

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号  
特許第7231869号  
(P7231869)

(45)発行日 令和5年3月2日(2023.3.2)

(24)登録日 令和5年2月21日(2023.2.21)

(51)国際特許分類	F I
H 0 4 N 25/10 (2023.01)	H 0 4 N 25/10
H 0 4 N 25/70 (2023.01)	H 0 4 N 25/70
H 0 4 N 5/222(2006.01)	H 0 4 N 5/222

請求項の数 9 (全20頁)

(21)出願番号	特願2021-548057(P2021-548057)	(73)特許権者	000004226 日本電信電話株式会社 東京都千代田区大手町一丁目5番1号
(86)(22)出願日	令和1年9月25日(2019.9.25)	(74)代理人	110001243 弁理士法人谷・阿部特許事務所
(86)国際出願番号	PCT/JP2019/037677	(72)発明者	宮田 将司 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内
(87)国際公開番号	WO2021/059409	(72)発明者	中島 光雅 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内
(87)国際公開日	令和3年4月1日(2021.4.1)	(72)発明者	橋本 俊和 東京都千代田区大手町一丁目5番1号 日本電信電話株式会社内
審査請求日	令和3年12月24日(2021.12.24)	審査官	豊田 好一

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 撮像素子および撮像装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

基板上に光電変換素子を含む複数の画素がアレイ状に配列された画素アレイと、前記画素アレイの上に形成された透明層と、前記透明層の内部または上であって、前記複数の画素の各々に対応する位置に、複数の分光素子がアレイ状に配列された分光素子アレイと、を備えた撮像素子であって、

前記分光素子の各々は、前記透明層の屈折率よりも高い屈折率を有する材料から形成された複数の微細構造体を含み、前記複数の微細構造体は、微細構造体パターンを有し、前記分光素子の各々は、入射した光を、波長に応じて伝搬方向が異なる偏向光に分離して出射する、撮像素子。

10

【請求項2】

前記分光素子アレイの第1の方向に沿って隣接する分光素子において、前記微細構造体パターンが互いに異なるものが含まれる、請求項1に記載の撮像素子。

【請求項3】

前記複数の分光素子の各々における前記複数の微細構造体は、光が透過する方向の厚みが一定である、請求項1または2に記載の撮像素子。

【請求項4】

前記複数の分光素子の各々における前記複数の微細構造体は、光が透過する方向の厚みが位置に応じて異なる、請求項1または2に記載の撮像素子。

20

**【請求項 5】**

分離して出射された前記偏向光は、前記複数の分光素子のうちの隣接する第 1 の画素、第 2 の画素および第 3 の画素に入射し、

前記入射した光が白色光の場合、

前記第 1 の画素に入射する光は、波長 500 nm 以下の青色波長域で光強度のピークを有し、

前記第 2 の画素に入射する光は、波長 500 nm ~ 600 nm の緑色波長域で光強度のピークを有し、

前記第 3 の画素に入射する光は、波長 600 nm 以上の赤色波長域で光強度のピークを有する、請求項 1 乃至 4 のいずれか一項に記載の撮像素子。

10

**【請求項 6】**

N は 3 であり、前記微細構造体は柱状構造体であり、3 個の分光素子の組における互いに異なる前記微細構造体パターンは、

前記 3 個の分光素子の配列方向に、幅が 1 番広い柱状構造体、幅が 2 番目に広い柱状構造体、幅が 3 番目に広い柱状構造体の順に配列された第 1 の微細構造体パターンと、

前記 3 個の分光素子の配列方向に、幅が 3 番広い柱状構造体、幅が 2 番目に広い柱状構造体、幅が 1 番目に広い柱状構造体の順に配列された第 2 の微細構造体パターンと、

前記 3 個の分光素子の配列方向に、幅が 2 番広い柱状構造体、幅が 1 番目に広い柱状構造体、幅が 3 番目に広い柱状構造体の順に配列された第 3 の微細構造体パターンと、を含む、請求項 2 に記載の撮像素子。

20

**【請求項 7】**

前記画素アレイと前記分光素子アレイの間に、少なくとも 1 種類のフィルタがアレイ状に配列されたフィルタアレイを備えた、請求項 5 または 6 に記載の撮像素子。

**【請求項 8】**

前記フィルタアレイは、前記分光素子よりも前記画素アレイに近い、請求項 7 に記載の撮像素子。

**【請求項 9】**

請求項 1 乃至 8 のいずれか一項に記載の撮像素子と、

前記撮像素子の撮像面に光学像を形成するための撮像光学系と、

前記撮像素子が出力する電気信号を処理する信号処理部と、を備えた撮像装置。

30

**【発明の詳細な説明】****【技術分野】****【0001】**

本発明は、撮像素子および撮像素子を備える撮像装置に関する。

**【背景技術】****【0002】**

一般に、CCD (Charge Coupled Device) センサや CMOS (Complementary Metal Oxide Semiconductor) センサといった光電変換素子を備える撮像素子において、撮像対象の色情報を取得するには、光電変換素子を含む各画素上で入射光の色分離を行う必要がある。

40

**【0003】**

図 1 に、一般のカラー撮像素子の断面図を示す。従来のカラー撮像素子 100 では、電気配線 112 上に光電変換素子 102 が配置され、有機材料または無機材料からなる減色型の色フィルタ 104 が光電変換素子 102 を含む各画素に対向して配置される。色フィルタ 104 の上にはマイクロレンズ 103 が配置される。マイクロレンズ 103 から光が入射すると、色フィルタ 104 を用いて、所望の波長帯の光のみを透過させ、不要な波長帯の光を吸収または反射させることで、画素ごとに赤 (R)、緑 (G)、青 (B) に対応する 3 つの光電変換素子 102 から各信号を取得することで、カラーの 2 次元画像を生成することができる。

50

## 【 0 0 0 4 】

しかし、上記のような一般的なカラー撮像素子 1 0 0 では、R G B が 1 : 1 : 1 の割合の入射光の場合、色フィルタ 1 0 4 を透過後の総光量が必然的に 1 / 3 程度になってしまうという課題がある。失われた残りの光は、色フィルタ 1 0 4 による吸収または反射による損失であり、画像の構成に利用することができない。したがって、入射光の光利用効率は最大でも 3 0 % 程度となり、撮像素子の感度は大きく制限されている。画素の微細化（画像の高解像度化）が進んでいる近年では、1 画素の受ける光量が必然的に低下しており、上記の撮像素子の感度の制限を低減することが望まれている。

## 【 0 0 0 5 】

撮像素子の感度の制限を低減するためアプローチとして、色フィルタ 1 0 4 の代わりに、入射光を波長帯に応じて分岐することが可能なプリズムやダイクロイックミラーといった分光素子を用いて、カラー撮像素子を構成することが提案されている。このようなアプローチは、原理的に入射光の損失を大きく低減することができるため、色フィルタ 1 0 4 を使用した場合に比べて、光利用効率を大幅に向上させることができる。しかしながら、画素の微細化が進んでいる近年では、プリズムやダイクロイックミラーといった分光素子をその機能と特性を保ったまま光電変換素子上への集積することは困難である。

10

## 【 0 0 0 6 】

そこで近年では、光電変換素子上への集積が比較的容易な微細構造からなる分光素子を用いて、カラー撮像素子を構成することが提案されている。非特許文献 1 では、入射光を 2 波長領域に分離することが可能な 2 種類の微細構造を用いることで、色分離における光損失を原理的になくし、光利用効率を向上させる方法が提案されている。

20

## 【 0 0 0 7 】

図 2 ( a ) に、非特許文献 1 において提案されているカラー撮像素子 2 0 0 の上面図を示し、図 2 ( b ) に、その I I b - I I b 断面図を示し、図 2 ( c ) に、その I I c - I I c 断面図を示す。図示されているように、カラー撮像素子 2 0 0 は、色フィルタ 1 0 4 に代えて画素（光電変換素子 1 0 2 ）に対応して配置された微細な梁構造 2 0 6 - 1、2 0 6 - 2 によって、入射光は波長領域に応じて、直進する光と左右に偏向する光に分離する。これは、微細な梁構造内とその周囲において、入射光が感じる位相遅延効果が、一方の波長領域では大きく異なり、もう一方の波長領域ではほぼ等しくなるためである。したがって、2 次元画素アレイ上に、構造厚さが異なる 2 種類の微細な梁構造 2 0 6 - 1、2 0 6 - 2 を行ごとに交互に配置することで、互いに隣接する 4 つの光電変換素子 1 0 2 はそれぞれ異なる波長成分を持った光を受けることが可能になる。その結果、各光電変換素子 1 0 2 から出力される光電変換信号に対して行列演算を用いた信号処理を行い、色情報を再生することで、色画像を生成することができる。

