

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7561514号
(P7561514)

(45)発行日 令和6年10月4日(2024.10.4)

(24)登録日 令和6年9月26日(2024.9.26)

(51)国際特許分類		F I	
H 0 4 N	25/704 (2023.01)	H 0 4 N	25/704
G 0 2 B	3/00 (2006.01)	G 0 2 B	3/00 A
G 0 2 B	7/34 (2021.01)	G 0 2 B	7/34
G 0 2 B	13/00 (2006.01)	G 0 2 B	13/00
G 0 3 B	13/36 (2021.01)	G 0 3 B	13/36
請求項の数 12 (全23頁) 最終頁に続く			
(21)出願番号	特願2020-70011(P2020-70011)	(73)特許権者	000001007 キヤノン株式会社 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(22)出願日	令和2年4月8日(2020.4.8)	(74)代理人	110003281 弁理士法人大塚国際特許事務所
(65)公開番号	特開2020-178120(P2020-178120 A)	(72)発明者	福田 浩一 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内
(43)公開日	令和2年10月29日(2020.10.29)	(72)発明者	岡本 康平 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内
審査請求日	令和5年4月6日(2023.4.6)	(72)発明者	若嶋 駿一 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内
(31)優先権主張番号	特願2019-77356(P2019-77356)	審査官	彦田 克文
(32)優先日	平成31年4月15日(2019.4.15)	最終頁に続く	
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		

(54)【発明の名称】 撮像素子及び撮像装置

(57)【特許請求の範囲】
【請求項1】

結像光学系の互いに異なる瞳領域を通過した光束に基づいて、視差を有する一対の焦点検出信号を取得可能に信号を出力する焦点検出画素を含む複数の画素を有する撮像素子であって、各画素は、
少なくとも1つの光電変換部と、
前記光電変換部よりも光が入射する側に設けられたマイクロレンズ光学系と、を含み、
前記マイクロレンズ光学系の主曲面の形状が、前記マイクロレンズ光学系の光軸からの第1の距離における前記マイクロレンズ光学系の第1の曲率が、前記第1の距離よりも前記マイクロレンズ光学系の光軸から遠い第2の距離における前記マイクロレンズ光学系の第2の曲率よりも大きく、さらに、前記マイクロレンズ光学系の光軸からの前記第1の距離における前記マイクロレンズ光学系の第1の曲率が、前記第1の距離よりも前記マイクロレンズ光学系の光軸から近い第3の距離における前記マイクロレンズ光学系の第3の曲率よりも大きいことを特徴とする撮像素子。

【請求項2】
結像光学系の互いに異なる瞳領域を通過した光束に基づいて、視差を有する一対の焦点検出信号を取得可能に信号を出力する焦点検出画素を含む複数の画素を有する撮像素子であって、各画素は、
少なくとも1つの光電変換部と、
前記光電変換部よりも光が入射する側に設けられたマイクロレンズ光学系と、を含み、

前記マイクロレンズ光学系の主曲面の形状が、前記マイクロレンズ光学系の光軸からの第 1 の距離における前記マイクロレンズ光学系の第 1 の焦点位置が、前記第 1 の距離よりも前記マイクロレンズ光学系の光軸から遠い第 2 の距離における前記マイクロレンズ光学系の第 2 の焦点位置よりも、光が入射する側にあり、さらに、前記マイクロレンズ光学系の光軸からの前記第 1 の距離における前記マイクロレンズ光学系の第 1 の焦点位置が、前記第 1 の距離よりも前記マイクロレンズ光学系の光軸から近い第 3 の距離における前記マイクロレンズ光学系の第 3 の焦点位置よりも、光が入射する側にあることを特徴とする撮像素子。

【請求項 3】

結像光学系の互いに異なる瞳領域を通過した光束に基づいて、視差を有する一对の焦点検出信号を取得可能に信号を出力する焦点検出画素を含む複数の画素を有する撮像素子であって、各画素は、

少なくとも 1 つの光電変換部と、

前記光電変換部よりも光が入射する側に設けられたマイクロレンズ光学系と、を含み、前記マイクロレンズ光学系の主曲面の形状が、前記マイクロレンズ光学系の光軸からの第 1 の距離における前記マイクロレンズ光学系の第 1 の曲率が、前記第 1 の距離よりも前記マイクロレンズ光学系の光軸から遠い第 2 の距離における前記マイクロレンズ光学系の第 2 の曲率よりも大きく、

前記画素の画素サイズを P 、前記第 1 の距離を r_1 、前記第 2 の距離を r_2 とした場合に、

$$r_1 < 0.35P < r_2$$

を満たすことを特徴とする撮像素子。

【請求項 4】

前記画素の画素サイズを P 、前記第 2 の距離を r_2 とした場合に、

$$r_2 \leq P$$

を満たすことを特徴とする請求項 3 に記載の撮像素子。

【請求項 5】

前記画素の画素サイズを P 、前記第 1 の距離を r_1 、前記第 2 の距離を r_2 、前記第 3 の距離を r_0 とした場合に、

$$0 < r_0 < 0.29P \leq r_1 < 0.41P < r_2 \leq 0.5P$$

を満たすことを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の撮像素子。

【請求項 6】

前記マイクロレンズ光学系の光軸からの複数の距離からの光束により形成される集光スポット径は、前記マイクロレンズ光学系の複数の距離における焦点深度内にそれぞれ含まれることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の撮像素子。

【請求項 7】

前記マイクロレンズ光学系が、1 つのマイクロレンズを含むことを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の撮像素子。

【請求項 8】

前記マイクロレンズ光学系が、1 つのマイクロレンズと、1 つ以上の層内レンズを含むことを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれか 1 項に記載の撮像素子。

【請求項 9】

前記各画素は、前記光電変換部に対して、光が入射する側と反対側に設けられた配線層をさらに有することを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の撮像素子。

【請求項 10】

前記各画素は、前記光電変換部に対して、光が入射する側に設けられた配線層をさらに有することを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の撮像素子。

【請求項 11】

請求項 1 乃至 10 のいずれか 1 項に記載の撮像素子と、

前記結像光学系と、

10

20

30

40

50

前記撮像素子から出力された信号を処理する処理手段と
を有することを特徴とする撮像装置。

【請求項 12】

結像光学系を着脱可能な撮像装置であって、
請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の撮像素子と、
前記撮像素子から出力された信号を処理する処理手段と
を有することを特徴とする撮像装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、撮像素子及び撮像装置に関するものである。

【背景技術】

【0002】

撮像装置で行われる焦点検出方法の 1 つに、撮像素子に形成された焦点検出画素により
位相差方式の焦点検出を行う撮像面位相差方式がある。

【0003】

特許文献 1 には、1 つの画素に対して、1 つのマイクロレンズと複数の光電変換部が形
成された、複数の画素から成る 2 次元撮像素子を用いた撮像装置が開示されている。複数
の光電変換部は、1 つのマイクロレンズを介して撮影レンズの射出瞳の異なる領域を透過
した光を受光するように構成され、瞳分割を行っている。こういった複数の光電変換部を
有する画素（焦点検出画素）から出力されたそれぞれの焦点検出信号から相関量を算出し
、算出した相関量から像ずれ量を求めることで、位相差方式の焦点検出を行うことができ
る。また、特許文献 2 では、複数の光電変換部からそれぞれ出力された焦点検出信号を画
素毎に加算することにより撮像信号を生成することが開示されている。

【0004】

また、特許文献 3 では、複数の撮像画素からなる 2 次元撮像素子に、対の焦点検出画素
が部分的に配置された撮像装置が開示されている。対の焦点検出画素は、開口部を有する
遮光層により、撮影レンズの射出瞳の異なる領域を受光するように構成され、瞳分割を行
っている。2 次元撮像素子の大部分に配置された撮像画素で撮像信号を取得し、一部に配
置された焦点検出画素の焦点検出信号から相関量を算出し、算出した相関量から像ずれ量
を求めて、位相差方式の焦点検出を行うことが開示されている。

【0005】

撮像面位相差方式の焦点検出においては、撮像素子に形成された焦点検出画素によりデ
フォーカス方向とデフォーカス量を同時に検出することが可能であり、高速に焦点調節を
行うことができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【文献】米国特許 4 4 1 0 8 0 4 号

【文献】特開 2 0 0 1 - 0 8 3 4 0 7 号公報

【文献】特開 2 0 0 0 - 1 5 6 8 2 3 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0007】

しかしながら、瞳分割性能を上げて撮像面位相差方式による焦点検出性能を良くするた
めのマイクロレンズの曲率と、画素間クロストークを抑制して撮像性能を良くするための
マイクロレンズの曲率は、必ずしも一致しない。

【0008】

本発明は上記問題点を鑑みてなされたものであり、焦点検出性能を保持しつつ、画素間
クロストークを抑制することを目的とする。

10

20

30

40

50

【課題を解決するための手段】

【0009】

上記目的を達成するために、結像光学系の互いに異なる瞳領域を通過した光束に基づいて、視差を有する一对の焦点検出信号を取得可能に信号を出力する焦点検出画素を含む複数の画素を有する本発明の撮像素子において、各画素は、少なくとも1つの光電変換部と、前記光電変換部よりも光が入射する側に設けられたマイクロレンズ光学系と、を含み、前記マイクロレンズ光学系の主曲面の形状が、前記マイクロレンズ光学系の光軸からの第1の距離における前記マイクロレンズ光学系の第1の曲率が、前記第1の距離よりも前記マイクロレンズ光学系の光軸から遠い第2の距離における前記マイクロレンズ光学系の第2の曲率よりも大きく、さらに、前記マイクロレンズ光学系の光軸からの前記第1の距離における前記マイクロレンズ光学系の第1の曲率が、前記第1の距離よりも前記マイクロレンズ光学系の光軸から近い第3の距離における前記マイクロレンズ光学系の第3の曲率よりも大きいことを特徴とする。

10

【発明の効果】

【0010】

本発明によれば、焦点検出性能を保持しつつ、画素間クロストークを抑制することができる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】本発明の実施形態に係る撮像装置の概略構成を示すブロック図。

