

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第4500434号
(P4500434)

(45) 発行日 平成22年7月14日(2010.7.14)

(24) 登録日 平成22年4月23日(2010.4.23)

(51) Int. Cl.		F I			
HO4N	5/232	(2006.01)	HO4N	5/232	H
GO2B	7/34	(2006.01)	GO2B	7/11	C
HO4N	5/335	(2006.01)	HO4N	5/335	E
HO4N	9/04	(2006.01)	HO4N	5/335	U
			HO4N	9/04	B

請求項の数 9 (全 32 頁)

(21) 出願番号	特願2000-361639 (P2000-361639)	(73) 特許権者	000001007
(22) 出願日	平成12年11月28日(2000.11.28)		キヤノン株式会社
(65) 公開番号	特開2002-165126 (P2002-165126A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43) 公開日	平成14年6月7日(2002.6.7)	(74) 代理人	100090273
審査請求日	平成19年11月28日(2007.11.28)		弁理士 園分 孝悦
前置審査		(72) 発明者	山▲崎▼ 亮
			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	宮下 誠

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 撮像装置及び撮像システム、並びに撮像方法

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

結像光学系と、

前記結像光学系の射出瞳を複数に分離した光束のうち第1の光束を光電変換する第1の光電変換部と前記第1の光束とは異なる第2の光束を光電変換する第2の光電変換部とを有する画素部が2次元領域に複数配置されてなる撮像素子と、

前記複数の画素部それぞれの第1の光電変換部から第1の電気信号と前記複数の画素部それぞれの第2の光電変換部から第2の電気信号とを位相差を検出するために出力する出力部とを備え、

前記第1の光電変換部における第1の電気信号には前記第1の光束に対応する信号の他に前記第2の光束に対応する信号が含まれ、前記第2の光電変換部における第2の電気信号には前記第2の光束に対応する信号の他に前記第1の光束に対応する信号が含まれ、前記第1、第2の電気信号にそれぞれ前記第2、第1の光束に対応する信号が含まれない場合よりも、相似性の高い当該第1の電気信号と当該第2の電気信号とから高精度の位相ずれを算出するとともに、当該第1の電気信号と当該第2の電気信号とを加算することで前記分離される前の射出瞳の光束に対応する信号に近い信号を取得することを特徴とする撮像装置。

【請求項2】

前記撮像素子は、前記第1の光電変換部及び前記第2の光電変換部による分割方向が異なる少なくとも2種類以上の前記画素部を備えることを特徴とする請求項1に記載の撮像

装置。

【請求項 3】

結像光学系と、

前記結像光学系の射出瞳を複数に分離した光束のうち第 1 の光束を光電変換する第 1 の光電変換部と前記第 1 の光束とは異なる第 2 の光束を光電変換する第 2 の光電変換部とを有する画素部が 2 次元領域に複数配置されてなる撮像素子と、

前記撮像素子からの信号に所定の処理を加える信号処理手段と、

外部装置との間で信号授受を行うインターフェース手段と、

当該システム全体の動作を制御する制御手段と、

前記複数の画素部それぞれの第 1 の光電変換部から第 1 の電気信号と前記複数の画素部それぞれの第 2 の光電変換部から第 2 の電気信号とを位相差を検出するために出力する出力部とを備え、

前記第 1 の光電変換部における第 1 の電気信号には前記第 1 の光束に対応する信号の他に前記第 2 の光束に対応する信号が含まれ、前記第 2 の光電変換部における第 2 の電気信号には前記第 2 の光束に対応する信号の他に前記第 1 の光束に対応する信号が含まれ、前記第 1、第 2 の電気信号にそれぞれ前記第 2、第 1 の光束に対応する信号が含まれない場合よりも、相似性の高い当該第 1 の電気信号と当該第 2 の電気信号とから高精度の位相ずれを算出するとともに、当該第 1 の電気信号と当該第 2 の電気信号とを加算することで前記分離される前の射出瞳の光束に対応する信号に近い信号を取得することを特徴とする撮像システム。

【請求項 4】

前記インターフェース手段からの出力信号を一時的に記憶する記憶手段を備えることを特徴とする請求項 3 に記載の撮像システム。

【請求項 5】

前記撮像素子は、前記第 1 の光電変換部及び前記第 2 の光電変換部による分割方向が異なる少なくとも 2 種類以上の前記画素部を備えることを特徴とする請求項 3 又は 4 に記載の撮像システム。

【請求項 6】

結像光学系からの光束を撮像素子にて光電変換し、画像信号を生成する撮像方法であって、

前記結像光学系の射出瞳を複数に分離することにより、光束を第 1 の光束及び第 2 の光束に分離し、前記撮像素子を構成する複数の画素部における第 1 の光電変換部で前記第 1 の光束を、第 2 の光電変換部で前記第 2 の光束をそれぞれ光電変換するに際して、

前記画素部において、前記第 1 の光電変換部による第 1 の感度分布と前記第 2 の光電変換部による第 2 の感度分布を重複させる感度領域を形成し、

前記第 1 の光電変換部における第 1 の電気信号には前記第 1 の光束に対応する信号の他に前記第 2 の光束に対応する信号が含まれ、前記第 2 の光電変換部における第 2 の電気信号には前記第 2 の光束に対応する信号の他に前記第 1 の光束に対応する信号が含まれ、前記第 1、第 2 の電気信号にそれぞれ前記第 2、第 1 の光束に対応する信号が含まれない場合よりも、相似性の高い当該第 1 の電気信号と当該第 2 の電気信号とから高精度の位相ずれを算出するとともに、当該第 1 の電気信号と当該第 2 の電気信号とを加算することで前記分離される前の射出瞳の光束に対応する信号に近い信号を取得することを特徴とする撮像方法。

【請求項 7】

前記撮像素子は、前記第 1 の光電変換部及び前記第 2 の光電変換部による分割方向が異なる少なくとも 2 種類以上の前記画素部を備えることを特徴とする請求項 6 に記載の撮像方法。

【請求項 8】

前記撮像素子は、前記感度領域が異なる少なくとも 2 種類以上の前記画素部を備えることを特徴とする請求項 6 に記載の撮像方法。

10

20

30

40

50

【請求項 9】

前記感度領域は、焦点検出時における前記結像光学系の F 数に基づいて最適化されていることを特徴とする請求項 6 ~ 8 のいずれか 1 項に記載の撮像方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、結像光学系からの光束を撮像素子にて光電変換し、画像信号を生成する撮像装置、この撮像装置を含むデジタルカメラ、ビデオカメラ、銀塩カメラなどの撮像システム、及び撮像方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

デジタルカメラでは、レリーズボタンの押下に応答して、CCDやCMOSセンサなどの固体撮像素子に被写体像を所望の時間露光し、これより得られた 1 つの画面の静止画像を表す画像信号をデジタル信号に変換して、YC処理などの所定の処理を施して、所定の形式の画像信号を得る。撮像された画像を表すデジタルの画像信号は、それぞれの画像毎に、半導体メモリに記憶される。記憶された画像信号は、随時読み出されて表示または印刷可能な信号に再生され、モニタなどに出力されて表示される。

【0003】

従来より、デジタルカメラにおける撮像光学系の焦点検出では撮像装置を利用したコントラスト検出方式の焦点検出が行われており、一般に、このようなコントラスト検出方式の焦点検出においては、撮像光学系の光軸上位置を僅かに移動させながらコントラストの極値を求めていくために、合焦するまでの焦点調節にかなりの時間を要するという問題がある。

【0004】

そこで、銀塩フィルムを使用する一眼レフカメラのなどに用いられている位相差検出方式の焦点検出をデジタルカメラの撮像素子を利用して行う焦点検出方法が提案されている。位相差検出方式の焦点検出ではデフォーカス量を求めることができるので、コントラスト検出方式に比して合焦するまでの時間を大幅に短縮することができるという利点がある。このような焦点検出方法の一例として、1 対の光電変換部を2次元的に配列したマイクロレンズアレイ毎に設け、このマイクロレンズによって、1 対の光電変換部よりなる画素部を撮像光学系の瞳に投影することで瞳を分離し、位相差式の焦点検出を行う方法が提案されている。更に、この受光手段として、1 つのマイクロレンズ内における 1 対の光電変換部出力信号の加算、非加算を画素部単位で任意に行うことのできる特開平 9 - 46596 号公報に記載の固体撮像素子を用いた撮像装置が提案されている。

【0005】

図 39 は、この撮像装置における画素部を示す断面図である。

同図において、124 は P 型ウェル、125、126 はゲート酸化膜、127、128 はポリ Si、129、130 は完全空乏化できる濃度の n 層、131 は n⁺ フローティングディフュージョン領域 (FD 領域)、132、133 は表面 P⁺ 層である。FD 領域 131 は転送 MOS トランジスタの構成要素であるポリ Si 127、128 を介して第 1 及び第 2 の光電変換部である n 層 129、130 と接続される。n 層 129 及び 130 と表面 P⁺ 層 132 及び 133 は埋め込み型フォトダイオードとして光電変換部を形成し、この構造により表面で発生する暗電流を抑制することができる。CF は特定の波長域の光を透過するカラーフィルター、μL は撮像光学系からの光束を効率的に第 1 及び第 2 の光電変換部に導くためのマイクロレンズである。このマイクロレンズ μL のパワーは、撮像光学系の射出瞳と各画素部内の 1 対の光電変換部が結像するように設定されており、従って、第 1 及び第 2 の光電変換部でそれぞれ射出瞳上の異なる領域を通過した光束を光電変換するよう構成されている。

【0006】

このことから、第 1 及び第 2 の光電変換部による撮像光学系の射出瞳分離の様子は図 40

10

20

30

40

50

のようになる。同図において、1は絞りSTが開放状態の場合で、絞りSTの開口を後方レンズ群grp3、grp4を通して見た虚像である。斜線部2は固体撮像素子100の第1の光電変換部に入射する光束が通過する射出瞳上の第1の領域、斜線部3は固体撮像素子100の第2の光電変換部に入射する光束が通過する射出瞳上の第2の領域である。なお、第1の領域2と第2の領域2の間にはわずかながら隙間4が存在するので、この領域を通過した光束は第1及び第2の光電変換部の何れにも光電変換されない。これは、図38に示すように、n層129及び130とP+層132及び133からなる埋め込み型フォトダイオードの間にn+FD領域を設けているため、この部分においては光電変換が行われない。

【0007】

以上のような構成で、固体撮像素子は、第1光電変換部と第2光電変換部で発生した電荷を別々にFD領域133へ転送でき、このFD領域133に接続した転送MOSトランジスタのタイミングだけで、2つの光電変換部の信号電荷の加算、非加算を実現している。従って、撮像時には第1及び第2の光電変換部の信号電荷を加算して読み出すことにより、撮像光学系の射出瞳全体の光束を光電変換する。

【0008】

一方、焦点検出時には、第1及び第2の光電変換部の信号電荷を独立に読み出すことで、撮像光学系の射出瞳上の異なる領域を通過した光束をそれぞれ光電変換している。ここで、いま撮像光学系の射出瞳は図40に示すように第1の領域2と第2の領域3に分離されているので、撮像光学系のデフォーカスにより物体像の位相ずれが生じる方向は図中矢印Aで示す方向である。従って、焦点検出時には固体撮像素子上に矢印Aで示す方向を長手方向とする画素列を設定し、独立に読み出した1対の信号電荷から1対の画像信号を生成することで、物体像の位相ずれを検出することができる。なお、位相ずれの検出には公知の相関演算などを用いればよい。以上のような構成で、固体撮像素子100による撮像と位相差方式焦点検出の両立を実現している。

【0009】

位相差方式焦点検出において、小デフォーカスから大デフォーカスに至るまで高精度に位相ずれを検出するには、任意のデフォーカスにおいて位相ずれ方向での1対の物体像が略相似形状であることが望ましい。こうすることにより、公知の相関演算で算出される1対の物体像の位相ずれ量と撮像光学系のデフォーカス量の関係をほぼ線形にすることができ、位相ずれ量から撮像光学系のデフォーカス量を容易に導き出すことができる。

【0010】

いま被写体像の光量分布を $f(x, y)$ 、物体像の光量分布を $g(x, y)$ とするとき、

【0011】

【数1】

$$g(x, y) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} f(x-a, y-b)h(a, b)dad b \quad (1)$$

【0012】

の関係(たたみこみ積分; convolution)が成立する。ここで $h(x, y)$ は被写体が画像形成システムにおいて劣化する状態を表す伝達関数で、点像分布関数(point spread function)と呼ばれる。従って、焦点検出に用いる1対の物体像の相似性を知るには、点像分布関数を知る必要がある。

【0013】

ここで、位相方式焦点検出においては、1対の物体像の1次元方向に注目し、その位相ずれを検出ため、点像分布関数の代わりに1次元の関数である線像分布関数(line spread function)により、焦点検出に関する画像システムを評価することができる。そこで、被写体像の光量分布を $f(x)$ 、物体像の光量分布を $g(x)$ と置き換えると、上記式(1

10

20

30

40

50

)は線像分布関数 $L(a)$ を用いて以下のように書き換えられる。

【0014】

【数2】

$$g(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x-a)L(a)da \quad (2)$$

【0015】

従って、式(2)より任意のデフォーカス時の位相ずれ方向における1対の線像分布関数を知ることにより、1対の物体像の相似性を知ることができ、位相差方式焦点検出の基本的なデフォーカス性能を知ることができる。そして、式(2)より1対の線像分布関数の相似性が高いほど、1対の物体像の相似性も高くなることが分かる。

