(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
2023年9月14日(14.09.2023)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2023/171470 A1

(51) 国際特許分類:
G02B 5/26 (2006.01) *G02B 5/28* (2006.01)
G01J 3/26 (2006.01) *H04N 25/10* (2023.01)
G01J 3/36 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2023/007415

(22) 国際出願日： 2023年2月28日(28.02.2023)

(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 2022-038388 2022年3月11日(11.03.2022) JP

(71) 出願人:パナソニックＩＰマネジメント株式会社(**PANASONIC INTELLECTUAL PROPERTY MANAGEMENT CO., LTD.**) [JP/JP]; 〒5406207 大阪府大阪市中央区城見２丁目１番６１号 Osaka (JP).

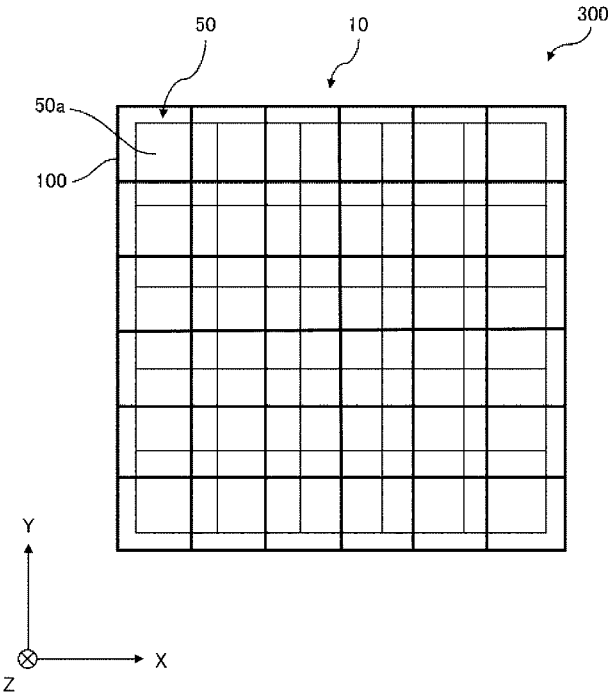
(72) 発明者: 金馬 慶明 (**KOMMA Yoshiaki**). 八子 基樹(**YAKO Motoki**).

(74) 代理人: 鎌田 健司, 外(**KAMATA Kenji** et al.); 〒5406207 大阪府大阪市中央区城見２丁目１番６１号 パナソニックＩＰマネジメント株式会社内 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, CV, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IQ, IR, IS, IT, JM, JO, JP,

(54) **Title:** LIGHT DETECTION DEVICE, LIGHT DETECTION SYSTEM, AND FILTER ARRAY

(54) 発明の名称： 光検出装置、光検出システム、およびフィルタアレイ



(57) **Abstract:** Provided is a light detection device (300) including a filter array (10) that includes a plurality of filters including a first filter and a second filter, and an image sensor (50) which has a plurality of pixels and detects light via the filter array. A first transmission spectrum of the first filter, having a plurality of maximum values, differs from a second transmission spectrum of the second filter, which has a plurality of maximum values. The plurality of filters are arranged in a matrix along a first direction and a second direction which intersect each other, and the plurality of pixels are arranged

WO 2023/171470 A1

［続葉有］

KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, 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, 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, CV, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SC, 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, ME, 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：

— 国際調査報告（条約第21条(3)）

in a matrix along a third direction and a fourth direction which intersect each other. At least one of Rp1 and Rp2 has a value other than 1. The value of Rp1 is the quotient obtained by dividing the pitch of the plurality of filters in the first direction by the pitch of the plurality of pixels in the third direction, and the value of Rp2 is the quotient obtained by dividing the pitch of the plurality of filters in the second direction by the pitch of the plurality of pixels in the fourth direction.

(57) 要約：第１フィルタと第２フィルタを含む複数のフィルタを含むフィルタアレイ（１０）と、複数の画素を有し、前記フィルタアレイを介した光を検出するイメージセンサ（５０）を含む光検出装置（３００）。複数の極大値を有する前記第１フィルタの第１透過スペクトルは、複数の極大値を有し前記第２フィルタの第２透過スペクトルと異なる。前記複数のフィルタは互いに交差する第１方向および第２方向に沿って行列状に配列され、前記複数の画素は互いに交差する第３方向および第４方向に沿って行列状に配列される。Ｒｐ１およびＲｐ２の少なくとも一方は１とは異なる。前記Ｒｐ１は前記第１方向における前記複数のフィルタのピッチを前記第３方向における前記複数の画素のピッチによって除算した商、前記Ｒｐ２は前記第２方向における前記複数のフィルタのピッチを、前記第４方向における前記複数の画素のピッチによって除算した商である。

明　細　書

発明の名称 ：

光検出装置、光検出システム、およびフィルタアレイ

技術分野

[0001] 本開示は、光検出装置、光検出システム、およびフィルタアレイに関する。

背景技術

[0002] 各々が狭帯域である多数のバンド、例えば数十バンドのスペクトル情報を活用することにより、従来のＲＧＢ画像では困難であった対象物の詳細な物性の把握ができる。このような多波長の情報を取得するカメラは、「ハイパースペクトルカメラ」と呼ばれている。ハイパースペクトルカメラは、食品検査、生体検査、医薬品開発、および鉱物の成分分析などの様々な分野で利用されている。

[0003] 特許文献１は、圧縮センシングを利用したハイパースペクトル撮像装置の例を開示している。当該撮像装置は、光透過率の波長依存性が互いに異なる複数の光学フィルタのアレイである符号化素子と、符号化素子を透過した光を検出する撮像素子、いわゆるイメージセンサと、信号処理回路とを備える。被写体とイメージセンサとを結ぶ光路上に、符号化素子が配置される。イメージセンサは複数の画素を有し、各画素において複数の波長域の成分が重畳された光を同時に検出することにより、１つの波長多重画像を取得する。信号処理回路は、符号化素子の分光透過率（ｓｐｅｃｔｒａｌ　ｔｒａｎｓｍｉｔｔａｎｃｅ）の空間分布情報を利用して、取得された波長多重画像に圧縮センシングを適用することにより、複数の波長域の各々についての画像データを生成する。特許文献１に開示されている撮像装置では、符号化素子として、対象波長域内で２つ以上の透過率のピーク（すなわち極大値）を有する光学フィルタアレイが用いられている。

[0004] 特許文献２は、誘電体多層膜を反射層に用いたファブリ・ペロー共振器を

備えるフィルタアレイの例を開示している。特許文献３から５は、フィルタアレイとイメージセンサとの配置の例を開示している。特許文献６から９は、ＲＧＢ画像を取得する従来の電子式カメラにおけるフィルタアレイおよびイメージセンサの例を開示している。

先行技術文献

特許文献

[0005] 特許文献1：特開２０１６－１５６８０１号公報

特許文献2：米国特許第９４６６６２８号明細書

特許文献3：特表２０１３－５１２４４５号公報

特許文献4：特開昭６３－１５１０７６号公報

特許文献5：特開昭５９－２１８７７０号公報

特許文献6：特表２０１８－５２９２９７号公報

特許文献7：特開昭５６－１２３１８５号公報

特許文献8：実公昭５５－１６５５６２号公報

特許文献9：国際公開第２０１０／０７９５５７号

発明の概要

[0006] 本開示は、生産性が高く、かつ撮像特性が良好な光検出装置、光検出システム、およびそれらの構成要素であるフィルタアレイを提供する。

[0007] 本開示の一態様に係る光検出装置は、複数のフィルタを含むフィルタアレイと、複数の画素を有し、前記フィルタアレイを介した光を検出するイメージセンサと、を備え、前記複数のフィルタは、第１フィルタと第２フィルタを含み、前記第１フィルタの第１透過スペクトルは、前記第２フィルタの第２透過スペクトルと異なり、前記第１透過スペクトルは、複数の極大値を有し、前記第２透過スペクトルは、複数の極大値を有し、前記複数のフィルタは、互いに交差する第１方向および第２方向に沿って行列状に配列されており、前記複数の画素は、互いに交差する第３方向および第４方向に沿って行列状に配列されており、前記第１方向における前記複数のフィルタのピッチを、前記第３方向における前記複数の画素のピッチによって除算した商をＲ

ｐ１とし、前記第２方向における前記複数のフィルタのピッチを、前記第４方向における前記複数の画素のピッチによって除算した商をＲｐ２とすると、前記Ｒｐ１および前記Ｒｐ２の少なくとも一方は１とは異なる。

[0008] 本開示の包括的または具体的な態様は、システム、装置、方法、集積回路、コンピュータプログラムおよび記録媒体の任意の組み合わせで実現されてもよい。コンピュータ読み取り可能な記録媒体は、例えばＣＤ－ＲＯＭ（Ｃｏｍｐａｃｔ　Ｄｉｓｃ‐Ｒｅａｄ　Ｏｎｌｙ　Ｍｅｍｏｒｙ）等の不揮発性の記録媒体を含む。装置は、１つ以上の装置で構成されてもよい。装置が２つ以上の装置で構成される場合、当該２つ以上の装置は、１つの機器内に配置されてもよく、分離した２つ以上の機器内に分かれて配置されてもよい。本明細書および特許請求の範囲では、「装置」とは、１つの装置を意味し得るだけでなく、複数の装置からなるシステムも意味し得る。

[0009] 本開示の技術によれば、生産性が高く、かつ撮像特性が良好な光検出装置、光検出システム、およびそれらの構成要素であるフィルタアレイを実現できる。

図面の簡単な説明

[0010] [図1]図１は、本開示の実施形態による光検出システムの例を模式的に示す図である。

[図2A]図２Ａは、本開示の実施形態によるフィルタアレイの例を模式的に示す図である。

[図2B]図２Ｂは、対象波長域に含まれる複数の波長域のそれぞれの光の透過率の空間分布の一例を示す図である。

[図2C]図２Ｃは、図２Ａに示すフィルタアレイに含まれるあるフィルタの透過スペクトルの例を示す図である。

[図2D]図２Ｄは、図２Ａに示すフィルタアレイに含まれる他のフィルタの透過スペクトルの例を示す図である。

[図3A]図３Ａは、対象波長域と、それに含まれる複数の波長域との関係の例を説明するための図である。

[図3B]図３Ｂは、対象波長域と、それに含まれる複数の波長域との関係の他の例を説明するための図である。

[図4A]図４Ａは、フィルタアレイに含まれるあるフィルタの透過スペクトルの特性を説明するための図である。

[図4B]図４Ｂは、図４Ａに示す透過スペクトルを、波長域ごとに平均化した結果を示す図である。

[図5]図５は、本開示の実施形態によるフィルタアレイの構造の例を模式的に示す断面図である。

[図6]図６は、本開示の実施形態による光検出装置の例を模式的に示す断面図である。

[図7]図７は、屈折率が等しい２つの媒質、およびその間に位置する空気のギャップ層を備える構成における透過スペクトルを示すグラフである。

[図8]図８は、光検出装置の他の例を模式的に示す断面図である。

[図9]図９は、比較例における光検出装置を模式的に示す平面図である。

[図10]図１０は、比較例における、フィルタアレイおよびイメージセンサの配置のずれと、分離画像の復元誤差との関係を説明するための図である。

[図11]図１１は、本実施形態による光検出装置の例を模式的に示す平面図である。

[図12]図１２は、本実施形態における、フィルタアレイおよびイメージセンサの配置のずれと、分離画像の復元誤差との関係を説明するための図である。

[図13]図１３は、本実施形態における、画素ピッチに対するフィルタピッチの比と、配置のずれが０．５である場合の分離画像の復元誤差との関係を説明するための図である。

[図14]図１４は、本実施形態における、画素ピッチに対するフィルタピッチの比と、配置のずれと、分離画像２２０の復元誤差との関係を説明するための図である。

[図15]図１５は、本実施形態における、画素ピッチに対するフィルタピッチ

の比と、分離画像の復元誤差の最大値との関係を説明するための図である。

[図16A]図１６Ａは、光検出装置のさらに他の例を模式的に示す断面図である。

[図16B]図１６Ｂは、図１６Ａに示す光検出装置からフィルタアレイおよび基板を除いた状態を示す平面図である。

[図16C]図１６Ｃは、図１６Ｂに示す両面テープの配置の他の例を模式的に示す平面図である。

[図16D]図１６Ｄは、図１６Ｂに示す両面テープ３０の代わりに複数のスペーサおよび複数の接着剤を配置した例を模式的に示す平面図である。

[図17]図１７は、フィルタアレイ１０の第１方向の第１フィルタ距離の例、フィルタアレイ１０の第２方向の第２フィルタ距離の例を説明するための図である。

[図18]図１８は、イメージセンサ５０の第３方向の第１画素距離の例、イメージセンサ５０の第４方向の第２画素距離の例を説明するための図である。

発明を実施するための形態

[0011] 本開示において、回路、ユニット、装置、部材の全部または一部、またはブロック図における機能ブロックの全部または一部は、例えば、半導体装置、半導体集積回路（ＩＣ）、またはＬＳＩ（ｌａｒｇｅ ｓｃａｌｅ ｉｎｔｅｇｒａｔｉｏｎ）を含む１つまたは複数の電子回路によって実行され得る。ＬＳＩまたはＩＣは、１つのチップに集積されてもよいし、複数のチップを組み合わせて構成されてもよい。例えば、記憶素子以外の機能ブロックは、１つのチップに集積されてもよい。ここでは、ＬＳＩまたはＩＣと呼んでいるが、集積の度合いによって呼び方が変わり、システムＬＳＩ、ＶＬＳＩ（ｖｅｒｙ ｌａｒｇｅ ｓｃａｌｅ ｉｎｔｅｇｒａｔｉｏｎ）、もしくはＵＬＳＩ（ｕｌｔｒａ ｌａｒｇｅ ｓｃａｌｅ ｉｎｔｅｇｒａｔｉｏｎ）と呼ばれるものであってもよい。ＬＳＩの製造後にプログラムされる、Ｆｉｅｌｄ Ｐｒｏｇｒａｍｍａｂｌｅ Ｇａｔｅ Ａｒｒａｙ（ＦＰＧＡ）、またはＬＳＩ内部の接合関係の再構成またはＬＳＩ内部の回路区画の

セットアップができるｒｅｃｏｎｆｉｇｕｒａｂｌｅ　ｌｏｇｉｃ　ｄｅｖｉｃｅも同じ目的で使うことができる。

[0012] さらに、回路、ユニット、装置、部材の全部または一部の機能または操作は、ソフトウェア処理によって実行することが可能である。この場合、ソフトウェアは１つまたは複数のＲＯＭ、光学ディスク、ハードディスクドライブなどの非一時的記録媒体に記録され、ソフトウェアが処理装置（ｐｒｏｃｅｓｓｏｒ）によって実行されたときに、そのソフトウェアで特定された機能が処理装置（ｐｒｏｃｅｓｓｏｒ）および周辺装置によって実行される。システムまたは装置は、ソフトウェアが記録されている１つまたは複数の非一時的記録媒体、処理装置（ｐｒｏｃｅｓｓｏｒ）、および必要とされるハードウェアデバイス、例えばインターフェースを備えていてもよい。

[0013] 以下、本開示の例示的な実施形態を説明する。なお、以下で説明する実施形態は、いずれも包括的又は具体的な例を示すものである。以下の実施形態で示される数値、形状、構成要素、構成要素の配置位置などは、一例であり、本開示を限定する主旨ではない。また、以下の実施形態における構成要素のうち、最上位概念を示す独立請求項に記載されていない構成要素については、任意の構成要素として説明される。また、各図は模式図であり、必ずしも厳密に図示されたものではない。さらに、各図において、実質的に同一の構成要素に対しては同一の符号を付しており、重複する説明は省略又は簡略化される場合がある。

[0014] 本開示の実施形態を説明する前に、本開示の基礎となった知見を説明する。特許文献１は、対象波長域に含まれる複数の波長域の各々について高い解像度の画像を生成することが可能な撮像装置を開示している。当該撮像装置では、対象物からの光の像が、「符号化素子」と称される光学素子によって符号化されて撮像される。符号化素子は、例えば、２次元平面内に配置された複数の領域を有する。当該複数の領域のうちの少なくとも２つの領域の各々の透過スペクトルは、撮像対象の波長域に含まれる複数の波長域のうち、少なくとも２つの波長域の各々において透過率の極大値を有する。符号化素

子は、複数の画素を有するイメージセンサの直上に配置され得る。特許文献１の段落［００７３］に記載されているように、符号化素子に含まれる複数の領域の各々は、イメージセンサに含まれる複数の画素の１つに対応または対向する。すなわち、符号化素子に含まれる複数の領域は、イメージセンサに含まれる複数の画素に１対１で対応または対向する。

[0015] 符号化素子を用いた撮像によって取得される画素データは、複数の波長域の情報を含む。すなわち、当該画像データは、波長情報が圧縮された圧縮画像データである。したがって、保有するデータ量を抑えることができる。例えば、記録媒体の容量に制約がある場合であっても、長時間の動画像のデータを取得することが可能である。多波長画像は、撮像によって取得された圧縮画像から、複数の波長域にそれぞれ対応する複数の画像を再構成することによって生成される。

[0016] 符号化素子は、例えば、２次元的に配列された複数のフィルタを含むフィルタアレイによって実現され得る。複数のフィルタの各々は、例えば、干渉層を含むいわゆるファブリ・ペロー共振器の構造を備え得る。ファブリ・ペロー共振器として、例えば特許文献２に開示されている構造を採用することができる。複数のフィルタは以下のように設計され得る。すなわち、各フィルタの透過スペクトルは、撮像対象の波長域に含まれる複数の波長域のうち、少なくとも２つの波長域の各々において極大値を有する。干渉層の厚さが異なる複数のフィルタは、互いに異なる透過スペクトルを有する。

[0017] フィルタアレイを透過した光はイメージセンサによって検出される。特許文献３に開示されている構成では、イメージセンサ上にフィルタアレイが集積されている。そのような構成では、フィルタアレイの構成を変更すると製造工程も変更する必要が生じ、結果的にコストが高くなってしまう。

[0018] 特許文献４および５に開示されている構成では、個別に作製されたフィルタアレイおよびイメージセンサが互いに接着固定されている。このような構成にすれば、フィルタアレイの構成を独立して変更することが可能である。フィルタアレイの構成を変更しても製造工程を変更する必要がなく、製造コ

ストを低く抑えることができる。

[0019] しかしながら、実際には、フィルタアレイおよびイメージセンサを互いに接着固定する構成において、両者の配置にμｍオーダのずれが生じることは避けられない。イメージセンサ上にフィルタアレイを集積する構成においても、接着固定する構成よりは小さく抑えられるものの、両者の配置のずれが生じ得る。しかしながら、特許文献１から５のいずれにも、両者の配置のずれに関する記載はない。

[0020] 本発明者らは、フィルタアレイおよびイメージセンサの配置のずれが多波長画像の精度を低下させるという課題を見出し、そのような課題を解決することが可能な光検出装置に想到した。後で詳しく説明するが、本開示のある実施形態による光検出装置において、フィルタアレイに含まれる複数のフィルタの配列周期、すなわちピッチは、イメージセンサに含まれる複数の画素のピッチとは異なる。そのような構成により、フィルタアレイおよびイメージセンサの配置のずれが生じても、多波長画像の精度が低下することを抑制できる。以下に、本開示の実施形態による光検出装置、光検出システム、およびフィルタアレイを説明する。

[0021] 第１の項目に係る光検出装置は、複数のフィルタを含むフィルタアレイと、複数の画素を有し、前記フィルタアレイを介した光を検出するイメージセンサと、を備える。前記複数のフィルタは、第１フィルタと第２フィルタを含む。前記第１フィルタの第１透過スペクトルは、前記第２フィルタの第２透過スペクトルと異なる。前記第１透過スペクトルは、複数の極大値を有し、前記第２透過スペクトルは、複数の極大値を有する。前記複数のフィルタは、互いに交差する第１方向および第２方向に沿って行列状に配列されている。前記複数の画素は、互いに交差する第３方向および第４方向に沿って行列状に配列されている。前記第１方向における前記複数のフィルタのピッチを、前記第３方向における前記複数の画素のピッチによって除算した商をＲｐ１とし、前記第２方向における前記複数のフィルタのピッチを、前記第４方向における前記複数の画素のピッチによって除算した商をＲｐ２とする。

前記Ｒｐ１および前記Ｒｐ２の少なくとも一方は１とは異なる。

[0022] この光検出装置では、高い生産性および良好な撮像特性を実現できる。

[0023] 第２の項目に係る光検出装置は、第１の項目に係る光検出装置において、前記Ｒｐ１および前記Ｒｐ２の両方が１とは異なる。

[0024] この光検出装置では、より高い生産性およびより良好な撮像特性を実現できる。

[0025] 第３の項目に係る光検出装置は、第２の項目に係る光検出装置において、前記Ｒｐ１および前記Ｒｐ２が互いに等しい。

[0026] この光検出装置では、フィルタアレイの設計が容易である。

[0027] 第４の項目に係る光検出装置は、第１から第３の項目のいずれかに係る光検出装置において、前記フィルタアレイの有効領域が、平面視で、前記イメージセンサの有効領域の全体に重なる第１部分と、前記イメージセンサの有効領域に重ならない第２部分とを有する。

[0028] この光検出装置では、イメージセンサが、その有効領域の全体においてフィルタアレイを透過した光を検出することができる。

[0029] 第５の項目に係る光検出装置は、第４の項目に係る光検出装置において、前記第１方向における前記フィルタアレイの有効領域のサイズが、前記第３方向における前記イメージセンサの有効領域のサイズよりも１０μｍ以上だけ大きい。さらに、前記第２方向における前記フィルタアレイの前記有効領域のサイズが、前記第４方向における前記イメージセンサの前記有効領域のサイズよりも１０μｍ以上だけ大きい。

[0030] この光検出装置では、第１方向および／または第２方向に５μｍ以下の配置のずれが生じても、フィルタアレイの有効領域は、平面視でイメージセンサの有効領域の全体に重なる第１部分を有することができる。

[0031] 第６の項目に係る光検出装置は、第４または５の項目に係る光検出装置において、前記第１方向における前記フィルタアレイの有効領域のサイズが、前記第３方向における前記イメージセンサの有効領域のサイズよりも、前記第１方向における前記複数のフィルタのピッチの２倍以上だけ大きい。さら

に、前記第２方向における前記フィルタアレイの前記有効領域のサイズは、前記第４方向における前記イメージセンサの前記有効領域のサイズよりも、前記第２方向における前記複数のフィルタのピッチの２倍以上だけ大きい。

[0032] この光検出装置では、第１方向および／または第２方向に複数のフィルタのピッチ以下の配置のずれが生じても、フィルタアレイの有効領域は、平面視でイメージセンサの有効領域の全体に重なる第１部分を有することができる。

[0033] 第７の項目に係る光検出装置は、第１から６の項目のいずれかに係る光検出装置において、前記Ｒｐ１および前記Ｒｐ２の少なくとも一方が０．９９８以下、または１．００２以上である。

[0034] この光検出装置では、多波長画像の精度が低下することを抑制できる。

[0035] 第８の項目に係る光検出装置は、第７の項目に係る光検出装置において、前記Ｒｐ１および前記Ｒｐ２の少なくとも一方が０．９９以下、または１．０１以上である。

