

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2012-212878

(P2012-212878A)

(43) 公開日 平成24年11月1日(2012.11.1)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 27/14 (2006.01)	HO 1 L 27/14 D	4 M 1 1 8
HO 4 N 5/369 (2011.01)	HO 4 N 5/335 6 9 0	5 C 0 2 4

審査請求 未請求 請求項の数 4 O L (全 18 頁)

(21) 出願番号	特願2012-61149 (P2012-61149)	(71) 出願人	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	平成24年3月16日 (2012. 3. 16)	(74) 代理人	100076428 弁理士 大塚 康德
(31) 優先権主張番号	特願2011-66555 (P2011-66555)	(74) 代理人	100112508 弁理士 高柳 司郎
(32) 優先日	平成23年3月24日 (2011. 3. 24)	(74) 代理人	100115071 弁理士 大塚 康弘
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	(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

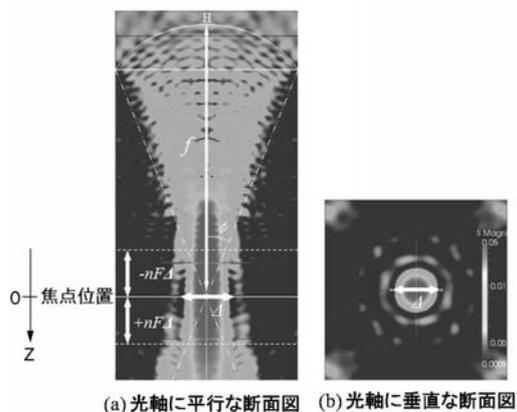
(54) 【発明の名称】 撮像素子および撮像装置

(57) 【要約】

【課題】 構成要素の位置の製造上のばらつきによる焦点検出用画素の瞳強度分布のばらつきを抑制した撮像素子を提供する。

【解決手段】 複数の画素の各々の受光側に設けられたマイクロレンズと、マイクロレンズが集光した光を受光する光電変換部とを有する撮像素子である。例えば、焦点検出用画素が、マイクロレンズと光電変換部との間に、瞳分割を行うための遮光層を有する構造を有しているとする。この場合、マイクロレンズの焦点位置が、遮光層よりもマイクロレンズ側に位置し、マイクロレンズの焦点位置から遮光層までの距離が、0より大きく nF より小さくなるように構成する。ただし、 n はマイクロレンズの焦点位置での屈折率、 F はマイクロレンズの絞り値、 f はマイクロレンズの回折限界である。

【選択図】 図8



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

焦点検出用画素と、撮像素素を含む複数の画素が 2 次元配列された撮像素子であって、

前記複数の画素の各々の受光側に設けられたマイクロレンズと、
前記複数の画素の各々に設けられ、前記マイクロレンズが集光した光を受光する光電変換部と、

前記焦点検出用画素の前記マイクロレンズと前記光電変換部との間に設けられた遮光層であって、該焦点検出用画素の前記光電変換部の受光面の重心に対して偏心した重心を有する開口を有する遮光層とを有し、

前記マイクロレンズの焦点位置が、前記遮光層よりも前記マイクロレンズ側に位置し、
前記マイクロレンズの焦点位置での屈折率を n 、前記マイクロレンズの絞り値を F 、前記マイクロレンズの回折限界を θ としたとき、前記マイクロレンズの焦点位置から前記遮光層までの距離が、 0 より大きく nF より小さいことを特徴とする撮像素子。

【請求項 2】

複数の画素が 2 次元配列された撮像素子であって、
前記複数の画素の各々の受光側に設けられたマイクロレンズと、
前記複数の画素の各々に設けられ、前記マイクロレンズが集光した光を受光する複数の光電変換部とを有し、