20

【図2】第1の実施形態における画素配列の一例を示す概略図。

【図3】第1の実施形態における画素の概略平面図と概略断面図。

【図4】第1の実施形態における画素構造と瞳分割の概略説明図。

【図5】第1の実施形態における撮像素子と瞳強度分布との対応を説明する概略図。

【図6】第1の実施形態における射出瞳の瞳分割を説明する概略図。

【図7】従来の画素における画素間クロストークを説明する図。

【図8】第1の実施形態における画素に設けられたマイクロレンズ光学系と集光状態との対応を説明するための図。

【図9】第1の実施形態における画素に設けられたマイクロレンズ光学系の主曲面と曲率半径との対応を説明するための図。

30

【図10】第1の実施形態における画素に設けられたマイクロレンズ光学系の受光面積の割合を説明するための図。

【図11】第2の実施形態における画素に設けられたマイクロレンズ光学系と集光状態との対応を説明するための図。

【図12】第3の実施形態における画素に設けられたマイクロレンズ光学系と集光状態との対応を説明するための図。

【図13】第4の実施形態における画素配列の一例を示す概略図。

【図14】第4の実施形態における画素の概略平面図と概略断面図。

【図15】第5の実施形態の画素に設けられたマイクロレンズ光学系と集光状態との対応を説明するための図。

40

【発明を実施するための形態】

【0012】

以下、添付図面を参照して実施形態を詳しく説明する。尚、以下の実施形態は特許請求の範囲に係る発明を限定するものではない。実施形態には複数の特徴が記載されているが、これらの複数の特徴の全てが発明に必須のものとは限らず、また、複数の特徴は任意に組み合わせられてもよい。さらに、添付図面においては、同一若しくは同様の構成に同一の参照番号を付し、重複した説明は省略する。

【0013】

<第1の実施形態>

[全体構成]

50

図 1 は、本発明の実施形態における撮像素子を有する撮像装置であるカメラの概略構成を示したものである。図 1 において、第 1 レンズ群 1 0 1 は結像光学系の先端に配置され、光軸方向に進退可能に保持される。絞り兼用シャッタ（絞り）1 0 2 は、その開口径を調節することで撮影時の光量調節を行うほか、静止画撮影時には露光秒時調節用シャッタとしての機能も備える。第 2 レンズ群 1 0 3 は、絞り兼用シャッタ 1 0 2 と一体となって光軸方向に進退し、第 1 レンズ群 1 0 1 の進退動作との連動により、変倍作用（ズーム機能）を実現することができる。

【 0 0 1 4 】

第 3 レンズ群 1 0 5（フォーカスレンズ）は、光軸方向の進退により焦点調節を行う。光学的ローパスフィルタ 1 0 6 は、撮影画像の偽色やモアレを軽減するための光学素子である。撮像素子 1 0 7 は 2 次元 C M O S フォトセンサとその周辺回路からなり、結像光学系の結像面に配置される。

10

【 0 0 1 5 】

ズームアクチュエータ 1 1 1 は、不図示のカム筒を回転することで、第 1 レンズ群 1 0 1 ないし第 2 レンズ群 1 0 3 を光軸方向に進退駆動し、変倍操作を行う。絞りシャッタアクチュエータ 1 1 2 は、絞り兼用シャッタ 1 0 2 の開口径を制御して撮影光量を調節すると共に、静止画撮影時の露光時間制御を行う。フォーカスアクチュエータ 1 1 4 は、第 3 レンズ群 1 0 5 を光軸方向に進退駆動して焦点調節を行う。

【 0 0 1 6 】

撮影時の被写体照明用の電子フラッシュ 1 1 5 は、キセノン管を用いた閃光照明装置が好適だが、連続発光する L E D を備えた照明装置を用いても良い。A F 補助光発光部 1 1 6 は、所定の開口パターンを有するマスクの像を、投光レンズを介して被写界に投影し、暗い被写体あるいは低コントラスト被写体に対する焦点検出能力を向上させる。

20

【 0 0 1 7 】

カメラ内 C P U 1 2 1 は、カメラ本体の種々の制御を司り、演算部、R O M、R A M、A / D コンバータ、D / A コンバータ、通信インターフェイス回路等を有する。C P U 1 2 1 は、R O M に記憶された所定のプログラムに基づいて、カメラが有する各種回路を駆動し、A F、撮影、画像処理と記録等の一連の動作を実行する。

【 0 0 1 8 】

電子フラッシュ制御回路 1 2 2 は、撮影動作に同期して電子フラッシュ 1 1 5 を点灯制御する。補助光駆動回路 1 2 3 は、焦点検出動作に同期して A F 補助光発光部 1 1 6 を点灯制御する。撮像素子駆動回路 1 2 4 は、撮像素子 1 0 7 の撮像動作を制御するとともに、撮像素子 1 0 7 から読み出した信号を A / D 変換して C P U 1 2 1 に送信する。画像処理回路 1 2 5 は、撮像素子 1 0 7 から読み出した信号に基づいて得られる画像信号の変換、カラー補間、J P E G 圧縮等の処理を行う。

30

【 0 0 1 9 】

フォーカス駆動回路 1 2 6 は、焦点検出結果に基づいてフォーカスアクチュエータ 1 1 4 を駆動制御し、第 3 レンズ群 1 0 5 を光軸方向に進退駆動して焦点調節を行う。絞りシャッタ駆動回路 1 2 8 は、絞りシャッタアクチュエータ 1 1 2 を駆動制御して絞り兼用シャッタ 1 0 2 の開口を制御する。ズーム駆動回路 1 2 9 は、撮影者のズーム操作に応じてズームアクチュエータ 1 1 1 を駆動する。

40

【 0 0 2 0 】

L C D 等の表示器 1 3 1 は、カメラの撮影モードに関する情報、撮影前のプレビュー画像と撮影後の確認用画像、焦点検出時の合焦状態表示画像等を表示する。操作スイッチ群 1 3 2 は、電源スイッチ、レリーズ（撮影トリガ）スイッチ、ズーム操作スイッチ、撮影モード選択スイッチ等で構成される。着脱可能なフラッシュメモリ 1 3 3 は、得られた画像を記録する。

【 0 0 2 1 】

[撮像素子]

次に、第 1 の実施形態における撮像素子 1 0 7 の撮像画素と焦点検出画素の配列の概略

50

を図 2 に示す。図 2 は、第 1 の実施形態の撮像素子 1 0 7 としての裏面照射型の 2 次元 C M O S センサー（撮像素子）の画素（撮像素素）配列を、4 列 × 4 行の範囲で、焦点検出画素配列を 8 列 × 4 行の範囲で示したものである。

【 0 0 2 2 】

画素群 2 0 0 は 2 行 × 2 列の画素からなり、R（赤）の分光感度を有する画素 2 0 0 R が左上に、G（緑）の分光感度を有する画素 2 0 0 G が右上と左下に、B（青）の分光感度を有する画素 2 0 0 B が右下に配置されている。さらに、各画素は 2 列 × 1 行に配列された第 1 焦点検出画素 2 0 1 と第 2 焦点検出画素 2 0 2 により構成されている。

【 0 0 2 3 】

図 2 に示した 4 列 × 4 行の画素（8 列 × 4 行の焦点検出画素）を面上に多数配置し、撮像画像（焦点検出信号）の取得を可能としている。

【 0 0 2 4 】

図 2 に示した撮像素子 1 0 7 の 1 つの画素 2 0 0 G を、撮像素子 1 0 7 の受光面側（+ z 側）から見た平面図を図 3 の 3 A に示し、3 A の a - a 断面を - y 側から見た断面図を図 3 の 3 B に示す。図 3 に示すように、本実施形態の画素 2 0 0 G では、各画素の受光側に入射光を集光するためのマイクロレンズ 3 0 5 及び層内レンズ 3 0 7 が形成され、x 方向に N H 分割（2 分割）、y 方向に N V 分割（1 分割）された光電変換部 3 0 1 と光電変換部 3 0 2 が形成される。光電変換部 3 0 1、3 0 2 が、それぞれ、第 1 焦点検出画素 2 0 1 と第 2 焦点検出画素 2 0 2 に対応する。

【 0 0 2 5 】

光電変換部 3 0 1、3 0 2 は、それぞれ、p 型層と n 型層から成る p n 接合のフォトダイオードとして構成される。必要に応じて、p 型層と n 型層との間にイントリンシック層を挟んだ p i n 構造のフォトダイオードとして構成しても良い。

【 0 0 2 6 】

画素 2 0 0 G には、マイクロレンズ 3 0 5 と、層内レンズ 3 0 7 との間に、カラーフィルタ 3 0 6 が設けられている。必要に応じて、画素ごと、または光電変換部ごとにカラーフィルタ 3 0 6 の分光透過率を変えることができる。また、カラーフィルタを省略してもよい。

【 0 0 2 7 】

本実施形態の画素 2 0 0 G では、マイクロレンズ 3 0 5、層内レンズ 3 0 7、カラーフィルタ 3 0 6、平坦化層、封止層、絶縁層等で構成されるマイクロレンズ光学系が、受光側に形成されている。また、本実施形態では、光電変換部 3 0 1、3 0 2 に対して、マイクロレンズ 3 0 5 及び層内レンズ 3 0 7 とは反対側、すなわち光の入射側とは反対側に、配線層 3 0 9 が形成されている。

【 0 0 2 8 】

図 3 に示す画素 2 0 0 G に入射した光は、マイクロレンズ 3 0 5 により集光され、カラーフィルタ 3 0 6 で分光されたのち、更に層内レンズ 3 0 7 により集光されて、光電変換部 3 0 1、3 0 2 で受光される。光電変換部 3 0 1、3 0 2 では、受光量に応じて電子とホールが対生成し、空乏層で分離された後、負電荷の電子は n 型層（不図示）に蓄積され、一方、ホールは定電圧源（不図示）に接続された p 型層を通じて撮像素子 1 0 7 の外部へ排出される。光電変換部 3 0 1、3 0 2 の n 型層（不図示）に蓄積された電子は、転送ゲートを介して、静電容量部（F D）に転送され、電圧信号に変換されて出力される。

【 0 0 2 9 】

なお、図 2 に示す画素 2 0 0 R、2 0 0 B も、画素 2 0 0 G と同様の構成を有し、画素 2 0 0 G と同様にして、カラーフィルタ 3 0 6 により各色に分光された光に応じた電圧信号を出力する。

【 0 0 3 0 】

このような構成を有する各画素では、光電変換部 3 0 1、3 0 2 からの信号を加算した信号（A + B 信号）を撮像信号、個々の光電変換部 3 0 1、3 0 2 からそれぞれ読み出した 2 つの信号（A 信号、B 信号）を焦点検出信号対として用いる。なお、撮像信号と焦点

10

20

30

40

50

検出信号とをそれぞれ読み出してもよいが、処理負荷を考慮して、次のようにしてもよい。即ち、撮像信号（A + B 信号）と、光電変換部 301, 302 のいずれか一方の焦点検出信号（例えば A 信号）とを読み出し、差分を取ることで、視差を有するもう一方の焦点検出信号（例えば B 信号）を取得する。