10

【0016】

ある点光源が光学系の射出瞳を通過し結像面上に形成する点像の強度分布、いわゆる点像分布関数は、射出瞳形状が結像面上に縮小投影されていると考えられる。同様に、線像分布関数は1次元方向における射出瞳形状、即ち、射出瞳形状を1次元方向に積分したものがマイクロレンズ μL により結像面上に縮小したものと考えることができる。実際には光学系の収差や製造誤差により、光線が射出瞳上のどこを通過したかで結像位置や強度が異なり、線像分布関数の形状は多少変化するが、ここでは、位相ずれ方向における1対の線像分布関数相似性を知ることが目的であるので、撮像光学系、マイクロレンズ μL は収差のない理想レンズとして簡略化する。また、上記従来例で説明した、撮像光学系の赤外カットフィルターF1、ローパスフィルターLPF、カラーフィルターCF、光電変換部の感度分布、光電変換部のS/Nなどについても省略する。

20

【0017】

いま、図40における第1及び第2の光電変換部に入射する光束が通過する第1及び第2の領域2、3を位相ずれ方向、即ち矢印A方向に積分してみる。図41は、積分した結果を示すグラフで、原点を光軸L1としている。図中横軸が位相ずれ方向、縦軸が強度で、第1の瞳強度分布5が射出瞳上の第1の領域2、第2の瞳強度分布6が射出瞳上の第2の領域3にそれぞれ対応している。実際には、第1及び第2の瞳強度分布がマイクロレンズ μL により結像面上に縮小されて線像分布関数となるわけだが、1対の線像分布関数の相似性を知るにはこのままで差し支えない。更に、ここでは撮像光学系のデフォーカスを考慮していないが、小デフォーカスの場合、第1及び第2の瞳強度分布5、6のそれぞれを横軸方向に縮小、縦軸方向に拡大、大デフォーカスの場合横軸方向に拡大、縦軸方向に縮小と考えることができる。

30

【0018】

図41中、第1及び第2の瞳強度分布5、6は位相ずれ方向、即ち横軸方向に互いにミラー反転したような半円形状となり、相似性は低い。従って、撮像光学系の射出瞳上で第1の領域2を通過する光束の任意のデフォーカスにおける1対の線像分布関数も位相ずれ方向において相似性が低いことが分かる。合焦近辺の線像分布関数は5、6を極端に横軸方向に縮小、縦軸方向に拡大したもの、即ちインパルス波形のような形状となるため、相似性は高くなるが、ある程度デフォーカスしてくると互いにミラー反転した半円形状が顕著に現れ、相似性は低下する。

40

【0019】

従って、撮像光学系がある程度デフォーカスして、図41の第1及び第2の瞳強度分布5、6に示すように、1対の線像分布関数の相似性が低い場合、結像面上の1対の物体像は、その線像分布関数の影響を受けて位相ずれ方向で不均一に変形し、相似性は低くなる。一方、撮像光学系の焦点が合焦近辺にある場合、線像分布関数はインパルス波形のような形状となるため、結像面上における1対の物体像もほぼ相似形となる。いま、位相ずれ方向における物体像とは、前述した位相ずれ方向を長手方向とした画素列による画像信号と等価であるので、撮像光学系がある程度デフォーカスしている場合、第1及び第2の光電変

50

換部で得られる1対の画像信号の相似性は低く、互いに左右反転したような形状になる。

【0020】

位相差方式の焦点検出においては、公知の相関演算によって算出される位相ずれ量と撮像光学系のデフォーカス量の関係を、実用的なデフォーカス範囲においておおよそ線形にし、検出される位相ずれ量から予想されるデフォーカス量を算出して、撮像光学系を合焦させる。上記従来例における位相ずれ量とデフォーカス量の関係は、1対の画像信号の相似性が高い小デフォーカスの範囲ではほぼ線形となるが、デフォーカス量が増大するにつれて1対の画像信号の相似性は低下し、線形とならない。従って、撮像光学系がある程度以上デフォーカスしている場合、1回の焦点検出では合焦に至ることはできない。しかしながら、小デフォーカスの範囲ではほぼ線形となるので、複数回焦点検出を行うことで、小デフォーカスを経て合焦に至ることが可能となる。

10

【0021】

そこで、焦点検出時には撮像光学系の絞りSTを1対の開口部を有する2孔絞りとし、撮像時は退避する構成とすると、焦点検出時における1対の線像分布関数の特性を改善することができるため、大デフォーカスでも複数回の焦点検出を必要としない焦点検出を実現できる。

【0022】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、上記従来例においては、特に撮像光学系がある程度デフォーカスしている場合、複数回の焦点検出が必要となり、位相差方式焦点検出の長所である迅速な焦点調節が行えなくなる。

20

【0023】

また、先ほど説明したような1対の開口部を有する2孔絞りを用いた場合、撮像光学系がある程度デフォーカスしていても複数回の焦点検出は必要ないが、撮像光学系に絞りの駆動メカなどを設け退避可能にする必要があるため撮像装置の小型化、コストを妨げる。

【0024】

更に、1対の光電変換部に入射する光量と撮像光学系の絞りSTの開度との関係をおおよそ線形にすることで、被写体輝度、撮像素子の感度が与えられたときに、フィルムカメラと同様の手法で絞り値とシャッター速度を算出する、いわゆるAPEX方式の演算が成り立つ。こうすることで、フィルムカメラと同じように一般の露出計を用いて露光量を算出することができ、撮影操作は極めて容易である。しかしながら、従来例においては、図39に示すようにpnフォトダイオード129、130の間にn⁺FD領域131を設けたために、図40の隙間4で示す第1及び第2の光電変換部の何れにも光電変換されない領域が存在し、撮像光学系の絞りSTを絞り込んでいくと、射出瞳の開口領域に対する隙間4の領域の割合は増大していくため、1対の光電変換部に入射する光量と撮像光学系の絞りSTの開度との関係は線形にならずに、絞り込んでいくほど誤差は増大する。従って、APEX方式の露出演算にも誤差が生じ、また一般の露出計を用いることもできなくなる。

30

【0025】

撮像の観点からみても、第1及び第2の光電変換部間の光電変換されない領域が存在すると、撮影した画像に不自然なボケ(2線ボケ)が生じやすくなる。

40

【0026】

そこで本発明の目的は、上記のような問題に鑑みてなされたものであり、固体撮像素子による撮像と位相差方式焦点検出を両立するとともに、カメラの小型化、コストを妨げずに小デフォーカスから大デフォーカスに至るまで高精度で迅速な焦点検出が可能で、撮像時には、元々撮像光学系の射出瞳の全光束を使った画像を得るように設計された通常の固体撮像素子で得られる画像と同レベルのS/N的に優れた画像を得ることができる撮像装置を提供することである。

【0027】

【課題を解決するための手段】

50

本発明の撮像装置は、結像光学系と、前記結像光学系の射出瞳を複数に分離した光束のうち第1の光束を光電変換する第1の光電変換部と前記第1の光束とは異なる第2の光束を光電変換する第2の光電変換部とを有する画素部が2次元領域に複数配置されてなる撮像素子と、前記複数の画素部それぞれの第1の光電変換部から第1の電気信号と前記複数の画素部それぞれの第2の光電変換部から第2の電気信号とを位相差を検出するために出力する出力部とを備え、前記第1の光電変換部における第1の電気信号には前記第1の光束に対応する信号の他に前記第2の光束に対応する信号が含まれ、前記第2の光電変換部における第2の電気信号には前記第2の光束に対応する信号の他に前記第1の光束に対応する信号が含まれ、前記第1、第2の電気信号にそれぞれ前記第2、第1の光束に対応する信号が含まれない場合よりも、相似性の高い当該第1の電気信号と当該第2の電気信号とから高精度の位相ずれを算出するとともに、当該第1の電気信号と当該第2の電気信号とを加算することで前記分離される前の射出瞳の光束に対応する信号に近い信号を取得する。

10

【0028】

この構成により、位相差方式焦点検出の位相ずれ方向における1対の線像分布関数を小デフォーカスから大デフォーカスに至るまで相似形とすることができるため、高精度で迅速な焦点検出を実現できる。また、第1の光電変換と第2の光電変換部の間に入射する光束も光電変換することができるのでAPEX方式の露出演算もほぼ成立し、元々撮像光学系の射出瞳の全光束を使った画像を得るように設計された通常の固体撮像素子で得られる画像と同レベルのS/N的に優れた画像を得ることができる。

20

【0029】

本発明の撮像装置の一態様では、前記撮像素子は、前記第1の光電変換部及び前記第2の光電変換部による分割方向が異なる少なくとも2種類以上の前記画素部を備える。

この構成により、更に高品位な画像を得ることができると共に、焦点検出性能を向上させることができる。

【0032】

本発明の撮像システムは、結像光学系と、前記結像光学系の射出瞳を複数に分離した光束のうち第1の光束を光電変換する第1の光電変換部と前記第1の光束とは異なる第2の光束を光電変換する第2の光電変換部とを有する画素部が2次元領域に複数配置されてなる撮像素子と、前記撮像素子からの信号に所定の処理を加える信号処理手段と、外部装置との間で信号授受を行うインターフェース手段と、当該システム全体の動作を制御する制御手段と、前記複数の画素部それぞれの第1の光電変換部から第1の電気信号と前記複数の画素部それぞれの第2の光電変換部から第2の電気信号とを位相差を検出するために出力する出力部とを備え、前記第1の光電変換部における第1の電気信号には前記第1の光束に対応する信号の他に前記第2の光束に対応する信号が含まれ、前記第2の光電変換部における第2の電気信号には前記第2の光束に対応する信号の他に前記第1の光束に対応する信号が含まれ、前記第1、第2の電気信号にそれぞれ前記第2、第1の光束に対応する信号が含まれない場合よりも、相似性の高い当該第1の電気信号と当該第2の電気信号とから高精度の位相ずれを算出するとともに、当該第1の電気信号と当該第2の電気信号とを加算することで前記分離される前の射出瞳の光束に対応する信号に近い信号を取得する。

30

40

【0033】

この構成により、位相差方式焦点検出の位相ずれ方向における1対の線像分布関数を小デフォーカスから大デフォーカスに至るまで相似形とすることができるため、高精度で迅速な焦点検出を実現できる。また、第1の光電変換と第2の光電変換部の間に入射する光束も光電変換することができるのでAPEX方式の露出演算もほぼ成立し、元々撮像光学系の射出瞳の全光束を使った画像を得るように設計された通常の固体撮像素子で得られる画像と同レベルのS/N的に優れた画像を実現する撮像システムを得ることができる。

【0034】

本発明の撮像方法は、結像光学系からの光束を撮像素子にて光電変換し、画像信号を生

50

成する撮像方法であって、前記結像光学系の射出瞳を複数に分離することにより、光束を第1の光束及び第2の光束に分離し、前記撮像素子を構成する複数の画素部における第1の光電変換部で前記第1の光束を、第2の光電変換部で前記第2の光束をそれぞれ光電変換するに際して、前記画素部において、前記第1の光電変換部による第1の感度分布と前記第2の光電変換部による第2の感度分布を重複させる感度領域を形成し、前記第1の光電変換部における第1の電気信号には前記第1の光束に対応する信号の他に前記第2の光束に対応する信号が含まれ、前記第2の光電変換部における第2の電気信号には前記第2の光束に対応する信号の他に前記第1の光束に対応する信号が含まれ、前記第1、第2の電気信号にそれぞれ前記第2、第1の光束に対応する信号が含まれない場合よりも、相似性の高い当該第1の電気信号と当該第2の電気信号とから高精度の位相ずれを算出するとともに、当該第1の電気信号と当該第2の電気信号とを加算することで前記分離される前の射出瞳の光束に対応する信号に近い信号を取得する。

10

【0035】

この手法により、位相差方式焦点検出の位相ずれ方向における1対の線像分布関数を小デフォーカスから大デフォーカスに至るまで相似形とすることができるため、高精度で迅速な焦点検出を実現できる。また、第1の光電変換と第2の光電変換部の間に入射する光束も光電変換することができるのでAPEX方式の露出演算もほぼ成立し、元々撮像光学系の射出瞳の全光束を使った画像を得るように設計された通常の固体撮像素子で得られる画像と同レベルのS/N的に優れた画像を実現することができる。

【0036】

20

【発明の実施の形態】

以下、本発明を適用した具体的な諸実施形態について、図面を参照しながら詳細に説明する。

【0037】

(第1の実施形態)

まず、第1の実施形態について述べる。なお、従来例で図示した構成部材等に対応するものについては、同符号を用いることとする。

【0038】

初めに、本発明に用いる撮像光学系について説明する。

本実施形態の撮像光学系の構成を図36に示す。

30

この撮像光学系は、固体撮像素子100を用いるデジタルカラーカメラのズーム光学系であり、撮像光学系とカメラ本体が一体的に設けられている。同図の左手が物体側、右手が像面側となっている。同図において、撮像光学系は、負レンズ、正レンズ、正レンズからなる正の第1群(grp1)、負レンズ、負と正の接合レンズからなる負の第2群(grp2)、絞りST、正レンズからなる正の第3群(grp3)、負と正の接合レンズからなる第4群(grp4)により構成される。また、F1は赤外線(IR)カットフィルター、LPFは光学ローパスフィルター、L1は撮像光学系の光軸である。

【0039】

図中に矢印で示すように、ズーミングによって焦点距離が広角から望遠に向かうに従い、負の第2群grp2が像面側へ、正の第4群grp4が物体側へと同時に動く。撮像光学系は、図示しないレンズ駆動機構を持ち、モーターとギア列を用いて負の第2群grp2を光軸方向に移動させて、物体像が撮像素子100上でピントを結ぶように焦点調節する。

40

【0040】

固体撮像素子100は、増幅型固体撮像装置の1つであるCMOSプロセスコンパチブルのセンサ(以降、CMOSセンサと略す)である。このタイプのセンサはIEEE TRANSACTIONS ON ELECTRON DEVICES, VOL 41, PP 452 ~ 453, 1994などの文献で発表されている。CMOSセンサの特長の1つに、光電変換部のMOSトランジスタと周辺回路のMOSトランジスタを同一工程で形成できるため、マスク枚数、プロセス工程がCCDと比較して大幅に削減できるということが挙げら