[0036] この光検出装置では、多波長画像の精度が低下することを抑制し、かつ多波長画像の精度を安定させることができる。

[0037] 第９の項目に係る光検出装置は、第７または８の項目に係る光検出装置において、前記Ｒｐ１および前記Ｒｐ２の少なくとも一方が１．５以下である。

[0038] この光検出装置では、多波長画像の精度が顕著に低下することを抑制できる。

[0039] 第１０の項目に係る光検出装置は、第９の項目に係る光検出装置において、前記Ｒｐ１および前記Ｒｐ２の少なくとも一方が１よりも小さい。

[0040] この光検出装置では、Ｒｐ１およびＲｐ２の少なくとも一方が１よりも大きい場合と比較して、多波長画像の精度が低下することをさらに抑制できる。

[0041] 第１１の項目に係る光検出装置は、第７から第１０の項目のいずれかに係る光検出装置において、前記Ｒｐ１および前記Ｒｐ２の少なくとも一方が０

．５５以上である。

[0042] この光検出装置では、多波長画像の精度が顕著に低下することを抑制できる。

[0043] 第１２の項目に係る光検出装置は、第１から第１１の項目のいずれかに係る光検出装置において、前記フィルタアレイが、光入射面と、前記光入射面の反対側に位置する凹凸面とを有する。前記凹凸面は、前記イメージセンサの光検出面が対向している。

[0044] この光検出装置では、イメージセンサによって取得された画像に光の干渉による干渉縞が現れることを抑制できる。

[0045] 第１３の項目に係る光検出装置は、第１２の項目に係る光検出装置において、撮像の対象波長域がλ１以上λ２以下であるとき、前記凹凸面と前記光検出面との最小距離が、λ２／４よりも大きい。

[0046] この光検出装置では、対象波長域における撮像特性を向上させることができる。

[0047] 第１４の項目に係る光検出装置は、第１２または１３の項目に係る光検出装置において、前記フィルタアレイの周縁領域と、前記イメージセンサの周縁領域とによって挟まれた複数のスペーサをさらに備える。前記フィルタアレイの前記周縁領域の少なくとも一部と、前記イメージセンサの前記周縁領域の少なくとも一部とは、複数の接着剤によって互いに接着固定されている。

[0048] この光検出装置では、フィルタアレイおよびイメージセンサを互いにより平行に近い状態で貼り合わせることができる。

[0049] 第１５の項目に係る光検出システムは、第１から第１４の項目のいずれかに係る光検出装置と、処理回路と、を備える。前記処理回路は、前記イメージセンサによって取得された画像から、４つ以上の波長域の各々に対応する分光画像を復元する。

[0050] この光検出システムでは、分光画像を復元することができる。

[0051] 第１６の項目に係るフィルタアレイは、複数の画素を有するイメージセン

サに用いられるフィルタアレイである。前記フィルタアレイは、複数のフィルタを備える。前記複数のフィルタは、第１フィルタと第２フィルタを含む。前記第１フィルタの第１透過スペクトルは、前記第２フィルタの第２透過スペクトルと異なる。前記第１透過スペクトルは、複数の極大値を有し、前記第２透過スペクトルは、複数の極大値を有する。前記複数のフィルタは、互いに交差する第１方向および第２方向に沿って行列状に配列されている。前記複数の画素は、互いに交差する第３方向および第４方向に沿って行列状に配列されている。前記第１方向における前記複数のフィルタのピッチを、前記第３方向における前記複数の画素のピッチによって除算した商をＲｐ１とし、前記第２方向における前記複数のフィルタのピッチを、前記第４方向における前記複数の画素のピッチによって除算した商をＲｐ２とする。前記Ｒｐ１および前記Ｒｐ２の少なくとも一方は１とは異なる。

[0052] このフィルタアレイにより、生産性が高く、かつ撮像特性が良好な光検出装置を実現できる。

[0053] 第１７の項目に係る光検出装置は、複数のフィルタを含むフィルタアレイと、複数の画素を有し、前記フィルタアレイを透過した光を検出するイメージセンサと、を備える。前記複数のフィルタは、複数の第１フィルタと複数の第２フィルタを含む。前記複数の第１フィルタのそれぞれは、第１透過スペクトルを示す。前記複数の第２フィルタのそれぞれは、第２透過スペクトルを示す。前記第１透過スペクトルは、前記第２透過スペクトルと異なる。前記複数の第１フィルタは、前記フィルタアレイにおいて、不規則に配置される。前記複数の第２フィルタは、前記フィルタアレイにおいて、不規則に配置される。前記複数のフィルタは、互いに交差する第１方向および第２方向に沿って行列状に配列されている。前記複数の画素は、互いに交差する第３方向および第４方向に沿って行列状に配列されている。前記第１方向における前記複数のフィルタのピッチを、前記第３方向における前記複数の画素のピッチによって除算した商をＲｐ１とし、前記第２方向における前記複数のフィルタのピッチを、前記第４方向における前記複数の画素のピッチによ

って除算した商をＲｐ２とする。前記Ｒｐ１および前記Ｒｐ２の少なくとも一方は１とは異なる。

[0054] この光検出装置では、高い生産性および良好な撮像特性を実現できる。

[0055] 第１８の項目に係る光検出装置は、第１から第１４の項目のいずれかに係る光検出装置において、前記イメージセンサが、前記フィルタアレイを介した光に基づいて画像信号を生成し、圧縮センシングにより４つ以上の波長域の各々に対応する分光画像を復元する処理装置に前記画像信号を送信する。

[0056] この光検出装置では、イメージセンサにより、分光画像の復元のための画像信号を生成および出力することができる。

[0057] 第１９の項目に係る光検出装置は、複数のフィルタを有するフィルタアレイであって、前記複数のフィルタは、互いに透過スペクトルの異なる複数種類のフィルタを含む、フィルタアレイと、複数の画素を有し、前記フィルタアレイを透過した光を検出するイメージセンサと、を備える。前記複数のフィルタは、互いに交差する第１方向および第２方向に沿って行列状に配列されている。前記複数の画素は、互いに交差する第３方向および第４方向に沿って行列状に配列されている。前記第３方向と前記第１方向とがなす角度は０°以上４５°以下であり、前記第４方向と前記第２方向とがなす角度は０°以上４５°以下である。前記第１方向における前記複数のフィルタのピッチを、前記第３方向における前記複数の画素のピッチによって除算した商をＲｐ１とし、前記第２方向における前記複数のフィルタのピッチを、前記第４方向における前記複数の画素のピッチによって除算した商をＲｐ２とする。前記Ｒｐ１および前記Ｒｐ２の少なくとも一方は１とは異なる。

[0058] この光検出装置では、高い生産性および良好な撮像特性を実現できる。

[0059] 第２０の項目に係る光検出装置は、第１の項目に係る光検出装置において、前記第３方向と前記第１方向とがなす角度は０°以上４５°以下であり、前記第４方向と前記第２方向とがなす角度は０°以上４５°以下である。

[0060] 第２１の項目に係るフィルタアレイは、第１６の項目に係るフィルタアレイにおいて、前記第３方向と前記第１方向とがなす角度は０°以上４５°以

下であり、前記第４方向と前記第２方向とがなす角度は０°以上４５°以下である。

[0061] 第２２の項目に係る光検出装置は、第１７の項目に係る光検出装置において、前記第３方向と前記第１方向とがなす角度は０°以上４５°以下であり、前記第４方向と前記第２方向とがなす角度は０°以上４５°以下である。

[0062] （実施形態）

以下では、最初に、本実施形態による光検出システム、その構成要素、および多波長画像の再構成の方法を説明する。本実施形態による光検出システムは、フィルタアレイ、イメージセンサ、および信号処理回路を備える。次に、比較例においてフィルタアレイおよびイメージセンサの配置のずれが多波長画像に及ぼす影響を説明し、本実施形態においてその影響をどのようにして抑制するかを説明する。最後に、フィルタアレイおよびイメージセンサの配置を固定する方法を説明する。

[0063] ＜光検出システム＞

図１は、本開示の実施形態による光検出システムの例を模式的に示す図である。図１に示す光検出システム４００は、光学系４０と、フィルタアレイ１０と、イメージセンサ５０と、信号処理回路２００とを備える。フィルタアレイ１０は、特許文献１に開示されている「符号化素子」と同様の機能を有する。このため、フィルタアレイ１０を、「符号化素子」と称することもできる。光学系４０およびフィルタアレイ１０は、対象物６０から入射する光の光路に配置されている。図１に示す例において、フィルタアレイ１０は、光学系４０とイメージセンサ５０との間であり、かつイメージセンサ５０の近傍に配置されている。近傍の具体的な距離については後述する。本明細書において、フィルタアレイ１０およびイメージセンサ５０を備える装置を、「光検出装置３００」と称する。

[0064] 図１には、対象物６０の一例として、リンゴが例示されている。対象物６０は、リンゴに限らず、任意の物体であり得る。信号処理回路２００は、イメージセンサ５０が生成した画像データに基づいて、特定の波長域（以下、

「対象波長域」とも称する。）に含まれる複数の波長域の各々について画像データを生成する。この画像データを、本明細書において「分光画像データ」と称する。ここで、対象波長域に含まれる波長域の数をＮ（Ｎは４以上の整数）とする。以下の説明において、生成される複数の波長域の分光画像データを、分離画像２２０Ｗ１、分離画像２２０Ｗ２、・・・、分離画像２２０ＷＮと称し、これらを分離画像２２０と総称する。対象波長域は、波長域Ｗ１、波長域Ｗ２、・・・、波長域ＷＮを含んでもよい。分離画像２２０Ｗ１は波長域Ｗ１に対応し、分離画像２２０Ｗ２は波長域Ｗ２に対応し、・・・、分離画像２２０ＷＮは波長域ＷＮに対応してもよい。

[0065] 本明細書において、画像を示す信号、すなわち、画像を構成する複数の画素の画素値を表す信号の集合を、単に「画像」とも称する。撮像の対象波長域は任意に決定してよい。当該対象波長域は、可視の波長域に限らず、紫外、近赤外、中赤外、遠赤外、またはマイクロ波の波長範囲であってもよい。

[0066] フィルタアレイ１０は、２次元平面内に配置された透光性の複数のフィルタを備える。当該複数のフィルタは、より具体的には、行列状に配列されている。フィルタアレイ１０は、光の透過スペクトル、すなわち光透過率の波長依存性がフィルタによって異なる光学素子である。フィルタアレイ１０は、入射した光の強度を波長域ごとに変調させて通過させる。

[0067] 光学系４０は、少なくとも１つのレンズを含む。図１に示す例において、光学系４０は１つのレンズによって構成されているが、光学系４０は複数のレンズの組み合わせによって構成されていてもよい。光学系４０は、フィルタアレイ１０を介して、イメージセンサ５０の光検出面上に像を形成する。

[0068] イメージセンサ５０は、２次元的に配置された複数の光検出素子を備え、フィルタアレイ１０を透過した光を検出する。当該複数の光検出素子は、例えば行列状に配列され得る。イメージセンサ５０は、例えばＣＣＤ（Ｃｈａｒｇｅ－Ｃｏｕｐｌｅｄ Ｄｅｖｉｃｅ）センサ、ＣＭＯＳ（Ｃｏｍｐｌｅｍｅｎｔａｒｙ Ｍｅｔａｌ Ｏｘｉｄｅ Ｓｅｍｉｃｏｎｄｕｃｔｏｒ）センサ、または赤外線アレイセンサであり得る。光検出素子は、例えばフォ

トダイオードを含み得る。

[0069] 複数の光検出素子の各々は、少なくとも対象波長域の光に対して感度を有する。具体的には、複数の光検出素子の各々は、対象波長域の光を検出するのに必要な実質的な感度を有する。例えば、当該波長域における光検出素子の外部量子効率は１％以上であり得る。光検出素子の外部量子効率は１０％以上であってもよい。光検出素子の外部量子効率は２０％以上であってもよい。以下の説明において、光検出素子を画素とも称する。

[0070] 信号処理回路２００は、例えばプロセッサとメモリ等の記憶媒体とを備える集積回路であり得る。信号処理回路２００は、イメージセンサ５０によって取得された圧縮画像である画像１２０に基づいて、複数の波長域にそれぞれ対応する複数の分離画像２２０のデータを生成する。複数の分離画像２２０、および信号処理回路２００の画像信号の処理方法の詳細については、後述する。なお、信号処理回路２００は、光検出装置３００に組み込まれていてもよいし、光検出装置３００に有線または無線によって電気的に接続された信号処理装置の構成要素であってもよい。

[0071] ＜フィルタアレイ＞

以下に、本実施形態によるフィルタアレイ１０を説明する。フィルタアレイ１０は、対象物から入射する光の光路中に配置され、入射光の強度を波長ごとに変調して出力する。フィルタアレイすなわち符号化素子によるこの過程を、本明細書では「符号化」と称する。

[0072] 図２Ａは、本実施形態によるフィルタアレイ１０の例を模式的に示す図である。図２Ａに示すフィルタアレイ１０は、２次元的に配列された複数のフィルタを含む。各フィルタは、個別に設定された透過スペクトルを有する。透過スペクトルは、入射光の波長をλとして、関数Ｔ（λ）で表される。透過スペクトルＴ（λ）は、０以上１以下の値を取り得る。

[0073] 図２Ａに示す例において、フィルタアレイ１０は、６行８列に配列された４８個の矩形状のフィルタを有している。これはあくまで例示であり、実際の用途では、これよりも多くのフィルタが設けられ得る。その数は、後で述

べるようにイメージセンサ５０の画素数より多いことが望ましい。フィルタアレイ１０に含まれるフィルタの数は、例えば数十から数千万の範囲で用途に応じて決定され得る。

[0074] 図２Ｂは、対象波長域に含まれる複数の波長域Ｗ１、Ｗ２、・・・、ＷＮのそれぞれの光の透過率の空間分布の一例を示す図である。図２Ｂに示す例において、各フィルタの濃淡の違いは、透過率の違いを表している。淡いフィルタほど透過率が高く、濃いフィルタほど透過率が低いことを表している。図２Ｂに示すように、波長域によって光透過率の空間分布が異なっている。

[0075] 図２Ｃおよび図２Ｄは、それぞれ、図２Ａのフィルタアレイ１０の複数のフィルタに含まれるフィルタＡ１およびフィルタＡ２の透過スペクトルの例を示す図である。フィルタＡ１の透過スペクトルとフィルタＡ２の透過スペクトルとは、互いに異なっている。このように、フィルタアレイ１０の透過スペクトルは、フィルタによって異なる。ただし、必ずしもすべてのフィルタの透過スペクトルが異なっている必要はない。フィルタアレイ１０において、複数のフィルタのうちの少なくとも２つ以上のフィルタの透過スペクトルが互いに異なっている。すなわち、フィルタアレイ１０は、透過スペクトルが互いに異なる２つ以上のフィルタを含む。ある例では、フィルタアレイ１０に含まれる複数のフィルタの透過スペクトルのパターンの数は、対象波長域に含まれる波長域の数Ｎと同じか、それ以上であり得る。フィルタアレイ１０は、半数以上のフィルタの透過スペクトルが異なるように設計されていてもよい。

[0076] 図３Ａおよび図３Ｂは、対象波長域Ｗと、それに含まれる複数の波長域Ｗ１、Ｗ２、・・・、ＷＮとの関係を説明するための図である。対象波長域Ｗは、用途によって様々な範囲に設定され得る。対象波長域Ｗは、例えば、約４００ｎｍから約７００ｎｍの可視光の波長域、約７００ｎｍから約２５００ｎｍの近赤外線の波長域、または約１０ｎｍから約４００ｎｍの近紫外線の波長域であり得る。あるいは、対象波長域Ｗは、中赤外、遠赤外、テラヘ

ルツ波、またはミリ波などの電波域であってもよい。このように、使用される波長域は可視光域とは限らない。本明細書において、可視光に限らず、近紫外線、近赤外線、および電波などの非可視光も便宜上「光」と称する。

[0077] 図３Ａに示す例では、Ｎを４以上の任意の整数として、対象波長域ＷをＮ等分したそれぞれを波長域Ｗ１、波長域Ｗ２、・・・、波長域ＷＮとしている。ただしこのような例に限定されない。対象波長域Ｗに含まれる複数の波長域は任意に設定してもよい。例えば、波長域によって帯域幅を不均一にしてもよい。隣接する波長域の間にギャップがあってもよい。図３Ｂに示す例では、波長域によって帯域幅が異なり、かつ、隣接する２つの波長域の間にギャップがある。このように、複数の波長域は、互いに異なっていればよく、その決め方は任意である。波長の分割数Ｎは３以下でもよい。

[0078] 図４Ａは、フィルタアレイ１０に含まれるあるフィルタの透過スペクトルの特性を説明するための図である。図４Ａに示す例において、透過スペクトルは、対象波長域Ｗ内の波長に関して、複数の極大値Ｐ１から極大値Ｐ５、および複数の極小値を有する。図４Ａに示す例では、対象波長域Ｗ内での光透過率の最大値が１、最小値が０となるように正規化されている。図４Ａに示す例では、波長域Ｗ２、および波長域ＷＮなどの波長域において、透過スペクトルが極大値を有している。このように、本実施形態では、各フィルタの透過スペクトルは、複数の波長域Ｗ１から波長域ＷＮのうち、少なくとも２つの波長域において極大値を有する。図４Ａからわかるように、極大値Ｐ１、極大値Ｐ３、極大値Ｐ４、および極大値Ｐ５は０．５以上である。

[0079] 以上のように、各フィルタの光透過率が波長によって異なるので、フィルタアレイ１０は、入射する光のうち、ある波長域の成分を多く透過させ、他の波長域の成分をそれほど透過させない。例えば、Ｎ個の波長域のうちのｋ個の波長域の光については、透過率が０．５よりも大きく、残りのＮ－ｋ個の波長域の光については、透過率が０．５未満であり得る。ｋは、２≦ｋ＜Ｎを満たす整数である。仮に入射光が、すべての可視光の波長成分を均等に含む白色光であった場合には、フィルタアレイ１０は、入射光をフィルタご

とに、波長に関して離散的な複数の強度のピークを有する光に変調し、これらの多波長の光を重畳して出力する。

[0080] 図４Ｂは、一例として、図４Ａに示す透過スペクトルを、波長域Ｗ１、波長域Ｗ２、・・・、波長域ＷＮごとに平均化した結果を示す図である。平均化された透過率は、透過スペクトルＴ（λ）を波長域ごとに積分してその波長域の帯域幅で除算することによって得られる。本明細書において、このように波長域ごとに平均化した透過率の値を、その波長域における透過率と称する。この例では、極大値Ｐ１、極大値Ｐ３、および極大値Ｐ５をとる波長域において、透過率が突出して高くなっている。特に、極大値Ｐ３をとる波長域、および極大値Ｐ５をとる波長域において、透過率が０．８を超えている。

[0081] 各フィルタの透過スペクトルの波長方向の分解能は、所望の波長域の帯域幅程度に設定され得る。言い換えれば、透過スペクトル曲線における１つの極大値を含む波長範囲のうち、当該極大値に最も近接する極小値と当該極大値との平均値以上の値をとる範囲の幅は、所望の波長域の帯域幅程度に設定され得る。この場合、透過スペクトルを例えばフーリエ変換によって周波数成分に分解すれば、その波長域に相当する周波数成分の値が相対的に大きくなる。

[0082] フィルタアレイ１０は、典型的には、図２Ａに示すように、格子状に区分けされた複数のフィルタを有する。これらのフィルタの一部または全部が、互いに異なる透過スペクトルを有する。フィルタアレイ１０に含まれる複数のフィルタの光透過率の波長分布および空間分布は、例えばランダム分布または準ランダム分布であり得る。

[0083] ランダム分布および準ランダム分布の考え方は次の通りである。まず、フィルタアレイ１０における各フィルタは、光透過率に応じて、例えば０から１の値を有するベクトル要素と考えることができる。ここで、透過率が０の場合、ベクトル要素の値は０であり、透過率が１の場合、ベクトル要素の値は１である。言い換えると、行方向または列方向に一列に並んだフィルタの

集合を０から１の値を有する多次元のベクトルと考えることができる。したがって、フィルタアレイ１０は、多次元ベクトルを列方向または行方向に複数備えていると言える。このとき、ランダム分布とは、任意の２つの多次元ベクトルが独立である、すなわち平行でないことを意味する。また、準ランダム分布とは、一部の多次元ベクトル間で独立でない構成が含まれることを意味する。したがって、ランダム分布および準ランダム分布においては、複数のフィルタに含まれる１つの行または列に並んだフィルタの集合に属する各フィルタでの第１の波長域の光の透過率の値を要素とするベクトルと、他の行または列に並んだフィルタの集合に属する各フィルタにおける第１の波長域の光の透過率の値を要素とするベクトルとは、互いに独立である。第１の波長域とは異なる第２の波長域についても同様に、複数のフィルタに含まれる１つの行または列に並んだフィルタの集合に属する各フィルタにおける第２の波長域の光の透過率の値を要素とするベクトルと、他の行または列に並んだフィルタの集合に属する各フィルタにおける第２の波長域の光の透過率の値を要素とするベクトルとは、互いに独立である。

[0084] 図２Ａから図２Ｄに示す例において、フィルタアレイ１０は、各フィルタの透過率が０以上１以下の任意の値をとり得るグレースケールの透過率分布を有する。しかし、必ずしもグレースケールの透過率分布にする必要はない。例えば、各フィルタの透過率がほぼ０またはほぼ１のいずれかの値を取り得るバイナリスケールの透過率分布を採用してもよい。バイナリスケールの透過率分布において、各フィルタは、対象波長域に含まれる複数の波長域のうちの少なくとも２つの波長域の光の大部分を透過させ、残りの波長域の光の大部分を透過させない。ここで「大部分」とは、概ね８０％以上を指す。

[0085] すべてのフィルタのうちの一部、例えば半分のフィルタを、透明フィルタに置き換えてもよい。そのような透明フィルタは、対象波長域に含まれるすべての波長域Ｗ１から波長域ＷＮの光を高い透過率で透過させる。当該高い透過率は、例えば０．８以上である。そのような構成では、複数の透明フィルタは、例えば市松（ｃｈｅｃｋｅｒｂｏａｒｄ）状に配置され得る。すな

わち、フィルタアレイ１０における複数のフィルタの２つの配列方向において、光透過率が波長によって異なるフィルタと、透明フィルタとが交互に配列され得る。図２Ａに示す例において、２つの配列方向は、横方向および縦方向である。

[0086] このようなフィルタアレイ１０の分光透過率の空間分布を示すデータは、設計データまたは実測キャリブレーションに基づいて事前に取得され、信号処理回路２００が備える記憶媒体に格納される。このデータは、後述する演算処理に利用される。

[0087] フィルタアレイ１０は、例えば、多層膜、有機材料、回折格子構造、または金属を含む微細構造を用いて構成され得る。多層膜を用いて構成される場合、例えば、誘電体多層膜または金属層を含む多層膜が用いられ得る。この場合、フィルタごとに各多層膜の厚さ、材料、および積層順序の少なくとも１つが異なるように形成され得る。これにより、フィルタによって異なる分光特性を実現できる。多層膜を用いることにより、分光透過率におけるシャープな立ち上がりおよび立下りを実現できる。有機材料を用いた構成は、セルによって含有する顔料または染料が異なるようにしたり、異種の材料を積層させたりすることによって実現され得る。回折格子構造を用いた構成は、フィルタごとに異なる回折ピッチまたは深さの回折構造を設けることによって実現され得る。金属を含む微細構造を用いる場合は、プラズモン効果による分光を利用して作製され得る。

