

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7304534号

(P7304534)

(45)発行日 令和5年7月7日(2023.7.7)

(24)登録日 令和5年6月29日(2023.6.29)

(51)国際特許分類

F I

H 0 1 L 27/146 (2006.01)

H 0 1 L 27/146

D

G 0 2 B 1/11 (2015.01)

G 0 2 B 1/11

G 0 2 B 5/20 (2006.01)

G 0 2 B 5/20

1 0 1

G 0 1 J 3/26 (2006.01)

G 0 1 J 3/26

G 0 1 J 3/36 (2006.01)

G 0 1 J 3/36

請求項の数 43 (全50頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2022-552280(P2022-552280)

(86)(22)出願日 令和3年10月12日(2021.10.12)

(86)国際出願番号 PCT/JP2021/037711

(87)国際公開番号 WO2022/091769

(87)国際公開日 令和4年5月5日(2022.5.5)

審査請求日 令和4年8月29日(2022.8.29)

(31)優先権主張番号 特願2020-182110(P2020-182110)

(32)優先日 令和2年10月30日(2020.10.30)

(33)優先権主張国・地域又は機関

日本国(JP)

(31)優先権主張番号 特願2021-155972(P2021-155972)

(32)優先日 令和3年9月24日(2021.9.24)

(33)優先権主張国・地域又は機関

日本国(JP)

早期審査対象出願

(73)特許権者 314012076

パナソニックIPマネジメント株式会社

大阪府門真市元町2番6号

(74)代理人 100101683

弁理士 奥田 誠司

(74)代理人 100155000

弁理士 喜多 修市

(74)代理人 100188813

弁理士 川喜田 徹

(74)代理人 100184985

弁理士 田中 悠

(74)代理人 100202197

弁理士 村瀬 成康

(74)代理人 100218981

弁理士 武田 寛之

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光検出装置、構造体の製造方法、および光検出装置の製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

各々が光入射面および光出射面を有し、2次元平面内に配置された複数のフィルタを含むフィルタアレイであって、前記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フィルタアレイと、

前記光出射面に対向する光検出面を有するイメージセンサであって、前記光検出面に沿って2次元平面内に配置された複数の光検出素子を備えるイメージセンサと、
基板と、

を備え、

前記光出射面と前記光検出面との距離が、前記フィルタごとに異なっており、
前記基板と前記イメージセンサとの間に前記フィルタアレイが配置されるように、前記基板は前記光入射面の側に備えられている、光検出装置。

【請求項2】

前記複数のフィルタの各々は、互いに反対側に位置する第1表面および第2表面を有する干渉層と、前記第1表面に設けられた反射層とを含む共振構造を備え、

前記干渉層の厚さは、前記フィルタの透過スペクトルに応じて異なっており、

前記複数のフィルタの各々の透過スペクトルは、特定の波長域に含まれる2つ以上の波長の各々において透過率の極大値を有し、

前記イメージセンサは、前記特定の波長域に感度を有する、請求項1に記載の光検出装置。

【請求項 3】

前記複数のフィルタは、2種類以上のカラーフィルタを含む、請求項1に記載の光検出装置。

【請求項 4】

前記2種類以上のカラーフィルタの少なくとも1つは、前記光出射面に反射防止膜を備える、請求項3に記載の光検出装置。

【請求項 5】

前記複数のフィルタは、不規則に配置されている、請求項1に記載の光検出装置。

【請求項 6】

前記光出射面と前記光検出面との最小距離は、 $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $200\text{ }\mu\text{m}$ 以下である、請求項1に記載の光検出装置。

【請求項 7】

前記複数のフィルタは、前記複数の光検出素子にそれぞれ対向している、請求項1に記載の光検出装置。

【請求項 8】

前記複数のフィルタの少なくとも1つは、前記複数の光検出素子のうち、2つの隣り合う光検出素子の各々の一部に対向する部分を有する、請求項1に記載の光検出装置。

【請求項 9】

前記複数のフィルタにおける前記光入射面および前記光検出面は互いに平行である、請求項1に記載の光検出装置。

【請求項 10】

前記複数のフィルタにおける前記光入射面および前記光検出面は互いに平行ではない、請求項1に記載の光検出装置。

【請求項 11】

前記光入射面の側から見て、前記複数のフィルタは、第1方向および前記第1方向から反時計回りに所定の角度だけ回転した第2方向に沿って2次元平面内に配置されており、前記複数の光検出素子は、第3方向および前記第3方向から反時計回りに前記所定の角度だけ回転した第4方向に沿って2次元平面内に配置されており、前記第1方向と前記第3方向とがなす角度は、前記所定の角度の $1/4$ 以上 $1/2$ 以下である、請求項1に記載の光検出装置。

【請求項 12】

前記所定の角度は 90 度である、請求項11に記載の光検出装置。

【請求項 13】

前記フィルタアレイおよび前記イメージセンサは、同一傾向の反りを有する、請求項1に記載の光検出装置。

【請求項 14】

前記フィルタアレイおよび前記イメージセンサは、反対傾向の反りを有する、請求項1に記載の光検出装置。

【請求項 15】

前記基板は、前記フィルタアレイの側の面とは反対側の面に反射防止膜を備える、請求項1に記載の光検出装置。

【請求項 16】

前記複数のフィルタの前記光出射面の周囲に位置する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光検出面の周囲に位置する周縁領域の少なくとも一部とを貼り合わせる両面テープを備える、請求項1に記載の光検出装置。

【請求項 17】

前記フィルタアレイと前記イメージセンサとによって挟まれ、各フィルタの前記光出射面と前記光検出面との前記距離を規定する複数のスペーサを備え、前記光出射面の少なくとも一部と前記光検出面の少なくとも一部とが、透明接着剤で接着されている、請求項1に記載の光検出装置。

【請求項 18】

平面視において、前記複数のスペーサの少なくとも1つは、前記複数の光検出素子の少なくとも1つと重なる位置に配置される、請求項17に記載の光検出装置。

【請求項 19】

前記フィルタアレイと前記イメージセンサとによって挟まれ、各フィルタの前記光出射面と前記光検出面との前記距離を規定する複数のスペーサを備え、

前記複数のフィルタの前記光出射面の周囲に位置する周縁領域の少なくとも一部と、前記光検出面の周囲に位置する周縁領域の少なくとも一部とが、接着剤で接着されている、請求項1に記載の光検出装置。

【請求項 20】

前記イメージセンサは、前記複数の光検出素子にそれぞれ配置された複数の第1マイクロレンズを備える、請求項1に記載の光検出装置。

【請求項 21】

前記フィルタアレイは、前記複数のフィルタの前記光出射面にそれぞれ配置された複数の第2マイクロレンズを備える、請求項1に記載の光検出装置。

【請求項 22】

前記光出射面と前記光検出面との最小距離は、 $0.1\mu\text{m}$ よりも大きく、かつ $200\mu\text{m}$ 以下である、請求項1に記載の光検出装置。

【請求項 23】

前記イメージセンサが検出する対象となる光の波長域が λ_1 以上 λ_2 以下であるとき、

前記光出射面と前記光検出面との最小距離は、 $\lambda_1/4$ よりも大きい、請求項1に記載の光検出装置。

【請求項 24】

前記イメージセンサが検出する対象となる光の波長域が λ_1 以上 λ_2 以下であるとき、

前記光出射面と前記光検出面との最小距離は、 $\lambda_2/4$ よりも大きい、請求項1に記載の光検出装置。

【請求項 25】

前記フィルタアレイを支持する透明カバーと、

前記イメージセンサが設けられる第1領域を有する底部、および前記底部のうち、前記第1領域の周囲に位置する第2領域から延び、前記イメージセンサを囲む側壁を備えるパッケージと、を備え、

前記透明カバーおよび前記パッケージは、前記フィルタアレイおよび前記イメージセンサを封止する、請求項1に記載の光検出装置。

【請求項 26】

信号処理回路をさらに備え、

前記信号処理回路は、前記フィルタアレイにより符号化された圧縮画像から、4つ以上の波長域ごとの複数の分光画像を復元する、請求項1に記載の光検出装置。

【請求項 27】

前記複数のフィルタの厚みが互いに異なることにより、前記光出射面と前記光検出面との前記距離が、前記フィルタごとに異なっている、請求項1に記載の光検出装置。

【請求項 28】

各々が光入射面および光出射面を有し、2次元平面内に配置された複数のフィルタを含むフィルタアレイであって、前記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フィルタアレイと、

前記光出射面に対向する光検出面を有するイメージセンサであって、前記光検出面に沿って2次元平面内に配置された複数の光検出素子を備えるイメージセンサと、を備え、

前記光出射面と前記光検出面との距離が、前記フィルタごとに異なっており、

前記複数のフィルタは、2種類以上のカラーフィルタを含み、

前記2種類以上のカラーフィルタの少なくとも1つは、前記光出射面に反射防止膜を備える、光検出装置。

10

20

30

40

50

【請求項 29】

各々が光入射面および光出射面を有し、2次元平面内に配置された複数のフィルタを含むフィルタアレイであって、前記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フィルタアレイと、

前記光出射面に対向する光検出面を有するイメージセンサであって、前記光検出面に沿って2次元平面内に配置された複数の光検出素子を備えるイメージセンサと、を備え、

前記光出射面と前記光検出面との距離が、前記フィルタごとに異なっており、

前記複数のフィルタは、不規則に配置されている、光検出装置。

【請求項 30】

各々が光入射面および光出射面を有し、2次元平面内に配置された複数のフィルタを含むフィルタアレイであって、前記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フィルタアレイと、

前記光出射面に対向する光検出面を有するイメージセンサであって、前記光検出面に沿って2次元平面内に配置された複数の光検出素子を備えるイメージセンサと、を備え、

前記光出射面と前記光検出面との距離が、前記フィルタごとに異なっており、

前記複数のフィルタの少なくとも1つは、前記複数の光検出素子のうち、2つの隣り合う光検出素子の各々の一部に対向する部分を有する、光検出装置。

【請求項 31】

各々が光入射面および光出射面を有し、2次元平面内に配置された複数のフィルタを含むフィルタアレイであって、前記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フィルタアレイと、

前記光出射面に対向する光検出面を有するイメージセンサであって、前記光検出面に沿って2次元平面内に配置された複数の光検出素子を備えるイメージセンサと、を備え、

前記光出射面と前記光検出面との距離が、前記フィルタごとに異なっており、

前記複数のフィルタにおける前記光入射面および前記光検出面は互いに平行ではない、光検出装置。

【請求項 32】

各々が光入射面および光出射面を有し、2次元平面内に配置された複数のフィルタを含むフィルタアレイであって、前記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フィルタアレイと、

前記光出射面に対向する光検出面を有するイメージセンサであって、前記光検出面に沿って2次元平面内に配置された複数の光検出素子を備えるイメージセンサと、を備え、

前記光出射面と前記光検出面との距離が、前記フィルタごとに異なっており、

前記光入射面の側から見て、前記複数のフィルタは、第1方向および前記第1方向から反時計回りに所定の角度だけ回転した第2方向に沿って2次元平面内に配置されており、前記複数の光検出素子は、第3方向および前記第3方向から反時計回りに前記所定の角度だけ回転した第4方向に沿って2次元平面内に配置されており、

前記第1方向と前記第3方向とがなす角度は、前記所定の角度の $1/4$ 以上 $1/2$ 以下である、光検出装置。

【請求項 33】

各々が光入射面および光出射面を有し、2次元平面内に配置された複数のフィルタを含むフィルタアレイであって、前記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フィルタアレイと、

前記光出射面に対向する光検出面を有するイメージセンサであって、前記光検出面に沿って2次元平面内に配置された複数の光検出素子を備えるイメージセンサと、を備え、

前記光出射面と前記光検出面との距離が、前記フィルタごとに異なっており、

前記フィルタアレイおよび前記イメージセンサは、同一傾向の反りを有する、光検出装置。

【請求項 34】

各々が光入射面および光出射面を有し、2次元平面内に配置された複数のフィルタを含

むフィルタアレイであって、前記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フィルタアレイと、

前記光出射面に対向する光検出面を有するイメージセンサであって、前記光検出面に沿って2次元平面内に配置された複数の光検出素子を備えるイメージセンサと、を備え、

前記光出射面と前記光検出面との距離が、前記フィルタごとに異なっており、

前記フィルタアレイおよび前記イメージセンサは、反対傾向の反りを有する、光検出装置。

【請求項35】

各々が光入射面および光出射面を有し、2次元平面内に配置された複数のフィルタを含むフィルタアレイであって、前記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フィルタアレイと、

10

前記光出射面に対向する光検出面を有するイメージセンサであって、前記光検出面に沿って2次元平面内に配置された複数の光検出素子を備えるイメージセンサと、

前記複数のフィルタの前記光出射面の周囲に位置する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光検出面の周囲に位置する周縁領域の少なくとも一部とを貼り合わせる両面テープと、を備え、

前記光出射面と前記光検出面との距離が、前記フィルタごとに異なっている、光検出装置。

【請求項36】

各々が光入射面および光出射面を有し、2次元平面内に配置された複数のフィルタを含むフィルタアレイであって、前記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フィルタアレイと、

20

前記光出射面に対向する光検出面を有するイメージセンサであって、前記光検出面に沿って2次元平面内に配置された複数の光検出素子を備えるイメージセンサと、

前記フィルタアレイと前記イメージセンサとによって挟まれ、各フィルタの前記光出射面と前記光検出面との距離を規定する複数のスペーサと、を備え、

前記光出射面と前記光検出面との前記距離が、前記フィルタごとに異なっており、前記光出射面の少なくとも一部と前記光検出面の少なくとも一部とが、透明接着剤で接着されている、光検出装置。

【請求項37】

30

各々が光入射面および光出射面を有し、2次元平面内に配置された複数のフィルタを含むフィルタアレイであって、前記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フィルタアレイと、

前記光出射面に対向する光検出面を有するイメージセンサであって、前記光検出面に沿って2次元平面内に配置された複数の光検出素子を備えるイメージセンサと、

前記フィルタアレイと前記イメージセンサとによって挟まれ、各フィルタの前記光出射面と前記光検出面との距離を規定する複数のスペーサと、を備え、

前記光出射面と前記光検出面との前記距離が、前記フィルタごとに異なっており、前記複数のフィルタの前記光出射面の周囲に位置する周縁領域の少なくとも一部と、前記光検出面の周囲に位置する周縁領域の少なくとも一部とが、接着剤で接着されている、光検出装置。

40

【請求項38】

各々が光入射面および光出射面を有し、2次元平面内に配置された複数のフィルタを含むフィルタアレイであって、前記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フィルタアレイと、

前記光出射面に対向する光検出面を有するイメージセンサであって、前記光検出面に沿って2次元平面内に配置された複数の光検出素子を備えるイメージセンサと、

前記フィルタアレイを支持する透明カバーと、

前記イメージセンサが設けられる第1領域を有する底部、および前記底部のうち、前記第1領域の周囲に位置する第2領域から延び、前記イメージセンサを囲む側壁を備えるパ

50

ッケーと、を備え、

前記光射出面と前記光検出面との距離が、前記フィルタごとに異なっており、

前記透明カバーおよび前記パッケージは、前記フィルタアレイおよび前記イメージセンサを封止する、光検出装置。

【請求項 39】

各々が光入射面および光射出面を有し、2次元平面内に配置された複数のフィルタを含むフィルタアレイであって、前記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フィルタアレイと、

前記光射出面に対向する光検出面を有するイメージセンサであって、前記光検出面に沿って2次元平面内に配置された複数の光検出素子を備えるイメージセンサと、

信号処理回路と、を備え、

前記光射出面と前記光検出面との距離が、前記フィルタごとに異なっており、

前記信号処理回路は、前記フィルタアレイにより符号化された圧縮画像から、4つ以上の波長域ごとの複数の分光画像を復元する、光検出装置。

【請求項 40】

2次元平面内に配置された複数のフィルタを含み、かつ凹凸面を有するフィルタアレイを用意する工程と、

前記フィルタアレイの前記凹凸面に、スピコートによってフォトレジストを形成する工程と、

前記フォトレジストをパターニングすることにより、前記フィルタアレイの前記凹凸面に複数のスペーサを形成する工程と、

を含む、構造体の製造方法。

【請求項 41】

請求項 40 に記載の構造体の製造方法によって製造される構造体、および光検出面を有するイメージセンサを用意する工程と、

前記フィルタアレイの前記凹凸面と、前記イメージセンサの前記光検出面を互に対向させた状態で、前記複数のスペーサを介して前記フィルタアレイと前記イメージセンサとを貼り合わせる工程と、を含む、光検出装置の製造方法。

【請求項 42】

前記イメージセンサの前記光検出面の少なくとも一部には、複数の透明接着剤が配置されており、

前記フィルタアレイと前記イメージセンサとを貼り合わせる工程は、前記フィルタアレイを、前記複数のスペーサおよび前記複数の透明接着剤を介して前記イメージセンサに押し当てておくことを含む、請求項 41 に記載の光検出装置の製造方法。