50

れる。

【0041】

この特長を生かして、1つの画素部に2つの光電変換部を構成し、光電変換部毎に設けていたフローティングディフュージョン領域（以降、FD領域）とソースフォロワンプを2つの光電変換部に1個だけ形成し、2つの光電変換領域をMOSトランジスタスイッチを介してそのFD領域に接続する。従って、2つの光電変換部の電荷を同時、または、別々にフローティングディフュージョン部へ転送でき、FD領域に接続した転送MOSトランジスタのタイミングだけで、2つの光電変換部の信号電荷加算、非加算を簡単に行うことができる。この構造を利用して、撮像光学系の射出瞳全体からの光束による光電変換出力を行う第1の出力モードと、撮像レンズの射出瞳の一部からの光束による光電変換出力

10

【0042】

図37は、前述したような2つの光電変換部の信号電荷加算、非加算を簡単に行うことができる撮像素子100内のエリアセンサ部の回路構成図である。同図は、2列×2行の画素部による2次元エリアセンサを示したものであるが、実際は、1920列×1080行等と画素数を多くし、実用的な解像度を得る。図37において、101及び102はpnフォトダイオードを用いた第1及び第2の光電変換部、103及び104は転送スイッチMOSトランジスタ、105はリセット用MOSトランジスタ、106はソースフォロワンプMOSトランジスタ、107は垂直選択スイッチMOSトランジスタ、108はソースフォロワンプの負荷MOSトランジスタ、109は暗出力転送MOSトランジスタ、110は明出力転送MOSトランジスタ、111は暗出力蓄積容量CTN、112は明出力蓄積容量CTS、113および114は垂直転送MOSトランジスタ、115および116は垂直出力線リセットMOSトランジスタ、117は差動出力アンプ、118は垂直走査部、119は水平走査部で、画素部120を構成している。ここで、隣接した第1の光電変換部101と第2の光電変換部102をひとまとめにしたものが画素部120で、その他の画素部121～123についても同様の構成である。

20

【0043】

図1は、図36に示す撮像光学系を含む撮像装置の斜視図である。同図において、7は図36に示す撮像光学系のうち、絞りSTよりも物体側にある第1群（grp1）と第2群（grp2）とをまとめて示した前方レンズ群、8は絞りSTよりも像面側にある第3群（grp3）、第4群（grp4）、をまとめて示した後方レンズ群であり、絞りSTの開口を通過した光束によって撮像素子100上に物体像を形成する。なお、図の煩雑さを無くするため赤外線カットフィルターF1、光学ローパスフィルターLPFは省略している。絞りSTは軸L2を中心にして回転し、不図示のモーターの駆動力によって選択的に4つのポジションをとり、開口9～12を切り替え可能である。

30

【0044】

固体撮像素子100は、増幅型固体撮像装置の1つであるCMOSプロセスコンパチブルのセンサ（以降、CMOSセンサと略す）である。本実施形態では、従来例と同様に1つの画素部に2つの光電変換部を構成し、通常光電変換部毎に設けていたフローティングディフュージョン領域（以降、FD領域と略す）とソースフォロワンプを2つの光電変換部に1個だけ形成し、2つの光電変換領域をMOSトランジスタスイッチを介してそのFD領域に接続する構成とした。従って、2つの光電変換部の電荷を同時、又は別々にFD領域へ転送でき、FD領域に接続した転送MOSトランジスタのタイミングだけで、2つの光電変換部の信号電荷加算、非加算を簡単に行うことができる。

40

【0045】

この構造を利用して、撮像光学系の射出瞳全体からの光束による光電変換出力を行う第1の出力モードと、撮像レンズの射出瞳の一部からの光束による光電変換出力を行う第2の出力モードとを切り替え可能としている。画素部レベルで信号の加算を行う第1の出力モ

50

ードでは、信号を読み出した後で加算する方式に比べてノイズの少ない信号を得ることができる。

【0046】

前述したような2つの光電変換部の信号電荷加算、非加算を簡単に行うことができる固体撮像素子100内のエリアセンサ部の回路構成図は図37と同様である。同図は、2列×2行の画素部による2次元エリアセンサを示したものであるが、実際は従来同様に1920列×1080行等と画素数を多くし、実用的な解像度を得る。

【0047】

次に、図2及び図3を用いて本実施形態の画素部構成について説明する。

図2は図37の画素部120を拡大して示す画素部上面図、図3は図2の画素部を断面A-Aで切断した画素部断面図である。

これらの図において、124はP型ウェル、125はゲート酸化膜、127、128はポリSi、129、130は完全空乏化できる濃度のn層、131はn⁺フローティングディフュージョン領域(FD領域)、132は表面P⁺層である。FD領域131は転送MOSトランジスタ103、104(図中ポリSi127、128)を介して第1及び第2の光電変換部101、102(図中n層129、130)と接続される。n層129及び130と表面P⁺層132は埋め込み型フォトダイオードとして光電変換部を形成し、この構造により表面で発生する暗電流を抑制することができる。

【0048】

CFは特定の波長域の光を透過するカラーフィルター、μLは図38に示す撮像光学系からの光束を効率的に第1及び第2の光電変換部101、102に導くためのマイクロレンズである。図2の画素部上面図においては、124~132の画素部上面にゲート酸化膜125、カラーフィルターCF、マイクロレンズμLが配置されるわけだが、図の煩雑さをなくすためゲート酸化膜125は省略し、カラーフィルターCF、マイクロレンズμLは図中点線で示している。また、二点鎖線は第1及び第2の光電変換部より構成される略正方形の画素部を理解しやすくするために図示したものであり、この1つの画素部が2次元領域に格子状に配列され、固体撮像素子100のエリアセンサ部を形成している。

【0049】

なお、マイクロレンズμLのパワーは、図36の撮像光学系の射出瞳と1対の光電変換部120が結像するように設定されており、従って、第1及び第2の光電変換部101、102でそれぞれ射出瞳上の異なる領域を通過した光束を光電変換するように構成されている。

【0050】

図4は、図1に示される、1920列×1080行の画素部を有する固体撮像素子100のうち4列×4行のみを抜き出した拡大平面図である。光電変換部とMOSトランジスタを含む各画素部はほぼ正方形にレイアウトされ、格子状に隣接して配置されている。図37を用いて先に説明した画素部120~123は、図中それぞれ画素部11~14内に位置し、従って、1つの画素部がそれぞれ近接した2つの光電変換部を有する構成となっている。

【0051】

また、このエリアセンサ部は、各画素部にR(赤色)G(緑色)B(青色)のカラーフィルターを交互に配して、4つの画素部が一組となる所謂ベイヤー配列を形成している。ベイヤー配列では、観察者が画像を見たときに強く感じやすいGの画素部をRやBの画素部よりも多く配置する事で、総合的な像性能を上げている。

【0052】

一般に、この方式の撮像素子では、輝度信号は主にGから生成し、色信号はR、G、Bから生成する。前述したように画素部はそれぞれ1対の光電変換部を有している。図に付した、R、G、Bは赤色、緑色、青色のカラーフィルターを備えた画素部であることを、RGBに続く1あるいは2は、第1光電変換部か第2光電変換部かの区別を表している。例えば、R1は赤色カラーフィルターを備えた第1光電変換部であり、G2は緑色カラーフ

10

20

30

40

50

フィルターを備えた第2光電変換部を意味する。

【0053】

更に、各画素部において光電変換部の占める割合は少なく、撮像光学系から射出した光束を有効に利用するためには、画素部毎に集光用レンズを設けて、1対の光電変換部以外に到達しようとする光を光電変換部上に偏向することが必要で、それが図3に示されるマイクロレンズ μL である。

【0054】

図5はこのために撮像素子前面に設けたマイクロレンズと1対の光電変換部との光学的位置関係を示す断面図で、撮影光学系L1付近の一部分を拡大したものである。

マイクロレンズ $\mu L - 1 \sim \mu L - 4$ は画素部の中心と光軸とがおおよそ一致した軸対称型の球面レンズあるいは非球面レンズであって、各々矩形の有効部を持ち、光入射側を凸形状として格子状に密に並べられている。図1に示す撮像光学系は図の左側に位置し、撮像光学系を射出した光束は、IRカットフィルターF1、光学ローパスフィルターLPFを通して、先ずマイクロレンズ $\mu L - 1 \sim \mu L - 4$ に入射する。各マイクロレンズの後方にはカラーフィルターCF-1~CF-4が配置され、ここで所望の波長域のみが選択されて各光電変換部に到達する。

【0055】

カラーフィルターは図4を用いて説明したようにベイヤー配列を構成しており、RGBの3種がある。また、ベイヤー配列であることから、断面に現れるのはこのうちの2種であって、CF-1、CF-3が緑色透過カラーフィルター、CF-2、CF-4が赤色透過カラーフィルターである。

【0056】

ここで、各マイクロレンズのパワーは撮像素子における各画素部内の1対の光電変換部を撮像光学系の射出瞳に投影するように設定されている。このとき、1対の光電変換部の投影像が撮像光学系の絞り開放時の射出瞳よりも大きくなるように投影倍率を設定し、1対の光電変換部に入射する光量と撮像光学系の絞りSTの開度との関係をおおよそ線形にする。こうすれば、被写体輝度、撮像素子の感度が与えられたときに、フィルムカメラと同様の手法で絞り値とシャッター速度を算出することができる。つまり、入射光量が絞りの開口面積に比例するようになり、APEX方式の演算が成り立つ。フィルムカメラと同じように一般の露出計を用いて露光量を算出することができて、撮影操作は極めて容易である。

【0057】

なお、撮像光学系は主光線の固体撮像素子100への入射角が、固体撮像素子100上のすべてのマイクロレンズにおいて0度となるようにテレセントリック系とするのがマイクロレンズによる瞳投影精度の点で望ましいが、小型化、ズーム比の高倍率化の要求から完全なテレセントリック系にするのは困難である。この際には、マイクロレンズと画素部とを僅かに偏心させ、偏心量を撮像光学系の光軸から画素部までの距離の関数とすればよい。一般には、この偏心量を距離に応じて単調に増加させれば、画面周辺の画素部においても撮像光学系の射出瞳上に正しく投影できるようになる。しかしながら、本実施形態では、10列×10行のブロック毎にマイクロレンズを一律に偏心させる構成としている。こうすることで、マイクロレンズの製造工程を簡略化でき、コストダウンの効果がある。

【0058】

図6(a)、(b)は理解を容易にするために、図6に示した1つの画素部について、第1の光電変換部に入射する光束と、第2の光電変換部に入射する光束のそれぞれを分けて示した図である。

第1の光電変換部に入射する光束を示す図6(a)では、図の下方からの光束が第1の光電変換部に入射し、第2の光電変換部に入射する光束を示す図6(b)では、図の上方からの光束が第2の光電変換部に入射していることが分かる。

【0059】

従って、撮像素子全体では第2の光電変換部に入射する光束は図7に示すようになり、工

10

20

30

40

50

リアセンサ部のいずれの位置に入射する光束も、絞りSTの上半分を通過する光束である。一方、撮像素子全体の第1光電変換部に入射する光束は撮像レンズの光軸L1を対称軸として上下を反転したものとして考えればよい。

以上のような構成で、撮像素子100の第1及び第2光電変換部における出力信号を独立に読み出すことで、撮影光学系の異なる射出瞳を通過した光束を光電変換することを可能としている。一方、撮像時には第1及び第2の光電変換部における出力信号を加算することで撮像光学系の射出瞳全体の光束を光電変換することを可能とし、固体撮像素子100による撮像と位相差方式焦点検出の両立を実現している。

【0060】

次に、本実施形態の撮像装置における焦点検出の特性及び撮像の特性について述べる。位相差方式焦点検出において、小デフォーカスから大デフォーカスに至るまで高精度に位相ずれを検出するには、実用的なデフォーカス範囲において位相ずれ方向での1対の物体像が略相似形状であることが望ましく、こうすることにより、公知の相関演算で算出される1対の物体像の位相ずれ量と撮像光学系のデフォーカス量の関係をほぼ線形にすることができ、位相ずれ量から撮像光学系のデフォーカス量を容易に導き出すことができ、高精度で迅速に焦点検出を実現できる。そこで本実施形態においても、1対の物体像の相似性を知るために位相ずれ方向における1対の線像分布関数を調べてみる。

【0061】

1対の線像分布関数を導くためのパラメータとしては、撮像光学系の収差、赤外カットフィルターF1、ローパスフィルターLPF、マイクロレンズ μL の収差、カラーフィルターCF、光電変換部の感度分布、光電変換部のS/N、射出瞳分離の様子などが必要になる。ここでは、撮像光学系、マイクロレンズ μL は収差のない理想レンズとし、赤外カットフィルターF1、ローパスフィルターLPF、カラーフィルターCF、光電変換部のS/Nは省略し、計算を簡略化する。従って、本実施形態では、光電変換部の感度分布、射出瞳分離の様子から線像分布関数を求める。

【0062】

はじめに、光電変換部の感度分布について考えてみる。図8、9は光電変換部の感度分布を説明するための画素部を示す図で、図8は図2の画素部上面図、図9は図3の画素断面図と同様である。

これらの図に示されるように、1対の光電変換部、即ち図中右上がり斜線部で示すn層129、130は微小な間隔Lを隔てて配置され、n層129、130の間、即ち図中左上がり斜線部で示す領域BはP型ウェルで構成されている。また、図9において点線で示される133はn層129、130の下の空乏層である。

【0063】

いま、マイクロレンズ μL により集光された光が光子hとしてシリコン中に入るとキャリアが発生し、キャリアの1つである電子について考えると、まずn層で発生した電子はn層中に蓄えられる。またP型ウェル中で発生した電子については、その電子が拡散によって空乏層の端に運動してきた場合、空乏層のポテンシャル勾配によってn層へ運動し、n層中に蓄えられる。このような法則により、例えばn層129側に近い位置のP型ウェル中で発生した電子はn層129へと蓄積され、また逆も真である。そして、ポテンシャル勾配に捕らえられなかった電子は、有効な電荷とならず消滅する。