前記複数の光電変換部は、前記複数の光電変換部の受光面を合成した 1 つの受光面の重心に対して偏心した重心を有するように配置され、

前記マイクロレンズの焦点位置が、前記複数の光電変換部の受光面よりも前記マイクロレンズ側に位置し、

前記マイクロレンズの焦点位置での屈折率を n 、前記マイクロレンズの絞り値を F 、前記マイクロレンズの回折限界を θ としたとき、前記マイクロレンズの焦点位置から前記複数の光電変換部の受光面までの距離が、 0 より大きく nF より小さいことを特徴とする撮像素子。

【請求項 3】

複数の画素が 2 次元配列された撮像素子であって、
前記複数の画素の各々の受光側に設けられたマイクロレンズと、
前記複数の画素の各々に設けられ、前記マイクロレンズが集光した光を受光する複数の光電変換部と、

前記マイクロレンズと前記複数の光電変換部との間に設けられ、前記マイクロレンズが集光した光を受光面で受光し、前記複数の光電変換部の受光面に導く複数の導波路とを有し、

前記複数の光電変換部は、前記複数の光電変換部の受光面を合成した 1 つの受光面の重心に対して偏心した重心を有するように配置され、

前記マイクロレンズの焦点位置が、前記複数の導波路の受光面よりも前記マイクロレンズ側に位置し、

前記マイクロレンズの焦点位置での屈折率を n 、前記マイクロレンズの絞り値を F 、前記マイクロレンズの回折限界を θ としたとき、前記マイクロレンズの焦点位置から前記複数の導波路の受光面までの距離が、 0 より大きく nF より小さいことを特徴とする撮像素子。

【請求項 4】

請求項 1 から請求項 3 のいずれか 1 項に記載の撮像素子を備えた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、撮像素子および撮像装置に関する。

10

20

30

40

50

【背景技術】

【0002】

各画素にマイクロレンズが形成された2次元撮像素子を用いて、撮像レンズの焦点検出を位相差検出方式で行う撮像装置が提案されている。

【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に分割された光電変換部が形成されている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像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。個々の光電変換部で受光した信号から像ずれ量を求めて、焦点検出を行うとともに、個々の光電変換部で受光した信号を足し合わせて撮像信号を取得する。また、焦点検出に限らず、各画素の右側の光電変換部と左側の光電変換部で受光した信号を視差信号として表示することで、立体画像の表示が可能となることが開示されている。

10

【0004】

特許文献2では、複数の画素からなる2次元撮像素子において、複数対の焦点検出用画素を配置した撮像装置が開示されている。1対の焦点検出用画素は、開口部を有する遮光層により、撮像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用画素の信号から像ずれ量を求めて、焦点検出を行う。

20

【0005】

2次元撮像素子を用いた位相差検出方式の焦点検出では、焦点検出精度が焦点検出用画素の瞳強度分布（瞳分割性能）に大きく依存する。焦点検出用画素の瞳強度分布のピーク強度を高く、半値幅を狭くすることで、精度の良い焦点検出を行うことができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0006】

【特許文献1】特開昭58-24105号公報

【特許文献2】特開2000-156823号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

30

【0007】

しかしながら、撮像素子を構成する要素の位置の製造上のばらつきにより焦点検出用画素の瞳強度分布にもばらつきが生じ、結果として焦点検出精度や視差信号が安定しないという課題があった。

【0008】

本発明は、このような従来技術の課題に鑑みてなされたものであり、構成要素の位置の製造上のばらつきによる焦点検出用画素の瞳強度分布のばらつきを抑制した撮像素子を提供することを目的とする。また、本発明の別の目的は、本発明に係る撮像素子を用いた撮像装置の提供である。