【0031】

そして、複数の画素から出力された複数の A 信号と複数の B 信号をそれぞれ集めることで、撮像面位相差検出方式による AF に用いられる一対の像信号を得る。そして、該一対の像信号の相対位置をずらしながら重ね合わせ、各ずらし位置において、例えば、波形の差異部分の面積量（相関量）を求める相関演算を行う。この相関量をもっとも小さくなるずらし位置、即ち、最も相関が取れているずれ量である位相差（像ずれ量）を求め、さら

10

【0032】

なお、上述した例では、瞳領域が水平方向に 2 つに瞳分割されている例を示しているが、必要に応じて、垂直方向に瞳分割を行っても良い。

【0033】

また、上述した例では第 1 焦点検出画素と第 2 焦点検出画素から構成された撮像素子が複数配列されているが、本発明はこれに限られるものではない。必要に応じて、撮像素子と、第 1 焦点検出画素、第 2 焦点検出画素を個別の画素構成とし、撮像素子配列の一部に、第 1 焦点検出画素と第 2 焦点検出画素を部分的に配置する構成としても良い。

【0034】

20

なお、撮像素子 107 の構成は、上述した構成に限られるものではなく、撮影光学系の互いに異なる瞳領域を通過した被写体光に基づいて、視差を有する焦点検出信号対を取得可能に信号を出力する焦点検出画素を含む構成であれば良い。

【0035】

[瞳分割]

続いて、図 4 から図 6 を参照して、本実施形態の撮像素子 107 の瞳分割機能について説明する。なお、画素 200R, 200G, 200B は同様の構成を有するため、以下、代表的に画素 200G を用いて説明する。

【0036】

図 4 は、図 3 の 3A に示す撮像素子 107 に配列された画素 200G の a - a 断面を + y 側から見た断面図、及び、撮像素子 107 の撮像面 600 から z 軸方向（光軸の方向）に距離 Z だけ離れた位置の瞳面を示している。なお、図 4 では、瞳面の座標軸と対応を取るために、断面図の x 軸と y 軸を図 3 に対して反転させている。撮像素子 107 の撮像面 600 は、結像光学系の結像面に配置される。

30

【0037】

第 1 焦点検出画素 201 に対応する第 1 瞳部分領域 501 は、重心が - x 方向に偏心している光電変換部 301 の受光面と、上述した、マイクロレンズ 305 や層内レンズ 307 等で構成されるマイクロレンズ光学系を介して概ね共役関係になっている。このため、第 1 瞳部分領域 501 は、第 1 焦点検出画素 201 で受光可能な瞳領域を表している。第 1 瞳部分領域 501 の重心は、瞳面上で + x p 側に偏心している。

40

【0038】

同様に、第 2 焦点検出画素 202 に対応する第 2 瞳部分領域 502 は、重心が + x 方向に偏心している光電変換部 302 の受光面と、マイクロレンズ 305 や層内レンズ 307 等で構成されるマイクロレンズ光学系を介して概ね共役関係になっている。このため、第 2 瞳部分領域 502 は、第 2 焦点検出画素 202 で受光可能な瞳領域を表している。第 2 瞳部分領域 502 の重心は、瞳面上で - x p 側に偏心している。

【0039】

また、瞳領域 500 は、光電変換部 301, 302（第 1 焦点検出画素 201 と第 2 焦点検出画素 202）を全て合わせた際の画素 200G 全体で受光可能な瞳領域である。400 は、絞り兼用シャッタ 102 の開口を表している。

50

【 0 0 4 0 】

次に、図 5 を参照して、撮像素子 1 0 7 のセンサー入射瞳について説明する。本実施形態の撮像素子 1 0 7 では、面上の各像高座標に位置する画素毎に、マイクロレンズ 3 0 5 及び層内レンズ 3 0 7 (不図示) が、像高座標に応じて、光電変換部 3 0 1 , 3 0 2 に対して撮像素子の中心方向へ連続的にシフトされて配置されている。これにより、撮像素子 1 0 7 の撮像面 6 0 0 から距離 Z だけ離れた位置の瞳面において、撮像素子 1 0 7 の各像高座標に配置された各画素の第 1 焦点検出画素 2 0 1 の受光領域に対応する第 1 瞳部分領域 5 0 1 が、概ね、一致するように構成されている。同様に、第 2 焦点検出画素 2 0 2 の受光領域に対応する第 2 瞳部分領域 5 0 2 が、概ね、一致するように構成されている。つまり、撮像素子 1 0 7 の撮像面 6 0 0 から距離 Z だけ離れた位置の瞳面において、撮像素子 1 0 7 の全ての画素の第 1 瞳部分領域 5 0 1 と第 2 瞳部分領域 5 0 2 が、概ね、一致するように構成されている。以下、第 1 瞳部分領域 5 0 1 及び第 2 瞳部分領域 5 0 2 を、撮像素子 1 0 7 の「センサー入射瞳」と呼び、距離 Z を、撮像素子 1 0 7 の「入射瞳距離」と呼ぶ。

10

【 0 0 4 1 】

図 6 は、本実施形態の撮像素子 1 0 7 のセンサー入射瞳による結像光学系の射出瞳 4 0 0 の光学的な分割 (瞳分割) を説明する概略図である。被写体からの光束のうち、結像光学系の射出瞳 4 0 0 と第 1 瞳部分領域 5 0 1 との重なり領域である第 1 射出瞳領域 6 0 1 を通過した光束は、第 1 焦点検出画素 2 0 1 (光電変換部 3 0 1) で受光される。同様に、被写体からの光束のうち、結像光学系の射出瞳 4 0 0 と第 2 瞳部分領域 5 0 2 との重なり領域である第 2 射出瞳領域 6 0 2 を通過した光束は、第 2 焦点検出画素 2 0 2 (光電変換部 3 0 2) で受光される。

20

【 0 0 4 2 】

図 4 では、撮像素子 1 0 7 の入射瞳距離 Z だけ離れた位置の瞳面における第 1 射出瞳領域 6 0 1 と第 2 射出瞳領域 6 0 2 を示している。つまり、結像光学系の射出瞳 4 0 0 が、撮像素子 1 0 7 のセンサー入射瞳により、第 1 射出瞳領域 6 0 1 と第 2 射出瞳領域 6 0 2 とに分割されることを示している。

【 0 0 4 3 】

[画素間クロストーク]

画素 2 0 0 G への入射光は、マイクロレンズ光学系により、焦点位置に集光される。しかし、光の波動性による回折の影響のため、集光スポットの直径は回折限界 より小さくすることはできず、有限の大きさとなる。光電変換部の受光面サイズは約 $1 \sim 2 \mu\text{m}$ 程度であり、これに対してマイクロレンズの集光スポットは約 $1 \mu\text{m}$ 程度である。そのため、光電変換部の受光面とマイクロレンズを介して共役の関係にある、図 4 の第 1 瞳部分領域 5 0 1 と第 2 瞳部分領域 5 0 2 は、回折ボケのため、明瞭に瞳分割されず、光の入射角に依存した受光率分布 (瞳強度分布) となる。

30

【 0 0 4 4 】

ここで図 7 を参照して、裏面照射型の撮像素子において発生する画素間クロストークについて説明する。図 7 は、従来の撮像素子の画素を示す図であり、マイクロレンズ 3 0 5 B が、その光軸からの距離に依存せずに曲率が一定である。また、層内レンズは形成されない。なお、図 7 に示す撮像素子において、図 3 に示す本実施形態の画素と同様の構成には同じ参照番号を付して説明を省略する。

40

【 0 0 4 5 】

図 7 の 7 A は、光軸に平行な角度で入射した光が、曲率一定の球形マイクロレンズ 3 0 5 B により集光される状態を示している。また、図 7 の 7 B は、光軸に対して 25° の角度で入射した光が、曲率一定の球形マイクロレンズ 3 0 5 B により集光される状態を示している。

【 0 0 4 6 】

7 A において、球形マイクロレンズ 3 0 5 B の光軸からの第 1 の距離を r_{1p} 、球形マイクロレンズ 3 0 5 B の光軸から第 2 の距離を r_{2p} とする。第 1 の距離 r_{1p} は、第 2

50

の距離 r_{2p} より小さく、球形マイクロレンズ 305B の光軸に垂直な動径座標上で、第 1 の距離 r_{1p} が内側、第 2 の距離 r_{2p} が外側である。第 1 の距離 r_{1p} での球形マイクロレンズ 305B 上の点を第 1 の主点 h_{1p} 、焦点距離を第 1 の焦点距離 f_{1p} 、焦点位置を第 1 の焦点位置 z_{1p} とする。また、第 2 の距離 r_{2p} での球形マイクロレンズ 305B 上の点を第 2 の主点 h_{2p} 、焦点距離を第 2 の焦点距離 f_{2p} 、焦点位置を第 2 の焦点位置 z_{2p} とする。

【0047】

7A において、球形マイクロレンズ 305B は曲率一定であるため、第 2 の距離 r_{2p} での第 2 の焦点距離 f_{2p} が、第 1 の距離 r_{1p} での第 1 の焦点距離 f_{1p} より短い。また、第 2 の距離 r_{2p} での第 2 の焦点位置 z_{2p} が、第 1 の距離 r_{1p} での第 1 の焦点位置 z_{1p} よりも、相対的に受光側に位置している。

10

【0048】

そのため、7B に示す様に光軸に対して 25° の角度で光が入射した場合、第 2 の距離 r_{2p} からの光線 l_{2p} の光電変換部の受光面への入射位置 p_{2p} が、第 1 の距離 r_{1p} からの光線 l_{1p} の光電変換部の受光面への入射位置 p_{1p} よりも、隣接画素に近くなる。これに加えて、第 2 の距離 r_{2p} からの光線 l_{2p} の光電変換部の受光面への入射角度が、第 1 の距離 r_{1p} からの光線 l_{1p} の光電変換部の受光面への入射角度よりも、受光面に対して浅く小さい角度（受光面の垂直軸に対して大きい角度）となる。

【0049】

したがって、各画素の球形マイクロレンズ 305B は、斜入射光に対して、隣接画素へのクロストークを生じやすい形状となっており、撮像性能が低下する場合がある。そのため、従来の撮像素子では、焦点検出性能を向上するために、マイクロレンズの曲率を小さく、焦点距離を長くし、焦点検出画素の瞳強度分布の入射角変化を大きくした際に、撮像画素の画素間クロストークが生じて、撮像性能が低下する場合がある。

20

【0050】

上記現象を鑑みて、本実施形態では、撮像画素の画素間クロストークが抑制されるように、各画素に設けられるマイクロレンズ光学系が、以下で説明する条件となるように構成する。