【0064】

ここで、領域Bについて電荷が発生した場合を考えてみると、拡散によってある地点へ電荷がやってくる可能性は距離に依存し、従って、n層129そばの中性領域(空乏層ができていない半導体内の領域)において発生した電子はよりn層129に捕らえられやすく、n層130近傍で発生した電子はn層130に捕らえられやすく、中間点で発生した場合は半々の確率でどちらかに捕獲される。

【0065】

この確率は、距離との関係においてこの距離が電子の拡散長に対して十分短い場合ほぼ線形となる。拡散長のオーダーは数ミリにもおよび、一方距離、即ちLは高々数ミクロン

10

20

30

40

50

ゆえ、十分短いと考えてよいので、本実施形態においては、この領域 B において発生した電子のうち、 n 層 129 が捕獲する確率は n 層 129 からの距離との関係においてほぼ線形となり、 n 層 130 においても同様である。

【0066】

また、領域 B においては、 n 層 129、130 に移動する電子のほか、P 型ウェル中へ移動していき、有効な光電荷とならないキャリアがほんのわずかであるが存在する。なお、 n 層 129、130 の下方の空乏層 133 が領域 B 付近において一部つながることがあるが、その場合も同様の現象がみられる。つながった部分においてはドリフト（空乏層によって設けられるポテンシャル勾配による電子の運動）により割合が規定されるが、繋がっていない位置においては、上記と同様に電子の捕獲される割合が決まる。

10

【0067】

以上のことから、図 9 に示す画素部断面図における 1 対の光電変換部の感度分布は図 10 のようになる。図 10 において、縦軸は感度、横軸は断面方向、即ち図 9 の紙面左右方向、原点は 1 対の光電変換部の中心と一致している。17 は n 層 129 による第 1 の光電変換部 101 に対応した感度分布、18 は n 層 130 による第 2 の光電変換部 102 に対応した感度分布で、図 8 の領域 B に対応した部分、即ち図の縦軸付近で 1 対の感度分布 17、18 が重複する、即ち位相ずれ方向における 1 対の感度分布にクロストークが発生している。この感度分布 17、18 が重複するクロストーク部分は、図 8、9 の n 層 129、130 間の間隔 L にほぼ一致している。

【0068】

20

図 10 の感度分布は図 8 の断面 A - A における 1 次元方向の感度分布であるが、断面 A - A に平行な 1 次元方向の感度分布は 1 対の光電変換部どこでも同様であるので、図 10 の領域 B に入射する光束も第 1 若しくは第 2 の光電変換部 101、102 のどちらかに光電変換されることが分かる。

【0069】

図 11 は、図 10 の感度分布 17、18 を加算した感度分布 19 を示し、従って、この感度分布 19 が第 1 及び第 2 の光電変換部 101、102 の光電変換出力を加算する撮像時の光電変換部感度分布に相当する。感度分布 19 は円で囲んだ部分 C において感度の低下がみられるが、これは、図 8 の領域 B に対応した部分で前述したような理由により生じているが、その低下の度合いはごくわずかであるため画像信号への影響は極めて少ない。

30

【0070】

従来では、この部分の感度は 0 であったので、それに比べると飛躍的な向上と言える。従って、本実施形態において、撮像時には撮像光学系の射出瞳全体の光束を光電変換することが可能で、前述した APEX 式の露出演算もほぼ成立し、不自然なボケのない良質な画像信号を得ることが可能となる。

【0071】

次に、撮像光学系の射出瞳分離の様子を説明する。図 12 は本実施形態における第 1 及び第 2 の光電変換部による撮像光学系の射出瞳分離の様子を示す図である。

同図において、20 は絞り ST が開放状態の場合で、絞り ST の開口 9 を後方レンズ群 $g r p 3$ 、 $g r p 4$ を通して見た虚像である。右上がり斜線部 21 は固体撮像素子 100 の第 1 の光電変換部に入射する光束が通過する射出瞳上の第一の領域、左上がり斜線部 22 は固体撮像素子 100 の第 2 の光電変換部に入射する光束が通過する射出瞳上の第二の領域である。点線で示す 23、24、25 は絞り ST の開口 10、11、12 にそれぞれ対応しており、同様に後方レンズ群 $g r p 3$ 、 $g r p 4$ を通して見た虚像である。

40

【0072】

また、矢印 D は射出瞳分離の方向、即ちデフォーカスにより 1 対の物体像に位相ずれが生じる方向を示している。第一の領域 20 と第二の領域 21 は中央部領域 26 付近で交錯しており、これが図 10 の感度分布 17、18 が重複しているクロストーク部分、図 8 で言う領域 B に相当している。即ち、中部領域 26 を通過した光束も、マイクロレンズ μL により図 8 の領域 B 上に導かれる。従って、例えば、第 1 の領域 21 に関する 1 次元方向

50

の瞳強度分布を算出するには、図 12 の右上がり斜線部を位相ずれ方向に積分した結果を $S(X)$ 、図 10 の位相ずれ方向における第 1 の光電変換部の感度分布を $P(Y)$ とすると、積分結果 $S(X)$ の X に対応した感度分布 $P(Y)$ を $S(X)$ に乗じる必要があり、最終的に以下の式 (3) により位相ずれ方向における瞳強度分布が算出される。

【0073】

【数3】

$$H(X) = S(X) \cdot P(Y) \quad (3)$$

【0074】

ここで、 Y は図 10 の感度分布の横軸で、射出瞳上の位相ずれ方向の座標 X に対応して 1 つの Y が定まる。

【0075】

図 13 は、式 (3) を用いて算出した本実施形態の瞳強度分布を表すグラフである。原点は光軸 $L1$ と一致しており、横軸が位相ずれ方向、縦軸が強度、27 が射出瞳上の第 1 の領域 21 に対応した第 1 の瞳強度分布、28 が射出瞳上の第 2 の領域 22 に対応した第 2 の瞳強度分布を示している。実際には、第 1 及び第 2 の瞳強度分布がマイクロレンズ μL により結像面上に縮小されて線像分布関数となるわけだが、ここでは 1 対の線像分布関数の相似性を知ることが目的であるのでこのままで差し支えない。更に、撮像光学系のデフォーカスも考慮していないが、小デフォーカスの場合、第 1 及び第 2 の瞳強度分布 27、28 を横軸方向に縮小、縦軸方向に拡大、大デフォーカスの場合横軸方向に拡大、縦軸方向に縮小と考えることができる。

【0076】

図 13 中、第 1 及び第 2 の瞳強度分布 27、28 は、図 10 に示す感度分布 17、18 のクロストークの影響を受け、中央付近の角部 29、30 を境に重複している。しかしながら、それぞれの強度分布は左右に裾を広げた形状となり、従来例の第 1 及び第 2 の瞳強度分布 5、6 に比べて相似性が向上している。実際の線像分布関数は、光学系の収差やローパスフィルター LPF の効果で、第 1 及び第 2 の瞳強度分布 27、28 の角部 29、30 が丸みを帯び、全体的に裾もなだらかになることが予想されるので 1 対の線像分布関数の相似性は更に向上していると推定される。

【0077】

なお、ここまではマイクロレンズ μL の光軸と画素部の中心が偏心していない光軸 $L1$ 付近の画素部について述べたが、固体撮像素子 100 上の周辺部においても同様である。

【0078】

従って、本実施形態においては、小デフォーカスから大デフォーカスにいたるまで、相似性の高い線像分布関数を得ることができる。また、位相ずれ検出に用いる 1 対の物体像は、式 (2) より、図 13 の線像分布関数と被写像の位相ずれ方向の光量分布とのたたみこみ積分で与えられるので、相似性の高い良質な焦点検出用画像信号を得ることが可能となる。

【0079】

以上のことから、相似性の高い 1 対の物体像を得るためには、1 対の線像分布関数の相似性が重要となり、本実施形態では 1 対の光電変換部の構成を工夫し、位相ずれ方向における感度分布にクロストークを設けることで、1 対の線像分布関数の相似性を向上させた。位相ずれ方向における感度分布のクロストーク量は、図 8 ~ 10 を用いて説明したように、 n 層 129、130 間の距離 L によって決定され、この L の量により 1 対の線像分布関数の相似性は変化すると言える。従って、この L を位相ずれ方向における n 層 129、130 の幅と焦点検出時の撮像光学系の F 数 (F ナンバー) を基に最適化する必要がある。

【0080】

図 14 は、撮像光学系の F ナンバーを変換させた場合の 1 対の線像分布関数を示す図であ

10

20

30

40

50

り、31, 33, 35は図12の第1の領域21に、32, 34, 36は第2の領域22に対応しており、31, 32が図12における23(図1における開口10)に、33, 34が図12における24(図1における開口11)に、35, 36が図12における25(図1における開口12)にそれぞれ対応している。

【0081】

この図14から分かるように、撮像光学系のFナンバーを変化させることによって、1対の線像分布関数の相似性が変化している様子が見られ、絞りSTの開口10若しくは開口11に対応した線像分布関数31, 32若しくは33, 34の相似性が高いことが分かる。位相差方式の焦点検出においては、撮像光学系のFナンバーが明るいほど、基線長が長くなり高精細なデフォーカス検出が可能となり、低輝度時の限界性能も向上するので、本実施形態では、絞りSTの開口10で焦点検出を行うこととする。

10

【0082】

なお、より明るい開口9を用いて焦点検出を行いたい場合は、図9に示すn層129, 130間の間隔Lを広げて、1対の線像分布27, 28の相似性を向上させればよい。ただし、この場合は図11の円Cで示すように、撮像時の光電変換部感度分布の落ち込み部分の領域が拡大するので、APEX式の露出演算に誤差が生じやすくなる。また、撮像時の画像信号にも不自然なボケが発生しやすくなる。本実施形態では、このようなことも考慮して、n層129, 130間の間隔Lと焦点検出時のFナンバーを決定している。

【0083】

それでは、本実施形態における1対の物体像を算出してみる。そのために、まず被写体像を定義する。図16は被写体像の位相ずれ方向における光量分布を示し、44は2つの矩形波よりなる1次元方向の被写体像光量分布である。これは、黒地に白地の2本線のチャートによる光量分布である。従って、立ち上がり、立ち下りの極端な矩形波となっている。

20

【0084】

図17(a)~(c)は図16の被写体像と図14の瞳強度分布31, 32をデフォーカス時の線像分布関数に変換したのから前記式(2)のたたみこみ積分で得られる1対の物体像を表している。図17(a)は撮像光学系が後ピン方向に1mmデフォーカスした場合で、物体像45が射出瞳上の第1の領域21に、物体像46が第2の領域22にそれぞれ対応している。

30

【0085】

また、図17(b), (c)は、撮像光学系が後ピン方向に3mm, 5mmデフォーカスした場合の物体像を示し、物体像47, 49が射出瞳上の第1の領域21に、物体像48, 50が第2の領域22にそれぞれ対応している。これらの図から明らかのように、デフォーカスが1mm, 3mmでの1対の物体像の相似性は高く、公知の相関演算などにより高精度に位相ずれを算出することができる。

【0086】

デフォーカスが5mmの場合は、多少相似性が低下するが、デフォーカスが大きくなるに従って、1対の物体像のボケ具合は増大していくので、十分に相関演算を用いて位相ずれを検出することができる。

40

【0087】

図18は図17(a)~(c)の物体像のデフォーカス量とそのとき公知の相関演算で検出される位相ずれ量の関係を表すグラフである。

図中黒丸のプロット51, 52, 53が図17(a), (b), (c)にそれぞれ対応している。この図からも明らかのように、実用的なデフォーカス範囲において、デフォーカス量と位相ずれ量の関係はほぼ線形となるので、検出される位相ずれ量を基に容易に撮像光学系のデフォーカス量を算出することができる。

【0088】

以上の結果から、本実施形態では、実用的なデフォーカス範囲において相似性の高い1対の物体像で焦点検出を行うことができ、結果として高精度で迅速な焦点検出を実現できる

50

。また撮像時は、射出瞳の全光束を光電変換するように設計された通常の固体撮像素子と同様の良質な画像信号を得ることができる。

【0089】

それでは、実際の焦点検出方法について説明する。撮影光学系がデフォーカスした場合、物体像は瞳の分離方向に位相がシフトしたものとなるので、焦点検出領域を撮像光学系の瞳の分離方向を長手方向とした長方形として設定しておく。

【0090】

図15は固体撮像素子100のエリアセンサ部に設定された焦点検出領域を説明するための図で、図中太線で囲まれた37~43が焦点検出領域としてあらかじめ設定されている。図中焦点検出領域37付近のみ格子状に並べられた画素部を表示しているが、その他の領域については省略している。

10

【0091】

以上のような構成で、第1光電変換部と第2光電変換部における出力信号を独立に読み出した画像信号を用いて、位相シフト量検出手段である周知の相関演算などにより位相シフト量を検出する。そして、その位相シフト量をデフォーカス量に換算して撮像光学系の焦点調節を行う。なお、焦点検出時の撮像光学系のFナンバーは、前述したように絞りSTの開口10を用いることとする。また、焦点検出領域21は2組の画素列で構成されているが、これは、図4で説明したベイヤー配列で構成される撮像素子100から各色(緑、赤、青)の画像信号を取り出すためで、詳細は後述する。

【0092】

20

次に、撮像時においては、絞りSTの開口9~12を用い、第1光電変換部と第2光電変換部における出力信号を画素部レベルで加算することで、不自然な像のボケが生じることはなく、元々撮像光学系の瞳の全光束を使った画像を得るように設計された固体撮像素子で得られる画像と同レベルのS/N的に優れた高品位画像を得ることができる。

【0093】

次に、本実施形態における電気系の回路構成について説明する。図19は、撮像素子100の周辺回路を含む内部構成を示したブロック図である。撮像素子100内には、タイミング発生部134、エリアセンサ部135、画素の出力を選択する垂直走査部136および水平走査部137、アナログ信号処理部138、アナログ/デジタル変換を行うA/D変換部139、デジタル化された信号を出力信号に変換するデジタル信号処理部140、デジタル画像信号を外部に出力し、また外部からのコマンドデータを受け取るインターフェイス部141が設けられている。また、エリアセンサ部135は上述したCMOSセンサである。

