

(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2020年9月10日(10.09.2020)



(10) 国際公開番号

WO 2020/179628 A1

(51) 国際特許分類:

G01J 3/26 (2006.01)

(21) 国際出願番号:

PCT/JP2020/008078

(22) 国際出願日:

2020年2月27日(27.02.2020)

(25) 国際出願の言語:

日本語

(26) 国際公開の言語:

日本語

(30) 優先権データ:

特願 2019-038587 2019年3月4日(04.03.2019) JP

(71) 出願人: コニカ ミノルタ 株式会社 (KONICA MINOLTA, INC.) [JP/JP]; 〒1007015 東京都千代田区丸の内二丁目7番2号 Tokyo (JP).

(72) 発明者: 中谷 通 (NAKATANI Toru); 〒1007015 東京都千代田区丸の内二丁目7番2号 コニカ ミノルタ 株式会社内 Tokyo (JP). 河野 利夫 (KAWANO Toshio); 〒1007015 東京都千代田区丸の内二丁目7番2号 コニカ ミノルタ 株式会社内 Tokyo (JP). 長澤 仁 (NAGASAWA

Hitoshi); 〒1007015 東京都千代田区丸の内二丁目7番2号 コニカ ミノルタ 株式会社内 Tokyo (JP). 長井 広治 (NAGAI Koji); 〒1007015 東京都千代田区丸の内二丁目7番2号 コニカ ミノルタ 株式会社内 Tokyo (JP).

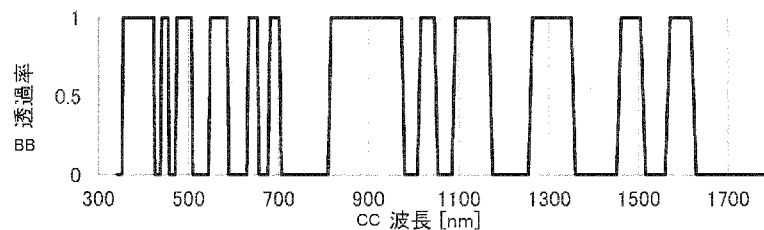
(74) 代理人: 高田 健市 (TAKATA Kenichi); 〒5420081 大阪府大阪市中央区南船場3丁目4番26号 出光ナガホリビル 清水国際特許事務所 Osaka (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL,

(54) Title: SPECTROSCOPIC DEVICE

(54) 発明の名称: 分光装置

実施例1のSLVFの点Aでの分光透過率 AA



AA Spectral transmission factor at point A of SLVF in embodiment 1
BB Transmissivity
CC Wavelength

(57) Abstract: The present invention comprises: a filter (1) that exhibits different spectral transmission factors depending on position, and that has the characteristic of passing a plurality of wavelength bands of light from a measurement subject; a driving means (5) for scanning the filter; and a detector (2) that detects the intensity of the light which passed through the filter and is from the measurement subject, and that sequentially measures the intensity of light when the filter (1) is scanned by the driving means (5), thereby acquiring a plurality of measurement data items used for calculating spectral information.

(57) 要約: 位置により分光透過率が異なるとともに、測定対象からの複数の波長帯の光を透過させる特性を有するフィルター(1)と、フィルターを走査する駆動手段(5)と、フィルターを透過した測定対象からの光の強度を検出する検出器2であって、駆動手段(5)によってフィルター(1)が走査されたときの光の強度を順次測定することにより、分光情報の算定に用いられる複数の測定データを取得する検出器(2)と、を備えている。

ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG,
US, UZ, VC, VN, WS, ZA, ZM, ZW.

- (84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

- 一 国際調査報告 (条約第21条(3))

明 細 書

発明の名称：分光装置

技術分野

[0001] この発明は、測定対象である光の分光情報を算定するのに用いられる分光装置及び分光測定用データの取得方法に関する。

背景技術

[0002] 従来、透過部位に応じて透過波長が異なる透過波長変化型フィルター（リニアバリアブルバンドパスフィルター（LVBPF））を走査させて分光情報を得る分光装置が知られている（例えば特許文献1、特許文献2）。

先行技術文献

特許文献

[0003] 特許文献1：特開2006-177812号公報

特許文献2：特開2017-207406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、LVBPFを走査させる分光装置では、LVBPFの透過波長域以外の光は、測定に利用されないので、光利用効率が低く、測定のS/N比が低くなってしまうという課題がある。

[0005] 特に2次元分光装置の場合、測定範囲を多数の小領域に分割し、各小領域の分光情報を測定するため、測定光量が小さく、さらに、LVBPFの光利用効率が低いので、測定のS/N比が低くなってしまうという課題がある。

[0006] この発明は、このような課題を解決するためになされたものであって、光利用効率が高く、高S/N比での測定が可能な分光装置及び分光測定用データの取得方法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

[0007] 上記目的は以下の手段によって達成される。

（1）位置により分光透過率が異なるとともに、測定対象からの複数の波長

帯の光を透過させる特性を有するフィルターと、前記フィルターを走査する駆動手段と、前記フィルターを透過した測定対象からの光の強度を検出する検出器であって、前記駆動手段によって前記フィルターが走査されたときの光の強度を順次測定することにより、分光情報の算定に用いられる複数の測定データを取得する検出器と、を備えた分光装置。

(2) 前記フィルターは、測定対象の波長域において、透過率80%以上の波長帯が2つ以上存在し、かつ、透過率20%以下の波長帯が3つ以上存在する前項1に記載の分光装置。

(3) 前記検出器は2次元センサーであり、測定対象面の像を前記フィルター上に形成する対物光学系と、前記フィルターを透過した光を、前記2次元センサー上に結像するリレー光学系と、をさらに備えている前項1または2に記載の分光装置。

(4) 位置により分光透過率が異なるとともに、測定対象からの複数の波長帯の光を透過させる特性を有するフィルターを用い、前記フィルターを走査しながら、フィルターを透過した測定対象からの光の強度を検出器で順次測定することにより、分光情報の算定に用いられる複数の測定データを取得する分光測定用データの取得方法。

(5) 前記フィルターは、測定対象の波長域において、透過率80%以上の波長帯が2つ以上存在し、かつ、透過率20%以下の波長帯が3つ以上存在する前項4に記載の分光測定用データの取得方法。

(6) 前記検出器は2次元センサーであり、測定対象面の像を対物光学系により前記フィルター上に形成し、前記フィルターを透過した光を、リレー光学系により前記2次元センサー上に結像する請求項4または5に記載の分光測定用データの取得方法。

発明の効果

[0008] 前項(1)に記載の発明によれば、フィルターは、位置により分光透過率が異なるとともに、複数の波長帯の光を透過させる特性を有しているから、このフィルターを走査することで、1個の波長帯の光のみを透過させるリニ

アバリアブルバンドパスフィルター（LVBPF））を用いる場合に較べて光利用効率が高く、高S／N比での測定が可能な分光装置とすることができる。

[0009] 前項（2）に記載の発明によれば、フィルターは、測定対象の波長域において、透過率80％以上の波長帯が2つ以上存在し、かつ、透過率20％以下の波長帯が3つ以上存在するから、光利用効率が高く、高S／N比での測定を安定的に行うことができる。