【0051】

[マイクロレンズ光学系]

30

図 8 から図 10 を参照して、本第 1 の実施形態における撮像素子 107 の各画素に設けられたマイクロレンズ光学系について説明する。なお、本実施形態の画素のマイクロレンズ光学系は、上述した様に、マイクロレンズ 305、平坦化層、カラーフィルタ 306、層内レンズ 307、封止層、絶縁層等で構成されている。また、図 8 に示す画素構造は、図 3 に示す画素構造に対応している。

【0052】

図 8 の 8A から 8C は、本実施形態の画素に、光軸に平行な角度で入射した光が、光電変換部 301、302 の受光側に設けられたマイクロレンズ光学系により集光される状態を示している。また、図 8 の 8D から 8F は、本実施形態の画素に、光軸に対して 25° の角度で入射した光が、光電変換部 301、302 の受光側に設けられたマイクロレンズ光学系により集光される状態を示している。

40

【0053】

図 8 の 8A 及び 8D において、太線で示す曲線 H は、本実施形態の画素に設けられたマイクロレンズ光学系の主曲面 H（の断面）を示しており、マイクロレンズ光学系は、主曲面 H の形状をした単一マイクロレンズと、光学的に略等価の関係にある。したがって、本実施形態の画素は、光電変換部 301、302 の受光側に、主曲面 H の形状をした単一マイクロレンズが設けられた画素構造と、概ね、光学構造的に等価である。

【0054】

8A において、マイクロレンズ光学系の光軸からの第 1 の距離を r_1 、マイクロレンズ光学系の光軸から第 2 の距離を r_2 とする。第 1 の距離 r_1 は、第 2 の距離 r_2 より小さ

50

く、マイクロレンズ光学系の光軸に垂直な動径座標上で、第 1 の距離 r_1 が内側、第 2 の距離 r_2 が外側である。第 1 の距離 r_1 でのマイクロレンズ光学系の主曲面 H 上の点を第 1 の主点 h_1 、焦点距離を第 1 の焦点距離 f_1 、焦点位置を第 1 の焦点位置 z_1 とする。また、第 2 の距離 r_2 でのマイクロレンズ光学系の主曲面上の点を第 2 の主点 h_2 、焦点距離を第 2 の焦点距離 f_2 、焦点位置を第 2 の焦点位置 z_2 とする。

【 0 0 5 5 】

図 9 は、図 8 の 8 A 及び 8 D の本実施形態の画素に設けられたマイクロレンズ光学系の主曲面 H (の断面) に接する円を示している。第 1 の距離 r_1 での主曲面 H に接する円の半径を第 1 の曲率半径 a_1 とし、第 2 の距離 r_2 での主曲面 H に接する円の半径を第 2 の曲率半径 a_2 とする。本実施形態では、第 1 の距離 r_1 での主曲面の第 1 の曲率半径 a_1 が、第 2 の距離 r_2 での主曲面の第 2 の曲率半径 a_2 より小さく構成する。

10

【 0 0 5 6 】

曲率半径の逆数が曲率であることから、本実施形態では、第 1 の距離 r_1 におけるマイクロレンズ光学系の第 1 の曲率 $(1/a_1)$ が、第 2 の距離 r_2 におけるマイクロレンズ光学系の第 2 の曲率 $(1/a_2)$ より大きいように構成する。

【 0 0 5 7 】

また、8 A に示す様に、マイクロレンズ光学系が上記条件で構成されているため、第 2 の距離 r_2 での第 2 の焦点位置 z_2 が、第 1 の距離 r_1 での第 1 の焦点位置 z_1 よりも、相対的に光電変換部 3 0 1 , 3 0 2 側に位置するように構成される。

【 0 0 5 8 】

20

8 B は、8 A のマイクロレンズ光学系が設けられた本実施形態の画素に、光軸に平行な角度で円偏光の平面波 (波長 = 5 4 0 n m) が入射した場合の画素内部での光強度分布の例を示している。また、8 C は、受光面での集光スポットの例を示している。

【 0 0 5 9 】

8 E は、8 D のマイクロレンズ光学系が設けられた本実施形態の画素に、光軸に対して 2 5 ° の角度で円偏光の平面波 (波長 = 5 4 0 n m) が入射した場合の画素内部での光強度分布の例を示している。また、8 F は、受光面での集光スポットの例を示している。

【 0 0 6 0 】

このように、8 D で、光軸に対して 2 5 ° の角度で光が入射した場合、第 1 の距離 r_1 からの光線 1 1 は、光電変換部の受光面への入射位置 p_1 が、相対的に、第 2 の距離 r_2 からの光線 1 2 の入射位置 p_2 に対して、画素の内側から離れる。しかしながら、光線 1 1 の光電変換部の受光面への入射角度が深い角度であるため、隣接画素へのクロストークが抑制される。同時に、第 2 の距離 r_2 からの光線 1 2 は、光電変換部の受光面への入射角度が、相対的に、第 1 の距離 r_1 からの光線 1 1 の入射角度に対して、浅い角度になる。しかしながら、光線 1 2 の入射位置 p_2 が、光線 1 1 の入射位置 p_1 より、隣接画素から離れて画素の内側に留まるため、隣接画素へのクロストークが抑制される。

30

【 0 0 6 1 】

このように、本実施形態の撮像素子の画素は、光電変換部に対して受光側に設けられたマイクロレンズ光学系を有し、マイクロレンズ光学系の光軸からの第 1 の距離 r_1 と、第 1 の距離 r_1 より長い第 2 の距離 r_2 において、次の 2 つの関係を有する。

40

【 0 0 6 2 】

まず、第 1 の距離 r_1 におけるマイクロレンズ光学系の第 1 の曲率が、第 2 の距離 r_2 におけるマイクロレンズ光学系の第 2 の曲率より大きい。また、第 1 の距離 r_1 におけるマイクロレンズ光学系の第 1 の焦点位置 z_1 が、第 2 の距離 r_2 におけるマイクロレンズ光学系の第 2 の焦点位置 z_2 よりも、受光側に位置する。

【 0 0 6 3 】

なお、光電変換部 3 0 1 , 3 0 2 は、屈折率が高いシリコン S i などで形成され、光電変換部 3 0 1 , 3 0 2 の上部層は、屈折率が小さい酸化シリコン S i O x などで形成される。そのため、屈折率が高い光電変換部 3 0 1 , 3 0 2 に入射する前に、屈折率が小さい光電変換部 3 0 1 , 3 0 2 の上部層で、隣接画素間方向への広がりを抑えることで、

50

隣接画素へのクロストークを効果的に抑制することができる。

【0064】

図10は、本実施形態の画素に設けられたマイクロレンズ光学系の受光面積の割合を示す図である。

【0065】

隣接画素へのクロストークをより効果的に抑制するには、第1の距離 r_1 からの光線11の光強度と、第2の距離 r_2 からの光線12の光強度が、概ね等しいことが望ましい。画素サイズ P に内接する半径 $0.5P$ の円の面積を2等分する半径 R_c は、 $R_c = 0.5P / \sqrt{2} = 0.35P$ である。したがって、画素の画素サイズ P に対して、第1の距離 r_1 は、半径 R_c の内側の領域($0 < r_1 < 0.35P$)にあり、第2の距離 r_2 は、半径 R_c の外側の領域($0.35P < r_2 < 0.71P$)にあることが望ましい。また、マイクロレンズ光学系の4隅の対角コーナー近傍は、隣接画素へのクロストークを抑制するために、遮光層により遮光される場合がある。そのため、画素サイズ P に対して、第2の距離 r_2 が、 $0.35P < r_2 < 0.5P$ の領域にあることが望ましい。

【0066】

また、マイクロレンズ光学系の光軸近傍は、頂点(極値)形状のため、製造プロセス等により、頂点が平坦化して曲率が変化したり、頂点位置がばらついたりすることがある。この影響を抑制するため、第1の距離 r_1 が、光軸から半径 $0.5R_c$ の円の領域(半径 R_c の円の面積の $1/4$ の領域)を除いた $0.5R_c = 0.175P < r_1 < 0.35P$ の領域にあることが望ましい。さらに、マイクロレンズ光学系の画素周辺近傍は、隣接画素のマイクロレンズ光学系と接するため、製造プロセス等により、曲率が制約を受ける場合がある。この影響を抑制するため、第2の距離 r_2 が、 $0.35P < r_2 < 0.5P$ の領域から、半径 $0.47P$ から半径 $0.5P$ のリング領域(半径 R_c の円の面積の $1/4$ の領域)を除いた $0.35P < r_2 < 0.47P$ の領域にあることが望ましい。

【0067】

また、図8の8Aに示す様に、第1の距離 r_1 におけるマイクロレンズ光学系の第1の主点 h_1 と第1の焦点位置 z_1 を結ぶ線分 h_1z_1 と光軸とが成す角を θ_1 とし、第1の距離 r_1 におけるマイクロレンズ光学系の見込み角を $2\theta_1$ とする。また、第1の焦点位置 z_1 での屈折率を n とする。また、光軸に沿った座標を z とする。座標 z は、第1の焦点位置 z_1 を原点($z = 0$)として、マイクロレンズ側を正符号、光電変換部側を負符号とする。

【0068】

第1の距離 r_1 におけるマイクロレンズ光学系の第1の開口数 NA_1 を、以下の式(1)で定義する。

$$NA_1 = n \cdot \sin \theta_1 \quad \dots (1)$$

また、第1の距離 r_1 におけるマイクロレンズ光学系の第1の絞り値 F_1 を、以下の式(2)で定義する。

$$F_1 = 1 / (2n \cdot \sin \theta_1) \quad \dots (2)$$

【0069】

第1の距離 r_1 への入射光は、第1の距離 r_1 におけるマイクロレンズ光学系により、第1の焦点位置 z_1 に集光される。しかし、光の波動性により、第1の集光スポットの直径は第1の回折限界 λ_1 より小さくすることはできない。第1の集光スポットの強度分布をエアリーパターン(Airy pattern)で近似すると、回折限界 λ_1 は、入射光の波長を(可視光域の波長 $\lambda = 380\text{nm} \sim 780\text{nm}$)として、概ね、以下の式(3)で求まる

$$\lambda_1 = 1.22 \lambda / n \cdot \sin \theta_1 = 2.44 \lambda / F_1 \quad \dots (3)$$