30

## 【 0 0 0 8 】

また、非特許文献 2 では、入射光を 3 波長領域に分離することが可能な厚さが一定のバイナリー微細構造を、画素（光電変換素子 1 0 2 ）上に配置することで、光利用効率を向上させる方法が提案されている。

## 【 0 0 0 9 】

図 3 ( a ) に、非特許文献 2 において提案されている微小分光素子 3 0 6 を有するカラー撮像素子 3 0 0 の上面図を示し、図 3 ( b ) に、その I I I b - I I I b 断面図を示す。非特許文献 2 のカラー撮像素子 3 0 0 を用いることで、非特許文献 1 のカラー撮像素子 2 0 0 を用いた場合と同様に、信号処理を用いた色情報再構成により色画像を生成することができる。さらに非特許文献 2 のカラー撮像素子 3 0 0 における光利用効率は、非特許文献 1 のカラー撮像素子 2 0 0 の光利用効率を上回る。また、非特許文献 2 のカラー撮像素子 2 0 0 は、非特許文献 1 のカラー撮像素子 2 0 0 で問題であった偏光依存性がなく、また、バイナリー構造であるため作製が容易といった利点がある。

40

## 【 先行技術文献 】

## 【 非特許文献 】

## 【 0 0 1 0 】

50

【文献】Seiji Nishiwaki, Tatsuya Nakamura, Masao Hiramoto, Toshiya Fujii and Masa-aki Suzuki, "Efficient colour splitters for high-pixel-density image sensors," Nature Photonics, Vol. 7, March 2013, pp.240-246

Masashi Miyata, Mitsumasa Nakajima, Toshikazu Hashimoto, "High-Sensitivity Color Imaging Using Pixel-Scale Color Splitters Based on Dielectric Metasurfaces," ACS Photonics, March 2019, pp1442-1450

David Sell, Jianji Yang, Sage Doshay, Jonathan A. Fan, "Periodic Dielectric Metasurfaces with High Efficiency, Multiwavelength Functionalities," Advanced Optical Materials, Vol.5, 2017, 1700645

【発明の概要】

10

【0011】

非特許文献1および2には、色画像生成の方法として、信号処理を用いた色再構成方法が提案されている。しかしながら、非特許文献1および2で開示された技術には、実用上の課題が存在する。これらの色画像生成の方法は、この信号処理に起因する色のエラー（ノイズ）が生じてしまうことが懸念され、画像の信号対ノイズ比（SN比）が劣化する恐れがある。したがって、分光素子によって、光利用効率、すなわちセンサでの受光量が増加したとしても、信号処理による新たなノイズの付加により、撮像画像のSN比が改善しない恐れがあり、実質的な感度が向上しない恐れがある。さらに、信号の処理時間が新たに必要になるため、撮像の時間分解能の低下が危惧される。なお、非特許文献2で開示されているように、通常真円であるマイクロレンズの形状を楕円にする、または通常正方形である画素の形状を長方形にするなどして、信号処理を用いずに信号強度から直接色情報

20

【0012】

本開示は、上記の問題点に鑑みてなされたもので、その目的は、信号処理による色再構成を用いることなく、高感度に画像を生成することが可能な撮像素子および撮像装置を提供することにある。

【0013】

上記の課題を解決するために、本発明の一実施形態に係る撮像素子は、基板上に光電変換素子を含む複数の画素がアレイ状に配列された画素アレイと、画素アレイの上に形成された透明層と、透明層の内部または上の複数の画素の各々に対応する位置に、複数の分光素子がアレイ状に配列された分光素子アレイと、を備え、分光素子の各々は、透明層の屈折率よりも高い屈折率を有する材料から形成された複数の微細構造体を含み、複数の微細構造体は、微細構造体パターンを有し、分光素子の各々は、入射した光を、波長に応じて伝搬方向が異なる偏向光に分離して出射する。

30

【0014】

本発明の一実施形態によれば、色再構成の信号処理の負担を軽減し、高感度に画像を生成することが可能な撮像素子および当該撮像素子を備えた撮像装置を実現することができる。生成される画像は、撮像素子に入射した可視光が電気信号に変換された光電変換信号に基づく色画像とすることができる。または、生成される画像は、撮像素子に入射した赤外光または紫外光が電気信号に変換された光電変換信号に基づく画像とすることができる。したがって、信号処理による画像劣化の懸念を低減し、微小分光素子による光利用効率向上の恩恵を直接的に撮像感度向上に反映させることが可能となる。また、本発明の一実施形態に係る撮像素子は、広く用いられている真円のマイクロレンズや正方形の画素の形状を用いて撮像素子を構成することができるといった利点がある。

40

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】一般のカラー撮像素子の断面図である。

【図2】(a)は、非特許文献1において提案されているカラー撮像素子の上面図であり

50

、(b)は、そのI I b - I I b断面図であり、および(c)は、そのI I c - I I c断面図である。

【図3】(a)は、非特許文献2において提案されているカラー撮像素子の上面図であり、図3(b)は、そのI I I a - I I I b断面図である。

【図4】本発明の一実施形態に係る撮像装置10の概略構成を示した側面図である。

【図5】(a)は、画素アレイおよび分光素子アレイを含む撮像素子500の上面から見た構成の一部を模式的に示す図であり、(b)は、そのV b - V b断面を模式的に示す図である。

【図6】(a)は、画素アレイおよび分光素子アレイを含む撮像素子600の上面から見た構成の一部を模式的に示す図であり、(b)は、そのV I b - V I b断面を模式的に示す図である。

10

【図7】(a)～(c)は、入射光を3つの波長領域毎(R、G、B)に3方向に沿って空間的に分離する分光特性を実現する位相遅延分布の例を示す図である。

【図8】(a)は、本実施形態に係る微小分光素子101を構成する微細構造体の一例の上面図であり、(b)は微細構造体の一例の側面図である。

【図9】(a)、(d)および(g)は、本実施形態における微小分光素子101の一例の上面図であり、(b)、(e)および(h)は、(a)、(d)および(g)に対応する微小分光素子101の側面図であり、並びに(c)、(f)および(i)は、(a)、(d)および(g)に対応する微小分光素子101の位相遅延分布(プロット)と理想の位相遅延分布(線)を示す図である。

20

【図10】(a)、(c)、(e)は、図9(b)、(e)、(h)にそれぞれ対応する微小分光素子101における光の伝搬を示す図であり、(b)、(d)、(f)は、(a)、(c)、(e)の微小分光素子における分光機能の効率の波長依存性を示す図である。

【図11】(a)～(c)は、光電変換素子102を含む画素の配置の例を模式的に示す図である。

【図12】(a)～(c)は、光電変換素子102を含む画素の配置の別の例を模式的に示す図である。

【図13】画素アレイおよび分光素子アレイを含む撮像素子700の断面における構成の一部を模式的に示す図である。

【発明を実施するための形態】

30

【0016】

以下、図面を用いて本発明の実施の形態について詳細に説明する。ただし、以下の実施形態は一例に過ぎず、本発明はこれらの実施形態に限定されないことは言うまでもない。

【0017】

図4は、本発明の一実施形態に係る撮像装置10の概略構成を示した側面図である。撮像装置10は、レンズ光学系11、撮像素子12、および撮像素子12から出力される光電変換信号を処理して画像信号を生成する信号処理部13を備える。

【0018】

自然光や照明光等の光が物体1に照射され物体1により透過/反射/散乱した光は、または、物体1から発する光は、レンズ光学系11によりCCDやCMOS等の光電変換素子を含む撮像素子12上に光学像を形成する。一般に、レンズ光学系は、様々な光学収差を補正するため、光軸に沿って並んだ複数のレンズからなるレンズ群により構成されるが、図4では図面を簡略化して単一のレンズとして示している。信号処理部13は、撮像素子12から出力される光電変換信号を処理して画像信号を生成し、生成した画像信号を外部に送出する画像信号出力を備える。なお、本発明の撮像装置10は、赤外光カットの光学フィルタ、電子シャッタ、ビューファインダ、電源(電池)、フラッシュライトなどの公知の構成要素を備え得るが、それらの説明は本発明の実施形態の理解に特に必要でないため省略する。また、以上の構成はあくまでも一例であり、本発明の一実施形態において、レンズ光学系11、撮像素子12、信号処理部13を除く構成要素には、公知の要素を適切に組み合わせて用いることができる。

40

50

## 【 0 0 1 9 】

本発明の実施形態の詳細を説明する前に、本発明の実施形態における撮像素子 1 2 の概略を説明する。本発明の実施形態の撮像素子 1 2 は、微小分光素子 1 0 1 と、光電変換素子 1 0 2 を含む画素とを備える。光電変換素子 1 0 2 を含む画素は、2次元状に複数配列されて画素アレイを構成している。また、微小分光素子 1 0 1 は、光電変換素子 1 0 2 を含む画素と対向するように2次元状に複数配列されて、分光素子アレイを構成している。複数の画素の各々は、複数の分光素子の各々に対応する位置に設けられている。分光素子の各々に対応する位置とは、たとえば各分光素子の占める領域から素子面垂直方向に画素アレイへ下ろした投影面に画素アレイの各画素が重なっている状態を含む。