【課題を解決するための手段】

40

【0009】

上述の目的は、焦点検出用画素と、撮像画素とを含む複数の画素が2次元配列された撮像素子であって、複数の画素の各々の受光側に設けられたマイクロレンズと、複数の画素の各々に設けられ、マイクロレンズが集光した光を受光する光電変換部と、焦点検出用画素のマイクロレンズと光電変換部との間に設けられた遮光層であって、焦点検出用画素の光電変換部の受光面の重心に対して偏心した重心を有する開口を有する遮光層とを有し、マイクロレンズの焦点位置が、遮光層よりもマイクロレンズ側に位置し、マイクロレンズの焦点位置での屈折率を n 、マイクロレンズの絞り値を F 、マイクロレンズの回折限界をとしたとき、マイクロレンズの焦点位置から遮光層までの距離が、0より大きく nF より小さいことを特徴とする撮像素子によって達成される。

50

【発明の効果】

【0010】

このような構成により、本発明によれば、構成要素の位置の製造上のばらつきによる焦点検出用画素の瞳強度分布のばらつきを抑制した撮像素子を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0011】

【図1】本発明の第1の実施形態に係る撮像素子、を用いた撮像装置の一例としてのデジタルスチルカメラの機能構成例を示す図

【図2】本発明の第1の実施形態における撮像素子の画素配列の一例を示す図

【図3】本発明の第1の実施形態における撮像素子の焦点検出用A画素の平面図および垂直断面図

【図4】本発明の第1の実施形態における撮像素子の焦点検出用B画素の平面図および垂直断面図

【図5】本発明の第1の実施形態における撮像素子の焦点検出用画素の概略回路図

【図6】本発明の第1の実施形態における撮像素子の焦点検出用画素および撮像画素の垂直断面と、結像光学系の射出瞳面との関係を説明する図

【図7】本発明の第1の実施形態における撮像素子の瞳分割の概略と瞳強度分布例とを示す図

【図8】本発明の第1の実施形態における撮像素子の、マイクロレンズ光軸に平行な断面および垂直な断面の光強度分布の例を示す図

【図9】本発明の第1の実施形態における撮像素子の、マイクロレンズの集光位置と遮光層との位置関係の例を示す図

【図10】本発明の第1の実施形態における撮像素子の構成による効果の一例を説明するための瞳強度分布を示す図

【図11】本発明の第2の実施形態における撮像素子の画素配列の一例を示す図

【図12】本発明の第2の実施形態における撮像素子の画素の平面図および垂直断面図

【図13】本発明の第3の実施形態における撮像素子の画素の垂直断面図

【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を詳細に説明する。

(第1の実施形態)

図1は、本発明の第1の実施形態に係る撮像素子を用いた撮像装置の一例としてのデジタルスチルカメラ100(以下、単にカメラ100という)の機能構成例を示す図である。

【0013】

第1レンズ群101は撮像光学系(結像光学系)の先端に配置され、光軸に沿って前後に移動可能に保持される。シャッター102は、静止画撮像時の露光時間を制御するためのシャッターとしてだけでなく、開口径を調節することで撮像時の光量調節を行なう絞りとしても機能する。シャッター102の背面(撮像素子側)に配置された第2レンズ群103は、シャッター102と一体となって光軸に沿って前後に可能であり、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、光軸に沿って前後に移動可能である。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、撮像画像に発生する偽色やモアレを軽減する。撮像素子107は2次元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次元配列され、その上に、ベ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】

10

20

30

40

50

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動して第 1 レンズ群 101 と第 3 レンズ群 105 の少なくとも一方を光軸に沿って駆動して、ズーム（変倍）機能を実現する。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、シャッタ 102 の開口径を制御して撮像光量を調節すると共に、静止画撮像時の露光時間を制御する。

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 を光軸に沿って駆動する。

【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、低輝度の被写体や低コントラストの被写体に対する焦点検出能力を向上させる。

【0017】

CPU 121 は、カメラ 100 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。CPU 121 は、ROM に記憶されたプログラムを実行して、カメラ 100 が有する各種回路を制御し、AF、AE、画像処理、記録等、カメラ 100 の機能を実現する。

