

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5451111号
(P5451111)

(45) 発行日 平成26年3月26日 (2014. 3. 26)

(24) 登録日 平成26年1月10日 (2014. 1. 10)

(51) Int. Cl.

F I

GO 2 B 7/34 (2006. 01)
GO 3 B 13/36 (2006. 01)
HO 4 N 5/232 (2006. 01)
HO 4 N 5/335 (2011. 01)

GO 2 B 7/11 C
GO 3 B 3/00 A
HO 4 N 5/232 H
HO 4 N 5/335 U

請求項の数 8 (全 23 頁)

(21) 出願番号	特願2009-49716 (P2009-49716)	(73) 特許権者	000001007
(22) 出願日	平成21年3月3日 (2009. 3. 3)		キヤノン株式会社
(65) 公開番号	特開2009-244862 (P2009-244862A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43) 公開日	平成21年10月22日 (2009. 10. 22)	(74) 代理人	100076428
審査請求日	平成24年2月13日 (2012. 2. 13)		弁理士 大塚 康德
(31) 優先権主張番号	特願2008-61845 (P2008-61845)	(74) 代理人	100112508
(32) 優先日	平成20年3月11日 (2008. 3. 11)		弁理士 高柳 司郎
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(74) 代理人	100115071
			弁理士 大塚 康弘
		(74) 代理人	100116894
			弁理士 木村 秀二
		(74) 代理人	100130409
			弁理士 下山 治
		(74) 代理人	100134175
			弁理士 永川 行光

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 焦点検出装置およびそれを有する撮像装置

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

マイクロレンズと、該マイクロレンズを介して入射する光束を信号電荷に変換する光電変換部とを有する画素が複数配列された焦点検出装置であって、

前記複数の画素の前記光電変換部が変換した信号電荷を読み出すための電極群を有し、
前記複数の画素が、撮像画像を生成するための複数の撮像用画素と、位相差検出方式による焦点検出を行うための像信号を生成するための複数の焦点検出用画素とを含み、

前記マイクロレンズを介して前記焦点検出用画素の前記光電変換部に入射する光束を、予め定められた瞳分割方向である第1の方向について制限するように配置される第1の電極によって形成される開口の幅が、前記撮像用画素において前記第1の方向における光束の入射範囲を規定する開口の幅よりも狭く、かつ、前記第1の電極と前記光電変換部との距離が、前記焦点検出用画素の前記第1の方向に直交する第2の方向の開口を形成する第2の電極と前記光電変換部の距離よりも短いことを特徴とする焦点検出装置。

【請求項 2】

前記第1の電極が複数の電極から構成され、前記複数の電極の1つ以上が、前記焦点検出用画素の光電変換部の中心に向かって拡幅された形状を有することを特徴とする請求項1記載の焦点検出装置。

【請求項 3】

前記電極群が多層構造を有するとともに、

前記第2の電極が、前記電極群のうち、前記マイクロレンズの焦点位置から最も遠い層

10

20

以外の層の電極であることを特徴とする請求項 1 または 2 記載の焦点検出装置。

【請求項 4】

前記光電変換部と前記マイクロレンズとの間に前記第 1 の電極があることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の焦点検出装置。

【請求項 5】

前記撮像用画素の開口は、前記マイクロレンズを介して前記焦点検出用画素の前記光電変換部に入射する光束を遮らないように構成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれか 1 項に記載の焦点検出装置。

【請求項 6】

前記複数の焦点検出用画素が分散配置されるとともに、第 1 の瞳分割方向を有する焦点検出用画素対と、当該第 1 の瞳分割方向と直交する第 2 の瞳分割方向を有する焦点検出用画素対とを含むことを特徴とする請求項 1 乃至請求項 5 のいずれか 1 項に記載の焦点検出装置。

10

【請求項 7】

前記複数の焦点検出用画素から読み出された信号電荷に基づいて、前記瞳分割方向における位相差を検出するための 1 対の像信号を生成する生成手段と、

前記生成手段が生成した 1 対の像信号から、焦点ずれ量を算出する算出手段とをさらに有することを特徴とする請求項 1 乃至請求項 6 のいずれか 1 項に記載の焦点検出装置。

【請求項 8】

フォーカスレンズを有する撮影光学系と、

20

請求項 7 記載の焦点検出装置と、

前記算出手段が算出したフォーカスずれ量に応じて前記フォーカスレンズを駆動する駆動手段と、

前記焦点検出装置の前記撮像用画素から読み出した信号電荷に基づいて画像を生成する画像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】

本発明は焦点検出装置に関し、特に、撮像用画素と、位相差検出方式による焦点検出用の画素とを備える焦点検出装置に関する。

30

本発明はまた、このような焦点検出装置を有する撮像装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、撮像素子に位相差検出機能を付与し、専用の自動焦点検出 (AF) センサを用いずに、位相差検出方式の AF (位相差 AF) を実現する技術が知られている。

【0003】

例えば、特許文献 1 では、撮像素子の一部の画素に瞳分割機能を付与して焦点検出用画素として構成している。瞳分割機能は、画素の受光部を 2 分割することにより付与され、2 つの受光部の個々の出力を位相差検出用の信号として、加算出力を画素信号として用いる。

40

【0004】

また、特許文献 2 あるいは特許文献 3 では、撮像素子の一部の画素に対し、マイクロレンズと光電変換部の間の遮光層に、マイクロレンズの光軸に対して中心が偏奇した矩形開口を設けることで瞳分割機能を付与している。そして、瞳分割機能を有するこれらの画素を焦点検出用画素として所定の間隔で配置して位相差検出方式 AF を行なう。また、焦点検出用画素が配置された箇所の画像信号は、周辺画素の画像信号から生成している。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献 1】特開 2001 - 305415 号公報

50

【特許文献2】特開2000-156823号公報

【特許文献3】特開2008-134389号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

しかしながら、特許文献1の技術では、瞳分割機能を付与する画素の受光部を2つの領域に分割するとともに、分割した各領域の光電変換信号を独立して読み出し可能なように撮像素子を構成する必要がある。そのため、撮像素子の構造が複雑になり、画素ピッチの狭小化において不利である。また、分割した領域の間は不感帯となるため、撮像素子の感度低下を招く恐れがある。

10

【0007】

特許文献2及び特許文献3の技術では、瞳分割用の遮光層を設ける必要があるが、瞳分割専用の遮光層を設けると撮像素子の構造が複雑化する。さらに、特に近年は撮像素子としてCMOSイメージセンサ（相補性金属酸化膜半導体を用いた固体撮像素子）の普及が著しいが、CMOSイメージセンサはマイクロレンズと光電変換部の間に3層程度の電極層（配線層）が必要である。従って、CMOSイメージセンサに特許文献2もしくは3に開示された技術を適用しようとする、配線層に加えて遮光層が加わるため、マイクロレンズと光電変換部の距離が増加し、受光効率が低下することが予想される。また、通常、マイクロレンズの焦点位置は光電変換部の表面近傍に設定されている。そのため、瞳分割用の遮光層をマイクロレンズの直下に配置すると、所望の瞳分割性能が得られず、焦点検出精度が低下することも考えられる。

20

【0008】

本発明はこのような従来技術の課題に鑑みなされたものであり、撮像用画素と、位相差検出方式による焦点検出用の画素とを備える焦点検出装置において、高精度の焦点検出を実現することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

上述の目的は、マイクロレンズと、マイクロレンズを介して入射する光束を信号電荷に変換する光電変換部とを有する画素が複数配列された焦点検出装置であって、複数の画素の光電変換部が変換した信号電荷を読み出すための電極群を有し、複数の画素が、撮像画像を生成するための複数の撮像用画素と、位相差検出方式による焦点検出を行うための像信号を生成するための複数の焦点検出用画素とを含み、マイクロレンズを介して焦点検出用画素の光電変換部に入射する光束を、予め定められた瞳分割方向である第1の方向について制限するように配置される第1の電極によって形成される開口の幅が、撮像用画素において第1の方向における光束の入射範囲を規定する開口の幅よりも狭く、かつ、第1の電極と光電変換部との距離が、焦点検出用画素の第1の方向に直交する第2の方向の開口を形成する第2の電極と光電変換部の距離よりも短いことを特徴とする焦点検出装置によって達成される。

30

【発明の効果】

【0010】

このような構成により、本発明によれば、撮像用画素と、位相差検出方式による焦点検出用の画素とを備える焦点検出装置において、高精度の焦点検出を実現できる。

40

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】本発明の実施形態に係る焦点検出装置を適用可能な撮像装置の一例としてのデジタルカメラの構成例を示す図である。

【図2】本発明の実施形態に係るデジタルカメラにおいて位相差検出方式の焦点検出を行なう際の瞳分割の概念を説明する図である。

【図3】本発明の実施形態に係る焦点検出装置を構成する撮像素子における焦点検出用画素の配置例を示す図である。

50

【図４】図３で説明したブロックの１つを撮影光学系から見た状態を拡大して示す平面図である。

【図５】本発明の実施形態に係る撮像素子における撮像用画素の構造を説明するための図である。

【図６】本発明の第１の実施形態に係る撮像素子の焦点検出用画素（水平方向位相差検出用）の構造を説明するための図である。

【図７】本発明の第１の実施形態に係る撮像素子の焦点検出用画素（垂直方向位相差検出用）の構造を説明するための図である。

【図８】本発明の実施形態に係る撮像素子の撮像用画素の瞳投影を説明する図である。

【図９】本発明の実施形態に係る撮像素子の撮影光学系の水平方向（ X 方向）の位相差検出用画素（焦点検出用画素）の瞳投影を説明する図である。

【図１０】本発明の実施形態に係る撮像素子の撮影光学系の垂直方向（ Y 方向）の位相差検出用画素（焦点検出用画素）の瞳投影を説明する図である。

【図１１】本発明の第１の実施形態に係る撮像素子の焦点検出用画素 S_{HA} 、 S_{HB} と撮像用画素の瞳尖鋭度を説明する図である。

【図１２】本発明の第１の実施形態に係る撮像素子の焦点検出用画素 S_{VC} 、 S_{VD} と撮像用画素の瞳尖鋭度を説明する図である。

【図１３】本発明の第１の実施形態に係るデジタルカメラにおいて、焦点検出時に取得した画像と焦点検出領域の例を模式的に説明する図である。

【図１４】本実施形態に係るデジタルカメラの全体的な動作を説明するためのフローチャートである。

【図１５】図１４の $S131$ で行う焦点検出処理の詳細を説明するためのフローチャートである。

【図１６】図１４の $S161$ で行う撮影処理の詳細を説明するためのフローチャートである。

【図１７】第２の実施形態に係る焦点検出装置を構成する撮像素子のうち、単位ブロックに含まれる８行８列の６４画素を撮影光学系から見た状態を拡大して示した平面図である。