## 【 0 0 2 0 】

図 5 ( a ) に、撮像素子 1 2 の一例として、画素アレイおよび分光素子アレイを含む撮像素子 5 0 0 の上面から見た構成の一部を模式的に示し、図 5 ( b ) に、その V b - V b 断面における撮像素子 5 0 0 の構成の一部を模式的に示す。分光素子アレイは、画素アレイと対向している。分光素子アレイは、レンズ光学系 1 1 からの光が入射する側に配置されている。分光素子アレイと画素アレイとの間、および分光素子アレイのレンズ光学系 1 1 側には、透明層 1 1 1 が設けられている。画素アレイの分光素子アレイの反対側には、電気配線 1 1 2 ( 不図示 ) が設けられている。

## 【 0 0 2 1 】

分光素子アレイを構成する各微小分光素子 1 0 1 は、厚み ( y 軸方向の長さ ) が一定である微細構造パターンを有している。より具体的には、各微小分光素子 1 0 1 は、厚みが一定であるが、上面および下面の形状が配列の位置に応じて異なる微細構造パターンを有している。微細構造パターンの詳細は後述する。なお、微小分光素子 1 0 1 の厚みは、位置に応じて厚みが異なる微細構造体でもよい。また、微細構造パターンに制限はなく、様々な配列形態をとり得る。なお、本発明の実施形態の撮像素子 1 2 は、マイクロレンズや遮光壁などの公知の構成要素を備え得るが、それらの説明は本発明の概略の理解に特に必要でないため、図 5 では省略している。

## 【 0 0 2 2 】

本実施形態の説明は、撮像素子 1 2 に入射する光を、波長領域毎に第 1 の波長領域、第 2 の波長領域、および第 3 の波長領域に分類するが、これに限定されない。なお、第 1 から第 3 の波長領域の組み合わせは、一般に赤 ( R )、緑 ( G )、青 ( B ) の 3 原色であるが、これに限定されない。例えば、波長領域の組み合わせは、赤外光の波長領域における互いに異なる複数の波長領域の組み合わせでもよく、紫外光の波長領域における互いに異なる複数の波長領域の組み合わせでもよい。本発明の実施形態における分光素子アレイを構成する微小分光素子 1 0 1 の各々は、後述する微細構造体に起因する位相遅延効果およびその構造寸法依存性および波長依存性を利用することで、上述した第 1 から第 3 の波長領域に応じて、撮像素子 1 2 に入射した光の伝搬方向を変え、画素アレイ上において空間的に光を分離する機能を有する。すなわち、本発明の実施形態では、撮像素子 1 2 に入射した光は、各微小分光素子 1 0 1 によって、波長領域に応じて、第 1 の方向 ( 左 )、第 2 の方向 ( 直進 )、第 3 の方向 ( 右 ) の 3 方向に分離し、複数の画素に入射する。より詳細な例として、微小分光素子 1 0 1 が、青 ( B ) を第 1 の方向 ( 左 ) に分離し、緑 ( G ) を第 2 の方向 ( 直進 ) に分離し、赤 ( R ) を第 3 の方向 ( 右 ) に分離する場合を説明する。青 ( B ) の波長領域の光は、x 軸方向に広がり幅の広い光 ( 波長成分が並んだ光 ) として、青に対応する画素 ( 緑に対応する画素の左側に隣接する ) に入射する ( 短波長の光の入射角と長波長の光の入射角が異なる )。赤 ( R ) の波長領域の光は、x 軸方向に広がり幅の広い光 ( 波長成分が並んだ光 ) として、赤に対応する画素 ( 緑に対応する画素の右側に隣接する ) に入射する ( 短波長の光の入射角と長波長の光の入射角が異なる )。緑 ( G ) の波長領域の光は、x 軸方向に広がらずに幅の狭い光として、当該微小分光素子に対応する位置に設けられた緑に対応する画素に入射する ( 短波長の光の入射角と長波長の光の入射角が略等しい )。

## 【 0 0 2 3 】

また、平面 1 軸方向（ $x-y$  平面の  $x$  軸方向）に沿って隣接する 3 つの微小分光素子 101 を 1 つの分光ユニットとすると、1 つの分光ユニットを構成する 3 つの微小分光素子 101 の分光機能は互いに異なる。具体的に、1 つの分光ユニットは、3 種類の微小分光素子を含む。例えば、第 1 の種類の微小分光素子は、第 1 の波長領域、第 2 の波長領域、第 3 の波長領域の光を、それぞれ第 1 の方向（左）、第 2 の方向（直進）、第 3 の方向（右）に分離させる分光機能を持つ。第 2 の種類の微小分光素子は、第 1 の波長領域、第 2 の波長領域、第 3 の波長領域の光を、それぞれ第 3 の方向（右）、第 1 の方向（左）、第 2 の方向（直進）に分離させる分光機能を持つ。第 3 の種類の微小分光素子は、第 1 の波長領域、第 2 の波長領域、第 3 の波長領域の光を、それぞれ第 2 の方向（直進）、第 3 の方向（右）、第 1 の方向（左）に分離させる分光機能を持つ。

10

#### 【0024】

したがって、微小分光素子 101 と光電変換素子 102 を含む画素との距離を、当該微小分光素子 101 により第 2 の方向（直進）に分離された光、当該微小分光素子 101 の右側に隣接する微小分光素子により第 1 の方向（左）に分離された光、および当該微小分光素子 101 の左側に隣接する微小分光素子により第 3 の方向（右）に分離された光が、当該光電変換素子 102 に入射する距離にすることで、各々の分光ユニットの直下にある 3 つの画素（光電変換素子 102）は、それぞれ第 1、第 2、第 3 の波長領域のいずれかの光のみを受けることになる。画素に光が入射すると、光電変換素子 102 が入射した光の強度に応じた電気信号（光電変換信号）を出力するため、波長領域に応じた信号（3 原色であればカラー情報）を直接的に取得することができるようになる。以上の微小分光素子 101 および微小分光素子 101 に対応した複数の画素（光電変換素子 102）が、2 次元状に配置されているため、レンズ光学系により形成される物体の光学像の波長領域毎の情報を、特別な信号処理を用いることなく同時に取得することができる。

20

#### 【0025】

後述する第 1 の実施形態については、第 1 から第 3 の波長領域を R、G、B の 3 原色とし、微小分光素子 101 によって R、G、B の波長領域毎に入射光を 3 方向に空間的に分離する。すなわち、入射光のほぼすべてが R、G、B の波長領域に分離された状態で分光ユニットの直下にある 3 つの画素（光電変換素子 102）に入射する。したがって、大きな光損失が無く、画素（光電変換素子 102）から得られる光電変換信号からカラー情報を直接的に取得することができる。

30

#### 【0026】

また、後述する第 2 の実施形態については、第 1 から第 3 の波長領域を R、G、B の 3 原色とし、微小分光素子 101 が、R、G、B の波長領域毎に入射光を 3 方向に空間的に分離する。さらに、分離した光の各波長領域にそれぞれ対応した減光型のバンドパスフィルタ（色フィルタ 104）が 3 方向に分離した光をフィルタリングする。すなわち、入射光のほぼすべてが R、G、B の波長領域に分離され、かつそれぞれ波長領域に対応したバンドパスフィルタによってフィルタリングされた状態で分光ユニットの直下にある 3 つの画素（光電変換素子 102）に入射する。したがって、第 2 の実施形態においても第 1 の実施形態と同様に、大きな光損失が無く、画素（光電変換素子 102）から得られる光電変換信号からカラー情報を直接的に取得することができ、加えてフィルタリングの効果により色再現性が向上する。

40

#### 【0027】

本発明の実施形態における撮像素子によれば、微小分光素子を用いた波長領域毎の光分離により、大きな光損失が無く、物体の光学像の波長領域毎の情報を取得することができる。すなわち、第 1 から第 3 の波長領域を R、G、B の 3 原色とすれば、カラー画像を取得することができる。また、波長領域毎の情報を直接的に取得することが可能であり、信号処理に基づく色再構成を用いる必要がないことから、非特許文献 1 および 2 で開示された技術における課題であった色再構成による画像劣化の懸念がない。したがって、微小分光素子による光利用効率向上の恩恵を直接的に撮像感度向上に反映させることが可能となり、色フィルタのみを用いた従来の撮像素子と比較して、カラー撮像の感度を高めること