【請求項 43】

前記イメージセンサの前記光検出面の周囲に位置する周縁領域の少なくとも一部には、複数の接着剤が配置されており、

前記フィルタアレイと前記イメージセンサとを貼り合わせる工程は、前記フィルタアレイを、前記複数のスペーサおよび前記複数の接着剤を介して前記イメージセンサに押し当てておくことを含む、請求項 41 に記載の光検出装置の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、光検出装置、構造体の製造方法、および光検出装置の製造方法に関する。

【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 画像では不可能であった対象物の詳細な物性を把握することができる。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

10

20

30

40

50

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、画素ごとに、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) の空間分布の情報を利用して、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、複数の波長域のそれぞれについての画像データを生成する。特許文献1に開示された撮像装置においては、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）をもつ光学フィルタアレイが用いられる。

10

【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。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

20

【文献】米国特許第9599511号明細書

米国特許第9466628号明細書

特表2013-512445号公報

特開昭63-151076号公報

特開昭59-218770号公報

【発明の概要】

【0006】

本開示は、撮像特性を向上させることができる光検出装置を提供する。

【0007】

本開示の一態様に係る光検出装置は、各々が光入射面および光出射面を有し、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であって、前記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複数種類のフィルタを含む、フィルタアレイと、前記光出射面に対向する光検出面を有するイメージセンサであって、前記光検出面に沿って2次元的に配列された複数の光検出素子を備えるイメージセンサと、を備え、前記光出射面と前記光検出面との距離が、前記フィルタごとに異なっている。

30

【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またはコンピュータ読み取り可能な記録媒体で実現されてもよく、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コンピュータ読み取り可能な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。

40

【0009】

本開示の技術によれば、例えばハイパースペクトルカメラなどの光検出装置の撮像特性を向上させることができる。

【図面の簡単な説明】

50

【0010】

【図1】図1は、例示的な実施形態による光検出システムを模式的に示す図である。

【図2A】図2Aは、例示的な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一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、フィルタアレイにおけ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5A】図5Aは、本開示の実施形態によるフィルタアレイの第1の例を模式的に示す断面図である。

【図5B】図5Bは、本開示の実施形態によるフィルタアレイの第2の例を模式的に示す断面図である。

【図5C】図5Cは、本開示の実施形態によるフィルタアレイの第3の例を模式的に示す断面図である。

【図6】図6は、光が垂直に入射する場合における両側DBR構造および片側DBR構造の光の透過スペクトルの例を示す図である。

【図7】図7は、本開示の実施形態による光検出装置の第1の例を模式的に示す断面図である。

【図8】図8は、屈折率が同じ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9A】図9Aは、図7に示す光検出装置の変形例を模式的に示す図である。

【図9B】図9Bは、図7に示す光検出装置の他の変形例を模式的に示す図である。

【図10】図10は、光検出装置の第2の例を模式的に示す断面図である。

【図11】図11は、光検出装置の第3の例を模式的に示す断面図である。

【図12】図12は、光検出装置の第4の例を模式的に示す断面図である。

【図13】図13は、光検出装置の第5の例を模式的に示す平面図である。

【図14】図14は、XY平面においてフィルタアレイをイメージセンサに対して0°から45°まで5°刻みの角度で回転させた構成を模式的に示す平面図である。

【図15A】図15Aは、光検出装置の第6の例を模式的に示す断面図である。

【図15B】図15Bは、図15A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断面図である。

【図15C】図15Cは、図15B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16A】図16Aは、光検出装置の第7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に示す複数のスペーサ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に示す複数のスペーサの配置のさらに他の例を模式的に示す平面図である。

10

20

30

40

50

【図 1 6 E】図 1 6 E は、図 1 6 B に示す複数のスペーサの配置のさらに他の例を模式的に示す平面図である。

【図 1 7 A】図 1 7 A は、スペーサの形成方法における工程の例を説明するための図である。

【図 1 7 B】図 1 7 B は、スペーサの形成方法における工程の例を説明するための図である。

【図 1 7 C】図 1 7 C は、スペーサの形成方法における工程の例を説明するための図である。

【図 1 7 D】図 1 7 D は、スペーサの形成方法における工程の例を説明するための図である。

【図 1 8 A】図 1 8 A は、フィルタアレイとイメージセンサとを貼り合わせる方法における工程の例を説明するための図である。

【図 1 8 B】図 1 8 B は、フィルタアレイとイメージセンサとを貼り合わせる方法における工程の例を説明するための図である。

【図 1 8 C】図 1 8 C は、フィルタアレイとイメージセンサとを貼り合わせる方法における工程の例を説明するための図である。

【図 1 9】図 1 9 は、光検出装置の第 8 の例を模式的に示す断面図である。

【図 2 0】図 2 0 は、光検出装置の第 9 の例を模式的に示す断面図である。

【図 2 1】図 2 1 は、赤色フィルタ、緑色フィルタ、および青色フィルタの透過スペクトルを模式的に示す図である。

【図 2 2】図 2 2 は、光検出装置の第 1 0 の例を模式的に示す断面図である。

【図 2 3 A】図 2 3 A は、図 2 2 に示す光検出装置の変形例を模式的に示す断面図である。

【図 2 3 B】図 2 3 B は、図 2 2 に示す光検出装置の他の変形例を模式的に示す断面図である。

【図 2 4 A】図 2 4 A は、光検出装置の第 1 1 の例を模式的に示す断面図である。

【図 2 4 B】図 2 4 B は、光検出装置の第 1 2 の例を模式的に示す断面図である。

【図 2 4 C】図 2 4 C は、光検出装置の第 1 3 の例を模式的に示す断面図である。

【図 2 5】図 2 5 は、光検出装置の第 1 4 の例を模式的に示す断面図である。

【図 2 6】図 2 6 は、光検出装置の第 1 5 の例を模式的に示す断面図である。

【図 2 7】図 2 7 は、光検出装置の第 1 6 の例を模式的に示す断面図である。

【図 2 8】図 2 8 は、光検出装置の第 1 7 の例を模式的に示す断面図である。

【図 2 9】図 2 9 は、光検出装置の第 1 8 の例を模式的に示す断面図である。

【図 3 0】図 3 0 は、光検出装置の第 1 9 の例を模式的に示す断面図である。

【図 3 1】図 3 1 は、光検出装置の第 2 0 の例を模式的に示す断面図である。

【発明を実施するための形態】

【0 0 1 1】

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及び接続形態、ステップ、ステップの順序などは、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。

【0 0 1 2】

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。

【0 0 1 3】

特許文献 1 は、高い解像度の多波長画像すなわち複数の波長域のそれぞれについて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

10

20

30

40

50

子は、例えば、2次元的に配列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、撮像対象の波長域内の複数の波長域において、それぞれ透過率の極大値を有する。複数の領域は、例えばイメージセンサの複数の画素にそれぞれ対応して配置され得る。当該符号化素子を用いた撮像において、各画素のデータは、複数の波長域の情報を含む。すなわち、撮像によって取得される画像データは、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、2次元データを保有するだけで済み、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。

10

【0014】

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に開示された構造を採用することができる。複数のフィルタは、各フィルタの透過スペクトルが、撮像対象の波長域において複数のピークを有するように設計され得る。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。

【0015】

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から5は、フィルタアレイおよびイメージセンサの配置の例を開示している。特許文献3に開示されている配置では、イメージセンサ上にフィルタアレイが集積されている。このような構成では、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ので結果的にコストが高くなってしまふ。特許文献4に開示されている配置では、フィルタアレイおよびイメージセンサが、それらの間に隙間がある状態で接着されている。このような構成では、フィルタアレイとイメージセンサとの間で生じる光の干渉によって撮像画像にニュートンリングなどの干渉縞が現れる。その結果、撮像特性が低下する。特許文献5に開示されている配置では、フィルタアレイおよびイメージセンサが、それらの間に隙間がない状態で接着されている。しかし、フィルタアレイおよび／またはイメージセンサが反りを有する場合、隙間がない状態で接着しようとしても隙間ができてしまう可能性がある。

20

【0016】

以上の検討から、本発明者らは、光の干渉による撮像特性の低下を低コストで抑制できるフィルタアレイおよびイメージセンサの配置に想到した。本開示の実施形態による光検出装置は、光入射面およびその反対側の光出射面を有するフィルタアレイと、当該光出射面に対向する光検出面を有するイメージセンサとを備える。フィルタアレイは、特定の波長域内で互いに透過スペクトルが異なる複数種類のフィルタを備える。光出射面と光検出面との距離は、フィルタの透過スペクトルに応じて異なっている。光出射面と光検出面との距離が不均一であることにより、撮像画像に干渉縞の影響が現れることを抑制できる。その結果、撮像特性を向上させることができる。さらに、イメージセンサ上にフィルタアレイを集積する必要がないので、低コストで光検出装置を製造することができる。本開示の実施形態による光検出装置は、ハイパースペクトルカメラだけでなく、例えば3原色の画像を取得する一般的なカラーカメラにも適用することができる。以下に、本開示の実施形態による光検出装置を簡単に説明する。

30

【0017】

第1の項目に係る光検出装置は、各々が光入射面および光出射面を有し、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であって、前記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複数種類のフィルタを含む、フィルタアレイと、前記光出射面に対向する光検出面を有するイメージセンサであって、前記光検出面に沿って2次元的に配列された複数の光検出素子を備えるイメージセンサと、を備える。前記光出射面と前記光検出面との距離が前記フィルタごとに異なっている。

40

【0018】

50

この光検出装置では、撮像画像に干渉縞が現れることを抑制できる。

【0019】

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、前記複数種類のフィルタの各々が、互いに反対側に位置する第1表面および第2表面を有する干渉層と、前記第1表面に設けられた反射層とを含む共振構造を備える。前記干渉層の厚さは、前記フィルタの透過スペクトルに応じて異なっている。前記複数種類のフィルタの各々の透過スペクトルは、特定の波長域に含まれる2つ以上の波長の各々において透過率の極大値を有する。前記イメージセンサは、前記特定の波長域に感度を有する。

【0020】

この光検出装置では、多波長画像を取得することができる。

10

【0021】

第3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、前記複数種類のフィルタが、2種類以上のカラーフィルタを含む。

【0022】

この光検出装置では、多波長画像を取得することができる。

【0023】

第4の項目に係る光検出装置は、第3の項目に係る光検出装置において、前記複数種類のカラーフィルタの少なくとも1つが、前記光出射面に反射防止膜を備える。

【0024】

この光検出装置では、撮像画像に干渉縞が現れることをさらに抑制できる。

20

【0025】

第5の項目に係る光検出装置は、第1から第4の項目のいずれかに係る光検出装置において、前記複数種類のフィルタが不規則に配置されている。

【0026】

この光検出装置では、撮像画像に干渉縞が現れることをさらに抑制できる。さらに、多波長画像を取得する場合、多波長画像の復元誤差を低減することができる。

【0027】

第6の項目に係る光検出装置は、第1から第5の項目のいずれかに係る光検出装置において、前記光出射面と前記光検出面との最小距離が、 $0.1\text{ }\mu\text{m}$ 以上 $200\text{ }\mu\text{m}$ 以下である。

30

【0028】

この光検出装置では、各フィルタを通過した光の大部分を、光検出面内の各フィルタの直下に位置する領域に入射させることができる。

【0029】

第7の項目に係る光検出装置は、第1から第6の項目のいずれかに係る光検出装置において、前記複数のフィルタが、前記複数の光検出素子にそれぞれ対向している。

【0030】

この光検出装置では、各フィルタを通過した光を、1つの光検出素子に入射させることができる。

【0031】

40

第8の項目に係る光検出装置は、第1から第6の項目のいずれかに係る光検出装置において、前記複数のフィルタの少なくとも1つが、前記複数の光検出素子のうち、2つの隣り合う光検出素子の各々の一部に対向する部分を有する。

【0032】

この光検出装置では、複数の光検出素子が検出する光のスペクトルのランダム性を向上させることができる。

【0033】

第9の項目に係る光検出装置は、第1から第8の項目のいずれかに係る光検出装置において、前記複数のフィルタにおける前記光入射面および前記光検出面が互いに平行である。

【0034】

50

この光検出装置では、フィルタアレイとイメージセンサとの間隔を、互いに接触させることなく小さくすることができる。

【0035】

第10の項目に係る光検出装置は、第1から第8の項目のいずれかに係る光検出装置において、前記複数のフィルタにおける前記光入射面および前記光検出面が互いに平行ではない。

【0036】

この光検出装置では、撮像画像に干渉縞が現れることをさらに抑制できる。

【0037】

第11の項目に係る光検出装置は、第1から第10の項目のいずれかに係る光検出装置において、前記光入射面の側から見て、前記複数のフィルタが、第1方向および前記第1方向から反時計回りに所定の角度だけ回転した第2方向に沿って2次元的に配列されており、前記複数の光検出素子が、第3方向および前記第3方向から反時計回りに前記所定の角度だけ回転した第4方向に沿って2次元的に配列されている。前記第1方向と前記第3方向とがなす角度は、前記所定の角度の $1/4$ 以上 $1/2$ 以下である。

10

【0038】

この光検出装置では、モアレを抑制して撮像特性を向上させることができる。

【0039】

第12の項目に係る光検出装置は、第11の項目に係る光検出装置において、前記所定の角度は90度である。

20

【0040】

この光検出装置では、モアレを抑制できる角度の範囲が大きくなる。

【0041】

第13の項目に係る光検出装置は、第1から第12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および前記イメージセンサが、同一傾向の反りを有する。

【0042】

この光検出装置では、フィルタアレイとイメージセンサとの間隔を、互いに接触させることなく小さくすることができる。

【0043】

第14の項目に係る光検出装置は、第1から第12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および前記イメージセンサが、反対傾向の反りを有する。

30

【0044】

この光検出装置では、撮像画像に干渉縞が現れることをさらに抑制できる。

【0045】

第15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、前記複数のフィルタの前記光入射面に基板を備える。

【0046】

この光検出装置では、フィルタアレイが設けられた基板を構成要素とすることにより、基板を除去する工程を省略できる。

【0047】

第16の項目に係る光検出装置は、第15の項目に係る光検出装置において、前記基板が、前記フィルタアレイの側の面とは反対側の面に反射防止膜を備える。

40

【0048】

この光検出装置では、光検出効率を向上させることができる。

【0049】

第17の項目に係る光検出装置は、第1から第16の項目のいずれかに係る光検出装置において、前記複数のフィルタの前記光出射面の周囲に位置する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光検出面の周囲に位置する周縁領域の少なくとも一部とを貼り合わせる両面テープを備える。

【0050】

50

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の配置を固定することができる。

【0051】

第18の項目に係る光検出装置は、第1から第16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と前記イメージセンサとによって挟まれ、各フィルタの前記光出射面と前記光検出面との前記距離を規定する複数のスペーサを備える。前記複数のフィルタの前記光出射面の少なくとも一部と前記光検出面の少なくとも一部とが、透明接着剤で接着されている。

【0052】

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の配置を固定することができる。

10

【0053】

第19の項目に係る光検出装置は、第18の項目に係る光検出装置において、平面視において、前記複数のスペーサの少なくとも1つが、前記複数の光検出素子の少なくとも1つと重なる位置に配置される。

【0054】

この光検出装置では、複数の光検出素子が検出する光のスペクトルのランダム性を向上させることができる。

【0055】

第20の項目に係る光検出装置は、第1から第19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、前記複数の光検出素子にそれぞれ配置された複数の第1マイクロレンズを備える。

20

【0056】

この光検出装置では、フィルタを透過した光を第1マイクロレンズによって光検出素子に効率的に入射させることができる。

【0057】

第21の項目に係る光検出装置は、第1から第20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、前記複数のフィルタの光出射面にそれぞれ配置された複数の第2マイクロレンズを備える。

【0058】

この光検出装置では、フィルタを透過した光を第2マイクロレンズによって光検出素子に効率的に入射させることができる。

30

【0059】

第22の項目に係る光検出装置は、第1から第21の項目のいずれかに係る光検出装置において、前記光出射面と前記光検出面との最小距離が、 $0.1\ \mu\text{m}$ よりも大きい。

【0060】

この光検出装置では、対象波長域において、波長 $400\ \text{nm}$ 付近での干渉の影響を低減することができる。

【0061】

第23の項目に係る光検出装置は、第1から第21の項目のいずれかに係る光検出装置において、対象波長域が λ_1 以上 λ_2 以下であるとき、前記光出射面と前記光検出面との最小距離が、 $\lambda_1/4$ よりも大きい。

40

【0062】

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。

【0063】

第24の項目に係る光検出装置は、第1から第21の項目のいずれかに係る光検出装置において、対象波長域が λ_1 以上 λ_2 以下であるとき、前記光出射面と前記光検出面との最小距離が、 $\lambda_2/4$ よりも大きい。