[0010] 前項（3）に記載の発明によれば、高S／N比で2次元分光情報の測定が可能な分光装置とすることができる。

[0011] 前項（4）に記載の発明によれば、光利用効率が高く高S／N比の測定用データを得ることができる。

[0012] 前項（5）に記載の発明によれば、利用効率が高く高S／N比の測定用データを安定的に得ることができる。

[0013] 前項（6）に記載の発明によれば、高S／N比で2次元分光情報の測定が可能な測定用データを得ることができる。

図面の簡単な説明

[0014] [図1]本発明の一実施形態に係る分光装置の構成を示す図である。

[図2]（a）は光の照射方向から見たフィルターの正面図、（b）は（a）のb－b線断面図である。

[図3]図2のフィルターの分光透過率を示す図で、横軸に疑似波長 p を縦軸に透過率をとった図である。

[図4]同じく図2のフィルターの分光透過率を示す図で、横軸に波長 p を縦軸に透過率をとった図である。

[図5]図2のフィルターにおいて、ある点Aと、この点Aから y 方向に距離 Δy 離れた点Bでの分光透過率を示す図である。

[図6]図2のフィルターにおける波長 λ と疑似波長 p との関係を示す図である。

。

[図7]図2のフィルターにおける位置 y と干渉膜の厚みの関係を示す図である。

。

[図8] 2次元センサーのある画素での測定と演算でのスペクトル復元を、シミュレーションした結果を示す図である。

[図9] 比較例におけるリニアバリアブルバンドパスフィルタ(LVBPF)の分光透過率を示すもので、上側の図は疑似波長 p と透過率の関係を、下側の図は波長 λ と透過率の関係をそれぞれ示す図である。

[図10] 実施例2でのフィルターの分光透過率を示すもので、上側の図は疑似波長 p と透過率の関係を、下側の図は波長 λ と透過率の関係をそれぞれ示している。

[図11] 実施例2において、2次元センサーのある画素での測定と演算でのスペクトル復元を、シミュレーションした結果を示す図である。

[図12] 実施例2でのフィルターの分光透過率を示すもので、上側の図は疑似波長 p と透過率の関係を、下側の図は波長 λ と透過率の関係をそれぞれ示す図である。

[図13] 実施例3において、2次元センサーのある画素での測定と演算でのスペクトル復元を、シミュレーションした結果を示す図である。

発明を実施するための形態

[0015] 以下、この発明の実施形態を図面に基づいて説明する。

[0016] 図1は、本発明の一実施形態に係る分光装置の構成を示す図である。図1に示すように、分光装置は、フィルター1と、2次元センサー2と、測定対象物6における測定対象面の像をフィルター1上に形成する対物光学系3と、フィルターを透過した光を2次元センサー上に結像するリレー光学系4と、駆動部5を備えており、対物光学系3により、測定対象面の像をフィルター1の面上に形成し、フィルター1を透過した光を、リレー光学系4により2次元センサー2上に結像させるようになっている。なお、対物光学系3及びリレー光学系4は、それぞれ複数のレンズを有する公知の構成である。

[0017] 駆動部5は、フィルター1を光軸7と垂直な方向(図1中の上向き矢印の方向)へ駆動走査するものであり、2次元センサー2は、測定対象からの光の強度を検出する検出器であり、撮像素子によって構成されている。

[0018] フィルター 1 は、光軸 7 と垂直な方向における位置により分光透過率が異なるとともに、複数の波長帯の光を透過させる特性を有するフィルター（SLVF）である。以下の説明では、フィルターを SLVF と記すこともある。分光透過率とは光の波長毎の透過率である。好ましくは、測定対象の波長域において、透過率 80% 以上の波長帯が 2 つ以上存在し、かつ、透過率 20% 以下の波長帯が 3 つ以上存在する特性を有しているのが良い。このような構成のフィルター 1 によって、光利用効率が高く、高 S/N 比での測定を安定的に行うことができる。

[0019] 上記の特性を有するフィルター 1 を駆動部 5 により光軸 7 と垂直な方向へ駆動走査しながら、順次、2 次元センサー 2 で撮像すると、毎回、異なる波長域の光による像（2 次元情報）が得られる。それらのデータから、演算により各点の分光情報が算出される。駆動部 5 によるフィルター 1 の具体的な駆動機構も公知であり、前述した特許文献 1 及び 2 に記載の駆動機構や、その他一般的な駆動方法を使うことが可能である。

[0020] なお、2 次元センサー 2 で得られたデータを用いての分光情報の算定は、分光装置自身で行われても良いし、2 次元センサー 2 で得られたデータをパーソナルコンピュータ等の外部演算装置に送信し、この外部演算装置で行われても良い。

[0021] 次に、2 次元センサー 2 のある画素の測定データについて考える。その画素には、測定対象面の対応する領域からの光が集光され、測定される。その測定対象の分光放射輝度 V を、

[0022] [数1]

$$V = \begin{pmatrix} V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_n \end{pmatrix}$$

[0023] とする。各要素は、後で説明するように、波長を対数変換した擬似波長で、等間隔にサンプリングされている。

[0024] フィルター 1 を除く測定系の分光感度を対角成分とする対角行列を、

[0025] [数2]

$$Q = \begin{pmatrix} q_1 & & & 0 \\ & q_2 & & \\ & & \ddots & \\ 0 & & & q_n \end{pmatrix}$$

[0026] とする。対角行列で、フィルター 1 以外の光学系の効率、透過率、2 次元センサー 2 の分光感度を含む。この測定光学系は、測定対象の波長域以外には感度が無い。

[0027] フィルター 1 を走査（移動）させながら順次測定した一連のデータを、測定値ベクトル M

[0028] [数3]

$$M = \begin{pmatrix} m_1 \\ m_2 \\ \vdots \\ m_n \end{pmatrix}$$

[0029] とし、各測定におけるフィルター 1 の分光透過率を行ベクトルとし、それを並べた行列を、

[0030] [数4]

$$S = \begin{pmatrix} S_{11} & \cdots & S_{1n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ S_{n1} & \cdots & S_{nn} \end{pmatrix}$$

[0031] とする。上記行列 S において、第 j 行目は、j 回目の測定におけるフィルター 1 の分光透過率を表している。

[0032] V、Q、M、S は $M = S * Q * V$ の関係にあり、フィルター 1 を駆動部 5 により所定量ずつ移動させながら、n 回測定することで、測定値の列ベクトル M が測定される。

[0033] よって、 $V = Q^{-1} * S^{-1} * M$ の演算により、分光放射輝度 V を得ることができる。 S 、 Q は事前に測定等によりデータを取得可能であり、その逆行列 S^{-1} 、 Q^{-1} も事前に算出可能である。

[実施例1]

図2にフィルター1の一例を模式図で示す。同図(a)は光の照射方向から見た正面図、(b)は(a)のb-b線断面図である。

[0034] 図2に示したフィルター1の分光透過率について説明する。図2(a)の正面図において、フィルター1の走査方向と平行な方向(図2(a)の上下方向)を y 方向とし、走査方向と直交する方向を x 方向とすると、図2のフィルター1は、 y 方向には位置により分光透過率が変化し、 x 方向には、分光透過率は変化しない。

[0035] 図2に示すフィルターでは、ある点Aにおける分光透過率が図3及び図4に示すように設定されている。図3は横軸に疑似波長 p を、縦軸に透過率を示したものであり、図4は横軸に波長 p を、縦軸に透過率を示したものであり、測定対象の波長域において、透過率80%以上の波長帯が2つ以上存在し、かつ、透過率20%以下の波長帯が3つ以上存在する。なお、疑似波長 p については後述する。

[0036] 図2に示すように、ある点Aから y 方向に距離 Δy 離れた点Bでのフィルター1の分光透過率は、図5に示すように、横軸を疑似波長 p とした分光透過率のグラフにおいて、点Aでの分光透過率が所定の量だけ、短波長側へシフトしたものとなっている。このような特性のフィルター1は、たとえば図2に示すように、ガラス基板11の光軸方向の両面に誘電体の多層膜(干渉膜ともいう)12、12を成膜した干渉膜フィルターで構成できる。模式図に示したように、多層膜12、12の厚みが、位置により連続的に変化することで、透過率スペクトルがシフトする特性となる。

[0037] 駆動部5により、距離 Δy ずつ、フィルター1を分光透過率が変化する y 方向へ走査して、23回測定した場合のフィルター1の透過率の行列 S は、

[0038]

[数5]

1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0
0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0
0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0
0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0
0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1
1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0
0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0
1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0
0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1
0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0
1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0
1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0
0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1	0
0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1	1
1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	1
1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0
0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0
1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1	1
0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	1
1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1
1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1
1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0	1
1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	0	0

[0039] と表せる。上記行列Sにおいてj行目は、j回目の測定におけるフィルター1の分光透過率、k列は擬似波長 p_k での分光透過率で、
 $p_k = p_1 + (k - 1) \Delta p$ ただし $k = 1, 2, 3, \dots, n$
 擬似波長pで等間隔になっている。

[0040] この実施例では、

$p_1 = 5.886$, 対応波長360.0nm

$p_2 = 5.922$, 対応波長373.3nm

$p_3 = 5.959$, 対応波長387.1nm

...

