくなる）。このことは、分光測定器等の光機器における信号処理の効率化に貢献する。

【0034】

(9) 本発明の光フィルターの他の態様では、前記所望波長帯域における、前記第2波長帯域に隣接する第3波長帯域の光を分光可能である第3波長可変バンドパスフィルターをさらに有し、前記第3波長帯域は、前記第1波長帯域および前記第2波長帯域よりも長波長側の波長帯域であり、前記第3波長帯域の帯域幅は、前記第1波長帯域の帯域幅よりも広く設定されており、前記第3波長帯域内において、前記所定帯域幅の複数の分光帯域が設けられ、かつ、前記第1波長帯域内において設けられる前記複数の分光帯域の数を m とし、前記第2波長帯域内において設けられる前記複数の分光帯域の数を n とし、前記第3波長帯域内において設けられる前記複数の分光帯域の数を s とした場合に、 $m < n < s$ または $m < n$ が成立し、かつ、 $m < n$ であるとき、 $n = m + 1$ であり、また、 $n < s$

10

20

30

40

50

であるとき、 $s = n + 1$ である。

【0035】

本態様では、3以上の波長可変バンドパスフィルターを使用する場合に、各波長可変バンドパスフィルターに設定される分光帯域の数（ギャップ可変数あるいは測定ポイント数）に制約を設ける。すなわち、第1波長可変バンドパスフィルターに設定される分光帯域数を m とし、第2波長可変バンドパスフィルターに設定される分光帯域数を n とし、第3波長可変バンドパスフィルターに設定される分光帯域数を s としたとき、 $m < n < s$ または $m < n < s$ が成立し、かつ、 m と n との差、または n と s との差は、0または1に設定される。ここで m 、 n 、 s は、前提として2以上の自然数である。つまり、 $m < n$ であるとき、 $n = m + 1$ が成立し、また、 $n < s$ であるとき、 $s = n + 1$ が成立する。

10

【0036】

例えば、複数の波長可変バンドパスフィルターを含む光フィルターにおいて設定可能なトータルの分光帯域の数（トータルの可変ギャップ数）を X とし（ X は偶数：ここでは16とする）、4個の波長可変バンドパスフィルターを使用する場合を想定する。なお、第4波長可変バンドパスフィルターに設定される分光帯域数を p とする。

【0037】

この場合、各波長可変バンドパスフィルターに均等に分光帯域数を割り当てる場合には、各フィルターに4個の分光帯域が割り当てられることになる。これに対して、本態様では、例えば、 $m = 3$ 、 $n = 4$ 、 $s = 4$ 、 $p = 5$ というように設定する。この例では、 m 、 n 、 s に関しては、 $m < n = s$ が成立し、また、 n 、 s 、 p に関しては、 $n = s < p$ が成立する（ここで、 n 、 s 、 p の各々を新たに m 、 n 、 s に置き換えると、 $m = n < s$ が成立していることになる）。

20

【0038】

本態様における制約を設けると、分光帯域を長くするのがむずかしい短波長域で、帯域幅を短くし、長波長域で帯域幅を長くするという原則（上記（4）の態様の原則）を基本としつつ、隣接する波長帯域の光を分光する2つの波長可変バンドパスフィルター間の、分光帯域数の差を0または1とすることができ（分光帯域数のばらつきを大きくしない効果がある）。よって無理のない設計が可能である。例えば、（7）の態様のように、各波長可変バンドパスフィルターのトータルの分光処理時間を均一化することが容易となる。

30

【0039】

（10）本発明の光フィルターモジュールの一態様は、上記いずれかの光フィルターと、前記光フィルターを透過した光を受光する受光素子と、を含む。

【0040】

光フィルターモジュールは、例えば、例えば光通信装置の受信部（受光光学系と受光素子を含む）として使用することができ、また、例えば、分光測定器の受光部（受光光学系と受光素子とを含む）として使用することができ、本態様によれば、透過光の波長範囲を広くとることができ、小型で、使い勝手のよい光フィルターモジュールが実現される。

【0041】

（11）本発明の分光測定器の一態様は、上記いずれかの光フィルターと、前記光フィルターを透過した光を受光する受光素子と、前記受光素子から得られる信号に基づく信号処理に基づいて所与の信号処理を実行する信号処理部と、を含む。

40

【0042】

本態様によれば、例えば、簡素化された構成を備え、小型軽量で、広い波長範囲をカバー可能な使い勝手のよい分光測定器を実現することができる。信号処理部は、受光素子から得られる信号（受光信号）に基づいて所定の信号処理を実行し、例えば、サンプルの分光光度分布を測定する。分光光度分布の測定によって、例えば、サンプルの測色、サンプルの成分分析等を行うことができる。なお、受光素子から得られる信号に関して、ノイズを除去するための補正を実行すると、分光測定の精度を向上させることができる。また、このノイズは例えば、各フィルターの透過率の半値幅が広いことに起因して、各フィルタ

50

ーに対応する受光信号に重畳される不要な帯域の受光成分などである。

【 0 0 4 3 】

(1 2) 本発明の光機器の一態様は、上記いずれかの光フィルターを含む。
これによって、簡素化された構成を備え、小型軽量で、広い波長範囲をカバー可能な使い勝手のよい光機器（例えば、各種センサーや光通信応用機器）が実現される。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 4 4 】

【図 1】(A) および (B) は、分光測定器の全体構成例と光フィルターの構成例を示す図

【図 2】(A) ~ (D) は、可変ギャップエタロンフィルターの原理と構造例を示す図

【図 3】(A) および (B) は、可変ギャップエタロンの具体的な構造例と、その動作を説明するための図

【図 4】(A) ~ (C) は、可変ギャップエタロンフィルターにおける、電極および光学膜の配置を説明するための図

【図 5】静電アクチュエーターを用いたギャップ制御について説明するための図

【図 6】ギャップを 4 段階で変化させることが可能な可変ギャップエタロンフィルターの透過特性の一例を示す図

【図 7】合計で 1 6 段階のギャップ変化を可能とするための可変ギャップエタロンフィルターの構成の一例と、その駆動方法の一例を示す図

【図 8】(A) ~ (D) は、波長可変バンドパスフィルターに入射する光の分光特性を求める方法を説明するための図

【図 9】(A) ~ (D) は、波長可変バンドパスフィルターに入射する光の分光特性を求める方法を説明するための図

【図 1 0】(A) および (B) は、第 2 実施形態における波長可変フィルターの特性の具体的な設計例を示す図

【図 1 1】波長可変エタロンを 3 個以上使用する場合における、各フィルターが分光可能とする帯域幅についての考察を説明するための図

【図 1 2】(A) ~ (C) は、複数の可変波長バンドパスフィルターの駆動方法の一例を示す図

【図 1 3】本発明に係る一実施形態の分析機器の一例である測色器の概略構成を示すブロック図

【図 1 4】分光測定器の分光測定動作の一例を示すフローチャート

【図 1 5】本発明に係る一実施形態の光機器の他の例である波長多重通信システムの送信機の概略構成を示すブロック図

【発明を実施するための形態】

【 0 0 4 5 】

以下、本発明の好適な実施の形態について詳細に説明する。なお以下に説明する本実施形態は特許請求の範囲に記載された本発明の内容を不当に限定するものではなく、本実施形態で説明される構成の全てが本発明の解決手段として必須であるとは限らない。

【 0 0 4 6 】

(第 1 実施形態)

本実施形態では、光フィルター（複数の波長可変バンドパスフィルターを備える）を含む光機器（ここでは分光測定器とする）を例にとって、光フィルターの構成例や動作例について説明する。なお、分光測定器の例としては、例えば、測色器、分光分析器、分光スペクトラムアナライザー等があげられる。

【 0 0 4 7 】

(分光測定器の全体構成例と光フィルターの構成例)

図 1 (A) および図 1 (B) は、分光測定器の全体構成例と光フィルターの構成例を示す図である。例えば、サンプル 2 0 0 の測色を行う場合には光源 1 0 0 が用いられ、また、サンプル 2 0 0 の分光分析を行う場合には、光源 1 0 0 ' が用いられる。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 8 】

図 1 (A) に示されるように、分光測定器は、光源 1 0 0 (あるいは 1 0 0 ') と、複数の波長可変バンドパスフィルター (可変 B P F (1) ~ 可変 B P F (4)) を備える光フィルター (分光部) 3 0 0 と、フォトダイオード等の受光素子 P D (1) ~ P D (4) を含む受光部 4 0 0 と、受光部 4 0 0 から得られる受光信号 (光量データ) に基づいて、所与の信号処理を実行して分光光度分布等を求める信号処理部 6 0 0 と、可変 B P F (1) ~ 可変 B P F (4) の各々を駆動する駆動部 3 0 1 と、可変 B P F (1) ~ 可変 B P F (4) の各々の分光帯域を可変に制御する制御部 3 0 3 と、を有する。信号処理部 6 0 0 は、信号処理回路 5 0 1 を有し、必要に応じて、補正演算部 5 0 0 を設けることも可能である。分光光度分布の測定によって、例えば、サンプル 2 0 0 の測色や、サンプル 2 0 0 の成分分析等を行うことができる。

10

【 0 0 4 9 】

なお、光フィルター 3 0 0 および受光部 4 0 0 によって、光フィルターモジュール 3 5 0 が構成される。光フィルターモジュール 3 5 0 は、分光測定器に適用できる他、例えば、光通信装置の受信部 (受光光学系と受光素子を含む) としても使用可能である (この例については、図 1 5 を用いて後述する) 。本実施形態における光フィルターモジュール 3 5 0 は、透過光の波長範囲を広くとることができ、小型軽量で、かつ使い勝手がよいという利点がある。

【 0 0 5 0 】

また、信号処理部 6 0 0 は、上記のとおり、受光部 4 0 0 から得られる受光信号 (光量データ) を補正する補正演算部 5 0 0 を含むことができる。例えば、受光部 4 0 0 から得られる信号に関して、ノイズを除去するための補正を実行すると、分光測定の精度を向上させることができる。なお、ノイズは、例えば、可変 B P F (1) ~ (4) の各々の透過率の半値幅が広いことに起因して、各フィルターに対応する受光信号に重畳される不要な帯域の受光成分である。

20

【 0 0 5 1 】

また、光源 1 0 0 (1 0 0 ') としては、例えば、白熱電球、蛍光灯、放電管、LED 等の固体発光素子を用いた光源 (固体発光素子光源) 等を使用することができる。