【図１８】本発明の第２の実施形態に係る撮像素子の焦点検出用画素（水平方向位相差検出用）の構造を説明するための図である。

【図１９】本発明の第２の実施形態に係る撮像素子の焦点検出用画素（垂直方向位相差検出用）の構造を説明するための図である。

【図２０】本発明の第２の実施形態に係る撮像素子の焦点検出用画素 S_{HA} 、 S_{HB} と撮像用画素の瞳尖鋭度を説明する図である。

【図２１】本発明の第２の実施形態に係る撮像素子の焦点検出用画素 S_{VC} 、 S_{VD} と撮像用画素の瞳尖鋭度を説明する図である。

【発明を実施するための形態】

【００１２】

以下、図面を参照して本発明の例示的な実施形態について説明する。

〔第１の実施形態〕

図１は本発明の第１の実施形態に係る焦点検出装置を適用可能な撮像装置の一例としてのデジタルカメラの構成例を示す図である。

【００１３】

第１レンズ群１０１は撮影光学系（結像光学系）の先端に配置され、光軸方向に移動可能に保持される。シャッタ１０２は、静止画撮影時の露光時間を制御するためのシャッタとしてだけでなく、開口径を調節することで撮影時の光量調節を行なう絞りとしても機能する。シャッタ１０２の背面（撮像素子側）に配置された第２レンズ群１０３は、シャッタ１０２と一体となって光軸方向に移動可能であり、第１レンズ群１０１とともにズーム機能を実現する。

【００１４】

第3レンズ群105はフォーカスレンズであり、光軸方向に移動可能である。光学ローパスフィルタ106は、撮像素子107の前方に配置され、撮影画像に発生する偽色やモアレを軽減する。焦点検出装置を構成する撮像素子107はCMOSイメージセンサとその周辺回路で構成される。本実施形態において、撮像素子107は、横方向にm個、縦方向にn個の複数の受光素子が2次的に配列され、その上に、バイヤー配列の原色カラーモザイクフィルタがオンチップで形成された、2次元単板カラーイメージセンサである。カラーフィルタは受光素子に入射する透過光の波長を画素単位で制限する。

【0015】

ズームアクチュエータ111は、ズーム駆動回路129の制御に従い、不図示のカム筒を回転して第1レンズ群101及び/又は第3レンズ群105を光軸方向に駆動する。シャッタアクチュエータ112は、シャッタ駆動回路128の制御に従い、所定の開口径で、かつ所定の開閉タイミングでシャッタ102を駆動する。

フォーカスアクチュエータ114は、フォーカス駆動回路126の制御に従い、第3レンズ群105を光軸方向に駆動する。

【0016】

フラッシュ115は、好ましくはキセノン管を用いた閃光照明装置であるが、連続発光するLEDを備えた照明装置であってもよい。AF補助光出力部116は、所定の開口パターンのマスク像を被写界に投影し、暗所での撮影時や低コントラストの被写体に対する焦点検出を支援する。

【0017】

CPU121は、デジタルカメラ全体の動作を制御し、図示しない演算部、ROM、RAM、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。CPU121は、ROMに記憶されたプログラムを実行して、各種回路を制御し、AF、AE、画像処理、記録等、デジタルカメラの機能を実現する。

【0018】

フラッシュ制御回路122は、撮影動作時にフラッシュ115を点灯制御する。補助光駆動制御回路123は、焦点検出動作時にAF補助光出力部116を点灯制御する。撮像素子駆動回路124は、撮像素子107の動作を制御するとともに、撮像素子107から読み出した画像信号をA/D変換してCPU121に出力する。画像処理回路125は、画像信号に対して変換、色補間、JPEG符号化などの画像処理を適用する。

【0019】

フォーカス駆動回路126は、焦点検出結果に基づいてフォーカスアクチュエータ114を駆動し、第3レンズ群105を光軸方向に移動させて焦点調節を行なう。シャッタ駆動回路128は、シャッタアクチュエータ112を駆動してシャッタ102の開口径及び開閉タイミングを制御する。ズーム駆動回路129は、例えば操作スイッチ群132に含まれるズーム操作スイッチの押下によって撮影者から入力されるズーム操作に応じてズームアクチュエータ111を駆動する。

【0020】

表示器131はLCD等であり、デジタル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の情報等を表示する。操作スイッチ群132は、電源スイッチ、リリース（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を含む。記録媒体133は例えば着脱可能な半導体メモリカードであり、撮影画像を記録する。

【0021】

図2は、本実施形態のデジタルカメラにおいて位相差検出方式の焦点検出を行なう際の瞳分割の概念を説明する図である。以下、第1の瞳分割方向として水平方向、第1の瞳分割方向に直交する第2の瞳分割方向として垂直方向に瞳分割を行うものとして説明する。

撮像素子107の一部の画素には位相差検出のための瞳分割機能が付与されている。E_{PH_A}、E_{PH_B}は水平方向（X方向）の位相差検出を行なうための瞳領域、E_{P_{VC}}、E_{P_{VD}}は垂直方向（Y方向）の位相差検出を行なうための瞳領域である。これら4個の瞳領域は

10

20

30

40

50

、後述するように、焦点検出用画素の瞳分割用開口部がオンチップマイクロレンズで撮影光学系の射出瞳 TL に投影されたものである。

【 0 0 2 2 】

図 3 は、本実施形態の焦点検出装置を構成する撮像素子 1 0 7 における焦点検出用画素の配置例を示す図である。

上述の通り、本実施形態の撮像素子 1 0 7 は、画素が 2 次元的に複数配列されてなる。そして、2 行 × 2 列の 4 画素のうち、対角 2 画素に G (緑色) の分光感度を有する画素を配置し、他の 2 画素に R (赤色) と B (青色) の分光感度を有する画素を各 1 個配置した、ベイヤー配列を採用している。

【 0 0 2 3 】

さらに、8 行 × 8 列 = 6 4 画素をブロックとし、水平方向に瞳分割を行なう 1 組の焦点検出用画素 S_{HA} 及び S_{HB} と、垂直方向に瞳分割を行なう 1 組の焦点検出用画素 S_{VC} 及び S_{VD} を各ブロックに配置している。また、本実施形態において、各ブロックにおける焦点検出用画素の配置は共通であり、撮像素子 1 0 7 の画素領域にはブロックが繰り返し規則的に配置されている。

【 0 0 2 4 】

次に、焦点検出用画素群の出力信号の利用方法について説明する。図 3 において、 $AFLN_{H1} \sim AFLN_{H3}$ は、水平方向の位相差を検出する焦点検出ラインである。そして各ラインに含まれる複数の焦点検出用画素 S_{HA} の出力信号からなる第 1 の像信号と、同じく複数の焦点検出用画素 S_{HB} の出力信号からなる第 2 の像信号との位相差を演算することで、

【 0 0 2 5 】

同様に、 $AFLN_{V1}$ ないし $AFLN_{V3}$ は、垂直方向の位相差を検出する焦点検出ラインである。そして各ラインに含まれる複数の焦点検出用画素 S_{VC} の出力信号からなる第 3 の像信号と、同じく複数の焦点検出用画素 S_{VD} の出力信号からなる第 4 の像信号との位相差を演算することで、画像の焦点ずれ量 (デフォーカス量) を算出する。

【 0 0 2 6 】

図 4 ~ 図 7 は撮像素子 1 0 7 における、撮像用画素と焦点検出用画素の構造例を説明するための図である。

図 4 は、図 3 で説明したブロックの 1 つを撮影光学系から見た状態を拡大して示す平面図である。

図 4 において、黒の矩形で示される光電変換部 1 5 2 は、各画素の最下層に設けられており、すべての画素でほぼ正形状を有する。なお、後述するように、光電変換部 1 5 2 の全体が見えている画素 1 5 0 が撮像用画素、一部のみが見えている画素 S_{HA} 、 S_{HB} 、 S_{VC} 及び S_{VD} が焦点検出用画素である。光電変換部 1 5 2 の出力は、第 1 の電極群 1 5 4 及び第 2 の電極群 1 5 5 によって読み出される。第 1 の電極群 1 5 4 及び第 2 の電極群 1 5 5 とは、平面図において互いが重なった部分の所定箇所に形成されたスルーホール (図示せず) によって電気的に接続される。なお、図 4 には示していないが、実際には、第 2 の電極群 1 5 5 の上には、下から順に第 3 の電極群、カラーフィルタ、マイクロレンズ等の構造体が設けられる。

【 0 0 2 7 】

光電変換部 1 5 2 より上層 (光の入射側) に配置された第 1 の電極群 1 5 4 は、Y 方向 (図中上方向) に延伸し、X 方向 (図中右方向) に規則的に複数配置された線状の電極 1 5 4 a と、各画素内に配置された島状の電極 1 5 4 b とから構成される。なお、島状の電極 1 5 4 b は、その下層 (光電変換部 1 5 2 と同一面内) にある電荷蓄積部やスイッチング素子及び、上層の第 2 の電極群 1 5 5 と図示しないスルーホールで導通し、上層及び下層の間で信号の中継を行う中継電極として機能する。従って、以下、第 1 の電極群のうち、1 5 4 a を信号伝達用主電極群、1 5 4 b は中継用電極群と称する。また、第 1 の電極群 1 5 4 より上層に配置された第 2 の電極群 1 5 5 は、X 方向に延伸し、Y 方向に規則的に複数配置された線状の電極 1 5 5 a で構成される。光電変換部 1 5 2 で発生した信号電

10

20

30

40

50

荷は、不図示のフローティングディフュージョン部、第1の電極群154、及び第2の電極群155を介して後段の回路部に出力される。

【0028】

本実施形態において、第1及び第2の電極群154及び155は、撮像用画素については、光電変換部152に入射する光束を遮らないように必要最小限の幅で形成される。一方、焦点検出用画素 S_{HA} 、 S_{HB} 、 S_{VC} 及び S_{VD} については、電極の線幅を部分的に拡張し、瞳分割機能を付与するためのスリット開口を形成する。第1及び第2の電極群154及び155によって、スリット開口を形成する構成については図6以降を参照して後で詳細に説明する。

【0029】

図5は本実施形態の撮像素子107における撮像用画素の構造を説明するための図である。図5(a)は、図4における焦点検出用画素 S_{HA} 、 S_{HB} と2つの撮像用画素150を含む4画素の平面図である。また図5(b)は、図5(a)における撮像用画素150の1つのA-A断面図である。