$p_{23} = 6.685$, 対応波長800.0nm

である。

[0041] この行列Sは、アダマール変換分光と同じ行列となっており、逆行列による演算で求めた分光測定値のS/N比は、フィルターとして1つの波長域のみ透過させるリニアバリアブルバンドパスフィルタ（LVBPF）を用いた場合（透過率行列Sが対角行列となる）に比べ、

[0042]

[数6]

$$\sqrt{\frac{(n+1)^2}{4n}}$$

[0043] 倍、改善される。上式において、 n は行列の行数、列数であり、実施例1では $n=23$ である。詳しい説明は、たとえば、アダマール変換分光、蟻川 達男(日本物理学会誌 第39巻 第11号 p835 (1984))に記載されている。

[0044] 次に、擬似波長 p について説明する。

[0045] フィルター1が、図2に示したような、ガラス基板11に誘電体の多層膜12、12を成膜した干渉膜フィルターの場合、多層膜12、12の各厚みを単純に元の k 倍の厚みにしても、透過率スペクトルは単純な波長シフトとならない。ガラス基板11、誘電体多層膜12、12の屈折率の波長分散は無視できるとすると、ある干渉膜12の波長 λ での透過率を $T_1(\lambda)$ 、その干渉膜12の各層の厚みを k 倍した干渉膜12の透過率を $T_k(\lambda)$ とすると、 $T_1(\lambda_1)=T_k(k\lambda_1)$ となり、単純な波長シフトとならない。

[0046] 以下のような波長 λ から擬似波長 p への変換を考える。

$$\lambda = e \times p(p)$$

$$p = \log(\lambda)$$

擬似波長 p での基準の干渉膜12の透過率の関数を U_1 とすると、

$$T_1(\lambda_1) = U_1(p_1)$$

干渉膜12の各層の厚みが k 倍の透過率の関数を U_k とすると、

$$T_k(\lambda_k) = U_k(p_k)$$

となる。ここで、

$$T_1(\lambda_1) = U_1(p_1) = T_k(\lambda_k) = U_k(p_k)$$

とする。 $T_1(\lambda_1) = T_k(k\lambda_1)$ であるから、

$$\lambda_k = k\lambda_1$$

である。ここで、 $\lambda_1 = e \times p(p_1)$ 、 $\lambda_k = e \times p(p_k)$ なので、

$$\lambda_k = k \lambda_1 = \exp(p_k) = k * \exp(p_1) = \exp(\log(k) + p_1)$$

よって、 $p_k = \log(k) + p_1$ であり、

$$U_1(p_1) = U_k(p_k) = U_k(\log(k) + p_1)$$

となる。

[0047] つまり、干渉膜 1 2 の各層の厚みを k 倍すると、波長 λ を疑似波長 p に座標変換した軸において、透過率が $\log(k)$ だけシフトする。

[0048] このような特性のフィルター 1 を用いる場合には、変換された疑似波長 p が等ピッチで変化するようにフィルター 1 を移動させて、順次測定、逆行列演算をすれば、疑似波長 p 軸上で等ピッチの分光情報が得られる。それを、波長 λ に変換すれば、容易に横軸が波長 λ の分光情報が得られる。ただし、その場合、波長 λ 軸上では等ピッチのデータとはならない。

[0049] [数7]

$$\frac{d\lambda}{dp} = \exp(p) = \lambda$$

[0050] であるから、波長 λ 軸上でのピッチは波長 λ に比例する。

[0051] 干渉膜 1 2 の各層の厚みは、層の番号を i とし、分光透過率が変化する方向 y の位置を y_k 、

$$y_k = y_1 + (k - 1) * \Delta y \quad \text{ただし } k = 1, 2, 3, \dots, n$$

とし、その位置での層の厚みを $h_i(y_k)$ とすると、

[0052] [数8]

$$h_i(y_k) = h_{i1} * g^{k-1} = h_{i1} * \exp\left(\frac{\log(g)}{\Delta y} * (y_k - y_1)\right) = h_{i1} * \exp(\log(g) * (k - 1))$$

[0053] となるように構成する。このように構成することで、位置が Δy ずれるごとに、厚みが g 倍されていく。

[0054] 前述したように、干渉膜 1 2 の各層の厚みが k 倍されると、分光透過率は、疑似波長 p 軸上で、 $\log(k)$ だけシフトするので、位置 y_1 を基準としたとき、位置 y_k における分光透過率の、疑似波長 p 軸上でのシフト量は $\log$

$(k) * (k - 1)$ であり、そのシフト量だけずれる。つまり、前述の擬似波長のピッチは、 $\Delta p = l \circ g(g)$ であり、

$$p_k = p_1 + (k - 1) * l \circ g(g)$$

である。

[0055] 位置 y に対し擬似波長 p のシフト量は線形であり、位置 y を等間隔でずらすと、擬似波長 p も等ピッチでずれていく。本実施例での波長 λ と擬似波長 p との関係を図 6 に、フィルター 1 における位置 y と干渉膜の厚みの関係を図 7 に示す。本実施例では、 y 方向に 2.2 mm ずらすと厚みが 2.222 倍となり、擬似波長 p が 0.7985 シフトする。例えば、 $p = 6.6846$ ($\lambda = 800 \text{ nm}$) が、 $p = 5.8861$ ($\lambda = 360 \text{ nm}$) にシフトする。

[0056] 2次元センサー 2 のある画素を考えると、フィルター 1 を 1 mm ずつずらして 23 回測定し、測定値ベクトル M を取得し、上述の演算によりスペクトルを算出する。

[0057] リレー光学系 4 の倍率を -1 、2次元センサー 2 の y 方向の画素ピッチを 0.1 mm とすると、フィルター 1 を y 方向に 0.1 mm ずつずらしながら順次測定すれば、すべての画素の測定値ベクトルを取得できる。この時、たとえば、2次元センサー 2 の第 1 行目が k 回目の測定をする際、同時に、2次元センサー 2 の第 11 行目は $k - 1$ 回目の測定を行え、効率よく測定が可能である。

[0058] 本実施例において、2次元センサー 2 のある画素での測定と演算でのスペクトル復元を、シミュレーションした結果を図 8 に示す。図 8 において、実線は被測定光源での実際の測定値（真値）であり、破線は演算による値である。図 8 から理解されるように、実際の測定結果と演算結果とが良く一致しており、正しく復元されていることが分かる。

[0059] 一般的な 1 つの波長域のみ透過させるリニアバリアブルバンドパスフィルタ (LVBPF) を用いて、同等の波長分解能とするシステム（比較例）と比べた場合に、 S/N 比がどれだけ改善しているかを、測定ごとにランダムなノイズが発生すると仮定して算出すると、2.502 倍の改善であった。これは、上