【0064】

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

50

【0065】

第25の項目に係る光検出装置は、第1から第24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を支持する透明カバーと、前記イメージセンサが設けられる第1領域を有する底部、および前記底部のうち、前記第1領域の周囲に位置する第2領域から延び、前記イメージセンサを囲む側壁を備えるパッケージと、を備える。前記透明カバーおよび前記パッケージは、前記フィルタアレイおよび前記イメージセンサを封止する。

【0066】

この光検出装置では、塵、ほこり、または水分が光検出装置の内部に混入することを抑制できる。

【0067】

第26の項目に係る光検出装置は、第1から第25の項目のいずれかに係る光検出装置において、信号処理回路をさらに備える。前記信号処理回路は、前記フィルタアレイにより符号化された圧縮画像から、4つ以上の波長域ごとの複数の分光画像を復元する。

【0068】

この光検出装置では、RGBのカラー画像よりも多くの波長情報を含む画像を得ることができる。

【0069】

第27の項目に係る構造体の製造方法は、2次元的に配列された複数のフィルタを含み、かつ凹凸面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異なる透過スペクトルを有する、フィルタアレイを用意する工程と、前記フィルタアレイの前記凹凸面に、スピコートによってフォトレジストを形成する工程と、前記フォトレジストをパターニングすることにより、前記フィルタアレイの前記凹凸面に複数のスペーサを形成する工程と、を含む。

【0070】

このフィルタアレイの製造方法では、フィルタアレイの凹凸面に高さが揃った複数のスペーサを形成することができる。

【0071】

第28の項目に係る光検出装置の製造方法は、第27の項目に係る構造体の製造方法によって製造される構造体、および光検出面を有するイメージセンサを用意する工程と、前記フィルタアレイの前記凹凸面と、前記イメージセンサの前記光検出面を互に対向させた状態で、前記複数のスペーサを介して前記フィルタアレイと前記イメージセンサとを貼り合わせる工程と、を含む。

【0072】

この光検出装置の製造方法では、フィルタアレイとイメージセンサとを互いにほぼ平行な状態で貼り合わせることができる。

【0073】

第29の項目に係る光検出装置の製造方法は、第28の項目に係る光検出装置の製造方法において、前記イメージセンサの前記光検出面および／または前記光検出面の周囲に位置する周縁領域には、複数の接着剤が配置されており、前記フィルタアレイと前記イメージセンサとを貼り合わせる工程は、前記フィルタアレイを、前記複数のスペーサおよび前記複数の接着剤を介して前記イメージセンサに押し当てておくことを含む。

【0074】

この光検出装置の製造方法では、複数の接着剤を硬化させてフィルタアレイとイメージセンサとを貼り合わせることができる。

【0075】

本開示において、回路、ユニット、装置、部材または部の全部または一部、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

10

20

30

40

50

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。

【0076】

さらに、回路、ユニット、装置、部材または部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。

【0077】

(実施形態)

<光検出システム>

図1は、本開示の例示的な実施形態による光検出システム400を模式的に示す図である。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60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70から入射する光の光路に配置されている。図1に示す例では、フィルタアレイ10は、光学系40とイメージセンサ160との間に配置されている。

【0078】

図1には、対象物70の一例として、リンゴが例示されている。対象物70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60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それぞれ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、220W₂、・・・、220W_Nと称し、これらを分離画像220と総称する。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。

【0079】

フィルタアレイ10は、行および列状に配列された透光性の複数のフィルタを備える。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。

【0080】

図1に示す例において、フィルタアレイ10は、イメージセンサ60の近傍に配置されている。ここで「近傍」とは、光学系40からの光の像がある程度鮮明な状態でフィルタアレイ10の面上に形成される程度に近接していることを意味する。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60を備える装置を、「光検出装置300」と称する。

【0081】

10

20

30

40

50

光学系40は、少なくとも1つのレンズを含む。図1では、1つのレンズとして示されているが、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60の撮像面上に像を形成する。
【0082】

イメージセンサ60は、2次元的に配列された複数の光検出素子を備える。イメージセンサ60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。イメージセンサ60は、例えばモノクロタイプのセンサ、またはカラータイプのセンサであり得る。対象波長域は任意に決定してよい。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。

10

【0083】

図1に示す例において、複数の光検出素子の各々は、複数のフィルタの1つに対向して配置されている。複数の光検出素子の各々は、撮像対象の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、撮像対象の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 η_{ext} は1%以上であり得る。光検出素子の外部量子効率 η_{ext} は10%以上であってもよい。光検出素子の外部量子効率 η_{ext} 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。

20

【0084】

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60によって取得された画像120に基づいて、複数の波長域の情報をそれぞれ含む複数の分離画像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氣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。

【0085】

<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。

30

【0086】

図2Aは、フィルタアレイ10の例を模式的に示す図である。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 $T(\lambda)$ で表される。透過スペクトル $T(\lambda)$ は、0以上1以下の値を取り得る。

【0087】

図2Aに示す例では、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、例えばイメージセンサ60の画素数と同程度であってもよい。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る。

40

【0088】

図2Bは、対象波長域に含まれる複数の波長域 W_1 、 W_2 、 $\dots$ 、 W_i 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に示す例では、各フィルタの濃淡の違いは、透過率の違いを表している。薄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。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。

【0089】

50

図 2 C および図 2 D は、それぞれ、図 2 A 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 A 1 およびフィルタ A 2 の透過スペクトルの例を示す図である。フィルタ A 1 の透過スペクトルとフィルタ A 2 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 i 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。

10

【0090】

図 3 A および図 3 B は、対象波長域 W と、それに含まれる複数の波長域 W_1 、 W_2 、 $\dots$ 、 W_i との関係を示すための図である。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 400 nm から約 700 nm の可視光の波長域、約 700 nm から約 2500 nm の近赤外線の波長域、または約 10 nm から約 400 nm 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。本明細書では、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。

20

【0091】

図 3 A に示す例では、 i を 4 以上の任意の整数として、対象波長域 W を i 等分したそれぞれを波長域 W_1 、波長域 W_2 、 $\dots$ 、波長域 W_i 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 3 B 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 i は 3 以下でもよい。

【0092】

図 4 A は、フィルタアレイ 10 におけ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 4 A に示す例では、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 P_1 から極大値 P_5 、および複数の極小値を有する。図 4 A に示す例では、対象波長域 W 内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 4 A に示す例では、波長域 W_2 、および波長域 W_{i-1} 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 W_1 から波長域 W_i 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。図 4 A からわかるように、極大値 P_1 、極大値 P_3 、極大値 P_4 、および極大値 P_5 は 0.5 以上である。

30

【0093】

以上のように、各フィルタの光透過率は、波長によって異なる。したがって、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、 i 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 $i - k$ 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、 $2 \leq k < i$ 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。

40

【0094】

図 4 B は、一例として、図 4 A に示す透過スペクトルを、波長域 W_1 、波長域 W_2 、 $\dots$ 、波長域 W_i 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

50

ベクトル $T(\lambda)$ 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。本明細書では、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3つの波長域において、透過率が突出して高くなっている。特に、極大値 $P3$ 、および極大値 $P5$ をとる2つの波長域において、透過率が 0.8 を超えている。

【0095】

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。

【0096】

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。

【0097】

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1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。

【0098】

フィルタアレイ10をイメージセンサ60の近傍に配置する場合、フィルタアレイ10に含まれる複数のフィルタの相互の間隔は、イメージセンサ60の画素ピッチと略一致させてもよい。このようにすれば、フィルタアレイ10から出射した符号化された光の像の解像度が画素の解像度と略一致する。各セルを透過した光が対応する1つの画素に入射するようにすることにより、後述する演算を容易にすることができる。フィルタアレイ10をイメージセンサ60から離して配置する場合には、その距離に応じてセルピッチを細かくしてもよい。

【0099】

図2Aから図2Dに示す例では、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。

【0100】

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 W_1 から波長域 W_i 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。

【0101】

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。

【0102】

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、セル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、セル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、セル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。

【0103】

<信号処理回路>

次に、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。

【0104】

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 w とすると、 f は、各帯域の画像データ f_1 、 f_2 、 $\dots$ 、 f_w 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 f_1 、 f_2 、 $\dots$ 、 f_w の各々は、 $n \times m$ 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 $n \times m \times w$ 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 $n \times m$ 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。

【0105】

【数 1】

$$g = Hf = H \begin{bmatrix} f_1 \\ f_2 \\ \vdots \\ f_w \end{bmatrix} \quad (1)$$

10

20

30

40

50

【0106】

ここで、 f_1 、 f_2 、 $\dots$ 、 f_w は、 $n \times m$ 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、厳密には $n \times m \times w$ 行1列の1次元ベクトルである。ベクトル g は、 $n \times m$ 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 f_1 、 f_2 、 $\dots$ 、 f_w 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、 $n \times m$ 行 $n \times m \times w$ 列の行列である。

【0107】

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 $n \times m \times w$ が取得データ g の要素数 $n \times m$ 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。

【0108】

【数2】

$$f' = \arg \min_f \{ \|g - Hf\|_{l_2} + \tau \Phi(f) \} \quad (2)$$

【0109】

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。

【0110】

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 $\Phi(f)$ 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定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70のスパース性は、対象物70のテキスチャによって異なる。対象物70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。

【0111】

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の開示内容の全体を本明細書に援用する。

【0112】

<ファブリ・ペローフィルタを含むフィルタアレイ>

次に、図5Aから図5C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5Aから図5Cは、それぞれ本開示の実施形態によるフィルタアレイ10の第1から第3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5つのフィルタ100が示されている。図5Aから図5Cに示す例において、フィルタアレイ10は基板20によって支持されている。フィルタアレイ10は、図2Aに示すように、正方格子状に2次的に配列された複数のフィルタ100を含む。図5Aに示す第1の例から図5Cに第3の例において、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。

【0113】

図5Aに示す第1の例において、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5A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の各々の対象波長域Wの光についての反射率は、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5Aに示す各共振構造の透過スペクトルは、後述するように対象波長域W内に2つ以上の鋭いピークを有する。

【0114】

図5Aに示す第1の例において、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の各々は金属薄膜から形成されていてもよい。

【0115】

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、反射率が高い波長域を有する。当該波長域はストップバンドと呼ばれる。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。

【0116】

対象波長域W内の波長を λ 、高屈折率層の屈折率を n_H 、低屈折率層の屈折率を n_L とする。厚さが $\lambda / (4n_H)$ である高屈折率層、および厚さが $\lambda / (4n_L)$ 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 λ_i 以上波長 λ_f 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 λ_i に対応するペア層から波長 λ_f 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。

【0117】

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、SiO₂、Al₂O₃、SiO_xN_y、Si₃N₄、Ta₂O₅、およびTiO₂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SiO₂、Al₂O₃、SiO_xN_y、Si₃N₄、Ta₂O₅、およびTiO₂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、SiO₂、ITO、Al₂O₃、GaN、Nb₂O₅、T

a_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。

【0118】

図5Bに示す第2の例において、基板20上に、第1反射層14aおよび干渉層12がこの順に積層されている。図5Bに示す各共振構造は、干渉層12と、第1表面12s₁に設けられた第1反射層14aを含む。図5Bに示す第2の例が図5Aに示す第1の例と異なる点は、第2表面12s₂に第2反射層14bが設けられていないことである。図5Bに示す各共振構造の透過スペクトルは、後述するように対象波長域 W 内に2つ以上の幅広いピークを有する。

【0119】

図5Bに示す例において、第2表面12s₂は外部に露出し、空気に接している。干渉層12の第2表面12s₂上に、透明層をさらに積層してもよい。第1表面12s₁における対象波長域 W の光についての反射率（以下、「第1反射率」と称する。）は、例えば80%以上であり得る。第1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2表面12s₂における対象波長域 W の光についての反射率（「第2反射率」と称する。）は、第1反射率よりも低く、例えば1%以上30%未満であり得る。第1反射率と第2反射率との間には10%以上の一定の差異がある。

【0120】

本明細書では、図5Aに示す共振構造を「両側DBR構造」と称し、図5Bに示す共振構造を「片側DBR構造」と称する。本明細書では、両側DBR構造および片側DBR構造において、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。

【0121】

図5Cに示す第3の例において、一部のフィルタ100は両側DBR構造を有し、他の一部のフィルタ100は片側DBR構造を有する。フィルタアレイ10に含まれるすべてのDBR構造に対する片側DBR構造の割合は、例えば10%以上90%以下であり得る。片側DBR構造の割合は、両側DBR構造の割合よりも小さくてもよいし、両側DBR構造の割合に等しくてもよいし、両側DBR構造の割合よりも大きくてもよい。両側DBR構造および片側DBR構造の配置は、規則的であってもよいし不規則であってもよい。両側DBR構造および片側DBR構造が混在することにより、フィルタアレイ10に含まれる複数のフィルタ100の透過スペクトルのランダム性を向上させることができる。その結果、より正確な複数の分離画像220を得ることができる。

【0122】

次に、図6を参照して、フィルタ100の透過スペクトルの例を説明する。図6は、光が垂直に入射する場合における両側DBR構造および片側DBR構造の光の透過スペクトルの例を示す図である。図6に示す例において、対象波長域 W は450nm以上850nm以下である。図6に示す実線は両側DBR構造の透過スペクトルを表し、図6に示す破線は片側DBR構造の透過スペクトルを表す。図6に示すように、両側DBR構造および片側DBR構造の透過スペクトルは、対象波長域 W 内に2つ以上の波長の各々で透過率の極大値を有する。本明細書では、こ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。透過率が極大値を示す波長は、干渉層 12 を薄くすると短波長側にシフトし、干渉層 12 を厚くすると長波長側にシフトする。

【0123】

両側 DBR 構造および片側 DBR 構造の特性は以下の点において異なる。両側 DBR 構造の透過スペクトルにおいて、各ピークは鋭く、かつ、最大の透過率が 1.0 程度であり、最小の透過率が 0.02 程度である。これに対して、片側 DBR 構造の透過スペクトルにおいて、各ピークは幅広く、かつ、最大の透過率が 0.5 程度であり、最小の透過率が 0.1 程度である。片側 DBR 構造では、両側 DBR 構造と比較して、透過率のベースラインが上昇する。図 6 に示す例において、片側 DBR 構造の対象波長域 W 内の平均透過率は約 26 % であり、両側 DBR 構造の対象波長域 W 内の平均透過率は約 14 % である。片側 DBR 構造では、両側 DBR 構造と比較して、平均透過率が約 2 倍である。このように、片側 DBR 構造は、撮像時の光量損失を抑制することができる。

【0124】

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。9 種類の多モードフィルタが、高いランダム性をもって配列され得る。そのようなランダム性の高いフィルタ配列を有するフィルタアレイ 10 により、分離画像 220 の復元誤差を低減することができる。不規則な配置であることから、隣り合うフィルタが同種類のフィルタである場合もある。しかし、そのような場合はまれであると考えられるので、大きな問題にはならない。

【0125】

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。

【0126】

本明細書では、両側 DBR 構造および／または片側 DBR 構造を備えるフィルタ 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、例えば回折格子などから構成される色分離フィルタなど、他の種類の干渉フィルタを用いることができる。

【0127】

<フィルタアレイおよびイメージセンサの配置関係>

次に、図 7 から図 14 を参照して、フィルタアレイ 10 およびイメージセンサ 60 の配置関係の例を説明する。図 7 および以降の図に示す例においては、簡単のために、フィルタアレイ 10 およびイメージセンサ 60 の各々が 2 次元的に配列された 5 × 5 のユニットセルを含むものとして説明されている。しかし、実際には、フィルタアレイ 10 およびイメージセンサ 60 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。

【0128】

図 7 は、本開示の実施形態による光検出装置 300 の第 1 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 60 の断面図である。図 7 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 7 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 60 とを備える。

【0129】

図 7 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 C 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。図 5 C に示す構成の代わりに、図 5 A または図 5 B に示す構成を採用してもよい。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

10

【0130】

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。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。複数のフィルタ 100 の X 方向および Y 方向における配列ピッチはすべて等しい。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。

【0131】

フィルタアレイ 10 は、光入射面 10s₁ およびその反対側の光出射面 10s₂ 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 7 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、あるいは第 2 反射層 14b の有無に起因して生じる。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。