【0030】

まず、図5(b)を用いて、撮像用画素150の構造について説明する。

光電変換部152は、シリコン基板151に埋め込まれる形で形成されている。透明ポリシリコン電極153が、光電変換部152とシリコン基板151の上面に設けられる。多層構造を有する第1の電極群154、第2の電極群155及び第3の電極群156は、透明ポリシリコン電極153の上方に設けられている。第3の電極群156は各画素の境界部に配置され、図5(a)では省略されているが、井桁形状をなしている。これら3層の電極群154～156はアルミニウムもしくは銅の金属膜をエッチングして形成される。また、第1～第3の電極群154～156は、二酸化珪素 SiO_2 等からなる透明な層間絶縁膜157によって絶縁されている。158は第3の電極群156の上部を覆うパッシベーション膜、159は第1の平坦化層である。160はカラーフィルタで、当図の場合は緑(G)フィルタである。161は第2の平坦化層、162はオンチップマイクロレンズ(単にマイクロレンズともいう)である。

【0031】

撮像用画素150に求められる第1の機能は、撮影光学系を通過して入射した光束を効率よく光電変換部152に導くことである。撮像用画素150に求められる第2の機能は、撮影光学系が交換されたり、ズーム操作や焦点調節動作で光学特性が変化しても、光束の伝達効率を低下させないことである。これらの機能を達成するため、通常は、マイクロレンズ162の焦点位置が光電変換部152の上面近傍になるよう、マイクロレンズ162の形状が設定される。また、マイクロレンズ162に入射した光束が第1及び第2の電極群154及び155によって遮蔽されないよう、第1及び第2の電極群154及び155の幅は最小限に形成される。

【0032】

図6は、本実施形態の撮像素子107における焦点検出用画素(水平方向位相差検出用)の構造を説明するための図である。

図6(a)は、図5(a)と同じ4画素の平面図である。また図6(b)は、図6(a)における焦点検出用画素 S_{HA} 、 S_{HB} のA-A断面図である。

図5に示した撮像用画素150の構造と、焦点検出用画素 S_{HA} 、 S_{HB} とが異なるのは、画素内における第1及び第2の電極群154及び155の形状である。具体的には、焦点検出用画素 S_{HA} 、 S_{HB} では、スリット開口を形成するように第1及び第2の電極群154及び155の幅が制御されている。このように、本実施形態では、第1及び第2の電極群154及び155を遮光膜として用いて画素に瞳分割機能を付与し、焦点検出用画素を形成している。

【0033】

撮影光学系の射出瞳面上での瞳分割を、撮像画素内のマイクロレンズと、遮光部材で形成された開口とによって実現する場合、各部材の寸法が微小なことで生じる光の回折や、

10

20

30

40

50

マイクロレンズの球面収差のため、瞳結像の尖鋭度（瞳分割特性）が損なわれ易い。そして、一对の瞳領域が重なったり、撮影光学系によるケラレが生ずると、位相差検出方式の焦点検出精度は低下する。従って、特に瞳分割方向においては、一对の瞳が明瞭に分割され、かつ、撮影光学系によるケラレを最小限にすることが望ましい。

【0034】

図5(b)を参照して説明したように、マイクロレンズ162は、その焦点位置が光電変換部152の最上面近傍になるように設定される。従って、良好な瞳分割特性を得るためには、瞳分割方向の光束を規制するための遮光部材を、マイクロレンズ162の焦点位置に近く配置することが必要である。しかしながら、上述の通り、CMOSイメージセンサにおいては、マイクロレンズと光電変換部との間に複数の電極層が必要である。そのため、さらに専用の遮光層を設けると撮像素子の構造が複雑化する上、マイクロレンズと光電変換部の距離が増加して撮像用画素の受光効率が低下する。

10

【0035】

そこで、本実施形態においては、もともとCMOSイメージセンサが有している電極群を遮光膜として利用することにより、撮像素子の構造が複雑化すること及びマイクロレンズと光電変換部152との距離の増加を抑制しながら、良好な瞳分割特性を実現する。なお、図6(a)においても、図5(a)と同様、第3の電極群156及びその上層の構造は図示していない。

【0036】

図6(a)において、第1及び第2の電極群154及び155の線幅は、撮像用画素150においては必要最小限の幅で形成されている。一方、焦点検出用画素 S_{HA} 、 S_{HB} においては、まず第1の電極群154の線幅を、光電変換部152の中心に向けて部分的に拡張している。また、第2の電極群155の線幅も同様に光電変換部152の中心に向けて拡張し、これら2層の電極群により、1対のスリット開口 OP_{HA} 、 OP_{HB} を形成する。

20

【0037】

ここで、各々のスリット開口を形成する4辺のうち、瞳分割方向に平行な水平方向（X方向）の光束を規制する2辺（長辺）はマイクロレンズ162の焦点位置に近い第1の電極群154により形成する。また、瞳分割方向と直交する方向（Y方向）の光束を規制する2辺（短辺）は第1の電極群154よりもマイクロレンズ162の焦点位置から遠い第2の電極群155で形成する。このように、瞳分割方向の光束は多層構造を有する電極群のうち、マイクロレンズ162の焦点位置に近くに配置された部材で規制することで、位相差検出方向の瞳尖鋭度が高くなるようにしている。また、一对のスリット開口中心を、各々のマイクロレンズの光軸に対して互いに反対方向に所定量偏倚させることで、撮影光学系に投影される一对の瞳が所定の間隔を有することとなり、画素に位相差検出のための瞳分割機能が付与される。

30

【0038】

なお、多層構造を有する電極群のうち、異なる層の電極群を用いて開口を形成する場合、瞳分割方向に平行な方向の光束を規制する辺を形成する電極群は、多層構造を有する電極群のうち、マイクロレンズ162の焦点位置から最も遠い層以外の電極群であればよい。また、瞳分割方向に直交する方向の光束を規制する辺を形成する電極群は、多層構造を有する電極群のうち、瞳分割方向に平行な方向の光束を規制する辺を形成する電極群よりもマイクロレンズ162の焦点位置から遠い層の電極群であればよい。

40

【0039】

また、本実施形態において、3層の電極群154～156のうち、第1の電極群154はマイクロレンズ162から最も遠い位置にある。そのため、良好な瞳尖鋭度が得られるだけでなく、マイクロレンズ162の光軸と電極パターンのアライメント誤差に起因する瞳中心軸の角度ずれも軽微で済む、という効果も有する。

【0040】

図7は、本実施形態の撮像素子107における焦点検出用画素（垂直方向位相差検出用）の構造を説明するための図である。

50

図 7 (a) は、図 4 における焦点検出用画素 S_{VC} 、 S_{VD} と 2 つの撮像用画素 1 5 0 を含む 4 画素を拡大した平面図である。また、図 7 (b) は、図 7 (a) における焦点検出用画素 S_{VC} 、 S_{VD} の A - A 断面図である。図 7 (b) に示す断面構成は、図 5 (b) 及び図 6 (b) で示した構成と実質上同一のため、説明は省略する。

【 0 0 4 1 】

図 7 (a) を用いて、垂直方向位相差検出用の焦点検出用画素の瞳分割用スリット開口の構成を説明する。

垂直方向位相差検出用の焦点検出用画素 S_{VC} 、 S_{VD} は、図 6 に示した水平方向位相差検出用の焦点検出用画素 S_{HA} 、 S_{HB} と、第 1 及び第 2 の電極群 1 5 4 及び 1 5 5 の走向方向は同一だが、瞳分割方向は 90 度異なる。そのため、瞳分割用のスリット開口を形成するための電極の形状が以下の通り異なる。

【 0 0 4 2 】

まず、瞳分割方向、すなわち Y 方向の光束を規制する部材は、第 1 の電極群 1 5 4 のうち、Y 方向に走向する信号伝達用主電極群 1 5 4 a (図 4 参照) ではなく、各画素の境界部に設けられた島状の中継用電極群 1 5 4 b を用いている。図 7 (a) の平面図に示すように、中継用電極群 1 5 4 b の幅を光電変換部 1 5 2 の中心に向かって拡張し、光電変換部 1 5 2 上部を覆う。また、瞳分割方向と直交する方向、すなわち X 方向の光束を規制する部材は、Y 方向に走向する第 2 の電極群 1 5 5 の一部の幅を拡張させることによって形成する。ただし、水平方向位相差検出用の焦点検出用画素における Y 方向の光束を規制するための部材を形成する際とは形状が異なる。また、図 7 に示すように、スリット開口の Y 方向の 2 辺を 1 つの電極から延びる 1 対の拡張部 1 5 5 c で形成しており、光電変換部 1 5 2 を挟んで対向する電極 1 5 5 d の形状は変更されていない。なお、1 対の拡張部 1 5 5 c を光電変換部 1 5 2 を挟んで対向する 1 対の電極で 1 つずつ形成してもよい。

【 0 0 4 3 】

以上の構成により、瞳分割用のスリット開口 OP_{VC} 、 OP_{VD} を形成するが、これら一対の開口形状は、図 6 (a) に示したスリット開口 OP_{HA} 、 OP_{HB} を Z 軸まわりに 90 度回転した形状と実質的に同一になる。

【 0 0 4 4 】

次に、図 8 ないし図 10 を用いて、撮影光学系と各画素の瞳投影関係について説明する。

図 8 は撮像用画素の瞳投影を説明する図で、図 5 と同じ撮影用画素の平面図 (図 8 (a)) 及び断面図 (図 8 (b)) を示しているが、断面図における画素内構造は要部のみを簡略化して示している。

【 0 0 4 5 】

図 8 (b) に示すように、光電変換部 1 5 2 の上面はマイクロレンズ 1 6 2 を介して撮影光学系の瞳面に投影される。前述の通り、撮像用画素は撮影光学系の射出瞳 TL 全域を通過した光束を高効率に取り込むように構成されている。よって、光電変換部 1 5 2 が投影された瞳 EP_{NRM} は、撮影光学系の射出瞳 TL をほぼカバーする形状を有する。

【 0 0 4 6 】

図 9 は、撮影光学系の水平方向 (X 方向) の位相差検出用画素 (焦点検出用画素) の瞳投影を説明する図であり、図 6 に対応する。

図 9 (a) における A - A 断面図である図 9 (b) に示すように、画素 S_{HA} のスリット開口 OP_{HA} は、マイクロレンズ 1 6 2 を介して、撮影光学系の射出瞳 TL に瞳 EP_{HA} として投影される。同様に、画素 S_{HB} のスリット開口 OP_{HB} は瞳 EP_{HB} として投影される。すなわち、撮影光学系の射出瞳 TL は焦点検出用の一対の瞳 EP_{HA} 及び EP_{HB} に分割され、分割された瞳 EP_{HA} を通過した光束を画素 S_{HA} で、瞳 OP_{HB} を通過した光束を画素 S_{HB} で受光する。