記〔数6〕に示した S/N 理論式において、 $n=23$ とした場合に一致している。比較例におけるリニアバリアブルバンドパスフィルタ(LVBPF)の分光透過率を図9に示す。同図上側の図は疑似波長 p と透過率の関係を、下側の図は波長 λ と透過率の関係をそれぞれ示している。比較例に係るフィルタにおける透過率行列 S は 23×23 の対角行列になる。

〔実施例2〕

実施例2の基本構成は実施例1と同じであるが、フィルター1の特性が異なり、フィルター1の透過率行列 S の行数、列数も異なる。実施例2でのフィルター1の分光透過率を図10に示す。上側の図は疑似波長 p と透過率の関係を、下側の図は波長 λ と透過率の関係をそれぞれ示している。

[0060] 実施例2では、 $n=103$ の場合のアダマル変換分光の行列に一致する分光透過率となっている。

[0061] 実施例2において、2次元センサー2のある画素での測定と演算でのスペクトル復元を、シミュレーションした結果を図11に示す。図11において、実線は被測定光源での実際の測定値（真値）であり、破線は演算による値である。この場合も、実際の測定結果と演算結果とが良く一致しており、正しく復元されていることが分かる。

[0062] 同等の波長分解能のリニアバリアブルバンドパスフィルタ(LVBPF)を基準とした場合の S/N 比改善効果は5.124倍であり、上記〔数6〕に示した S/N 理論式において、 $n=103$ とした場合に一致する。なお、比較に係るリニアバリアブルバンドパスフィルタ(LVBPF)の透過率行列 S は 103×103 の対角行列である。

[0063] 実施例2では、実施例1に比べ波長分解能が改善している。また、 S/N 比の改善効果も高い。

〔実施例3〕

実施例3の基本構成は実施例1と同じであるが、フィルター1の特性が異なり、フィルター1の透過率行列 S の行数、列数も異なる。実施例3でのフィルター1の分光透過率を図12に示す。上側の図は疑似波長 p と透過率の

関係を、下側の図は波長 λ と透過率の関係をそれぞれ示している。

- [0064] 実施例3におけるフィルター1の透過率行列 S は、実施例1での 23×23 の行列 S の各行、各列の間に、要素がすべて0の行及び列を4行及び4列ずつ挿入した、 111×111 の行列($23 + 22 \times 4 = 111$)になる。
- [0065] 実施例3において、2次元センサー2のある画素での測定と演算でのスペクトル復元を、シミュレーションした結果を図13に示す。図13において、実線は被測定光源での実際の測定値(真値)であり、破線は演算による値である。この場合も、実際の測定結果と演算結果とが良く一致しており、正しく復元されていることが分かる。
- [0066] 同等の波長分解能のリニアバリアブルバンドパスフィルタ(LVBPF)を基準とした場合の S/N 比改善効果は2.502倍であり、実施例1と同じく上記[数6]に示した S/N 理論式において、 $n = 23$ とした場合に一致する。なお、比較に係るリニアバリアブルバンドパスフィルタ(LVBPF)の透過率行列 S は 111×111 対角行列である。
- [0067] 実施例3では、実施例2と同程度以上の高い波長分解能となっている。一方で、 S/N 比の改善効果は実施例2に比べると低くなっている。しかし、実施例2のフィルター1は複雑な分光透過率波形となっており、製作難易度が高いが、実施例3のフィルター1では比較的シンプルな分光透過率波形となっており、製作難易度が低い点で好ましい。
- [0068] このようにこの実施形態では、フィルター1は、位置により分光透過率が異なるとともに、複数の波長帯の光を透過させる特性を有しているから、このフィルターを走査することで、1個の波長帯の光のみを透過させるリニアバリアブルバンドパスフィルタ(LVBPF)を用いる場合に較べて光利用効率が高く、高 S/N 比での測定が可能な分光装置とすることができる。
- [0069] 以上の実施形態では、ガラス基板11、誘電体多層膜12の屈折率の波長分散を無視したが、実際には、屈折率の波長分散の影響により、上記計算から若干ずれる。その誤差が小さくなるように、膜設計、位置 y に対する膜の厚みを補正しても良い。

[0070] また、上記実施形態では、フィルター 1 を一定量ずつ y 方向にシフトさせると、擬似波長に対する透過率波形が一定量ずつシフトする構成としたが、フィルター 1 の移動量が一定でなくても良いし、透過率波形のシフト量が一定でなくても良いし、透過率波形が多少くずれても良い。その場合、S/N 比の改善効果は小さくなってしまいが、分光情報の測定は可能である。

[0071] また、上記実施形態におけるフィルター 1 は、ガラス基板 1 1 の光軸方向の表裏両面に干涉膜 1 2、1 2 を設けているが、片面のみに干涉膜 1 2 を設ける構成でも良いし、複数枚のフィルター 1 で、所望の分光透過率を実現しても良い。

[0072] また、測定波長域外の光をカットする、短波長カットフィルター、長波長カットフィルターを、光学系に設置しても良い。

産業上の利用可能性

[0073] 本発明は、測定対象である光の分光情報を算定する際に利用可能である。

符号の説明

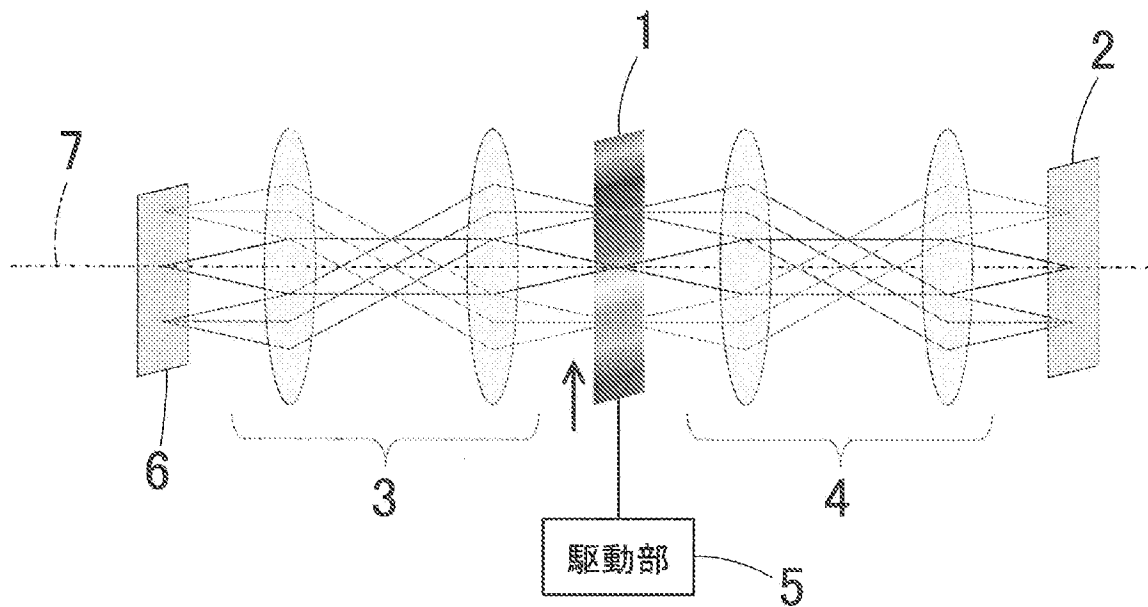
- [0074]
- 1 フィルター
 - 1 1 ガラス基板
 - 1 2 多層膜（干涉膜）
 - 2 2次元センサー
 - 3 対物光学系
 - 4 リレー光学系
 - 5 駆動部
 - 6 測定対象物