20

【0132】

イメージセンサ 60 は、光出射面 10s₂ に対向する光検出面 60s を有し、光検出面 60s に沿って正方格子状に 2 次元的に配列された複数の光検出素子 60a を含む。光検出面 60s は平坦である。複数の光検出素子 60a は対象波長域 W に感度を有する。複数の光検出素子 60a は、複数のフィルタ 100 にそれぞれ対向している。図 7 に示す第 1 の例において、複数の光検出素子 60a の X 方向および Y 方向における配列ピッチはすべて等しい。光検出素子 60a の X 方向および Y 方向における配列ピッチは異なってもよい。光検出素子 60a の配列ピッチは、例えば 1 μm 以上 10 μm 以下であり得る。図 7 に示す第 1 の例において、フィルタ 100 の配列ピッチは、光検出素子 60a の配列ピッチに等しくなるように設計されている。複数の光検出素子 60a は、それぞれ、直上に複数のマイクロレンズ 40a を備える。マイクロレンズ 40a は、フィルタ 100 を透過した光を光検出素子 60a に効率的に入射させる。光入射面 10s₁ および光検出面 60s は互いに平行である。「光入射面 10s₁ および光検出面 60s 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 60s 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 60s の法線方向は、光検出面 60s に垂直であり、かつ、イメージセンサ 60 から遠ざかる方向である。

30

40

【0133】

対象物 70 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

50

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 60 の光検出面 60s に入射する。

【0134】

光出射面 10s₂ と光検出面 60s 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、図 5C に示す構造物およびイメージセンサ 60 を、フィルタアレイ 10 の凹凸面が光検出面 60s 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 60s との距離が不均一になるので、光出射面 10s₂ と光検出面 60s との間で光の多重反射が生じて、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。したがって、光検出装置 300 の撮像特性を向上させることができる。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 の復元誤差を低減できるだけでなく、撮像画像に干渉縞が現れることをさらに抑制できる。

【0135】

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 60 の光検出面 60s に対向するように配置することにより、フィルタアレイ 10 とイメージセンサ 60 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 60s に近い部分と光検出面 60s との距離（以下、「最小距離 d_m」と称することがある。）は、例えば 0.1 μm 以上 200 μm 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 1.6 以下であり、光検出素子 60a の配列ピッチは 6 μm 程度であり得る。この場合、焦点深度が約 200 μm 程度となるので、光出射面 10s₂ と光検出面 60s 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 60s 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。図 7 に示す第 1 の例では、当該領域に 1 つの光検出素子 60a が位置する。

【0136】

光出射面 10s₂ と光検出面 60s との距離によっては、両者の間に光の干渉が発生し得る。この干渉の影響により、光検出素子 60a 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 60s との間の距離 d に依存する。光出射面 10s₂ と光検出面 60s 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 $d = m_1 \lambda / 2$ の場合、光は干渉によって強め合い、その結果、波長 $\lambda = 2d / m_1$ 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 60s 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 $d = (m_2 + 1/2) \lambda / 2$ の場合、光は干渉によって弱め合い、その結果、波長 $\lambda = 2d / (m_2 + 1/2)$ 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 $\lambda = 4d$ である。本明細書では、距離 $d = \lambda / 4$ で生じる干渉を「基本モードの干渉」と称する。

【0137】

図 8 は、屈折率が同じ 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 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 100 nm、125 nm、および 150 nm である場合を表す。2 つの媒質は SiO₂ であり、それぞれの屈折率は n = 1.5 である。図 8 に示すように、距離 d = 100 nm では波長 λ = 400 nm の光について基本モードの干渉が発生し、波長 λ = 400 nm 付近で透過率が極小になる。同様に、距離 d = 125 nm では波長 λ = 500 nm 付近で透過率が極小になり、距離 d = 150 nm では波長 λ = 600 nm 付近で透過率が極小になる。図 8 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。

【0138】

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る可能性がある。その結果、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。

【0139】

対象波長域が可視光の波長域、すなわち約 400 nm 以上約 700 nm 以下であるとする。最小距離 d_m が 0.1 μm 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 d_m が 0.1 μm よりも大きい場合、すなわち距離 d_m が 0.1 μm 以下と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 400 nm 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 d_m が 0.1 μm 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。

【0140】

同様に、最小距離 d_m が 0.125 μm よりも大きい場合、対象波長域のうち、400 nm 以上 500 nm 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 d_m が 0.150 μm よりも大きい場合、対象波長域のうち、400 nm 以上 600 nm 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。

【0141】

一般化すると、対象波長域が $\lambda_1 \leq \lambda \leq \lambda_2$ である場合、最小距離 d_m を $\lambda_1 / 4$ 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 d_m を $\lambda_2 / 4$ 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。

【0142】

最小距離 d_m を大きくするほど、干渉の影響により、図 8 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 に示す対象波長域に含まれる各波長域 W_i よりも十分に小さい場合、短い周期の振動が各波長域 W_i において平均化されて打ち消されるので、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。

【0143】

対象波長域の下限波長 λ_1 および上限波長 λ_2 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 λ_1 および上限波長 λ_2 は、それぞれ、光検出装置 300 におけるイメージセンサ 60 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 λ_1 および上限波長 λ_2 は、それぞれ、光検出装置 300 におけるイメージセンサ 60 に入射する光の下限波長および上限波長としてもよい。

【0144】

フィルタアレイ 10 およびイメージセンサ 60 は反りを有することがある。フィルタアレイ 10 を支持する基板 20 も、フィルタアレイ 10 と同じ方向に反りを有することがある。例えば、フィルタアレイ 10 またはイメージセンサ 60 の一辺が 10 mm である場合、反りによってその中央部と端部とで Z 方向に 1 μm 程度の差異が生じ得る。フィルタアレイ 10 およびイメージセンサ 60 は、互いに同じ傾向の反りを有し得る。すなわち、フィルタアレイ 10 およびイメージセンサ 60 は、ともに上に凸または下に凸の反りを有し得る。あるいは、フィルタアレイ 10 およびイメージセンサ 60 は互いに反対の傾向の反りを有することもある。すなわち、フィルタアレイ 10 およびイメージセンサ 60 のうち、一方は上に凸の反りを有し、他方は下に凸の反りを有することがある。特に、フィルタアレイ 10 およびイメージセンサ 60 が互いに反対の傾向の反りを有する場合、光出射面 10 s₂ と光検出面 60 s との距離がより不均一になるので、撮像画像に干渉縞が現れることをさらに抑制することができる。なお、本明細書において「光入射面 10 s₁ および光検出面 60 s は平坦である」と言うときは、フィルタアレイ 10 およびイメージセンサ 60 の反りは無視される。

【0145】

図 7 に示す光検出装置 300 の変形例として、フィルタアレイ 10 における複数のフィルタ 100 の光出射面に複数のマイクロレンズがそれぞれ配置されていてもよい。図 9A

10

20

30

40

50

は、図7に示す光検出装置300の変形例を模式的に示す図である。図9Aに示す光検出装置300が図7に示す光検出装置300とは異なる点は、フィルタアレイ10が、複数のフィルタ100の光出射面にそれぞれ配置された複数のマイクロレンズ40bを備えることである。光出射面10s₂に配置された複数のマイクロレンズ40bは、光検出面60sに配置された複数のマイクロレンズ40aにそれぞれ対向する。そのような構成により、各フィルタ100を通過した光の大部分をマイクロレンズ40bによって集光またはコリメートさせて、その下にあるマイクロレンズ40aを介して光検出素子60aに入射させることができる。マイクロレンズ40aおよび40bを併用することにより、各フィルタ100aを通過する光を、対応する光検出素子60aにより効率的に入射させることができる。

10

【0146】

図9Bは、図7に示す光検出装置300の他の変形例を模式的に示す図である。図9Bに示す光検出装置300が図9Aに示す光検出装置300とは異なる点は、光検出面60sに複数のマイクロレンズ40aが配置されていないことである。本変形例のように、複数のマイクロレンズ40aを配置せず、光出射面10s₂に配置された複数のマイクロレンズ40bを用いることによって、光検出素子60aに光を効率的に入射させてもよい。

【0147】

本明細書では、光検出面60sに配置される複数のマイクロレンズ40aを「複数の第1マイクロレンズ」とも称し、光出射面10s₂に設けられる複数のマイクロレンズ40bを「複数の第2マイクロレンズ」とも称する。

20

【0148】

図7に示す構造に、他の構成要素を追加してもよい。図10は、光検出装置300の第2の例を模式的に示す断面図である。図10に示す構造が図7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7に示す第1の例における基板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。

30

【0149】

図7に示す構成の配置を変更してもよい。図11は、光検出装置300の第3の例を模式的に示す断面図である。図11に示す構造が図7に示す構造とは異なる点は、フィルタアレイ10とイメージセンサ60との配置関係が、光検出面60sに平行な一方向に沿ってずれていることである。図11に示す第3の例において、当該方向はX方向である。ずれの大きさはフィルタ100の配列ピッチまたは光検出素子60aの配列ピッチよりも小さい。図11に示す第3の例において、複数のフィルタ100および複数の光検出素子60aは1対1で対向していない。端に位置するフィルタ100を除き、複数のフィルタ100の各々は、Z方向から見た場合に、2つの隣り合う光検出素子60aに重なる。言い換えれば、それらのフィルタ100の各々は、2つの隣り合う光検出素子60aの各々の一部に対向する部分を有する。この場合、各フィルタ100を透過した光のうち、一部はある光検出素子60aに入射し、他の一部はその隣の他の光検出素子60aに入射する。したがって、複数の光検出素子60aが検出する光のスペクトルのランダム性を向上させることができる。その結果、複数の分離画像220をより正確に復元することができる。

40

【0150】

図11に示す例において、フィルタ100の配列ピッチと光検出素子60aの配列ピッチとが等しいが、これらの配列ピッチが異なってもよい。あるいは、複数のフィルタ100の配列ピッチおよび／または複数の光検出素子60aの配列ピッチが不均一であってもよい。そのような配列により、フィルタアレイ10の光出射面0s₂とイメージセンサ60の光検出面60sとを対向させると、複数のフィルタ100および複数の光検出素

50

子60aが1対1で対向していない構成を得ることができる。そのような構成において、一部のフィルタ100および一部の光検出素子60aが1対1で対向していてもよい。本実施形態において、複数のフィルタ100の少なくとも1つは、2つの隣り合う光検出素子60aの各々の一部に対向する部分を有し得る。

【0151】

図12は、光検出装置300の第4の例を模式的に示す断面図である。図12に示す第4の例が図7に示す第1の例とは異なる点は、フィルタアレイ10の光入射面10s₁とイメージセンサ60の光検出面60sとが互いに平行ではないことである。光入射面10s₁の法線方向および光検出面60sの法線方向は交差している。これらの法線方向が交差する角度は、例えば30°以上45°以下であり得る。本実施形態のように光入射面10s₁と光検出面60sとが平行ではない構成では、光出射面10s₂と光検出面60sとの距離がより不均一になる。その結果、撮像画像に干渉縞が現れることをさらに抑制することができる。

【0152】

図13は、光検出装置300の第5の例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10s₁の側から光検出装置300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13に示す第5の例において、太い線は、5×5のフィルタ100を含むフィルタアレイ10を表し、細い線は5×5の光検出素子60aを含むイメージセンサ60を表す。図13に示す第5の例が図7に示す第1の例とは異なる点は、XY平面内において、フィルタアレイ10がイメージセンサ60に対してある角度だけ回転していることである。フィルタアレイ10に含まれる複数のフィルタ100は、第1ベクトルD₁と第1ベクトルD₁を反時計回りに90°だけ回転させた第2ベクトルD₂とを基本ベクトルとして、これらの基本ベクトルの方向に沿って2次元的に配列されている。イメージセンサ60における複数の光検出素子60aは、第3ベクトルD₃と第3ベクトルD₃を反時計回りに90°だけ回転させた第4ベクトルD₄とを基本ベクトルとして、これらの基本ベクトルの方向に沿って2次元的に配列されている。第1および第2ベクトルD₁、D₂の大きさは、それぞれ第1および第2ベクトルD₁、D₂の方向におけるフィルタ100の配列ピッチに等しい。第3および第4ベクトルD₃、D₄の大きさは、それぞれ第3および第4ベクトルD₃、D₄の方向における光検出素子60aの配列ピッチに等しい。第1ベクトルD₁から第4ベクトルD₄の大きさはすべて等しい。図7に示す第1の例では、第1ベクトルD₁および第3ベクトルD₃は互いに平行であり、第2ベクトルD₂および第4ベクトルD₄は互いに平行である。これに対して、図13に示す第5の例において、第3ベクトルD₃は第1ベクトルD₁に交差しており、第4ベクトルD₄は第2ベクトルD₂に交差している。

【0153】

図14は、XY平面においてフィルタアレイ10をイメージセンサ60に対して0°から45°まで5°刻みの角度で回転させた構成を模式的に示す平面図である。45°から90°までの回転角の構成は、図14に示す45°から0°の回転角の構成に等しい。例えば、55°の回転角の構成は35°の回転角の構成に等しく、80°の回転角の構成は10°の回転角の構成に等しい。図14に示すように、0°以外の回転角では、フィルタアレイ10およびイメージセンサ60が重なる部分に、モアレ、すなわち規則的な明暗が現れる。回転角が増加するほど、モアレの模様が細くなる。回転角が25°以上45°以下の範囲ではモアレは視認されにくい。

【0154】

より高品質なハイパースペクトル画像を得るために、モアレは可能な限り抑制してもよい。フィルタアレイ10およびイメージセンサ60を回転させずに配置しようとしても、実際には数度の回転角の誤差が生じ得る。図14に示すように5°の回転角でさえ顕著なモアレが現れる。これに対して、25°以上45°以下の回転角でフィルタアレイ10およびイメージセンサ60を配置する場合、数度の回転角の誤差が生じて、図14に示すようにモアレはほとんど変化せず、かつ視認されにくい。したがって、配置誤差に起因す

るモアレの増加を抑制することができる。

【0155】

さらに、図13に示す第5の例では、図11に示す第3の例と同様に、複数のフィルタ100および複数の光検出素子60aが1対1で対向していない。したがって、複数の光検出素子60aが検出する光のスペクトルのランダム性を向上させることができる。その結果、複数の分離画像220をより正確に復元することができる。

【0156】

図13に示す例において、第1ベクトル D_1 と第2ベクトル D_2 とがなす角度、および第3ベクトル D_3 と第4ベクトルとがなす角度は 90° である。当該角度は正方格子の配列に対応する。第1ベクトル D_1 と第2ベクトル D_2 とがなす角度、および第3ベクトル D_3 と第4ベクトルとがなす角度は 90° 以外の所定の角度であってもよい。例えば、 60° の角度は三角格子の配列に対応する。モアレが視認されにくい回転角は、当該所定の角度の $1/4$ 以上 $1/2$ 以下である。

【0157】

<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15Aから図16Eを参照して、フィルタアレイ10とイメージセンサ60とを互いに固定する構造の例を説明する。

【0158】

図15Aは、光検出装置300の第6の例を模式的に示す断面図である。図15Bは、図15A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15Aに示す第6の例において、フィルタアレイ10は、光射出面10s₂の周囲に位置する周縁領域10pを有し、イメージセンサ60は、光検出面60sの周囲に位置する周縁領域60p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60の周縁領域60pは平坦である。図15Aに示す第6の例において、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60の周縁領域60p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15Aに示すように、光検出面60sに対して垂直な方向に沿って延びる形状を有し、かつ、図15Bに示すように、光射出面10s₂と光検出面60s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の光射出面と光検出面60sとの距離を規定する。両面テープ30の高さは、光射出面10s₂と光検出面60s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60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。

【0159】

図15Cは、図15B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15C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60の周縁領域60pの四隅とが、両面テープ30で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60の周縁領域60pの少なくとも一部とが両面テープ30で貼り合わせられる。その結果、フィルタアレイ10およびイメージセンサ60の配置を固定することができる。

【0160】

図16Aは、光検出装置300の第7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に示す第7の例において、光検出装置300は、フィルタアレイ10とイメージセンサ60とによって挟まれた複数のスペーサ32を備える。光射出面10s₂と光検出面60sとが透明接着剤34で接着されている。透明接着剤34は、対象波長域に含まれるすべての波長域 W_1 から波長域 W_i 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。複数のスペーサ32は剛性を有し、各フィルタ100の光射出面と光検出面60sとの距離をより正確に規定する。スペーサ32は、例えば液晶ディスプレイにおける液晶材料が注入される空間の高さを規定するフォト

スペーサであり得る。フォトスペーサは、例えばネガ型フォトレジストSU8（日本化薬社製）から形成され得る。透明接着剤34は、例えば光路結合用接着剤GA700L（NTTアドバンストテクノロジー社製）から形成され得る。スペーサ32の形成方法については後述する。

【0161】

各スペーサ32のXY平面における断面のサイズが光検出素子60aのサイズよりも大きい場合、各スペーサ32は、フィルタ100の光出射面とマイクロレンズ40aの頂部とによって支持される。各スペーサ32の断面のサイズが光検出素子60aのサイズと同程度である場合でも、一部のスペーサ32が、フィルタ100の光出射面とマイクロレンズ40aの頂部とによって支持される。いずれの場合でも、スペーサ32によって各フィルタ100の光出射面と光検出面60sとの距離をより正確に規定することができる。