30

【0094】

タイミング発生部134は、外部からの基準周波数であるマスタークロックを元に、各光電変換部で光電変換された画像信号を読み出すためのタイミング信号を発生し、垂直および水平走査部136、137が、このタイミング信号に従って所要の走査制御を行って、電荷を読み出す。

【0095】

なお、タイミング発生部134から垂直同期信号と水平同期信号を外部に出力し、撮像素子外でタイミング信号が必要なシステム用に、同期信号を供給する。

40

【0096】

アナログ信号処理部138はエリアセンサ部135から読み出された画像信号をノイズ低減処理、増幅処理、ガンマ処理、クランプ処理してA/D変換部139に出力するためのものである。A/D変換部139はこの画像信号をデジタル信号に変換して出力し、デジタル信号処理部140は、A/D変換部139にてデジタル変換された画像信号をインターフェイス部141に出力する。インターフェイス部141はデジタル信号処理部139から出力されるデジタル画像信号を撮像素子100の外部に出力する。

【0097】

また、撮像素子100は、外部からコマンド対応で撮像素子100のモードや出力信号形

50

態、信号出力タイミングなどをコントロールでき、外部からインターフェイス部141に撮像画像や焦点検出用画像を得るための所要のコマンドを与えると、インターフェイス部141が受けたコマンド対応の制御を行うように各構成要素を制御する。

【0098】

図20は、デジタル信号処理部140の内部の構成を示すブロック図で、焦点検出用画像を簡単に得るため、信号処理1(140-1)、・・・、信号処理n(140-n)として出力位置指定コマンドが用意されており、エリアセンサ部138の撮像領域のうち、図15に示した焦点検出領域37~43が何れかに対応しており、任意の焦点検出領域を指定することにより、第1光電変換部と第2光電変換部における1対の焦点検出用画像信号が得られるような構成となっている。

10

【0099】

一方、撮像の場合も同様に、デジタル信号処理部140に特定の撮像用のコマンドを指定することにより、エリアセンサ部138の撮像領域における第1光電変換部及び第2光電変換部での画像信号を画素部レベルで加算した撮像用画像信号を得ることができる。

【0100】

なお、これらの焦点検出領域を含むラインについては、焦点検出用として電荷蓄積レベルが最適化された画像を出力するように構成されており、焦点検出領域内で適切な信号レベルを得るため、焦点検出領域別にも電子シャッタ設定を行うことができる。

【0101】

一般的に、CCD型の撮像素子は全ての画素の電荷蓄積時間が同じであるが、本実施形態における撮像素子100はCMOSセンサの特長を生かして、画素単位、あるいはライン単位、あるいはブロック単位での読み出しを行う構造をとることが容易にでき、更に、蓄積時間の始まりと終りを単位毎に異ならせることが可能である。ここでは、垂直ライン単位に電荷蓄積時間を変えるものとし、焦点検出領域内の画像がA/D変換レンジを有効に使えるようになっている。

20

【0102】

なお、本実施形態において、焦点検出領域は7つのみが設定されているが、あらかじめ定められた領域から選択するのではなく、トラックボールなどのポインティングデバイスを用意し、数100程度の焦点検出領域から幾つかを任意に指定するようにしてもよい。こうすることで、撮像領域における広い領域での焦点検出を行うこともできる。

30

【0103】

図21は、本実施形態における撮像装置の電気回路を示すブロック図である。図21において、図19に示される撮像素子100にはIF部141を介してマイクロコンピュータ142が接続されマイクロコンピュータ142により所要のコマンドをIF部141に与えることにより撮像素子100の制御を行う。マイクロコンピュータ140はCPU(中央演算処理部)143、ROM144、RAM145、EEPROM146を有し、ROM144に格納されているプログラムに従って各種動作が実行される。またEEPROM146には画像信号補正処理情報などの情報があらかじめ格納されている。

【0104】

最後に、1対の画像信号による焦点検出のための信号処理について説明する。まず、撮像光学系のFナンバーは前述したように図1の開口10を用いて焦点検出を行う。図22は焦点検出領域37の拡大図である。図に示すように、焦点検出領域37は12個の画素部で構成された画素列51, 52を2組備えているが、実際の焦点検出領域37は、例えば300行×2列の多数の画素より構成されており、ここでは図の煩雑さをなくすため12行×2列のみを用いて説明する。

40

【0105】

エリアセンサ部135のカラーフィルターはベイヤー配列をなしているため、各画素列には2種類のカラーフィルターが交互に配列されることになる。そこで、焦点検出のために、各画素列をカラーフィルターの種類で分類し、更に、それぞれから、第1光電変換部からの信号と第2光電変換部からの信号とからなる1対の画像信号を生成する。従って、焦

50

点検出領域 3 7 からは全部で 4 対の画像信号ができる。

【 0 1 0 6 】

なお、1つの焦点検出領域については実質的に一律の蓄積時間とする。図 2 3 ~ 2 6 はこの 4 対の画像信号を示しており、図 2 3 は画素列 5 1 のうち緑色カラーフィルターを備えた 1 画素おきの 1 対の画像信号で、白丸のプロットで示す 5 3 は G 1 で示した第 1 の光電変換部の信号、黒丸のプロット 5 4 は G 2 で示した第 2 の光電変換部の信号である。同様に、図 2 4 は画素列 5 2 のうち緑色カラーフィルターを備えた 1 画素おきの 1 対の画像信号、図 2 5 は画素列 5 1 のうち赤色カラーフィルターを備えた 1 画素おきの 1 対の画像信号、図 2 6 は画素列 5 2 のうち青色カラーフィルターを備えた 1 画素おきの 1 対の画像信号をそれぞれ示しており、白丸のプロットで示す 5 5、5 7、5 9 は第 1 の光電変換部による画像信号、黒丸のプロットで示す 5 6、5 8、6 0 は第 2 の光電変換部による画像信号である。

10

【 0 1 0 7 】

これらは、撮像光学系によって焦点検出領域 3 7 上に成された物体像が、オレンジ色と黄色の濃淡である場合の例であり、図 2 3 と図 2 4 に示した緑色のコントラストが高く、図 2 5 に示した赤色は低コントラストであるものの強度は強く、更に、図 2 6 に示した青色はコントラストも強度も低くなっている。図は物体像がデフォーカスした状態を示し、第 1 光電変換部の画像信号と第 2 光電変換部の画像信号とは位相がシフトしていることが分かる。また、焦点検出時の F ナンバーに合わせて図 8、9 に示す 1 対の光電変換部間の間隔 L を最適化し、1 対の線像分布の相似性を向上させているので、図 2 3 ~ 図 2 6 における 1 対の画像信号の相似性は損なわれていない。

20

【 0 1 0 8 】

物体にピントがあった状態では、第 1 の光電変換部の画像信号と第 2 光電変換部の画像信号とは位相が一致するため、1 対の信号の同一性を判定することで合焦検知を行うことができる。つまり、相関演算を用いた公知の手法を用いて位相ずれ量を検出することにより、デフォーカス量を求めることができる。得られたデフォーカス量を撮像光学系の第 2 群 $g r p 2$ を駆動すべき量に換算すれば、自動焦点調節が可能である。レンズの駆動量をあらかじめ知ることができるので、通常、合焦位置までのレンズ駆動はほぼ一回で済み、極めて高速な焦点調節が実現できる。

30

【 0 1 0 9 】

また、ここでは色分解した信号を用いたが、色分解しない場合はこれらを足しあわせた信号を得ることに相当するために低コントラストになりやすく、この結果、検出不能状態に陥りやすい。これに対して、色分解した信号を用いれば、ここに示したように R G B すべての信号に高いコントラストが現れるとは限らないが、逆に R G B の何れかには高コントラストな信号が得られ、ほとんどの場合焦点検出が可能となる。

30

【 0 1 1 0 】

また、画像信号 5 3、5 4 から検出された位相ずれ量、画像信号 5 5、5 6 から検出された位相ずれ量、信号 5 7、5 8 から検出された位相ずれ量、信号 5 9、6 0 から検出された位相ずれ量のうち、信頼性が高いものだけを選択して平均すれば、より高い焦点検出精度を得ることが可能である。例えば、図 2 5 や図 2 6 の場合のように低コントラストな信号では、その焦点検出結果を焦点調節に用いないようにすればよい。

40

【 0 1 1 1 】

以上のような構成により、本発明の撮像装置は、固体撮像素子 1 0 0 による位相差方式焦点検出と撮像を両立するとともに、焦点検出時には小デフォーカスから大デフォーカスに至るまで相似性の高い 1 対の画像信号を得ることができ、高精度で迅速な焦点検出を実現できる。また、撮像時には不自然なボケのない撮像光学系の射出瞳全体の光束による高品位画像信号を得ることができる。

【 0 1 1 2 】

なお、本実施形態では、画素部を上下方向に分離した 1 対の光電変換部を有する固体撮像素子 1 0 0 を用いて説明したが、画素部を左右方向に分離した場合あっても、位相ずれ方

50

向に光電変換部感度分布のクロストークが発生するようにすれば、上記のような効果は得られる。

【0113】

(第2の実施形態)

第2の実施形態は、第1実施形態の固体撮像素子100を改良したものであり、上下方向に分離された1対の光電変換部よりなる画素部と左右方向に分離された画素部を混在させた例である。そうすることにより、撮影された画像のボケ具合をより向上させ、より高品位な画像を得ることができる。

【0114】

また一般的に、位相差方式焦点検出においては、位相ずれ方向にコントラストのある被写体の焦点検出は得意とするが、位相ずれ方向に平行な方向にコントラストのある被写体については焦点検出不能となることが多い。

【0115】

第1の実施形態のように、固体撮像素子100の画素部を上下方向にのみ分離した構成では、上下方向にコントラストのある被写体、いわゆる横線検出は得意とするが、縦線検出は行えない。ところが、第2の実施形態は、異なる方向に分離された光電変換部よりなる画素を混在させているので、縦線検出、横線検出の両方をも実現している。なお、基本的な光学構成、マイクロレンズによる瞳結像、画素部内の構成、回路構成など第1の実施形態と同様部分についての説明は省略する。

【0116】

図27は、図1に示される、1920列×1080行の画素部を有する固体撮像素子100のうち4列×4行のみを抜き出した拡大平面図であり、第1の実施形態の図4に対応する。

1対の光電変換部とMOSトランジスタを含む各画素はほぼ正方形にレイアウトされ、格子状に隣接して配置されている。画素61～64は1つの画素がそれぞれ近接した1対の光電変換部を有する構成となっている。また、このエリアセンサ部は、各画素にR(赤色)G(緑色)B(青色)のカラーフィルターを交互に配して、4画素が一組となる所謂ベイヤー配列を形成し、図27に付した、R、G、Bは赤色、緑色、青色のカラーフィルターを備えた画素部であることを、RGBに続く1あるいは2は、第1光電変換部か第2光電変換部かの区別を表している。

【0117】

更に、各画素において1対の光電変換部の占める割合は少ないためマイクロレンズ μL によって画素部全体の光束を集光して1対の光電変換部に導く構成としている。図27において、一組のベイヤー配列画素61～64は、緑色カラーフィルターの画素64はのみが左右方向に分離された光電変換部よりなり、その他の画素61～63は上下方向に分離された光電変換部より構成されている。従って、4画素一組のベイヤー配列において緑色カラーフィルターの1画素のみが異なる方向に分離されている構成となっており、この画素による1対の画像信号で縦線検出を行うことができる。以上のような2列×2行の画素配列構成を固体撮像素子100の1920列×1080行の2次元領域に繰り返し配置し、エリアセンサ部を形成している。

【0118】

マイクロレンズ μL により撮像光学系の射出瞳上に投影された1対の光電変換部が射出瞳を分離している様子は、上下方向に画素部が分離されている画素、例えば、図27の画素61～63については、図12と同様になる。従って、上下方向に分離された画素部の位相ずれ方向における感度分布は、図10に示すような1対の光電変換部間でクロスしている。一方、左右方向に画素部が分離された画素、例えば、図27の画素64は、第1の実施形態の図8に表す画素部上面図を90度回転させたものと考えられるので、位相ずれ方向における感度分布は図10と同様となり、射出瞳分離の様子は図12を90度回転させた図28のようになる。

【0119】

10

20

30

40

50

図 28 において、図 12 と同様の記号を付している部分は第 1 の実施形態と同様の部分であり、絞り ST の開口 9 を後方レンズ群 grp 3、grp 4 を通して見た虚像である。右上がり斜線部 65 は固体撮像素子 100 の左右方向に分離された画素部における第 1 の光電変換部に入射する光束が通過する射出瞳上の第一の領域、左上がり斜線部 66 は固体撮像素子 100 の左右方向に分離された画素部における第 2 の光電変換部に入射する光束が通過する射出瞳上の第二の領域である。また、矢印 E は射出瞳分離の方向、即ちデフォーカスにより 1 対の物体像に位相ずれが生じる方向で、図 12 の位相ずれが生じる方向である矢印 D と直交している。更に、第一の領域 65 と第二の領域 66 は中央部領域 67 で交錯しており、これが図 10 の感度分布 17、18 が重複しているクロストーク部分、図 8 で言うところの領域 B に相当している。

10

【0120】

以上のことから、画素 61 ~ 63 のように上下方向に分離された画素部、若しくは、画素 64 のように左右方向に分離された画素部の何れであっても、位相ずれ方向は互いに直交するが、位相ずれ方向における 1 対の線像分布関数は図 13 (図 14) のようになり、小デフォーカスから大デフォーカスに至るまで相似性の高い 1 対の焦点検出用画像信号を得ることができる。

【0121】

また、1 対の光電変換部の出力信号を加算する撮像時においては、ベイヤー配列において視感度の高い緑色カラーフィルターの画素部分離方向を互いに直交するように構成しているので、図 11 の円 C で示す感度落ち込みも互いに直交する関係にあるわけで、撮影画像におけるわずかに不自然なボケ具合も目立たなくすることができ、より高品位な画像信号を得ることができる。