【 0 0 4 7 】

そして、画素 S_{HA} 及び画素 S_{HB} は図 3 に示すように水平方向に規則的に配列されている。そこで、複数の画素 S_{HA} の出力を連ねて生成した第 1 の像信号と、複数の画素 S_{HB} の出

10

20

30

40

50

力を連ねて生成した第2の像信号との像ずれ量、すなわち位相差を検出することで、被写体像のピントずれ量（デフォーカス量）が検出できる。

【0048】

図10は、撮影光学系の垂直方向（Y方向）の位相差検出用画素の瞳投影を説明する図であり、図7に対応する。

図9（b）と同様、図10（b）においても、画素 S_{VC} のスリット開口 OP_{VC} は、マイクロレンズ162を介して、撮影光学系の射出瞳 TL 上に瞳 EP_{VC} として投影される。同様に、画素 S_{VD} のスリット開口 OP_{VD} は瞳 EP_{VD} として投影される。すなわち、撮影光学系の射出瞳 TL は焦点検出用の一對の瞳 EP_{VC} 及び EP_{VD} に分割され、分割された瞳 EP_{VC} を通過した光束を画素 S_{VC} で、 EP_{VD} を通過した光束を画素 S_{VD} で受光する。

10

【0049】

そして画素 S_{VC} 及び画素 S_{VD} は図3に示すように垂直方向に規則的に配列されている。そこで、複数の画素 S_{VC} の出力を連ねて生成した第3の像信号と、複数の画素 S_{VD} の出力を連ねて生成した第4の像信号との像ずれ量、すなわち位相差を検出することで、被写体像のピントずれ量（デフォーカス量）が検出できる。

【0050】

図11及び図12は、射出瞳 TL に投影された画素の瞳の尖鋭度を説明する図で、図11は焦点検出用画素 S_{HA} 、 S_{HB} と撮像用画素の瞳尖鋭度を説明する図である。図11（a）は撮影光学系の射出瞳面を撮像素子側から見た平面図で、上述の通り、 TL は撮影光学系の射出瞳である。また、 EP_{NRM} は撮像用画素に対応した瞳形状、 EP_{HA} 及び EP_{HB} は

20

焦点検出用画素 S_{HA} 及び画素 S_{HB} に対応した瞳形状である。画素内での光の回折やマイクロレンズの収差のため、投影された瞳の尖鋭度は低下している。すなわち図11（a）に示した瞳の像は理想的な尖鋭像ではなく、所定のボケを有している。

【0051】

図11（b）は図11（a）に示した平面図において、光軸を通る水平方向（x軸方向）の断面における、各瞳の尖鋭度を説明する図で、横軸は撮影光学系の瞳面における水平座標、縦軸は各瞳における光束の透過率である。ここで、図11（b）は各画素における光の受光効率の角度依存性を表わすため、便宜上「瞳強度分布」と称する。図11（b）において、 INT_{NRM-H} 、 INT_{HA-H} 、 INT_{HB-H} はそれぞれ撮像用画素、焦点検出用画素 S_{HA} 、及び S_{HB} の、水平方向断面における瞳強度分布である。また、各瞳強度分布において、最大値の1/2の強度における幅を瞳強度分布の幅 W 、同じく1/2の強度における傾き角を瞳強度分布の尖鋭度と定義し、図11（b）のごとく添え字にて区別する。

30

【0052】

図11（c）は、図11（b）と同様、図11（a）に示した平面図において、光軸を通る垂直方向（y軸方向）の断面における、各瞳の尖鋭度を説明する図である。そして、 INT_{NRM-V} 、 INT_{HA-V} 、 INT_{HB-V} はそれぞれ撮像用画素、焦点検出用画素 S_{HA} 、及び S_{HB} の、垂直方向断面における瞳強度分布である。また、各画素における瞳強度分布の幅 W と尖鋭度は図示のごとく添え字にて区別する。

【0053】

40

次に図11における各瞳強度分布の特徴について説明する。まず、撮像用画素においては図5（a）に示したように、光電変換部152は第1及び第2の電極群154及び155によって覆われることなく、光電変換部152の全体が露出している。そこでその瞳強度分布は幅が広く、かつ水平方向の幅 W_{NRM-H} 及び垂直方向の幅 W_{NRM-V} はほぼ同一である。また、光電変換部152はその外縁部において光電変換効率が漸減するため、瞳強度分布の尖鋭度 $_{NRM-H}$ 及び $_{NRM-V}$ は低く、裾はなだらかである。

【0054】

一方、焦点検出用画素においては、図11（b）に示すように、水平方向における瞳強度分布の幅 W_{HA-H} 及び幅 W_{HB-H} は狭く、また尖鋭度 $_{HA-H}$ 及び $_{HB-H}$ は高い。これに対し、図11（c）に示すように、垂直方向における瞳強度分布の幅 W_{HA-V} 及び幅 W_{HB-V} は広

50

く、また尖鋭度 H_A-V 及び H_B-V は低い。

【 0 0 5 5 】

すなわち、焦点検出用画素においては、瞳分割方向の各瞳の瞳強度分布は先鋭度が高く、一対の瞳は明瞭に分離されている。一方で、瞳分割と直交する方向には広範囲の光束を取り込むことで、焦点検出画素の受光量低下を軽減している。

【 0 0 5 6 】

図 1 2 は焦点検出用画素 S_{VC} 、 S_{VD} と撮像用画素の瞳尖鋭度を説明する図である。図 1 1 に対して図 1 2 は瞳分割方向が 90 度異なっているため、図 1 2 (b) と図 1 2 (c) の特性が反転しているが、瞳分割方向の特性同士を比較すると、両者は実質上同一の特性である。また、瞳分割方向と直交する方向の特性も両者は実質上同一となっている。

10

【 0 0 5 7 】

図 1 3 は、本実施形態のデジタルカメラにおいて、焦点検出時に取得した画像と焦点検出領域の例を模式的に説明する図である。

図 1 3 において、撮像素子 1 0 7 の撮像面に形成された被写体像には、中央に人物、左側に近景の樹木、右側に遠景の山並みが写っている。

【 0 0 5 8 】

本実施形態の撮像素子 1 0 7 は、水平方向の位相差を検出するための第 1 の焦点検出用画素対 S_{HA} 及び S_{HB} と、垂直方向の位相差を検出するための第 2 の焦点検出用画素対 S_{VC} 及び S_{VD} を有する。そして、第 1 の焦点検出用画素対及び第 2 の焦点検出用画素対は、図 3 に示したように、均等な密度で撮像素子 1 0 7 の全体に分散して配置されている。

20

そして、位相差検出の際には、焦点検出用画素の信号を、図 3 で示したようにグループ化処理する。これにより、撮像領域の任意位置において、水平方向及び垂直方向の位相差検出のための焦点検出領域を設定可能である。

【 0 0 5 9 】

図 1 3 においては、画面中央に人物の顔が存在している。例えば画像処理回路 1 2 5 において撮像画像に対して公知の顔認識技術を適用し、顔の存在が検出された場合には、顔領域を中心に焦点検出領域を設定することができる。

【 0 0 6 0 】

具体的には、図 1 3 に示すように、顔領域を中心として、水平方向の位相差検出のための焦点検出領域 $AFA R_h(x1, y1)$ と、垂直方向の位相差検出のための焦点検出領域 $AFA R_v(x3, y3)$ を設定することができる。なお、添え字の h は水平方向を表わし、 $(x1, y1)$ 及び $(x3, y3)$ はそれぞれ、焦点検出領域の左上隅の画素座標値を表わす。そして、焦点検出領域 $AFA R_h(x1, y1)$ に含まれる焦点検出用画素 S_{HA} で得られた画像信号を水平方向に連結した位相差検出用の A 像信号を $AFSIG_h(A1)$ とする。また、同様に、焦点検出領域 $AFA R_h(x1, y1)$ に含まれる焦点検出用画素 S_{HB} で得られた画像信号を水平方向に連結した位相差検出用の B 像信号を $AFSIG_h(B1)$ とする。

30

そして、A 像信号 $AFSIG_h(A1)$ と B 像信号 $AFSIG_h(B1)$ の位相差を公知の相関演算によって計算することで、水平方向における焦点ずれ量（デフォーカス量）を求めることができる。

【 0 0 6 1 】

40

焦点検出領域 $AFA R_v(x3, y3)$ についても同様にして、焦点検出用画素 S_{VC} と S_{VD} から得た C 像信号 $AFSIG_v(C3)$ と D 像信号 $AFSIG_v(D3)$ を求め、さらに垂直方向における焦点ずれ量を求める。

そして、2 つの焦点検出領域 $AFA R_h(x1, y1)$ 及び $AFA R_v(x3, y3)$ で検出した 2 つの焦点ずれ量を比較し、信頼性の高い値を採用すればよい。

【 0 0 6 2 】

一方、画面左側の樹木の幹部は、縦線成分が主体、すなわち水平方向に輝度分布を有しているため、水平方向の位相差検出に適した被写体と判断し、水平方向の位相差検出のための焦点検出領域 $AFA R_h(x2, y2)$ を設定する。また、画面右側の山並みの稜線部は、横線成分が主体、すなわち縦方向の輝度分布が主体であるため、垂直方向の位相差検出の

50

ための焦点検出領域 $AFAR_v(x4, y4)$ を設定する。

【0063】

このように、本実施形態においては、水平方向及び垂直方向の位相差検出のための焦点検出領域を画面（撮像素子）の任意領域に設定可能なため、被写体の画面内位置や輝度分布の方向性が様々であっても、適切な焦点検出を行うことができる。

【0064】

図14～図16は、本実施形態におけるデジタルカメラの焦点調節及び撮影動作を説明するためのフローチャートである。

図14は、本実施形態に係るデジタルカメラの全体的な動作を説明するためのフローチャートである。

10

【0065】

撮影者が操作スイッチ132の電源スイッチをオン操作すると、S103においてCPU121はカメラ内の各アクチュエータや撮像素子の動作確認を行ない、メモリ内容や実行プログラムの初期化を行なうと共に、撮影準備動作を実行する。

【0066】

S105でCPU121は撮像素子駆動回路124を通じて撮像素子107の撮像動作を開始する。また、画像処理回路125によって撮像画像を処理し、表示用（記録用よりも低解像度）の画像を生成する。画像処理回路125はさらに、表示用画像から人物の顔を検出する。