10

【0162】

図16Bに示す例において、複数のスペーサ32は不規則に配置されている。スペーサ32の分布密度は、所定の大きさの領域（例えば3×3のユニットセルに相当する領域等）ごとに均一になるように設計され得る。複数のスペーサ32の断面のサイズは均一であってもよいし、不均一であってもよい。スペーサ32の断面のサイズは、例えば光検出素子60aのサイズよりも大きくてもよいし、同程度であってもよい。一部のスペーサ32の断面のサイズは、光検出素子60aのサイズよりも小さくてもよい。スペーサ32は透光性を有してもよいし、透光性を有していなくてもよい。平面視において、複数のスペーサ32の少なくとも1つは、マイクロレンズ40aに重なる位置に配置され得る。

20

【0163】

複数のスペーサ32は、それらがイメージセンサ60の周縁領域60p付近および光検出面60sのいずれに設けられているかに関係なく、各フィルタ100の光出射面と光検出面60sとの距離をより正確に規定することに役立つ。光検出面60sに設けられ、マイクロレンズ40aに重なるスペーサ32は、光検出素子60aが検出する光のスペクトルのランダム性を向上させることにも役立つ。スペーサ32の屈折率が透明接着剤34の屈折率と異なっていれば、光検出素子60aに入射する光の一部が、スペーサ32によって変調されるからである。

【0164】

図16Aおよび図16Bに示す例において、光出射面10s₂と光検出面60sとの間の空間は、透明接着剤34で充填されている。したがって、光検出装置300の機械的強度を向上させることができる。その結果、光検出装置300の信頼性を向上させることができる。さらに、イメージセンサ60から発せられた熱が、透明接着剤34を介してフィルタアレイ10および基板20に伝わるので、当該熱を効率的に外部に放出することができる。本実施形態では、光出射面10s₂の少なくとも一部と光検出面60sの少なくとも一部とが透明接着剤34で接着されている。あるいは、図15Aから図15Cに示すように、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60の周縁領域60pの少なくとも一部とを接着剤で貼り合わせてもよい。この場合、当該接着剤は透明である必要はない。

30

【0165】

図16Cは、図16Bに示す複数のスペーサ32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、複数のスペーサ32が、イメージセンサ60の周縁領域60pではなくイメージセンサ60の光検出面60sに設けられている。光検出素子60aが検出する光のスペクトルのランダム性をさらに向上させる必要がある場合、図16Cに示す複数のスペーサ32の配置が有効である。

40

【0166】

図16Dは、図16Bに示す複数のスペーサ32の配置のさらに他の例を模式的に示す平面図である。図16Dに示す例では、複数のスペーサ32が、イメージセンサ60の光検出面60sよりもむしろイメージセンサ60の周縁領域60p付近に設けられている。光検出素子60aが検出する光のスペクトルのランダム性を向上させる必要がなく、各フ

50

フィルタ１００の光出射面と光検出面６０ｓとの距離をより正確に規定する必要がある場合、図１６Ｄに示す複数のスペーサ３２の配置が有効である。

【０１６７】

図１６Ｅは、図１６Ｂに示す複数のスペーサ３２の配置のさらに他の例を模式的に示す平面図である。図１６Ｅ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６０の周縁領域６０ｐに配置されている。接着剤３５は、スペーサ３２と同様に柱状形状を有する。周縁領域６０ｐに配置される接着剤３５は透明でなくてもよい。周縁領域６０ｐ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。したがって、フィルタアレイ１０の光出射面１０ｓ２と、イメージセンサ６０の光検出面６０ｓ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とイメージセンサ６０と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。さらに、光検出面６０ｓ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。光検出素子６０ａが検出する光のスペクトルのランダム性を向上させる必要がなく、透明接着剤３４によって機械的強度を向上させる必要がなく、光出射面１０ｓ２と光検出面６０ｓとの距離をより正確に規定する必要がある場合、図１６Ｅに示す複数のスペーサ３２の配置が有効である。

10

【０１６８】

図１６Ｅ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６０の周縁領域６０ｐ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６０の周縁領域６０ｐ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１６Ｅ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６０ｓ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。

20

【０１６９】

<スペーサの形成方法>

30

スペーサ３２の形成方法として、例えば、イメージセンサ６０の光検出面６０ｓに複数のスペーサ３２を形成する方法が考えられる。しかし、当該方法では、以下の課題が生じ得る。光検出面６０ｓに複数のスペーサ３２を形成したイメージセンサ６０と、凹凸面である光出射面１０ｓ２を有するフィルタアレイ１０とを貼り合わせる場合を想定する。この場合、イメージセンサ６０の光検出面６０ｓとフィルタアレイ１０の光出射面１０ｓ２との距離が画素ごとに異なること、または、フィルタアレイ１０の周縁領域１０ｐとイメージセンサ６０の周縁領域６０ｐとの距離が場所ごとに異なることから、一部のスペーサ３２が、フィルタアレイ１０の光出射面１０ｓ２に接触しない可能性がある。そのような構成では、貼り合わされたフィルタアレイ１０およびイメージセンサ６０の機械的強度が低下したり、光出射面１０ｓ２と光検出面６０ｓとの間の距離を規定する精度が低下したりする課題が生じ得る。当該課題を解決するため、本発明者らは、フィルタアレイ１０の光出射面１０ｓ２に複数のスペーサ３２を形成する方法に想到した。

40

【０１７０】

以下に、図１７Ａから図１７Ｄを参照して、フィルタアレイ１０の光出射面１０ｓ２に複数のスペーサ３２を形成する方法を説明する。図１７Ａから図１７Ｄは、スペーサの形成方法における工程の例を説明するための図である。

【０１７１】

最初の工程において、図１７Ａに示すように、凹凸面を有するフィルタアレイ１０が用意される。図１７Ａに示す例において、フィルタアレイ１０は基板２０によって支持されているが、基板２０はなくてもよい。

50

【0172】

次の工程において、図17Bに示すように、フィルタレイ10の光出射面10s₂に、例えばスピコートによって液体状のフォトレジスト32Aが塗布される。スピコートされたフォトレジスト32Aは、光出射面10s₂の不規則な凹凸を吸収する、または埋めるので、フォトレジスト32Aの最表面は平坦になる。図17Bを参照して説明する工程により、フィルタレイ10の凹凸面にフォトレジストを形成することができる。

【0173】

次の工程において、図17Cまたは図17Dに示すように、フォトレジストをパターンニングすることにより、フィルタレイ10の光出射面10s₂に高さが揃った複数のスペーサ32が形成される。ここで、高さが揃うとは、複数のスペーサ32の端部が、鉛直方向において、ほぼ同一の高さに位置することを意味する。図17Cに示すように、各スペーサ32の断面のサイズが、1つの画素のサイズ以下である場合、画素ごとにスペーサの鉛直方向の長さは異なる一方、フィルタレイ10内で複数のスペーサ32の高さは揃う。図17Dに示すように、各スペーサ32の断面のサイズが、1つの画素のサイズよりも大きい場合であっても、フィルタレイ10内で複数のスペーサ32の高さは揃う。図17Cまたは図17Dを参照して説明する工程により、フィルタレイ10の凹凸面に複数のスペーサを形成することができる。

【0174】

図17Aから図17Dに示す例では、フィルタレイ10の光出射面10s₂に複数のスペーサ32が形成されている。この例に限定されず、フィルタレイ10の光出射面10s₂および／または周縁領域10pに複数のスペーサ32が形成されてもよい。本明細書では、複数のスペーサ32が形成されたフィルタレイ10を、「構造体」とも称する。

【0175】

<フィルタレイ10とイメージセンサ60との貼り合わせ>

次に、図18Aから図18Cを参照して、フィルタレイ10とイメージセンサ60とを貼り合わせる方法を説明する。図18Aから図18Cは、フィルタレイ10とイメージセンサ60とを貼り合わせる方法における工程の例を説明するための図である。

【0176】

最初の工程において、図18Aに示すように、光出射面10s₂に複数のスペーサ32が形成されたフィルタレイ10と、光検出面60sに複数の接着剤35が点状に配置されたイメージセンサ60とが用意される。接着剤35は、例えば光硬化樹脂または熱硬化性樹脂から形成され得る。光硬化樹脂は、紫外線硬化樹脂または可視光硬化性樹脂であり得る。図18Aに示す例において、接着剤35は、概略的に半楕円球状の形状を有する。接着剤35の形状は任意である。

【0177】

次の工程において、図18Bに示すように、フィルタレイ10の光出射面10sとイメージセンサ60の光検出面60sとを互いに対向させた状態で、フィルタレイ10が、複数のスペーサ32および複数の接着剤35を介してイメージセンサ60に押し当てられる。図18Bに示すように、光入射面10s₁に対して垂直な方向から見たとき、スペーサ32と接着剤35とが互いに重ならないように配置されていてもよい。この工程において、接着剤35は、フィルタレイ10によって押さえつけられて概略的に円柱形状を有するようになる。押さえつけにより、図18Bに示す接着剤35の径は、図18Aに示す接着剤35の径よりも大きくなる。

【0178】

次の工程において、接着剤35が光硬化樹脂から形成される場合、図18Cに示すように、フィルタレイ10および基板20を介して複数の接着剤35が光で照射される。図18Cに示す矢印は、光照射の様子を表す。光硬化樹脂が紫外線硬化樹脂である場合、照射光は紫外線であり、光硬化樹脂が可視光硬化性樹脂である場合、照射光は可視光である。光照射によって複数の接着剤35が硬化されて、フィルタレイ10とイメージセンサ60とが互いにほぼ平行な状態で貼り合わせられる。この貼り合わせにより、各フィルタ

100の光出射面と、対応する光検出素子60aの光検出面との距離を正確に規定することができる。接着剤35が熱硬化性樹脂から形成される場合、複数の接着剤35が加熱によって硬化されて、フィルタレイ10とイメージセンサ60とが互いにほぼ平行な状態で貼り合わせられる。

【0179】

図18Aから図18Cに示す例では、光出射面10s₂に複数のスペーサ32が形成されたフィルタレイ10と、光検出面60sに複数の接着剤35が配置されたイメージセンサ60とが貼り合わせられる。この例に限定されず、光出射面10s₂および／または周縁領域10pに複数のスペーサ32が形成されたフィルタレイ10と、光検出面60sおよび／または周縁領域60pに複数の接着剤35が配置されたイメージセンサ60とが貼り合わせられてもよい。図18Aから図18Cでは示していないが、フィルタレイ10の周縁領域10pとイメージセンサ60の周縁領域60pとは互に対向している。

【0180】

＜フィルタレイおよびイメージセンサの封止＞

次に、図19および図20を参照して、フィルタレイ10およびイメージセンサ60をパッケージ内に封止する例を説明する。

【0181】

図19は、光検出装置300の第8の例を模式的に示す断面図である。図19に示す第8の例が図16Aに示す第7の例とは異なる点は、光検出装置300が透明カバー50とパッケージ80とを備え、光出射面10s₂と光検出面60sとの間の透明接着剤34を備えないことである。透明カバー50は、対象波長域に含まれるすべての波長域W₁から波長域W_i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。透明カバー50は凸部50pを有する。透明カバー50の凸部50pは、透明接着剤36を介してフィルタレイ10および基板20を支持する。透明カバー50は、例えばガラスまたはプラスチックから形成され得る。透明接着剤36の屈折率が透明カバー50の屈折率に近ければ、透明カバー50と透明接着剤36との界面での光の反射を抑制することができる。パッケージ80は、底部82と、側壁84と、底部82を貫通する複数対のリード電極80aとを備える。底部82は、イメージセンサ60が設けられる第1領域82aを有する。側壁84は、底部82のうち、第1領域82aの周囲に位置する第2領域82bから底部82に垂直な方向に延び、イメージセンサ60を囲む形状を有する。複数対のリード電極80aは、それぞれイメージセンサ60に含まれる複数の光検出素子60aに電氣的に接続されている。各光検出素子60aで発生した光電流を、一対のリード電極80aから取り出すことができる。

【0182】

パッケージ80の側壁84の上面と、透明カバー50のうち、当該上面に対向する周縁領域とが接合される。この接合には、例えば、はんだ付け材料もしくはろう付け材料、または光硬化性樹脂もしくは熱硬化性樹脂が用いられ得る。図19に示すように、透明カバー50およびパッケージ80は、フィルタレイ10およびイメージセンサ60を封止する。この封止により、塵、ほこり、または水分が光検出装置300の内部に混入することを抑制できる。その結果、光検出装置300の信頼性を向上させることができる。

【0183】

図19に示す光検出装置300は、イメージセンサ60および複数対のリード電極80aを含むパッケージ80を、透明接着剤36を介してフィルタレイ10および基板20を支持する透明カバー50で覆うことによって製造することができる。パッケージ80を透明カバー50で覆うので、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。複数のスペーサ32は、パッケージ80を透明カバー50で覆う前に、光出射面10s₂に設けられている。透明カバー50の凸部50pの厚さおよび透明接着剤36の厚さは、パッケージ80を透明カバー50で覆うときに、複数のスペーサ32が光検出面60sに接触するように設計されている。パッケージ80を透明カバー50で覆うと、硬化前の透明接着剤36が圧縮されて透明接着剤36の厚さが減少する。その結果、

各フィルタ100の光出射面と光検出面60sとの距離は、複数のスペーサ32によってより正確に規定される。パッケージ80の側壁84の高さに製造誤差がある場合、基板20と透明カバー50との隙間の大きさはパッケージ80ごとに異なり得る。当該製造誤差は、例えば100 μm から300 μm になることもある。透明接着剤36が光硬化性樹脂から形成されている場合、基板20と透明カバー50との隙間の大きさがパッケージ80ごとに異なっているとしても、当該隙間を硬化前の伸縮する透明接着剤36で埋めることができる。透明接着剤36は、その後光で照射されて、または加熱されて硬化される。図19に示す形態とは異なり、フィルタアレイ10の上に位置する基板20と透明カバー50とを透明接着剤36によって互いに接合しなくてもよい。この場合、基板20と透明カバー50との間には隙間があるので、両者は互いに接触しない。フィルタアレイ10は接着剤35によってイメージセンサ60に固定される。

10

【0184】

図20は、光検出装置300の第9の例を模式的に示す断面図である。図20に示す第9の例が図19に示す第8の例とは異なる点は以下の3点である。透明カバー50の凸部50pが基板20を介さずにフィルタアレイ10を直接支持する。パッケージ80の側壁84が、基板20がない分だけより低くなっている。パッケージ80の側壁84の上面と、透明カバー50のうち、当該上面に対向する周縁領域とが、光硬化性樹脂または熱硬化性樹脂から形成された接着剤38で接合される。

【0185】

図20に示すように、フィルタアレイ10を透明カバー50の凸部50p上に直接積層してもよい。図19に示す第8の例と比較して、基板20がない分だけ、部品数を減らすことができる。パッケージ80の側壁84の高さに製造誤差があっても、パッケージ80の側壁84の上面と、透明カバー50の周縁領域との隙間を、硬化前の伸縮する接着剤38で埋めることができる。接着剤38は、その後光で照射されて、または加熱されて硬化される。その結果、透明カバー50がパッケージ80に接合される。接着剤38は透明である必要はない。

20

【0186】

＜カラーフィルタを含むフィルタアレイおよびイメージセンサの配置関係＞

前述した例において、フィルタアレイ10はファブリ・ペローフィルタを含む。そのようなフィルタアレイ10は、ハイパースペクトルカメラに使用され得る。本開示のフィルタアレイは、ハイパースペクトルカメラに限らず、例えば3原色（赤、緑、青）のカラー画像を取得する一般的なカメラ（すなわち撮像装置）にも用いることができる。その場合、フィルタアレイ10は、ファブリ・ペローフィルタではなくカラーフィルタを含み得る。前述の干渉縞の影響を低減する効果は、ファブリ・ペローフィルタに限らず、カラーフィルタによるフィルタアレイにおいても得られる。カラーフィルタを含むフィルタアレイは、ハイパースペクトルカメラにも使用され得る。以下、そのようなフィルタアレイを用いてハイパースペクトル画像、すなわち前述の分離画像220を取得する構成の例を説明する。

30

【0187】

図21は、赤色フィルタ、緑色フィルタ、および青色フィルタの透過スペクトルを模式的に示す図である。図21に示す「R」、「G」、および「B」は、それぞれ赤色、緑色、および青色を表す。本明細書において、赤色、緑色、および青色のカラーフィルタをそれぞれ「Rフィルタ」、「Gフィルタ」、および「Bフィルタ」と称する。Rフィルタの透過スペクトルは、600 nm以上700 nm以下の範囲の波長で極大値を有し、この範囲と同程度のピーク幅を有する。Gフィルタの透過スペクトルは、500 nm以上600 nm以下の範囲の波長で極大値を有し、この範囲と同程度のピーク幅を有する。Bフィルタの透過スペクトルは、400 nm以上500 nm以下の範囲の波長で極大値を有し、この範囲と同程度のピーク幅を有する。各カラーフィルタの透過スペクトルは、対象波長域W内で単一の幅広いピークを有する。このピーク幅は、対象波長域Wに含まれる複数の波長域 W_1 、 W_2 、 $\dots$ 、 W_i のうち、2つ以上の波長域を含むほど広い。各カラーフィル