【0018】

フラッシュ制御回路 122 は、撮像動作に同期してフラッシュ 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 CPU 121 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 を駆動することにより第 3 レンズ群 105 を光軸に沿って移動させ、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像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、カメラ 100 の撮像モードに関する情報、撮像前のレビュー画像と撮像後の確認用画像、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、レリーズ（撮像トリガ）スイッチ、ズーム操作スイッチ、撮像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、撮像画像を記録する。

【0021】

（撮像素子の画素配列）

図 2 は、本実施形態における撮像素子 107 の画素配列の一例を、12 列 × 12 行画素の範囲で示す図である。同様のパターンで画素が撮像素子 107 の撮像画面に配置される。本実施形態では、撮像素子 107 の撮像画面サイズが横 22.3 mm × 縦 14.9 mm であり、画素ピッチ 4 μm、有効画素数が横 5575 列 × 縦 3725 行 = 約 2000 万画素であるものとする。

【0022】

図 2 に示すように、撮像素子 107 の画素は、2 行 × 2 列の撮像画素群 210 と、2 行 × 2 列の焦点検出用画素群 220 から構成される。撮像画素群 210 は、対角 2 画素に配置された、G（緑）の分光感度を有する撮像画素 210G と、他の 2 画素に 1 つずつ配置された R（赤）の分光感度を有する撮像画素 210R と B（青）の分光感度を有する撮像画素 210B とからなる。また、焦点検出用画素群 220 は、対角 2 画素配置された、G の分光感度を有する撮像画素 220G と、他の 2 画素に配置された W（白）の分光感度を

10

20

30

40

50

有する焦点検出用画素 220SA と焦点検出用画素 220SB とからなる。

【0023】

焦点検出用画素 220SA を、撮像素子 107 の受光面側 (+z 側) から見た平面図を図 3(a) に、図 3(a) の a-a 断面を -y 側から見た断面図を図 3(b) に示す。また、焦点検出用画素 220SB を、撮像素子の受光面側 (+z 側) から見た平面図を図 4(a) に、図 4(a) の b-b 断面を -y 側から見た断面図を図 4(b) に示す。

【0024】

図 3(b) に示すように、焦点検出用画素 220SA には、p 型層 300 と n 型層 301 の間に n-イントリンシック層 302 を挟んだ pin 構造のフォトダイオード (光電変換部) PD が形成される。焦点検出用画素 220SA の光電変換部 PD の領域は、図 3 の n-イントリンシック層 302 に形成される空乏層と、その周辺の、少数キャリアの拡散距離だけ広がった領域であり、概ね、n-イントリンシック層 302 と n 型層 301 を合わせた領域に等しい。必要に応じて、n-イントリンシック層 302 を省略し、pn 接合フォトダイオードとしても良い。

【0025】

各画素の受光側には、入射光を集光するためのマイクロレンズ 305 が形成され、マイクロレンズ 305 と光電変換部 PD との間に、開口部を有する遮光層 310a が形成される。焦点検出用画素 220SA では、光電変換部の受光面の重心に対して、遮光層 310a の開口部 SA の重心が -x 方向に偏心して構成される。

【0026】

一方、図 4 に示すように、焦点検出用画素 220SB では、光電変換部の受光面の重心に対して、遮光層 310b の開口部 SB の重心が +x 方向に偏心して構成される。

【0027】

開口部 SA (SB) を有する遮光層 310a (310b) は、配線層を兼ねても良い。また、必要に応じて、マイクロレンズ 305 と光電変換部 PD との間に、カラーフィルタを形成しても良い。

【0028】

図 3 (図 4) に示した焦点検出用画素 220SA (220SB) に入射した光は、マイクロレンズ 305 により集光され、集光された光の一部が、遮光層 310a (310b) の開口部 SA (SB) を通過して光電変換部 PD で受光される。光電変換部 PD 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 301 に蓄積され、ホールは定電圧源 (不図示) に接続された p 型層 300 を通じて撮像素子 107 の外部へ排出される。