20

【0122】

最後に、第 2 の実施形態の焦点検出について説明する。

図 29 は固体撮像素子 100 上にあらかじめ設定された焦点検出領域 72 ~ 78 を表す図であり、添え字 a が上下方向に分離した画素部による横線検出を目的とした焦点検出領域、添え字 b が左右方向に分離した画素部による縦線検出を目的とした焦点検出領域である。図中焦点検出領域 74 a、74 b 付近のみ格子状に並べられた画素を表示しているが、その他の領域については省略している。それぞれの焦点検出領域は、射出瞳分離による位相ずれが生じる方向を長手方向とし、位相ずれの変換を効率よく検出できるように構成されている。

30

【0123】

それでは、まず横線検出を行う添え字 a の焦点検出領域における焦点検出方法について説明する。図 30 は、焦点検出領域 74 a の拡大図である。図 30 に示すように、焦点検出領域 74 a は 12 個の画素部で構成された画素列 75、76 を 2 組備えているが、実際の焦点検出領域 74 a は、例えば 300 行 x 2 列の多数の画素より構成されており、ここでは図の煩雑さをなくすため 12 行 x 2 列のみを用いて説明する。焦点検出領域 74 a は上下方向に位相ずれする 1 対の物体像を検出するように構成されているので、上下方向に分離された画素部による画像信号で焦点検出を行うこととなる。従って、第 1 の実施形態の場合と同様にカラーフィルターの色で分解した画像信号を生成すると、緑色、青色、赤色の各色 1 組ずつ計 3 組の画像信号を得ることができる。

40

【0124】

次に、縦線検出を行う添え字 b の焦点検出領域における焦点検出方法について説明する。図 31 は、焦点検出領域 75 b の拡大図である。焦点検出領域 75 b も同様に、実際は 2 行 x 300 列の多数の画素より構成される。焦点検出領域 75 b は、左右方向に位相ずれする 1 対の物体像を検出するように構成されているので、左右方向に分離された画素部による画像信号で焦点検出を行う。

【0125】

従って、焦点検出領域 75 b からは画素列 78 の緑色カラーフィルターによる 1 対の画像信号のみが得られる。なお、4 画素一組のベイヤー配列画素において、緑色カラーフィル

50

ターの1画素のみを左右方向に分離したのは、多くの被写体像はRGBに色分解した場合、緑色成分を含むことが多く、実用的な被写体像においては、緑色成分だけでも十分に焦点検出を行う上でほとんど弊害がないからである。

【0126】

以上のような構成により、位相ずれ方向が上下方向である3対の画像信号と位相ずれ方向が左右方向である1対の画像信号が得られる。一般的に被写体像は上下若しくは左右どちらかの方向にコントラストを有する場合が多いので、前記3対の画像信号のコントラストが低くても、多くの場合前記1対の画像信号にはコントラスト成分が含まれていることから、この画像信号を用いることで、位相ずれを検出することができる。従って、本実施形態では、第1の実施形態と比較してほとんどの被写体の焦点検出を行うことが可能となる。

10

【0127】

また、上下方向に分離した画素部と左右方向に分離した画素部の両方とも、1対の光電変換部間の感度分布にクロストークを設けたので、撮像若しくは焦点検出という目的に最適な画像信号を得ることができる。

【0128】

なお、本実施形態では、緑色カラーフィルターの画素のみを異なる方向に分離したが、緑色、青色、赤色のすべてが上下若しくは左右方向に分離されるような画素部配列としてもよい。

【0129】

(第3の実施形態)

第3の実施形態は、第1の実施形態を改良した例で、図8における1対の光電変換部間の間隔Lを異ならせた複数の種類の画素部を混在させた固体撮像素子100を備えた撮像装置である。

20

【0130】

従って、複数のFナンバーでの焦点検出を可能とし、特に交換レンズシステムにおいて、明るいFナンバーを備えた撮影レンズが装着された場合、通常焦点検出を行うFナンバーより明るいFナンバーで焦点検出を行うことで、焦点検出の基線長をより長くすることができ、より高精度な焦点検出を実現できると共に、低輝度限界の性能も向上させることができる。

30

【0131】

なお、基本的な光学構成、マイクロレンズによる瞳結像、画素部内の構成、回路構成など第1の実施形態と同様部分についての説明は省略する。また、これから説明する図中、第1の実施形態と同様の符号を付した部材は、第1の実施形態と同様であるので説明は省略する。

【0132】

図32は、第3の実施形態における電気系のブロック図で、交換レンズシステムにおける撮影レンズ79と撮像装置80が図示されている。

撮影レンズ79はEEPROM147とレンズIF部148を有している。一方、撮像装置80は、撮像装置IF部149とレンズ装着検知手段150を有している。以上のような構成で、撮影レンズ79を図の矢印F方向に移動させ、不図示の着脱自在なレンズ装着メカ機構により撮像装置80に対して撮影レンズ79が固定される。そうすると、レンズ装着検知手段150により撮影レンズ79の装着が検出され、レンズIF部148、撮像装置IF部を介して、撮影レンズ79のEEPROM147にあらかじめ記憶された、撮影レンズに関する情報や光学補正值などを撮像装置80が読み込む。

40

【0133】

図33(a)、(b)は本実施形態の固体撮像素子100に配置される画素部を拡大した上面図で、異なる2種類の構成の画素部が混在する。これらの図において、1対の光電変換部を構成するn層129、130の間隔L1、L2は異なっており、以下の式(4)のような関係がある。

50

$$L1 < L2 \quad (4)$$

【0134】

ここで、図33(a)におけるn層129、130とその間の領域Gを加えた部分と、図33(b)におけるn層129、130とその間の領域Hを加えた部分は、互いに同形状、同面積としている。そして、n層129、130の間の領域G、Hにおいても第1の実施形態と同様に光電変換は行われ、従って、一对の光電変換部における画素部分離方向の感度分布は図34ようになる。

【0135】

図34において、実線で示す1対の感度分布81a、81bが図33(a)に、点線で示す1対の感度分布82a、82bが図33(b)にそれぞれ対応しており、1対の感度分布にクロストークが生じる中央部以外は互いに重なって表示されている。これらの図からも明らかなように、n層129、130の間の間隔が大きい感度分布82a、82bの方が1対の感度分布82a、82bが重複するクロストーク部分が大きくなっている。

10

【0136】

第1の実施形態において、図14を用いて説明したように、撮像光学系の1つのFナンバーに対して1対の線像分布関数の相似性が最も高くなるようなn層129、130の間隔Lは限られてくる。いま、本実施形態では、n層129、130の間隔L1、L2が互いに異なっており、2種類の間隔L1、L2を有する画素部が混在している。従って、2種類の画素部における1対の線像分布関数の相似性が高くなるFナンバーも2種類存在することとなり、式(4)の関係からL2の画素部の方がより明るいFナンバーで1対の線像分布関数の相似性が最も高くなるようになる。

20

【0137】

本実施形態においては、図33(a)に示す画素部は、交換レンズシステムにおけるすべての撮影レンズが満たすFナンバー、例えばF5.6付近において、1対の線像分布関数の相似性が最も高くなるようL1が設定され、図33(b)に示す画素部は、交換レンズシステムにおける一部の撮影レンズが備える明るいFナンバー、例えばF2.8付近において、1対の線像分布関数の相似性が最も高くなるように設定されている。

【0138】

なお、本実施形態では、1対の光電変換部に入射する光量と撮影レンズのFナンバーがほぼ線形となる範囲における最も明るいFナンバーは、F2.0付近に設定されており、上記2つの焦点検出時のFナンバーより明るいFナンバーとなっている。従って、焦点検出時には、撮影レンズの射出瞳全体の光束を光電変換することが可能になる。

30

【0139】

以上のことから、F2.8より暗いFナンバーを有する通常の撮影レンズが装着されている場合は、撮影レンズの絞りをF5.6にした上で、図33(a)に示す画素部による画像信号で焦点検出を行い、F2.8以下のFナンバーを有する一部の撮影レンズが装着されている場合は、図33(b)に示す画素部による画像信号で焦点検出を行う。そうすることで、小デフォーカスから大デフォーカスに至るまで高精度で確実な焦点検出を行えると共に、F2.8以上の明るいFナンバーの撮影レンズが装着された際には、F2.8の光束を用いて焦点検出を行うことができるので、より感度の高い焦点検出を行うことができる。また、焦点検出の低輝度限界も向上させることができる。

40

【0140】

なお、撮影レンズの開放Fナンバーに関する情報は、図32の撮影レンズ79のEEPROM147にあらかじめ記憶し、撮影レンズが装着された際にその情報を撮像装置側がIF部を介して読み込めばよい。また、撮像時の感度分布は、図34の1対の感度分布を加算したものとなる。

【0141】

第1の実施形態で説明したように、分離方向における撮像時の感度分布は、1対の光電変換部間でわずかながら他の部分に比べて感度が落ちる。従って、図33(b)の画素部の方が1対の光電変換部間の間隔L2を大きくしているため、図33(a)の画素部より

50

感度が落ちる部分が大きくなる。従って、撮像時の画像信号にもわずかではあるが感度むらが生じる。このような場合には、図19の固体撮像素子100のアナログ信号処理部138における増幅率を図33(a)、(b)の画素部同士を互いに異ならせておけば、IF部141を介して感度むらのないより良質な画像信号を得ることも可能である。

【0142】

最後に、本実施形態における位相方式焦点検出方法について説明する。図35は固体撮像素子100上に設けた焦点検出領域を示す図である。

83~89は焦点検出領域を示し、添え字aが図33(a)の画素部により構成される焦点検出領域、添え字bが図33(b)の画素部により構成される焦点検出領域である。図中焦点検出領域85a、85b付近のみ格子状に並べられた画素を表示しているが、その他の領域については省略している。それぞれの焦点検出領域は、射出瞳分離による位相ずれが生じる方向、即ち画素部における1対の光電変換部分離方向を長手方向とし、位相ずれの変換を効率よく検出できるように構成されている。

【0143】

いま、添え字aの焦点検出領域83a~89aと添え字bの焦点検出領域83b~89bはそれぞれ隣接して配置されている。そして、F2.8より暗いFナンバーを開放Fナンバーとする撮影レンズが装着された場合の焦点検出では、まず撮影レンズのFナンバーをF5.6にセットし、焦点検出領域83a~89aを用いて焦点検出用の画像信号を形成する。一方、F2.8以下のFナンバーを開放Fナンバーとする明るい撮影レンズが装着された場合の焦点検出では、撮影レンズのFナンバーをF2.8にセットし、焦点検出領域83b~89bを用いて焦点検出用画像信号を形成する。焦点検出領域83a~89bは、いずれも第1の実施形態の図22と同様の構成で2組の画素列より形成されるので、色分解した焦点検出用画像信号としては、図23~26に示すように1つの焦点検出領域あたり4対得られることとなる。そして、公知の相関演算により前記画像信号から位相ずれ量を算出し、この位相ずれ量を撮影レンズのデフォーカス量に換算することで、位相差方式焦点検出を実現している。

【0144】

以上のような構成により、本実施形態では撮影レンズが備える開放Fナンバーに応じて、2種類の焦点検出領域を選択することができ、より明るいFナンバーにおいても焦点検出が行えるようにしているので、明るいFナンバーが持つ高敏感、低輝度限界向上といった利点を生かした焦点検出を行うこともできる。なお、本実施形態では、基本となる焦点検出時のFナンバーとそれより明るいFナンバーに対応する構成としたが、基本となる焦点検出時のFナンバーより暗いFナンバーに対応するようにしてもよい。

【0145】

特に、2次結像光学系による位相差方式焦点検出においては、一般的に撮影レンズのFナンバーが暗い場合に撮像面上において焦点検出可能な領域は撮影レンズの光軸付近に限られることが多いので、基本の焦点検出Fナンバーより暗いFナンバーに対応した画素部を設けると、撮影レンズの開放Fナンバーが比較的暗い高倍率ズームレンズを装着した際にも、撮像面上の広い領域で焦点検出を行うことが可能となり、有効である。

【0146】

また、3種類以上の複数のFナンバーに対応した画素部を設けるようにして、明るいFナンバーから暗いFナンバーまで焦点検出を行えるようにしてもよい。

【0147】

(第4の実施形態)

第4の実施形態では、第1~第3の実施形態で示した撮像装置をスチルカメラに適用してなる撮像システムについて例示する。

【0148】

図38は、本実施形態のスチルカメラの主要構成を示すブロック図である。同図において、1はレンズのプロテクトとメインスイッチを兼ねるバリア、2は被写体の光学像を固体撮像素子4に結像させるレンズ、3はレンズ2を通った光量を可変するため

10

20

30

40

50

の絞り、4はレンズ2で結像された被写体を画像信号として取り込むための固体撮像素子であり、これが第1～第3の実施形態の撮像素子100に対応する。5は固体撮像素子4から出力される画像信号のアナログ-デジタル変換を行うA/D変換器、6はA/D変換器5から出力された画像データに各種の補正やデータ圧縮処理を施す信号処理部、7は固体撮像素子4、A/D変換器5、信号処理部6に各種のタイミング信号を出力するタイミング発生部、8は各種の演算と当該スチルカメラ全体の動作を統括制御する全体制御・演算部、9は画像データを一時的に記憶するためのメモリ部、10は記憶媒体に記憶又は読み出しを行うための記憶媒体制御インターフェース(I/F)部、11は記憶媒体に記憶又は読み出しを行うための半導体メモリ等の着脱可能な記憶媒体、12は外部コンピュータ等と通信するための外部I/F部である。

10

【0149】

次に、上述の構成におけるスチルカメラの動作について説明する。

【0150】

バリア1が開くとメイン電源がオンされ、続いてコントロール系の電源がオンされ、更にA/D変換器5等の撮像系回路の電源がオンされる。

【0151】

続いて、露光量を制御するために、全体制御・演算部8は絞り3を開放とし、固体撮像素子4から出力された信号がA/D変換器5で変換された後、信号処理部6に入力する。そのデータを基に露出の演算を全体制御・演算部8にて行う。全体制御・演算部8はこの測光を行った結果により明るさを判断し、その結果に応じて絞り3を制御する。