40

50

タの透過スペクトルがこのような幅広いピークを有していれば、いずれかのカラーフィルタが対象波長域 W 内の隣り合う波長域 W_i と波長域 W_{i+1} との間で透過率の差を有し得る。この場合、各カラーフィルタの透過スペクトルが対象波長域 W 内で2つ以上のピークを有さなくても、複数の分離画像220を得ることができる。

【0188】

したがって、図7に示す第1の例から図20に示す第9の例におけるファブリ・ペローフィルタを含むフィルタアレイ10を、カラーフィルタを含むフィルタアレイ10に置き換えてもよい。カラーフィルタを用いることにより、低コストでフィルタアレイ10を製造することができる。

【0189】

次に、図22から図31を参照して、カラーフィルタを含むフィルタアレイ10およびイメージセンサ60の配置関係の例を説明する。前述した説明と重複する説明については省略する。

【0190】

図22は、本開示の実施形態による光検出装置300の第10の例を模式的に示す断面図である。図22に示す第10の例が図7に示す第1の例とは異なる点は、フィルタアレイ10が、カラーフィルタであるフィルタ100を含むことである。カラーフィルタは、例えばカラーレジストから形成され得る。フィルタアレイ10は、基板20上に、ランダム分布または準ランダム分布のように不規則に配列された複数のRフィルタ、複数のGフィルタ、および複数のBフィルタを含む。Rフィルタ、Gフィルタ、およびBフィルタの厚さは互いに異なっている。各フィルタの厚さは、例えば100nm以上5 μ m以下であり得る。光出射面10s₂と光検出面60sとの距離は、Rフィルタ、Gフィルタ、およびBフィルタごとに異なっている。光出射面10s₂と光検出面60sとの距離が不均一になるので、光出射面10s₂と光検出面60sとの間で光の多重反射が生じて、撮像画像に干渉縞が現れることを抑制できる。光出射面10s₂と光検出面60sとの距離が不均一であれば、フィルタアレイ10が通常のベイヤー配列のカラーフィルタを含んでいても、撮像画像に干渉縞が現れることを抑制できる。ファブリ・ペローフィルタを含むフィルタアレイ10とは異なり、カラーフィルタを含むフィルタアレイ10は実質的な反りを有しない。したがって、フィルタアレイ10が基板20の反りに及ぼす影響は十分に小さい。

【0191】

本実施形態によるフィルタアレイ10は、対象波長域 W 内で透過スペクトルが互いに異なる2種類以上のカラーフィルタを備える。光出射面10s₂と光検出面60sとの距離は、当該2種類以上のカラーフィルタごとに異なっている。カラーフィルタは、Rフィルタ、Gフィルタ、およびBフィルタのような原色系フィルタであってもよい。あるいは、カラーフィルタは、シアン色のフィルタ、マゼンタ色のフィルタ、および黄色のフィルタのような補色系フィルタであってもよい。あるいは、カラーフィルタは、原色系フィルタおよび補色系フィルタが混合したフィルタであってもよい。なお、本実施形態によるフィルタアレイ10は、透明フィルタまたはNDフィルタなどの、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。

【0192】

図23Aおよび図23Bは、図22に示す光検出装置の変形例を模式的に示す断面図である。図23Aおよび図23Bに示す変形例は、それぞれ、図9Aおよび図9Bに示す変形例に相当する。

【0193】

図24Aから図24Cは、それぞれ本開示の実施形態による光検出装置300の第11から第13の例を模式的に示す断面図である。図24Aに示す第11の例は、図10に示す第2の例に相当する。図24Bに示す第12の例および図24Cに示す第13の例は、カラーフィルタを含むフィルタアレイ10に特有の構成である。

【0194】

図 2 4 B に示す第 1 2 の例が図 2 2 に示す第 1 0 の例とは異なる点は、複数のフィルタ 1 0 0 の各々が、光出射面に反射防止膜 2 2 を備えることである。すべてのフィルタ 1 0 0 ではなく、少なくとも 1 つのフィルタ 1 0 0 が反射防止膜 2 2 を備えていてもよい。ファブリ・ペローフィルタに反射防止膜 2 2 を直接設けると、ファブリ・ペローフィルタの透過スペクトルが変化する可能性がある。これに対して、カラーフィルタに反射防止膜 2 2 を直接設けても、カラーフィルタの透過スペクトルは変化しない。したがって、カラーフィルタを含むフィルタアレイ 1 0 では、光出射面 1 0 s₂ に反射防止膜 2 2 を設けることができる。反射防止膜 2 2 は、図 2 2 に示す第 1 0 の例におけるフィルタアレイ 1 0 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、光出射面 1 0 s₂ と光検出面 6 0 s との間で生じる光の多重反射を抑制することができる。その結果、撮像画像に干渉縞が現れることをさらに抑制することができる。図 2 4 C に示す第 1 3 の例が図 2 4 B に示す第 1 2 の例とは異なる点は、基板 2 0 が、フィルタアレイ 1 0 を支持する面とは反対側の面に反射防止膜 2 2 をさらに備えることである。2 つの反射防止膜 2 2 により、光検出装置 3 0 0 の光検出効率をさらに向上させることができる。

10

【0195】

図 2 5 および図 2 6 は、それぞれ本開示の実施形態による光検出装置 3 0 0 の第 1 4 および第 1 5 の例を模式的に示す断面図である。図 2 5 に示す第 1 4 の例は、図 1 1 に示す第 3 の例に相当する。図 2 6 に示す第 1 5 の例は、図 1 2 に示す第 4 の例に相当する。

【0196】

図 2 7 は、本開示の実施形態による光検出装置 3 0 0 の第 1 6 の例を模式的に示す平面図である。図 2 7 に示す第 1 6 の例は、図 1 3 に示す第 5 の例に相当する。

20

【0197】

図 2 8 は、本開示の実施形態による光検出装置 3 0 0 の第 1 7 の例を模式的に示す断面図である。図 2 8 に示す第 1 7 の例は、図 1 5 A に示す第 6 の例に相当する。図 2 8 に示すフィルタアレイ 1 0 の周縁領域 1 0 p は、例えば、R フィルタ、G フィルタ、および B フィルタのいずれかのフィルタの表面であり得る。

【0198】

図 2 9 から図 3 1 は、それぞれ本開示の実施形態による光検出装置 3 0 0 の第 1 8 から 2 0 の例を模式的に示す断面図である。図 2 9 に示す第 1 8 の例は、図 1 6 A に示す第 7 の例に相当する。図 3 0 に示す第 1 9 に示す例は、図 1 9 に示す第 8 の例に相当する。図 3 1 に示す第 2 0 の例は、図 2 0 に示す第 9 の例に相当する。

30

【0199】

なお、上記の光検出装置 3 0 0 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 1 0 に示す第 2 の例における反射防止膜 2 2 を、図 1 1 に示す第 3 の例から図 2 0 に示す第 9 の例のいずれかに適用してもよい。あるいは、図 1 3 に示す第 5 の例におけるフィルタアレイ 1 0 およびイメージセンサ 6 0 を、図 1 9 に示す第 8 の例または図 2 0 に示す第 9 の例における透明カバー 5 0 およびパッケージ 8 0 によって封止してもよい。

【産業上の利用可能性】

【0200】

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。

40

【符号の説明】

【0201】

- 1 0 フィルタアレイ
- 1 0 s₁ 光入射面
- 1 0 s₂ 光出射面
- 1 0 p フィルタアレイの周縁領域

50

- 1 2 干渉層
- 1 4 a 第 1 反射層
- 1 4 b 第 2 反射層
- 2 0 基板
- 2 2 反射防止膜
- 3 0 両面テープ
- 3 2 スペース
- 3 2 A フォトリソグ
- 3 4、3 6 透明接着剤
- 3 5 接着剤
- 3 8 接着剤
- 4 0 光学系
- 4 0 a マイクロレンズ
- 5 0 透明カバー
- 5 0 p 透明カバーの凸部
- 6 0 イメージセンサ
- 6 0 s 光検出面
- 6 0 a 光検出素子
- 6 0 p イメージセンサの周縁領域
- 7 0 対象物
- 8 0 パッケージ
- 8 2 底部
- 8 2 a 底部の第 1 領域
- 8 2 b 底部の第 2 領域
- 8 4 側壁
- 1 0 0 フィルタ
- 1 2 0 画像
- 2 0 0 信号処理回路
- 2 2 0 分離画像
- 3 0 0 光検出装置
- 4 0 0 光検出システム