【0067】

20

S107でCPU121は、画像処理回路125が生成する表示用の画像を表示器131に逐次出力して、表示器131をEVFとして機能させる。撮影者は表示器131に表示される画像を見ながら、撮影時の構図決定を行なう。

【0068】

S109で、CPU121は、画像処理回路125から、顔検出結果と、顔が検出されていれば顔領域に関する情報を取得する。そして、顔が検出されている場合には、S111からS113に移行し、CPU121は焦点調節モードを顔AFモードに設定する。ここで顔AFモードとは、顔領域に焦点検出領域を設定するAFモードを指す。

【0069】

一方、表示用画像から顔が検出されなかった場合、S111からS115に移行し、CPU121は焦点調節モードを多点AFモードに設定する。ここで多点AFモードとは、撮影領域を複数の領域（例えば縦3、横5の15領域）に分割し、各分割領域で焦点検出を行ない、焦点検出結果と被写体の輝度情報から推定される主被写体の存在する分割領域を最終的な焦点検出領域とするモードを指す。

30

【0070】

S113あるいはS115でAFモードを決定したら、CPU121は、S117で焦点検出領域を決定する。S121では、撮影準備スイッチがオン操作されたか否かを判別し、オン操作されていなければS105に戻り、撮像素子駆動からS117の焦点検出領域の決定を繰り返し実行する。

【0071】

40

S121でCPU121は操作スイッチ132の撮影準備スイッチの状態を検出し、オンであればS131へ、オンでなければS105へ処理を移す。撮影準備スイッチは、例えばリリースボタンが半押しされるとオンするスイッチであって良い。

【0072】

図15は、S131で行う焦点検出処理の詳細を説明するためのフローチャートである。

S132において、CPU121は、S117で決定した焦点検出領域に含まれる撮像用画素と焦点検出用画素を読み出す。S133において、CPU121は、読み出した撮像用画素の情報から、焦点検出領域における被写体輝度変化の方向依存性（被写体パターン）を認識する。S134でCPU121は、S133で認識した被写体パターンから、

50

焦点検出に適した位相差検出方向を選択する。具体的には、被写体像の輝度変化が水平方向のみに存在する場合は、水平方向の位相差を検出する焦点検出用画素のみを用いた焦点検出を行なう。同様に、被写体像の輝度変化が垂直方向のみに存在する場合は、垂直方向の位相差を検出する焦点検出用画素のみを用いた焦点検出を行なう。また、被写体像の輝度変化が水平及び垂直の両方向に存在する場合は、水平方向の位相差を検出する焦点検出用画素と垂直方向の位相差を検出する焦点検出用画素の両方を用いた焦点検出（クロス測距）を行なう。

【 0 0 7 3 】

S 1 4 1 で C P U 1 2 1 は、焦点検出領域内の焦点検出画素の出力を画素位置に応じて連結し、A F 画素信号を得る。S 1 4 2 で C P U 1 2 1 は、S 1 4 1 で得た A F 画素信号に、シェーディング補正（周辺画面の光量落ち補正）や、ピネッティングによる 2 像の歪みの復元補正等を施し、相関演算用の 1 対の像信号を生成する。具体的には、図 1 3 に示した A 像信号 A F S I G_h(A1)と B 像信号 A F S I G_h(B1)、あるいは C 像信号 A F S I G_v(C3)と D 像信号 A F S I G_v(D3)などの 1 対の像信号を生成する。

10

【 0 0 7 4 】

S 1 4 3 で C P U 1 2 1 は位相差検出用の像信号対の相関演算を行ない、像信号の位相差を計算する。

S 1 4 4 で C P U 1 2 1 は、相関演算結果の信頼性を判定する。ここで信頼性とは、像信号対の一致度（波形の類似度）を指し、一致度が良い場合は一般的に焦点検出結果の信頼性が高い。そこで、複数の焦点検出領域が選択されている場合は、信頼性の高い像信号対に基づく位相差を優先的に使用する。

20

S 1 4 5 で C P U 1 2 1 は、信頼性の高い像信号対から求められた位相差に基づいて最終的な焦点ずれ量を演算し、焦点検出処理を終了する。

【 0 0 7 5 】

図 1 4 に戻り、S 1 5 1 で C P U 1 2 1 は、焦点検出処理で計算した焦点ずれ量が許容値以下か（合焦と判定可能か）否かを判断する。焦点ずれ量が許容値より大きい場合、C P U 1 2 1 は非合焦と判断し、S 1 5 3 でフォーカス駆動回路 1 2 6 を通じてフォーカスレンズ（第 3 レンズ群）1 0 5 を所定方向に所定量駆動する。そして、S 1 5 1 で合焦と判定されるまで S 1 3 1 ~ S 1 5 3 の処理を繰り返し実行する。

そして S 1 5 1 にて合焦状態に達したと判定されると、C P U 1 2 1 は S 1 5 5 にて表示器 1 3 1 に合焦表示を行ない、S 1 5 7 に移行する。

30

【 0 0 7 6 】

S 1 5 7 で C P U 1 2 1 は、撮影開始スイッチがオン操作されたか否かを判別し、オン操作されていなければ S 1 5 7 にて撮影待機状態を維持する。S 1 5 7 で撮影開始スイッチがオン操作されると S 1 6 1 に移行し、撮影処理を実行する。撮影開始スイッチは、例えばリリースボタンが全押しされるとオンするスイッチであって良い。

【 0 0 7 7 】

図 1 6 は S 1 6 1 で行う撮影処理の詳細を説明するためのフローチャートである。

S 1 6 3 で C P U 1 2 1 はシャッタ駆動回路 1 2 8 を通じてシャッタ 1 0 2 の開口量と開閉タイミングを制御し、露光処理を行う。なお、特に説明しなかったが、一般的に行われているように、焦点検出処理と並行して自動露出制御処理も行われ、絞り値及びシャッタースピードが決定されているものとする。

40

【 0 0 7 8 】

S 1 6 5 で C P U 1 2 1 は、撮像素子駆動回路 1 2 4 を介して記録用画像生成のための画像読み出し、すなわち全画素の読み出しを行なう。

【 0 0 7 9 】

S 1 6 7 で C P U 1 2 1 は、画像処理回路 1 2 5 を用い、読み出した画像信号の欠損画素補間を行なう。ここで、欠損画素には、撮像素子 1 0 7 の製造時に生じた欠陥画素と、焦点検出用画素が含まれる。上述の通り、焦点検出用画素には R G B のカラーフィルタが設けられておらず、また射出瞳の一部からしか受光しないので、通常の欠陥画素と同様、

50

周囲の撮像用画素の情報から補間により画像信号を生成する。

【0080】

S169でCPU121は、画像処理回路125により、色補間、画像の補正、エッジ強調等の所謂現像処理と、設定に応じて符号化等の画像処理を行う。

S171において、CPU121は、記録媒体133に撮影画像を記録する。

S173でCPU121は、表示器131に撮影済み画像を表示し、撮影処理を終了する。

【0081】

以上説明したように、本実施形態によれば、もともと撮像素子が備えている電極群を瞳分割方向の光束を制限する部材（遮光膜）として利用するため、専用の遮光膜を設ける必要が無く、撮像素子の構造が複雑化する程度を抑制することができる。

10

【0082】

また、電極群はマイクロレンズの焦点近傍に位置しているため、瞳分割方向の瞳強度分布が尖鋭になる。その結果、瞳分離性能が良好になって位相差検出用の像信号の劣化が抑制され、良好な焦点検出精度が得られる。

【0083】

電極群がマイクロレンズの焦点近傍に位置していることは、瞳分割方向の光束を制限する部材とマイクロレンズ間の距離が大きいことに等しい。そのため、光束を制限する部材とマイクロレンズのアライメント誤差に起因する瞳強度分布の位置ずれ誤差を低くすることができる。その結果、焦点検出用瞳が撮影レンズにケラれる場合であっても、一対の瞳におけるケラレ量がほぼ同一となり、光量アンバランスが生じにくいため、焦点検出精度の低下を抑制できる。

20

【0084】

〔第2の実施形態〕

第1の実施形態では、マイクロレンズ162の焦点位置との距離が異なる第1及び第2の電極群154及び155のうち、焦点検出用画素で瞳分割方向の光束を規制する部材はマイクロレンズ162の焦点位置により近い第1の電極群154を用いて形成した。そして、焦点検出用画素で瞳分割方向と直交する方向の光束を規制する部材はマイクロレンズ162の焦点位置に対して第1の電極群154よりも遠い第2の電極群155を用いて形成した。

30

これに対し、第2の実施形態では、第2の電極群155を用いずに、第1の電極群154で瞳分割方向とこれに直交する方向の光束を規制する部材を形成する。

【0085】

図17は第2の実施形態に係る焦点検出装置を構成する撮像素子のうち、単位ブロックに含まれる8行8列の64画素を撮影光学系から見た状態を拡大して示した平面図である。

黒の矩形で示される光電変換部152は、各画素の最下層に設けられており、すべての画素でほぼ正方形を有する。なお、後述するように、光電変換部152の全体が見えている画素150が撮像用画素、一部のみが見えている画素 S_{HA} 、 S_{HB} 、 S_{VC} 及び S_{VD} が焦点検出用画素である。光電変換部152の出力は、第1の電極群254及び第2の電極群255によって読み出される。なお、第1の実施形態に係る撮像素子と第2の実施形態に係る撮像素子は、第1及び第2の電極群の形状のみが異なり、他の部材の形状は同一なため、異なる点のみ説明する。

40

【0086】

光電変換部152より上層（光の入射側）に配置された第1の電極群254は、Y方向（図中上方向）に延伸し、X方向（図中右方向）に規則的に複数配置された線状の信号伝達用主電極群254aと、各画素内に配置された島状の中継用電極群254bとから構成される。また、第1の電極群254より上層に配置された第2の電極群255は、X方向に延伸し、Y方向に規則的に複数配置された線状の電極255aで構成される。光電変換部152で発生した信号電荷は、不図示のフローティングディフュージョン部、第1の電

50

極群 2 5 4、及び第 2 の電極群 2 5 5 を介して後段の回路部に出力される。

【 0 0 8 7 】

ここで、第 1 及び第 2 の電極群 2 5 4 及び 2 5 5 の形状は、撮像用画素の周囲に対応する箇所においては第 1 の実施形態の第 1 及び第 2 の電極群 1 5 4 及び 1 5 5 と同一形状である。しかし、焦点検出用画素 S_{HA} 、 S_{HB} 、 S_{VC} 及び S_{VD} の周囲に位置する箇所の形状は、以下に説明するように第 1 の実施形態と異なっている。