請求の範囲

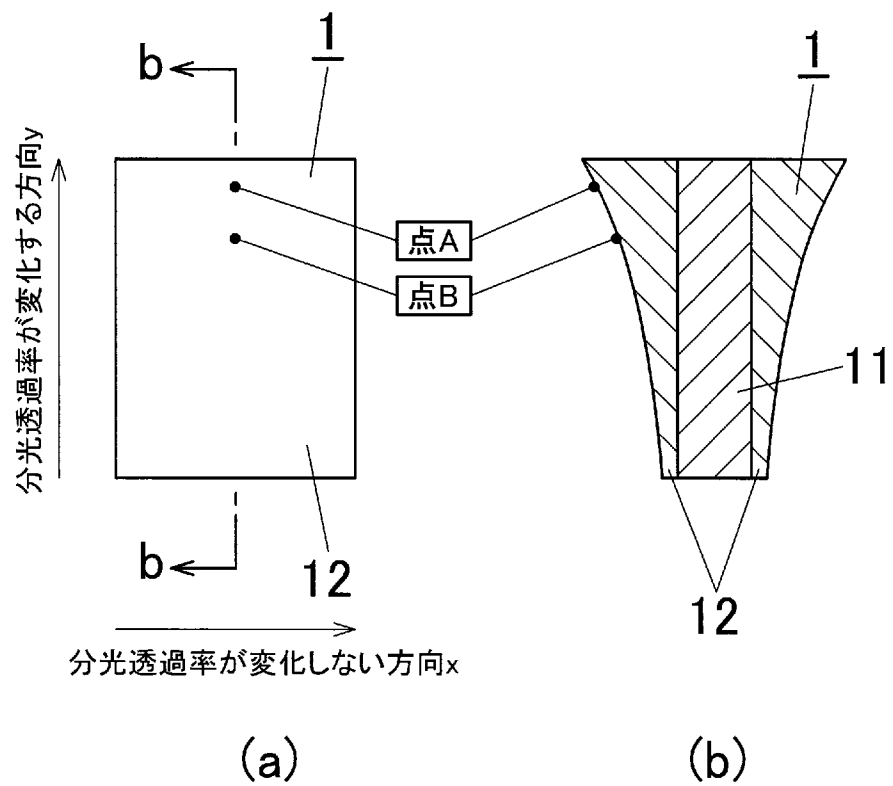
- [請求項1] 位置により分光透過率が異なるとともに、測定対象からの複数の波長帯の光を透過させる特性を有するフィルターと、
前記フィルターを走査する駆動手段と、
前記フィルターを透過した測定対象からの光の強度を検出する検出器であって、前記駆動手段によって前記フィルターが走査されたときの光の強度を順次測定することにより、分光情報の算定に用いられる複数の測定データを取得する検出器と、
を備えた分光装置。
- [請求項2] 前記フィルターは、測定対象の波長域において、透過率80%以上の波長帯が2つ以上存在し、かつ、透過率20%以下の波長帯が3つ以上存在する請求項1に記載の分光装置。
- [請求項3] 前記検出器は2次元センサーであり、
測定対象面の像を前記フィルター上に形成する対物光学系と、
前記フィルターを透過した光を、前記2次元センサー上に結像するリレー光学系と、
をさらに備えている請求項1または2に記載の分光装置。
- [請求項4] 位置により分光透過率が異なるとともに、測定対象からの複数の波長帯の光を透過させる特性を有するフィルターを用い、
前記フィルターを走査しながら、フィルターを透過した測定対象からの光の強度を検出器で順次測定することにより、分光情報の算定に用いられる複数の測定データを取得する分光測定用データの取得方法。
- [請求項5] 前記フィルターは、測定対象の波長域において、透過率80%以上の波長帯が2つ以上存在し、かつ、透過率20%以下の波長帯が3つ以上存在する請求項4に記載の分光測定用データの取得方法。
- [請求項6] 前記検出器は2次元センサーであり、
測定対象面の像を対物光学系により前記フィルター上に形成し、

前記フィルターを透過した光を、リレー光学系により前記２次元センサー上に結像する請求項４または５に記載の分光測定用データの取得方法。

[図1]

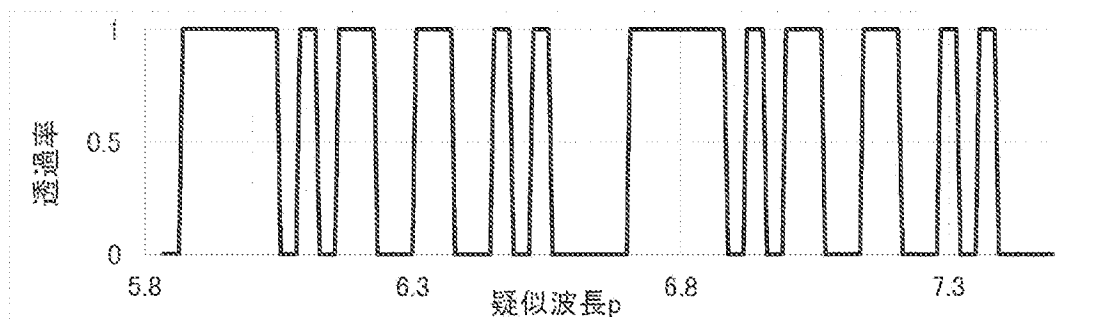


[図2]



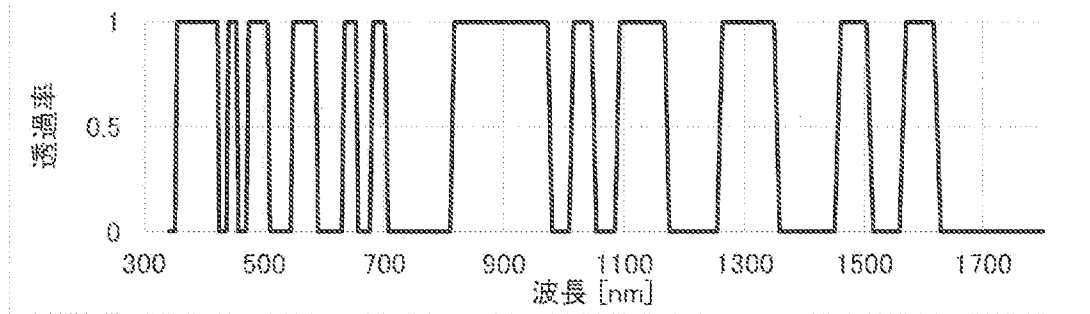
[図3]

実施例1のSLVFの点Aでの分光透過率



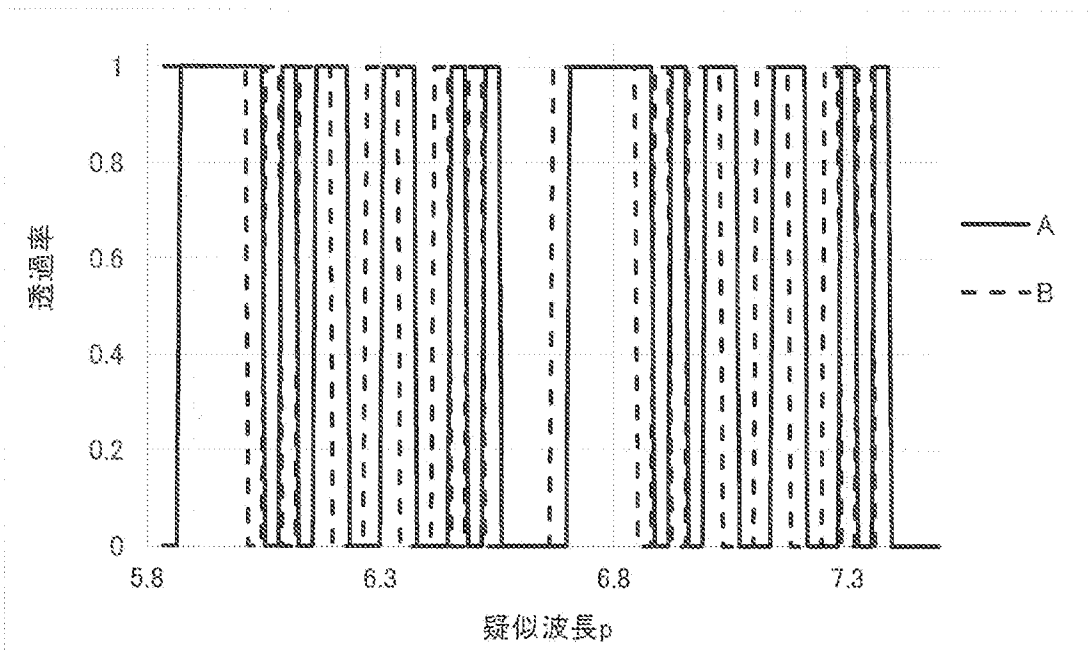
[図4]