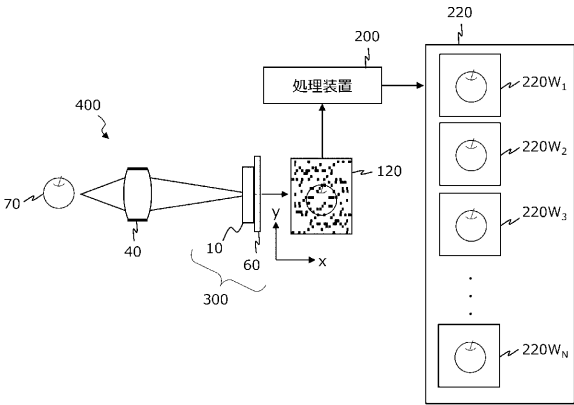
10

20

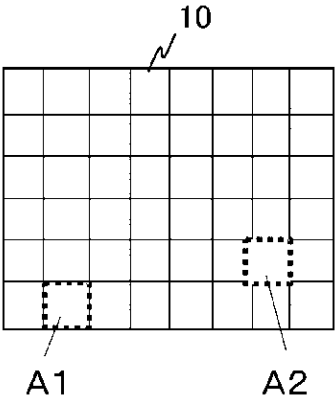
30

【図面】

【図 1】



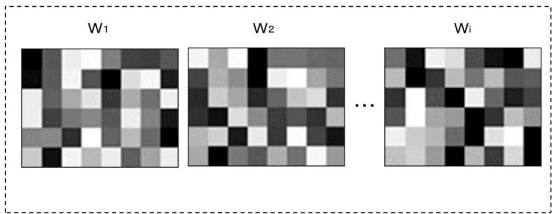
【図 2 A】



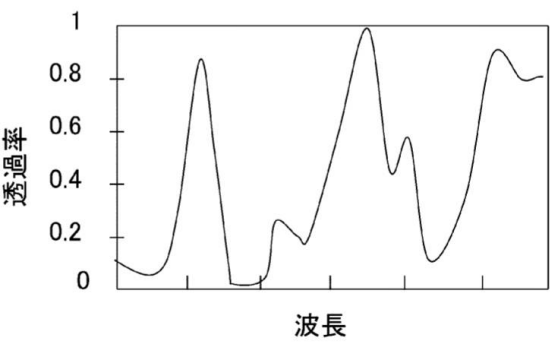
40

50

【図 2 B】

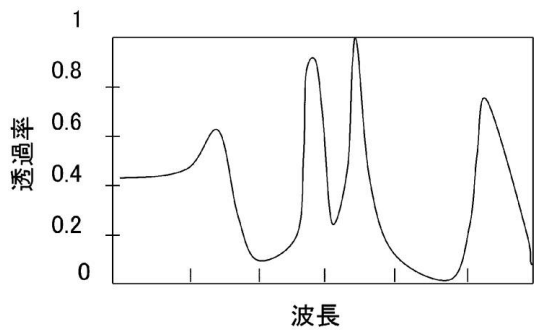


【図 2 C】

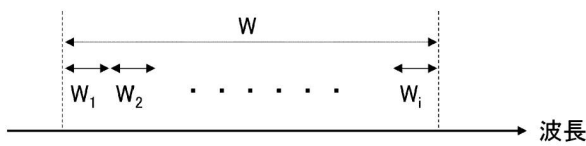


10

【図 2 D】

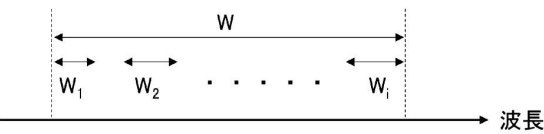


【図 3 A】

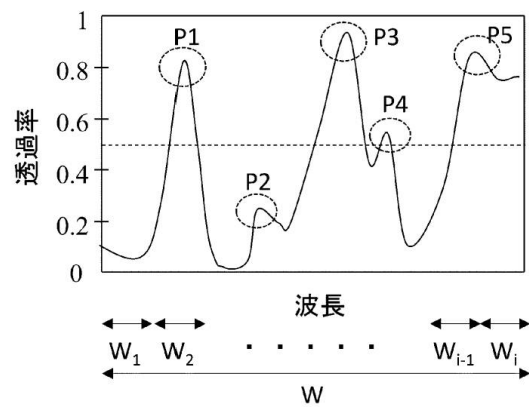


20

【図 3 B】



【図 4 A】

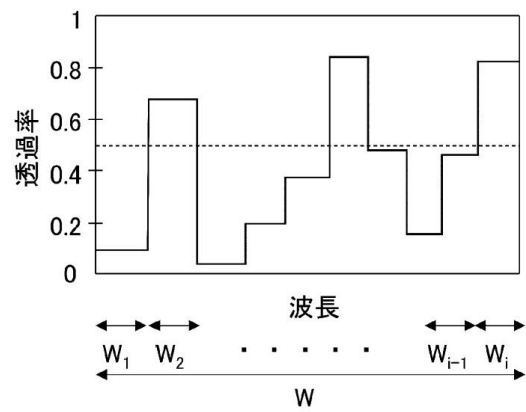


30

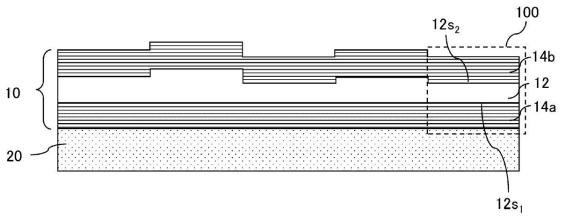
40

50

【図 4 B】

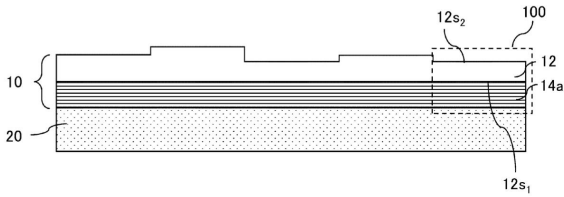


【図 5 A】

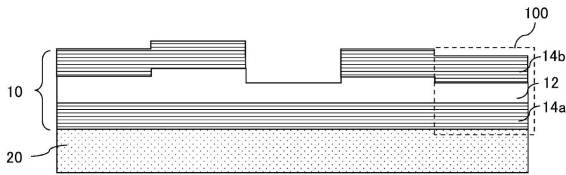


10

【図 5 B】

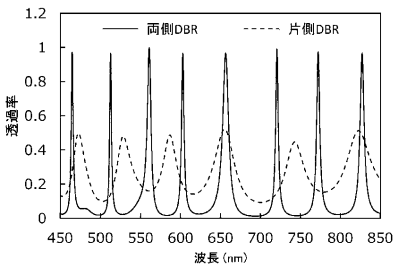


【図 5 C】

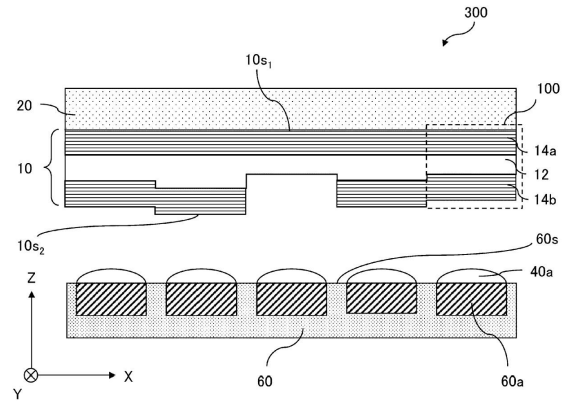


20

【図 6】



【図 7】

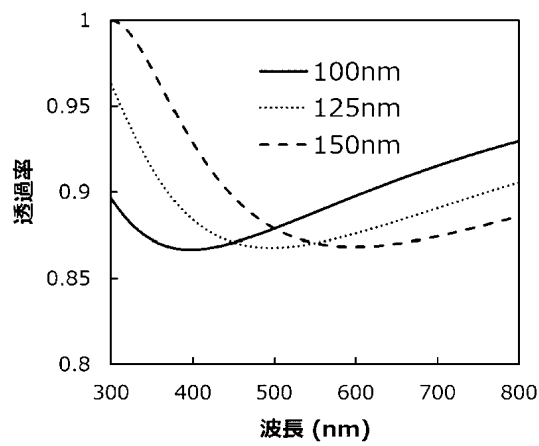


30

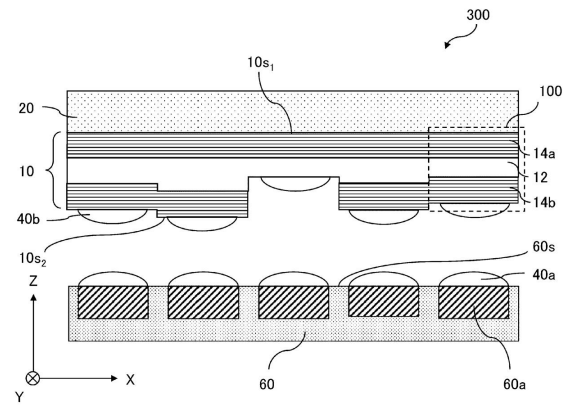
40

50

【図 8】

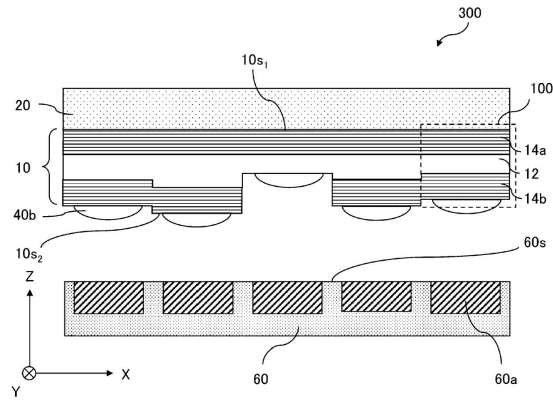


【図 9 A】

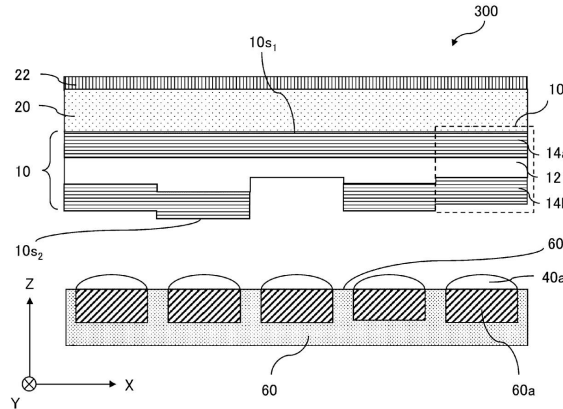


10

【図 9 B】



【図 10】



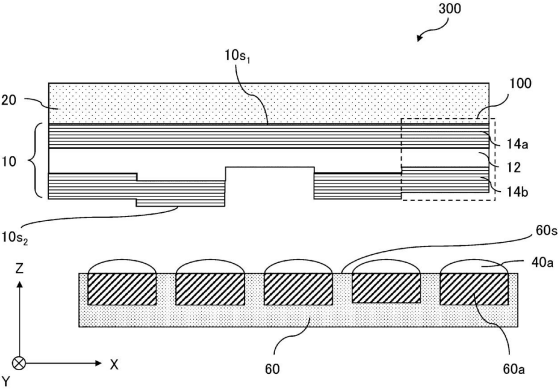
20

30

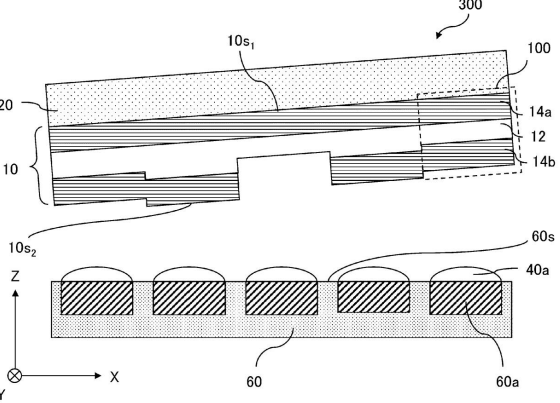
40

50

【図 1 1】

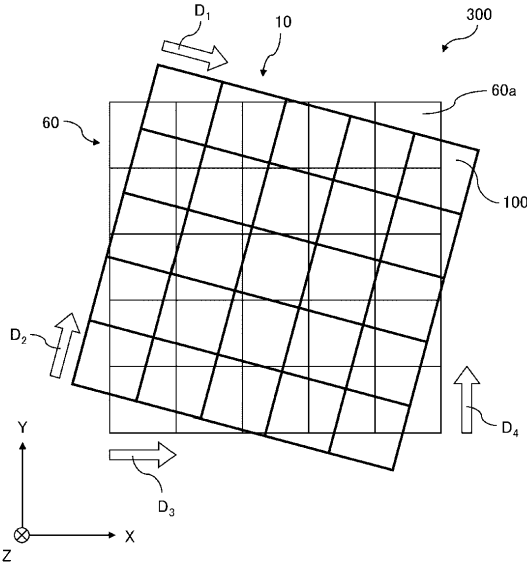


【図 1 2】

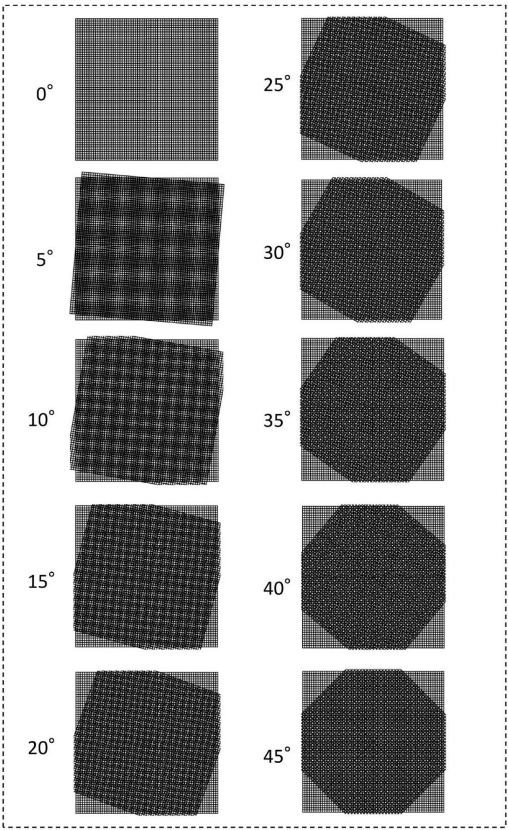


10

【図 1 3】



【図 1 4】



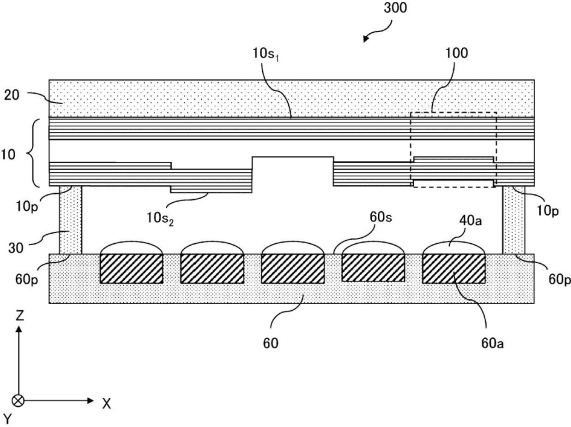
20

30

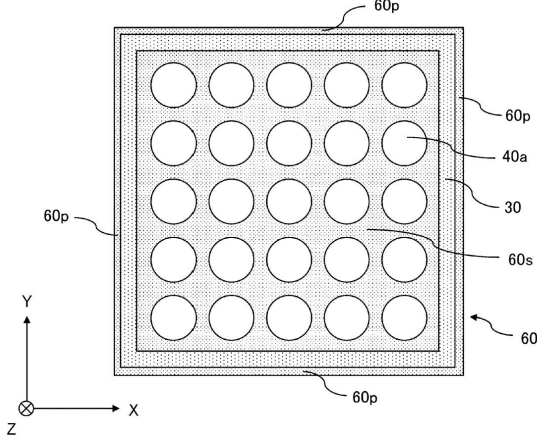
40

50

【図 1 5 A】

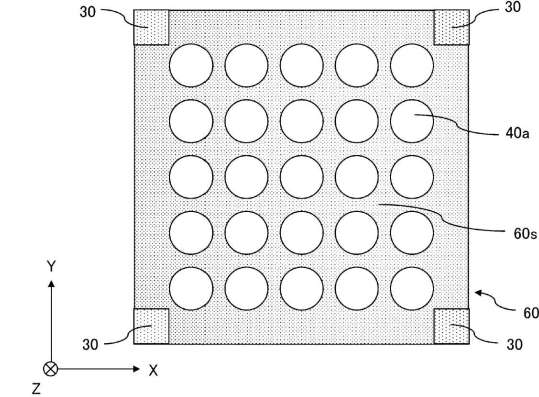


【図 1 5 B】

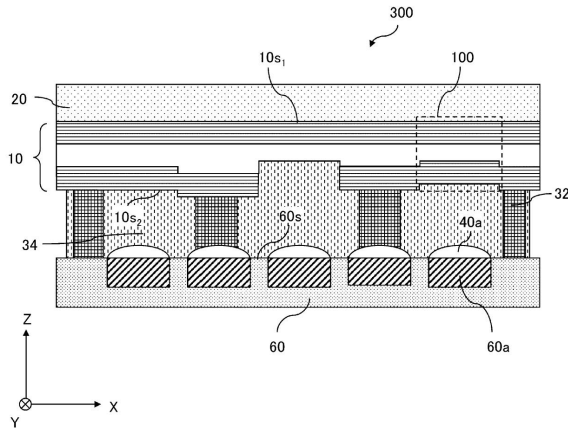


10

【図 1 5 C】



【図 1 6 A】



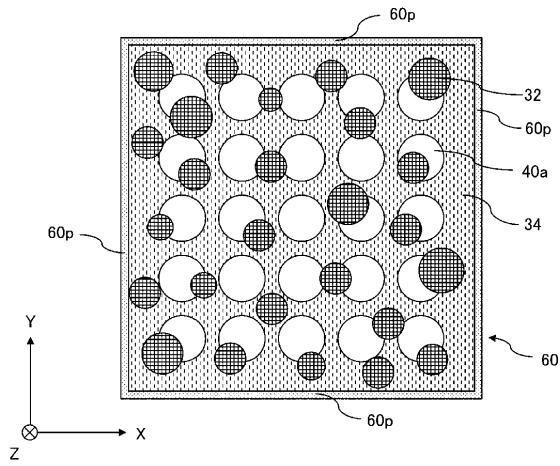
20

30

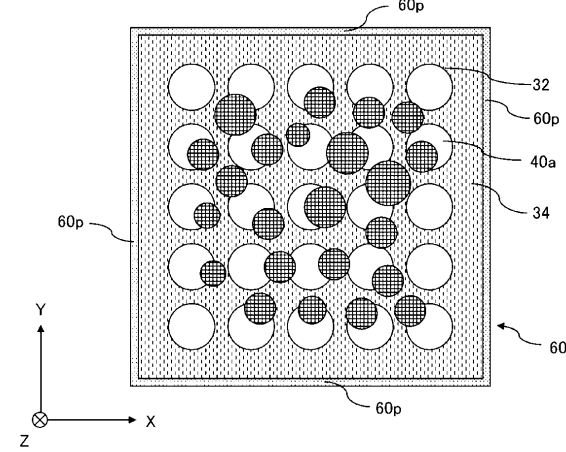
40

50

【図 1 6 B】

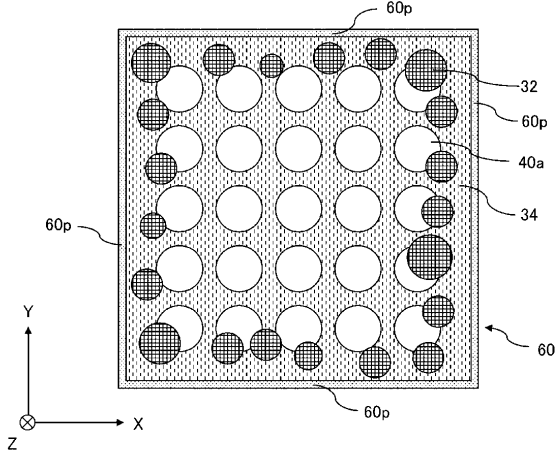


【図 1 6 C】

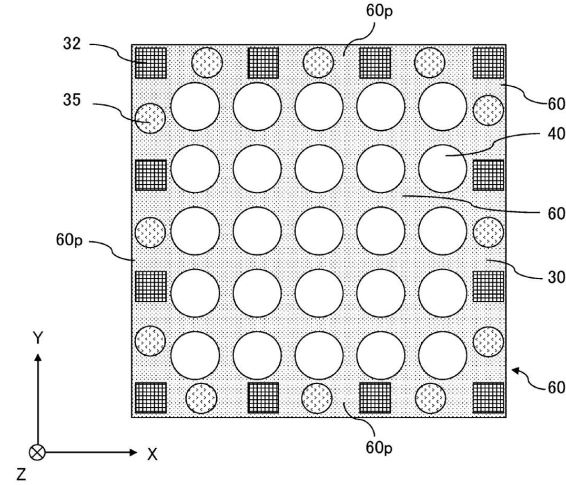


10

【図 1 6 D】



【図 1 6 E】



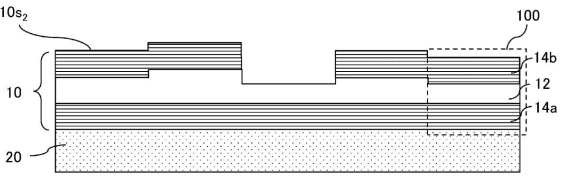
20

30

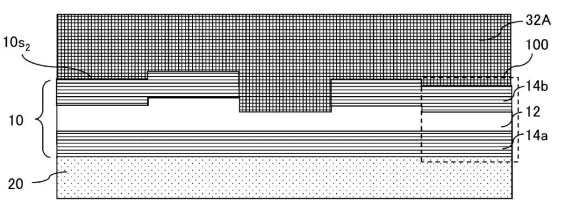
40

50

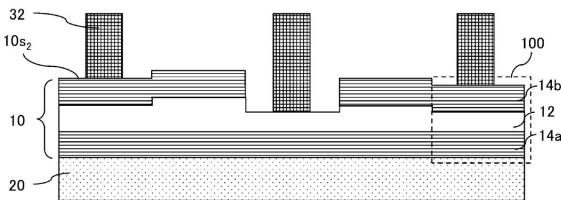
【図 1 7 A】



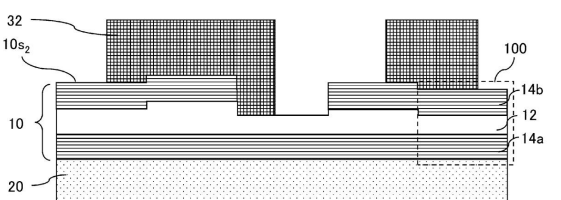
【図 1 7 B】



【図 1 7 C】

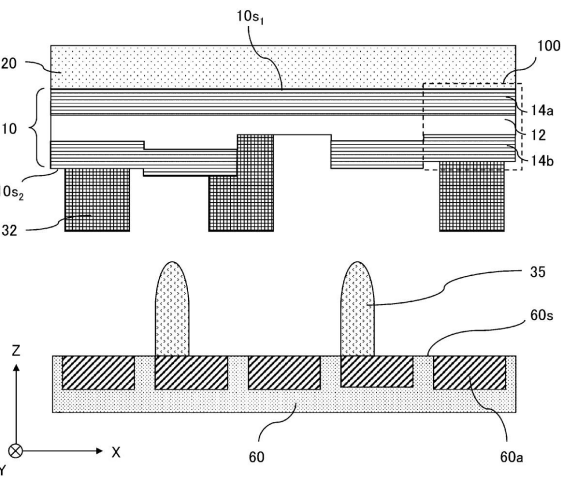


【図 1 7 D】

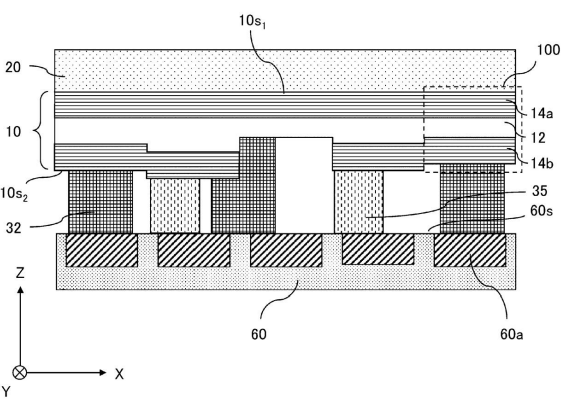


10

【図 1 8 A】



【図 1 8 B】



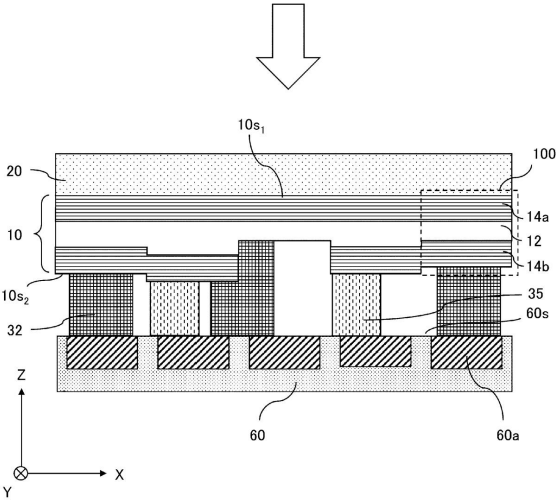
20

30

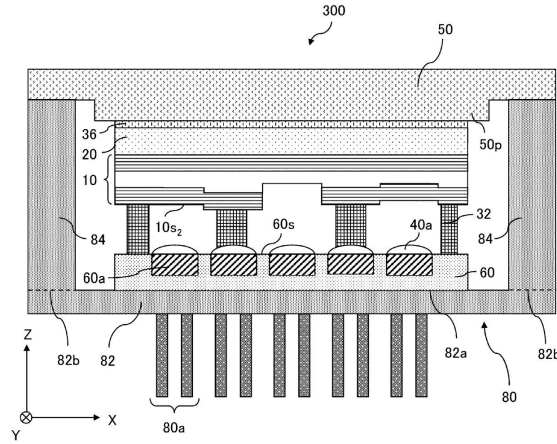
40

50

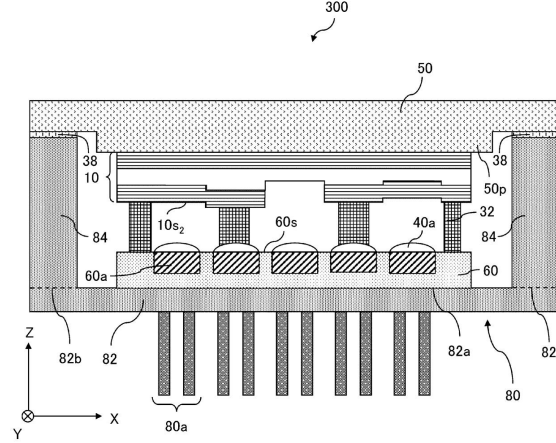
【図 18 C】



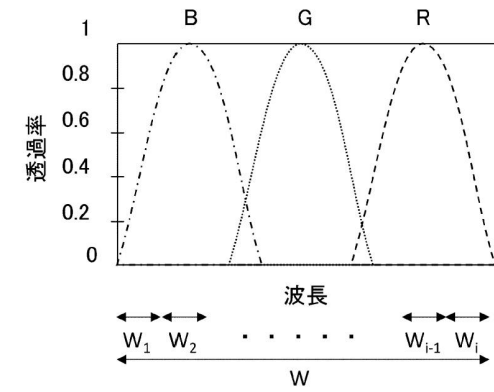
【図 19】



【図 20】



【図 21】



10