【 0 0 8 8 】

図 1 8 は本実施形態の撮像素子 1 0 7 における焦点検出用画素（水平方向位相差検出用）の構造を説明するための図であり、第 1 の実施形態の図 6 に対応する。図 1 8 (a) は、図 1 7 における焦点検出用画素 S_{HA} 、 S_{HB} と 2 つの撮像用画素 1 5 0 を含む 4 画素を拡大した平面図である。また図 1 8 (b) は、図 1 8 (a) における焦点検出用画素 S_{HA} 、 S_{HB} の A - A 断面図である。

10

【 0 0 8 9 】

第 2 の実施形態においても、焦点検出用画素 S_{HA} 及び S_{HB} は瞳分割用のスリット開口 $O_{P_{HA}}$ 及び $O_{P_{HB}}$ を備えるが、それぞれの開口を形成するすべての辺は、第 1 の電極群 2 5 4 で形成されている。一方で、第 1 の電極群 2 5 4 は Y 方向に走向するが、焦点検出用画素の光電変換部 1 5 2 のうち、第 1 の電極群 2 5 4 で遮光されていない領域（無電極部）が存在する。光電変換部 1 5 2 の近傍に存在する無電極部を透過した光束が回折によって光電変換部 1 5 2 に到達すると、焦点検出用画素の瞳強度分布に有害な二次ピークが発生してしまう。そこで第 2 の実施形態においては、第 2 の電極群 2 5 5 の一部の幅を無電極部の遮光するように拡張した突出部 2 5 5_H 及び 2 5 5_S を設け、無電極部から光電変換部への光束の入射を抑制する。この構成により、焦点検出用画素にスリット開口以外から入射する不要光を効果的に減少させることができる。

20

【 0 0 9 0 】

このように、第 2 の実施形態においては、撮像素子が備える電極群のうち、マイクロレンズの焦点位置の近くに設けられている第 1 の電極群のみを用いて焦点検出用画素用のスリット開口を形成する。さらに、焦点検出用画素の光電変換部の、第 1 の電極群で遮光されていない領域を第 1 の電極群よりもマイクロレンズの焦点位置から遠くに配置された第 2 の電極群を用いて遮光し、焦点検出用画素の光電変換部にスリット開口以外から入射する光束を制限する。

30

【 0 0 9 1 】

図 1 9 は、本実施形態の撮像素子 1 0 7 における焦点検出用画素（垂直方向位相差検出用）の構造を説明するための図であり、第 1 の実施形態の図 7 に対応する。図 1 9 (a) は、図 1 7 における焦点検出用画素 S_{VC} 、 S_{VD} と 2 つの撮像用画素 1 5 0 を含む 4 画素を拡大した平面図である。また、図 1 9 (b) は、図 1 9 (a) における焦点検出用画素 S_{VC} 、 S_{VD} の A - A 断面図である。図 1 9 (a) を用いて、垂直方向位相差検出用の焦点検出用画素における瞳分割用スリット開口の構成を説明する。

【 0 0 9 2 】

垂直方向位相差検出用の焦点検出用画素 S_{VC} 、 S_{VD} は、図 1 8 に示した水平方向位相差検出用の焦点検出用画素 S_{HA} 、 S_{HB} と、第 1 及び第 2 の電極群 2 5 4 及び 2 5 5 の走向方向は同一だが、瞳分割方向は 90 度異なる。そのため、瞳分割用のスリット開口を形成するための電極の形状が以下の通り異なる。

40

【 0 0 9 3 】

まず、図 1 8 に示した水平方向位相差検出用の焦点検出用画素においては、第 1 の電極群 2 5 4 のうち、Y 方向に走向する線状の信号伝達用主電極 2 5 4 a の幅を光電変換部 1 5 2 を覆うように拡張し、その拡張部にスリット開口を設けていた。これに対し、垂直方向位相差検出用の焦点検出用画素においては、図 1 9 (a) に示すように、第 1 の電極群 2 5 4 のうち、島状の中継用電極群 2 5 4 b を Y 方向に拡張した拡張部によって光電変換部 1 5 2 を覆い、拡張部にスリット開口 $O_{P_{VD}}$ 又は $O_{P_{VC}}$ を設ける。また、第 1 の電極群 2 5 4 のうち、Y 方向に走向する信号伝達用主電極群 2 5 4 a と島状の中継用電極群 2 5

50

4 b の間に存在する無電極部を遮蔽するよう、第 2 の電極群 2 5 5 の突出部 2 5 5_v 及び 2 5 5_s を設け、光束が入射可能な無電極部を減少させている。これにより、瞳分割によって有害な不要光が無電極部を通じて光電変換部 1 5 2 に到達することを効果的に抑制している。

【 0 0 9 4 】

図 2 0 及び図 2 1 は、第 2 の実施形態における各画素の瞳の尖鋭度を説明する図で、第 1 の実施形態の図 1 1 及び図 1 2 に対応する。図 2 0 は、図 1 8 に示した焦点検出用画素 S_{HA} 、 S_{HB} と撮像用画素の瞳尖鋭度を説明する図である。

【 0 0 9 5 】

第 2 の実施形態の焦点検出用画素では、瞳分割方向とこれに直交する方向の光束を規制するスリット状開口を、共に第 1 の電極群で形成する。つまり、スリット開口が、マイクロレンズ 1 6 2 の焦点位置からの距離が等しい電極で形成される。そのため、図 2 0 (b) における水平方向の断面での瞳強度分布の尖鋭度 $_{HA-H}$ 及び $_{HB-H}$ と、図 2 0 (c) における垂直方向の断面での瞳強度分布の尖鋭度 $_{HA-V}$ 及び $_{HB-V}$ は同一となる。一方、瞳強度分布の幅 W は、第 1 の実施形態と同様、瞳分割方向である水平方向で狭く (図 2 0 (b))、垂直方向で広い (図 2 0 (c))。そのため、本実施形態においても、瞳分離の明瞭性と、受光量低下の軽減の両立が実現されている。

【 0 0 9 6 】

また、図 2 0 (b) において破線で示した瞳強度分布 INT_{HA-X} 及び INT_{HB-X} は、図 1 8 (a) における第 2 の電極群 2 5 5 の突出部 2 5 5_H 及び 2 5 5_S が無いと仮定した場合の、無電極部を通じて光電変換部 1 5 2 に到達した洩れ光による二次ピークである。このような洩れ光による二次ピークがあると、F ナンバの小さい、すなわち明るい撮影光学系を用いた際の瞳分割性能が悪化する。その結果、位相差検出用の一對の像信号の位相差とピントずれ量の相関が不規則になり、正確な焦点検出が困難となる。これに対して第 2 の実施形態では、図 1 8 (a) に示したように、第 2 の電極群 2 5 5 に、突出部 2 5 5_H 及び 2 5 5_S を設けて不要光を遮断しているため、洩れ光による二次ピーク INT_{HA-X} 及び INT_{HB-X} の発生を抑制でき、瞳分割特性の悪化を軽減できる。

【 0 0 9 7 】

図 2 1 は焦点検出用画素 S_{VC} 、 S_{VD} と撮像用画素の瞳尖鋭度を説明する図である。図 2 0 に対して図 2 1 は瞳分割方向が 9 0 度異なっているため、図 2 1 (b) 及び図 2 1 (c) の特性が図 2 0 (b) 及び図 2 0 (c) と反転しているが、瞳分割方向の特性同士を比較すると、両者は実質上同一の特性である。また、瞳分割方向と直交する方向の特性も両者は実質上同一である。

【 0 0 9 8 】

なお、第 2 の実施形態における焦点検出領域の選択や、位相差検出用画像は図 1 3 に示したものと同一である。また、焦点検出や撮像に係る動作は第 1 の実施形態において図 1 4 ないし図 1 6 を参照して説明したとおりであるため、説明は省略する。

【 0 0 9 9 】

以上説明したように、本実施形態によれば、第 1 の実施形態の効果に加え、マイクロレンズの焦点位置の近くに設けられる電極群によって瞳分割用の開口部を形成するため、瞳分割方向とこれに直交する方向の瞳強度分布が尖鋭になる。

【 0 1 0 0 】

さらに、瞳分割用の開口部を形成する電極群とは異なる電極群により、無電極部から入射して光電変換部に到達する光を遮断することで、瞳分離特性を一層向上させることができる。その結果、位相差検出用の像信号の劣化が抑制され、焦点検出精度を向上させることができる。

【 0 1 0 1 】

また、瞳分割方向の光束を制限する開口部を形成する全ての部材とマイクロレンズ間の距離が大きいので、光束を制限する部材とマイクロレンズのアライメント誤差に起因する瞳強度分布の位置ずれ誤差を一層低くすることができる。その結果、焦点検出用瞳が撮影

10

20

30

40

50

レンズにケラれる場合であっても、一对の瞳におけるケラレ量がほぼ同一となり、光量アンバランスが生じにくいため、焦点検出精度の低下を一層抑制できる。

【0102】

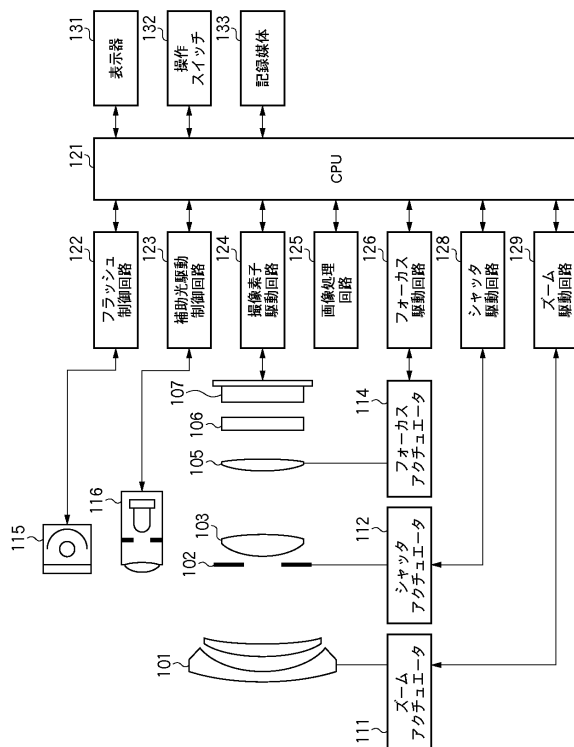
なお、上述の実施形態では、本発明に係る焦点検出装置をデジタルスチルカメラに適用した場合を説明した。しかし、CMOSイメージセンサを代表とする、光電変換部とマイクロレンズとの間に光遮蔽が可能な物質による層が形成される撮像素子に対して本発明は広く利用可能である。従って、そのような撮像素子を利用可能な任意の装置に対して本発明を適用可能である。具体的には、動画撮影を行なうカムコーダ（ムービーカメラ）、各種検査カメラ、監視カメラ、内視鏡カメラ、ロボット用カメラ等、デジタルカメラの機能を有する任意の装置に適用可能である。