[0088] ＜信号処理回路＞

次に、図１に示す信号処理回路２００によって多波長の分離画像２２０を再構成する方法を説明する。ここで多波長とは、例えば通常のカラーカメラで取得されるＲＧＢの３色の波長域よりも多くの波長域、すなわち４つ以上の波長域を意味する。この波長域の数は、例えば４から１００程度の数であり得る。この波長域の数を、「分光帯域数」とも称する。用途によっては、分光帯域数は１００を超えていてもよい。

[0089] イメージセンサ５０は、フィルタアレイ１０を介した光に基づいて画像信

号を生成し、信号処理回路２００に当該画像信号を送信する。信号処理回路２００は、イメージセンサ５０によって取得された当該画像信号が示す圧縮画像から、圧縮センシングにより、４つ以上の波長域の各々に対応する分離画像２２０を再構成する。再構成を復元と言い換えてもよい。

[0090] 求めたいデータは分離画像２２０であり、そのデータは、ｆとして表される。分光帯域数をＮとすると、ｆは、各帯域の画像データｆ１、ｆ２、・・・、ｆＮを統合したデータである。ここで、図１に示すように、画像の横方向をｘ方向、画像の縦方向をｙ方向とする。求めるべき画像データのｘ方向の画素数をｎとし、ｙ方向の画素数をｍとすると、画像データｆ１、ｆ２、・・・、ｆＮの各々は、ｎ×ｍ画素の２次元データである。したがって、データｆは要素数ｎ×ｍ×Ｎの３次元データである。一方、フィルタアレイ１０によって符号化および多重化されて取得される画像１２０のデータｇの要素数はｎ×ｍである。データｇは、以下の式（１）によって表すことができる。

[0091] [数1]

$$g = Hf = H\begin{bmatrix} f1 \\ f2 \\ \vdots \\ fN \end{bmatrix} \qquad (1)$$

[0092] ここで、ｆ１、ｆ２、・・・、ｆＮは、ｎ×ｍ個の要素を有するデータである。したがって、右辺のベクトルは、ｎ×ｍ×Ｎ行１列の１次元ベクトルである。ベクトルｇは、ｎ×ｍ行１列の１次元ベクトルに変換して表され、計算される。行列Ｈは、ベクトルｆの各成分ｆ１、ｆ２、・・・、ｆＮを波長域ごとに異なる符号化情報で符号化および強度変調し、それらを加算する変換を表す。したがって、Ｈは、ｎ×ｍ行ｎ×ｍ×Ｎ列の行列である。

[0093] ベクトルｇと行列Ｈが与えられれば、式（１）の逆問題を解くことにより、ｆを算出することができそうである。しかし、求めるデータｆの要素数ｎ

×ｍ×Ｎが取得データｇの要素数ｎ×ｍよりも多いため、この問題は不良設定問題であり、このままでは解くことができない。そこで、信号処理回路２００は、データｆに含まれる画像の冗長性を利用し、圧縮センシングの手法を用いて解を求める。具体的には、以下の式（２）を解くことにより、求めるデータｆが推定される。

[0094] [数2]

$$f' = \arg\min_{f}\left\{\|g - Hf\|_{l_2} + \tau\Phi(f)\right\} \qquad (2)$$

[0095] 式（１）、式（２）に含まれる

[0096] [数3]

$$g \qquad (3)$$

[0097] は、式（１）、式（２）に関連する記載において、ｇと記載されることがある。

[0098] ここで、ｆ’は、推定されたｆのデータを表す。上式の括弧内の第１項は、推定結果Ｈｆと取得データｇとのずれ量、いわゆる残差項を表す。ここでは２乗和を残差項としているが、絶対値あるいは二乗和平方根等を残差項としてもよい。括弧内の第２項は、後述する正則化項または安定化項である。式（２）は、第１項と第２項との和を最小化するｆを求めることを意味する。信号処理回路２００は、再帰的な反復演算によって解を収束させ、最終的な解ｆ’を算出することができる。

[0099] 式（２）の括弧内の第１項は、取得データｇと、推定過程のｆを行列Ｈによってシステム変換したＨｆとの差分の二乗和を求める演算を意味する。第２項のΦ（ｆ）は、ｆの正則化における制約条件であり、推定データのスパース情報を反映した関数である。働きとしては、推定データを滑らかまたは安定にする効果がある。正則化項は、例えば、ｆの離散的コサイン変換（ＤＣＴ）、ウェーブレット変換、フーリエ変換、またはトータルバリエーショ

ン（ＴＶ）などによって表され得る。例えば、トータルバリエーションを使用した場合、観測データｇのノイズの影響を抑えた安定した推測データを取得できる。それぞれの正則化項の空間における対象物６０のスパース性は、対象物６０のテキスチャによって異なる。対象物６０のテキスチャが正則化項の空間においてよりスパースになる正則化項を選んでもよい。あるいは、複数の正則化項を演算に含んでもよい。τは、重み係数である。重み係数τが大きいほど冗長的なデータの削減量が多くなり、圧縮する割合が高まる。重み係数τが小さいほど解への収束性が弱くなる。重み係数τは、ｆがある程度収束し、かつ、過圧縮にならない適度な値に設定される。

[0100] なお、ここでは式（２）に示す圧縮センシングを用いた演算例を示したが、その他の方法を用いて解いてもよい。例えば、最尤推定法またはベイズ推定法などの他の統計的方法を用いることができる。また、分離画像２２０の数は任意であり、各波長域も任意に設定してよい。再構成の方法の詳細は、特許文献１に開示されている。特許文献１に対応する米国特許第９５９９５１１号明細書の開示内容の全体を本明細書に援用する。

[0101] ＜ファブリ・ペローフィルタを含むフィルタアレイの構造＞

次に、図５を参照して、本開示の実施形態によるフィルタアレイ１０の具体的な構造の例を説明する。図５は、本開示の実施形態によるフィルタアレイ１０の構造の例を模式的に示す断面図である。これらの断面図では、簡単のために、１つの行に含まれる６つのフィルタ１００が示されている。図５に示すフィルタアレイ１０は、基板２０によって支持されており、正方格子状に２次元的に配列された複数のフィルタ１００を含む。図５に示す例において、フィルタアレイ１０に含まれるすべてのフィルタ１００は共振構造を備える。共振構造とは、ある波長の光が内部で定在波を形成して安定に存在する構造を意味する。

[0102] 図５に示す例において、基板２０上に、第１反射層１４ａ、干渉層１２、および第２反射層１４ｂがこの順に積層されている。図５に示す各共振構造は、互いに反対側に位置する第１表面１２ｓ１および第２表面１２ｓ２を有

する干渉層１２と、第１表面１２ｓ１に設けられた第１反射層１４ａと、第２表面１２ｓ２に設けられた第２反射層１４ｂとを含む。第１表面１２ｓ１および第２表面１２ｓ２の各々の反射率は、例えば８０％以上であり得る。当該反射率は、８０％よりも低くてもよいが４０％以上に設計され得る。第１反射層１４ａの厚さおよび第２反射層１４ｂの厚さは互いに等しくなるように設計され得る。干渉層１２の厚さが互いに異なる複数のフィルタ１００は、対象波長域W内で互いに異なる透過スペクトルを有する。図５に示す各共振構造の透過スペクトルは、対象波長域W内に２つ以上の鋭いピークを有する。本明細書において、そのような透過スペクトルを有するフィルタを「多モードフィルタ」と称する。

[0103] 図５に示す例において、第１反射層１４ａおよび第２反射層１４ｂの各々は、複数の高屈折率層および複数の低屈折率層が交互に積層された分布ブラッグ反射器（Ｄｉｓｔｒｉｂｕｔｅｄ Ｂｒａｇｇ Ｒｅｆｌｅｃｔｏｒ：ＤＢＲ）から形成されている。第１反射層１４ａおよび第２反射層１４ｂの少なくとも一方は金属薄膜から形成されていてもよい。

[0104] 「第１反射層１４ａおよび第２反射層１４ｂの少なくとも一方は金属薄膜から形成されている」は、「(ａ)第１反射層１４ａは金属薄膜から形成されている、(ｂ)第２反射層１４ｂは金属薄膜から形成されている、または、(ｃ)第１反射層１４ａは金属薄膜から形成されている、かつ、第２反射層１４ｂは金属薄膜から形成されている」と解釈されてもよい。

[0105] ＤＢＲは、屈折率が異なる高屈折率層および低屈折率層のペア層を１組以上含む。高屈折率層の屈折率は、低屈折率層の屈折率よりも高い。ＤＢＲは、周期的な積層構造に起因するブラッグ反射により、ストップバンドと呼ばれる反射率が高い波長域を有する。上記のペア層の数を増加させると、ストップバンドの反射率は１００％に近づく。

[0106] 対象波長域W内の波長をλ、高屈折率層の屈折率をｎＨ、低屈折率層の屈折率をｎＬとする。厚さがλ／（４ｎＨ）である高屈折率層、および厚さがλ／（４ｎＬ）である低屈折率層のペア層を１組以上含むＤＢＲは、波長λ

の光を効率的に反射させる。対象波長域Wが波長λｉ以上波長λｆ以下の範囲である場合、複数の高屈折率層および複数の低屈折率層の厚さを段階的に変化させることにより、ＤＢＲは、波長λｉに対応するペア層から波長λｆに対応するペア層を含むことができる。その結果、当該ＤＢＲは、対象波長域W内のすべての光を効率的に反射させることができる。

[0107] 第１反射層１４ａおよび第２反射層１４ｂの各々に含まれる高屈折率層および低屈折率層、ならびに干渉層１２は、例えば、対象波長域W内の光について吸収率の低い材料から形成され得る。対象波長域Wが可視光領域内にある場合、そのような材料は、例えば、SiO_2、Al_2O_3、SiO_xN_y、Si_3N_4、Ta_2O_5、およびTiO_2からなる群から選択される少なくとも１つであり得る。対象波長域Wが赤外領域内にある場合、そのような材料は、例えば、上記のSiO_2、Al_2O_3、SiO_xN_y、Si_3N_4、Ta_2O_5、およびTiO_2に加えて、単結晶Ｓｉ、多結晶Ｓｉ、およびアモルファスＳｉからなる群から選択される少なくとも１つであり得る。同様に、基板２０は、例えば、対象波長域W内の光について吸収率の低い材料から形成され得る。対象波長域Wが可視光領域内にある場合、そのような材料は、SiO_2、ＩＴＯ、Al_2O_3、ＧａＮ、Nb_2O_5、Ta_2O_5、およびＳｉＣからなる群から選択される少なくとも１つであり得る。対象波長域Wが赤外領域内にある場合、そのような材料は、例えば、上記のSiO_2、ＩＴＯ、Al_2O_3、ＧａＮ、Nb_2O_5、Ta_2O_5、およびＳｉＣに加えて、単結晶Ｓｉ、多結晶Ｓｉ、アモルファスＳｉ、およびＩｎＰからなる群から選択される少なくとも１つであり得る。第１反射層１４ａおよび第２反射層１４ｂの各々の厚さは、例えば１００ｎｍ以上９００ｎｍ以下であり得る。干渉層１２の厚さは、例えば１０ｎｍ以上５００ｎｍ以下であり得る。基板２０の厚さは、例えば０．１ｍｍ以上１ｍｍ以下であり得る。

[0108] 本明細書では、光を反射する面の正確な位置が問題にならない限り、干渉層１２内の光は、第１表面１２ｓ１および第２表面１２ｓ２で反射されるものとする。本実施形態において、干渉層１２から第１反射層１４ａまたは第

２反射層１４ｂに入射する光の一部は、実際には、第１反射層１４ａまたは第２反射層１４ｂ内に浸入し、複数の高屈折率層および複数の低屈折率層の界面で反射される。光が反射される界面は波長によって異なる。しかし、説明の便宜上、これらの光は、第１表面１２ｓ１および第２表面１２ｓ２で反射されるものとして取り扱う。

[0109] 本実施形態によるフィルタアレイ１０では、対象波長域W内で互いに透過スペクトルが異なる複数種類の多モードフィルタが、不規則に配置され得る。不規則な配置とは、明確な規則性または周期性を示さない配置であり、非周期的な配置でもある。不規則な配置は、例えば前述のランダム分布または準ランダム分布の考え方に従った配置であり得る。ある例において、フィルタアレイ１０は２次元的に配列された数百万個のフィルタ１００を含み、当該数百万個のフィルタ１００は不規則に配置された９種類の多モードフィルタを含む。当該９種類の多モードフィルタは、ランダム分布または準ランダム分布のように配列され得る。そのような高いランダム性を有するフィルタアレイ１０により、分離画像２２０をより正確に復元することができる。

[0110] 透過スペクトルが異なる複数種類の多モードフィルタは、複数の第１フィルタ、～、複数の第ｎフィルタであってもよい。ｎは２以上の整数であり、ｎ＝９であってもよい。複数の第１フィルタのそれぞれは対象波長域W内で第１透過スペクトルを示し、～、複数の第ｎフィルタのそれぞれは対象波長域W内で第ｎ透過スペクトルを示す。第１透過スペクトル、～、第ｎ透過スペクトルは、互いに異なる。第１透過スペクトルは複数の極大値を有し、～、第ｎ透過スペクトルは複数の極大値を有する。複数の第１フィルタはフィルタアレイ１０において不規則に配置され、～、複数の第ｎフィルタはフィルタアレイ１０において不規則に配置される。

[0111] なお、本実施形態によるフィルタアレイ１０は、上記の共振構造を有しないフィルタを含んでいてもよい。本実施形態によるフィルタアレイ１０は、例えば、透明フィルタまたはＮＤフィルタ（Ｎｅｕｔｒａｌ　Ｄｅｎｓｉｔｙ　Ｆｉｌｔｅｒ）などの、光透過率の波長依存性を有しないフィルタを含

んでいてもよい。

[0112] 本明細書において、ＤＢＲを備えるフィルタ１００を、「ファブリ・ペローフィルタ」とも称する。ファブリ・ペローフィルタは干渉フィルタの一種である。ファブリ・ペローフィルタに代えて、回折格子などから構成される色分離フィルタのように他の種類の干渉フィルタを用いることができる。

[0113] ＜光検出装置＞

次に、図６から図８を参照して、本実施形態による光検出装置３００の例を説明する。図６および以降の図に示す例において、簡単のために、フィルタアレイ１０およびイメージセンサ５０の各々は２次元的に配列された数十個のユニットセルを含むとして説明する。実際には、フィルタアレイ１０およびイメージセンサ５０の各々は、例えば２次元的に配列された数百万個のユニットセルを含み得る。図示されている構造は例示にすぎず、ユニットセルの数および配置は任意に決定され得る。

[0114] 図６は、本開示の実施形態による光検出装置３００の例を模式的に示す断面図である。当該断面図は、ある１つの行についてのフィルタアレイ１０およびイメージセンサ５０の断面図である。図６に示す構造は、光検出装置３００の部分構造である。説明の便宜上、図６には、互いに直交するＸ軸、Ｙ軸、およびＺ軸が示されている。Ｘ軸の矢印の方向を＋Ｘ方向と称し、その反対の方向を－Ｘ方向と称する。Ｙ軸およびＺ軸の矢印の方向およびその反対の方向についても同様である。＋Ｚ方向側を「上」とも称し、－Ｚ方向側を「下」とも称する。これらの軸は、光検出装置３００の配置および姿勢を限定するものではなく、実際の光検出装置３００の配置および姿勢は任意である。本実施形態による光検出装置３００は、フィルタアレイ１０と、フィルタアレイ１０を支持する基板２０と、イメージセンサ５０とを備える。

[0115] 図６に示すフィルタアレイ１０および基板２０の構成は、上下を反転させた点を除き、図５に示すフィルタアレイ１０および基板２０の構成と同じである。基板２０は、光検出装置３００を製造する工程において用いられる。基板２０は必ずしも必要ではないが、光検出装置３００の製造において基板

２０を除去しない場合には、基板２０が光検出装置３００に含まれる。

[0116] フィルタアレイ１０は、ＸＹ平面に沿って正方格子状に２次元的に配列された複数のフィルタ１００を含む。複数のフィルタ１００は、対象波長域W内で透過スペクトルが互いに異なる複数種類の多モードフィルタを含む。複数種類の多モードフィルタは、例えば前述のランダム分布または準ランダム分布の考え方に従って不規則に配置されている。干渉層１２の厚さは、多モードフィルタの透過スペクトルに応じて異なっている。Ｘ方向およびＹ方向の各々における複数のフィルタ１００のピッチは例えば均一であり得る。Ｘ方向における当該ピッチおよびＹ方向における当該ピッチは、例えば互いに等しくあり得る。Ｘ方向およびＹ方向の各々における当該ピッチは、例えば１μｍ以上１０μｍ以下であり得る。

[0117] フィルタアレイ１０は、光入射面１０ｓ１と、その反対側に位置する光出射面１０ｓ２とを有する。光入射面１０ｓ１は、複数のフィルタ１００の光入射面の集まりによって形成される。光出射面１０ｓ２は、複数のフィルタ１００の光出射面の集まりによって形成される。図６に示す例において、光入射面１０ｓ１は平坦である。言い換えれば、複数のフィルタ１００における光入射面は段差のない平坦面を形成する。これに対して、光出射面１０ｓ２は凹凸すなわち段差を有する。言い換えれば、複数のフィルタ１００における光出射面は凹凸面を形成する。この凹凸は、フィルタ１００によって厚さが異なることに起因して生じる。フィルタ１００ごとの厚さの違いは、干渉層の厚さが異なることに起因して生じる。基板２０は、フィルタアレイ１０の光入射面１０ｓ１に設けられている。

[0118] イメージセンサ５０は、光出射面１０ｓ２に対向する光検出面５０ｓを有し、光検出面５０ｓに沿って正方格子状に２次元的に配列された複数の画素５０ａを含む。光検出面５０ｓは平坦である。複数の画素５０ａは対象波長域Wに感度を有する。Ｘ方向およびＹ方向の各々における複数の画素５０ａのピッチは、例えば均一であり得る。Ｘ方向における当該ピッチおよびＹ方向における当該ピッチは、例えば互いに等しくあり得る。Ｘ方向およびＹ方

向の各々における当該ピッチは、例えば１μｍ以上１０μｍ以下であり得る。

[0119] 複数の画素５０ａは、それぞれ、直上に複数のマイクロレンズ４０ａを備えてもよい。マイクロレンズ４０ａは、フィルタ１００を透過した光を画素５０ａの光電変換部により効率的に導くことができる。光入射面１０ｓ１および光検出面５０ｓは互いに平行である。「光入射面１０ｓ１および光検出面５０ｓが互いに平行である」とは、厳密に平行であることを意味するのではなく、光入射面１０ｓ１の法線方向と光検出面５０ｓの法線方向とがなす角度が１０°以下であることを意味する。光入射面１０ｓ１の法線方向は、光入射面１０ｓ１に垂直であり、かつ、フィルタアレイ１０から遠ざかる方向である。光検出面５０ｓの法線方向は、光検出面５０ｓに垂直であり、かつ、イメージセンサ５０から遠ざかる方向である。

[0120] 本実施形態による光検出装置３００において、フィルタアレイ１０に含まれる複数のフィルタ１００のピッチは、イメージセンサ５０に含まれる画素５０ａのピッチとは異なっている。すなわち、複数のフィルタ１００は、複数の画素５０ａに１対１で対応していない。その理由については後述する。本明細書において、複数のフィルタ１００のピッチを単に「フィルタピッチ」と称し、複数の画素５０ａのピッチを単に「画素ピッチ」と称する。

[0121] 対象物６０で反射された光は、主に－Ｚ方向に沿って基板２０を介してフィルタアレイ１０の光入射面１０ｓ１に入射し、フィルタアレイ１０を通り、フィルタアレイ１０の光出射面１０ｓ２から出射する。フィルタアレイ１０の光出射面１０ｓ２から出射した光は、イメージセンサ５０の光検出面５０ｓに入射する。

[0122] 光出射面１０ｓ２と光検出面５０ｓとの距離は、多モードフィルタごとに異なっている。本実施形態の光検出装置３００は、フィルタアレイ１０およびイメージセンサ５０を、フィルタアレイ１０の凹凸面が光検出面５０ｓに対向するように固定することによって製造される。光出射面１０ｓ２と光検出面５０ｓとの距離が不均一になるので、光出射面１０ｓ２と光検出面５０

ｓとの間で光の多重反射が生じても、撮像画像に光の干渉による干渉縞が現れることを抑制できる。その結果、光検出装置３００の撮像特性を向上させることが可能になる。複数種類の多モードフィルタの不規則な配置により、複数の分離画像２２０をより正確に復元できるだけでなく、撮像画像に干渉縞が現れることをさらに抑制できる。

[0123] さらに、本実施形態では、基板２０ではなく第２反射層１４ｂがイメージセンサ５０の光検出面５０ｓに対向するように配置しているので、フィルタアレイ１０とイメージセンサ５０とを近づけることができる。光出射面１０ｓ２のうち、最も光検出面５０ｓに近い部分と光検出面５０ｓとの距離（以下、「最小距離ｄｍ」と称することがある。）は、例えば０．１μｍ以上２００μｍ以下であり得る。本実施形態において、図１に示す光学系４０のＦ値は１６以下であり、画素ピッチは６μｍ程度であり得る。この場合、焦点深度が約２００μｍ程度となるので、光出射面１０ｓ２と光検出面５０ｓとの最小距離が上記の範囲内であれば、各フィルタ１００を通過した光の大部分を、光検出面５０ｓ内の各フィルタ１００の直下に位置する領域に入射させることができる。

[0124] 光出射面１０ｓ２と光検出面５０ｓとの距離によっては、これら２つの面の間に光の干渉が発生し得る。この干渉の影響により、画素５０ａによって検出される光のスペクトルと、多モードフィルタの透過スペクトルとがずれる可能性がある。ここで発生し得る干渉は、光出射面１０ｓ２と光検出面５０ｓとの間の距離ｄに依存する。光出射面１０ｓ２と光検出面５０ｓと往復距離２ｄが波長λの整数倍である場合、すなわち距離ｄ＝ｍ１λ／２の場合、光は干渉によって強め合い、その結果、波長λ＝２ｄ／ｍ１で透過率が極大になる。ｍ１は１以上の整数である。これに対して、光出射面１０ｓ２と光検出面５０ｓと往復距離２ｄが波長λの半整数倍である場合、すなわち距離ｄ＝（ｍ２＋１／２）λ／２の場合、光は干渉によって弱め合い、その結果、波長λ＝２ｄ／（ｍ２＋１／２）で透過率が極小になる。ｍ２は０以上の整数である。干渉によって透過率が極小になる最大波長はｍ２＝０の場合

、すなわちλ＝４ｄである。本明細書では、距離ｄ＝λ／４で生じる干渉を「基本モードの干渉」と称する。

[0125] 図７は、屈折率が等しい２つの媒質、およびその間に位置する空気のギャップ層を備える構成における透過スペクトルを示すグラフである。図７に示す実線、点線、および破線は、それぞれ、ギャップ層の厚さｄが１００ｎｍ、１２５ｎｍ、および１５０ｎｍである場合を表す。２つの媒質はSiO_2であり、各媒質の屈折率はｎ＝１．５である。図７に示すように、距離ｄ＝１００ｎｍでは波長λ＝４００ｎｍの光について基本モードの干渉が発生し、波長λ＝４００ｎｍ付近で透過率が極小になる。同様に、距離ｄ＝１２５ｎｍでは波長λ＝５００ｎｍ付近で透過率が極小になり、距離ｄ＝１５０ｎｍでは波長λ＝６００ｎｍ付近で透過率が極小になる。図７に示すように、基本モードの干渉が生じる波長よりも波長が長くなると、透過率は緩やかに増加し、基本モードの干渉が生じる波長よりも波長が短くなると、透過率は極大値に向けて急峻に増加する。