【0029】

各画素の蓄積動作制御について説明する。図 3 (図 4) に示した焦点検出用画素 220SA (220SB) の概略回路図を図 5 に示す。図 5 では、図 3、図 4 と同じ構成要素には同じ参照数字を付してある。303 は n+フローティングディフュージョン領域 (n+FD)、304 は転送ゲートである。また、Vdd、Vss (Vdd > Vss) は電源電圧であり、T は転送ゲート電圧、R はリセットゲート電圧、S は画素の選択ゲート電圧、L はライン選択ゲート電圧である。これらの構成は、撮像素子 210G、210R、210B、220G についても同様である。

【0030】

まず、各画素の光電変換部 PD をリセットするために、全行の転送ゲート電圧 T とリセットゲート電圧 R を同時に ON にする。転送ゲート電圧 T とリセットゲート電圧 R を同時に OFF した瞬間から、蓄積動作が始まり、光電変換部 PD の受光量に応じて n 型層 301 に電荷が蓄積される。所望の時間だけ蓄積を行った後、全行の転送ゲート電圧 T を ON にし、再び OFF にすることで、各画素の信号電荷が、一斉に、各画素の n 型層 301 から n+FD 303 に転送される。次に、行ごとに選択ゲート電圧 Sp を ON/OFF させることにより、n+FD 303 に転送された信号電荷が行ごとに順次読み出される。また、ライン選択ゲート電圧 Ln の ON/OFF により、読み出す列を順次選

10

20

30

40

50

択してすることができる。

【0031】

図6を参照して、画素の遮光層310a(310b)の開口部SA(SB)と、瞳分割との対応関係について説明する。図6(a)及び図6(b)は、それぞれ図3(b)及び図4(b)焦点検出用画素220SA及び220SBの断面図と、結像光学系の射出瞳面との関係を示している。なお、図6では、射出瞳面の座標軸との対応を取るため、断面図のx軸とy軸を図3、図4と反転させている。また、撮像画素210G(210R、210B、220G)の垂直断面図と、結像光学系の射出瞳面との関係を図6(c)に示す。

【0032】

図6の射出瞳面には、結像光学系の射出瞳400、撮像画素の瞳受光領域500、焦点検出用画素220SAの瞳受光領域511、焦点検出用画素220SBの瞳受光領域521を示している。

被写体からの光束は、結像光学系の射出瞳400を通過してそれぞれの画素に入射する。

【0033】

図6(c)で、撮像画素の瞳受光領域500は、光電変換部PDの受光面と、マイクロレンズによって概ね共役関係になっており、撮像画素で受光可能な瞳領域を表している。瞳距離が数10mmであるのに対し、マイクロレンズの直径は数 μm である。そのため、マイクロレンズの絞り値が数万となり、数10mmレベルの回折ボケが生じる。よって、光電変換部PDの受光面の像は、明瞭な瞳受光領域とならずに、受光率分布(瞳強度分布)となる。

【0034】

撮像画素の瞳受光領域500は、射出瞳400を通過した光束をより多く受光できるように、受光領域を可能な限り大きくし、また、撮像画素の瞳受光領域500の重心が、光軸と概ね一致するように構成されている。

【0035】

図6(a)で、焦点検出用画素220SAの瞳受光領域511は、遮光層310aの重心が-x方向に偏心している開口部と、マイクロレンズによって概ね共役関係になっており、焦点検出用画素220SAで受光可能な瞳領域を表している。焦点検出用画素220SAの瞳受光領域511は、撮像画素の瞳受光領域500よりも受光領域が狭く、射出瞳面上で+x側に重心が偏心している。

【0036】

一方、図6(b)で、焦点検出用画素220SBの瞳受光領域521は、遮光層310bの重心が+x方向に偏心している開口部と、マイクロレンズによって概ね共役関係になっており、焦点検出用画素220SBで受光可能な瞳領域を表している。焦点検出用画素220SBの瞳受光領域521は、撮像画素の瞳受光領域500よりも受光領域が狭く、焦点検出用画素220SAとは反対に、瞳面上で-x側に重心が偏心している。