10

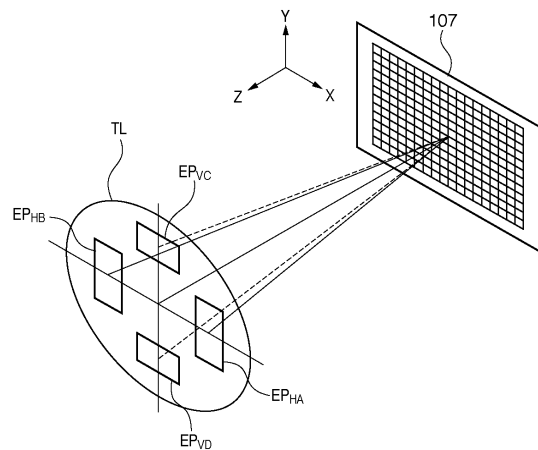
【0103】

なお、上述の実施形態において、焦点検出用画素を有する撮像素子以外の構成は本発明に必須でない。焦点検出用画素の出力から位相差検出用の1対の像信号を生成する構成や、位相差検出用の1対の像信号からフォーカスのずれ量を求める構成は公知の任意の構成を利用することができる。

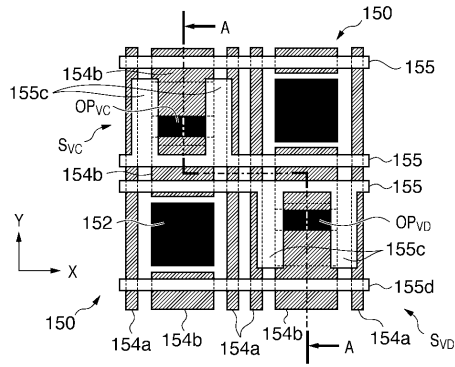
【図1】



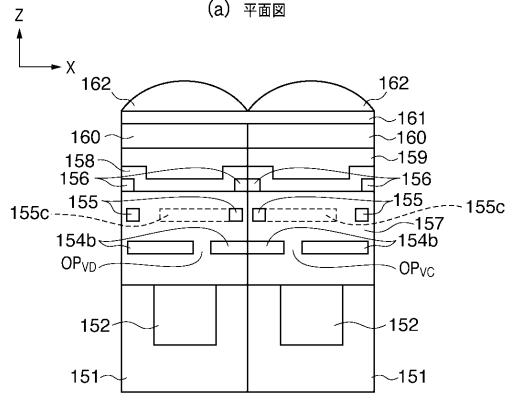
【図2】



【図 7】

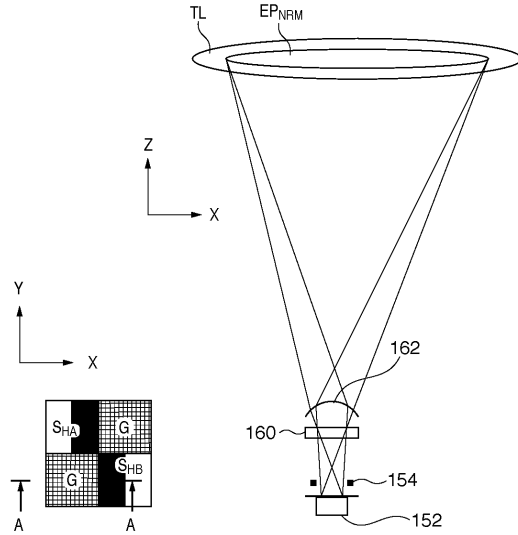


(a) 平面図

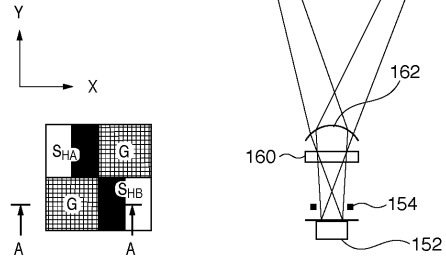


(b) A-A断面図

【図 8】

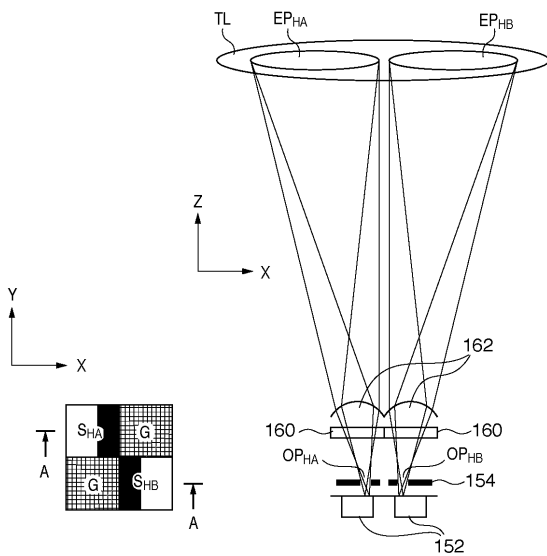


(a) 平面図

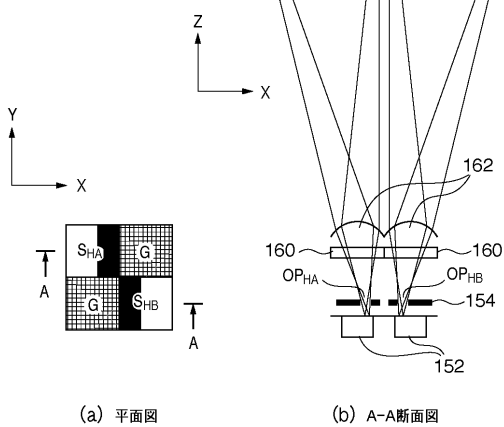


(b) A-A断面図

【図 9】

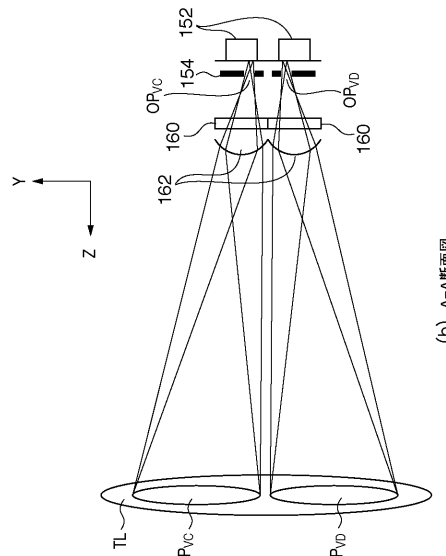


(a) 平面図

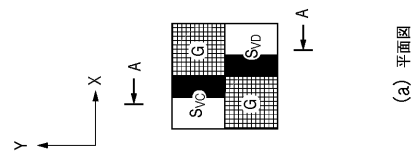


(b) A-A断面図

【図 10】

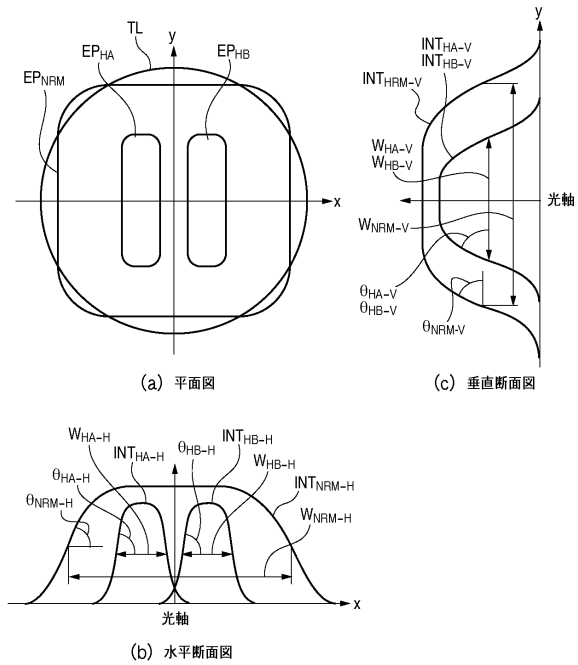


(b) A-A断面図

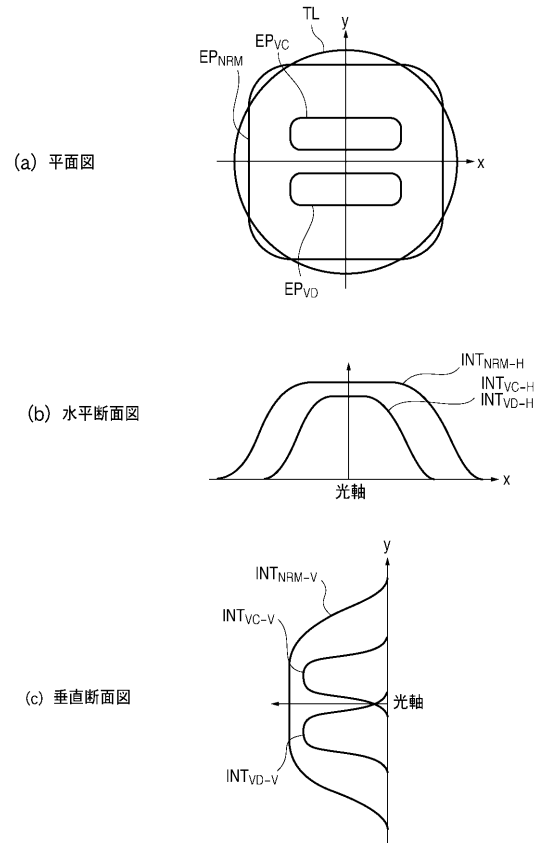


(a) 平面図

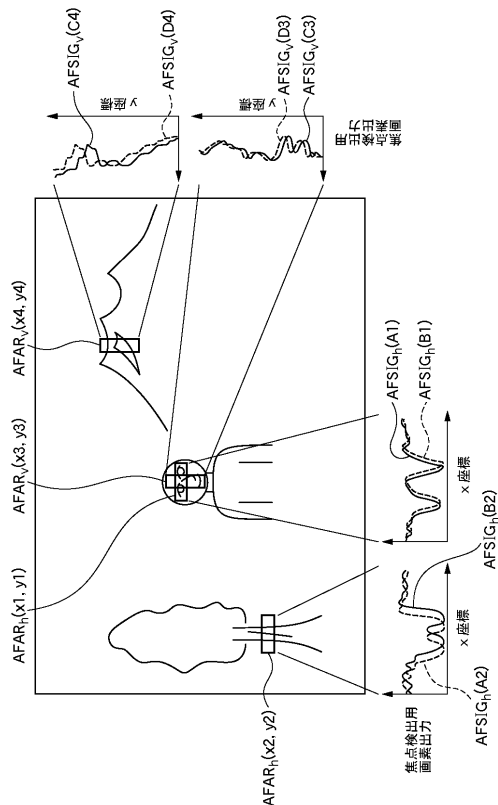
【図 1 1】



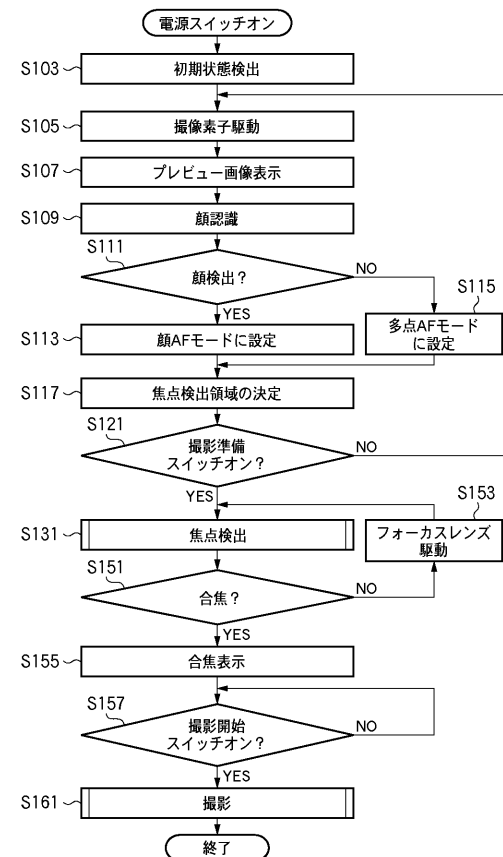
【図 1 2】



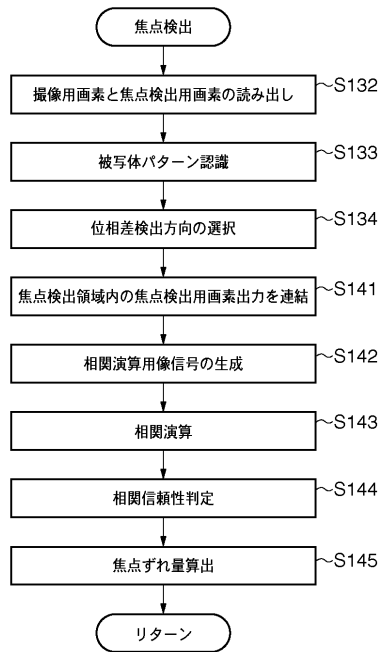
【図 1 3】



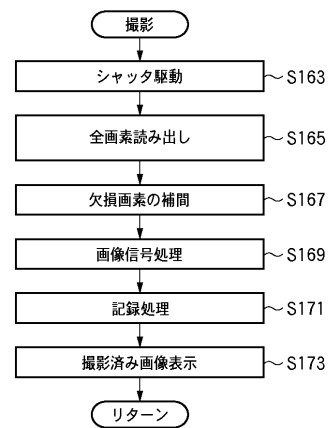
【図 1 4】