20

【0152】

続いて、固体撮像素子4から出力された画像信号を基に、被写体までの距離の演算を全体制御・演算部8にて行う。その後、レンズ2を駆動して合焦したか否かを判断し、合焦していないと判断したときには、再びレンズ2を駆動して測距を行う。

【0153】

そして、合焦が確認された後に本露光が開始される。

露光が終了すると、固体撮像素子4から出力された画像信号はA/D変換器5で変換され、信号処理部6を通り全体制御・演算部8の制御によりメモリ部9に書き込まれる。

【0154】

その後、メモリ部9に蓄積されたデータは全体制御・演算部8の制御により記憶媒体制御I/F部10を通り記憶媒体11に記憶される。また、外部I/F部13を通り直接コンピュータ等に入力して画像の加工を行ってもよい。

30

【0155】

本実施形態では、前記実施形態の撮像装置による位相差方式焦点検出を行っているので、結果として高精度で迅速な焦点検出を実現できる。また撮像時は、射出瞳の全光束を光電変換するように設計された通常の固体撮像素子と同様の良質な画像信号を得ることができる。本実施形態のスチルカメラは、上述の効果を奏する撮像装置を備えているため、優れた画像表示を実現した信頼性の高いものである。

【0156】

【発明の効果】

本発明によれば、以下に示す顕著な効果が得られた。

40

(1) 焦点検出時のFナンバーを基に、小デフォーカスから大デフォーカスに至るまで1対の画像信号の相似性が高くなるよう画素部を構成したので、高精度で迅速な焦点調節を実現できた。

(2) 同時に、元々撮像光学系の瞳の全光束を使った画像を得るように設計された撮像素子で得られる画像と同等のS/N的に優れた高品位画像を得ることができ、画像の不自然なボケをほぼ無くすことができた。

(3) 複数のF数で小デフォーカスから大デフォーカスに至るまで、高精度で迅速な焦点調節を実現できた。

【図面の簡単な説明】

50

- 【図 1】本発明の第 1 の実施形態における撮像光学系の斜視図である。
- 【図 2】本発明の第 1 の実施形態における固体撮像素子のエリアセンサ部の画素部における上面図である。
- 【図 3】エリアセンサ部の画素部における断面図である。
- 【図 4】カラーフィルターの配列を部分的に拡大して示す模式図である。
- 【図 5】マイクロレンズと受光部の投影関係を示す構成図である。
- 【図 6】第 1 の光電変換部に入射する光束と、第 2 の光電変換部に入射する光束を各々示した模式図である。
- 【図 7】撮影光学系射出瞳の上側半分を通過する光束を示した撮影光学系の構成図である。
- 【図 8】エリアセンサ部の画素部における光電変換の様子を説明するための平面図である。
- 【図 9】エリアセンサ部の画素部における光電変換の様子を説明するための断面図である。
- 【図 10】焦点検出における 1 対の光電変換部の感度分布を表す特性図である。
- 【図 11】撮像における 1 対の光電変換部の感度分布を表す模式図である。
- 【図 12】射出瞳分離の様子を示す模式図である。
- 【図 13】1 対の瞳強度分布を示す模式図である。
- 【図 14】複数の絞り S T の開口における 1 対の瞳強度分布を示す模式図である。
- 【図 15】撮像素子上の焦点検出領域を示す模式図である。
- 【図 16】1 次元方向の被写体像綱領分布を示す特性図である。
- 【図 17】デフォーカスによる 1 対の画像信号を示す特性図である。
- 【図 18】デフォーカスと位相ずれの関係を表す特性図である。
- 【図 19】撮像素子の周辺回路を含む内部構成を示したブロック図である。
- 【図 20】出力位置指定コマンドを説明するためのブロック図である。
- 【図 21】撮像装置の電気系のブロック図である。
- 【図 22】焦点検出領域を部分的に拡大して示す模式図である。
- 【図 23】画素列のうち緑色カラーフィルターを備えた受光部における 1 対の画像信号を示す特性図である。
- 【図 24】画素列のうち緑色カラーフィルターを備えた受光部における 1 対の画像信号を示す特性図である。
- 【図 25】画素列のうち赤色カラーフィルターを備えた受光部における 1 対の画像信号を示す特性図である。
- 【図 26】画素列のうち青色カラーフィルターを備えた受光部における 1 対の画像信号を示す特性図である。
- 【図 27】本発明の第 2 の実施形態における画素分離の配列を部分的に拡大して示す模式図である。
- 【図 28】第 2 の実施形態における射出瞳分離の様子を示す模式図である。
- 【図 29】第 2 の実施形態における撮像素子上の焦点検出領域を示す模式図である。
- 【図 30】焦点検出領域を部分的に拡大して示す模式図である。
- 【図 31】焦点検出領域を部分的に拡大して示す模式図である。
- 【図 32】第 3 の実施形態の交換レンズシステムにおける電気系のブロック図である。
- 【図 33】第 3 の実施形態におけるエリアセンサ部の画素部の上面図である。
- 【図 34】図 33 の画素部における 1 対の光電変換部の感度分布を表す模式図である。
- 【図 35】第 3 の実施形態における撮像素子上の焦点検出領域を示す模式図である。
- 【図 36】本発明の第 1 の実施形態における撮像光学系の構成図である。
- 【図 37】本発明の第 1 の実施形態における固体撮像素子のエリアセンサ部の回路図である。
- 【図 38】本発明の第 4 の実施形態におけるスチルカメラの主要構成を示すブロック図である。