【0037】

図7(a)に、焦点検出用画素220SAの瞳受光領域511、焦点検出用画素220SBの瞳受光領域521、撮像画素の瞳受光領域500の関係を示す。また、図7(b)に、射出瞳面のX軸に沿った瞳受光領域(瞳強度分布)の例を、焦点検出用画素220SAについて破線で、焦点検出用画素220SBについて一点鎖線で、撮像素子について実線でそれぞれ示す。焦点検出用画素220SAの瞳強度分布と焦点検出用画素220SBの瞳強度分布は、それぞれ、射出瞳をX軸方向に分割していることがわかる。同様に、遮光層310a(310b)の開口部の重心をY軸方向に偏心させると、射出瞳をY軸方向に分割することができる。

【0038】

図2に示したように、焦点検出用画素220SAをx(軸)方向に規則的に配列し、これら焦点検出用画素220SA群から取得した被写体像をA像とする。同様に、焦点検出用画素220SBをx(軸)方向に規則的に配列し、これら焦点検出用画素220SB群

10

20

30

40

50

から取得した被写体像をB像とする。A像とB像の像ずれ量(相対位置)を検出することで、x(軸)方向に輝度分布を有する被写体像のデフォーカス量(合焦ずれ量)を検出することができる。

【0039】

図6(a)の焦点検出用画素220SAの結像光学系の射出瞳400より内側の瞳受光領域511の重心をCAとし、図6(b)の焦点検出用画素220SBの結像光学系の射出瞳400より内側の瞳受光領域521の重心をCBとする。基線長は、2つの重心間隔CA-CBで定義される。基線長の絶対値が大きいほど、デフォーカス量に対するA像とB像の像ずれ量が大きくなり、焦点検出精度が向上する。

【0040】

[焦点位置の構成]

次に、マイクロレンズ光学系の焦点位置の構成について説明する。

図3及び図4に示したマイクロレンズ305が形成された撮像素子に、光が入射した場合の光強度分布の数値解析例を図8に示す。電磁波の数値計算には、FDTD(Finite Difference Time Domain)法を用いた。波長 $\lambda = 540\text{ nm}$ 、右円偏光の平面波が、マイクロレンズ305の上方から光軸に平行に入射した場合の撮像素子内部での光強度分布の計算例である。

【0041】

マイクロレンズ光軸に平行な断面での光強度分布の例を図8(a)に示す。撮像素子の各画素でのマイクロレンズ光学系は、マイクロレンズ305と平坦化層、封止層、絶縁層などから構成される。マイクロレンズ光学系は、複数のマイクロレンズを含んだ構成でも良い。画素周期を $2a$ 、マイクロレンズ光学系の焦点距離を f 、マイクロレンズ光学系の開口角を 2ϕ とする。また、マイクロレンズ光学系の焦点位置での屈折率を n とする。また、光軸に沿った座標を z とする。座標 z は、焦点位置を原点($z=0$)として、マイクロレンズ側を負符号、マイクロレンズと反対側を正符号とする。

【0042】

マイクロレンズ光学系の開口数NAを、以下の式(1)で定義する。

【数1】

$$NA = n \sin \phi \quad (1)$$

【0043】

また、マイクロレンズ光学系の絞り値Fを、以下の式(2)で定義する。

【数2】

$$F = \frac{1}{2n \sin \phi} = \frac{f}{2na} \quad (2)$$

【0044】

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、光の波動性により、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ない。集光スポットの強度分布がエアリーパターン(Airy pattern)に近いとして、回折限界 Δ は、入射光の波長 λ として、概ね、以下の式(3)で求まる。