[0126] 各画素の光検出素子は、多モードフィルタの透過スペクトルに上記の干渉の影響が加味された光を検出することになる。すなわち、各画素において検出される光のスペクトルと、多モードフィルタの透過スペクトルとが大きく異なってしまい、分離画像２２０の復元誤差が増加するといった撮像特性の低下を招く可能性がある。

[0127] 対象波長域が可視光の波長域、すなわち約４００ｎｍ以上約７００ｍ以下であるとする。最小距離ｄｍが０．１μｍ以下である場合、対象波長域の全体にわたって、透過率は干渉の影響を受けて低くなる可能性がある。最小距離ｄｍが０．１μｍよりも大きい場合、すなわち距離ｄｍが０．１μｍ以下になる画素が存在しない場合であれば、対象波長域において、波長４００ｎｍ付近での干渉の影響を低減することができる。したがって、最小距離ｄｍが０．１μｍ以下である場合よりも、撮像特性を向上させることができる。

[0128] 同様に、最小距離ｄｍが０．１２５μｍよりも大きい場合、対象波長域のうち、４００ｎｍ以上５００ｎｍ以下の波長域における干渉の影響を低減す

ることができ、撮像特性をより向上させることが可能になる。同様に、最小距離ｄｍが０．１５０μｍよりも大きい場合、対象波長域のうち、４００ｎｍ以上６００ｎｍ以下の波長域における干渉の影響を低減することができ、撮像特性をさらに向上させることが可能になる。

[0129] 一般化すると、対象波長域がλ１≦λ≦λ２である場合、最小距離ｄｍをλ１／４よりも大きくすることにより、撮像特性を向上させることができる。最小距離ｄｍをλ２／４よりも大きくすることにより、撮像特性をさらに向上させることができる。

[0130] 最小距離ｄｍを大きくするほど、干渉の影響により、図７に示す透過率は、対象波長域において波長の変化に伴ってより短い周期で振動する。この振動幅が、例えば図３Ａに示す対象波長域Ｗに含まれる波長域Ｗ１、波長域Ｗ２、・・・、波長域ＷＮの各々の幅よりも十分に小さい場合、短い周期の振動が波長域Ｗ１、波長域Ｗ２、・・・、波長域ＷＮの各々において平均化されて打ち消される。その結果、複数の分離画像２２０は、干渉の影響をほとんど受けず、撮像特性をさらに向上させることができる。

[0131] 対象波長域の下限波長λ１および上限波長λ２は、それぞれ、分離画像２２０に含まれる波長成分の下限波長および上限波長としてもよい。あるいは、対象波長域の下限波長λ１および上限波長λ２は、それぞれ、イメージセンサ５０が検出可能な光の下限波長および上限波長としてもよい。あるいは、対象波長域の下限波長λ１および上限波長λ２は、それぞれ、イメージセンサ５０に入射する光の下限波長および上限波長としてもよい。

[0132] 図６に示す構造に、他の構成要素を追加してもよい。図８は、光検出装置３００の他の例を模式的に示す断面図である。図８に示す構造が図６に示す構造とは異なる点は、基板２０が、フィルタアレイ１０を支持する面とは反対側の面に反射防止膜２２を備えることである。反射防止膜２２は、図６に示す基板２０と空気との界面で生じる光の反射を抑制することができる。したがって、光検出装置３００の光検出効率を向上させることができる。さらに、反射防止膜２２により、フィルタアレイ１０および基板２０の反りを緩

やかにしたり、その反りの方向を反転させたりすることができる。反射防止膜２２によってフィルタアレイ１０および基板２０の反りを調整することにより、撮像画像に干渉縞が現れることをさらに抑制できる。

[0133] ＜比較例におけるフィルタアレイおよびイメージセンサの構成および配置＞

通常、特許文献１の段落［００７３］に記載されているように、フィルタアレイ１０に含まれる複数のフィルタ１００は、イメージセンサ５０に含まれる複数の画素５０ａに１対１で対向するように配置される。したがって、フィルタピッチは画素ピッチに等しい方がよいと考えられる。そのような構成では、フィルタアレイ１０を透過し、符号化された光の像の解像度が、画素６０ａの解像度とほぼ一致する。各フィルタ１００を透過した光が、対向する１つの画素５０ａに入射するので、前述した演算による分離画像２２０の復元が容易になる。

[0134] しかしながら、フィルタアレイ１０とイメージセンサ５０とを接着固定する構成において、接着時の公差により、両者の配置にμｍオーダのずれが生じることは避けられない。各フィルタピッチもμｍオーダであるので、配置のずれを考慮した場合、フィルタアレイ１０に含まれる複数のフィルタ１００は、イメージセンサ５０に含まれる複数の画素５０ａに１対１で対向しない。

[0135] 以下に、図９および図１０を参照して、フィルタピッチが画素ピッチに等しい比較例において、フィルタアレイ１０およびイメージセンサ５０の配置のずれが複数の分離画像２２０の復元にどのような影響を及ぼすかを説明する。図９は、比較例における光検出装置３１０を模式的に示す平面図である。当該平面図は、フィルタアレイ１０の光入射面の側から光検出装置３１０を見た図である。当該平面図には、基板２０の図示が省略されている。図９に示す例において、太い線は、行列状に配列されたフィルタ１００を含むフィルタアレイ１０を表し、細い線は行列状に配列された画素５０ａを含むイメージセンサ５０を表す。フィルタ１００および画素５０ａは正方形の形状

を有し、両サイズは互いに等しい。

[0136] 図９に示す例において、フィルタアレイ１０に含まれる複数のフィルタ１００は、イメージセンサ５０に含まれる複数の画素５０ａを基準として、Ｘ方向およびＹ方向の各々にピッチの半分だけずれて配置されている。図９に示す白抜きの矢印は、フィルタアレイ１０のイメージセンサ５０に対する配置のずれを表す。配置のずれにより、１つのフィルタ１００を透過した光は４つの画素５０ａに入射してしまい、画素５０ａ同士の独立性が低下する。その結果、分離画像２２０の復元精度が低下する。

[0137] 図１０は、比較例における、フィルタアレイ１０およびイメージセンサ５０の配置のずれと、分離画像２２０の復元誤差との関係を説明するための図である。図１０に示す横軸は、フィルタアレイ１０およびイメージセンサ５０の配置のずれを表す。フィルタアレイ１０は、Ｘ方向およびＹ方向の各々において同じ距離だけずれている。横軸の０および１は、フィルタ１００が画素５０ａと完全に一致する場合を意味し、横軸の０．５は、図９で示したようにフィルタ１００が画素５０ａに対して半分だけずれている場合を意味する。図１０に示す縦軸は、分離画像２２０の復元誤差の計算結果である。復元誤差は、復元された分離画像２２０と正解画像との乖離度合いであり、ＭＳＥ（Ｍｅａｎ　Ｓｑｕａｒｅｄ　Ｅｒｒｏｒ）およびＰＳＮＲ（Ｐｅａｋ　Ｓｉｇｎａｌ－ｔｏ－Ｎｏｉｓｅ　Ｒａｔｉｏ）などの種々の指標を用いて表現することができる。本明細書ではＭＳＥを用いる。なお、実際には正解画像を定義することが容易ではない場合もある。そのような場合には、例えば、特定の波長の光を透過させるバンドパスフィルタ、透過スペクトルおよび／または反射スペクトルが既知の被写体、または発光波長が既知であるレーザーを用いて観測することにより、正解画像を定義してもよい。

[0138] ここで、復元誤差の計算において、フィルタアレイ１０の有効領域およびイメージセンサ５０の有効領域が、Ｘ方向およびＹ方向において同一サイズを有する構成を例に挙げる。本明細書において、「フィルタアレイ１０の有効領域」は、フィルタアレイ１０のうち、透過スペクトルが複数の波長域W

１から波長域ＷＮのうち、少なくとも２つの複数の波長域において極大値を有するように構成された領域を意味する。「イメージセンサ５０の有効領域」は、イメージセンサ５０のうち、分離画像２２０を得るための信号を取り出す領域を意味する。イメージセンサ５０が、複数の画素５０ａのうち、一部の画素５０ａから分離画像２２０を得るための信号を取り出す場合、当該一部の画素５０ａが配置された領域がイメージセンサ５０の有効領域である。

[0139] 上記の構成では、フィルタアレイ１０がイメージセンサ５０からずれると、Ｚ方向から見て、すなわち平面視で、イメージセンサ５０の有効領域にフィルタアレイ１０の有効領域が重ならない領域が現れる。イメージセンサ５０は、そのような領域においてフィルタアレイ１０を透過した光を検出することができない。

[0140] そこで、復元誤差の計算では、図９に示す例とは異なり以下の条件が満たされているとする。当該条件は、イメージセンサ５０の有効領域が、平面視で、フィルタアレイ１０の有効領域の外縁の内側に収まることである。すなわち、フィルタアレイ１０の有効領域は、平面視で、イメージセンサ５０の有効領域の全体に重なる第１部分と、イメージセンサ５０の有効領域に重ならない第２部分とを有する。ある例において、第１部分は中央領域であり、第２部分は当該中央領域を囲む周縁領域であり得る。上記の条件が満たされる場合、イメージセンサ５０は、その有効領域の全体においてフィルタアレイ１０を透過した光を検出することができる。

[0141] 図１０に示すように、配置のずれが０または１である場合、復元誤差が最小になり、配置のずれが０．５である場合、復元誤差が最大になる。最大の復元誤差は、最小の復元誤差の２．５倍程度である。本発明者は、復元誤差が１００を超える分離画像２２０を正解画像と比較すると、分離画像２２０の劣化が視認できることを確認した。復元誤差の計算では、復元誤差が増加する要因として配置のずれが考慮されているが、実際には、例えば画素５０ａにおける暗電流の揺らぎも復元誤差が増加する要因になる。したがって、

配置のずれが０．５である場合、実際の使用においてＭＳＥが１００を超えてしまい、分離画像２２０の劣化が生じる可能性がある。画素ピッチは、前述したように、例えば１μｍ以上１０μｍ以下であり得る。配置のずれによる影響を抑えようと画素ピッチを１０μｍにしても、その半分は５μｍである。フィルタアレイ１０およびイメージセンサ５０を接着固定する際の交差は、工業的かつ現実的には５μｍ程度である。すなわち、実際には５μｍ程度の配置のずれは生じ得る。

[0142] フィルタピッチが画素ピッチに等しい構成では、フィルタ１００が設計通りに画素５０ａに完全に一致すれば復元誤差を最小にでき、分離画像２２０をより正確に復元することが可能になる。一方で、わずか数μｍでも配置のずれが生じると、大きな復元誤差が生じてしまい、分離画像の劣化を引き起こす可能がある。本発明者は、そのような課題を見出し、当該課題を解決することが可能な光検出装置に想到した。

[0143] ＜本実施形態におけるフィルタアレイおよびイメージセンサの構成および配置＞

次に、図１１から図１５を参照して、本実施形態による光検出装置３００におけるフィルタアレイ１０およびイメージセンサ５０の構成および配置を説明する。本実施形態による光検出装置３００によれば、フィルタアレイ１０およびイメージセンサ５０の配置のずれが生じても復元誤差を十分低く抑えることができ、分離画像２２０をより正確に復元することができる。その結果、生産性が高く、かつ撮像特性が良好な光検出装置３００を実現することが可能になる。

[0144] 図１１は、本実施形態による光検出装置３００の例を模式的に示す平面図である。図１１に示すように、フィルタアレイ１０の有効領域は、イメージセンサ５０の有効領域よりも広く、フィルタアレイ１０の有効領域は、平面視で、イメージセンサ５０の有効領域の全体に重なる第１部分と、イメージセンサ５０の有効領域に重ならない第２部分とを有する。

[0145] Ｘ方向およびＹ方向の各々において、フィルタアレイ１０の有効領域のサ

イズは、イメージセンサ５０の有効領域のサイズよりも大きい。フィルタアレイ１０およびイメージセンサ５０を接着固定する際の公差を考慮して、Ｘ方向およびＹ方向の各々において、フィルタアレイ１０の有効領域のサイズは、例えば、イメージセンサ５０の有効領域のサイズよりも１０μｍ以上だけ大きくてもよい。あるいは、Ｘ方向およびＹ方向の各々において、フィルタアレイ１０の有効領域のサイズは、例えばイメージセンサ５０の有効領域のサイズよりもフィルタピッチの２倍以上だけ大きくてもよい。

[0146] 上記の構成では、フィルタアレイ１０の有効領域の中心を、イメージセンサ５０の有効領域の中心に一致させるようにフィルタアレイ１０およびイメージセンサ５０を互いに接着固定する際に、配置のずれが生じても問題ない。±Ｘ方向および／または±Ｙ方向に５μｍ以下またはフィルタピッチ以下の配置のずれが生じても、フィルタアレイ１０の有効領域は、平面視でイメージセンサ５０の有効領域の全体に重なる第１部分を有することができるからである。その結果、イメージセンサ５０は、その有効領域の全体においてフィルタアレイ１０を透過した光を検出することができる。図１１には示していないが、イメージセンサ５０の有効領域の外側に、品質確認用の光検出素子を設けてもよい。

[0147] 図１１に示す例において、フィルタ１００および画素５０ａは正方形の形状を有する。フィルタ１００のサイズは画素５０ａのサイズよりも小さい。Ｘ方向およびＹ方向の各々において、フィルタピッチは画素ピッチよりも短く、画素ピッチの０．９倍である。

[0148] 図１２は、本実施形態における、フィルタアレイ１０およびイメージセンサ５０の配置のずれと、分離画像２２０の復元誤差との関係を説明するための図である。実線は本実施形態を表し、破線は前述した比較例を表す。フィルタアレイ１０は、Ｘ方向およびＹ方向の各々に同じ距離だけずれている。図１２に示す横軸および縦軸は、それぞれ、図１０に示す横軸および縦軸と同じである。ただし、図１２に示す横軸の０および１は、あるフィルタ１００の中心が、ある画素５０ａの中心に完全に一致する場合を意味する。

[0149] 図１２に示すように、本実施形態では、比較例とは異なり、フィルタアレイ１０およびイメージセンサ５０の配置のずれが生じても、復元誤差はほぼ一定であり、配置のずれにほとんど依存せず、分離画像２２０をより正確に安定して復元できることがわかる。製造販売するすべての工業製品は、必要な性能を満足しなければならない。製造ばらつきによって必要な性能を発揮できない製品は出荷できないため、製造コストを上昇させてしまう。当然、そのようなことが生じないように設計してもよい。比較例では、フィルタアレイ１０およびイメージセンサ５０の配置のずれが０．５である場合、復元誤差が最大になり、ＭＳＥは８０を超える。実際の使用においてＭＳＥは１００を超えてしまうので、光検出装置３１０の工業製品としての性能は高いとは言えない。これに対して、本実施形態では、フィルタアレイ１０およびイメージセンサ５０の配置のずれが生じても、復元誤差はほぼ一定であり、配置のずれにほとんど依存せず、ＭＳＥは５０程度である。実際の使用においてＭＳＥは１００を超えないので、光検出装置３００の工業製品としての性能は高いと言える。

[0150] 製造した複数の製品のうち、実際の使用においてＭＳＥが１００を超えない製品を出荷する場合、比較例では出荷できない製品がある可能性が高い。これに対して、本実施形態では出荷できない製品が発生する可能性は低く抑えることができる。したがって、本実施形態では、比較例よりも歩留まりを高くすることができ、製造コストを低く抑えることが可能になる。さらに、本実施形態では、ＭＳＥが配置のずれにほとんど依存しないので、製品の信頼性を向上させることが可能になる。

[0151] フィルタピッチが画素ピッチよりも短い構成において、分離画像２２０をより正確に復元できるのは、以下の理由によると考えられる。そのような構成では、配置のずれが生じてもどこかでフィルタ１００の中心が画素５０ａの中心に一致または近接するので、設計通りまたは設計に近い性能を得られ、復元誤差の増加を抑えられる。図１１に示す例では、４隅において、フィルタ１００の中心が画素５０ａの中心に近接し、１つの画素５０ａが検出す

る光の透過スペクトルの大部分が、１つのフィルタ１００によって決まる。その結果、フィルタアレイ１０の高いランダム性を十分に反映でき、分離画像２２０をより正確に復元することが可能になる。

[0152] 上記の考察から、フィルタピッチが画素ピッチよりも長い構成でも、フィルタアレイ１０の高いランダム性を十分に反映でき、分離画像２２０をより正確に復元できることが期待できる。次に、図１３を参照して、画素ピッチに対するフィルタピッチの比と、復元誤差との関係を説明する。図１３は、本実施形態における、画素ピッチに対するフィルタピッチの比と、配置のずれが０．５である場合の分離画像２２０の復元誤差との関係を説明するための図である。図１３に示す横軸は、画素ピッチに対するフィルタピッチの比を表す。図１３に示す縦軸は復元誤差を表す。配置のずれとして、画素ピッチに対するフィルタピッチの比が１である構成において分離画像２２０の復元誤差が最大になる０．５を例に挙げる。

[0153] 図１３に示すように、画素ピッチに対するフィルタピッチの比が０．９９８よりも大きく１．００２よりも小さい場合、すなわち、当該比が１±０．００２の範囲内である場合、分離画像２２０の復元誤差が顕著に増加する。さらに、画素ピッチに対するフィルタピッチの比が０．９９よりも大きく１．０１よりも小さい場合、すなわち、当該比が１±０．０１の範囲内である場合、分離画像２２０の復元誤差は、配置のずれに強く依存し、不安定である。その場合、撮像状況によっては、図１に示す光学系４０の収差によって復元誤差が予想外に劣化する可能性がある。

[0154] したがって、分離画像２２０の復元誤差を低く抑える観点から、画素ピッチに対するフィルタピッチの比は０．９９８以下または１．００２以上が望ましい。その観点に加えて、分離画像２２０の復元誤差を安定させる観点から、画素ピッチに対するフィルタピッチの比は０．９９以下または１．０１以上がより望ましい。

[0155] 次に、図１４および図１５を参照して、画素ピッチに対するフィルタピッチの比と、配置のずれと、分離画像２２０の復元誤差との関係を説明する。

図１４は、本実施形態における、画素ピッチに対するフィルタピッチの比と、配置のずれと、分離画像２２０の復元誤差との関係を説明するための図である。図１４に示す横軸は、画素ピッチに対するフィルタピッチの比を表す。図１４に示す奥行き方向の軸は、前述した配置のずれを表す。図１４に示す縦軸は、復元誤差の差を表す。配置のずれとして、０．０以上０．５以下の範囲が考慮されており、０．５以上１．０以下である範囲は考慮されていない。配置のずれが０．５以上１．０以下である範囲における分離画像２２０の復元誤差と、配置のずれが０．０以上０．５以下である範囲における分離画像２２０の復元誤差とは、両者を折り返した関係にあるからである。

[0156] 図１５は、本実施形態における、画素ピッチに対するフィルタピッチの比と、分離画像２２０の復元誤差の最大値との関係を説明するための図である。分離画像２２０の復元誤差の最大値は、画素ピッチに対するフィルタピッチの比を固定した場合に、図１４に示す分離画像２２０の復元誤差がある配置のずれにおいて最大になる値である。

[0157] 図１５に示す結果を考察することにより、以下の（１）から（４）がわかった。

（１）画素ピッチに対するフィルタピッチの比が１よりも小さいまたは大きい場合、分離画像２２０の復元誤差を低減できる。当該比が１より小さい場合、当該比が１より大きい場合と比較して、復元誤差をより低減できる。

（２）画素ピッチに対するフィルタピッチの比が１．５以下である場合、分離画像２２０の復元誤差の顕著な増加を抑制できる。

（３）画素ピッチに対するフィルタピッチの比が０．５５以上である場合、分離画像２２０の復元誤差の顕著な増加を抑制できる。

（４）画素ピッチに対するフィルタピッチの比が０．８５以上０．９５以下である場合、分離画像２２０の復元誤差が特に低く、かつ安定している。

[0158] 前述したように、画素ピッチに対するフィルタピッチの比は、０．９９８以下または１．００２以上であることが望ましく、０．９９以下または１．０１以上であることがより望ましい。それに加えて、上記の（１）から（４

）から、画素ピッチに対するフィルタピッチの比は１．５以下であることがより望ましく、０．５５以上であることがより望ましく、０．８５以上０．９５以下であることがさらにより望ましいことがわかった。

[0159] 前述した例において、Ｘ方向におけるフィルタピッチおよびＹ方向におけるフィルタピッチは互いに等しく、かつＸ方向における画素ピッチおよびＹ方向における画素ピッチは互いに等しい。Ｘ方向におけるフィルタピッチおよびＹ方向におけるフィルタピッチは互いに異なっていてもよいし、Ｘ方向における画素ピッチおよびＹ方向における画素ピッチは互いに異なっていてもよい。

[0160] 画素ピッチに対するフィルタピッチの比を、Ｘ方向およびＹ方向の少なくとも一方において上記の範囲内に設計することにより、分離画像２２０をより正確に復元することができ、光検出装置３００の工業製品としての性能を向上させることが可能になる。当該比をＸ方向およびＹ方向の両方において上記の範囲内に設計することにより、光検出装置３００の工業製品としての性能をさらに向上させることが可能になる。

[0161] 「Ｘ方向およびＹ方向の少なくとも一方において上記の範囲内に設計する」は、（ａ）Ｘ方向において上記の範囲内に設計する、（ｂ）Ｙ方向において上記の範囲内に設計する、または、（ｃ）Ｘ方向において上記の範囲内に設計する、かつ、Ｙ方向において上記の範囲内に設計する」と解釈されてもよい。

[0162] 以上のことから、本実施形態による光検出装置３００によれば、フィルタアレイ１０およびイメージセンサ５０の配置のずれが生じても、分離画像２２０の復元誤差が顕著に増加することなく分離画像２２０をより正確に復元することができる。その結果、生産性が高く、かつ撮像特性が良好な光検出装置３００を実現することが可能になる。

[0163] 本実施形態による光検出装置３００が満たす条件は、以下のように一般化することができる。フィルタアレイ１０に含まれる複数のフィルタ１００は、互いに交差する第１方向および第２方向に沿って行列状に配列されている。イメージセンサ５０に含まれる複数の画素５０ａは、互いに交差する第３

方向および第４方向に沿って行列状に配列されている。第１方向および第２方向は互いに直交していてもよいし、直交していなくてもよい。第３方向および第４方向は互いに直交していてもよいし、直交していなくてもよい。例えば、正方格子状の配列では２つの配列方向が互いに直交し、三角格子状の配列では２つの配列方向が互いに６０°で交差する。複数のフィルタ１００は正方格子状に配列されており、同様に、複数の画素５０ａは正方格子状に配列されていてもよい。正方格子の代わりに三角格子であってもよい。あるいは、複数のフィルタ１００は正方格子状に配列されており、複数の画素５０ａは三角格子状に配列されていてもよい。正方格子および三角格子の関係は逆であってもよい。

[0164] 第１方向および第３方向は互いに同じ方向であってもよいし、互いに異なる方向であってもよい。第２方向および第４方向は互いに同じ方向であってもよいし、互いに異なる方向であってもよい。第３方向と第１方向とがなす角度は、例えば０°以上４５°以下であり、第４方向と第２方向とがなす角度は、例えば０°以上４５°以下であり得る。角度の上限は４５°ではなく、その半分の２２．５°であってもよい。