50

が可能となる。また、微小分光素子と色フィルタを併用することで、色フィルタのみを用いた従来の撮像素子に比べて、高い光利用効率を維持しながら、色再現性を向上することも可能である。さらに、本発明の撮像素子は、一般的に採用されているマイクロレンズ形状や画素形状を変更する必要がないため、既存の作製プロセスや撮像システムと整合性が高く、従来の撮像素子を構成する色フィルタを微小分光素子に置き換えるだけで効果が得られるといった利点がある。

**【0028】**

以下、図面を参照しながら、本発明のより実施形態を詳細に説明する。

(第1の実施形態)

**【0029】**

以下、本実施形態における撮像素子の構成の概略について説明する。本実施形態では入射光を3波長領域毎(R、G、B)に分光する形態を示すが、分光される波長領域の数や各波長領域における波長はこれに限られない。たとえば、3つの波長領域のうちの少なくとも1つが3原色以外の波長の光(例えば赤外光や紫外光)であっても良い。また、本実施形態では、分光素子アレイおよび画素アレイは、分光素子および画素がそれぞれ2次元に配列された形態を示すが、分光素子および画素がそれぞれ1次元に配列された形態であってもよい。

**【0030】**

図6(a)に、撮像素子12の例として、画素アレイおよび分光素子アレイを含む撮像素子600の上面から見た構成の一部を模式的に示し、図6(b)に、そのVib-Vib断面における撮像素子600の構成の一部を示す。撮像素子600は、光電変換素子102を含む画素がアレイ状になるように配列された2次元画素アレイ上に、SiO<sub>2</sub>等からなる低屈折率の透明層111、および複数のマイクロレンズ103が積層されている。低屈折率の透明層111の内部には、微小分光素子101が埋め込まれている。

**【0031】**

微小分光素子101は、透明層111の屈折率よりも高い屈折率を有するSiNやTiO<sub>2</sub>等の材料で形成された複数の微細構造体を含む。複数の微細構造体は、微細構造パターンを有するように形成されている。便宜上、以下の説明は、2次元画素アレイ(光電変換素子102のアレイ)の法線方向をz軸、2次元画素アレイに平行な水平方向をx軸、2次元画素アレイに平行なx軸に垂直な方向をy軸とするxyz直交座標系を設定する。

**【0032】**

図6(a)および(b)に示すように、マイクロレンズ103、微小分光素子101および画素(光電変換素子102)はxy平面上において同一の周期で格子状に配置され、それぞれアレイを形成している。各マイクロレンズ103の直下に1つの微小分光素子101と1つの画素(光電変換素子102)が配置されている。微小分光素子アレイは、入射光を3波長領域毎(R、G、B)に、平面上x軸に平行な方向に沿って、それぞれ3方向(左、直進、右)に空間的に分離する微小分光素子101で構成される。また、x軸に沿って隣接する3つの微小分光素子101を1つの分光ユニット(図6(a)中に点線の矩形で示す)とすると、微小分光素子アレイは、分光ユニットが格子状にアレイを形成しているとみることができる。分光ユニットを構成する3つの微小分光素子101は、3つの波長領域毎に割り当てられた3つの方向の組み合わせがそれぞれ異なる。具体的には、分光ユニットは、Rの光(実線で示す)、Gの光(破線で示す)、Bの光(一点鎖線で示す)を、それぞれ左、直進、右に分離させる分光機能をもつ素子と、Rの光、Gの光、Bの光を、それぞれ右、左、直進に分離させる分光機能をもつ素子と、Rの光、Gの光、Bの光を、それぞれ直進、右、左に分離させる分光機能をもつ素子とを含む3種類の微小分光素子を有する。

**【0033】**

なお、上述の説明では、一例として、正方形の画素(光電変換素子102)が直交格子状に配列された2次元画素アレイの場合について説明したが、画素の配列、形状、サイズなどはこの図の例に限らない。また、図6(b)では省略しているが、2次元画素アレイ

10

20

30

40

50

と微小分光素子アレイとの間に、内部マイクロレンズとして動作し、微小分光素子 101 からの光を画素内の光電変換素子 102 へと導くように作用する SiN または TiO<sub>2</sub> 等からなる透明層より高い屈折率の凹凸構造による集光機能を持つ構造体を備え得る。この構造体は透明層より高い屈折率の一枚板でも良い。図 6 ( a ) および ( b ) に示した構造は、半導体製造技術により作製され得る。

#### 【 0034 】

なお、図 6 ( a ) および ( b ) に示される撮像素子 600 は、電気配線 112 が形成された配線層の反対側から光が入射する裏面照射型の構造を有しているが、本実施形態ではこのような構造に限定されず、例えば配線層の側から受光する表面照射型の構造を有していてもよい。

10

#### 【 0035 】

以下、本実施形態に係る撮像素子 600 の各構成要素の働きについて説明する。

#### 【 0036 】

撮像素子 600 に入射する白色の光は、まずマイクロレンズアレイによって集光され、ほぼすべての光が各マイクロレンズ 103 に対応した微小分光素子 101 を通過する。各微小分光素子 101 によって、光は 3 つの波長領域毎に 3 方向に空間的に分離され、各微小分光素子 101 の直下にある 3 つ画素 ( 光電変換素子 102 ) によりそれぞれ受光される。分光ユニットの構成から、微小分光素子アレイの直下にある画素アレイの各画素は R、G、B のいずれかの波長域の光が入射することになるため、各画素が R、G、B のいずれかのカラー情報の検出に対応する。最後に、各画素内の光電変換素子 102 によって光電変換がなされ、カラー情報を含む画像信号として出力される。

20

#### 【 0037 】

なお、画素アレイと微小分光素子との間に、内部マイクロレンズとして動作する SiN または TiO<sub>2</sub> 等からなる透明層より高い屈折率の凹凸構造による集光機能を持つ構造体、または、SiN もしくは TiO<sub>2</sub> 等からなる透明層より高い屈折率の一枚板による集光機能を持つ構造体を備え得るが、後述する微小分光素子 101 は形成する位相遅延分布によっては、レンズ機能を有することが可能であるため、内部マイクロレンズを省略することも可能である。

#### 【 0038 】

以下、本実施形態における微小分光素子 101 について説明する。上述したように微小分光素子 101 が入射光を 3 つの波長領域毎 ( R、G、B ) に 3 方向に沿って空間的に分離するには、1 つの微小分光素子 101 を透過する光に対して、波長領域毎に異なる位相遅延分布を与え、光波面を変化させることが必要である。

30

#### 【 0039 】

図 7 ( a ) に、入射光を 3 つの波長領域毎 ( R、G、B ) に 3 方向に沿って空間的に分離する分光特性を実現する位相遅延分布の 1 例を示す。ここでは、図 7 ( a ) に示す位相遅延分布は、第 1 の波長領域 ( R ) に対応する波長の位相遅延分布は、x 軸方向に微小分光素子 1 つ分の距離で位相量が 0 から - 2 まで線形減少する直線上に沿っており、第 2 の波長領域 ( G ) に対応する波長の位相遅延分布は空間的な変化はなく、第 3 の波長領域 ( B ) に対応する波長の位相遅延分布は、x 軸方向に微小分光素子 1 つ分の距離で位相量が 0 から + 2 まで線形増加する直線上に沿っている。この場合、微小分光素子 101 を透過した光は、R が第 1 の方向 ( 左 ) へ、G が第 2 の方向 ( 直進 ) へ、B が第 3 の方向 ( 右 ) へそれぞれ効率よく伝搬することができる。なお、上述の説明は一例であって、位相遅延分布によっては、波長領域と伝搬方向の組み合わせは自由に変更可能である。

40

#### 【 0040 】

したがって、ここでは、図 7 ( b ) に示すような位相分布、すなわち、第 2 の波長領域 ( G ) に対応する波長の位相遅延分布は、x 軸方向に微小分光素子 1 つ分の距離で位相量が 0 から - 2 まで線形減少する直線上に沿っており、第 3 の波長領域 ( B ) に対応する波長の位相遅延分布は空間的な変化はなく、第 1 の波長領域 ( R ) に対応する波長の位相遅延分布は、x 軸方向に微小分光素子 1 つ分の距離で位相量が 0 から + 2 まで線形増加

50

する直線上に沿っている、位相遅延分布を与えれば、Rが右方向へ、Gが左方向へ、Bが直進方向へそれぞれ効率よく伝搬することができる。

【0041】

また、ここでは、図7(c)に示すような位相遅延分布、すなわち、第3の波長領域(B)に対応する波長の位相遅延分布は、x軸方向に微小分光素子1つ分の距離で位相量が0から-2まで線形減少する直線上に沿っており、第1の波長領域(R)に対応する波長の位相遅延分布は空間的な変化はなく、第2の波長領域(G)に対応する波長の位相遅延分布は、x軸方向に微小分光素子1つ分の距離で位相量が0から+2まで線形増加する直線上に沿っている、位相分布を与えれば、Rが直進方向へ、Gが右方向へ、Bが左方向へそれぞれ効率よく伝搬することができる。