第1の距離 r_1 におけるマイクロレンズ光学系の第1の焦点深度 $\pm z_{D1}$ は、回折限界 λ_1 を許容錯乱円として、以下の式(4)で求まる。

$$\pm z_{D1} = \pm n F_1 \lambda_1 \quad \dots (4)$$

なお、第1の焦点深度の範囲は、 z 軸方向(光軸方向)の座標 z に対して、 $z - z_{D1} < z < z + z_{D1}$ として表すことができる。

10

20

30

40

50

【 0 0 7 0 】

第 1 の集光スポットの強度分布がガウス分布に近いとすると、第 1 の集光スポットの直径 w_1 は、座標 z の関数として、概ね、以下の式 (5) の関係が成り立つ。

$$w_1(z) = w_{10} \{ 1 + (z/z_{R1})^2 \}^{1/2} \quad \dots (5)$$

ここで、 z_{R1} は、第 1 の距離 r_1 における第 1 のレイリー長であり、係数 $R = 0.61 \lambda / D_1$ として、 $z_{R1} = R z_{D1}$ で定義される。第 1 のレイリー長の範囲 $z - z_{R1} < z < z + z_{R1}$ では、第 1 の集光スポットの直径 w_1 は、第 1 の回折限界 λ/D_1 以上、第 1 の回折限界 λ/D_1 の 2 倍以下 ($\lambda/D_1 \leq w_1 \leq 2\lambda/D_1$) である。

【 0 0 7 1 】

また、第 2 の距離 r_2 におけるマイクロレンズ光学系の第 2 のレイリー長 z_{R2} 、及び、第 2 のレイリー長の範囲 $z - z_{R2} < z < z + z_{R2}$ も同様である。

10

【 0 0 7 2 】

本実施形態では、第 1 の距離 r_1 におけるマイクロレンズ光学系の第 1 の焦点位置 z_1 は、光電変換部 301、302 の受光面から前ピン側に構成される。本実施形態では、さらに、第 1 の距離 r_1 におけるマイクロレンズ光学系の第 1 の焦点位置 z_1 と光電変換部 301、302 の受光面までの距離が、第 1 のレイリー長 $z_{R1} = 1.92 z_{D1}$ 以下となる範囲で、光電変換部 301、302 の受光面から前ピン側に構成される。これにより、第 1 の距離 r_1 からの光束により形成される集光スポットの光電変換部 301、302 の受光面での第 1 の集光スポット直径 w_1 を、第 1 の回折限界 λ/D_1 の 1.4 倍以下 ($w_1 \leq 1.4 \lambda/D_1$) に抑制することができる。

20

【 0 0 7 3 】

本実施形態では、光電変換部 301、302 の受光面が、第 1 の焦点位置 z_1 から第 1 のレイリー長の範囲にあり、第 2 の焦点位置 z_2 から第 2 のレイリー長の範囲にあるようにマイクロレンズ光学系の主曲面を構成することで、クロストークをより効果的に抑制することができる。

【 0 0 7 4 】

上記の通り本第 1 の実施形態によれば、隣接画素へのクロストークを効果的に抑制することができ、これにより、撮像面位相差方式による焦点検出性能と撮像性能を両立させることが可能となる。

【 0 0 7 5 】

30

また、斜入射光による隣接画素へのクロストークは、光電変換部に対して受光側に配線層がある表面照射型の撮像素子より、光電変換部に対して受光側と反対側に配線層がある裏面照射型の撮像素子で生じやすい。そのため、本実施形態によれば、裏面照射型の撮像素子で、隣接画素へのクロストークをより効果的に抑制することができる。

【 0 0 7 6 】

< 第 2 の実施形態 >

次に、本発明の第 2 の実施形態について説明する。上述した第 1 の実施形態では、画素に設けられるマイクロレンズ光学系が、1つのマイクロレンズと1つの層内レンズから構成される場合について説明した。しかしながら、本発明はこれに限るものではなく、図 8 に示すものとは、異なる個数の層内レンズから構成されたマイクロレンズ光学系を用いても良い。

40

【 0 0 7 7 】

図 11 の 11A から 11F は、本発明の画素に設けられたマイクロレンズ光学系が、1つのマイクロレンズ 305 と、2つの層内レンズ 307、308 とを含んで構成されている。上記以外は、上述した第 1 の実施形態と同様であり、当該構成を有するマイクロレンズ光学系の主曲面 H は、主曲面 H の形状をした単一マイクロレンズと、光学的に略等価の関係性を有する。

【 0 0 7 8 】

したがって、第 2 の実施形態によれば、第 1 の実施形態と同様の効果を得ることができる。

50

【 0 0 7 9 】

なお、第 2 の実施形態では、画素に設けられるマイクロレンズ光学系が、1 つのマイクロレンズと 2 つの層内レンズを含む例により説明したが、本発明はこれに限定されるものではない。例えば、マイクロレンズ光学系を、1 つのマイクロレンズで構成しても良いし、1 つのマイクロレンズと 3 つ以上の層内レンズを含んで構成しても良い。

【 0 0 8 0 】

< 第 3 の実施形態 >

次に、本発明の第 3 の実施形態について説明する。上述した第 1 の実施形態では、裏面照射型の撮像素子で構成される場合について説明した。しかしながら、本発明はこれに限られるものではなく、表面照射型の撮像素子であっても良い。

【 0 0 8 1 】

図 1 2 の 1 2 A 及び 1 2 B では、表面照射型の撮像素子の画素に、図 8 に示す主曲面 H を有するマイクロレンズ光学系が構成されている。光電変換部 3 0 1 , 3 0 2 に対して、受光側に、配線層 3 1 0 が設けられている。上記以外は、上述した第 1 の実施形態と同様である。

【 0 0 8 2 】

したがって、第 3 の実施形態によれば、第 1 の実施形態と同様の効果を得ることができる。

【 0 0 8 3 】

< 第 4 の実施形態 >

次に、本発明の第 4 の実施形態について説明する。上述した第 1 の実施形態では、撮像素子 1 0 7 の各画素が x 方向に 2 分割、y 方向に 1 分割（つまり、分割されていない）場合について説明した。しかしながら、本発明はこれに限るものではなく、図 2 に示すものとは分割数や分割方法が異なる画素から構成された撮像素子 1 0 7 を用いても良い。

【 0 0 8 4 】

図 1 3 は、本実施形態で用いられる撮像素子 1 0 7 の撮像素素と焦点検出画素の配列の概略を示す図である。図 1 3 は、2 次元 C M O S センサー（撮像素子）の画素（撮像素素）配列を 4 列 × 4 行の範囲で、焦点検出画素配列を 8 列 × 8 行の範囲で示したものである。

【 0 0 8 5 】

本実施形態において、図 1 3 に示した画素群 7 0 0 は 2 行 × 2 列の画素からなり、R（赤）の分光感度を有する画素 7 0 0 R が左上に、G（緑）の分光感度を有する画素 7 0 0 G が右上と左下に、B（青）の分光感度を有する画素 7 0 0 B が右下に配置されている。さらに、各画素は 2 列 × 2 行に配列された第 1 焦点検出画素 7 0 1 から第 4 焦点検出画素 7 0 4 により構成されている。

【 0 0 8 6 】

図 1 3 に示した 4 列 × 4 行の画素（8 列 × 8 行の焦点検出画素）を面上に多数配置し、撮像素像（焦点検出信号）の取得を可能としている。

【 0 0 8 7 】

図 1 3 に示した撮像素子 1 0 7 の 1 つの画素 7 0 0 G を、撮像素子 1 0 7 の受光面側（+ z 側）から見た平面図を図 1 4 の 1 4 A に示し、1 4 A の a - a 断面を - y 側から見た断面図を 1 4 B に示す。図 1 4 に示すように、本実施形態の画素 7 0 0 G では、各画素の受光側に入射光を集光するためのマイクロレンズ 3 0 5 及び層内レンズ 3 0 7 が形成され、x 方向に N H 分割（2 分割）、y 方向に N V 分割（2 分割）された第 1 光電変換部 8 0 1 から第 4 光電変換部 8 0 4 が形成される。第 1 光電変換部 8 0 1 から第 4 光電変換部 8 0 4 が、それぞれ、第 1 焦点検出画素 7 0 1 から第 4 焦点検出画素 7 0 4 に対応する。

【 0 0 8 8 】

このような構成では、第 1 焦点検出画素 7 0 1 と第 3 焦点検出画素 7 0 3、第 2 焦点検出画素 7 0 2 と第 4 焦点検出画素 7 0 4 の信号をそれぞれ画素内で加算して読み出すことで、図 2 の第 1 焦点検出画素 2 0 1 及び第 2 焦点検出画素 2 0 2 と同様の信号を得ることができる。また、第 1 焦点検出画素 7 0 1 と第 2 焦点検出画素 7 0 2、第 3 焦点検出画素

10

20

30

40

50

703と第4焦点検出画素704の受光信号をそれぞれ画素内で加算して読み出すことで、垂直方向に分割した焦点検出信号を得ることができる。なお、画像信号として用いる際には、第1～第4焦点検出画素701～704の信号を加算すれば良い。なお、第1～第4焦点検出画素701～704の一部の信号と、第1～第4焦点検出画素701～704を加算した信号を読み出し、差分することで、一対の焦点検出信号と画像信号を得るようにしても良い。上記以外は、上述した実施形態と同様である。

【0089】

以上の構成により、第4の実施形態によれば、第1の実施形態と同様の効果を得ることができる。

【0090】

<第5の実施形態>

次に、本発明の第4の実施形態について説明する。上述した第1～4の実施形態では、図8に示すマイクロレンズ光学系の主曲面Hの形状を有する構成例を用いて説明した。しかしながら、本発明はこれに限るものではなく、第1の実施形態とは異なるマイクロレンズ光学系の主曲面形状を有していても良い。第5の実施形態では、画素間クロストークを抑制すると同時に、位相差焦点検出信号を確保するため、画素内の光電変換部301と光電変換部302間の画素内クロストークを一定量、好適に生じさせる場合の構成例について説明する。

【0091】

図15の15Aから15Fは、本発明の画素に設けられたマイクロレンズ光学系が、第1の実施形態とは異なる形状の1つのマイクロレンズ1505と、1つの層内レンズ1507とから構成されている。なお、図15に示す撮像素子において、図3に示す画素と同様の構成には同じ参照番号を付して説明を省略する。

【0092】

図15の15Aから15Cは、本実施形態の画素に、光軸に平行な角度で入射した光が、光電変換部301、302の受光側に設けられたマイクロレンズ光学系により集光される状態を示している。また、図15の15Dから15Fは、本実施形態の画素に、光軸に対して25°の角度で入射した光が、光電変換部301、302の受光側に設けられたマイクロレンズ光学系により集光される状態を示している。