【 0 0 5 2 】

図 1 (B) に示すように、光フィルター 3 0 0 は、実質的に、波長 4 0 0 n m ~ 7 0 0 n m の広範囲にわたる波長帯域 (すなわち所望帯域) をカバーする、複数の分光帯域を設定可能なバンドパスフィルターである。すなわち、光フィルター 3 0 0 は、第 1 波長可変バンドパスフィルター (可変 B P F (1)) と、第 2 波長可変バンドパスフィルター (可変 B P F (2)) と、第 3 波長可変バンドパスフィルター (可変 B P F (3)) と、第 4 波長可変バンドパスフィルター (可変 B P F (4)) と、を有する。

30

【 0 0 5 3 】

第 1 波長可変バンドパスフィルター (可変 B P F (1)) は、波長 4 0 0 n m ~ 4 6 0 n m の波長帯域 (第 1 波長帯域) の光を分光し、かつ、帯域幅が 2 0 n m に設定されている 4 つの分光帯域 (透過波長帯域) b 1 ~ b 4 を有する。b 1 ~ b 4 の各々の帯域の中心波長は、4 0 0 n m , 4 2 0 n m , 4 4 0 n m および 4 6 0 n m である。第 2 波長可変バンドパスフィルター (可変 B P F (2)) は、4 8 0 n m ~ 5 4 0 n m の波長帯域 (第 2 波長帯域) を分光し、帯域幅が 2 0 n m に設定されている 4 つの分光帯域 (透過波長帯域) b 5 ~ b 8 を有する。b 5 ~ b 8 の各々の帯域の中心波長は、4 8 0 n m , 5 0 0 n m , 5 2 0 n m および 5 4 0 n m である。第 3 波長可変バンドパスフィルター (可変 B P F (3)) は、波長 5 6 0 n m ~ 6 2 0 n m の波長帯域 (第 3 波長帯域) を分光し、帯域幅が 2 0 n m に設定されている 4 つの分光帯域 (透過波長帯域) b 9 ~ b 1 2 を有する。b 9 ~ b 1 2 の各々の帯域の中心波長は、5 6 0 n m , 5 8 0 n m , 6 0 0 n m および 6 2 0 n m である。第 4 波長可変バンドパスフィルター (可変 B P F (4)) は、6 4 0 n m ~ 7 0 0 n m の波長帯域 (第 4 波長帯域) を分光し、帯域幅が 2 0 n m に設定されている 4 つの分光帯域 (透過波長帯域) b 1 3 ~ b 1 6 を有する。b 1 3 ~ b 1 6 の各々の帯域

40

50

の中心波長は、640nm, 660nm, 680nmおよび700nmである。なお、図1(B)において、p1~p16の各々は、光フィルター300が分光測定器に使用される場合における測定ポイントを示している(すなわち、16個の測定ポイントが設定されていることになる)。

【0054】

図1(A)および図1(B)に示される本実施形態における光フィルター300は、所望波長帯域(カバーすべき波長帯域)を一つの波長可変フィルターでカバーするのではなく、複数の(つまり2以上の)波長可変バンドパスフィルター(可変BPF(1)~可変BPF(4))を用いてカバーするという構成を採る。

【0055】

すなわち、2以上の波長可変バンドパスフィルター(第1波長可変バンドパスフィルターである可変BPF(1)ならびに第2波長可変バンドパスフィルターである可変BPF(2))が少なくとも設けられる。

【0056】

波長可変バンドパスフィルターは、一つの光学フィルターで、実質的に複数の分光帯域を実現することができ、簡易な構成で広い波長域をカバーでき、使い勝手がよいという特性を有する。本実施形態では、この波長可変バンドパスフィルターを複数個使用し、各フィルターに、分光する帯域を割り当てることによって、より広い範囲の波長域を効率的にカバー可能な、簡素化された構成をもつ光フィルターが実現される。これによって、例えば、個々の波長可変バンドパスフィルターの可動部の可動範囲を抑制して、アクチュエーターの駆動電圧の上昇を抑制することができる。また、例えば、各波長可変バンドパスフィルターに使用される光学膜(例えば、屈折率の異なる膜を積層した構造をもち、光の反射特性と透過特性とを併せ持つ光学膜)の構造または構成(厚み等を含む)を簡素化することができる。よって、光フィルターの設計上の負荷(設計負荷)ならびに製造上の負荷(プロセス負荷)を低減することができる。

【0057】

(可変ギャップエタロンフィルターについて)

図1(A)および図1(B)に示される波長可変バンドパスフィルター(可変BPF(1)~可変BPF(4))の各々は、例えば、可変ギャップエタロンフィルター(単に、可変ギャップエタロンという場合がある)によって構成することができる。可変ギャップエタロンのギャップ値を制御することによって、一つの光学フィルターを用いて、実質的に複数の(つまり2以上の)分光帯域を実現することが可能である。

【0058】

例えば、図1(B)の例では、第1波長可変バンドパスフィルター(可変BPF(1))は、ギャップ値を4段階にわたって変化させることができる可変ギャップエタロンを用いて構成することができる。したがって、第1波長可変バンドパスフィルター(可変BPF(1))は、実質的に、分光帯域として、第1波長帯域(400nm~460nm)内の第1波長400nmを中心波長とする第1分光帯域b1と、第1波長帯域(400nm~460nm)内の第2波長を中心波長とする第2分光帯域b2と、を少なくとも有している。第2波長は、第1波長とは異なり、かつ、波長軸上で、第1波長から少なくとも第1分光帯域の帯域幅(つまり20nm)以上離れている波長であり、ここでは420nmである。さらに、中心波長が第3波長(440nm)である20nmの帯域幅をもつ第3分光帯域b3, 中心波長が第4波長(460nm)である20nmの帯域幅をもつ第4分光帯域b4を有している。

【0059】

同様に、第2波長可変バンドパスフィルター(可変BPF(2))は、ギャップ値を4段階にわたって変化させることができる可変ギャップエタロンを用いて構成することができる。したがって、第2波長可変バンドパスフィルター(可変BPF(2))は、実質的に、分光帯域として、第2波長帯域(480nm~540nm)内の第5波長を中心波長とする第5分光帯域b5と、第2波長帯域(480nm~540nm)内の第6波長50

10

20

30

40

50

0 nmを中心波長とする第6分光帯域b6を少なくとも有している。さらに、中心波長が第7波長(520 nm)である20 nmの帯域幅をもつ第7分光帯域b7, 中心波長が第8波長(540 nm)である20 nmの帯域幅をもつ第8分光帯域b8を有している。

【0060】

図2(A)~図2(D)は、可変ギャップエタロンフィルターの原理と構造例を示す図である。図2(A)に示すように、可変ギャップエタロンフィルターは、互いに対向して配置される第1基板(例えば固定基板)20と、第2基板(例えば可動基板)30と、第1基板20の主面(表面)に設けられる第1光学膜40と、第2基板30の主面(表面)に設けられる第2光学膜50と、各基板によって挟持された、各基板間のギャップ(距離)を調整するためのアクチュエーター(例えば静電アクチュエーターや圧電素子等)80a, 80bと、を有する。

10

【0061】

なお、第1基板20および第2基板30の少なくとも一方が可動基板であればよく、双方を可動基板とすることも可能である。アクチュエーター80aおよびアクチュエーター80bは各々、駆動部(駆動回路)301aおよび駆動部(駆動回路)301bの各々によって駆動される。また、各駆動部(駆動回路)301a, 301bの動作は、制御部(制御回路)303によって制御される。

【0062】

所定角度で外部から入射する光Linは、ほとんど散乱されることなく第1光学膜40を通過する。第1基板20に設けられた第1光学膜40と第2基板30に設けられた第2光学膜50との間で、光の反射が繰り返され、これによって、光の干渉が生じ、特定の条件を満たす波長の光のみが強められ、その強められた波長の光の一部は、第2基板30上の第2光学膜50を通過して、受光部(受光素子)400に到達する。干渉によってどの波長の光が強め合うかは、第1基板20と第2基板30との間のギャップG1に依存する。よって、ギャップG1を可変に制御することによって、通過する光の波長帯域を変化させることができる。

20

【0063】

図2(B)は、可変ギャップエタロンフィルターの断面構造の一例を示している。可変ギャップエタロンは、対向して平行に配置される第1基板20および第2基板30と、第1光学膜40および第2光学膜50と、を有する。ギャップ(光学膜間の距離)はG1に設定されている。

30

【0064】

図2(C)は、第1基板20(例えばガラス基板)上に形成される第1光学膜40の構造例を示している。第1光学膜40は、一対(ワンペア)のシリコン酸化膜(SiO₂膜(屈折率n=1.5))および酸化チタン膜(TiO₂膜(屈折率n=2.5))を少なくとも有する積層膜である。第1光学膜40は、反射膜として機能し、また光透過膜としての機能を併せ持つ。なお、酸化チタン膜の上には、保護膜としての酸化膜が形成されている。この保護膜としての酸化膜の厚みを調整することによって、ギャップG1を微調整することも可能である。第2光学膜50も同様の構成とすることができる。

【0065】

40

図2(D)は、積層する光学膜のペア数に依存して、バンドパスフィルターの光透過特性がどのように変化するかを示している(但し、一例である)。単層膜(ワンペアの膜)の場合は、例えば実線で示すようなバンドパスフィルター特性(透過率の半値幅w1)となり、多層膜(2ペア以上の膜)の場合は、例えば実線で示すようなバンドパスフィルター特性(透過率の半値幅w2(w2>w1))となる。このように、光学膜を構成するペア数を増加させることによって、バンドパスフィルターにおける透過率の半値幅(つまり光透過帯域の帯域幅)を広げることができる。

【0066】

但し、例えば、図1(B)で示したような、400 nm~700 nmの広い波長帯域を、一つのバンドパスフィルターでカバーしようとする、光学膜の構造が複雑化し、設計

50

上の負担やプロセス上の負担が増大する。これに対して、先に説明したように、本発明では複数の波長可変フィルタを採用し、各波長可変フィルタの各々に、分光する帯域を割り当てることによって、一つの波長可変フィルタの負担を軽減することができる。

【0067】

つまり、可変ギャップエタロンは、構成が簡易で、小型化、低価格に適した波長可変フィルタであり、この可変ギャップエタロンフィルタを複数使用して、各フィルタの各々に異なる波長帯域を分光させることによって、例えば、簡素化された構成を備え、小型軽量で、広い波長範囲をカバー可能な使い勝手のよい光フィルタを、無理なく実現することができる。

【0068】

複数の波長可変バンドパスフィルタの負担が軽減されていることから、それらの複数の波長可変バンドパスフィルタの各々に設けられる光学膜の構成材料を共通化することができる。よって、光フィルタの製造負荷の軽減（例えば、製造プロセスの簡素化）を図ることができる。

【0069】

以下、可変ギャップエタロンの具体的な構造例について説明する。図3（A）および図3（B）は、可変ギャップエタロンの具体的な構造例と、その動作を説明するための図である。