[0165] 第１方向および第３方向が互いに異なる場合、第３方向は、平面視で、第１方向を時計回りまたは反時計回りに回転した方向であってもよい。第４方向および第２方向が互いに異なる場合、第４方向は、平面視で、第２方向を時計回りまたは反時計回りに回転した方向であってもよい。第３方向と第１方向とがなす角度が０°以上１０°以下である場合、両方向を実質的に同じ方向として扱ってもよい。同様に、第４方向と第２方向とがなす角度が０°以上１０°以下である場合、両方向を実質的に同じ方向として扱ってもよい。

[0166] 第１方向におけるフィルタピッチは均一であってもよいし、均一でなくてもよい。第１方向におけるフィルタピッチが均一でない場合、図１３から図１５に示す例において、第１方向におけるフィルタピッチは、第１方向におけるフィルタピッチの平均値である。第１方向におけるフィルタピッチの平

均値は、第１方向における全てのフィルタのピッチに基づいて算出されてもよい。あるいは、第１方向におけるフィルタピッチの平均値は、第１方向における一部のフィルタのピッチに基づいて算出されてもよい。

[0167] 第２方向におけるフィルタピッチは均一であってもよいし、均一でなくてもよい。第２方向におけるフィルタピッチが均一でない場合、図１３から図１５に示す例において、第２方向におけるフィルタピッチは、第２方向におけるフィルタピッチの平均値である。第２方向におけるフィルタピッチの平均値は、第２方向における全てのフィルタのピッチに基づいて算出されてもよい。あるいは、第２方向におけるフィルタピッチの平均値は、第２方向における一部のフィルタのピッチに基づいて算出されてもよい。

[0168] 第３方向における画素ピッチは均一であってもよいし、均一でなくてもよい。第３方向における画素ピッチが均一でない場合、図１３から図１５に示す例において、第３方向における画素ピッチは、第３方向における画素ピッチの平均値である。第３方向における画素ピッチの平均値は、第３方向における全ての画素のピッチに基づいて算出されてもよい。あるいは、第３方向における画素ピッチの平均値は、第３方向における一部の画素のピッチに基づいて算出されてもよい。

[0169] 第４方向における画素ピッチは均一であってもよいし、均一でなくてもよい。第４方向における画素ピッチが均一でない場合、図１３から図１５に示す例において、第４方向における画素ピッチは、第４方向における画素ピッチの平均値である。第４方向における画素ピッチの平均値は、第４方向における全ての画素のピッチに基づいて算出されてもよい。あるいは、第４方向における画素ピッチの平均値は、第４方向における一部の画素のピッチに基づいて算出されてもよい。

[0170] 図１１から図１５に示す例において、第１方向および第３方向は互いに同じＸ方向であり、第２方向および第４方向は互いの同じＹ方向である。第１方向および第２方向は互いに直交しており、第３方向および第４方向は互いに直交している。第１方向および第２方向の各々におけるフィルタピッチは

均一であり、第３方向および第４方向の各々における画素ピッチは均一である。

[0171] 第１方向におけるフィルタピッチを、第３方向における画素ピッチによって除算した商をＲｐ１とし、第２方向におけるフィルタピッチを、第４方向における画素ピッチによって除算した商をＲｐ２とする。Ｒｐ１およびＲｐ２の少なくとも一方は１とは異なる。Ｒｐ１およびＲｐ２の両方が１とは異なっていてもよい。Ｒｐ１およびＲｐ２は互いに等しくてもよいし、互いに異なっていてもよい。Ｒｐ１およびＲｐ２が互いに等しい場合、フィルタアレイ１０の設計が容易である。

[0172] 「Ｒｐ１およびＲｐ２の少なくとも一方は１とは異なる」は、「(ａ)Ｒｐ１≠１、(ｂ)Ｒｐ２≠１、または、(ｃ)Ｒｐ１≠１、かつ、Ｒｐ２≠１」と解釈されてもよい。

[0173] Ｒｐ１およびＲｐ２の少なくとも一方は、０．９９８以下または１．００２以上であることが望ましく、０．９９以下または１．０１以上であることがより望ましい。それに加えて、Ｒｐ１およびＲｐ２の少なくとも一方は、１．５以下であることがより望ましく、０．５５以上であることがより望ましく、０．８５以上０．９５以下であることがさらにより望ましい。

[0174] 「Ｒｐ１およびＲｐ２の少なくとも一方は、０．９９８以下または１．００２以上」は、「(ａ)Ｒｐ１≦０．９９８、または、１．００２≦Ｒｐ１、(ｂ)Ｒｐ２≦０．９９８、または、１．００２≦Ｒｐ２、または、（ｃ）「Ｒｐ１≦０．９９８、または、１．００２≦Ｒｐ１」、かつ、「Ｒｐ２≦０．９９８、または、１．００２≦Ｒｐ２」」と解釈されてもよい。

[0175] 「Ｒｐ１およびＲｐ２の少なくとも一方は、０．９９以下または１．０１以上」は、「(ａ)Ｒｐ１≦０．９９、または、１．０１≦Ｒｐ１、(ｂ)Ｒｐ２≦０．９９、または、１．０１≦Ｒｐ２、または、（ｃ）「Ｒｐ１≦０．９９、または、１．０１≦Ｒｐ１」、かつ、「Ｒｐ２≦０．９９、または、１．０１≦Ｒｐ２」」と解釈されてもよい。

[0176] 「Ｒｐ１およびＲｐ２の少なくとも一方は、１．５以下」は、「(ａ)Ｒｐ

１≦１．５、（ｂ）Ｒｐ２≦１．５、または、（ｃ）Ｒｐ１≦１．５、かつ、Ｒｐ２≦１．５」と解釈されてもよい。

[0177] 「Ｒｐ１およびＲｐ２の少なくとも一方は、０．５５以上」は、「（ａ）０．５５≦Ｒｐ１、（ｂ）０．５５≦Ｒｐ２、または、（ｃ）０．５５≦Ｒｐ１、かつ、０．５５≦Ｒｐ２」と解釈されてもよい。

[0178] 「Ｒｐ１およびＲｐ２の少なくとも一方は、０．８５以上０．９５以下」は、「（ａ）０．８５≦Ｒｐ１≦０．９５、（ｂ）０．８５≦Ｒｐ２≦０．９５、または、（ｃ）０．８５≦Ｒｐ１≦０．９５、かつ、０．８５≦Ｒｐ２≦０．９５」と解釈されてもよい。

[0179] フィルタアレイ１０の有効領域は、平面視で、イメージセンサ５０の有効領域の全体に重なる第１部分と、イメージセンサ５０の有効領域に重ならない第２部分とを有する。第１方向におけるフィルタアレイ１０の有効領域のサイズは、第３方向におけるイメージセンサ５０の有効領域のサイズよりも大きい。さらに、第２方向におけるフィルタアレイ１０の有効領域のサイズは、第４方向におけるイメージセンサ５０の有効領域のサイズよりも大きい。

[0180] 具体的には、第１方向におけるフィルタアレイ１０の有効領域のサイズは、例えば、第３方向におけるイメージセンサ５０の有効領域のサイズよりも１０μｍ以上だけ大きくてもよい。さらに、第２方向におけるフィルタアレイ１０の有効領域のサイズは、例えば、第４方向におけるイメージセンサ５０の有効領域のサイズよりも１０μｍ以上だけ大きくてもよい。

[0181] あるいは、第１方におけるフィルタアレイ１０の有効領域のサイズは、例えば、第３方向におけるイメージセンサ５０の有効領域のサイズよりも、第１方向におけるフィルタピッチの２倍以上だけ大きくてもよい。さらに、第２方におけるフィルタアレイ１０の有効領域のサイズは、例えば、第４方向におけるイメージセンサ５０の有効領域のサイズよりも、第２方向におけるフィルタピッチの２倍以上だけ大きくてもよい。

[0182] なお、圧縮センシングを利用する光検出装置３００において、Ｒｐ１およ

びＲｐ２の前述の範囲は、フィルタアレイ１０およびイメージセンサ５０の配置のずれについての製造上の公差に着目して初めて検討することができる。さらに、Ｒｐ１およびＲｐ２の前述の範囲は、図１２から図１５に示す計算によって初めて見出すことができる。特許文献６から９は、波長フィルタのサイズおよび画素のサイズが互いに異なる構成を開示しているものの、当該構成では、圧縮センシングとは異なり、イメージセンサの各画素から１色の信号を取り出してＲＢＧ画像が生成される。当該構成において、フィルタアレイおよびイメージセンサの配置のずれは考慮されていない。

[0183] ＜フィルタアレイおよびイメージセンサの配置の固定＞

次に、図１６Ａから図１６Ｄを参照して、フィルタアレイ１０およびイメージセンサ５０を互いに接着固定する構造の例を説明する。図１６Ａは、光検出装置３００のさらに他の例を模式的に示す断面図である。図１６Ｂは、図１６Ａに示す光検出装置３００からフィルタアレイ１０および基板２０を除いた状態を示す平面図である。図１６Ａに示す例において、フィルタアレイ１０は、光出射面１０ｓ２の周囲に位置する周縁領域１０ｐを有し、イメージセンサ５０は、光検出面５０ｓの周囲に位置する周縁領域５０ｐを有する。フィルタアレイ１０の周縁領域１０ｐおよびイメージセンサ５０の周縁領域５０ｐは平坦である。図１６Ａに示す例において、光検出装置３００は、フィルタアレイ１０の周縁領域１０ｐと、イメージセンサ５０の周縁領域５０ｐとを貼り合わせる両面テープ３０を備える。両面テープ３０は、図１６Ａに示すように、光検出面５０ｓに対して垂直な方向に沿って延びる形状を有し、かつ、図１６Ｂに示すように、光出射面１０ｓ２と光検出面５０ｓとの間の空間を囲む形状を有する。両面テープ３０は、各フィルタ１００の光出射面と光検出面５０ｓとの距離を規定する。両面テープ３０の高さは、光出射面１０ｓ２と光検出面５０ｓとの距離が前述した最小距離を満足するように設計され得る。両面テープ３０によってフィルタアレイ１０およびイメージセンサ５０の配置を固定することにより、低コストで簡素な工程によって光検出装置３００を製造することができる。

[0184] 図１６Ｃは、図１６Ｂに示す両面テープ３０の配置の他の例を模式的に示す平面図である。図１６Ｃに示す例では、フィルタアレイ１０の周縁領域１０ｐの四隅と、イメージセンサ５０の周縁領域５０ｐの四隅とが、両面テープ３０で互いに貼り合わせられている。本実施形態では、フィルタアレイ１０の周縁領域１０ｐの少なくとも一部と、イメージセンサ５０の周縁領域５０ｐの少なくとも一部とが両面テープ３０で互いに貼り合わせられる。その結果、フィルタアレイ１０およびイメージセンサ５０の配置を固定することができる。

[0185] 図１６Ｄは、図１６Ｂに示す両面テープ３０の代わりに複数のスペーサ３２および複数の接着剤３５を配置した例を模式的に示す平面図である。光検出装置３００は、フィルタアレイ１０の周縁領域１０ｐと、イメージセンサ５０の周縁領域５０ｐとによって挟まれた複数のスペーサ３２をさらに備える。フィルタアレイ１０の周縁領域１０ｐの少なくとも一部と、イメージセンサ５０の周縁領域５０ｐの少なくとも一部とは、複数の接着剤３５によって互いに接着固定されている。周縁領域５０ｐに配置される接着剤３５は透明でなくてもよい。周縁領域５０ｐは光検出に寄与しないからである。光入射面１０ｓ１の法線方向から見たとき、接着剤３５およびスペーサ３２は、互いに重ならない様に構成してもよい。そのような構成では、フィルタアレイ１０の光出射面１０ｓ２と、イメージセンサ５０の光検出面５０ｓとの距離を正確に規定することができ、フィルタアレイ１０およびイメージセンサ５０をより平行に近い状態で貼り合わせることが可能になる。光検出面５０ｓにスペーサ３２および透明接着剤３４が配置されていないので、スペーサ３２および透明接着剤３４による光の減衰はない。

[0186] 図１６Ｄに示す例では、複数のスペーサ３２および複数の接着剤３５が、イメージセンサ５０の周縁領域５０ｐに交互に配置されている。複数のスペーサ３２および複数の接着剤３５は交互に配置される必要はなく、２つ以上のスペーサ３２が連続して配置されていてもよいし、２つ以上の接着剤３５が連続して配置されていてもよい。あるいは、イメージセンサ５０の周縁領

域５０ｐのうち、四隅に４つのスペーサ３２がそれぞれ配置されており、それ以外の部分に、複数の接着剤３５が配置されていてもよい。図１６Ｄに示す例において、スペーサ３２は、矩形の断面形状を有しているが、円形の断面形状を有していてもよい。接着剤３５は、円形を有しているが、楕円形であってもよい。光出射面１０ｓ２と光検出面５０ｓとの距離を正確に規定する必要がない場合、光入射面１０ｓ１の法線方向から見たとき、接着剤３５およびスペーサ３２は、互いに重なっていてもよい。

[0187] なお、上記の光検出装置３００の複数の例の一部または全部を、目的または用途に応じて任意に組み合わせてもよい。例えば、図８に示す反射防止膜２２を、図１６Ａに示す構成に適用してもよい。

[0188] （その他１）

本開示において、「Ａ及びＢの少なくとも一方」は「（Ａ）、（Ｂ）、又は、（Ａ及びＢ）」を意味してもよい。

[0189] （その他２）

上記した実施形態の変形例は、下記に示すようなものであってもよい。

[0190] 複数のフィルタを含むフィルタアレイと、

複数の画素を有し、前記フィルタアレイからの光を検出するイメージセンサと、

を備え、

前記複数のフィルタは、第１フィルタと第２フィルタを含み、

前記第１フィルタの透過スペクトルは、複数の第１極大値を有し、

前記第２フィルタの透過スペクトルは、複数の第２極大値を有し、

前記複数の第１極大値に対応する複数の波長値は前記複数の第２極大値に対応する複数の波長値は異なり、

前記複数のフィルタは、互いに交差する第１方向および第２方向に沿って行列状に配列され、

前記複数の画素は、互いに交差する第３方向および第４方向に沿って行列状に配列され、

前記第３方向と前記第１方向とがなす角度は０°以上４５°以下であり、

前記第４方向と前記第２方向とがなす角度は０°以上４５°以下であり、

（ａ）Ｒｐ１≠１、（ｂ）Ｒｐ２≠１、または、（ｃ）前記Ｒｐ１≠１、かつ、前記Ｒｐ２≠１であり、

前記Ｒｐ１＝（前記フィルタアレイの前記第１方向の第１フィルタ距離）／（前記イメージセンサの前記第３方向の第１画素距離）、

前記Ｒｐ２＝（前記フィルタアレイの前記第２方向の第２フィルタ距離）／（前記イメージセンサの前記第４方向の第２画素距離）、

前記第１方向の前記第１フィルタ距離は、前記複数のフィルタに含まれ、かつ、前記第１方向に配列された、２つの第１フィルタの中心間距離に基づいて決定され、前記２つの第１フィルタは隣接し、

前記第２方向の前記第２フィルタ距離は、前記複数のフィルタに含まれ、かつ、前記第２方向に配列された、２つの第２フィルタの中心間距離に基づいて決定され、前記２つの第２フィルタは隣接し、

前記第３方向の前記第１画素距離は、前記複数の画素に含まれ、かつ、前記第３方向に配列された、２つの第１画素の中心間距離に基づいて決定され、前記２つの第１画素は隣接し、

前記第４方向の前記第２画素距離は、前記複数の画素に含まれ、かつ、前記第４方向に配列された、２つの第２画素の中心間距離に基づいて決定され、前記２つの第２画素は隣接する、

光検出装置。

[0191] 上記した実施形態におけるＲｐ１、Ｒｐ２は下記に示すようなものであってもよい。

[0192] Ｒｐ１＝（フィルタアレイ１０の第１方向における第１フィルタ距離）／（イメージセンサ５０の第３方向における第１画素距離）

Ｒｐ２＝（フィルタアレイ１０の第２方向における第２フィルタ距離）／（イメージセンサ５０の第４方向における第２画素距離）

次に、フィルタアレイ１０の第１方向の第１フィルタ距離の例、フィルタ

アレイ１０の第２方向の第２フィルタ距離の例を説明する。

[0193] 図１７は、フィルタアレイ１０の第１方向の第１フィルタ距離の例、フィルタアレイ１０の第２方向の第２フィルタ距離の例を説明するための図である。

[0194] フィルタアレイ１０は複数のフィルタであるフィルタｆ（１，１）、～、フィルタｆ（ｎ，ｍ）を含む。複数のフィルタは互いに交差する第１方向（＝Ｘ方向）および第２方向（＝Ｙ方向）に沿って行列状に配置されている。

[0195] 図１７において、フィルタｆ（１，１）とフィルタｆ（１，２）のフィルタ距離はｆｐ[ｆ（１，１），ｆ（１，２）]で示されている。ｆｐ[ｆ（１，１），ｆ（１，２）]はフィルタｆ（１，１）の中心とフィルタｆ（１，２）の中心のＸＹ平面上の距離である。

[0196] 図１７において、フィルタｆ（１，１）とフィルタｆ（２，１）のフィルタ距離はｆｐ[ｆ（１，１），ｆ（２，１）]で示されている。ｆｐ[ｆ（１，１），ｆ（２，１）]はフィルタｆ（１，１）の中心とフィルタｆ（２，１）の中心のＸＹ平面上の距離である。

[0197] 複数のフィルタは互いに交差する第１方向（＝Ｘ方向）および第２方向（＝Ｙ方向）に沿って行列状に配置されているので、

ｆｐ[ｆ（１，１），ｆ（１，２）]＝ｆｐ[ｆ（２，１），ｆ（２，２）]＝・・・＝ｆｐ[ｆ（ｎ，１），ｆ（ｎ，２）]≡ｆｐ（第２方向,１）、・・・、

ｆｐ[ｆ（１，ｍ－１），ｆ（１，ｍ）]＝ｆｐ[ｆ（２，ｍ－１），ｆ（２，ｍ）]＝・・・＝ｆｐ[ｆ（ｎ，ｍ－１），ｆ（ｎ，ｍ）]≡ｆｐ（第２方向,ｍ－１）、

ｆｐ[ｆ（１，１），ｆ（２，１）]＝ｆｐ[ｆ（１，２），ｆ（２，２）]＝・・・＝ｆｐ[ｆ（１，ｍ），ｆ（２，ｍ）]≡ｆｐ（第１方向,１）、・・・、

ｆｐ[ｆ（ｎ－１，１），ｆ（ｎ，１）]＝ｆｐ[ｆ（ｎ－１，２），ｆ（ｎ，２）]＝・・・＝ｆｐ[ｆ（ｎ－１，ｍ），ｆ（ｎ，ｍ）]≡ｆｐ（第１方向,ｎ

－１）であってもよい。

[0198] フィルタアレイ１０の第１方向の第１フィルタ距離は、ｆｐ（第１方向, １）、・・・、ｆｐ（第１方向, ｎ－１）に含まれる少なくとも１つに基づいて決定されてもよい。フィルタアレイ１０の第１方向の第１フィルタ距離は、（ｆｐ（第１方向, １）＋・・・＋ｆｐ（第１方向, ｎ－１））／（ｎ－１）であってもよい。ｆｐ（第１方向, １）＝・・・＝ｆｐ（第１方向, ｎ－１）であってもよい。

[0199] フィルタアレイ１０の第２方向の第２フィルタ距離は、ｆｐ（第２方向, １）、・・・、ｆｐ（第２方向, ｍ－１）に含まれる少なくとも１つに基づいて決定されてもよい。フィルタアレイ１０の第２方向の第２フィルタ距離は、（ｆｐ（第２方向, １）＋・・・＋ｆｐ（第２方向, ｍ－１））／（ｍ－１）であってもよい。ｆｐ（第２方向, １）＝・・・＝ｆｐ（第２方向, ｍ－１）であってもよい。

[0200] 次に、イメージセンサ５０の第３方向の第１画素距離の例、イメージセンサ５０の第４方向の第２画素距離の例を説明する。

[0201] 図１８は、イメージセンサ５０の第３方向の第１画素距離の例、イメージセンサ５０の第４方向の第２画素距離の例を説明するための図である。

[0202] イメージセンサ５０は複数の画素である画素ｐ（１，１）、～、画素ｐ（ｎ，ｍ）を含む。複数の画素は互いに交差する第３方向（＝Ｘ’方向）および第４方向（＝Ｙ’方向）に沿って行列状に配置されている。

[0203] 図１８において、画素ｐ（１，１）と画素ｐ（１，２）の画素距離はｐｐ[ｐ（１，１），ｐ（１，２）]で示されている。ｐｐ[ｐ（１，１），ｐ（１，２）]は画素ｐ（１，１）の中心と画素ｐ（１，２）の中心のＸ’Ｙ’平面上の距離である。

[0204] 図１８において、画素ｐ（１，１）と画素ｐ（２，１）の画素距離はｐｐ[ｐ（１，１），ｐ（２，１）]で示されている。ｐｐ[ｐ（１，１），ｐ（２，１）]は画素ｐ（１，１）の中心と画素ｐｐ（２，１）の中心のＸ’Ｙ’平面上の距離である。

[0205] 複数の画素は互いに交差する第３方向（＝Ｘ’方向）および第４方向（＝Ｙ’方向）に沿って行列状に配置されているので、

ｐｐ[ｐ（１，１），ｐ（１，２）]＝ｐｐ[ｆ（２，１），ｆ（２，２）]＝・・・＝ｐｐ[ｐ（ｎ，１），ｐ（ｎ，２）]≡ｐｐ（第４方向,１）、・・・、

ｐｐ[ｐ（１，ｍ－１），ｐ（１，ｍ）]＝ｐｐ[ｆ（２，ｍ－１），ｐ（２，ｍ）]＝・・・＝ｐｐ[ｐ（ｎ，ｍ－１），ｐ（ｎ，ｍ）]≡ｐｐ（第４方向,ｍ－１）、

ｐｐ[ｐ（１，１），ｐ（２，１）]＝ｐｐ[ｐ（１，２），ｐ（２，２）]＝・・・＝ｐｐｐ[ｐ（１，ｍ），ｐ（２，ｍ）]≡ｐｐ（第３方向,１）、・・・、

ｐｐ[ｐ（ｎ－１，１），ｐ（ｎ，１）]＝ｐｐ[ｐ（ｎ－１，２），ｐ（ｎ，２）]＝・・・＝ｐｐ[ｐ（ｎ－１，ｍ），ｐ（ｎ，ｍ）]≡ｐｐ（第３方向,ｎ－１）であってもよい。

[0206] イメージセンサ５０の第３方向の第１画素距離は、ｐｐ（第３方向,１）、・・・、ｐｐ（第３方向,ｎ－１）に含まれる少なくとも１つに基づいて決定されてもよい。イメージセンサ５０の第３方向の第１画素距離は、（ｐｐ（第３方向,１）＋・・・＋ｐｐ（第３方向,ｎ－１））／（ｎ－１）であってもよい。ｐｐ（第３方向,１）＝・・・＝ｐｐ（第３方向,ｎ－１）であってもよい。

[0207] イメージセンサ５０の第４方向の第２画素距離は、ｐｐ（第４方向,１）、・・・、ｐｐ（第４方向,ｍ－１）に含まれる少なくとも１つに基づいて決定されてもよい。イメージセンサ５０の第４方向の第２画素距離は、（ｐｐ（第４方向,１）＋・・・＋ｐｐ（第４方向,ｍ－１））／（ｍ－１）であってもよい。ｐｐ（第４方向,１）＝・・・＝ｐｐ（第４方向,ｍ－１）であってもよい。