実施例1のSLVFの点Aでの分光透過率

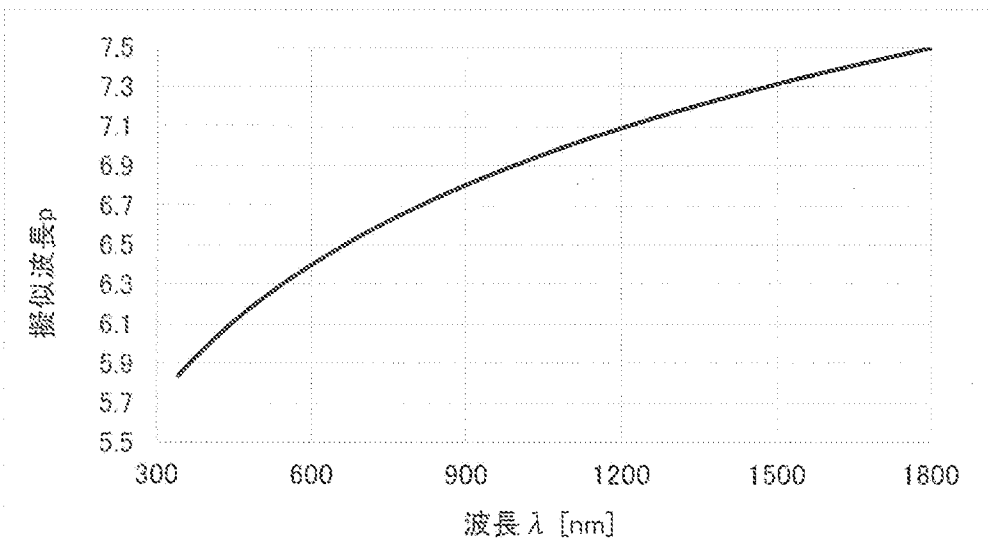


[図5]

実施例1のSLVFの点Aおよび点Bでの分光透過率

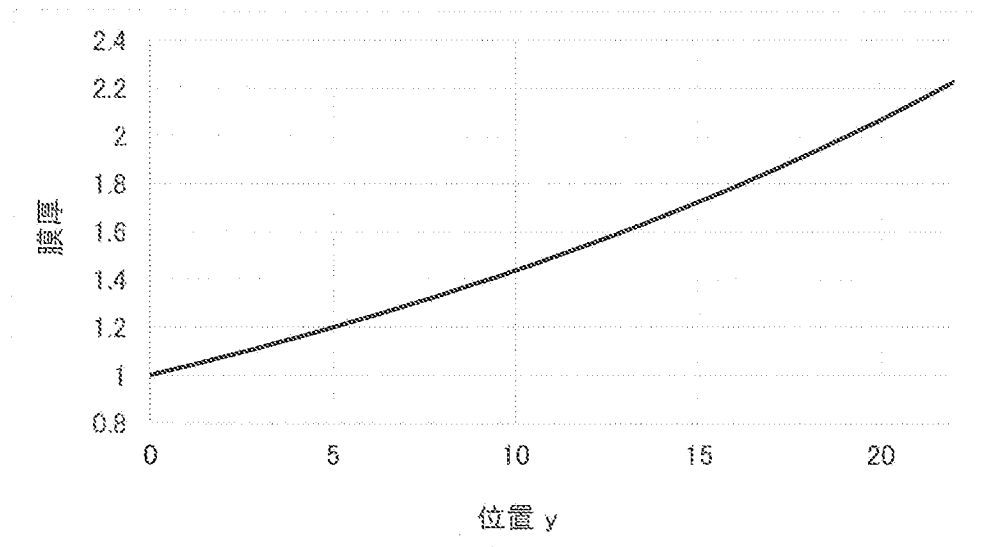


[図6]

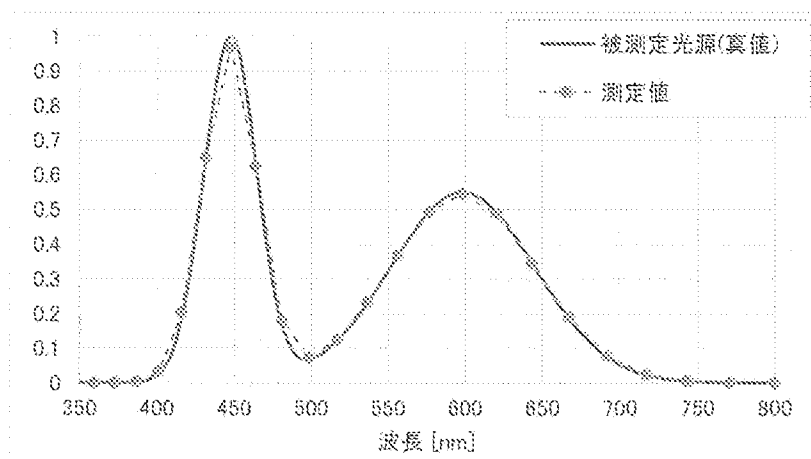
波長 λ と疑似波長 p の関係 $P=\log(\lambda)$ 

[図7]

位置 y と干渉膜の厚みの関係 膜厚は $y=0$ での厚みを1とした相対値

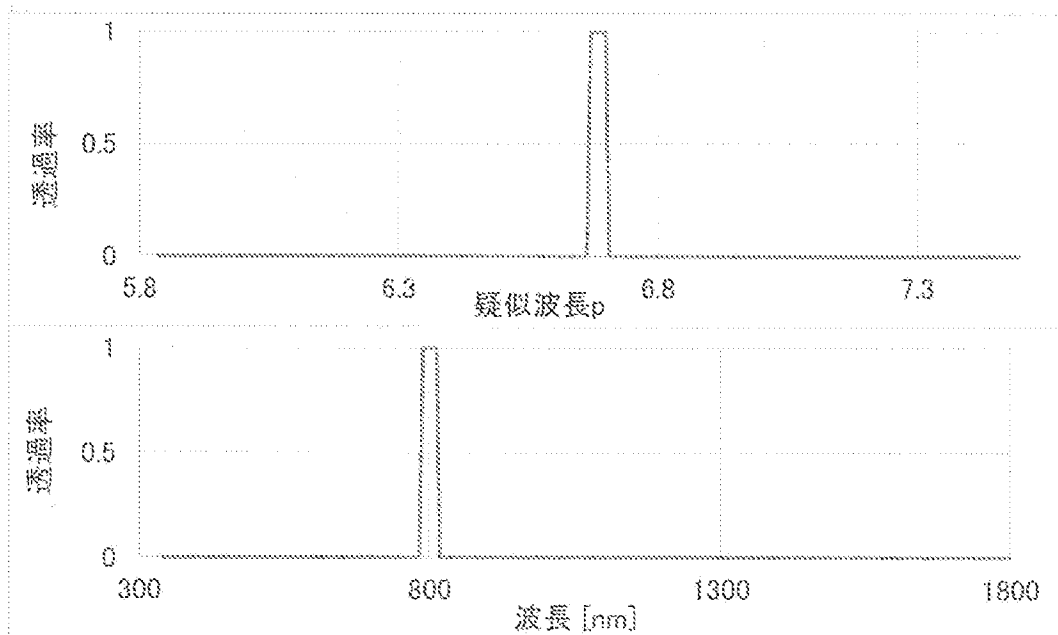


[図8]