【0093】

なお、本実施形態におけるマイクロレンズ光学系は、マイクロレンズ1505、平坦化層、カラーフィルタ、層内レンズ1507、封止層、絶縁層等で構成されている。

【0094】

図15の15A及び15Dにおいて、太線で示す曲線H'は、本実施形態の画素に設けられたマイクロレンズ光学系の主曲面H'（の断面）を示しており、マイクロレンズ光学系は、主曲面H'の形状をした単一マイクロレンズと、光学的に略等価の関係にある。したがって、本実施形態の画素は、光電変換部301、302の受光側に、主曲面H'の形状をした単一マイクロレンズが設けられた画素構造と、概ね、光学構造的に等価である。

【0095】

15Aにおいて、マイクロレンズ光学系の光軸から第0の距離を r_{50} 、マイクロレンズ光学系の光軸からの第1の距離を r_{51} 、マイクロレンズ光学系の光軸から第2の距離を r_{52} とする。第0の距離 r_{50} から第2の距離 r_{52} は、マイクロレンズ光学系の光軸に垂直な動径座標上で、第0の距離 $r_{50} < 第1の距離 r_{51} < 第2の距離 r_{52}$ の大小関係にあり、第0の距離 r_{50} が中央寄り、第1の距離 r_{51} が中間、第2の距離 r_{52} が周辺である。

【0096】

第0の距離 r_{50} でのマイクロレンズ光学系の主曲面H'上の点を第0の主点 h_{50} 、焦点距離を第0の焦点距離 f_{50} 、焦点位置を第0の焦点位置 z_{50} とする。また、第1の距離 r_{51} でのマイクロレンズ光学系の主曲面上の点を第1の主点 h_{51} 、焦点距離を第1の焦点距離 f_{51} 、焦点位置を第1の焦点位置 z_{51} とする。さらに、第2の距離 r_{52}

10

20

30

40

50

2でのマイクロレンズ光学系の主曲面上の点を第2の主点 h_{52} 、焦点距離を第2の焦点距離 f_{52} 、焦点位置を第2の焦点位置 z_{52} とする。

【0097】

本実施形態では、第1の距離 r_{51} におけるマイクロレンズ光学系の第1の曲率を、第2の距離 r_{52} におけるマイクロレンズ光学系の第2の曲率より大きく構成する。

【0098】

15Aに示す様に、マイクロレンズ光学系が上記条件で構成されているため、第2の距離 r_{52} での第2の焦点位置 z_{52} が、第1の距離 r_{51} での第1の焦点位置 z_{51} よりも、相対的に光電変換部301、302側に位置するように構成される。

【0099】

15Bは、15Aのマイクロレンズ光学系が設けられた本実施形態の画素に、光軸に平行な角度で円偏光の平面波（波長 = 540 nm）が入射した場合の画素内部での光強度分布の例を示している。また、15Cは、受光面での集光スポットの例を示している。

【0100】

上記構成において、15Dに示す様に、光軸に対して 25° の角度で光が入射した場合、第1の距離 r_{51} からの光線151は、光電変換部の受光面への入射位置 p_{51} が、相対的に、第2の距離 r_{52} からの光線152の入射位置 p_{52} に対して、画素の内側から離れる。しかしながら、光線151の光電変換部の受光面への入射角度が深い角度であるため、隣接画素へのクロストークが抑制される。同時に、第2の距離 r_{52} からの光線152は、光電変換部の受光面への入射角度が、相対的に、第1の距離 r_{51} からの光線151の入射角度に対して、浅い角度になる。しかしながら、光線152の入射位置 p_{52} が、光線151の入射位置 p_{51} より、隣接画素から離れて画素の内側に留まるため、隣接画素へのクロストークが抑制される。

【0101】

画素サイズ P に内接する半径 $0.5P$ の円の面積を3等分する第1の半径 $R_{c1} = 0.5P / \sqrt{3} = 0.29P$ 、第2の半径 $R_{c2} = 0.5P / \sqrt{3} \times 2 = 0.41P$ とする。隣接画素へのクロストークをより効果的に抑制するために、第0の距離 r_{50} からの光強度と、第1の距離 r_{51} からの光強度と、第2の距離 r_{52} からの光強度が、概ね、等しいことが望ましい。したがって、本実施形態では、第0の距離 r_{50} は、半径 R_{c1} の内側の領域（ $0 < \text{第0の距離 } r_{50} < 0.29P$ ）にあり、第1の距離 r_{51} は、半径 R_{c1} から半径 R_{c2} の領域（ $0.29P < \text{第1の距離 } r_{51} < 0.41P$ ）にあり、第2の距離 r_{52} は、半径 R_{c2} の外側の領域（ $0.41P < \text{第2の距離 } r_{52} < 0.71P$ ）にあるように構成される。また、マイクロレンズ光学系の4隅の対角コーナー近傍は、隣接画素へのクロストークを抑制するために、遮光層により遮光される場合がある。そのため、画素サイズ P に対して、第2の距離 r_{52} が、 $0.41P < \text{第2の距離 } r_{52} < 0.5P$ の領域にあることが望ましい。また、マイクロレンズ光学系の光軸近傍は、頂点（極値）形状のため、製造プロセス等により、頂点が平坦化して曲率が変化したり、頂点位置がばらついたりすることがある。この影響を抑制するため、第0の距離 r_{50} が、光軸から半径 $0.5R_{c1}$ の円の領域（半径 R_{c1} の円の面積の $1/4$ の領域）を除いた $0.5R_{c1} = 0.145P < \text{第0の距離 } r_{50} < 0.29P$ の領域にあることが望ましい。さらに、マイクロレンズ光学系の画素周辺近傍は、隣接画素のマイクロレンズ光学系と接するため、製造プロセス等により、曲率が制約を受ける場合がある。この影響を抑制するため、第2の距離 r_{52} が、 $0.41P < \text{第2の距離 } r_{52} < 0.5P$ の領域から、半径 $0.48P$ から半径 $0.5P$ のリング領域（半径 R_{c1} の円の面積の $1/4$ の領域）を除いた $0.41P < \text{第2の距離 } r_{52} < 0.48P$ の領域にあることが望ましい。

【0102】

なお、光電変換部301、302は、屈折率が高いシリコン Si などで形成され、光電変換部301、302の上部層は、屈折率が小さい酸化シリコン SiO_x などで形成される。そのため、屈折率が高い光電変換部301、302に入射する前に、屈折率が小さい光電変換部301、302の上部層で、隣接画素間方向への広がりを抑えることで、

10

20

30

40

50

隣接画素へのクロストークを効果的に抑制することができる。

【0103】

このように、第5の実施形態の撮像素子の画素は、光電変換部に対して受光側に設けられたマイクロレンズ光学系を有し、マイクロレンズ光学系の光軸からの第1の距離 r_{51} と、第1の距離より長い第2の距離 r_{52} において、次の2つの関係を有する。

【0104】

まず、第1の距離 r_{51} におけるマイクロレンズ光学系の第1の曲率が、第2の距離 r_{52} におけるマイクロレンズ光学系の第2の曲率より大きい。また、第1の距離 r_{51} におけるマイクロレンズ光学系の第1の焦点位置 z_{51} が、第2の距離 r_{52} におけるマイクロレンズ光学系の第2の焦点位置 z_{52} より、受光側に位置する。

10

【0105】

さらに、本実施形態では、上述した画素間クロストークを抑制する構成に加えて、画素内の光電変換部301と光電変換部302間の画素内クロストークを一定量、好適に生じさせ、位相差焦点検出信号を確保するため、以下の条件を満たすように構成される。

【0106】

15Aに示す様に、本実施形態では、第0の距離 r_{50} におけるマイクロレンズ光学系の第0の曲率を、第1の距離 r_{51} におけるマイクロレンズ光学系の第1の曲率より小さく構成する。

【0107】

また、15Aに示す様に、本実施形態では、第0の距離 r_{50} におけるマイクロレンズ光学系の第0の焦点距離 f_{50} を、第1の距離 r_{51} におけるマイクロレンズ光学系の第1の焦点距離 f_{51} より長く構成する。

20

【0108】

さらに、15Aに示す様に、本実施形態では、第0の距離 r_{50} におけるマイクロレンズ光学系の第0の焦点位置 z_{50} を、第1の距離 r_{51} におけるマイクロレンズ光学系の第1の焦点位置 z_{51} よりも、相対的に光電変換部301、302側に位置するように構成する。また、光電変換部301、302の受光面から第1の焦点位置 z_{51} までの距離が、光電変換部301、302の受光面から第0の焦点位置 z_{50} までの距離、及び、光電変換部301、302の受光面から第2の焦点位置 z_{52} までの距離よりも長くなるように構成する。

30

【0109】

また、15Aに示す様に、第1の距離 r_{51} におけるマイクロレンズ光学系の第1の主点 h_{51} と第1の焦点位置 z_{51} を結ぶ線分 $h_{51}z_{51}$ と光軸とが成す角を θ_1 とし、第1の距離 r_{51} におけるマイクロレンズ光学系の見込み角を $2\theta_1$ とする。また、第1の焦点位置 z_{51} での屈折率を n とする。また、光軸に沿った座標を z とする。座標 z は、第1の焦点位置 z_{51} を原点 ($z = 0$) として、マイクロレンズ側を正符号、光電変換部側を負符号とする。

【0110】

第1の距離 r_{51} におけるマイクロレンズ光学系の第1の開口数 NA_1 を、以下の式 (1) で定義する。

40

$$NA_1 = n \cdot \sin \theta_1 \quad \dots (1)$$

また、第1の距離 r_{51} におけるマイクロレンズ光学系の第1の絞り値 F_1 を、以下の式 (2) で定義する。

$$F_1 = 1 / (2n \cdot \sin \theta_1) \quad \dots (2)$$

【0111】

第1の距離 r_{51} への入射光は、第1の距離 r_{51} におけるマイクロレンズ光学系により、第1の焦点位置 z_{51} に集光される。しかし、光の波動性により、第1の集光スポットの直径は第1の回折限界 θ_1 より小さくすることはできない。第1の集光スポットの強度分布をエアリーパターン (Airy pattern) で近似すると、回折限界 θ_1 は、入射光の波長を (可視光域の波長 $\lambda = 380 \text{ nm} \sim 780 \text{ nm}$) として、概ね、以下の式 (3) で求め

50

る。

$$f_1 = 1.22 \lambda / n \cdot \sin \theta_1 = 2.44 \lambda / F_1 \quad \dots (3)$$