[0208] 上記説明では、フィルタの数はｎ×ｍ個、画素の数はｎ×ｍ個として説明したが、フィルタの数と行列の数の要素数は、異なっていてもよい、または

、同じであってもよい。

産業上の利用可能性

[0209] 本開示における光検出装置、およびフィルタアレイは、例えば、多波長の２次元画像を取得するカメラおよび測定機器に有用である。本開示における光検出装置、およびフィルタアレイは、生体・医療・美容向けセンシング、食品の異物・残留農薬検査システム、リモートセンシングシステムおよび車載センシングシステム等にも応用できる。

符号の説明

[0210]

１０	フィルタアレイ
１０ｓ１	光入射面
１０ｓ２	光出射面
１０ｐ	フィルタアレイの周縁領域
１２	干渉層
１４ａ	第１反射層
１４ｂ	第２反射層
２０	基板
２２	反射防止膜
３０	両面テープ
３２	スペーサ
３５	接着剤
４０	光学系
４０ａ	マイクロレンズ
５０	イメージセンサ
５０ｓ	光検出面
５０ａ	光検出素子
５０ｐ	イメージセンサの周縁領域
６０	対象物
１００	フィルタ

１２０　　画像

２００　　信号処理回路

２２０　　分離画像

３００、３１０　　光検出装置

４００　　光検出システム

請求の範囲

[請求項1] 複数のフィルタを含むフィルタアレイと、

複数の画素を有し、前記フィルタアレイを介した光を検出するイメージセンサと、

を備え、

前記複数のフィルタは、第１フィルタと第２フィルタを含み、

前記第１フィルタの第１透過スペクトルは、前記第２フィルタの第２透過スペクトルと異なり、

前記第１透過スペクトルは、複数の極大値を有し、

前記第２透過スペクトルは、複数の極大値を有し、

前記複数のフィルタは、互いに交差する第１方向および第２方向に沿って行列状に配列されており、

前記複数の画素は、互いに交差する第３方向および第４方向に沿って行列状に配列されており、

前記第１方向における前記複数のフィルタのピッチを、前記第３方向における前記複数の画素のピッチによって除算した商をＲｐ１とし、

前記第２方向における前記複数のフィルタのピッチを、前記第４方向における前記複数の画素のピッチによって除算した商をＲｐ２とすると、

前記Ｒｐ１および前記Ｒｐ２の少なくとも一方は１とは異なる、

光検出装置。

[請求項2] 前記Ｒｐ１および前記Ｒｐ２の両方は１とは異なる、

請求項１に記載の光検出装置。

[請求項3] 前記Ｒｐ１および前記Ｒｐ２は互いに等しい、

請求項２に記載の光検出装置。

[請求項4] 前記フィルタアレイの有効領域は、平面視で、前記イメージセンサの有効領域の全体に重なる第１部分と、前記イメージセンサの有効領

域に重ならない第２部分とを有する、

請求項１から３のいずれかに記載の光検出装置。

[請求項5] 前記第１方向における前記フィルタアレイの有効領域のサイズは、前記第３方向における前記イメージセンサの有効領域のサイズよりも１０μｍ以上だけ大きく、

前記第２方向における前記フィルタアレイの前記有効領域のサイズは、前記第４方向における前記イメージセンサの前記有効領域のサイズよりも１０μｍ以上だけ大きい、

請求項４に記載の光検出装置。

[請求項6] 前記第１方向における前記フィルタアレイの有効領域のサイズは、前記第３方向における前記イメージセンサの有効領域のサイズよりも、前記第１方向における前記複数のフィルタのピッチの２倍以上だけ大きく、

前記第２方向における前記フィルタアレイの前記有効領域のサイズは、前記第４方向における前記イメージセンサの前記有効領域のサイズよりも、前記第２方向における前記複数のフィルタのピッチの２倍以上だけ大きい、

請求項４または５に記載の光検出装置。

[請求項7] 前記Ｒｐ１および前記Ｒｐ２の少なくとも一方は０．９９８以下、または１．００２以上である、

請求項１から６のいずれかに記載の光検出装置。

[請求項8] 前記Ｒｐ１および前記Ｒｐ２の少なくとも一方は０．９９以下、または１．０１以上である、

請求項７記載の光検出装置。

[請求項9] 前記Ｒｐ１および前記Ｒｐ２の少なくとも一方は１．５以下である、

請求項７または８に記載の光検出装置。

[請求項10] 前記Ｒｐ１および前記Ｒｐ２の少なくとも一方は１よりも小さい、

請求項９に記載の光検出装置。

[請求項11] 前記Ｒｐ１および前記Ｒｐ２の少なくとも一方は０．５５以上である、

請求項７から１０のいずれかに記載の光検出装置。

[請求項12] 前記フィルタアレイは、光入射面と、前記光入射面の反対側に位置する凹凸面とを有し、

前記凹凸面は、前記イメージセンサの光検出面が対向している、

請求項１から１１のいずれかに記載の光検出装置。

[請求項13] 撮像の対象波長域がλ１以上λ２以下であるとき、

前記凹凸面と前記光検出面との最小距離は、λ２／４よりも大きい、

請求項１２に記載の光検出装置。

[請求項14] 前記フィルタアレイの周縁領域と、前記イメージセンサの周縁領域とによって挟まれた複数のスペーサをさらに備え、

前記フィルタアレイの前記周縁領域の少なくとも一部と、前記イメージセンサの前記周縁領域の少なくとも一部とは、複数の接着剤によって互いに接着固定されている、

請求項１２または１３に記載の光検出装置。

[請求項15] 請求項１から１４のいずれかに記載の光検出装置と、

処理回路と、

を備え、

前記処理回路は、前記イメージセンサによって取得された画像から、４つ以上の波長域の各々に対応する分光画像を復元する、

光検出システム。

[請求項16] 複数の画素を有するイメージセンサに用いられるフィルタアレイであって、

複数のフィルタを備え、

前記複数のフィルタは、第１フィルタと第２フィルタを含み、

前記第１フィルタの第１透過スペクトルは、前記第２フィルタの第２透過スペクトルと異なり、

前記第１透過スペクトルは、複数の極大値を有し、

前記第２透過スペクトルは、複数の極大値を有し、

前記複数のフィルタは、互いに交差する第１方向および第２方向に沿って行列状に配列されており、

前記複数の画素は、互いに交差する第３方向および第４方向に沿って行列状に配列されており、

前記第１方向における前記複数のフィルタのピッチを、前記第３方向における前記複数の画素のピッチによって除算した商をＲｐ１とし、

前記第２方向における前記複数のフィルタのピッチを、前記第４方向における前記複数の画素のピッチによって除算した商をＲｐ２とすると、

前記Ｒｐ１および前記Ｒｐ２の少なくとも一方は１とは異なる、

フィルタアレイ。

[請求項17] 複数のフィルタを含むフィルタアレイと、

複数の画素を有し、前記フィルタアレイを透過した光を検出するイメージセンサと、

を備え、

前記複数のフィルタは、複数の第１フィルタと複数の第２フィルタを含み、

前記複数の第１フィルタのそれぞれは、第１透過スペクトルを示し、

前記複数の第２フィルタのそれぞれは、第２透過スペクトルを示し、

前記第１透過スペクトルは、前記第２透過スペクトルと異なり、

前記複数の第１フィルタは、前記フィルタアレイにおいて、不規則

に配置され、

前記複数の第２フィルタは、前記フィルタアレイにおいて、不規則に配置され、

前記複数のフィルタは、互いに交差する第１方向および第２方向に沿って行列状に配列されており、

前記複数の画素は、互いに交差する第３方向および第４方向に沿って行列状に配列されており、

前記第１方向における前記複数のフィルタのピッチを、前記第３方向における前記複数の画素のピッチによって除算した商をＲｐ１とし、

前記第２方向における前記複数のフィルタのピッチを、前記第４方向における前記複数の画素のピッチによって除算した商をＲｐ２とすると、

前記Ｒｐ１および前記Ｒｐ２の少なくとも一方は１とは異なる、

光検出装置。

[請求項18] 前記第３方向と前記第１方向とがなす角度は０°以上４５°以下であり、前記第４方向と前記第２方向とがなす角度は０°以上４５°以下である、

請求項１に記載の光検出装置。

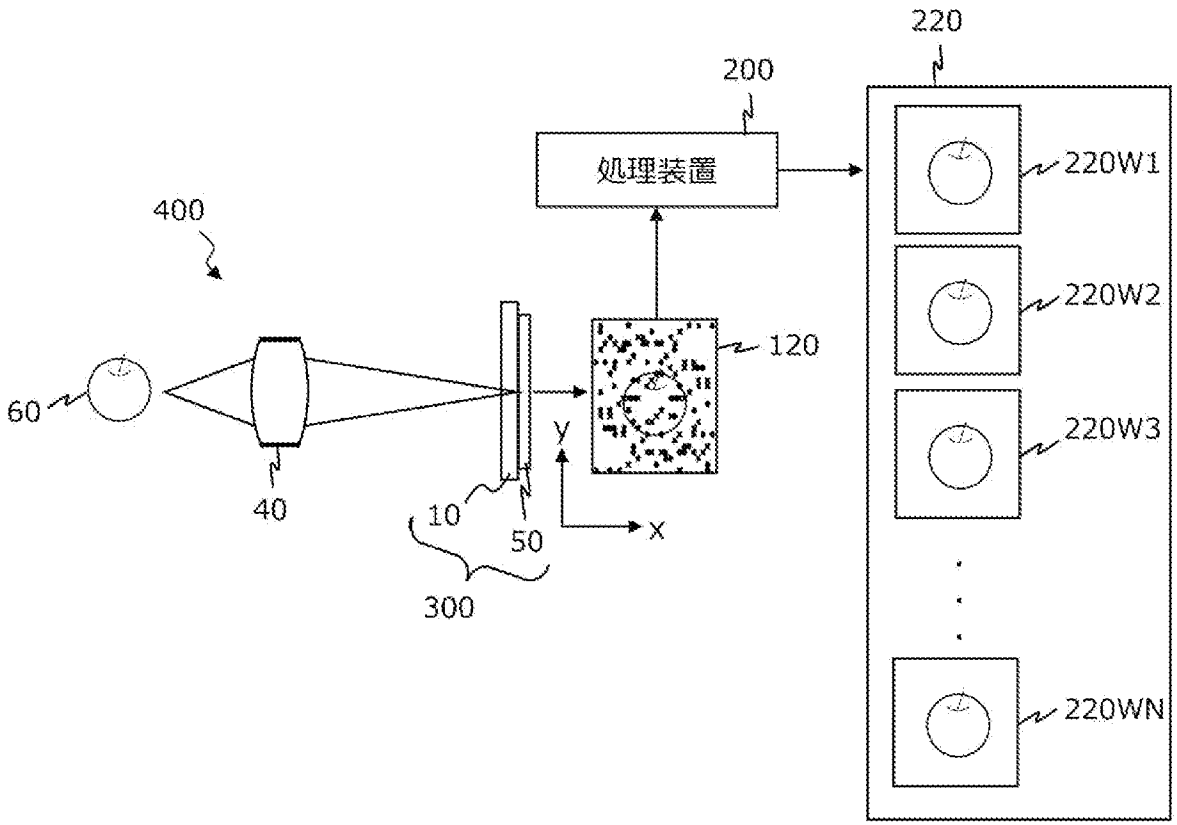
[請求項19] 前記第３方向と前記第１方向とがなす角度は０°以上４５°以下であり、前記第４方向と前記第２方向とがなす角度は０°以上４５°以下であり、

請求項１６に記載のフィルタアレイ。

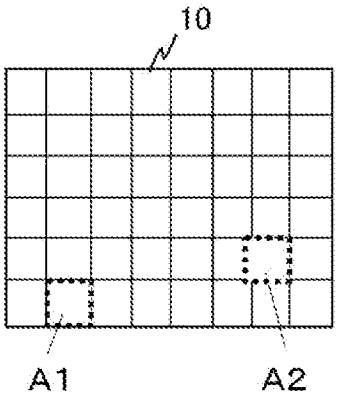
[請求項20] 前記第３方向と前記第１方向とがなす角度は０°以上４５°以下であり、前記第４方向と前記第２方向とがなす角度は０°以上４５°以下である、

請求項１７に記載の光検出装置。

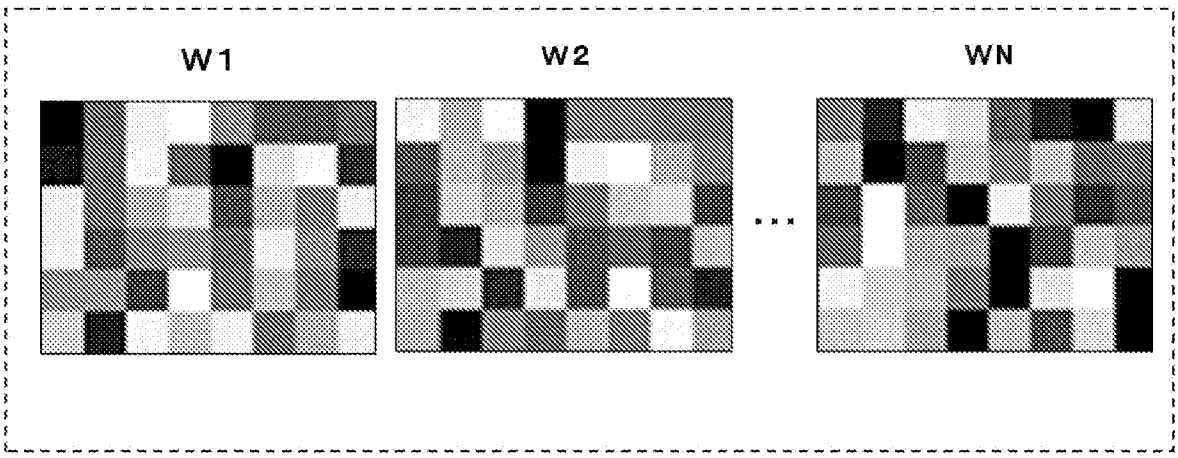
[図1]


220
200
処理装置
220W1
220W2
220W3
220WN
400
120
60
40
10
50
300
y
x

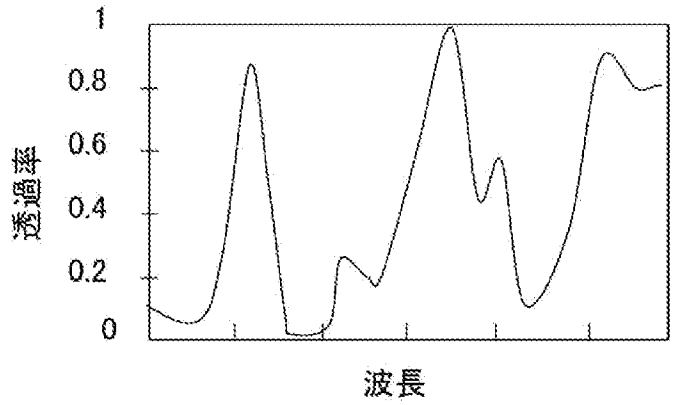
[図2A]


10
A1
A2

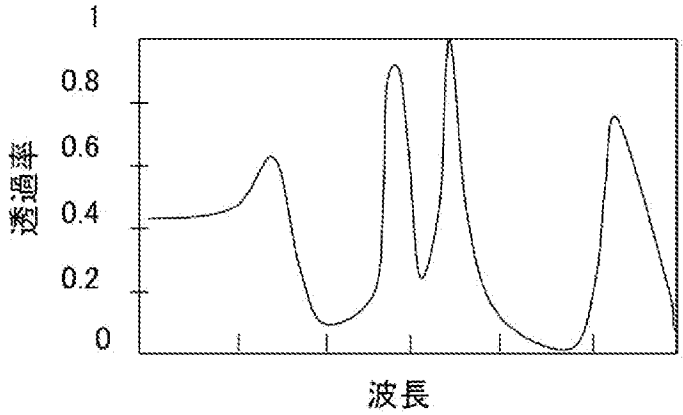
[図2B]


W1
W2
WN

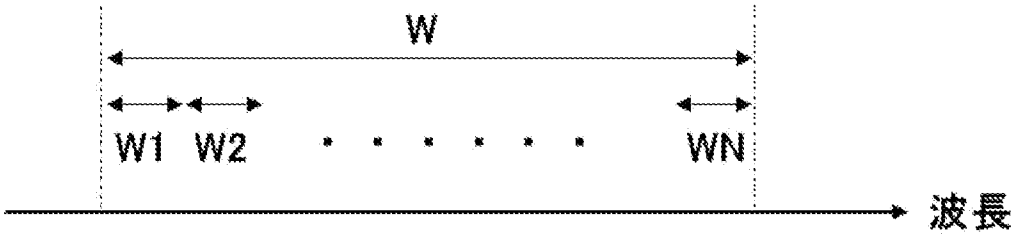
[図2C]



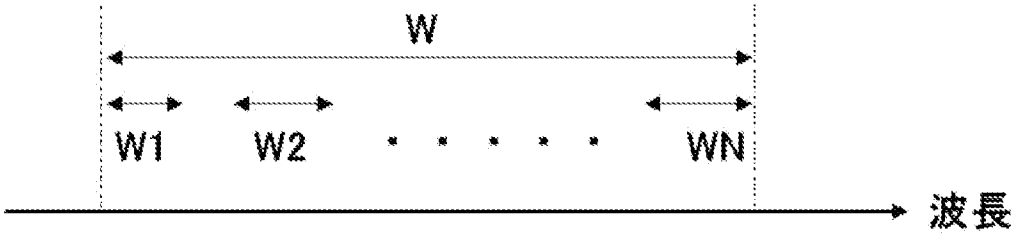
[図2D]



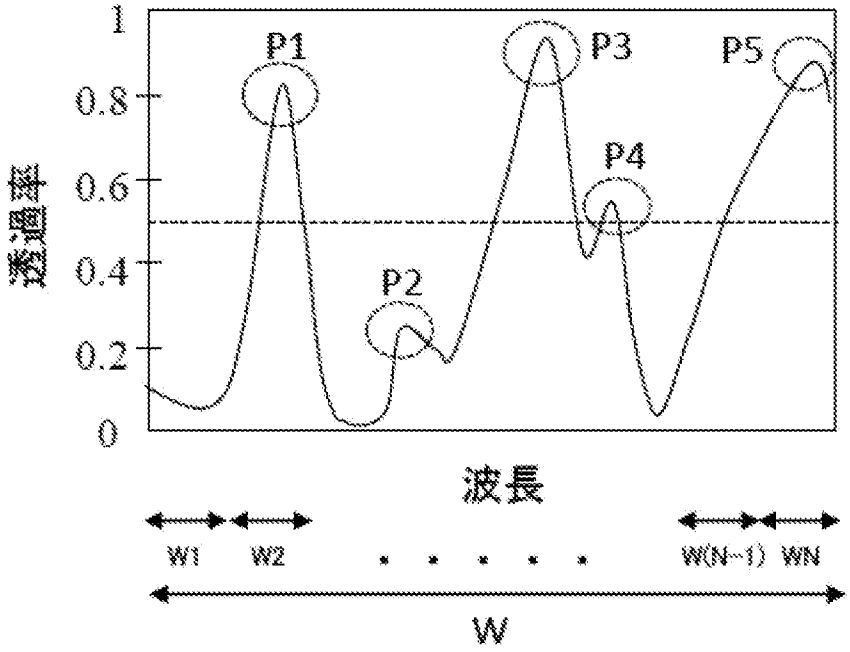
[図3A]



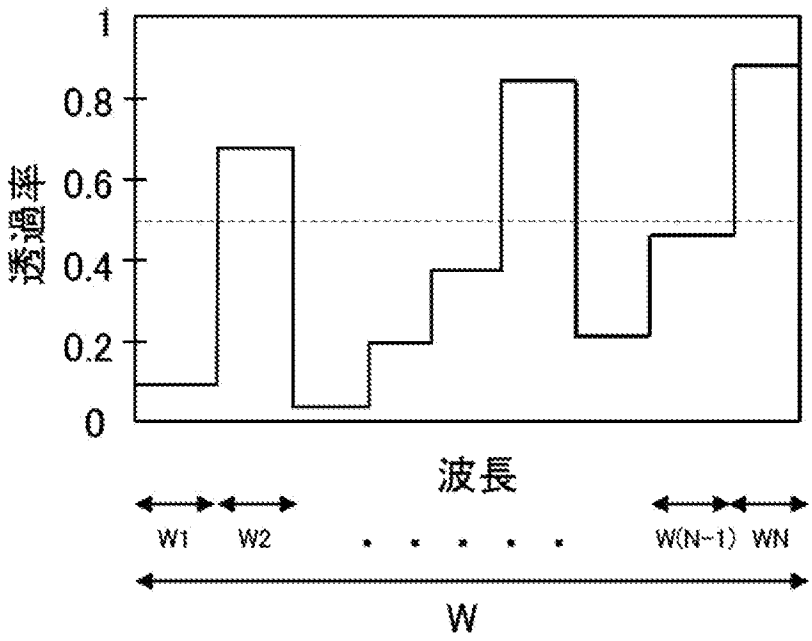
[図3B]



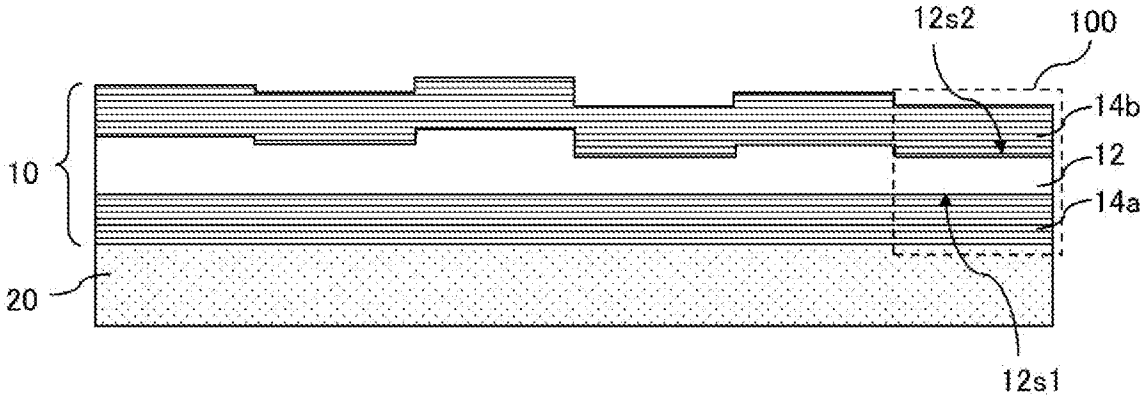
[図4A]


1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
透過率
P1
P2
P3
P4
P5
波長
W1
W2
W(N-1)
WN
W