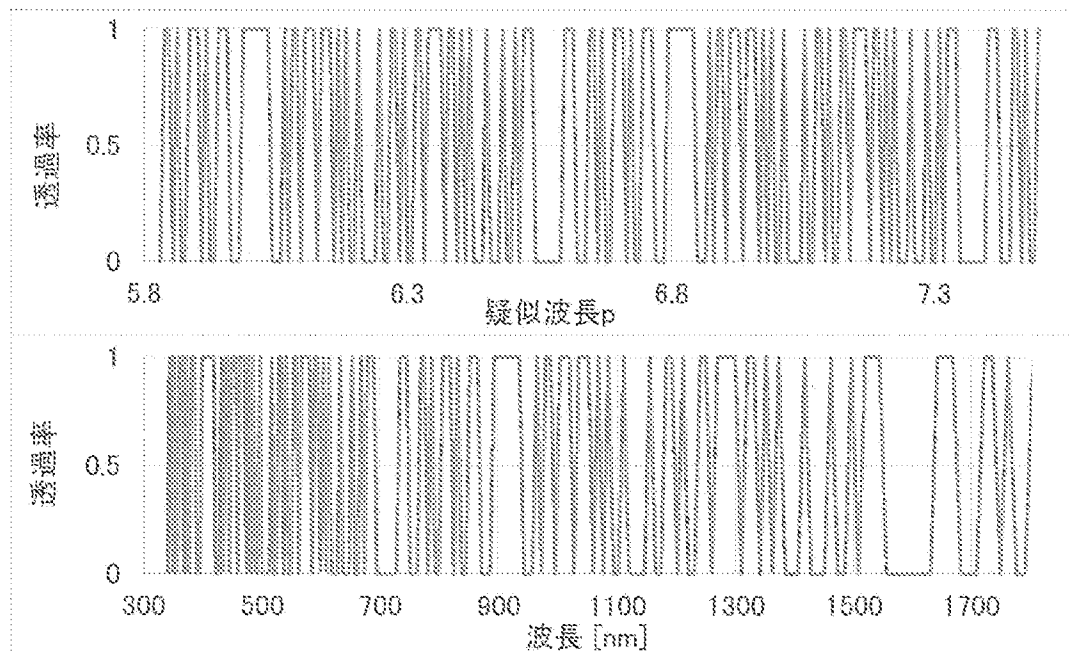
[図9]

比較例のLVBPFの分光透過率

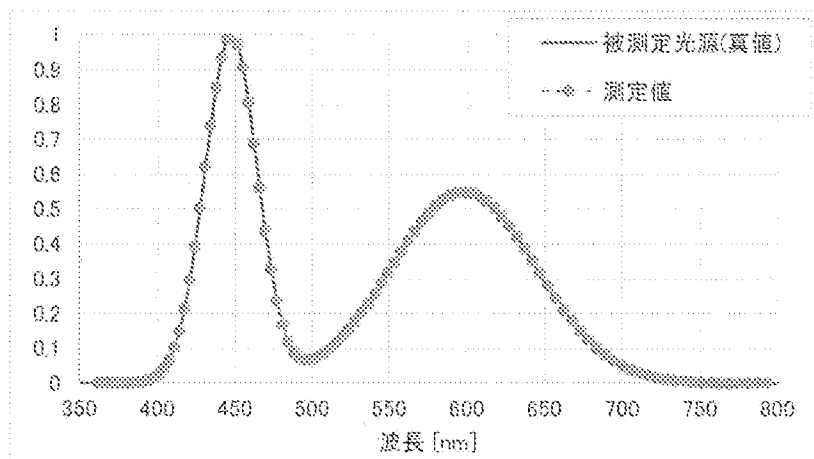


[図10]

実施例2のSLVFの点Aでの分光透過率

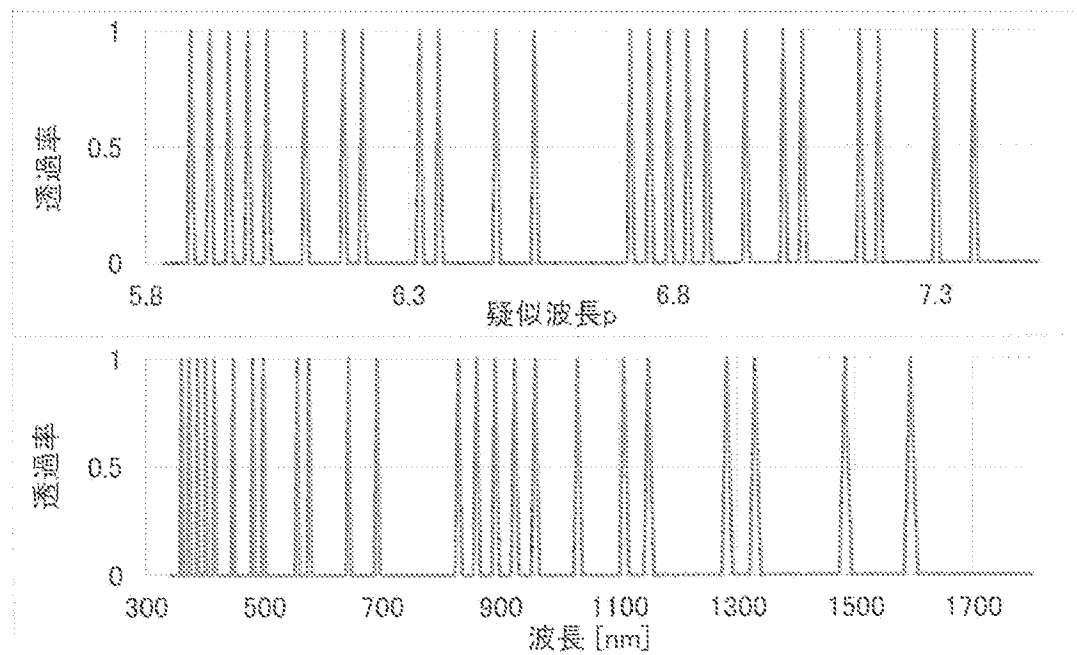


[図11]

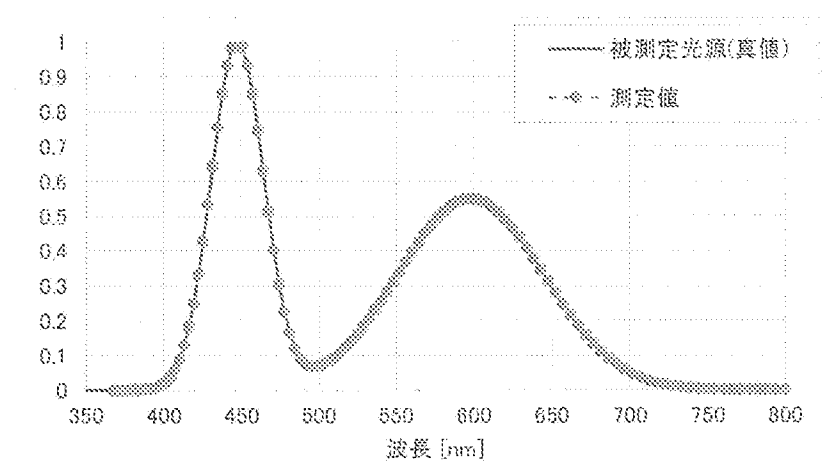


[図12]