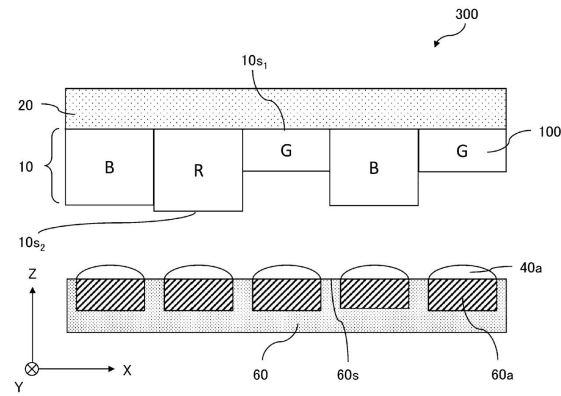
20

30

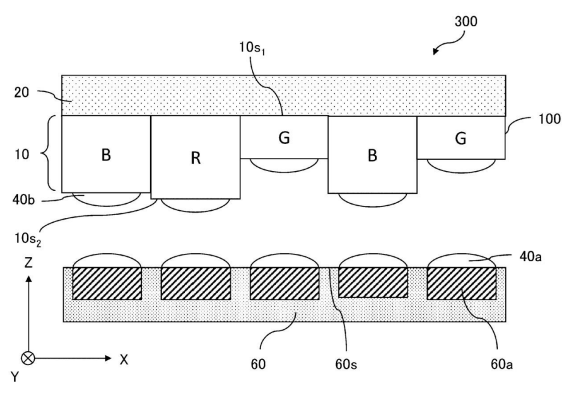
40

50

【図 2 2】

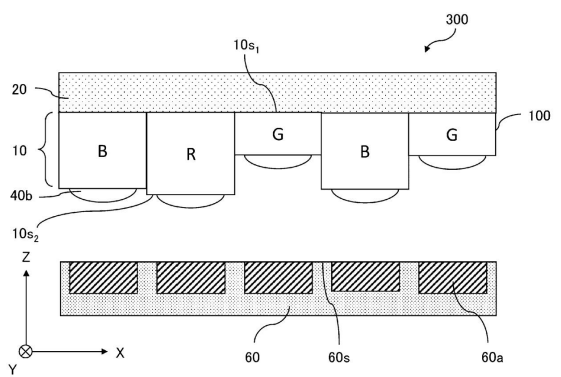


【図 2 3 A】

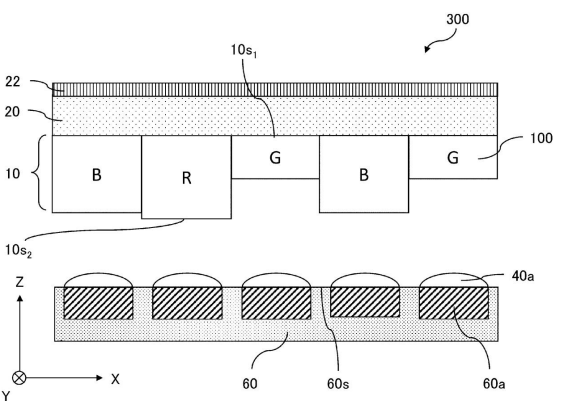


10

【図 2 3 B】



【図 2 4 A】



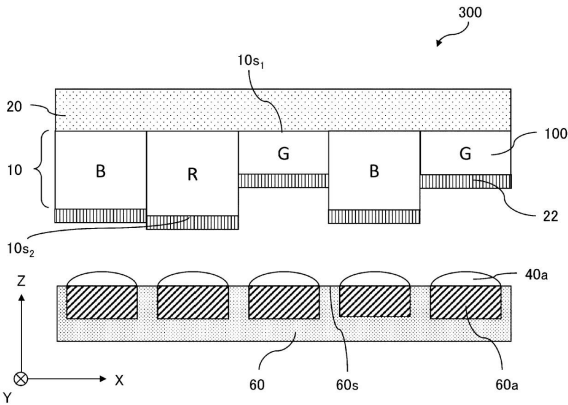
20

30

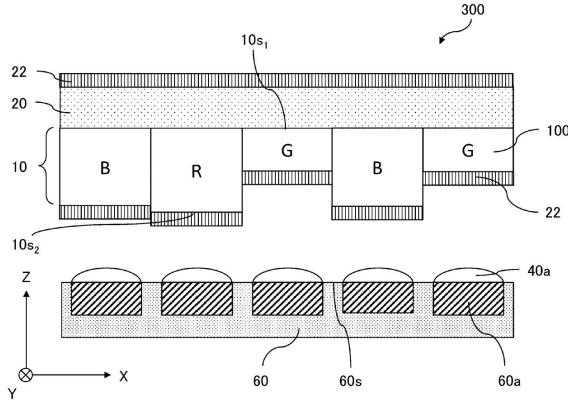
40

50

【図 2 4 B】

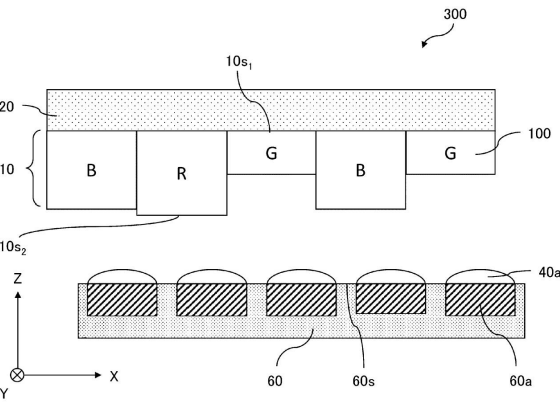


【図 2 4 C】

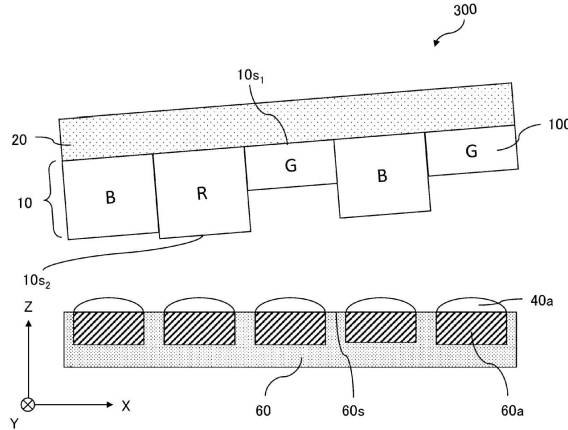


10

【図 2 5】



【図 2 6】



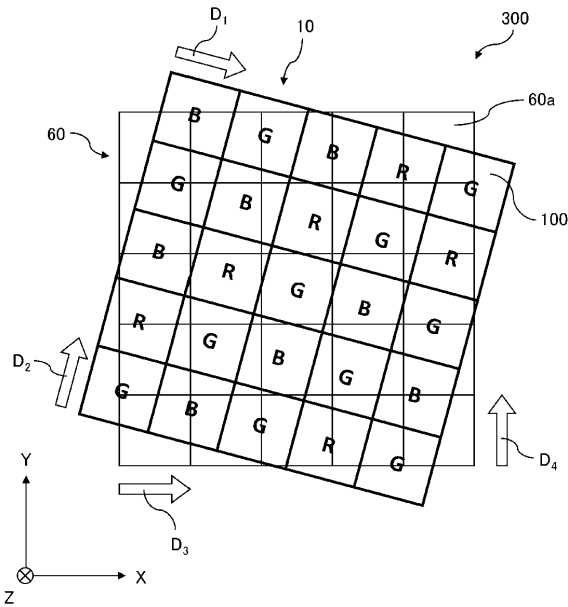
20

30

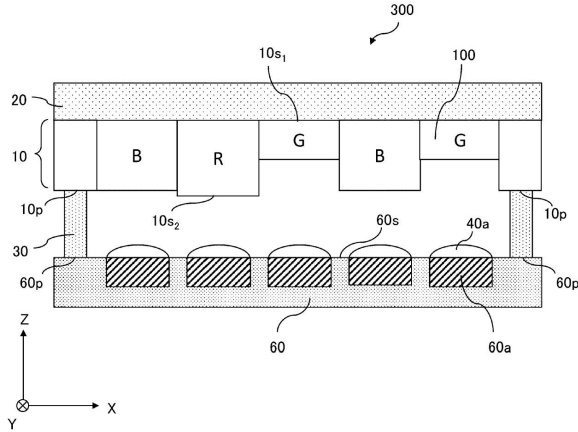
40

50

【図 27】

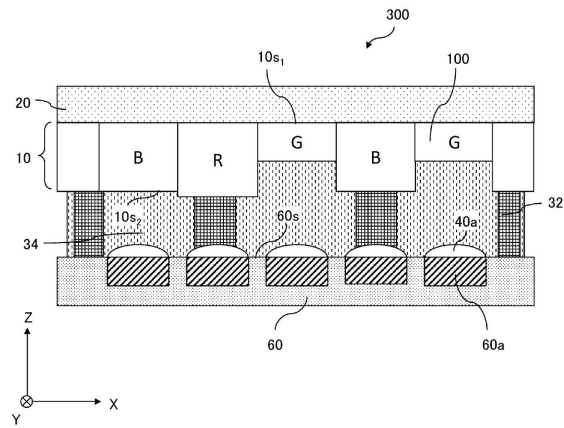


【図 28】

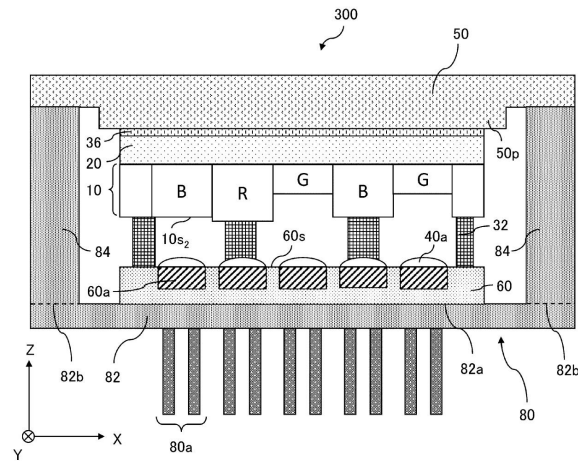


10

【図 29】



【図 30】



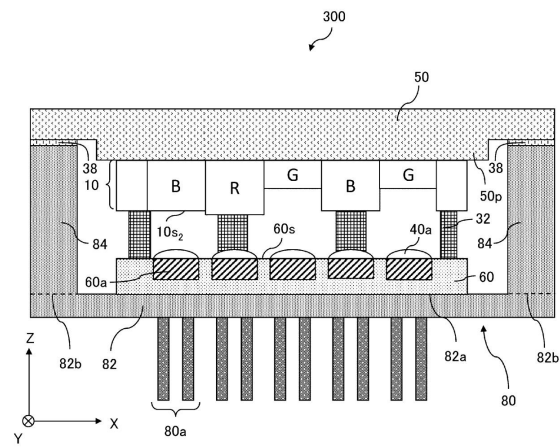
20

30

40

50

【図 3 1】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

(51)国際特許分類

G 0 2 B 5/28 (2006.01)

F I

G 0 2 B 5/28

(72)発明者 山岡 義和

大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 パナソニックホールディングス株式会社内

(72)発明者 八子 基樹

大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 パナソニックホールディングス株式会社内

(72)発明者 石川 篤

大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 パナソニックホールディングス株式会社内

(72)発明者 細川 誓

大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 パナソニックホールディングス株式会社内

(72)発明者 平澤 拓

大阪府門真市大字門真 1 0 0 6 番地 パナソニックホールディングス株式会社内

審査官 田邊 顕人

(56)参考文献

特表 2 0 1 6 - 5 1 3 2 4 0 (J P, A)

特開 2 0 1 8 - 1 3 7 2 8 4 (J P, A)

米国特許第 0 6 0 3 1 6 5 3 (U S, A)

国際公開第 2 0 1 8 / 1 9 3 9 8 6 (W O, A 1)

特開 2 0 0 8 - 1 7 0 9 7 9 (J P, A)

特開 2 0 0 8 - 0 3 5 0 4 7 (J P, A)

特開 2 0 1 6 - 1 1 4 6 8 3 (J P, A)

中国特許出願公開第 1 1 1 1 4 1 3 8 5 (C N, A)

国際公開第 2 0 2 0 / 1 7 9 2 8 2 (W O, A 1)

国際公開第 2 0 2 0 / 1 4 9 0 5 6 (W O, A 1)

国際公開第 2 0 2 0 / 1 4 9 0 5 5 (W O, A 1)

米国特許出願公開第 2 0 1 6 / 0 1 4 8 9 6 3 (U S, A 1)

米国特許出願公開第 2 0 1 0 / 0 0 5 3 7 5 5 (U S, A 1)

特表 2 0 1 8 - 5 1 1 8 2 2 (J P, A)

特開 2 0 0 8 - 0 7 0 4 3 7 (J P, A)

特表 2 0 1 4 - 5 3 3 3 5 5 (J P, A)

特開平 0 2 - 1 3 0 4 3 3 (J P, A)

米国特許出願公開第 2 0 1 5 / 0 2 2 9 8 5 1 (U S, A 1)

米国特許出願公開第 2 0 1 9 / 0 3 7 7 1 0 9 (U S, A 1)

国際公開第 2 0 1 8 / 0 7 0 4 3 1 (W O, A 1)

特開 2 0 0 9 - 0 0 4 6 8 0 (J P, A)

特開 2 0 0 8 - 1 7 7 3 6 2 (J P, A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., D B名)

H 0 1 L 2 7 / 1 4 6

G 0 2 B 1 / 1 1

G 0 2 B 5 / 2 0

G 0 1 J 3 / 2 6

G 0 1 J 3 / 3 6

G 0 2 B 5 / 2 8