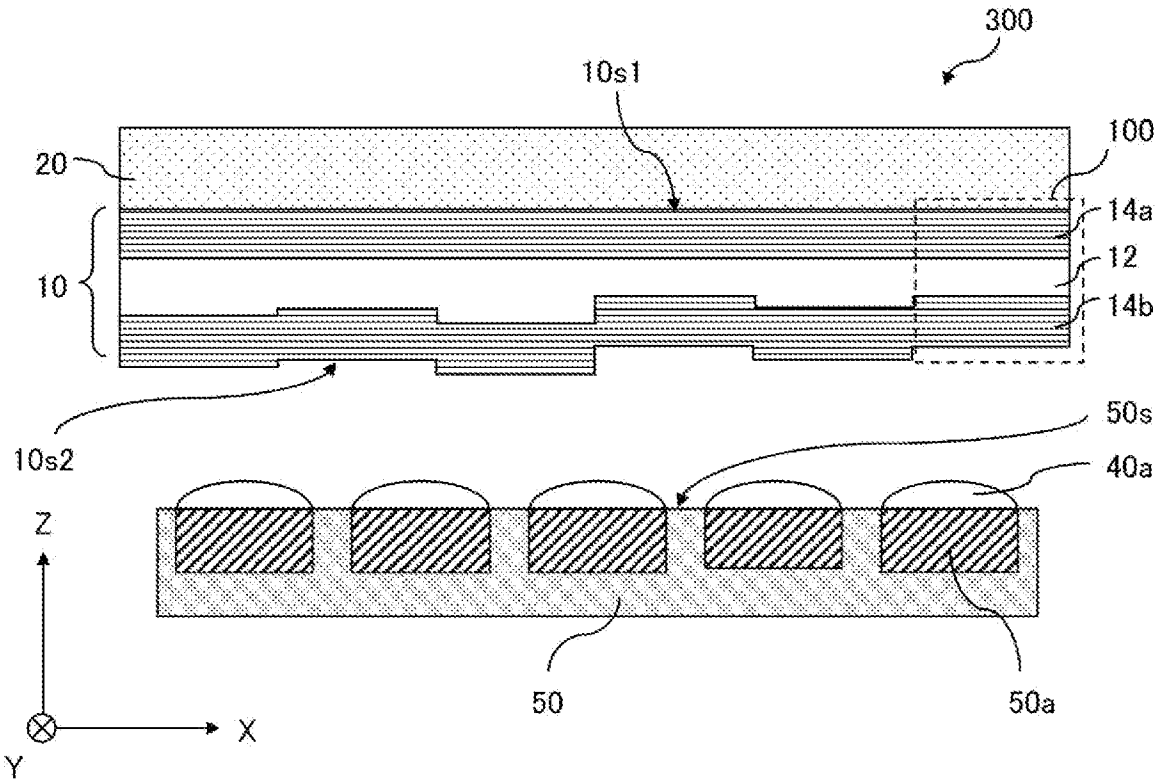
[図4B]


1
0.8
0.6
0.4
0.2
0
透過率
波長
W1
W2
W(N-1)
WN
W

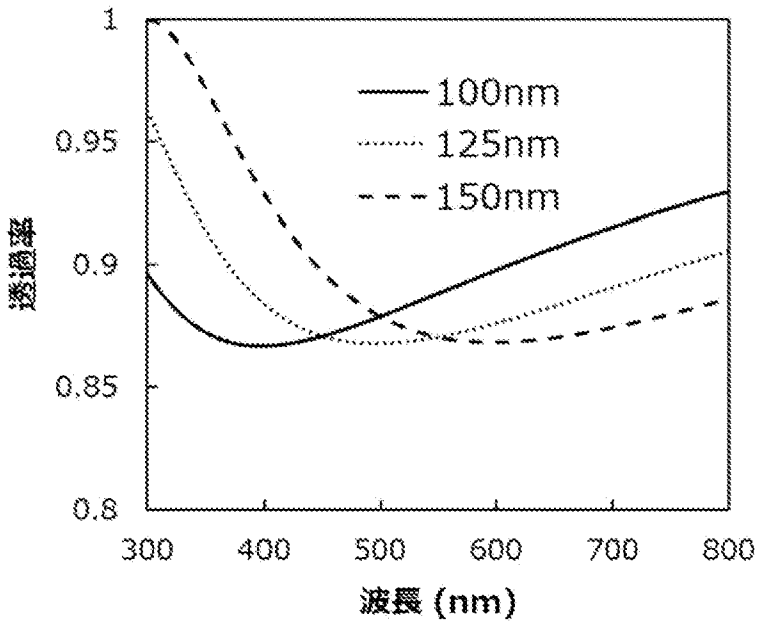
[図5]


12s2
100
14b
12
14a
10
20
12s1

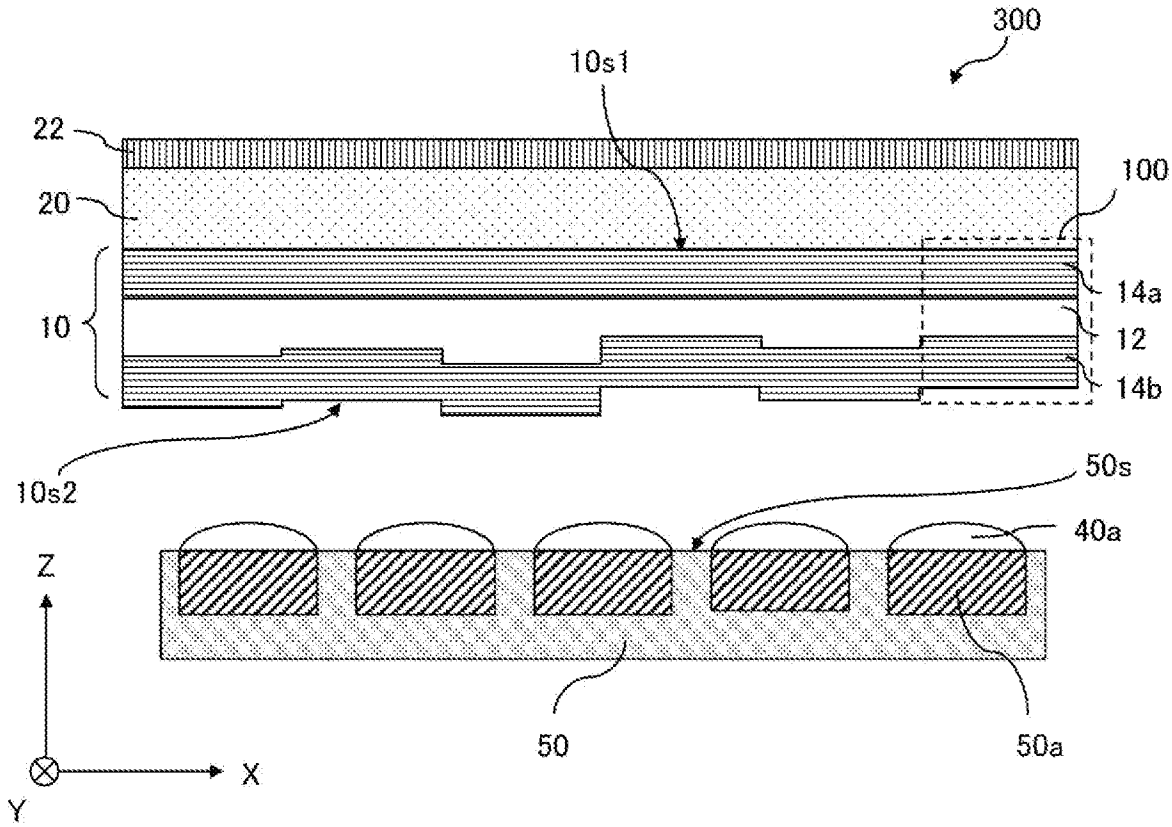
[図6]


300
10s1
100
20
14a
12
10
14b
10s2
50s
40a
Z
X
Y
50
50a

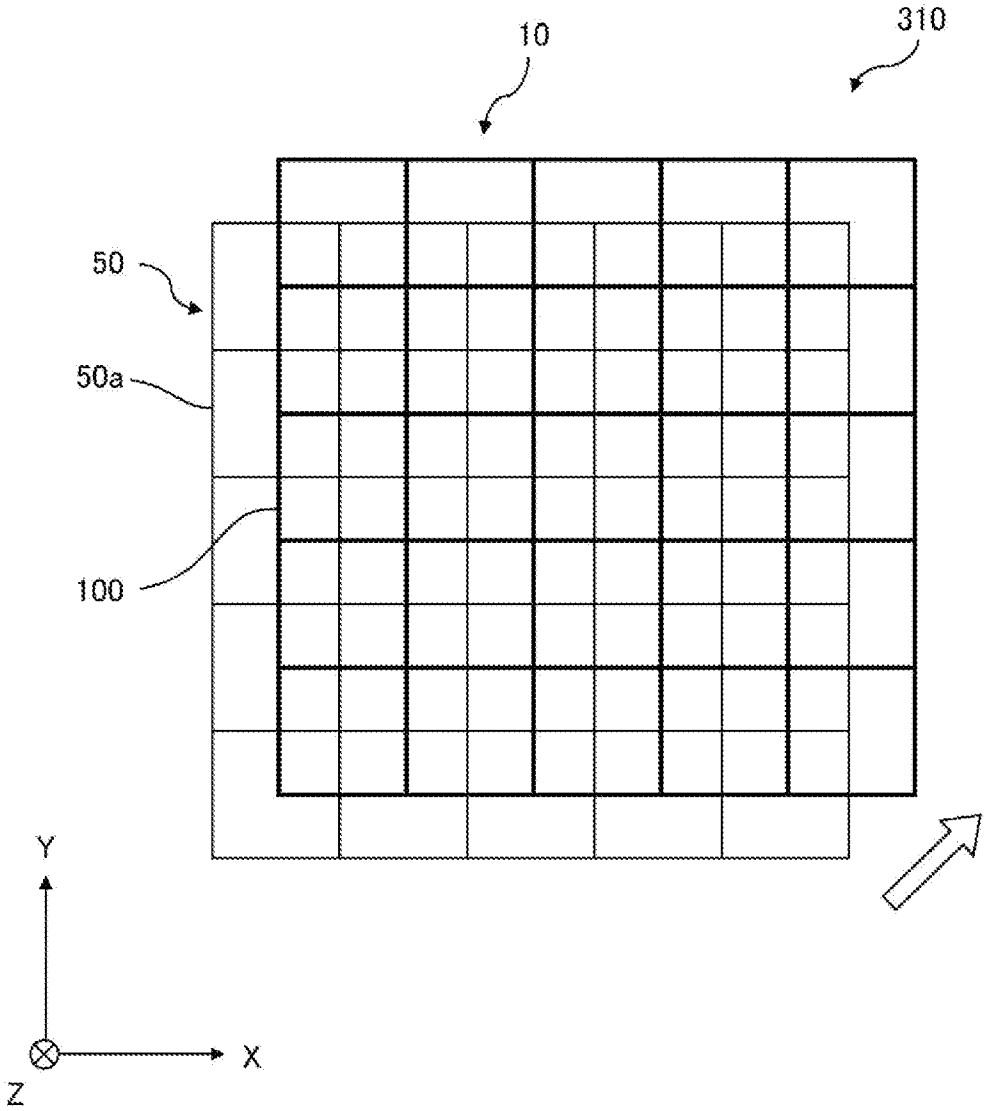
[図7]


1
0.95
0.9
0.85
0.8
透過率
100nm
125nm
150nm
300
400
500
600
700
800
波長 (nm)

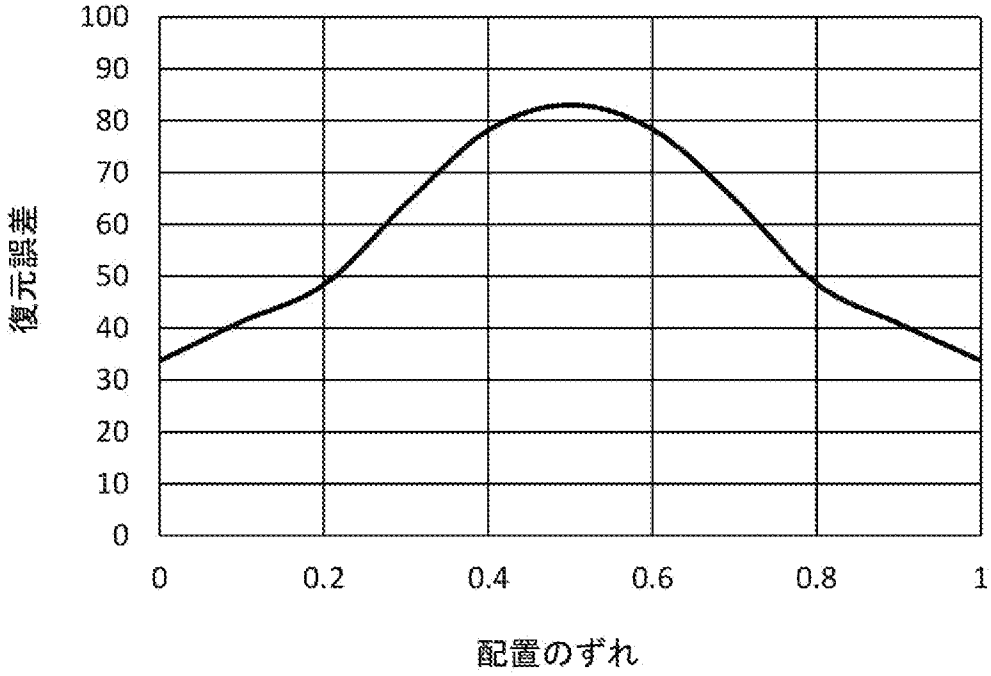
[図8]



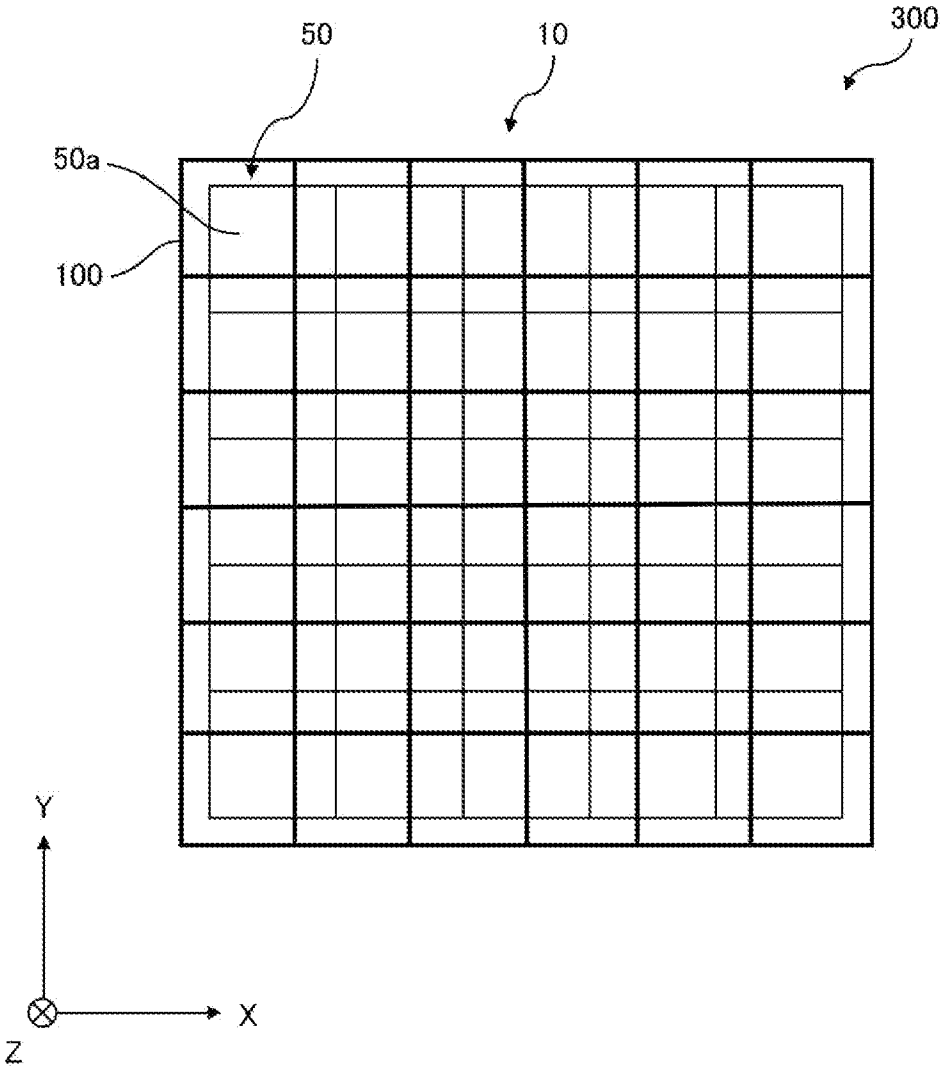
[図9]



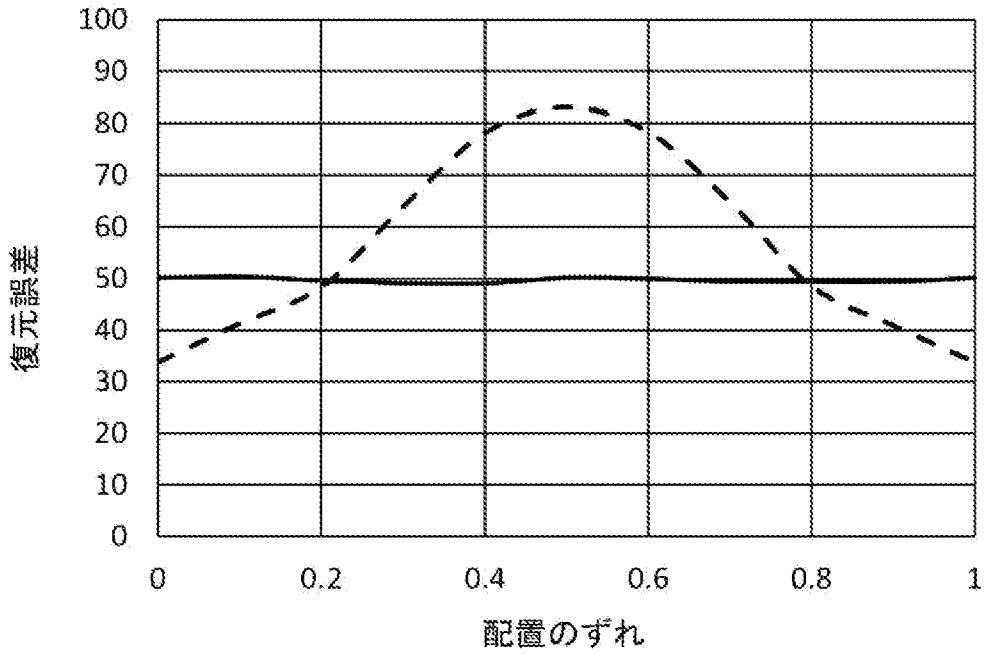
[図10]



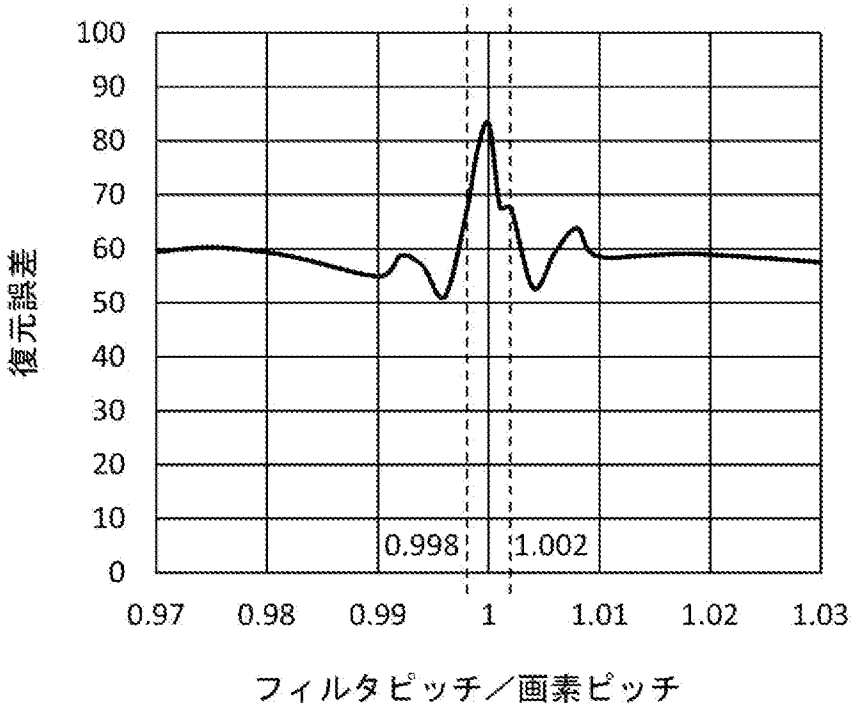
[図11]


50
10
300
50a
100
Y
X
Z

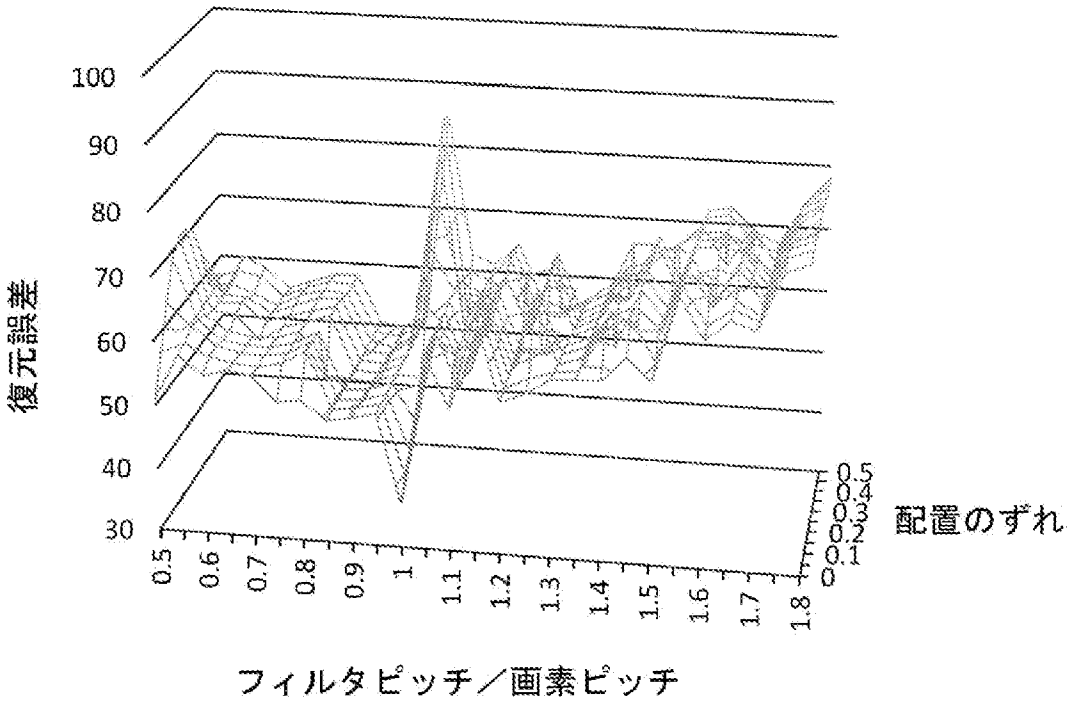
[図12]


100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
復元誤差
0
0.2
0.4
0.6
0.8
1
配置のずれ