実施例3のSLVFの点Aでの分光透過率



[図13]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/008078

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl. G01J3/26(2006.01) i

FI: G01J3/26

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl. G01J3/26

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan 1922-1996

Published unexamined utility model applications of Japan 1971-2020

Registered utility model specifications of Japan 1996-2020

Published registered utility model applications of Japan 1994-2020

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

JDJSTPlus/JST7580/JSTChina(JDreamIII), OSA Publiching, SPIE Digital Library

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	リニアバリアブルフィルタ [online], Delta Optical Thin Film カタログ, ケイエルバイ株式会社, 2016.04.23, <URL:https://go.klv.co.jp/rs/467-JAD- 820/images/KLV_630_Delta_filter_LVF.pdf>, pp. 2-5, (Linear variable filter [online], Delta Optical Thin Film Catalog, KLV CO., LTD.)	1-6
X	JP 08-128899 A (KAWADA, Satoshi) 21.05.1996 (1996- 05-21), paragraphs [0010]-[0034], fig. 1-12	1-6
X	JP 2006-177812 A (KONICA MINOLTA SENSING INC.) 06.07.2006 (2006-07-06), paragraphs [0021]-[0062], fig. 1-5	1-6
A	JP 2018-155962 A (KURASHIKI BOSEKI KK) 04.10.2018 (2018-10-04)	1-6



Further documents are listed in the continuation of Box C.



See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

23.03.2020

Date of mailing of the international search report

07.04.2020

Name and mailing address of the ISA/

Japan Patent Office

3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku,

Tokyo 100-8915, Japan

Authorized officer

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2020/008078

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2017-207406 A (TOPCON TECHNOHOUSE CORP.) 24.11.2017 (2017-11-24)	1-6
A	JP 2014-513315 A (ENCHROMA, INC.) 29.05.2014 (2014-05-29)	1-6
A	US 2018/0107015 A1 (CSEM CENTRE SUISSE D'ELECTRONIQUE ET DE MICROTECHNIQUE SA-RECHERCHE ET DEVELOPPEMENT) 19.04.2018 (2018-04-19)	1-6
A	WO 2016/111308 A1 (HIRAMOTO, Masao) 14.07.2016 (2016-07-14)	1-6
A	JP 2003-214951 A (MATSUSHITA ELECTRIC WORKS, LTD.) 30.07.2003 (2003-07-30)	1-6
A	Single-step fabrication of thin-film linear variable bandpass filters based on metal- insulator-metal geometry, Applied Optics, 2016.11.09, vol. 55, no. 32, pp. 9237-9241, doi:10.1364/AO.55.009237, entire text, all drawings	1-6

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.

PCT/JP2020/008078

JP 08-128899 A	21.05.1996	(Family: none)
JP 2006-177812 A	06.07.2006	US 2006/0132781 A1 paragraphs [0030]-[0074], fig. 1-5
JP 2018-155962 A	04.10.2018	(Family: none)
JP 2017-207406 A	24.11.2017	US 2017/0336250 A1
JP 2014-513315 A	29.05.2014	JP 2016-224457 A US 2014/0233105 A1 US 2018/0095202 A1 WO 2012/119158 A1 EP 2681522 A1 EP 2781899 A2 CN 103688145 A
US 2018/0107015 A1	19.04.2018	(Family: none)
WO 2016/111308 A1	14.07.2016	JP 2017-122703 A
JP 2003-214951 A	30.07.2003	(Family: none)

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（IPC）） G01J 3/26(2006.01)i FI: G01J3/26		
B. 調査を行った分野		
調査を行った最小限資料（国際特許分類（IPC）） G01J3/26		
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの 日本国実用新案公報 1922-1996年 日本国公開実用新案公報 1971-2020年 日本国実用新案登録公報 1996-2020年 日本国登録実用新案公報 1994-2020年		
国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語） JDJSTPlus/JST7580/JSTChina (JDreamIII), OSA Publishing, SPIE Digital Library		
C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
X	リニアバリアブルフィルタ[online], Delta Optical Thin Film カタログ, ケイエルブイ株式会社, 2016.04.23, <URL:https://go.klv.co.jp/rs/467-JAD-820/images/KLV_630_Delta_filter_LVF.pdf> pp. 2-5	1-6
X	JP 08-128899 A (河田 聡) 21.05.1996 (1996-05-21) [0010] - [0034]、図1-図12	1-6
X	JP 2006-177812 A (コニカミノルタセンシング株式会社) 06.07.2006 (2006-07-06) [0021] - [0062]、図1-図5	1-6
A	JP 2018-155962 A (倉敷紡績株式会社) 04.10.2018 (2018-10-04)	1-6
A	JP 2017-207406 A (株式会社トプコンテクノハウス) 24.11.2017 (2017-11-24)	1-6
A	JP 2014-513315 A (エンクロマ, インコーポレイテッド) 29.05.2014 (2014-05-29)	1-6
A	US 2018/0107015 A1 (CSEM CENTRE SUISSE D' ELECTRONIQUE ET DE MICROTECHNIQUE SA - RECHERCHE ET DEVELOPPEMENT) 19.04.2018 (2018-04-19)	1-6
☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。 ☒ パテントファミリーに関する別紙を参照。		
* 引用文献のカテゴリー “A” 特に関連のある文献ではなく、一般的な技術水準を示すもの “E” 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの “L” 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す） “O” 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 “P” 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献 “T” 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と抵触するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの “X” 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの “Y” 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの “&” 同一パテントファミリー文献		
国際調査を完了した日 23.03.2020		国際調査報告の発送日 07.04.2020
名称及びあて先 日本国特許庁(ISA/JP) 〒100-8915 日本国 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		権限のある職員（特許庁審査官） 嶋田 行志 2W 8353 電話番号 03-3581-1101 内線 3257

C. 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求項の番号
A	WO 2016/111308 A1 (平本 政夫) 14.07.2016 (2016 - 07 - 14)	1-6
A	JP 2003-214951 A (松下電工株式会社) 30.07.2003 (2003 - 07 - 30)	1-6
A	Single-step fabrication of thin-film linear variable bandpass filters based on metal-insulator-metal geometry, Applied Optics, 2016.11.09, Vol. 55, No. 32, pp. 9237-9241, doi: 10.1364/AO.55.009237 全文全図	1-6

国際調査報告
 パテントファミリーに関する情報

国際出願番号

PCT/JP2020/008078

引用文献			公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP	08-128899	A	21.05.1996	(ファミリーなし)	
JP	2006-177812	A	06.07.2006	US 2006/0132781 A1	
				[0030]-[0074], Fig. 1- Fig. 5	
JP	2018-155962	A	04.10.2018	(ファミリーなし)	
JP	2017-207406	A	24.11.2017	US 2017/0336250 A1	
JP	2014-513315	A	29.05.2014	JP 2016-224457 A	
				US 2014/0233105 A1	
				US 2018/0095202 A1	
				WO 2012/119158 A1	
				EP 2681522 A1	
				EP 2781899 A2	
				CN 103688145 A	
US	2018/0107015	A1	19.04.2018	(ファミリーなし)	
WO	2016/111308	A1	14.07.2016	JP 2017-122703 A	
JP	2003-214951	A	30.07.2003	(ファミリーなし)	