第1の距離 r_{51} におけるマイクロレンズ光学系の第1の焦点深度 $\pm z_{D1}$ は、回折限界 θ_1 を許容錯乱円として、以下の式(4)で求まる。

$$\pm z_{D1} = \pm n F_1 / \theta_1^2 \quad \dots (4)$$

なお、第1の焦点深度の範囲は、 z 軸方向(光軸方向)の座標 z に対して、 $z - z_{D1} < z < z + z_{D1}$ として表すことができる。

【0112】

第1の集光スポットの強度分布がガウス分布に近いとすると、第1の集光スポットの直径 w_1 は、座標 z の関数として、概ね、以下の式(5)の関係が成り立つ。

$$w_1(z) = w_1 \{ 1 + (z/z_{R1})^2 \} \quad \dots (5)$$

ここで、 z_{R1} は、第1の距離 r_{51} における第1のレイリー長であり、係数 $R = 0.61 \lambda / (1.92 \lambda_{D1})$ として、 $z_{R1} = R z_{D1}$ で定義される。第1のレイリー長の範囲 $z - z_{R1} < z < z + z_{R1}$ では、第1の集光スポットの直径 w_1 は、第1の回折限界 θ_1 以上、第1の回折限界 θ_1 の2倍以下($\theta_1 \leq w_1 \leq 2 \theta_1$ 、 $1.4 \theta_1$)である。

【0113】

また、第2の距離 r_{52} におけるマイクロレンズ光学系の第2のレイリー長 z_{R2} 、及び、第2のレイリー長の範囲 $z - z_{R2} < z < z + z_{R2}$ も同様である。

さらに、第0の距離 r_{50} におけるマイクロレンズ光学系の第0のレイリー長 z_{R0} 、及び、第0のレイリー長の範囲 $z - z_{R0} < z < z + z_{R0}$ も同様である。

【0114】

本実施形態では、第1の距離 r_{51} におけるマイクロレンズ光学系の第1の焦点位置 z_{51} は、光電変換部301、302の受光面から前ピン側に構成される。本実施形態では、さらに、第1の距離 r_{51} におけるマイクロレンズ光学系の第1の焦点位置 z_{51} と光電変換部301、302の受光面までの距離が、第1のレイリー長 $z_{R1} = 1.92 z_{D1}$ 以下となる範囲で、光電変換部301、302の受光面から前ピン側に構成される。これにより、第1の距離 r_{51} からの光束により形成される集光スポットの光電変換部301、302の受光面での第1の集光スポット直径 w_1 を、第1の回折限界 θ_1 の1.4倍以下($w_1 \leq 1.4 \theta_1$)に抑制することができる。

【0115】

本実施形態では、光電変換部301、302の受光面が、第1の焦点位置 z_{51} から第1のレイリー長の範囲にあり、第2の焦点位置 z_{52} から第2のレイリー長の範囲にあるようにマイクロレンズ光学系の主曲面を構成することで、クロストークをより効率的に抑制することができる。さらに、光電変換部301、302の受光面が、第0の焦点位置 z_{50} から第0のレイリー長の範囲にあるようにマイクロレンズ光学系の主曲面を構成することで、クロストークをより効率的に抑制することができる。

【0116】

上記構成により、15Dに示す様に、光軸に対して25°の角度で光が入射した場合、第1の距離 r_{51} からの光束は、光電変換部の受光面において、第1の回折限界 θ_1 から $1.4 \theta_1$ 程度に入射位置 p_{51} から入射位置 p_{51}' まで拡がる。これに対して、第0の距離 r_{50} からの光束が集光して入射する第0の入射位置 p_{50} と、第2の距離 r_{52} からの光束の拡がりである第2の入射位置 p_{52} から第2の入射位置 p_{52}' は、いずれも、第1の距離 r_{51} からの光束の拡がりである入射位置 p_{51} から入射位置 p_{51}' の略範囲内に含まれる。したがって、マイクロレンズ光学系に入射する全光束から形成される集光スポットの光電変換部301、302の受光面での集光スポット直径を、第1の回折限界 θ_1 の1.4倍以下($w_1 \leq 1.4 \theta_1$)に抑制することができ、瞳分離性能を良好に保つことができる。

【0117】

また、上記構成により、第1の距離 r_{51} からの光束の一部が、光電変換部の受光面において、画素中心方向に、入射位置 p_{51}' まで拡がるため、画素内の光電変換部301と

10

20

30

40

50

光電変換部 302 間の画素内クロストークが一定量生じる。第 1 の焦点位置 z_{51} の光電変換部 301, 302 の受光面からの前ピン量を調整することで、画素内クロストーク量を、好適に調整することが可能である。したがって、本実施形態では、画素間クロストークを抑制すると同時に、瞳分離性能を良好に保持して、画素内の光電変換部 301 と光電変換部 302 間の画素内クロストークを一定量、好適に生じさせることができる。そのため、結像光学系の条件によって、光電変換部 301 と光電変換部 302 のどちらか一方に受光量が偏った場合でも、位相差焦点検出信号として必要最低限の受光量を確保することができる。

【0118】

15E は、15D のマイクロレンズ光学系が設けられた本実施形態の画素に、光軸に対して 25° の角度で円偏光の平面波（波長 $= 540 \text{ nm}$ ）が入射した場合の画素内部での光強度分布の例を示している。また、15F は、受光面での集光スポットの例を示している。

10

【0119】

上記の通り本第 5 の実施形態によれば、隣接画素へのクロストークを効果的に抑制することができると共に、位相差焦点検出信号として必要最低限の受光量を確保することができる。これにより、撮像面位相差方式による焦点検出性能と撮像性能を両立させることが可能となる。

【0120】

本発明は上記実施の形態に制限されるものではなく、本発明の精神及び範囲から離脱することなく、様々な変更及び変形が可能である。従って、本発明の範囲を公にするために、以下の請求項を添付する。