10

【0042】

以上のような位相遅延分布は、後述するように微細構造体の材料、数、形状、サイズ、パターンなどを適切に設計することにより実現することができる。すなわち、本実施形態における微小分光素子101は、微細構造体を2次元平面上に配置し、入射光に対して、波長領域に応じて異なる光波面を与え、色成分を空間的に分離する。

【0043】

図8(a)に、本実施形態における微小分光素子101を構成する微細構造体の一例の上面を示し、図8(b)に微細構造体の側面図を示す。微細構造体の一例である柱状構造体121は、透明層111の屈折率 $n_0$ よりも高い屈折率 $n_1$ を有するSiNまたはTiO<sub>2</sub>等の材料から形成されており、構造の厚み $h$ を一定とする。また、柱状構造体121の底面および上面は正方形である。この柱状構造体121は、透明層111と柱状構造体121との間の屈折率差から、光を構造内に閉じ込めて伝搬させる光導波路として考えることができる。したがって、上面側から入射した光は、柱状構造体121内に強く閉じ込められながら伝搬し、光導波路の実効的な屈折率 $n_{eff}$ により決定される位相遅延効果を受けて、底面側から出力する。具体的に、透明層111を構造の厚み分の長さを伝搬した光の位相を基準した際、柱状構造体121による位相遅延量は、光の真空中での波長をとおくと、式(1)で表される。

20

$$= (n_{eff} - n_0) \times 2 \quad h / \quad \dots (1)$$

【0044】

この位相遅延量は、光の波長によって異なるため、同一の柱状構造体121において、光を波長領域(色成分)に応じて異なる位相遅延量を与えることができる。さらに、 $n_{eff}$ は柱状構造体121の幅 $w$ の関数であることが知られており、 $n_0 < n_{eff} < n_1$ の値をとる。したがって、図8(a)および(b)に示す例では、柱状構造体121の幅 $w$ を変化させることで、光の波長に応じた位相遅延量の多彩な組み合わせを設定することが可能である。また、柱状構造体121の底面および上面が正方形であるため、入射光の偏光(偏波)方向を変化させた場合においても、位相遅延効果を含む光学特性に変化はない。

30

【0045】

以上のような柱状構造体121を、図7(a)~(c)を参照して上述した位相遅延分布に適合するように位置に応じて柱状構造体の幅 $w$ をそれぞれ設定し、2次元平面上に複数配置することで、本実施形態における微小分光素子101を実現することができる。また、上述の各柱状構造体121の配置において、周期的な構造に起因する不要な回折光が発生することを防ぐため、光の波長以下の間隔 $p$ で複数の柱状構造体121を配置することが望ましい。なお、光を効率的に偏向させるには位相遅延分布が0から $\pm 2$ まで変化する分布が適しているため、それぞれの波長域において、柱状構造体121による位相遅延量の可変範囲は、2以上有していることが好ましい。したがって、式(1)から、分離する波長域の最も長波長側の波長域における所望の中心波長を $r$ とすると、構造の厚み $h$ は、 $h = r / (n_1 - n_0)$ 以上に設定することが望ましい。上述の例では、柱状構造体121の底面および上面が正方形の場合について説明したが、この形状に限定されない。すなわち、面の中心を対称軸として4回回転対称を含む形状面であれば、分光機能の

40

50

偏光に対する依存性が生じることは無く、位相遅延効果をもたらす光導波路としての動作も失われることは無い。したがって、正方形、中空正方形、円形、中空円形、十字形状といった4回回転対称となる面をもつ柱状構造体を採用することが望ましい。

【0046】

本実施形態における微小分光素子101のより詳細な一例を説明する。

【0047】

図9(a)、(d)および(g)に、本実施形態における微小分光素子101の一例の上面図を示し、図9(b)、(e)および(h)に、図9(a)、(d)および(g)に対応する微小分光素子101の一例の側面図を示し、図9(c)、(f)および(i)に、図9(a)、(d)および(g)に対応する各微小分光素子101の3つの波長( $\lambda_1 = 430\text{ nm}$ 、 $\lambda_2 = 520\text{ nm}$ 、 $\lambda_3 = 635\text{ nm}$ )に対する位相遅延分布(プロット)と理想の位相遅延分布(線)を示す。図示されているように、x軸方向には互い異なる幅を持ち厚さが一定の3つの柱状構造体(配置位置に応じて上面および下面の幅が異なる形状の微細構造パターンを有する柱状構造体)が配列され、y軸方向には同一の幅を持ち厚さが一定の3つの柱状構造体が配列されて、これらが1つの微小分光素子101を構成している。なお、柱状構造体121を構成する材料は、SiN( $n_1 = 2.03$ )である。また、柱状構造体121の上方の透明層111を構成する材料はSiO<sub>2</sub>( $n_0 = 1.45$ )であり、柱状構造体121間の透明層および柱状構造体121の下方(透明層111と反対側)の透明層を構成する材料は空気( $n_0 = 1.0$ )である。屈折率の異なる2種類の透明層の代わりに、単一の透明層に柱状構造体121が埋め込まれている形態でもよい。また、ここでは柱状構造体を3つ並べた例で説明するが、複数並んでいれば3つでなくともよい。

【0048】

図9(a)、(d)、(g)の柱状構造体121は、底面および上面が正方形の例を示している。すべての柱状構造体121の厚みhは1250nm、x軸およびy軸方向における各構造体の間隔pは400nmである。したがって、1素子の面積は1.2 $\mu\text{m}$  × 1.2 $\mu\text{m}$ となる。以上の条件のもと、理想の位相遅延分布に適合するように位置に応じて、3つの柱状構造体121-1、121-2、121-3の幅 $w_1$ 、 $w_2$ 、 $w_3$ をそれぞれ設定することで、R、G、Bの光をそれぞれ左、直進、右に分離させる分光機能をもつ素子(“RGB”(図9(a)))と、R、G、Bの光をそれぞれ右、左、直進に分離させる分光機能をもつ素子(“GBR”(図9(d)))と、R、G、Bの光をそれぞれ直進、右、左に分離させる分光機能をもつ素子(“BRG”(図9(g)))の3種類の微小分光素子を実現できる。このように、図7(a)、(b)、(c)のように位相遅延分布の位置xにおける値が0にならなくとも、微細構造体間の位置関係と波長ごとの位相遅延量が直線状に並ぶように幅 $w_1$ 、 $w_2$ 、 $w_3$ 等をそれぞれ設計すればよい。

【0049】

図10(a)、(c)、(e)に、図9(b)、(e)、(h)にそれぞれ対応する3種類の微小分光素子101の上面から入射した平行光が右(+1st)、左(-1st)、直進(0th)に分離されて伝搬する様子を示す。また、図10(b)、(d)、(f)に、図10(a)、(c)、(e)の微小分光素子における分光機能の効率(3方向(-1st、0th、+1st)に分離して伝搬する効率(入射光の光強度に対する各伝搬方向の光強度の比))の波長依存性(厳密結合波理論に基づく計算結果)を示す。なお、計算の際、上述した微小分光素子101がx軸およびy軸方向においてPの間隔( $P = 3p$ )で並んでいると仮定したが、単体の微小分光素子101における光学機能との差異がほとんどないことを確認している。また、3方向のそれぞれの偏向角 $\theta_{-1st}$ 、 $\theta_{0th}$ 、 $\theta_{+1st}$ は、光の回折に基づいており、光の波長を $\lambda$ とすると、左(-1st)については $\sin \theta_{-1st} = \lambda / P$ 、直進(0th)については $\theta_{0th} = 0$ 、右(+1st)については $\sin \theta_{+1st} = \lambda / P$ とした。