【0070】

図3（A）において、第1基板20と例えば一体で、第2基板30を可動に支持する支持部22が形成されている。支持部22は、第2基板30に設けてもよく、あるいは第1、第2基板20、30とは別体で形成してもよい。

【0071】

第1、第2基板20、30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することができる。これらの中でも、各基板20、30の構成材料としては、例えばナトリウム（Na）やカリウム（K）などのアルカリ金属を含有したガラスが好ましく、このようなガラスにより各基板20、30を形成することで、光学膜（反射膜）40、50や、各電極60、70の密着性や、基板同士の接合強度を向上させることが可能となる。そして、これらの2つの基板20、30は、例えばプラズマ重合膜を用いた表面活性化接合などにより接合されることで、一体化されている。第1、第2基板20、30の各々は、一辺が例えば10mmの正方形に形成され、ダイヤフラムとして機能する部分の最大直径は例えば5mmである。

【0072】

第1基板20は、例えば、厚みが500μmに形成されるガラス基材をエッチングにより加工することで形成される。第1基板20は、第2基板30と対向する対向面のうちの中央の第1対向面20A1に、例えば円形の第1光学膜40が形成されている。同様に、第2基板30は、厚みが例えば200μmに形成されるガラス基材をエッチングにより加工することで形成される。第2基板30は、第1基板20と対向する対向面30Aの中央位置に、第1光学膜40と対向する例えば円形の第2光学膜50が形成されている。

【0073】

なお、第1、第2光学膜40、50は、例えば直径が約3mmの円形状に形成されている。この第1、第2光学膜40、50は、例えば、透過率の半値幅も狭く分解能が良好な、例えばTiO₂とSiO₂との積層膜からなる誘電体多層膜を使用することができ、また、AgC層等によって構成することもできる。第1、第2光学膜40、50は、例えば、スパッタリングなどの手法により第1、第2基板20、30に形成することができる。光学膜の膜厚寸法は、例えば0.03μmに形成されている。本実施形態では、第1、第2光学膜40、50として、可視光全域を分光できる光学膜を用いる。

【0074】

さらに、第1、第2基板20、30の各対向面20A1、20A2、30Aとは逆側の

10

20

30

40

50

面にて、第1, 第2光学膜40, 50に対応する位置に図示しない反射防止膜(AR)を形成することができる。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され、第1, 第2基板20, 30の界面での可視光の反射率を低下させ、透過率を増大させる。

【0075】

これら第1, 第2光学膜40, 50は、図3(A)に示す電圧非印加状態にて第1ギャップG1を介して対向配置されている。なお、ここでは第1光学膜40を固定鏡とし、第2光学膜50を可動鏡とするが、上述した第1, 第2基板20, 30の態様に応じて、第1, 第2光学膜40, 50のいずれか一方又は双方を可動とすることができる。

【0076】

平面視で第1光学膜40の周囲の位置であって、第1基板20の第1対向面20A1の周囲の第2対向面20A2には、例えば下部電極(第1電極)60が形成されている。なお、以下の説明において、平面視とは各基板の基板厚み方向から基板平面を見た場合をいう。同様に、第2基板30の対向面30Aには、下部電極60と対向して上部電極(第2電極)70が設けられている。下部電極(第1電極)60と上部電極(第2電極)70は、第2ギャップG2を介して、対向配置されている。なお、下部電極60および上部電極70の表面は、絶縁膜にて被覆することができる。

【0077】

本実施形態では、第1基板20が第2基板30と対向する面は、第1光学膜40が形成される第1対向面20A1と、平面視で第1対向面20A1の周囲に配置されて、下部電極60が形成される第2対向面20A2とを有する。第1対向面20A1と第2対向面20A2とは同一面であってもよいが、本実施形態では第1対向面20A1と第2対向面20A2との間には段差があり、第1対向面20A1の方が第2対向面20A2よりも第2基板30に近い位置に設定している。これにより、第1ギャップG1<第2ギャップG2の関係が成立する。

【0078】

また、光フィルター300では、平面視で第2光学膜50の周囲に配置された上部電極70に共通電圧(例えば接地電圧)を印加し、平面視で第1光学膜40の周囲に配置された下部電極60に電圧を印加することによって、図3(B)に示すように、対向電極間に矢印で示す静電力(個々では静電引力)F1を生じさせることができる。すなわち、下部電極60および上部電極70によって静電アクチュエーター80が構成される。この静電引力F1によって、第1, 第2光学膜40, 50間の第1ギャップG1を初期ギャップの大きさよりも小さいギャップとなるように可変に制御することができる。光学膜間のギャップの大きさによって透過光の波長が決まる。よって、ギャップを変化させることで透過波長を選択することが可能となる。

【0079】

図3(B)に示すように、入射光は、例えば第2基板30の上方から入射する。可変ギャップエタロンのギャップ値によって決まる波長帯域(分光帯域)の光のみが第1基板20を通過して出力光となる。その出力光は、受光部400によって受光され、受光強度に応じた電気信号(受光信号)が得られる。

【0080】

図3(A)および図3(B)に示す例では、可動基板である第2基板30の撓み性を確保するために、図1に示すように、上部電極(第2電極)70が形成される領域を例えば厚み寸法が50μm程度の薄肉部34としている。この薄肉部34は、第2光学膜50が配置される領域の厚肉部32、および支持部22と接触する領域の厚肉部36よりも肉薄に形成されている。換言すれば、第2基板30は、第2光学膜50及び上部電極70が形成される面30Aは平坦面であり、第2光学膜50が配置される第1領域に厚肉部32が形成され、上部電極70が形成される第2領域に薄肉部34が形成される。こうして、薄肉部34にて撓み性を確保しながら、厚肉部32を撓み難くすることで、第2光学膜50は平面度を保ってギャップを可変することが可能となる。

10

20

30

40

50

【0081】

図4(A)～図4(C)は、可変ギャップエタロンフィルターにおける、電極および光学膜の配置を説明するための図である。図4(A)は可変ギャップエタロンフィルターの断面図であり(参照符号は前掲の図面と同じである)、図4(B)は、上部電極(第2電極)70および第2光学膜50の平面視における配置を示す図であり、図4(C)は、下部電極(第1電極)60および第1光学膜40の平面視における配置を示す図である。

【0082】

図4(A)～図4(C)に明記されるように、第1基板20の中央部に第1光学膜40が設けられ、第2基板30の中央部において、第1光学膜40に対向するように第2光学膜50が設けられている。また、第1電極(第1駆動電極)40は、第1基板20に設けられ、平面視において、第1光学膜40の周囲に(具体的には、第1光学膜40を取り囲むように)形成されており、第2電極(第2駆動電極)50は、第2基板30に設けられ、平面視において、第2光学膜50の周囲に(具体的には、第2光学膜50を取り囲むように)形成されている。なお、図4(A)および図4(B)において、参照符号70Aおよび60Aは各々、引き出し電極を示す。

【0083】

このような構造をもつ光フィルター300は、光学膜(第1光学膜40および第2光学膜50)が形成される領域と、電極(下部電極60および上部電極70)が形成される領域とは、平面視で異なる領域となり(図4(B)および図4(C)参照)、よって、特許文献1に記載される例のように光学膜と電極とが積層されることはない。よって、第1、第2基板20、30の少なくとも一方(本実施形態では第2基板30)が可動基板とされても、光学膜と電極が積層されないために可動基板は撓み易さを確保できる。しかも、特許文献1に記載される光フィルターとは異なり、下部電極60および上部電極70上には光学膜が形成されないで、透過型または反射型波長可変干渉フィルターとして光フィルター300を利用しても、下部、上部電極60、70を、透明電極とする制約も生じない。なお、下部、上部電極60、70を仮に透明電極としたとしても、透過特性には影響が及ぶ。これに対して、図4の例では、下部電極60および上部電極70上には光学膜が形成されず、電極部分は光が通過しない領域となる。よって、透過型波長可変干渉フィルターである光フィルター300において、所望の透過特性を確保することが容易である。

【0084】

図5は、静電アクチュエーターを用いたギャップ制御について説明するための図である。図5に示される駆動部(駆動回路)301には、DAC(D/A変換器)114と、デジタル制御部112と、が設けられる。DAC(D/A変換器)114は、基準電圧源120から供給される、値の異なる複数の基準電圧値の各々をアナログ電圧に変換する。そのアナログ電圧は、駆動電圧として、例えば、静電アクチュエーターを構成する上部電極(第2電極)70に印加される。一方、下部電極(第1電極)60の電位は固定されている(例えば接地されている)。上部電極(第2電極)70と下部電極(第1電極)60の間に電位差 V_{seg} が生じると、これに伴って静電引力が発生し、可動基板である第2基板30が撓み、第1光学膜40と第2光学膜50との間のギャップが変化する(つまり、ギャップが縮小される)。

【0085】

図6は、ギャップを4段階で変化させることが可能な(つまりギャップ可変数が4である)可変ギャップエタロンフィルターの透過特性の一例を示す図である。つまり、図6は、ギャップを4段階にわたって変化させた場合の、可変ギャップエタロンの分光帯域の変化を示している。可変ギャップエタロンフィルターを透過する光の波長(0～3)とギャップG(G0～G3)との関係は、図6に示されるように、ギャップGが狭くなるとフィルターの分光帯域の中心波長が短くなるという関係にある(なお、可変ギャップエタロンにおいて、ギャップの屈折率をnとしたとき、ギャップが空気で満たされているのならばn=1である)。

【0086】

図7は、合計で16段階のギャップ変化を可能とするための可変ギャップエタロンフィルターの構成の一例と、その駆動方法の一例を示す図である。図7において、4個の可変ギャップエタロンフィルター10A~10Dが並置されている。ここでは、一例として光学膜の初期ギャップG1が各可変ギャップエタロンフィルター10A~10Dで同じ場合について説明する。各可変ギャップエタロンフィルター10A~10Dの各々は、4段階のギャップ変化が可能な、可変数4の波長可変バンドパスフィルターである。可変ギャップエタロンフィルター10A, 10B, 10C, 10Dの順で、分光する波長帯域の波長が長くなる。

【0087】

可変ギャップエタロンフィルター10A~10Dの各々の初期ギャップは共にG1に設定されている。但し、各フィルター10A~10Dの各々の、駆動開始直後の印加電圧(駆動電圧)のレベルは異なっている。つまり、各フィルター10A~10Dの各々の駆動開始直後の印加電圧(駆動電圧)はVA, VB, VC, VDであり、 $VA > VB > VC > VD$ の関係にある。図7に示される構成をもつ光フィルター300を、例えば分光測定器に適用した場合、図1(B)に示したように、16ポイント(p1~p16)の分光測定が可能である。

【0088】

(分光分布を求める方法について)