10

20

30

40

50

【図39】従来例における画素部の断面図である。

【図40】従来例における射出瞳分離の様子を示す模式図である。

【図41】従来における1対の瞳強度分布を表す模式図である。

【符号の説明】

L1 撮像光学系の光軸

ST 絞り

μL マイクロレンズ

100 撮像素子

101, 102 MOSトランジスタゲートとゲート下の空乏層からなる第1, 第2光電変換部

103, 104 フォトゲート

105, 106 転送スイッチMOSトランジスタ

17, 18 1対の光電変換部の感度分布

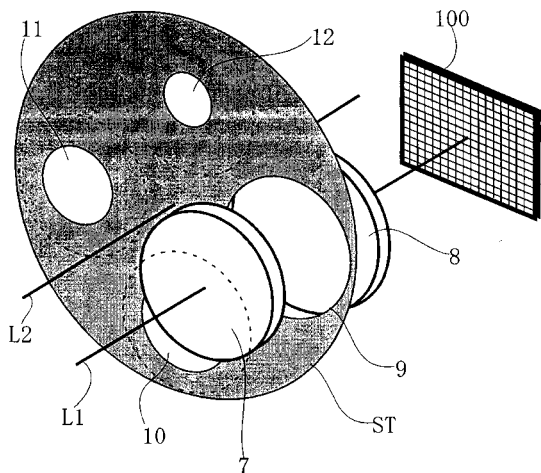
21, 22 分離された射出瞳上の領域

27, 28 1対の瞳強度分布

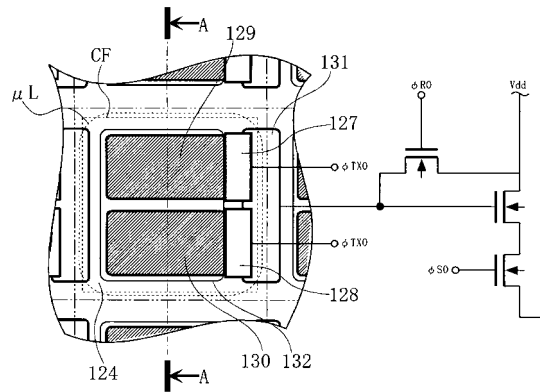
37~43 焦点検出領域

53~60 焦点検出用画像信号

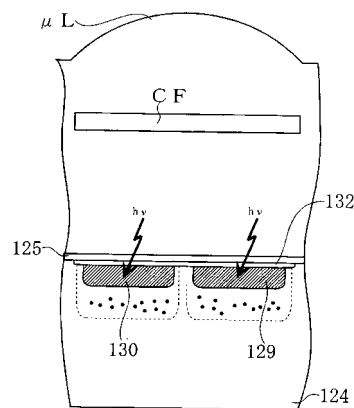
【図1】



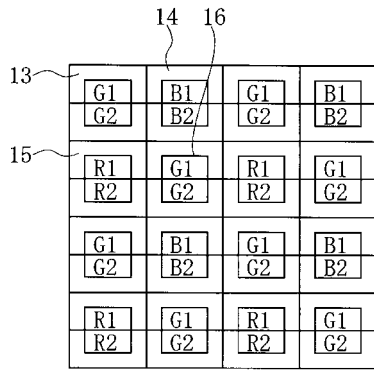
【図2】



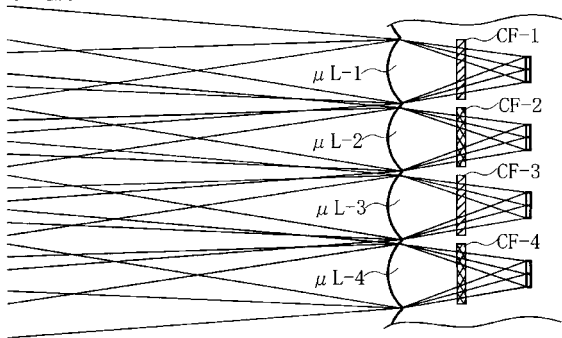
【図3】



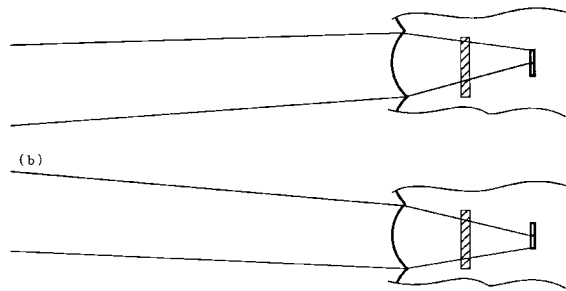
【 図 4 】



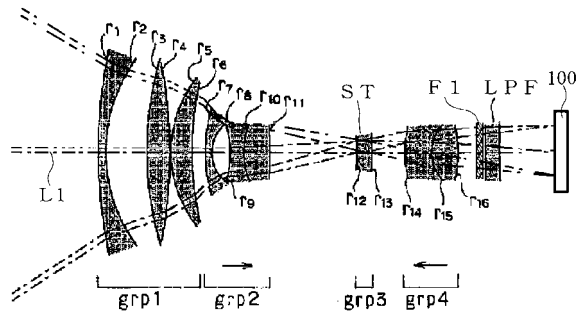
【 図 5 】



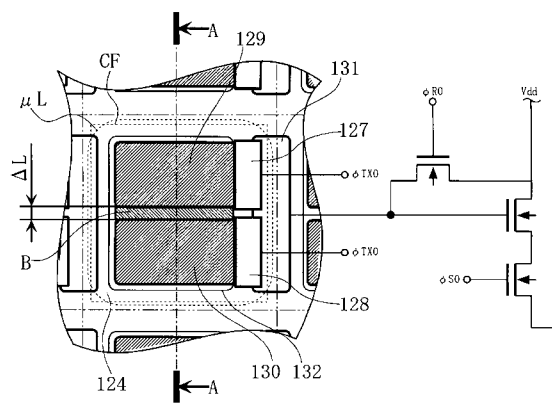
【 図 6 】



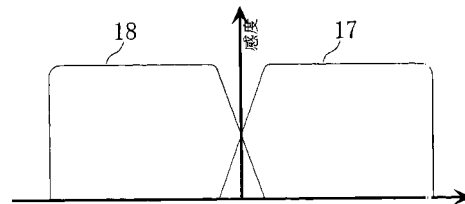
【 図 7 】



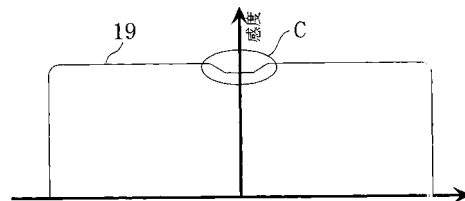
【 図 8 】



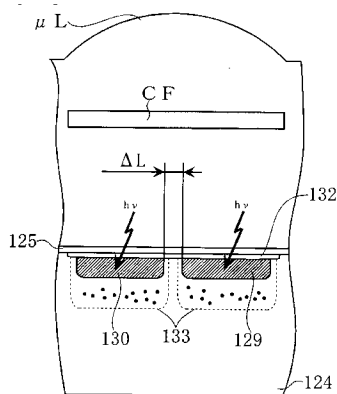
【 図 10 】



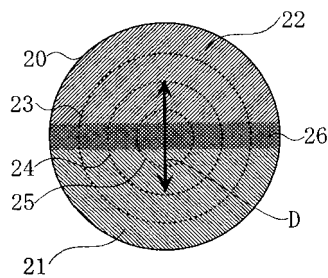
【 図 11 】



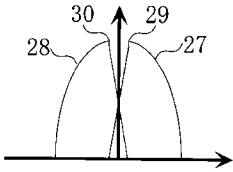
【 図 9 】



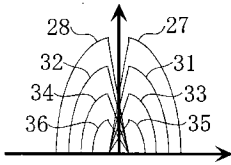
【 図 12 】



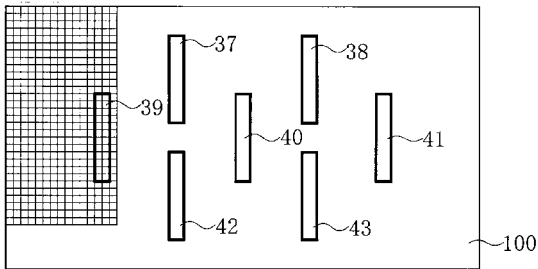
【図13】



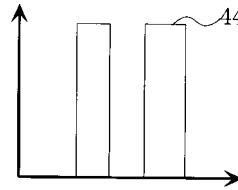
【図14】



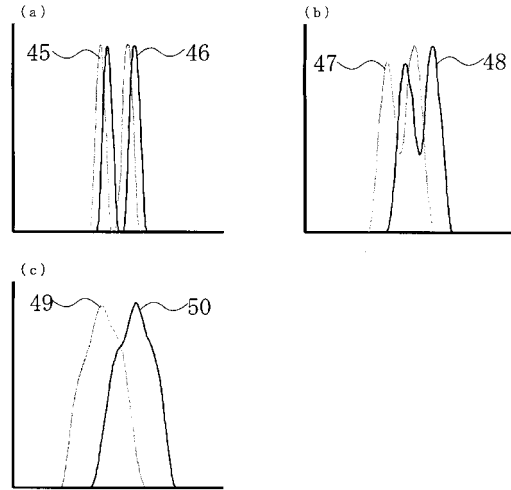
【図15】



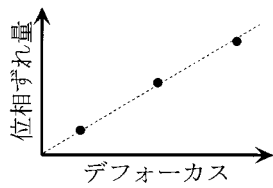
【図16】



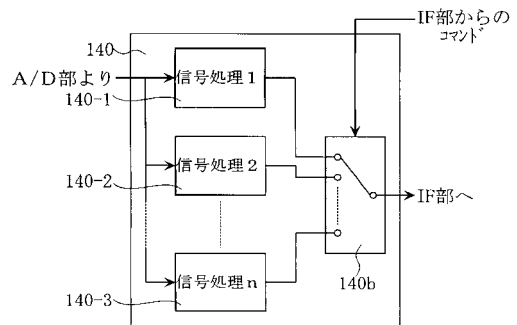
【図17】



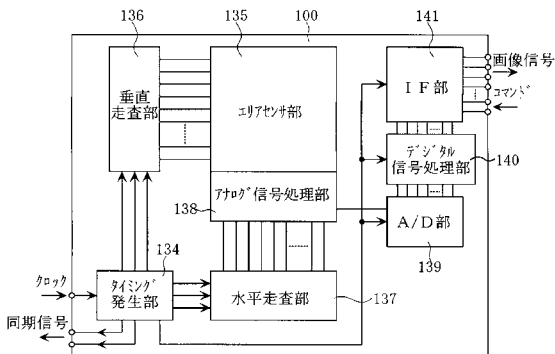
【図18】



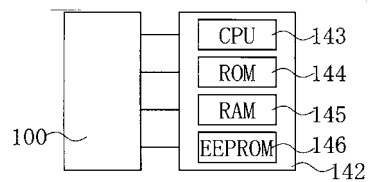
【図20】



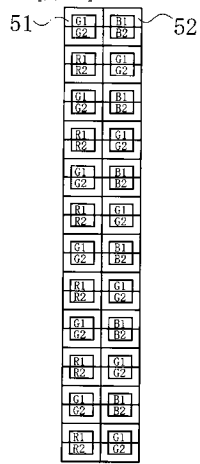
【図19】



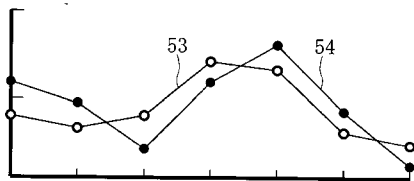
【図21】



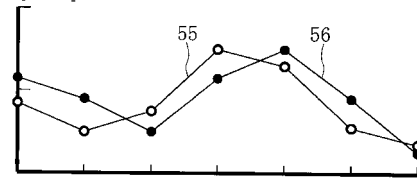
【図 2 2】



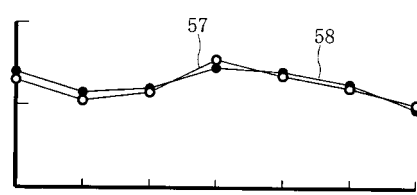
【図 2 3】



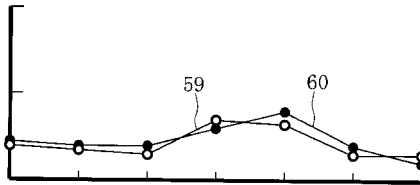
【図 2 4】



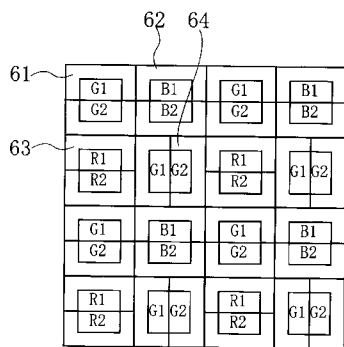
【図 2 5】



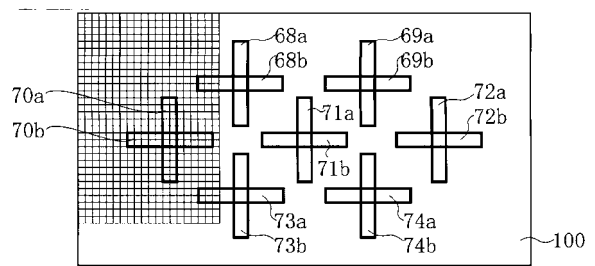
【図 2 6】



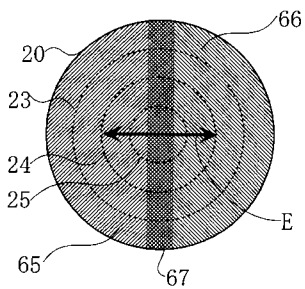
【図 2 7】



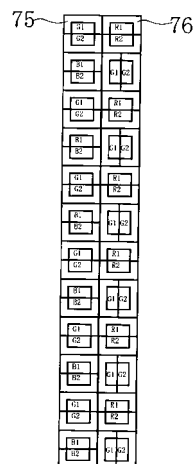
【図 2 9】



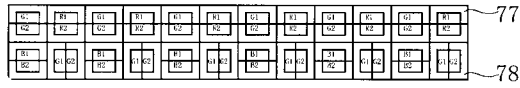
【図 2 8】



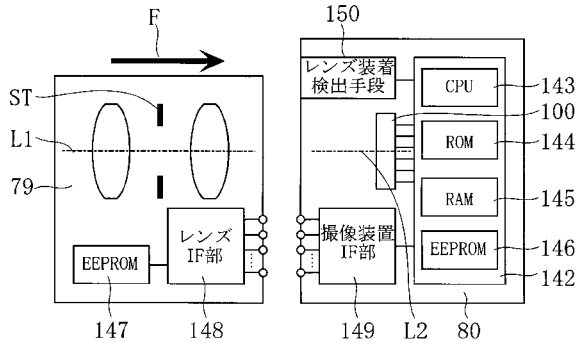
【図 3 0】



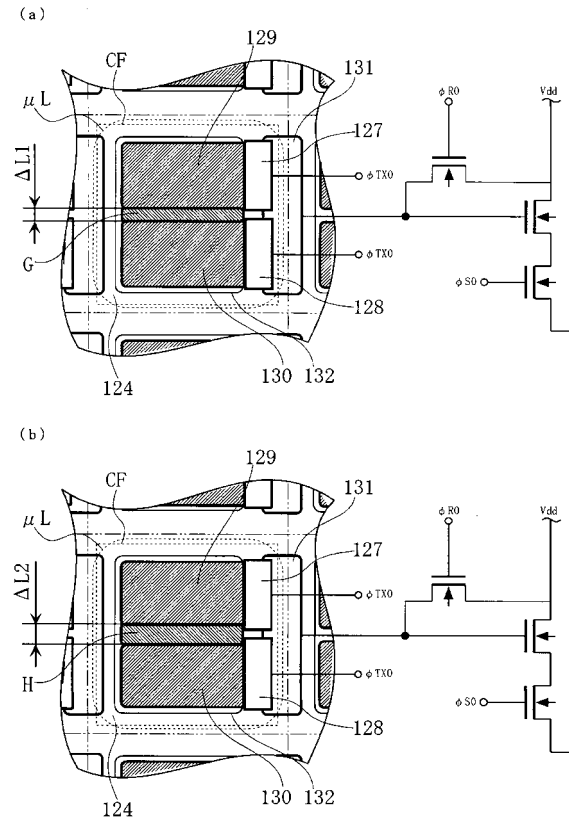
【図 3 1】



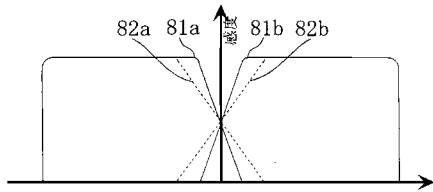
【図 3 2】



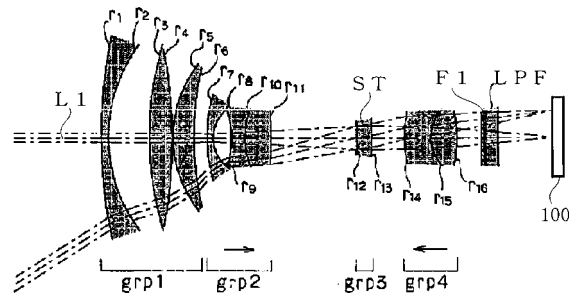
【図 3 3】



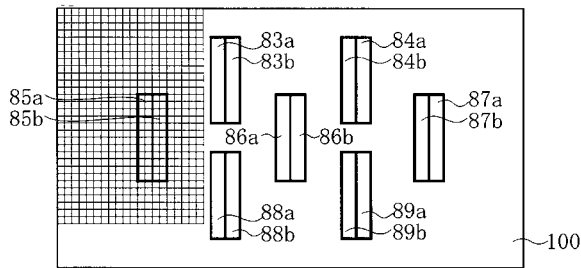
【図 3 4】



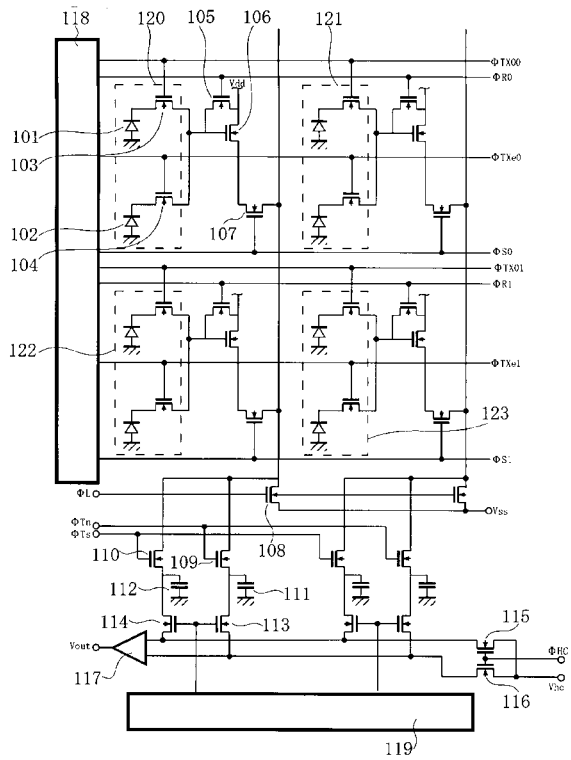
【図 3 6】



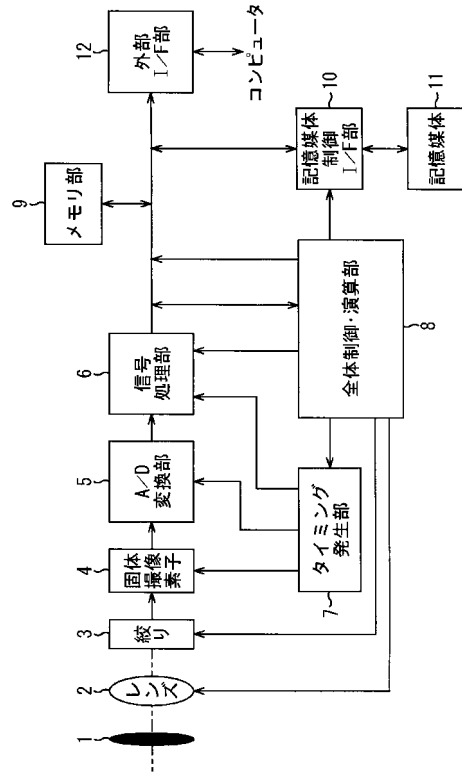
【図 3 5】



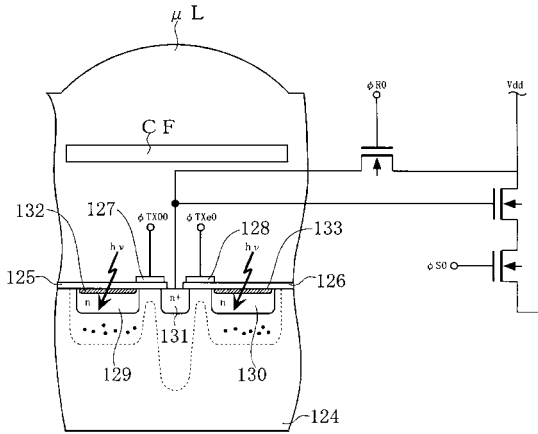
【図37】



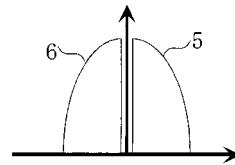
【図38】



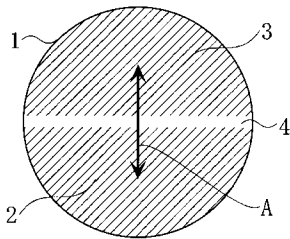
【図39】



【図41】



【図40】



フロントページの続き

- (56)参考文献 特開平09 - 046596 (JP, A)
特開2000 - 232216 (JP, A)
特開平06 - 313844 (JP, A)
特開2000 - 316117 (JP, A)
特開平09 - 200784 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H04N 5/222
G02B 7/11
H04N 5/30
H01L 27/14