【0050】

図10(b)、(d)、(f)に示した特性は、従来の撮像素子における色フィルタの

分光特性に相当する。図10(b)からわかるように、図10(a)に示す微小分光素子(“RGB”の素子)は、左(-1st)の方向における効率は600nm以上の赤色波長域でピークをなし、直進(0th)の方向における効率は500nmから600nmの緑色波長域でピークをなし、右(+1st)の方向における効率は500nm以下の青色波長域でピークをなしている。同様に、図10(d)からわかるように、図10(c)に示す微小分光素子(“GBR”の素子)は、左(-1st)の方向における効率は500nmから600nmの緑色波長域でピークをなし、直進(0th)の方向における効率は500nm以下の青色波長域でピークをなし、右(+1st)の方向における効率は600nm以上の赤色波長域でピークをなしている。また、図10(f)からわかるように、図10(e)に示す微小分光素子(“BRG”の素子)は左(-1st)の方向における効率は500nm以下の青色波長域でピークをなし、直進(0th)の方向における効率は600nm以上の赤色波長域でピークをなし、は左(-1st)の方向における効率は500nmから600nmの緑色波長域でピークをなしている。また、効率が40から80%という良好な分光性能を示しており、かつ特性に大きな偏光依存性がないことを確認している。なお、光の総透過率は、80%以上であり、散乱や反射による光損失はほとんど生じない。以上から、本実施形態における微小分光素子を用いることで、高効率に色成分を空間的に分離することが可能であることがわかる。さらに、上述の例では、単体の微小分光素子のサイズは $1.2\mu\text{m} \times 1.2\mu\text{m}$ であり、一般的なCMOSセンサの最小ピクセルサイズと同等である。したがって、現状の最小クラスのピクセルサイズをもつ画素アレイに対応した微小分光素子の形成が可能である。なお、柱状構造体121のサイズや数、配列パターンによって、異なるサイズの微小分光素子101を形成することも可能である。

#### 【0051】

また、本実施形態における微小分光素子101は、上述の柱状構造体121に限定されることなく、様々な形態の微細構造を用いることができる。例えば、非特許文献3に開示されているような、計算機によって最適化された構造パターンを持つ厚みが一定の微細構造体は、上述した原理と同様の原理で波長領域毎に位相遅延分布を形成することができ、色成分を空間的に分離することが可能である。さらに、式(1)より、構造幅 $w$ に加えて構造の厚み $h$ を変化させることで、光の波長にに応じた位相遅延量のより多彩な組み合わせを設定することが可能である。したがって、上述の位相遅延分布に適合するように微細構造体が配置される位置に応じて微細構造体の幅 $w$ および厚み $h$ をそれぞれ設定し、2次元平面上に複数配置することでも、本実施形態における微小分光素子を実現することができる。

#### 【0052】

上述した分光機能をもつ微小分光素子101は、公知の半導体製造技術により、薄膜堆積およびパターンングを実行することにより、作製され得る。

#### 【0053】

以上のように、微小分光素子を構成する構造体の材料、数、形状、サイズ、パターンなどを適切に設計することにより、所望の分光特性を与えることが可能である。その結果、上述したように、個々の画素に所望の波長領域の光を分離して入射させることが可能となり、各画素内の光電変換素子から出力される光電変換信号から、波長領域に対応する信号を直接取得することができる。また、微小分光素子を構成する材料が低損失であれば、光損失はほとんど生じないため、従来技術のフィルタを用いた撮像素子と比較して、画素アレイに到達する光の総量を飛躍的に増加させることができ、カラー撮像の感度を高めることが可能となる。なお、各微小分光素子の分光性能が上述した理想的な性能と多少異なっているとしても、性能の差異の程度に応じて、取得した信号を補正・演算することによって良好な色情報を得ることが可能である。

#### 【0054】

なお、微小分光素子による色成分の分離後において、画素アレイ上での画素間の光クロストークを最小にするには、分離した各光が各画素の中心近傍に入射することが望ましい。したがって、微小分光素子によって偏向する光の伝搬方向と画素アレイの法線方向との

角度を  $\theta$ 、画素アレイの周期を  $P$  とすると、微小分光素子の出力端と光電変換素子との間隔は  $P / \tan \theta$  の近傍であることが好ましい。

【0055】

以下、本実施形態の撮像素子における微小光学素子および画素の配置について説明する。

【0056】

図6(a)および(b)に示した一例では、 $x$ 軸方向に沿って配置された微小分光素子101の行が、 $x$ 軸方向にずれることなく $y$ 軸方向に沿って繰り返し配置されており、その結果 $y$ 軸方向に沿って微小分光素子のパターンが連続的に配置されている。この場合、 $x$ 軸方向においては、各微小分光素子の直下に直進(0th)する色成分に対応する3つの画素(光電変換素子102)が左からR、G、Bの順に並び、この並びが繰り返して配置されている。

10

【0057】

図11(a)~(c)は、上述の色成分に対応する画素(光電変換素子102)の配置を模式的に表したものである。なお、 $D_R$ はRに対応する画素を、 $D_G$ はGに対応する画素を、 $D_B$ はBに対応する画素を示す。この場合、 $x$ 軸方向に隣り合う3つの画素を1つのカラー画素ユニットとすると、図11(a)中に示すカラー画素ユニット $u_1$ 、および、カラー画素ユニット $u_1$ に対して単一画素だけ $x$ 軸方向にシフトしたカラー画素ユニット $u_2$ は、どちらもR、G、Bに対応する画素を必ず1つずつ含むことになる。すなわち、カラー画素ユニットを $xy$ 平面において単一画素ずつシフトしながら、カラー情報取得すれば、R、GおよびBの3色の情報をほぼ画素数分だけ得ることができる。このことは、撮像素子の解像度を画素数の程度まで高めることができることを意味している。したがって、本実施形態の撮像素子12は、高感度であることに加えて、単一画素サイズの高解像度でカラー情報を生成することができる。

20

【0058】

上述のような単一画素サイズの解像度を実現する微小光学素子および画素の配置は、図11(a)に限定されず、種々に変更することができる。図11(b)および図11(c)は、別の例を示しており、 $x$ 軸方向に沿って構成される微小分光素子101およびカラー画素ユニットの行が、図11(b)では1画素サイズ分、図11(c)では2画素サイズ分、 $x$ 軸方向にシフトしながら、順次 $y$ 軸方向に配置されている。このような配置についても、図11(a)と同様に単一画素サイズの解像度でカラー情報を生成することができる。

30

【0059】

図12(a)~(c)は、図11(a)~(c)とは別の配置の例を示しており、行毎にRに対応する画素 $D_R$ 、Gに対応する画素 $D_G$ 、Bに対応する画素 $D_B$ の順番が左右反転する構成であり、 $x$ 軸方向にシフトについては上述の図11(a)~(c)とそれぞれ同様である。この場合についても、図11(a)と同様に単一画素サイズの解像度でカラー情報を生成することができる。なお、画素 $D_R$ 、画素 $D_G$ 、画素 $D_B$ の順番の左右反転を行うには、上述の微小分光素子101の柱状構造体121のパターンを、左右反転させたパターンを用いればよい。また、画素ユニットの基準となる順番をBRGとし、図12(a)~(c)と同様に行毎に3つの画素 $D_B$ 、 $D_R$ 、 $D_G$ の順番が左右反転および $x$ 軸方向にシフトする構成でも同様のカラー情報を生成が可能である。同様に、画素ユニットの基準となる順番をGBRとし、図12(a)~(c)と同様に行毎に3画素の順番が左右反転および $x$ 軸方向にシフトする構成でも同様のカラー情報を生成が可能である。

40

(第2の実施形態)

【0060】

次に、本発明の第2の実施形態における撮像素子の構成の概略について説明する。

【0061】

図13に、撮像素子12の例として、本実施形態発明の撮像素子700の断面における概略の一部を示す。図13から明らかなように、本実施形態の撮像素子700は、第1の実施形態の撮像素子600(図6(b))と比較して、色成分に対応した画素(光電変換

50

素子102)の上方に、各色成分にそれぞれ対応した色フィルタ104を配置している点  
が異なる。なお、その他の構成要素は同一である。以下、第1の実施形態の撮像素子60  
0との相違点を中心に説明し、重複する点は説明を省略する。

#### 【0062】

図13に示されているように、入射光が微小分光素子101によって色分離された後に、  
画素の直上において色フィルタ104によってフィルタリングされる。この場合、色分  
離後に光が色フィルタ104を透過するため光損失が少なく、従来技術の色フィルタのみ  
の構成に比べて、光利用効率が向上する一方、2つの素子(微小分光素子101および色  
フィルタ104)を透過する必要があるため、第1の実施形態の撮像素子600に比べて  
、光利用効率は減少する。また、入射光に対して、微小分光素子101の分光特性と色フ  
ィルタ104のフィルタリング特性とが掛け合わされた透過特性が反映されるため、各画  
素に到達する光は不要な色成分がより排除された状態である。したがって、色フィルタの  
みの構成のカラー撮像素子100(図1)および第1の実施形態の撮像素子600に比べ  
て、色再現性が大きく向上する。すなわち、光利用率と色再現性のバランスがよい構成と  
いえる。

10

#### 【0063】

以上より、本実施形態に係る撮像素子700の構成において、カラー情報を高感度に取  
得することができる。さらに、色フィルタ104との併用によるフィルタリング効果によ  
り、色再現性が向上するといった利点を有する。本実施形態は、上記以外は第1の実施形  
態と同様であり、第1の実施形態で説明したものと同様の効果を有し、また、同様の変更  
が可能である。