【0089】

次に、受光信号に基づいて、波長可変バンドパスフィルターに入射する光の分光特性を求める方法について説明する。図8(A)~図8(D)は、波長可変バンドパスフィルターに入射する光の分光特性を求める方法を説明するための図である。

【0090】

ここでは、図8(A)において、太い破線で示されるような分光強度分布をもつ光(例えば、赤色の光)が、波長可変バンドパスフィルター(可変ギャップエタロンフィルター)に入射する場合を考える。可変ギャップエタロンフィルターは、ギャップを4段階にわたって変化させることによって、実質的に、図8(B)に示すような、4つの分光帯域を実現することが可能である。つまり、可変ギャップエタロンフィルターは、4つの分光帯域を有する、ギャップ可変数が4である波長可変バンドパスフィルターである。

【0091】

図8(C)に示されるように、ギャップ値がG3であるとき、可変ギャップエタロンは、波長3を中心波長とした透過特性を有している。受光部(受光素子)400に到達する光量は、波長3を中心波長とした可変ギャップエタロンの透過特性と入射光の強度とによって決定される(具体的には、透過率と光強度との積によって決定される)。図8(D)に示されるように、ギャップ値がG2であるとき、可変ギャップエタロンは、波長2を中心波長とした透過特性を有している。

【0092】

図9(A)~図9(D)は、波長可変バンドパスフィルターに入射する光の分光特性を求める方法を説明するための図である。図9(A)に示されるように、ギャップ値がG1であるとき、可変ギャップエタロンは、波長1を中心波長とした透過特性を有している。図9(B)に示されるように、ギャップ値がG0であるとき、可変ギャップエタロンは、波長0を中心波長とした透過特性を有している。

【0093】

受光部400からは、図9(C)に示されるような受光光量に応じた電流I3~I0の各々が出力される。各フィルターの中心波長と、電流の電流値との関係を求めることによって、図9(D)に示されるような分光特性を示す特性線を描くことができる。具体的には、図9(C)に示される測定データ(電流値)に基づいて、信号処理部600(図1参照)が補完演算(線形補完等)を実行することによって、入射光の分光分布が検出される。つまり、図9(D)に示されるグラフにおける電流値は、受光強度に置き換えることが可能であることから、入射した光の分光特性が検出されたことになる。

【 0 0 9 4 】

(第 2 実施形態)

前掲の実施形態では、隣接する第 1 波長帯域 (4 0 0 n m ~ 4 6 0 n m) と第 2 波長帯域 (4 8 0 n m ~ 5 4 0 n m) の各々の帯域幅は同じであった (図 1 (B) 参照) 。これに対して、本実施形態では、隣接する第 1 波長帯域と第 2 波長帯域の各々の帯域幅に差を設ける。すなわち、第 2 波長帯域は、第 1 波長帯域よりも長波長側の波長帯域であるとき、第 2 波長帯域の帯域幅は、第 1 波長帯域の帯域幅よりも広く設定される。これは、短波長側ほど、長い波長帯域を確保することがむずかしくなることを考慮したものである。

【 0 0 9 5 】

例えば、第 1 波長帯域を分光する第 1 波長可変バンドパスフィルターおよび第 2 波長帯域を分光する第 2 波長可変バンドパスフィルターの各々で使用する光学膜の材料 (ならびに構成) を共通化したとき、共通の光学膜を用いて実現できるバンドパスフィルターの帯域幅は、短波長側ほど短くなる傾向がある。例えば、バンドパスフィルターの帯域幅を決定するパラメーターとして、そのバンドパスフィルターを透過する波長自体が含まれている場合には、波長が短いほど、そのパラメーターの値が小さくなり、結果的にバンドパスフィルターの帯域幅も短くなる。

【 0 0 9 6 】

例えば、分光測定器において、所定帯域幅の 8 つの分光帯域が必要である場合に、第 1 波長帯域に 4 つの分光帯域を割り当て、第 2 波長帯域に同じく 4 つの分光帯域を割り当てる場合を想定する。この場合、上述の事情から、短波長側の第 1 波長帯域が、第 2 波長帯域に比べて短くなり、したがって、第 1 波長帯域において、4 つの分光帯域を割り当てる (つまり、4 点の測定点を確保する) ことが難しくなる場合があり得る。この場合には、短波長側の波長帯域を分光する第 1 波長可変バンドパスフィルターに使用する光学膜に関して、別材料の使用 (ならびに別構造の採用) といった対策が必要となる。この場合には、光学膜の製造上の負担が増加する。

【 0 0 9 7 】

そこで、本実施形態では、第 1 波長帯域と第 2 波長帯域とで帯域幅に差があることを許容し、長波長側の第 2 波長帯域の帯域幅を、短波長側の第 1 波長帯域の帯域幅よりも広く設定する。これによって、短波長側の第 1 波長帯域において、分光帯域の数を無理に確保する必要がなくなり、無理のない光フィルターの設計が可能となる。以下、具体的に説明する。

【 0 0 9 8 】

(波長帯域の帯域幅についての考察)

先に図 2 (C) を用いて説明したように、光学膜は、屈折率が異なる一対の膜 (積層膜) を 1 単位 (ワンペア) として構成することができる。上側に積層される膜は屈折率 n_H が大きく、下側に積層される膜は屈折率 n_L が小さい。

【 0 0 9 9 】

光学膜として、ワンペアの積層膜を使用する場合 (上側膜 1 層、下側膜 1 層、合計で 2 層の場合) 、分光帯域の短波長側のエッジ波長を λ_1 とし、長波長側のエッジ波長を λ_2 とする。このとき、 λ_1 と λ_2 は各々、下記 (1) 式および (2) 式のように表すことができる。

【 数 1 】

$$\lambda_2 = \lambda_0 / (1 - \Delta g) \cdots \cdots (1)$$

$$\lambda_1 = \lambda_0 / (1 + \Delta g) \cdots \cdots (2)$$

ここで、 λ_0 は中心波長であり、 Δg は、下記 (3) 式で決まる定数である。

$$\Delta g = \frac{2}{\pi} \sin^{-1} \left(\frac{n_H - n_L}{n_H + n_L} \right) \cdots \cdots (3)$$

【 0 1 0 0 】

したがって、分光帯域の帯域幅 は、下記 (4) 式で表すことができる。

10

20

30

40

50

【数 2】

$$\Delta\lambda = \lambda_2 - \lambda_1 = \frac{2\Delta g}{(1 + \Delta g)(1 - \Delta g)} \lambda_0 \cdots \cdots (4)$$

(4)式からわかるように、分光帯域の帯域幅は、中心波長 λ_0 に依存しており、中心波長 (λ_0) が短くなるほど、分光帯域の帯域幅も短くなる。

【0101】

ここで、一例として、4つの可変ギャップエタロンフィルターを用いて分光測定を実行する場合を考える。測定範囲を可視光領域の400nm～700nmとして、入射光の分光分布を、20nm幅の帯域毎に求めるためには、16箇所の波長で測定する必要がある。各可変フィルターで4箇所ずつ測定すればよいが、短波長側のフィルターは(4)式より帯域が短いため、長波長側に比べて4箇所の測定が困難になりやすい。この対策として、短波長側の光学膜は別構造にする必要が生じる場合もあり得る。そこで、本実施形態では、長波長側のフィルターで短波長側よりも多くの測定箇所を設けるようにする。簡易に測定を実施することが可能となる。

10

【0102】

すなわち、第1波長帯域内において、所定帯域幅(例えば20nmピッチ)の複数の分光帯域が設けられ、また、第1波長帯域よりも長波長側の第2波長帯域内において、所定帯域幅(例えば20nmピッチ)の複数の分光帯域が設けられ、第1波長帯域内に設けられる複数の分光帯域の数をmとし、第2波長帯域内において設けられる複数の分光帯域の数をnとした場合に、 $m < n$ が成立する。

20

【0103】

つまり、本実施形態では、上記(4)式から、長波長側の第2波長帯域の帯域幅の方が長くなるため、これに合わせて、第1波長帯域と第2波長帯域の各々に割り当てる分光帯域の数を均等にせず、短波長側の第1波長帯域では、その数を少なく設定するという設計手法が採用される。

【0104】

例えば、7つの分光帯域(7つの測定ポイント)が必要である場合に、第1波長帯域には3個($m = 3$)の分光帯域(3個の測定ポイント)を設定し、第2波長帯域には4個($n = 4$)の分光帯域(4個の測定ポイント)を設定する。これによって、短波長側の波長帯域に関しても、共通の光学膜を用いた波長可変バンドパスフィルターによる分光が可能となり、光フィルター(複数の波長可変バンドパスフィルターを備える光フィルター装置)の全体としての構成が複雑化しない。よって、製造上の負荷や設計上の負荷の増大が生じない。

30

【0105】

また、従来は、広い波長帯域を1つの波長可変フィルターを使用してカバーしていたが、この従来例では、フィルターの可動部の可動範囲が大きくなるため、駆動電圧のダイナミックレンジが広くなり、駆動電圧のピーク値が高くなる。また、全波長帯域をカバーできる光学膜の設計が必要となり、光学膜の構造が複雑になる。本実施形態では、波長可変フィルターを複数個用い、各波長可変フィルターに異なる波長帯域を割り当てることによって、一つの波長可変フィルターの分光処理の負担を軽減することができる。つまり、波長可変フィルターを複数用いることにより、1つのフィルターの測定範囲が狭くなるため、アクチュエーターの可動範囲も狭くなり、よって、駆動電圧を低減でき(省電力効果)ならびに、1回の駆動電圧の変化量が小さくなることから、駆動電圧を大きく変化させる場合に比べて、駆動電圧の精度が向上するという効果を得ることができる。また、光学膜の設計も容易化される。よって、設計負荷ならびにプロセス負荷を低減することが可能となる。

40

【0106】

(具体的な設計例)

図10(A)および図10(B)は、第2実施形態における波長可変フィルターの特性の

50

具体的な設計例を示す図である。なお、ここでは、波長可変フィルターは、分光測定装置に使用されるものとする。

【 0 1 0 7 】

図 1 0 (A) に示すように、光フィルターは全体として、400 nm ~ 700 nm の所望帯域をカバーする。従来は、一つの波長可変フィルター（一つの波長可変バンドパスフィルター）で全帯域をカバーしていたが、図 1 0 (A) に示される例では、4 個の波長可変フィルター（第 1 波長可変フィルター ~ 第 4 波長可変フィルター）を使用し、各フィルターに異なる波長帯域を割り当てる。