【数3】

$$\Delta = 1.22 \frac{\lambda}{n \sin \phi} = 2.44 \lambda F \quad (3)$$

【0045】

焦点位置でのマイクロレンズ光軸に垂直な断面での光強度分布を図8(b)に示す。焦点位置($z=0$)で、集光スポットの直径は回折限界 Δ となり、最小となる。

10

20

30

40

50

【 0 0 4 6 】

マイクロレンズ光学系の後側焦点深度 $+z_D$ と前側焦点深度 $-z_D$ は、回折限界 Δ を許容錯乱円として、以下の式 (4) で求まる。焦点深度の範囲は、 $-z_D < z < +z_D$ である。

【 数 4 】

$$\pm z_D = \pm nF\Delta \quad (4)$$

【 0 0 4 7 】

集光スポットの強度分布がガウス分布に近いとすると、集光スポットの直径 w 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。

【 数 5 】

$$w(z) = \Delta \sqrt{1 + \left(\frac{z}{z_R}\right)^2} \quad (5)$$

ここで、 z_R はレイリー長であり、係数 $\Delta = 0.61 \lambda / 2a$ として、 $z_R = \lambda / \Delta$ で定義される。

【 0 0 4 8 】

図 8 に示す計算例では、波長 $\lambda = 540 \text{ nm}$ 、画素周期 $2a = 4.3 \mu\text{m}$ 、マイクロレンズ光学系の焦点距離 $f = 5.8 \mu\text{m}$ 、焦点位置での屈折率 $n = 1.46$ である。また、マイクロレンズ光学系の絞り値は $F = 0.924$ 、回折限界は $\Delta = 1.22 \mu\text{m}$ 、焦点深度は $z_D = 1.65 \mu\text{m}$ である。

【 0 0 4 9 】

受光効率を良好にし、瞳強度分布の最大強度を大きくするためには、光電変換部の受光面や遮光層の開口部などに対し、集光スポットの直径 w を小さく抑制する必要がある。

【 0 0 5 0 】

集光スポットの直径 w は、 z の増加に伴い、上述の式 (5) に従って最小値の回折限界から大きくなる。特に、座標 z の絶対値がレイリー長 z_R に対し十分大きい ($|z| > z_R$) 場合、集光スポットの直径 w は、 z に比例して増大してしまう。

【 0 0 5 1 】

一方、焦点深度の範囲内 ($-z_D < z < +z_D$) では、図 8 (a) の計算例に示すように、集光スポットの直径 w (図 8 (a) では $w = 1.13 \mu\text{m}$) は、ほとんど変化しない。上述の式 (5) より、焦点位置 $z = 0$ から焦点深度 $\pm z_D (= \pm nF\Delta)$ 離れた位置での集光スポットの直径 $w(\pm z_D)$ は、約 1.13 程度である。

【 0 0 5 2 】

よって、第 1 の構成条件として、第 1 の実施形態では、受光効率を良好にし、瞳強度分布の最大強度を大きくするために、開口部を有する遮光層 310a (310b) を、マイクロレンズ光学系の焦点深度の範囲 $-z_D < z < +z_D$ に構成する。

【 0 0 5 3 】

撮像画素の瞳強度分布の最大強度を大きくするためには、回折限界 Δ が画素周期 $2a$ よりも小さい ($\Delta < 2a$) ことが望ましい。また、焦点検出用画素の瞳強度分布の最大強度を大きくするためには、回折限界 Δ が画素周期の半分 a よりも小さい ($\Delta < a$) ことが望ましい。

【 0 0 5 4 】

マイクロレンズ光学系への平行光の入射角を θ [ラジアン] とする。集光スポットの中心は、入射角 θ の変化に伴い光軸から偏心する。入射角 θ 、主点 H からの距離 $f + z$ での集光スポットの光軸からの偏心量を q (θ 、 $f + z$) とすると、近軸近似より、概ね、以下の式 (6) の関係が成り立つ。