20

#### 【0064】

上述した種々の実施形態およびその変形例は本発明の好適な具体例に過ぎず、本発明は  
これらに限定されず、種々の変更が可能である。

#### 【0065】

上述した実施形態では、微小分光素子101の材料としてSiNやTiO<sub>2</sub>を想定した  
例を示したが、本発明はこれに限定されない。例えば、撮像素子12を光の波長が380  
~1000nmの範囲の可視光~近赤外光領域で用いる場合は、微小分光素子101の材  
料には、屈折率が高く、吸収損失が少ないSiN、SiC、TiO<sub>2</sub>、GaN等の材料が  
適している。また、波長が800~1000nmの範囲の近赤外光に対しては、これらの  
光に対して低損失な材料として、Si、SiC、SiN、TiO<sub>2</sub>、GaAs、GaN等  
の材料が適している。さらに長波長帯の近赤外領域(通信波長である1.3μmや1.5  
5μm等)では、上述の材料に加えて、InP等を用いることができる。さらに、貼り付  
け、塗布して微小分光素子101を形成する場合、フッ素化ポリイミド等のポリイミド、  
BCB(ベンゾシクロブテン)、光硬化性樹脂、UVエポキシ樹脂、PMMA等のアクリ  
ル樹脂、レジスト全般などのポリマー等が材料として挙げられる。

30

#### 【0066】

同様に、上述した種々の実施形態およびその変形例では、透明層111の材料としてS  
iO<sub>2</sub>および空気を想定した例を示したが、本発明はこれに限定されない。一般的なガラ  
ス材料、SiO<sub>2</sub>、空気等、屈折率が微小分光素子101の材料の屈折率より低く、入射  
光の波長に対して低損失なものであれば何でもよい。また、透明層は、複数の材料からなる  
積層構造を有してもよい。

40

#### 【0067】

上述した種々の実施形態およびその変形例では、微小分光素子101が対応する3つの  
波長域の光として、赤、緑、青の3原色の光である場合を説明したが、3つの波長域のう  
ちの少なくとも1つが3原色以外の波長の光(例えば赤外光や紫外光)であっても良い。  
例えば、赤、緑の2原色に対応する微小分光素子101を構成する場合には、図10(a)  
~(c)を参照して説明した3種類の微小分光素子101の柱状構造体の微細構造パター  
ンを設計変更して作成した2種類の微小分光素子を用いればよい。例えば、2種類の微  
小分光素子は、R、Gの光をそれぞれ左、直進に分離させる分光機能を持つ素子を、およ

50

びG, Rの光をそれぞれ左、直進に分離させる分光機能を持つ素子を用いればよい。このとき、これらの素子の下方には、赤に対応する画素 $D_R$ および緑に対応する画素 $D_G$ の2つの画素が、x軸方向に隣り合う1つのカラー画素ユニットとして2次元アレイ状に配列される。同様に、2種類の微小分光素子は、G、Bの光をそれぞれ左、直進に分離させる分光機能を持つ素子、およびB、Gの光をそれぞれ左、直進に分離させる分光機能をもつ素子の2種類の微小分光素子を用いてもよい。このとき、これらの素子の下方には、緑に対応する画素 $D_G$ および青に対応する画素 $D_B$ の2つの画素が、x軸方向に隣り合う1つのカラー画素ユニットとして2次元アレイ状に配列される。あるいは、2種類の微小分光素子は、B、Rの光をそれぞれ左、直進に分離させる分光機能を持つ素子、およびR、Bの光をそれぞれ左、直進に分離させる分光機能を持つ素子の2種類の微小分光素子を用いてもよい。このとき、これらの素子の可能には、青に対応する画素 $D_B$ および赤に対応する画素 $D_R$ の2つの画素が、x軸方向に隣り合う1つのカラー画素ユニットとして2次元アレイ状に配列してもよい。

10

**【0068】**

以上、本発明を具体的な実施形態に基づいて説明したが、本発明は上述した実施形態に限定されるものではなく、その要旨を逸脱しない範囲において種々変更可能であることは言うまでもない。