【 0 1 0 8 】

第 1 波長可変フィルターは、400 nm ~ 440 nm の第 1 波長帯域を分光し、第 1 波長帯域内で 3 点の測定ポイント (p 1 ~ p 3) が設定される。つまり、3 つの分光帯域が設定される。また、第 2 波長可変フィルターは、460 nm ~ 520 nm の第 2 波長帯域を分光し、第 2 波長帯域内で、4 点の測定ポイント (p 4 ~ p 7) が設定される。つまり、4 つの分光帯域が設定される。また、第 3 波長可変フィルターは、540 nm ~ 600 nm の第 3 波長帯域を分光し、第 3 波長帯域内で、4 点の測定ポイント (p 8 ~ p 1 1) が設定される。つまり、4 つの分光帯域が設定される。また、第 4 波長可変フィルターは、620 nm ~ 700 nm の第 4 波長帯域を分光し、第 3 波長帯域内で、5 点の測定ポイント (p 1 2 ~ p 1 6) が設定される。つまり、5 つの分光帯域が設定される。

【 0 1 0 9 】

図 1 0 (B) には、複数の波長可変フィルターの各々の特性の設計例が示される。ここでは、2 層の光学膜（ワンペアの光学膜）を各フィルターで共通に使用するものとし、かつ、上側の膜の屈折率 n_H が 2.5 , 下側の膜の屈折率 n_L が 1.5 であり、設定される一つの分光帯域の幅を 20 nm としてシミュレーションを行っている。

【 0 1 1 0 】

上述のとおり、最も波長が短い帯域を分光する第 1 波長可変フィルターに関して、広い帯域を確保することがむずかしくなるが、本例では、測定ポイント数を減らしているために、必要帯域を無理なく確保することができる。

【 0 1 1 1 】

つまり、第 1 波長可変フィルターに関して、中心波長 λ_0 は 420 nm であり、必要帯域は 400 nm ~ 440 nm である。上記 (4) 式において、帯域幅 $\Delta\lambda$ は 139 nm になり、このとき、短波長側のエッジ波長 λ_1 は 362 nm であり、長波長側のエッジ波長 λ_2 は 501 nm である。 λ_1 と λ_2 で定まる波長帯域 (362 nm ~ 501 nm) は、上記の必要帯域 (400 nm ~ 440 nm) を満足する。したがって、最も短い波長帯域を分光する第 1 波長可変フィルターにおいて、他のフィルターと共通の光学膜を用いたとしても、無理なく必要帯域をカバーすることができる。

【 0 1 1 2 】

他の波長可変フィルターに関しても、必要帯域を無理なく確保することができる。つまり、第 2 波長可変フィルターに関して、中心波長 λ_0 は 490 nm であり、必要帯域は 460 nm ~ 520 nm であり、帯域幅 $\Delta\lambda$ は 162 nm となり、このとき短波長側のエッジ波長 λ_1 は 422 nm であり、長波長側のエッジ波長 λ_2 は 584 nm であり、 λ_1 と λ_2 で定まる波長帯域 (422 nm ~ 584 nm) は、必要帯域 (460 nm ~ 520 nm) を満足する。

【 0 1 1 3 】

また、第 3 波長可変フィルターに関して、中心波長 λ_0 は 570 nm であり、必要帯域は 540 nm ~ 600 nm であり、帯域幅 $\Delta\lambda$ は 188 nm となり、このとき、短波長側のエッジ波長 λ_1 は 491 nm であり、長波長側のエッジ波長 λ_2 は 679 nm であり、 λ_1 と λ_2 で定まる波長帯域 (491 nm ~ 679 nm) は、必要帯域 (540 nm ~ 600 nm) を満足する。

【 0 1 1 4 】

また、第 4 波長可変フィルターに関して、中心波長 λ_0 は 660 nm であり、必要帯域

10

20

30

40

50

は $620\text{ nm} \sim 700\text{ nm}$ であり、帯域幅 $\Delta\lambda$ は 218 nm になり、このとき、短波長側のエッジ波長 λ_1 は 569 nm であり、長波長側のエッジ波長 λ_2 は 787 nm であり、 λ_1 と λ_2 で定まる波長帯域 ($569\text{ nm} \sim 787\text{ nm}$) は、必要帯域 ($620\text{ nm} \sim 700\text{ nm}$) を満足する。

【0115】

(波長可変エタロンを3個以上使用する場合における帯域幅についての考察)

図11は、波長可変エタロンを3個以上使用する場合における、各フィルタが分光する帯域幅についての考察を説明するための図である。図11において、 W は、所望波長帯域であり、 W_1 は、第1波長可変バンドパスフィルタが分光する第1波長帯域であり、 W_2 は、第2波長可変バンドパスフィルタが分光する第2波長帯域であり、 W_3 は、第3波長可変バンドパスフィルタが分光する第3波長帯域である。また、第1波長帯域～第3波長帯域の各々の帯域幅は、 W_1L 、 W_2L 、 W_3L である。

【0116】

第1波長帯域 W_1 において、2つの測定ポイント (p_1 , p_2) が設定されている。第1波長帯域 W_1 における測定ポイントの数 (つまり、設定される分光帯域の数) を m とすると、図11に示される例では $m = 2$ である。また、第2波長帯域 W_2 において、3つの測定ポイント (p_3 , p_4 , p_5) が設定されている。第2波長帯域 W_2 における測定ポイントの数 (つまり、設定される分光帯域の数) を n とすると、図11に示される例では $n = 3$ である。また、第3波長帯域 W_3 において、4つの測定ポイント (p_6 , p_7 , p_8 , p_9) が設定されている。第3波長帯域 W_3 における測定ポイントの数 (つまり、設定される分光帯域の数) を s とすると、図11に示される例では $s = 4$ である。

【0117】

つまり、図11に示される例では、 $m < n < s$ であり、隣接する波長帯域における分光帯域の数の差は1である ($n = m + 1$, $s = m + 1$)。但し、これに限定されるものではなく、例えば、図10(A)に示した例のように、隣接する波長帯域における分光帯域の数が等しい場合もあり得る ($m = n$ あるいは $n = s$)。

【0118】

したがって、上記の例を総合的に考察すると、 m , n , s との関係に関して、以下の制約が導き出される。ここで m , n , s は、前提として2以上の自然数である。つまり、「第1波長帯域 w_1 内において設けられる複数の分光帯域の数を m とし、第2波長帯域 w_2 内において設けられる複数の分光帯域の数を n とし、第3波長帯域 w_3 内において設けられる複数の分光帯域の数を s とした場合に、 $m < n < s$ または $m = n < s$ が成立し、かつ、 $m < n$ であるとき、 $n = m + 1$ であり、また、 $n < s$ であるとき、 $s = n + 1$ である」ということができる。

【0119】

m , n , s に関して、このような制約を設けると、分光帯域を長くするのがむずかしい短波長域で、帯域幅を短くし、長波長域で帯域幅を長くするという原則を基本としつつ、隣接する波長帯域を分光する2つの波長可変バンドパスフィルタ間の、分光帯域数の差を0または1とすることができる (分光帯域数のばらつきを大きくしない効果がある)。よって無理のない設計が可能である。例えば、設定される分光帯域の数に大きな差があると、各波長可変バンドパスフィルタのトータルの分光処理時間に大きなバラツキが生じるが、隣接する波長帯域間で、分光帯域数の差が0または1になっていれば、各波長可変バンドパスフィルタのトータルの分光処理時間を、例えば、略均一にすることが容易となる。

【0120】

(第3実施形態)

本実施形態では、各波長可変バンドパスフィルタにおける、一つの分光帯域あたりの保持期間に着目する。例えば、第1波長可変バンドパスフィルタの分光帯域が m 回変化する場合における一つの分光帯域あたりの保持期間を t_m とし、第2波長可変バンドパスフィルタの分光帯域が n 回 ($n > m$) 変化する場合における一つの分光帯域あたりの保

持期間を t_n とした場合に、 $t_m > t_n$ に設定する。

【0121】

ここで、例えば、第1波長可変バンドパスフィルタおよび第2波長可変バンドパスフィルタとして、可変ギャップエタロンフィルタを使用する。また、各波長可変バンドパスフィルタにおける可動基板のトータルの移動量（トータルのギャップ変化量）は通常、各帯域のフィルタで異なるが、一例としてトータルのギャップ変化量が同じである場合を想定する。例えば、可動基板のトータルのギャップ変化量を G としたとき、第1波長可変バンドパスフィルタに関しては、分光帯域を1回変化させる毎に、ギャップ値は (G/m) だけ変化することになり、第2波長可変バンドパスフィルタに関しては、分光帯域を1回変化させる毎に、ギャップ値は (G/n) だけ変化することになる。 $m < n$ であるため、 $(G/m) > (G/n)$ である。つまり、各バンドパスフィルタの1回あたりのギャップ変化量を比較すると、第1波長可変バンドパスフィルタの1回あたりのギャップ変化量 (G/m) の方が大きい。よって、アクチュエーターに供給される駆動電圧の、1回あたりの変化量（ステップ的な電圧変化量）は、第1波長可変バンドパスフィルタの方が大きいことになる。駆動電圧の変化量が大きいと、その駆動電圧が安定するまでのセトリングタイム（安定化時間）が長くなる。

10

【0122】

この点に着目し、本態様では、第1波長可変バンドパスフィルタにおける一つの分光帯域あたりの保持期間を t_m とし、第2波長可変バンドパスフィルタにおける一つの分光帯域あたりの保持期間を t_n とした場合に、 $t_m > t_n$ に設定する。つまり、第1波長可変バンドパスフィルタの駆動電圧の1回あたりの変化量が大きいことから、セトリングタイムを長くにとって、1回の分光帯域の保持期間 t_m を、 t_n に比べて長く設定するものである。これによって、第1波長可変バンドパスフィルタの駆動に関しては、駆動電圧のセトリング期間を確保することができ、第2波長可変バンドパスフィルタの駆動に関しては、無駄に長い保持期間を設けることがなくなる。よって、無理のない、かつ効率的な分光処理が実現される。

20

【0123】

また、本実施形態では、各波長可変バンドパスフィルタが分光処理を開始してから分光処理を終了するまでの時間を略均一化することも可能である。つまり、制御部303（図1参照）が、 $m \cdot t_m$ と、 $n \cdot t_n$ とが同じになるように、 t_m および t_n を設定することによって、各フィルタのトータルの処理時間を略同じにすることも可能である。すなわち、 $t_m > t_n$ 、かつ $m < n$ であるときに、 t_m および t_n の長さを調整すれば、 $m \cdot t_m$ と、 $n \cdot t_n$ とを略同じにすることができる。各波長可変バンドパスフィルタの、トータルの分光処理時間が均一化されることによって、例えば分光測定器における信号処理が容易化される。例えば各信号の処理タイミングを合わせやすくなる。このことは、分光測定器等の光機器における信号処理の効率化に貢献する。以下、具体的に説明する。