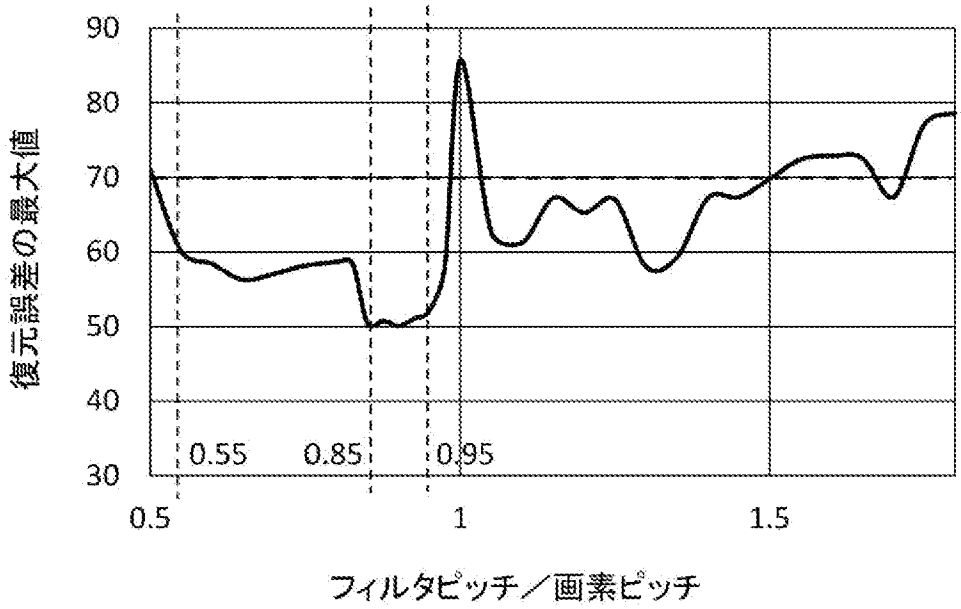
[図13]


100
90
80
70
60
50
40
30
20
10
0
復元誤差
0.998
1.002
0.97
0.98
0.99
1
1.01
1.02
1.03
フィルタピッチ／画素ピッチ

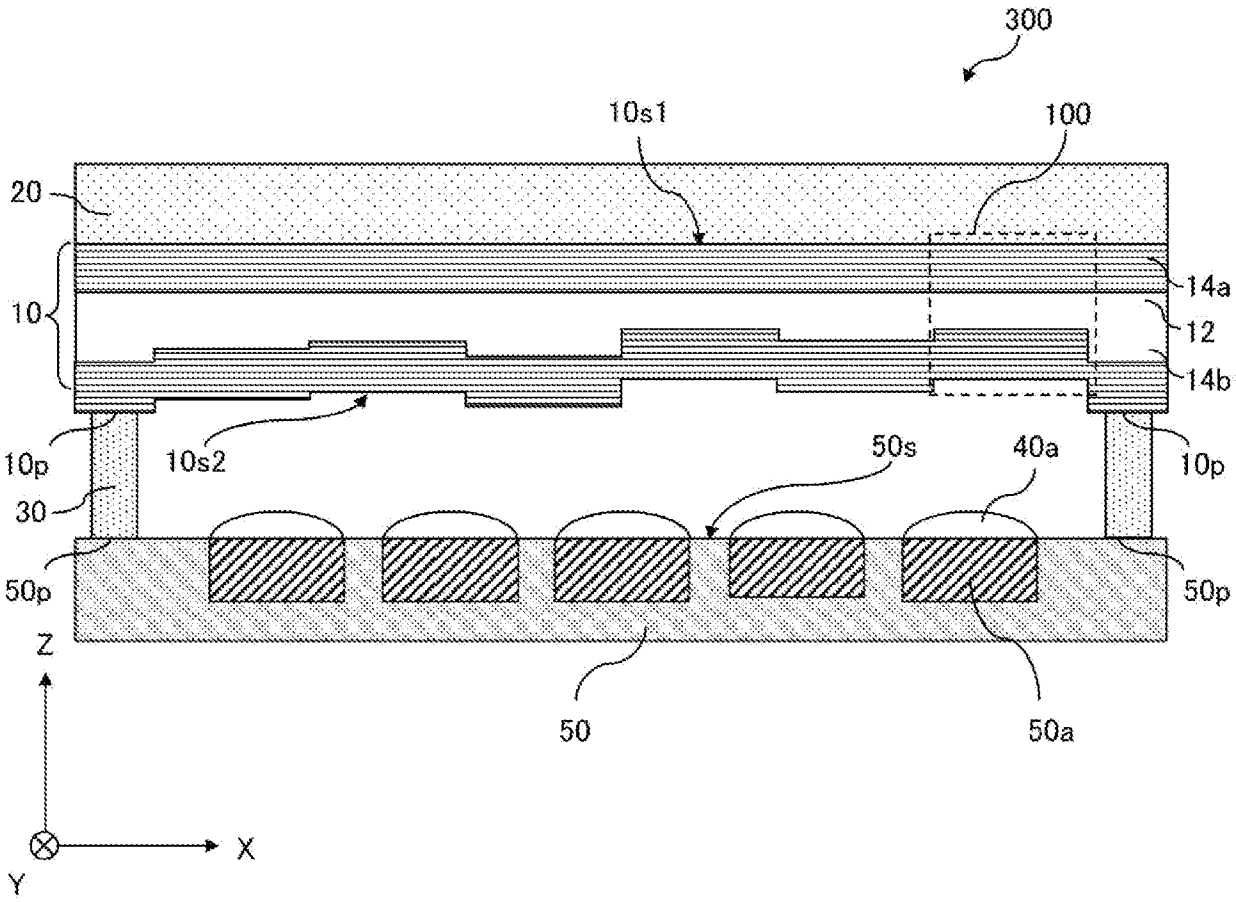
[図14]


100
90
80
70
60
50
40
30
復元誤差
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1
1.1
1.2
1.3
1.4
1.5
1.6
1.7
1.8
0.5
0.4
0.3
0.2
0.1
0
配置のずれ
フィルタピッチ／画素ピッチ

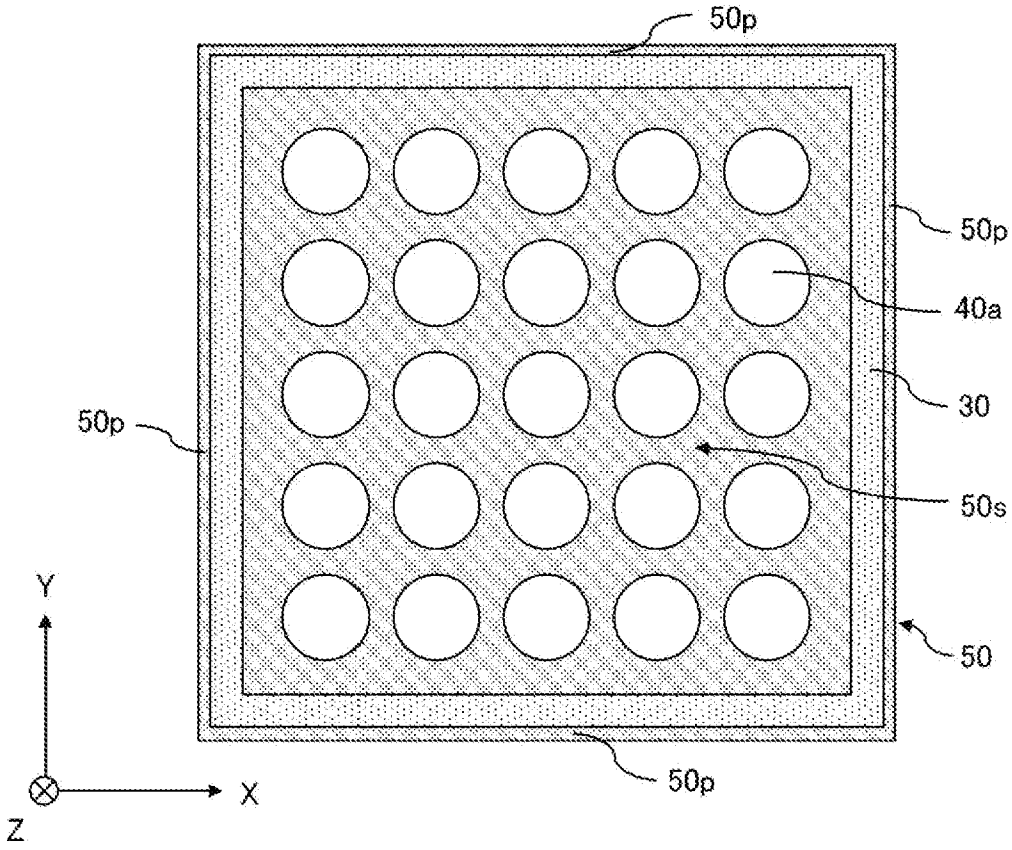
[図15]


90
80
70
60
50
40
30
復元誤差の最大値
0.55
0.85
0.95
0.5
1
1.5
フィルタピッチ／画素ピッチ

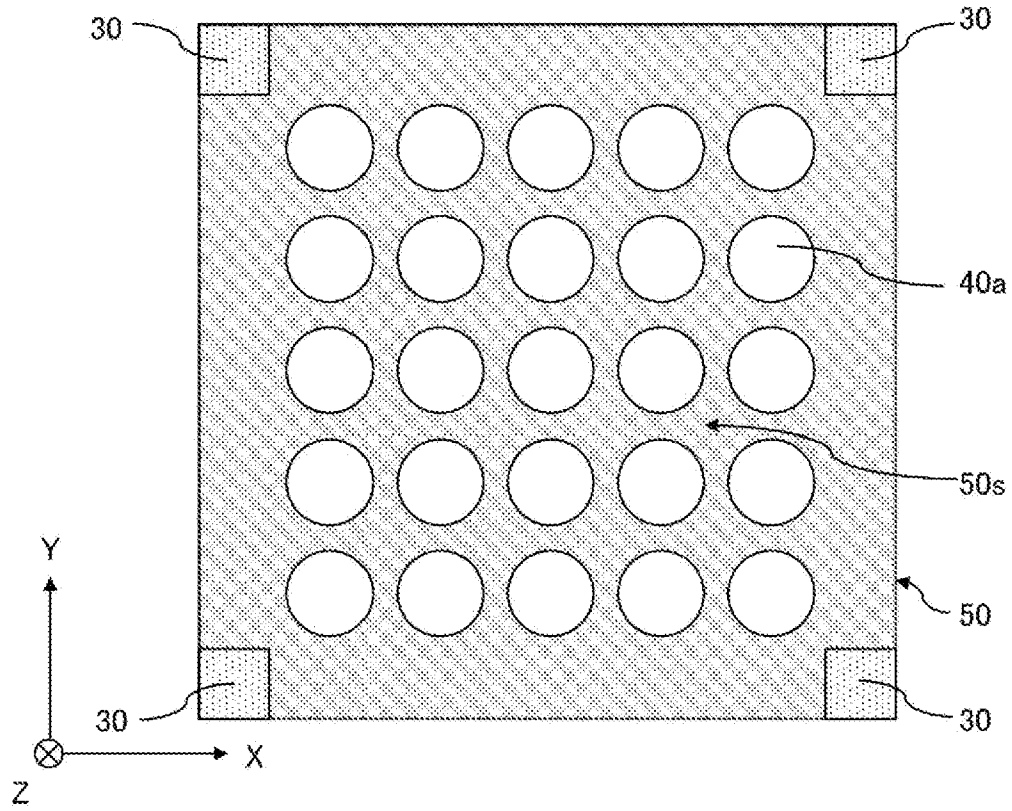
[図16A]


300
10s1
100
20
10
14a
12
14b
10p
10s2
50s
40a
10p
30
50p
50p
Z
50
50a
X
Y

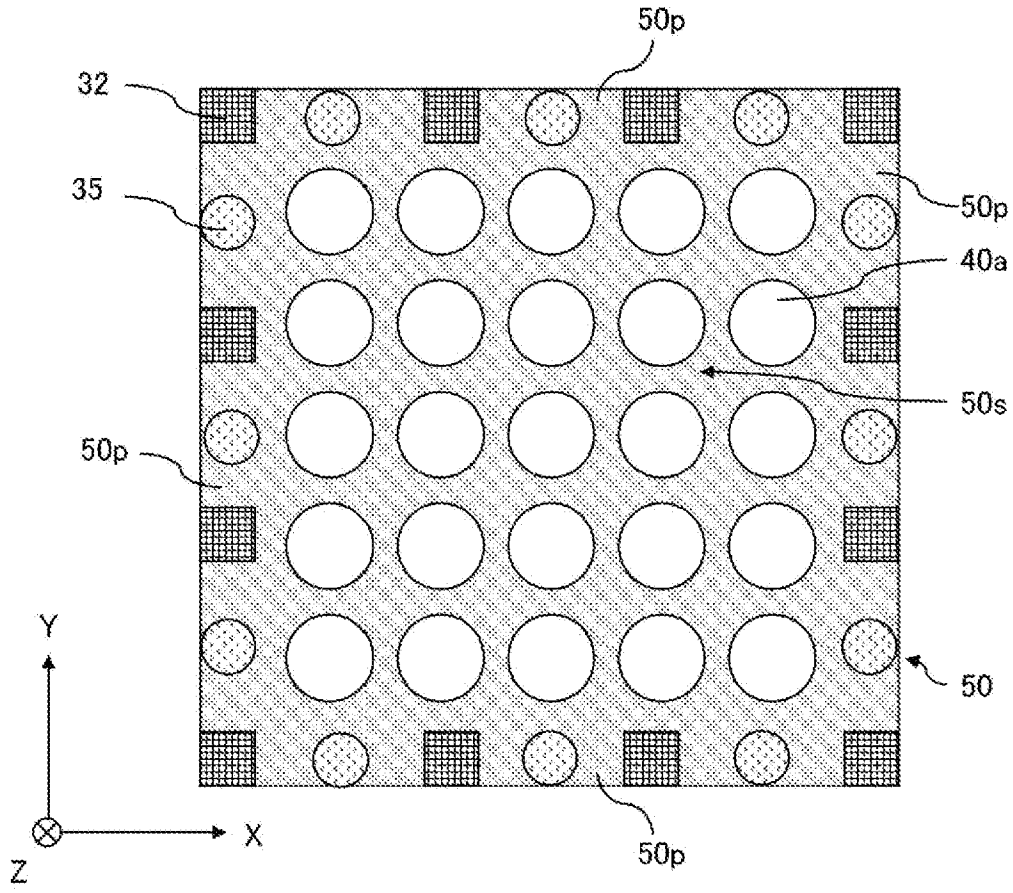
[図16B]



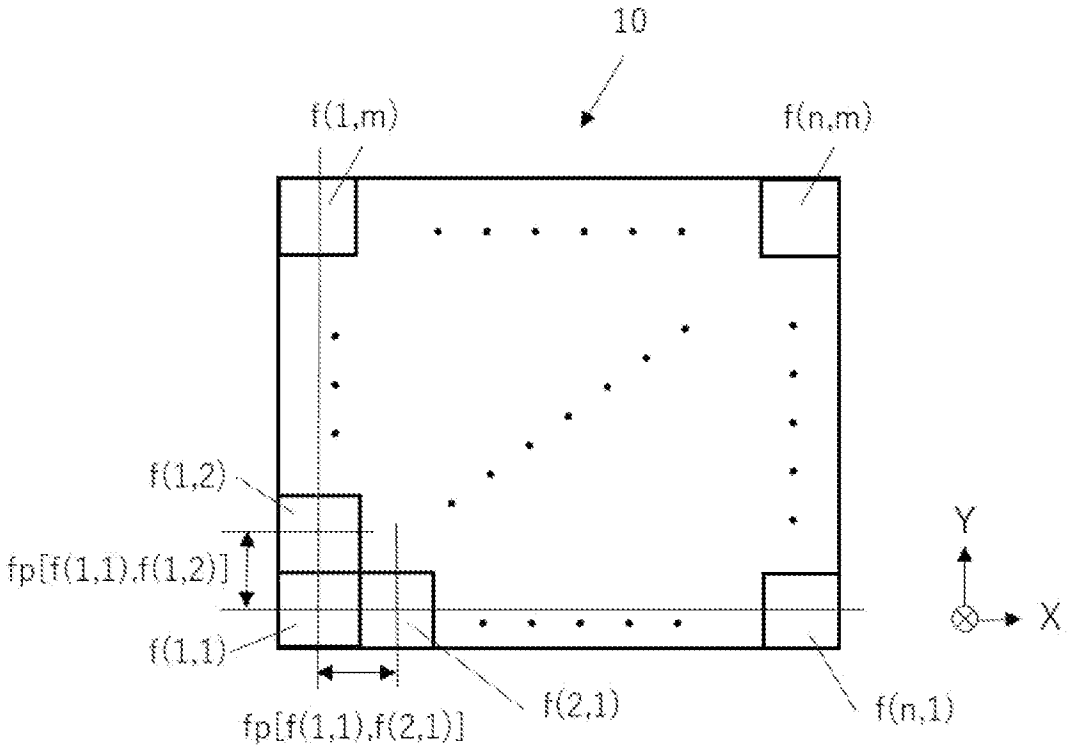
[図16C]



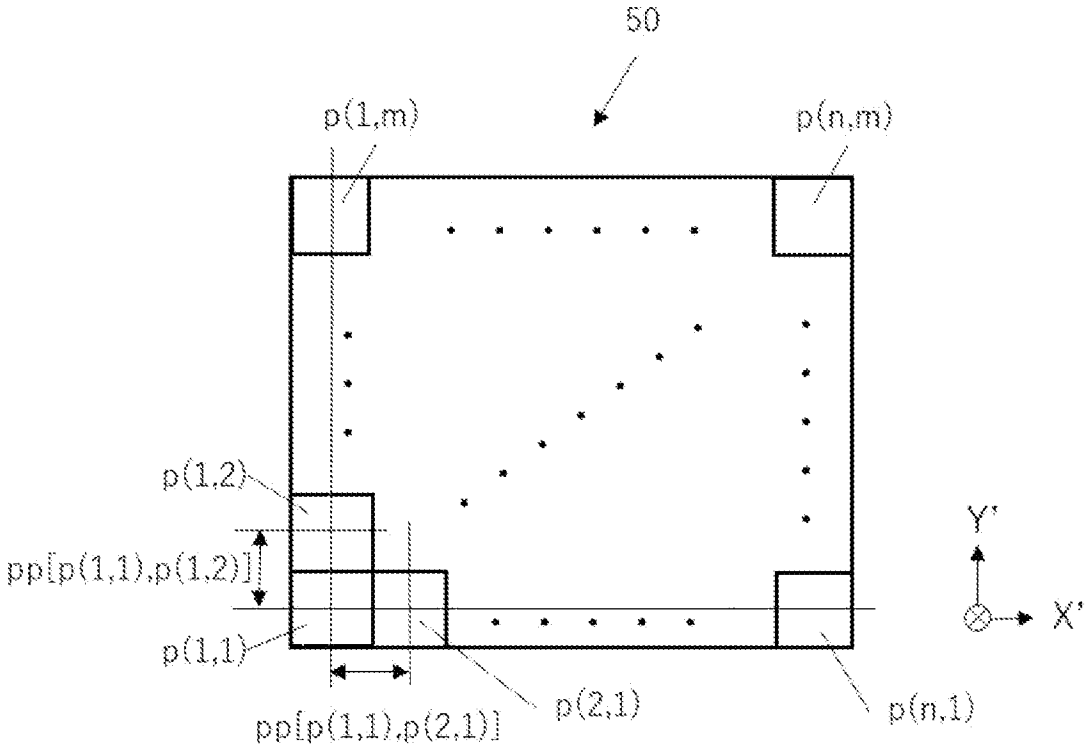
[図16D]


50p
32
35
50p
40a
50s
50p
50
50p
Y
X
Z

[図17]


10
f(1,m)
f(n,m)
f(1,2)
fp[f(1,1),f(1,2)]
f(1,1)
fp[f(1,1),f(2,1)]
f(2,1)
f(n,1)
Y
X

[図18]



INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2023/007415

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G02B 5/26(2006.01)i; ***G01J 3/26***(2006.01)i; ***G01J 3/36***(2006.01)i; ***G02B 5/28***(2006.01)i; ***H04N 25/10***(2023.01)i

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)

G02B5/26; G01J3/26; G01J3/36; G02B5/28; H04N25/10

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 1971-2023
Registered utility model specifications of Japan 1996-2023
Published registered utility model applications of Japan 1994-2023

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

JSTPlus+JST7580 (JDreamIII)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2019-80245 A (SONY SEMICONDUCTOR SOLUTIONS CORP.) 23 May 2019 (2019-05-23) paragraph [0007], fig. 1	1-20
A	JP 2020-182081 A (YOKOGAWA ELECTRIC CORP.) 05 November 2020 (2020-11-05) paragraph [0030], fig. 3	1-20
A	US 2006/0054782 A1 (NEWPORT IMAGING CORP.) 16 March 2006 (2006-03-16) paragraph [0327], fig. 3	1-20
A	US 2019/0019829 A1 (NAT ICT AUSTRALIA LTD.) 17 January 2019 (2019-01-17) paragraph [0057], fig. 3	1-20
A	WO 2020/061104 A1 (INTUITIVE SURGICAL OPERATIONS, INC.) 26 March 2020 (2020-03-26) paragraphs [0044], [0055], fig. 8	1-20

☐ 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	Date of mailing of the international search report
25 April 2023	**16 May 2023**
Name and mailing address of the ISA/JP **Japan Patent Office (ISA/JP)** **3-4-3 Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915** **Japan**	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT
Information on patent family members

International application No.
PCT/JP2023/007415

Patent document cited in search report	Publication date (day/month/year)	Patent family member(s)	Publication date (day/month/year)
JP 2019-80245 A	23 May 2019	US 2021/0192685 A1 paragraph [0073], fig. 1 WO 2019/082462 A1 EP 3703363 A1	
JP 2020-182081 A	05 November 2020	(Family: none)	
US 2006/0054782 A1	16 March 2006	WO 2007/005714 A2 CN 101427372 A	
US 2019/0019829 A1	17 January 2019	WO 2017/120640 A1 AU 2017207519 A	
WO 2020/061104 A1	26 March 2020	JP 2022-501981 A US 2021/0360221 A1 EP 3854075 A0 CN 112956189 A	

国際調査報告

国際出願番号
PCT/JP2023/007415

A. 発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

G02B 5/26(2006.01)i; G01J 3/26(2006.01)i; G01J 3/36(2006.01)i; G02B 5/28(2006.01)i; H04N 25/10(2023.01)i

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））

G02B5/26; G01J3/26; G01J3/36; G02B5/28; H04N25/10

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	１９７１－２０２３年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０２３年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０２３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）

JSTPlus+JST7580 (JDreamIII)

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	JP 2019-80245 A (ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社) 23.05.2019 (2019-05-23) [0007],図1	1-20
A	JP 2020-182081 A (横河電機株式会社) 05.11.2020 (2020-11-05) [0030],図3	1-20
A	US 2006/0054782 A1 (NEWPORT IMAGING CORPORATION) 16.03.2006 (2006-03-16) [0327],図3	1-20
A	US 2019/0019829 A1 (NAT ICT AUSTRALIA LTD) 17.01.2019 (2019-01-17) [0057],図3	1-20
A	WO 2020/061104 A1 (INTUITIVE SURGICAL OPERATIONS, INC.) 26.03.2020 (2020-03-26) [0044][0055],図8	1-20

☐ 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	国際調査報告の発送日
25.04.2023	16.05.2023

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）
内村　駿介 20 1948
電話番号 03-3581-1101 内線 3271

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/JP2023/007415

引用文献	公表日	パテントファミリー文献	公表日
JP 2019-80245 A	23.05.2019	US 2021/0192685 A1 [0073],図1 WO 2019/082462 A1 EP 3703363 A1	
JP 2020-182081 A	05.11.2020	（ファミリーなし）	
US 2006/0054782 A1	16.03.2006	WO 2007/005714 A2 CN 101427372 A	
US 2019/0019829 A1	17.01.2019	WO 2017/120640 A1 AU 2017207519 A	
WO 2020/061104 A1	26.03.2020	JP 2022-501981 A US 2021/0360221 A1 EP 3854075 A0 CN 112956189 A	