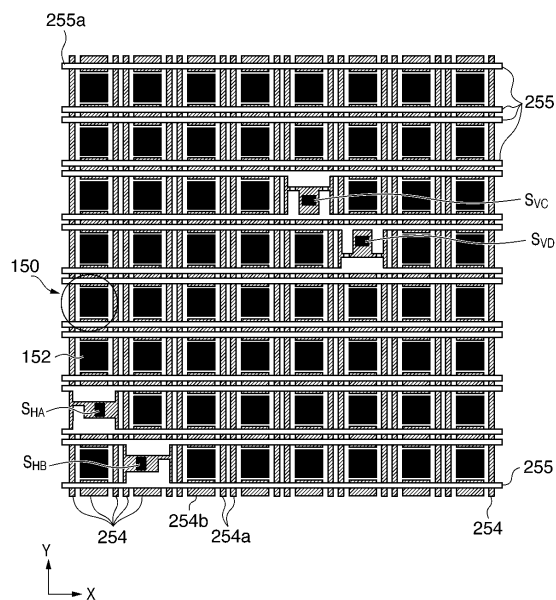
【図 15】



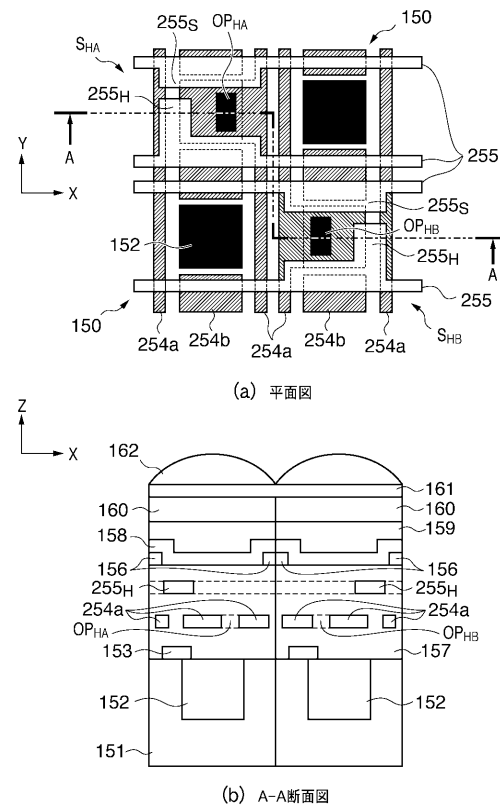
【図 16】



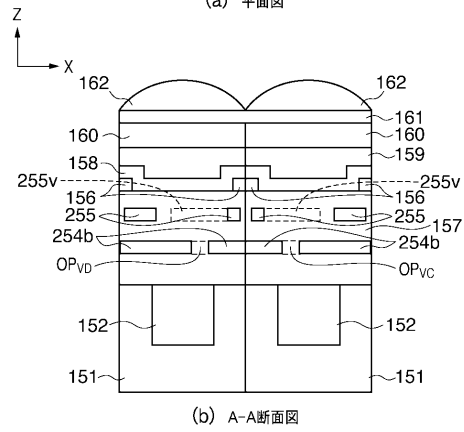
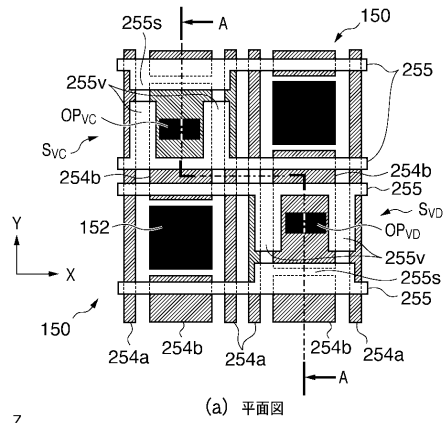
【図 17】



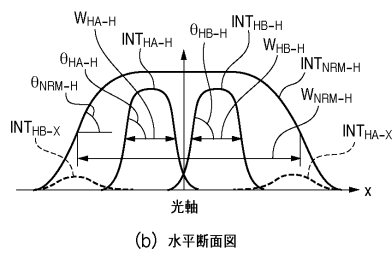
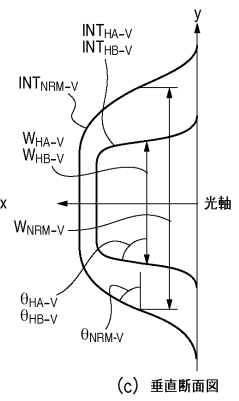
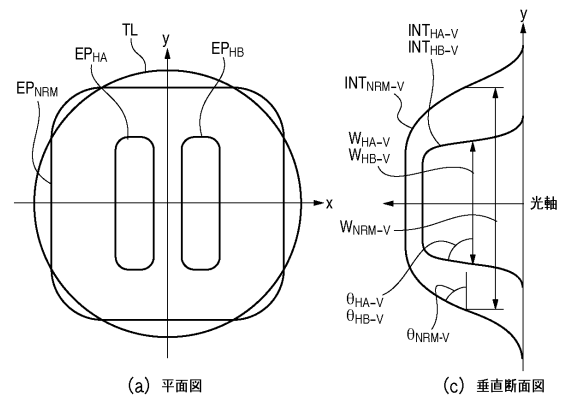
【図 18】



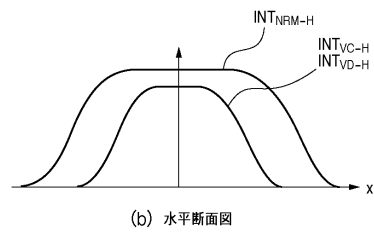
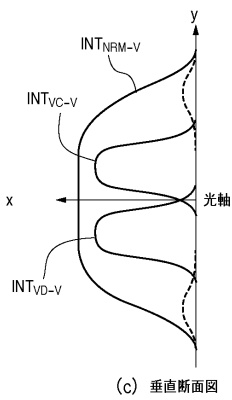
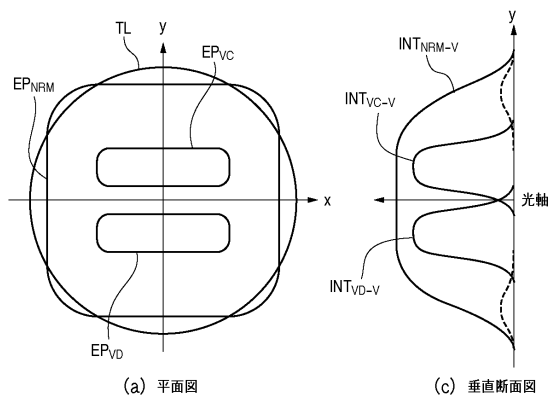
【図 19】



【図 20】



【図 21】



フロントページの続き

- (72)発明者 大貫 一朗
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
- (72)発明者 長野 明彦
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
- (72)発明者 高宮 誠
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

審査官 高橋 雅明

- (56)参考文献 特開2007-184716(JP,A)
特開2008-015215(JP,A)
特開2005-072364(JP,A)
特開2000-156823(JP,A)

- (58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
- | | |
|---------|-----------|
| G 0 2 B | 7 / 2 8 |
| H 0 4 N | 5 / 2 3 2 |