30

【0124】

図12(A)～図12(C)は、複数の可変波長バンドパスフィルタの駆動方法の一例を示す図である。まず、図12(A)および図12(B)を参照する。図12(A)は、第1波長可変バンドパスフィルタの駆動電圧波形例を示し、図12(B)は、第2波長可変バンドパスフィルタの駆動電圧波形例を示す。

40

【0125】

図12(A)において、時刻 t_1 に、第1波長可変バンドパスフィルタ（可変BPF(1)）を用いた測定が開始され、時刻 t_2 において、エタロンのギャップが更新され、時刻 t_3 において、測定が終了する。合計で、2回の分光測定（測定1aおよび測定2a）が実行される。測定開始から測定終了までの時間を T とし、1回の測定時間（一つのギャップの保持期間）を t_m とする。また、時刻 t_1 における駆動電圧のレベルは V_{A0} であり、時刻 t_2 における駆動電圧のレベルは V_{A1} であり、時刻 t_3 における駆動電圧のレベルは V_{A2} である。 V_{A1} と V_{A0} との差（および V_{A2} と V_{A1} との差）は、

50

V_x である。また、時刻 $t_1 \sim$ 時刻 t_3 における、ギャップのトータルの変化量を G とする。

【0126】

また、図12(B)において、時刻 t_1 に、第2波長可変バンドパスフィルター(可変BPF(2))を用いた測定が開始され、時刻 t_4 において、エタロンのギャップの1回目の更新がなされ、時刻 t_5 において、エタロンのギャップの2回目の更新がなされ、時刻 t_3 において、測定が終了する。合計で、3回の分光測定(測定1b, 測定2bおよび測定3b)が実行される。測定開始から測定終了までの時間は、図12(A)の場合と同様に T であり、また、1回の測定時間(一つのギャップの保持期間)を t_n とする。

$t_n < t_m$ である。また、時刻 t_1 における駆動電圧のレベルは V_{B0} であり、時刻 t_4 における駆動電圧のレベルは V_{B1} であり、時刻 t_5 における駆動電圧のレベルは V_{B2} であり、時刻 t_3 における駆動電圧のレベルは V_{B3} である。 V_{B1} と V_{B0} との差(V_{B2} と V_{B1} との差、 V_{B3} と V_{B2} との差)は、 V_y である。ここで、 $V_y < V_x$ である。また、時刻 $t_1 \sim$ 時刻 t_3 における、ギャップのトータルの変化量を G とする。

【0127】

図12(A)および図12(B)のような駆動電圧波形とすれば、第1波長可変バンドパスフィルター(可変BPF(1))の測定開始から測定終了までの時間と、第2波長可変バンドパスフィルター(可変BPF(2))の測定開始から測定終了までの時間を同じ(共に T)とすることができる。

【0128】

図12(C)は、さらに、第3波長可変バンドパスフィルター(可変BPF(3))を追加して、3個のフィルターによって分光測定を行う場合の、1つのギャップ当たりの保持期間(測定時間)の例を示している。隣接する第1波長帯域 W_1 と第2波長帯域 W_2 、ならびに、隣接する第2波長帯域 W_2 と第3波長帯域 W_3 を考える。第1波長帯域 W_1 の帯域幅は W_1L であり、第2波長帯域 W_2 の帯域幅は W_2L であり、第3波長帯域 W_3 の帯域幅は W_3L である。また、第1波長帯域 W_1 における測定ポイント数(分光帯域数)は m であり、第2波長帯域 W_2 における測定ポイント数(分光帯域数)は n であり、第3波長帯域 W_3 における測定ポイント数(分光帯域数)は s である。

【0129】

可変ギャップエタロンの可動基板のトータルのギャップ変化量を G としたとき、第1波長可変バンドパスフィルター(可変BPF(1))に関しては、分光帯域を1回変化させる毎に、ギャップ値は (G/m) だけ変化することになり、第2波長可変バンドパスフィルター(可変BPF(2))に関しては、分光帯域を1回変化させる毎に、ギャップ値は (G/n) だけ変化することになる。そして、第3波長可変バンドパスフィルター(可変BPF(3))に関しては、分光帯域を1回変化させる毎に、ギャップ値は (G/s) だけ変化することになる。ここで、 $(G/m) > (G/n) > (G/s)$ が成立する。

【0130】

各フィルターの1回のギャップ更新当たりの駆動電圧の変化量を V_x, V_y, V_z とすると、 $V_x > V_y > V_z$ である。各フィルターの1つのギャップの保持期間(1回の測定時間)を t_m, t_n, t_s とすると、 $t_m > t_n > t_s$ である。ここで、 t_m, t_n, t_s の長さを適宜、調整することによって、各フィルターのトータルの測定時間 T に関して、 $T = m \cdot t_m = n \cdot t_n = s \cdot t_s$ とすることができる。

【0131】

このように、3個以上のフィルターを使用する場合であっても、各フィルターの1回の測定時間を適宜、調整することによって、各フィルターの測定開始から測定終了までの時間を揃えることができる。よって、例えば分光測定器における信号処理において、信号の処理タイミングを合わせやすくなり、効率的な信号処理を行える。

【0132】

10

20

30

40

50

(第4実施形態)

図13は、本発明に係る一実施形態の分析機器の一例である測色器の概略構成を示すブロック図である。図13において、測色器700は、光源装置202と、分光測定器203と、測色制御装置204と、を備えている。

【0133】

この測色器700は、光源装置202から検査対象Aに向かって例えば白色光を射出し、検査対象Aで反射された光である検査対象光を分光測定器203に入射させる。そして、分光測定器203にて検査対象光を分光し、分光した各波長の光の光量を測定する分光特性測定を実施する。言い換えると、検査対象Aで反射された光である検査対象光を光フ

10

【0134】

光源装置202は、光源210、複数のレンズ212(図1には1つのみ記載)を備え、検査対象Aに対して白色光を射出する。また、複数のレンズ212には、コリメーターレンズが含まれており、光源装置202は、光源210から射出された白色光をコリメーターレンズにより平行光とし、図示しない投射レンズから検査対象Aに向かって射出する。

【0135】

20

分光測定器203は、図13に示すように、エタロン10と、受光素子を含む受光部220と、駆動回路230と、制御回路部240と、を備えている。また、分光測定器203は、エタロン10に対向する位置に、検査対象Aで反射された反射光(測定対象光)を、内部に導光する図示しない入射光学レンズを備えている。

【0136】

受光部220は、複数の光電交換素子(受光素子)により構成されており、受光量に応じた電気信号を生成する。そして、受光部220は、制御回路部240に接続されており、生成した電気信号を受光信号として制御回路部240に出力する。なお、エタロン10と受光部(受光素子)220とでユニット化して、光フィルターモジュールを構成することができる。

30

【0137】

駆動回路230は、エタロン10の下部電極60、上部電極70、および制御回路部240に接続される。駆動回路230は、制御回路部240から入力される駆動制御信号に基づいて、下部電極60および上部電極70間に駆動電圧を印加し、第2基板30を所定の変位位置まで移動させる。駆動電圧としては、下部電極60と上部電極70との間に所望の電位差が生じるように印加されればよく、例えば、下部電極60に所定の電圧を印加し、上部電極70をアース電位としてもよい。駆動電圧としては、直流電圧を用いるのが好ましい。

【0138】

40

制御回路部240は、分光測定器203の全体動作を制御する。この制御回路部240は、図13に示すように、例えばCPU250、記憶部260などにより構成されている。そして、CPU250は、記憶部260に記憶された各種プログラム、各種データに基づいて、分光測定処理を実施する。記憶部260は、例えばメモリーやハードディスクなどの記録媒体を備えて構成され、各種プログラム、各種データなどを適宜読み出し可能に記憶する。

【0139】

ここで、記憶部260には、プログラムとして、電圧調整部261、ギャップ測定部262、光量認識部263、および測定部264が記憶されている。なお、ギャップ測定部262は上述の通り省略しても良い。

【0140】

50

また、記憶部 260 には、第 1 ギャップ G 1 の間隔を調整するために静電アクチュエーター 80, 90 に印加する電圧値、およびその電圧値を印加する時間を関連付けた図 7 に示す電圧テーブルデータ 265 が記憶されている。

【0141】

測色制御装置 204 は、分光測定器 203 および光源装置 202 に接続されており、光源装置 202 の制御、分光測定器 203 により取得される分光特性に基づく測色処理を実施する。この測色制御装置 204 としては、例えば汎用パーソナルコンピュータや、携帯情報端末、その他、測色専用コンピュータなどを用いることができる。

【0142】

そして、測色制御装置 204 は、図 13 に示すように、光源制御部 272、分光特性取得部 270、および測色処理部 271などを備えて構成されている。光源制御部 272 は、光源装置 202 に接続されている。そして、光源制御部 272 は、例えば利用者の設定入力に基づいて、光源装置 202 に所定の制御信号を出力し、光源装置 202 から所定の明るさの白色光を射出させる。分光特性取得部 270 は、分光測定器 203 に接続され、分光測定器 203 から入力される分光特性を取得する。

【0143】

測色処理部 271 は、分光特性に基づいて、検査対象 A の色度を測定する測色処理を実施する。例えば、測色処理部 271 は、分光測定器 203 から得られた分光特性をグラフ化し、図示しないプリンターやディスプレイなどの出力装置に出力するなどの処理を実施する。

【0144】

図 14 は、分光測定器 203 の分光測定動作の一例を示すフローチャートである。まず、制御回路部 240 の CPU 250 は、電圧調整部 261、光量認識部 263、および測定部 264 を起動させる。また、CPU 250 は、初期状態として、測定回変数 n を初期化 (n = 0 に設定) する (ステップ S1)。なお、測定回変数 n は、0 以上の整数の値をとる。

【0145】

この後、測定部 264 は、初期状態、すなわち、静電アクチュエーター 80 に電圧が印加されていない状態で、エタロン 10 を透過した光の光量を測定する (ステップ S2)。なお、この初期状態における第 1 ギャップ G 1 の大きさは、例えば分光測定器の製造時において予め測定し、記憶部 260 に記憶しておいてもよい。そして、ここで得られた初期状態の透過光の光量、および第 1 ギャップ G 1 の大きさを測色制御装置 204 に出力する。

【0146】

次に、電圧調整部 261 は、記憶部 260 に記憶されている電圧テーブルデータ 265 を読み込む (ステップ S3)。また、電圧調整部 261 は、測定回変数 n に「1」を加算する (ステップ S4)。

【0147】

この後、電圧調整部 261 は、電圧テーブルデータ 265 から、測定回変数 n に対応する第 1, 第 2 電極 62, 64 の電圧データ及び電圧印加期間データを取得する (ステップ S5)。そして、電圧調整部 261 は、駆動回路 230 に駆動制御信号を出力し、電圧テーブルデータ 265 のデータに従って、静電アクチュエーター 80 を駆動する処理を実施する (ステップ S6)。