20

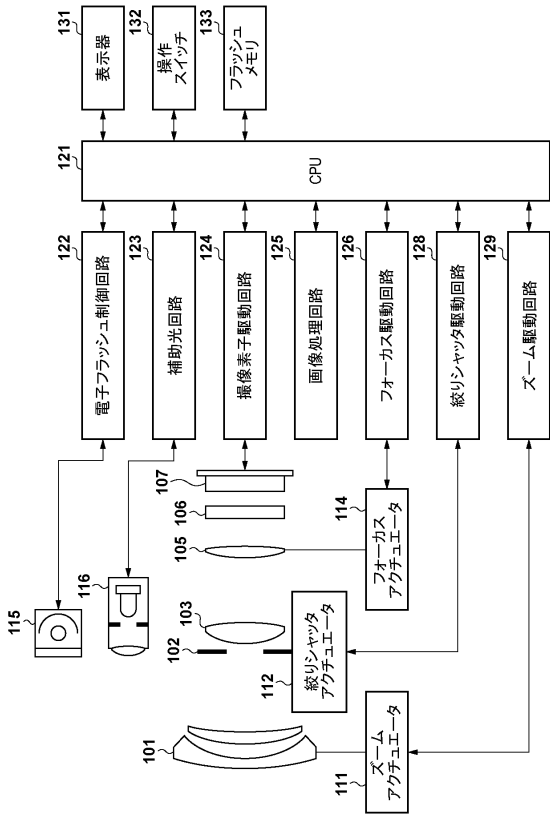
30

40

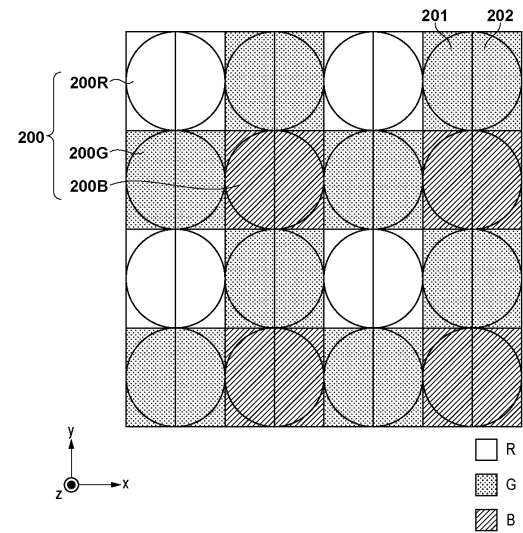
50

【図面】

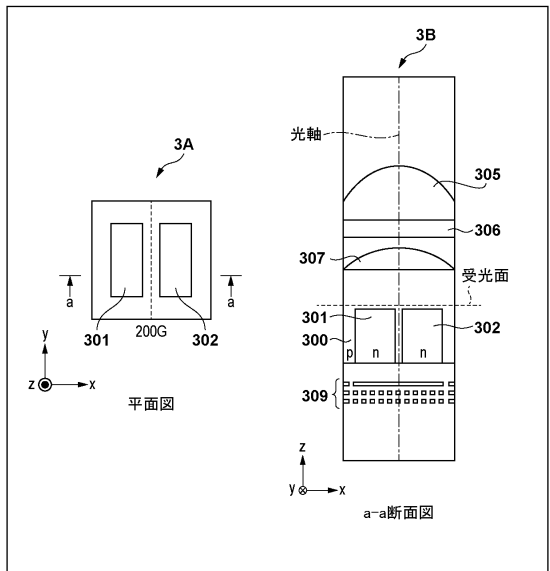
【図 1】



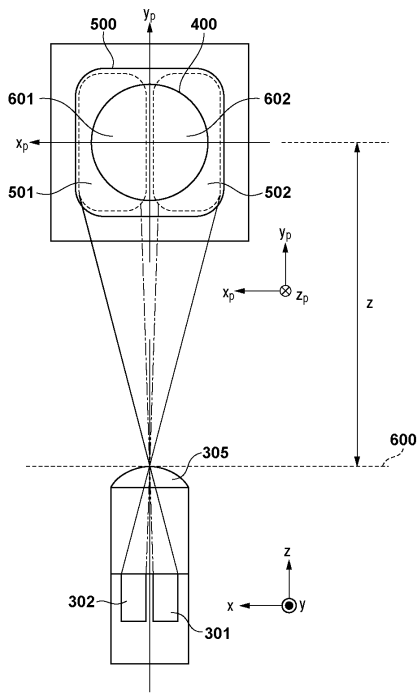
【図 2】



【図 3】



【図 4】



10

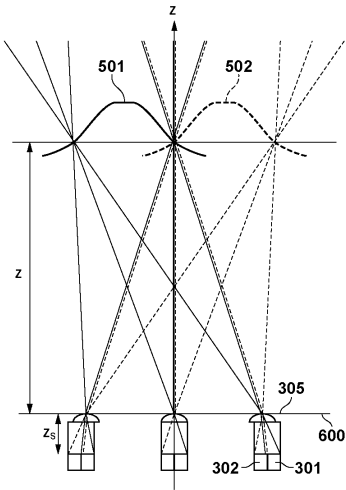
20

30

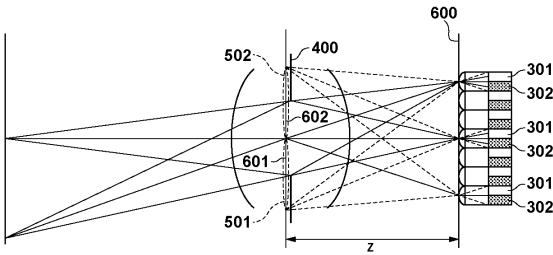
40

50

【 図 5 】

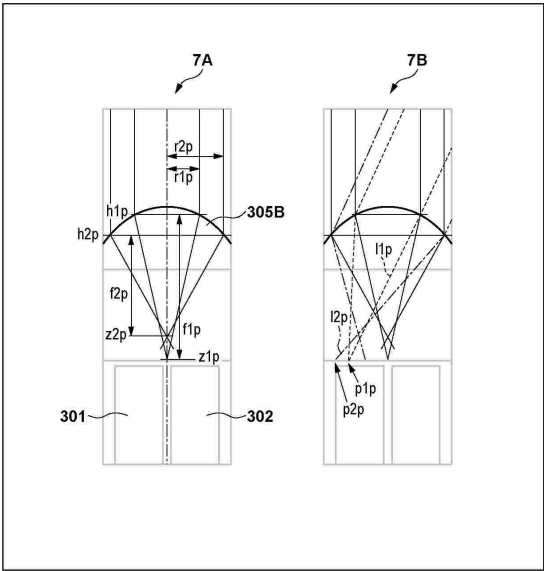


【 図 6 】

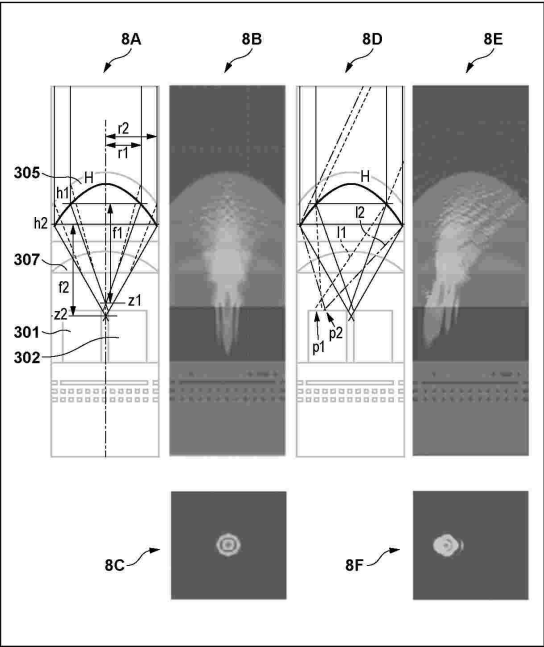


10

【 図 7 】



【 図 8 】



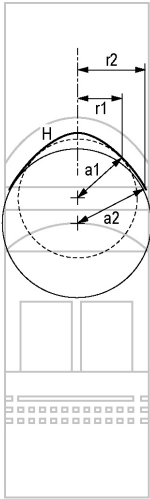
20

30

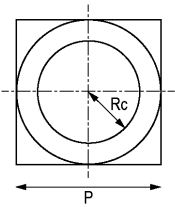
40

50

【図 9】

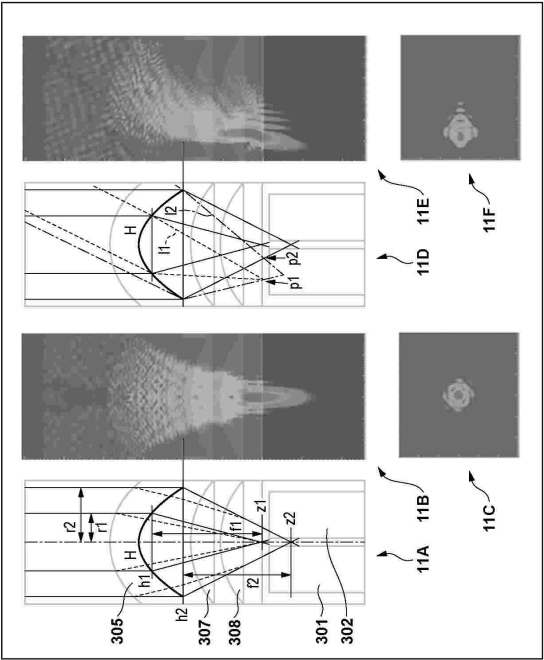


【図 10】

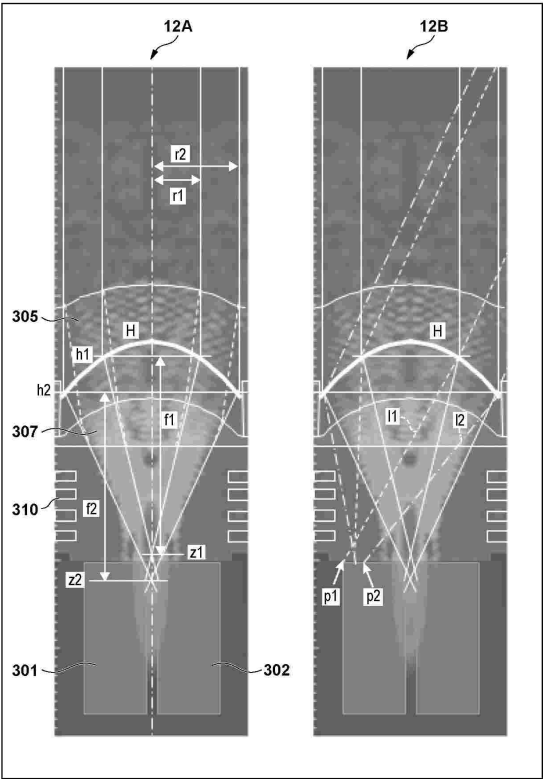


10

【図 11】



【図 12】



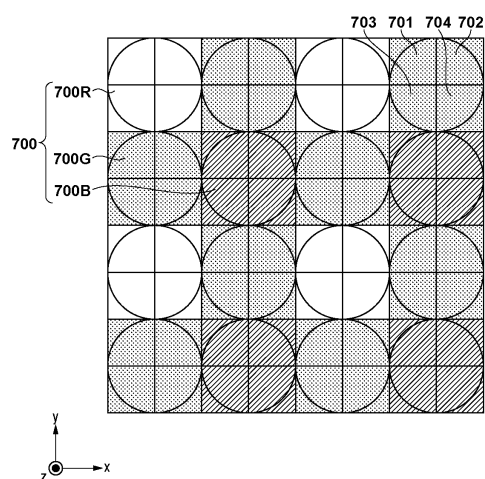
20

30

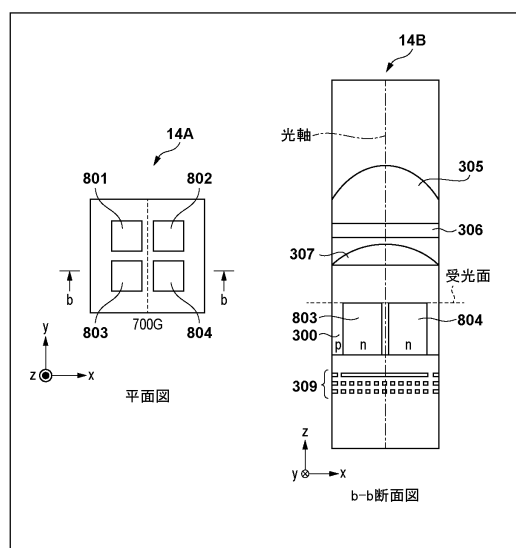
40

50

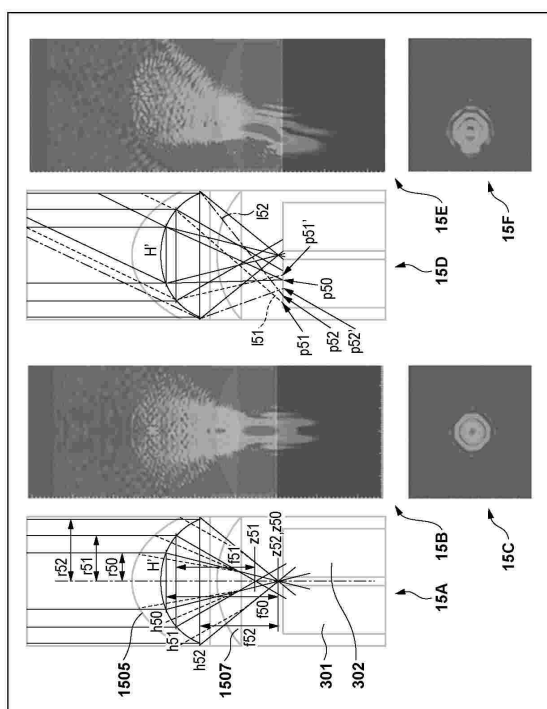
【 図 1 3 】



【圖 14】



【 図 1 5 】



フロントページの続き

(51)国際特許分類	F I		
H 0 1 L 27/146 (2006.01)	H 0 1 L	27/146	A
H 0 4 N 25/61 (2023.01)	H 0 1 L	27/146	D
	H 0 4 N	25/61	

- (56)参考文献
- 特開 2 0 1 4 - 1 5 4 6 6 2 (J P , A)
 - 特開 2 0 1 8 - 1 3 2 5 8 1 (J P , A)
 - 特開 2 0 1 4 - 0 8 6 4 7 1 (J P , A)
 - 特開 2 0 1 2 - 0 5 9 8 4 5 (J P , A)
 - 米国特許第 0 4 4 1 0 8 0 4 (U S , A)
 - 特開 2 0 0 1 - 0 8 3 4 0 7 (J P , A)
 - 特開 2 0 0 0 - 1 5 6 8 2 3 (J P , A)

- (58)調査した分野 (Int.Cl. , D B 名)
- H 0 4 N 2 5 / 7 0
 - G 0 2 B 3 / 0 0
 - G 0 2 B 7 / 3 4
 - G 0 2 B 1 3 / 0 0
 - G 0 3 B 1 3 / 3 6
 - H 0 1 L 2 7 / 1 4 6
 - H 0 4 N 2 5 / 6 1