20

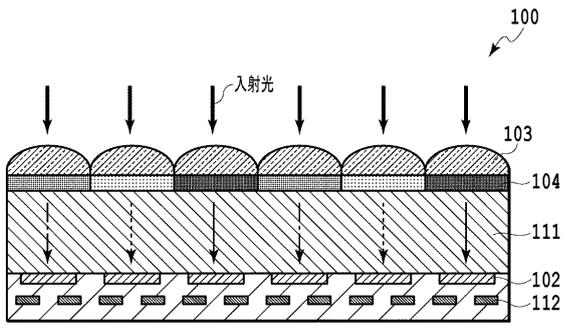
30

40

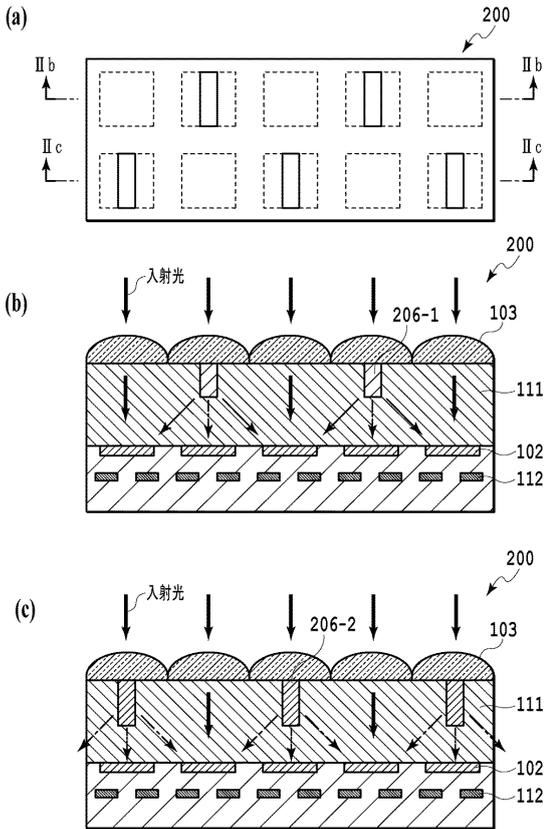
50

【図面】

【図 1】



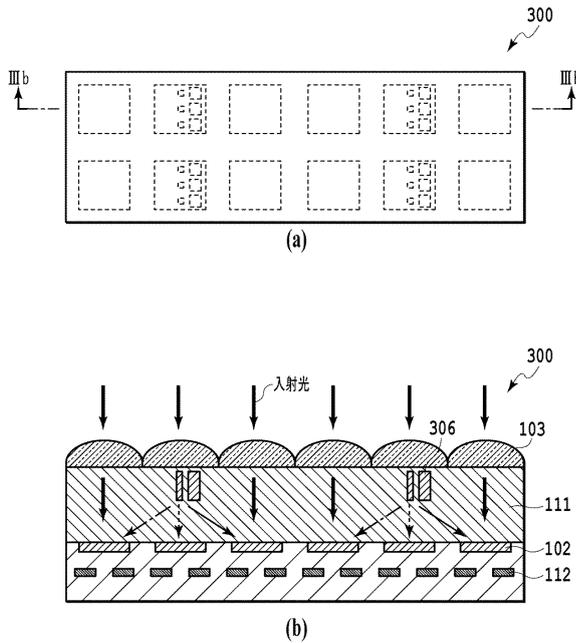
【図 2】



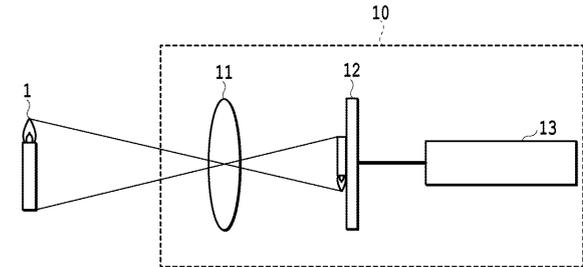
10

20

【図 3】



【図 4】

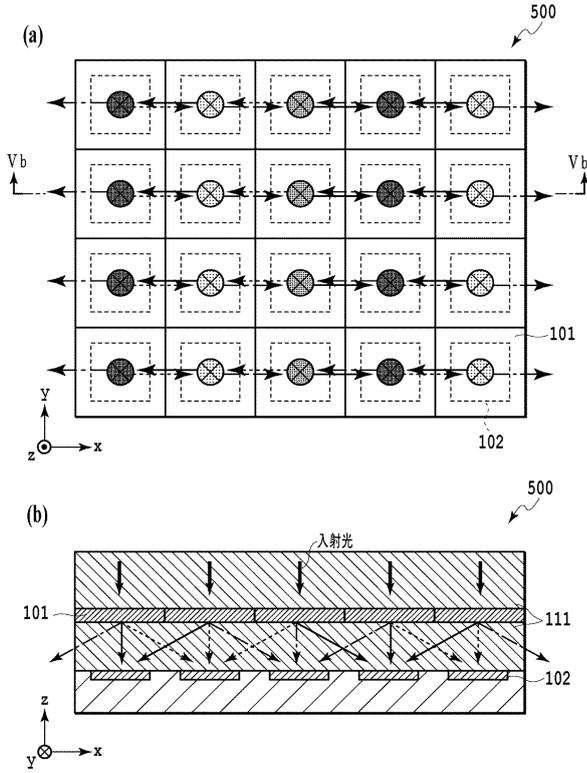


30

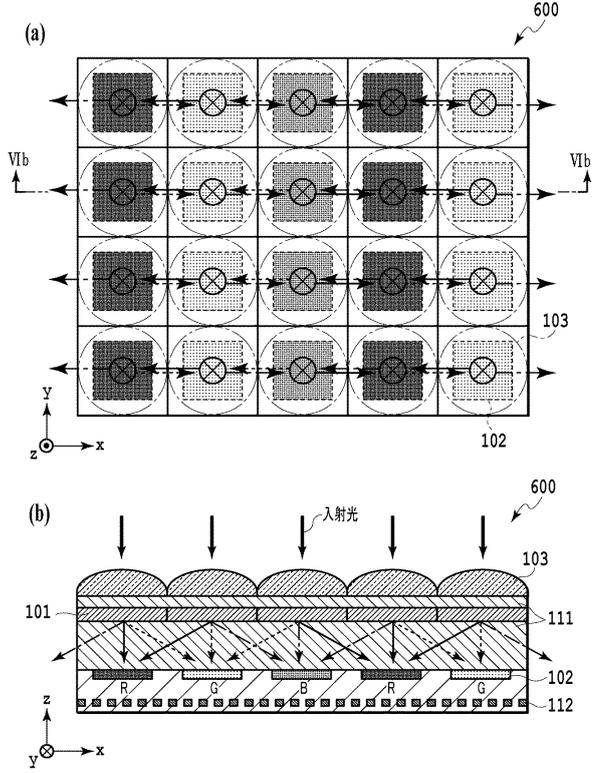
40

50

【 図 5 】



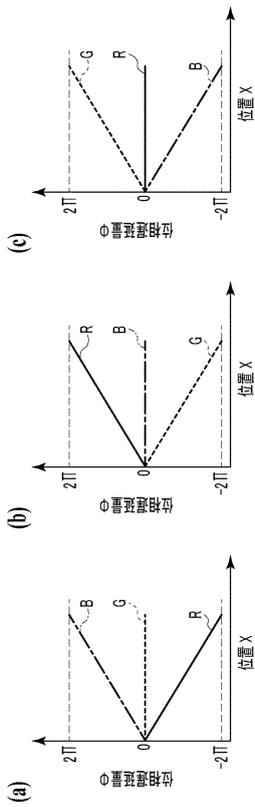
【 図 6 】



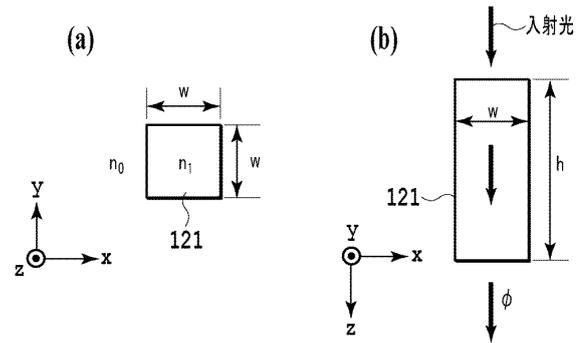
10

20

【 図 7 】



【 図 8 】

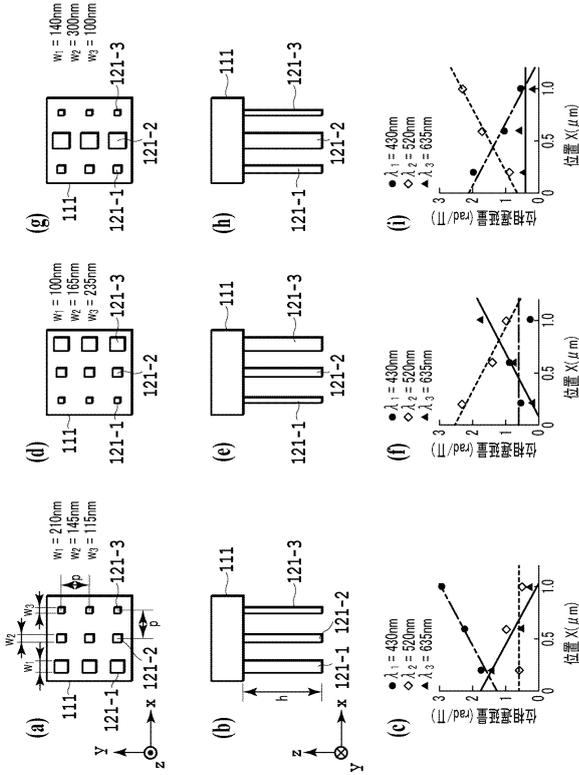


30

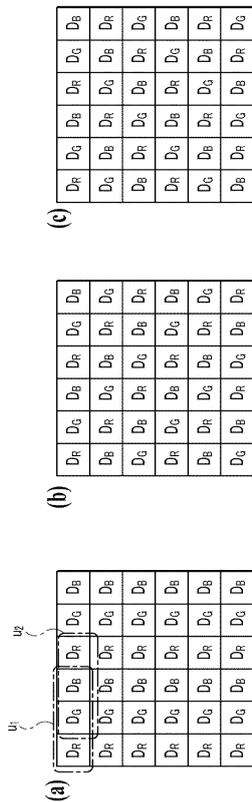
40

50

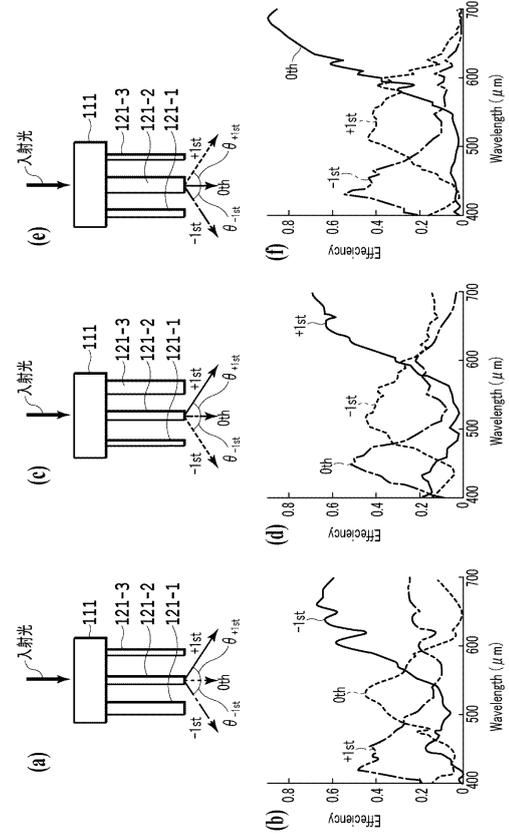
【図 9】



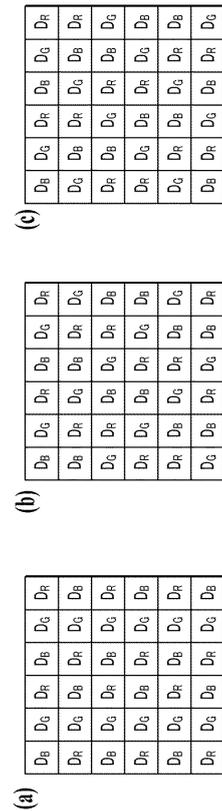
【図 11】



【図 10】



【図 12】



10

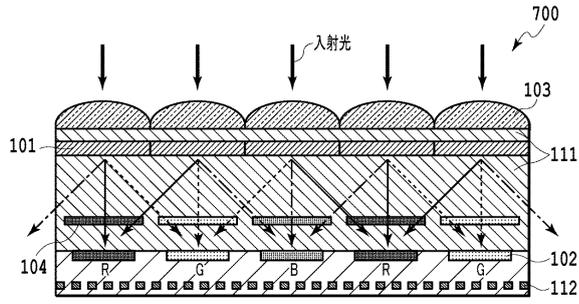
20

30

40

50

【 図 1 3 】



10

20

30

40

50

---

フロントページの続き

- (56)参考文献 国際公開第2009/019818(WO,A1)  
特開2014-138142(JP,A)  
特開2012-015424(JP,A)  
国際公開第2014/061173(WO,A1)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)
- H04N 25/10
  - H04N 25/70
  - H04N 23/54
  - H04N 23/55