【0148】

また、測定部 264 は、印加時間経過タイミングで、分光測定処理を実施する (ステップ S7)。すなわち、測定部 264 は、光量認識部 263 により透過光の光量を測定させる。また、測定部 264 は、測定された透過光の光量と、透過光の波長とを関連付けた分光測定結果を測色制御装置 204 に出力する制御をする。なお、光量の測定は、複数回または全ての回数の光量のデータを記憶部 260 に記憶させておき、複数回毎の光量のデータまたは全ての光量のデータの取得後に、まとめて、それぞれの光量を測定してもよい。

【 0 1 4 9 】

この後、CPU 250は、測定回変数 n が最大値 N に達したか否かを判断し（ステップ S 8）、測定回変数 n が N であると判断すると、一連の分光測定動作を終了する。一方、ステップ S 8において、測定回変数 n が N 未満である場合、ステップ S 4に戻り、測定回変数 n に「1」を加算する処理を実施し、以降、ステップ S 5～ステップ S 8の処理を繰り返す。

【 0 1 5 0 】

（光機器の他の例）

【 0 1 5 1 】

図 15 は、本発明に係る一実施形態の光機器の他の例である波長多重通信システムの送信機の概略構成を示すブロック図である。波長多重（WDM: Wavelength Division Multiplexing）通信では、波長の異なる信号は干渉し合わないという特性を利用して、波長が異なる複数の光信号を一本の光ファイバー内で多重的に使用すれば、光ファイバー回線を増設せずにデータの伝送量を向上させることができるようになる。

【 0 1 5 2 】

図 15 において、波長多重送信機 800 は、光源 100 からの光が入射される光フィルター 300 を有し、光フィルター 300 からは複数の波長 $\lambda_0, \lambda_1, \lambda_2, \dots$ の光が透過される。波長毎に送信器 311, 312, 313 が設けられる。送信器 311, 312, 313 からの複数チャンネル分の光パルス信号は、波長多重装置 321 にて 1 つに合わせられて一本の光ファイバー伝送路 331 に送出される。

【 0 1 5 3 】

本発明は光符号分割多重（OCDM: Optical Code Division Multiplexing）送信機にも同様に適用できる。OCDM は、符号化された光パルス信号のパターンマッチングによってチャンネルを識別するが、光パルス信号を構成する光パルスは、異なる波長の光成分を含んでいるからである。

【 0 1 5 4 】

以上説明したように、本発明の少なくとも一つの実施形態によれば、例えば、波長可変フィルターを複数用いることにより、1 つのフィルターの測定範囲が狭くなったため、アクチュエーターの稼動範囲も狭くなり、よって、一つのフィルター当たりの駆動電圧を低減することができる。また、例えば、1 回の駆動電圧の変化量が少なくなるため、駆動電圧をより正確に制御でき、この点で、駆動精度を向上することができる。また、例えば、各波長可変フィルターの帯域が狭くなるため、光学膜の構造が簡単化される。よって、使用可能な光学膜の種類の自由度が増える等のメリットがある。また、例えば、広い波長帯域をカバーする場合であっても、光学膜の材料（ならびに構造）を共通化することができる。よって、設計的、プロセス的にも負荷が軽減される。また、例えば、長波長側の波長帯域の帯域幅を長くすることによって、短波長側に必要な測定波長範囲（帯域）を短くできる。よって、短波長側において、必要な帯域を無理なく確保することができ、各波長帯の測定を容易に行えるようになる。また、例えば、短波長側の波長帯域において、測定ポイント数を減少させることによって、短波長側の波長帯域においても無理のない測定を行うことができる。

【 0 1 5 5 】

本発明は、光フィルター、光フィルターモジュール、分光測定器（測色センサーやガスセンサー等）および光機器（光通信装置等）などに用いて好適である。

【 0 1 5 6 】

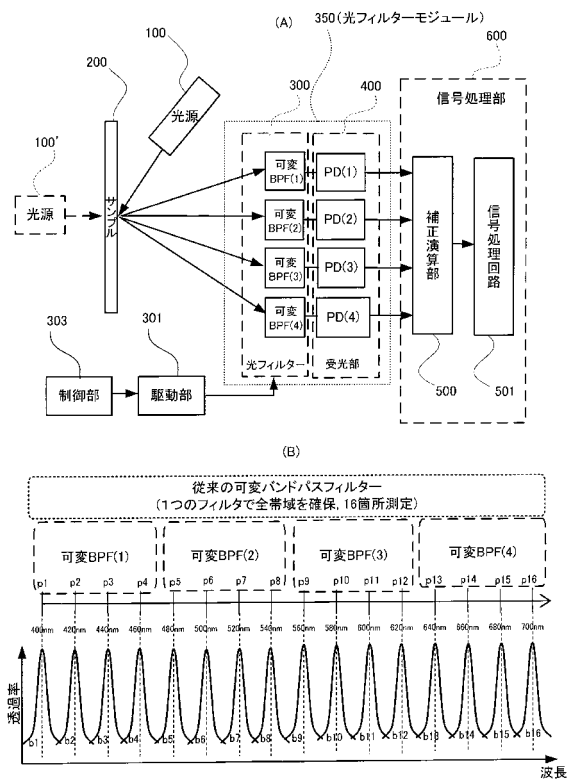
以上、幾つかの実施形態について説明したが、本発明の新規事項および効果から実体的に逸脱しない多くの変形が可能であることは当業者には容易に理解できるものである。従って、このような変形例はすべて本発明の範囲に含まれるものとする。例えば、明細書又は図面において、少なくとも一度、より広義または同義な異なる用語と共に記載された用語は、明細書又は図面のいかなる箇所においても、その異なる用語に置き換えることができる。

【符号の説明】

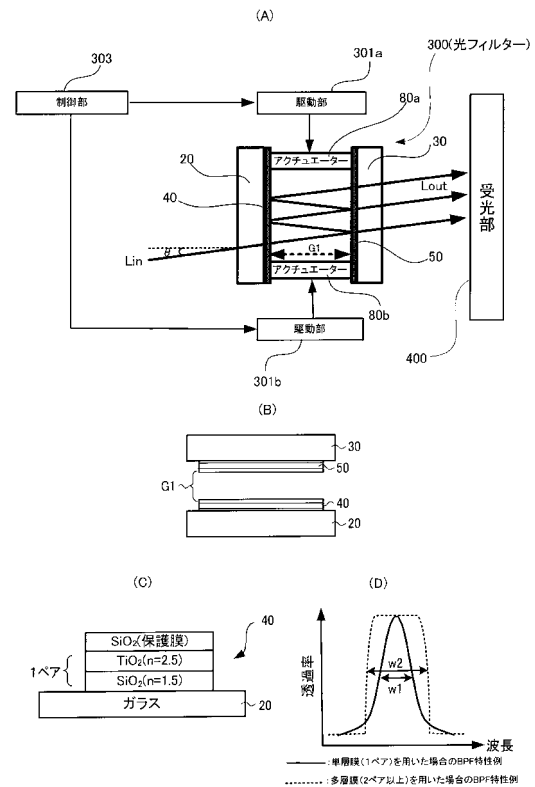
【 0 1 5 7 】

1 0 0 (1 0 0 ') 光源、2 0 0 サンプル、3 0 0 光フィルター、
 3 0 1 駆動部、3 0 3 制御部、4 0 0 受光部、5 0 0 補正演算部、
 6 0 0 信号処理部、2 0 第1基板、2 0 A 1 第1対向面、
 2 0 A 2 第2対向面、3 0 第2基板、3 0 A 対向面、4 0 第1光学膜、
 5 0 第2光学膜、6 0 下部電極(第1電極)、7 0 上部電極(第2電極)、
 8 0 静電アクチュエーター(ギャップ可変駆動部)

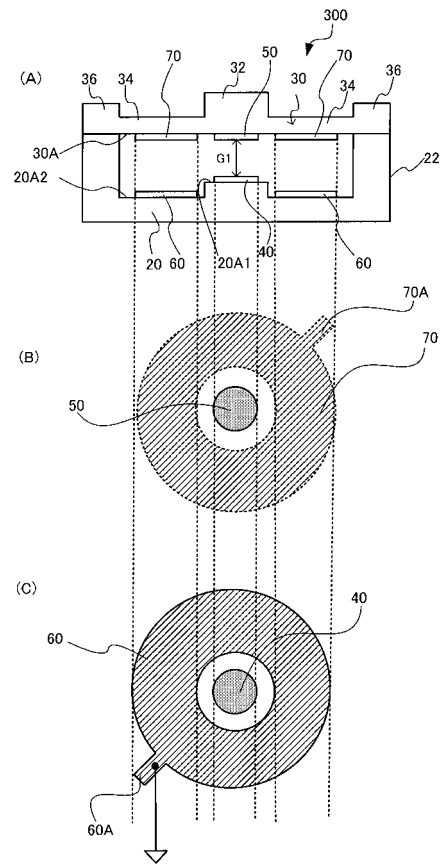
【図 1】



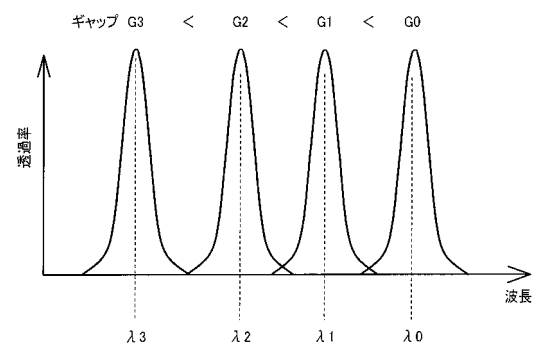
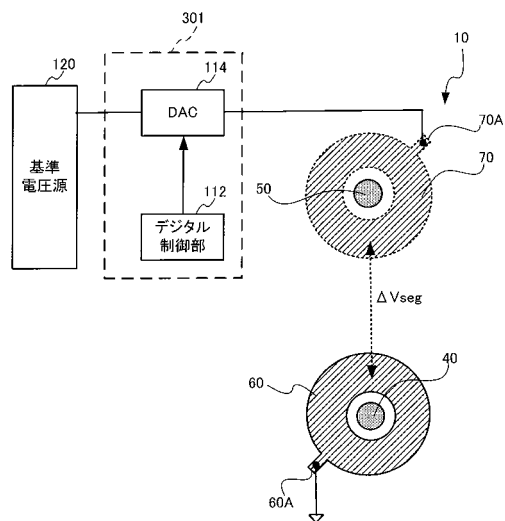
【図 2】



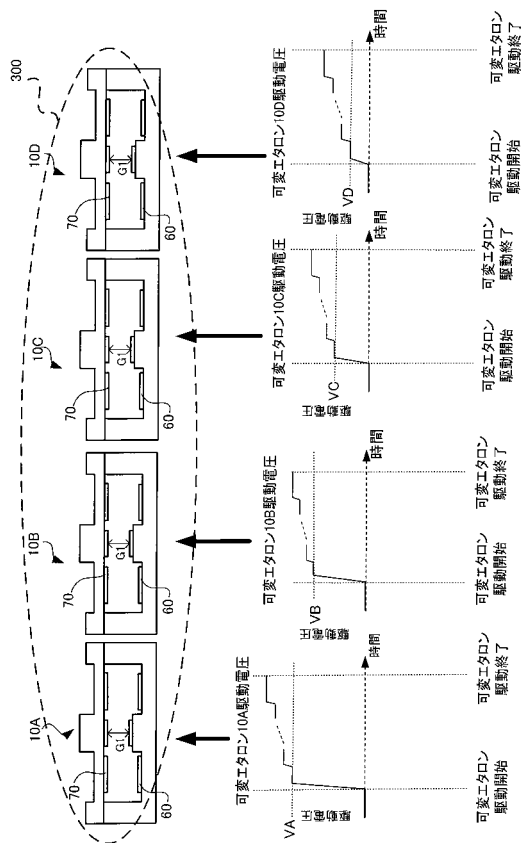
【 図 4 】



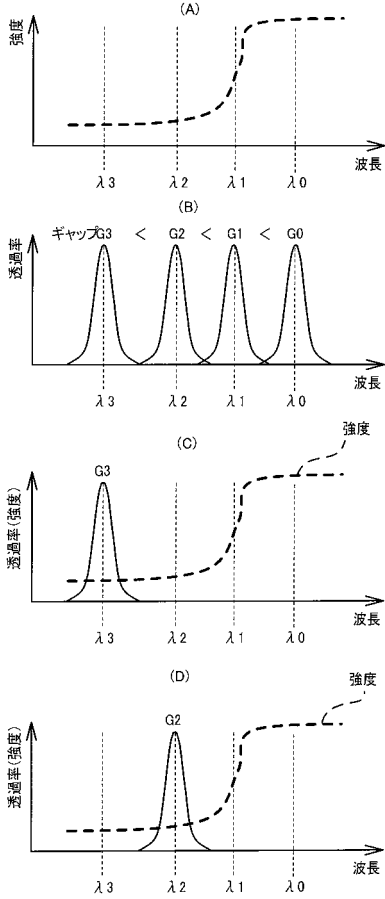
【 図 6 】



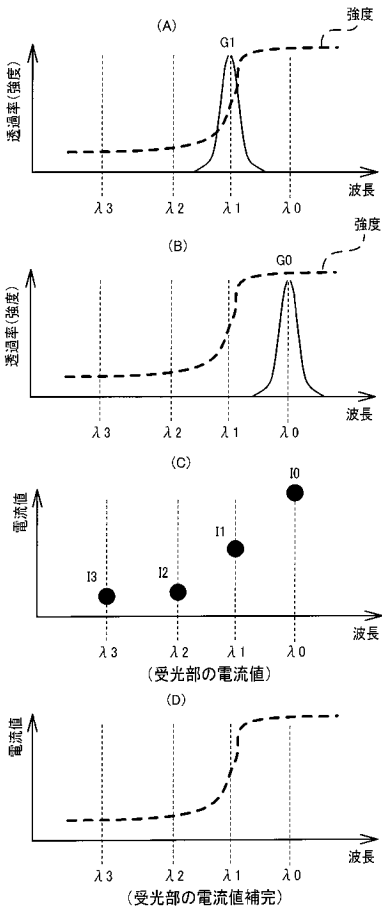
【図 7】



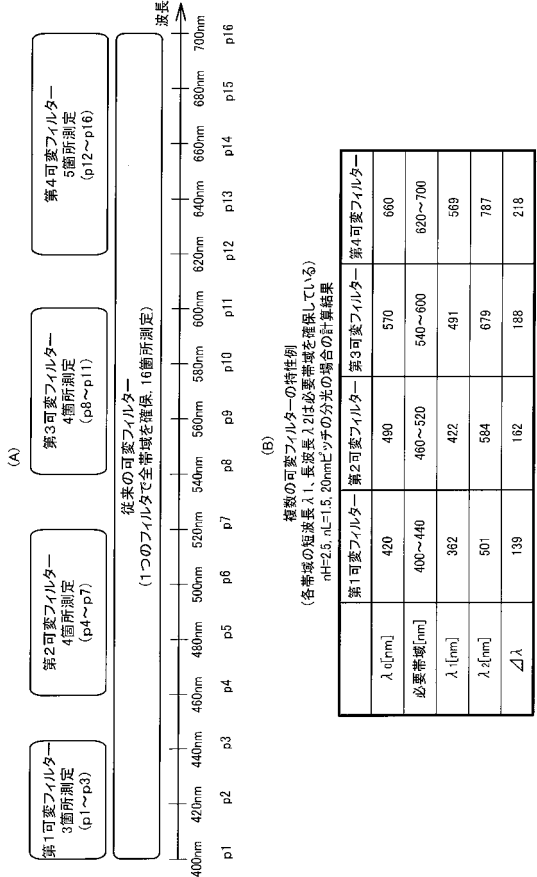
【図 8】



【図 9】

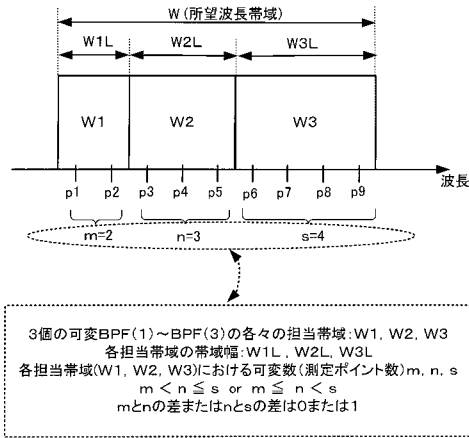


【図 10】

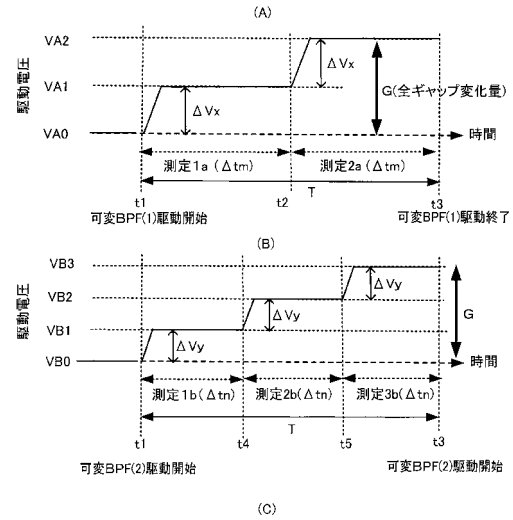


第1可変フィルタ	第2可変フィルタ	第3可変フィルタ	第4可変フィルタ
λ_0 [nm]	420	490	570
必要帯域 [nm]	400~440	460~520	540~600
λ_1 [nm]	382	422	491
λ_2 [nm]	501	584	679
$\Delta\lambda$	139	162	188

【図 1 1】

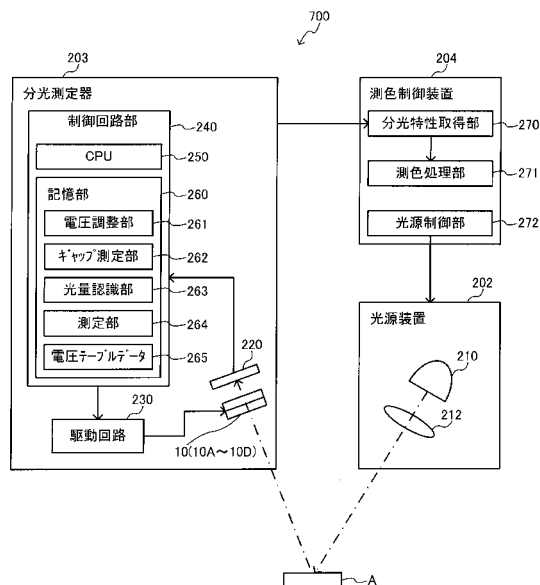


【図 1 2】

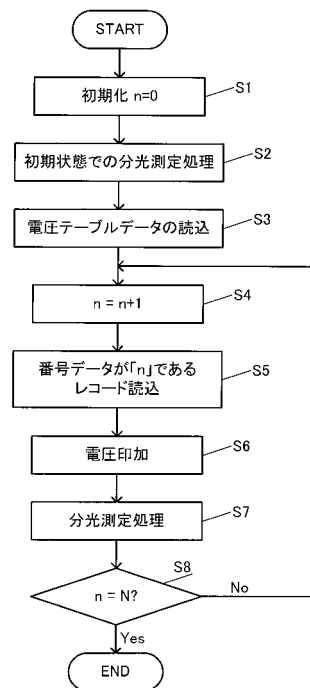


3個の波長可変フィルターを使用する場合の例
 $W1L < W2L < W3L$
 $m < n < s$
 一回のギャップ変化量: $G/m > G/n > G/s$ (Gは全ギャップ変化量)
 駆動電圧の変化量: $\Delta V_x > \Delta V_y > \Delta V_z$
 一回あたりの測定時間 $\Delta t_m > \Delta t_n > \Delta t_s$
 トータルの測定時間 $T = m \cdot \Delta t_m = n \cdot \Delta t_n = s \cdot \Delta t_s$

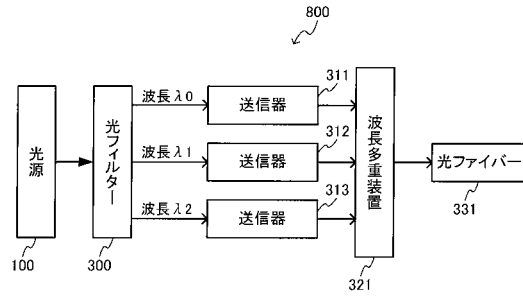
【図 1 3】



【図 1 4】



【図 15】



フロントページの続き

審査官 鈴木 俊光

(56)参考文献 特開 2 0 0 0 - 0 2 8 9 3 1 (J P , A)
特開 2 0 0 1 - 2 2 8 0 2 2 (J P , A)
特開 2 0 1 0 - 1 3 9 5 5 2 (J P , A)

(58)調査した分野(Int.Cl. , D B 名)

G 0 2 B	2 6 / 0 0		
G 0 1 J	3 / 1 2		
G 0 2 B	5 / 2 8		
G 0 1 N	2 1 / 1 7	-	2 1 / 6 1