10

20

30

40

【数 6】

$$q(\theta, f+z) = \frac{n_0}{n} (f+z)\theta \quad (6)$$

ここで、 n_0 はマイクロレンズ光学系の入射側（光電変換部と反対側）の屈折率である。通常、空気では $n_0 = 1$ である。

【0055】

また、主点 H からの距離 $f+z$ での集光スポットの偏心変化率（集光スポット偏心量の入射角に対する変化率）を $c(f+z)$ とすると、以下の式（7）の関係が成り立つ。

10

【数 7】

$$c(f+z) = \frac{\partial q(\theta, f+z)}{\partial \theta} = \frac{n_0}{n} (f+z) \quad (7)$$

【0056】

座標 z の位置に開口部を有する遮光層 310a（310b）を形成して、結像光学系の射出瞳を分割する場合、瞳強度分布の片側半値幅は、式（5）と式（7）から、概ね以下の式（8）で見積もることができる。瞳強度分布の片側半値幅は、瞳強度分布の強度が最大値の半分になる入射角変化量である。

20

【数 8】

$$\Gamma(z) = \frac{1}{2} \frac{w(z)}{c(f+z)} = \frac{n}{n_0} \frac{\Delta}{2z_R} \frac{\sqrt{z^2 + z_R^2}}{z+f} \quad (8)$$

【0057】

また、瞳強度分布の片側半値幅の座標 z に対する変化率は、以下の式（9）で表される。

【数 9】

$$\Gamma'(z) = \frac{n}{n_0} \frac{\Delta f}{2z_R} \frac{z - z_{min}}{(z+f)^2 \sqrt{z^2 + z_R^2}} \quad (9)$$

30

ここで、 $z_{min} = z_R^2 / f > 0$ である。片側半値幅の変化率は、 $z = z_{min}$ で 0 となり、 $z = z_{min}$ の前後で負から正へ符号が反転する。図 8 の計算例では、 $z_{min} = 1.72 \mu\text{m}$ である。

【0058】

瞳強度分布の片側半値幅は、マイクロレンズ光学系の焦点位置 $z = 0$ よりも光電変換部側（マイクロレンズの反対側）に離れた位置 $z = z_{min} > 0$ で最小となり、以下の式（10）で表される。

40

【数 10】

$$\Gamma(z_{min}) = \frac{n}{n_0} \frac{\Delta}{2f} \frac{1}{\sqrt{1 + \frac{z_R^2}{f^2}}} \quad (10)$$

$z = z_{min} > 0$ は停留点でもあり、焦点位置から光電変換部側の z_{min} 周辺において、片側半値幅の座標 z に対する変化は抑制される。

50

【 0 0 5 9 】

よって、第2の構成条件として、第1の実施形態では、画素の膜厚ばらつきに対して瞳強度分布の片側半値幅の変化を抑制するために、開口部を有する遮光層を、マイクロレンズ光学系の焦点位置よりも光電変換部側の位置 ($z > 0$) に構成する。

【 0 0 6 0 】

したがって、第1の構成条件と第2の構成条件から、第1の実施形態では、開口部を有する遮光層310a(310b)を、マイクロレンズ光学系の後側(光電変換部側)の焦点深度の範囲である $0 < z < z_D$ に構成する。より具体的には、マイクロレンズ光学系の焦点位置が、開口部を有する遮光層よりもマイクロレンズ側に位置し、かつマイクロレンズの焦点位置から開口部を有する遮光層までの距離が、0より大きく nF より小さくなるように画素を構成する。

【 0 0 6 1 】

このような本実施形態に係る構成の効果について、図8(a)と同様の垂直断面図である図9を用いて説明する。図9では遮光層の開口部の光軸からの偏心は省略している。

マイクロレンズ光学系の焦点位置と、開口部を有する遮光層の位置関係が設計値通りに構成された場合の光強度分布の計算例を図9(a)に示す。設計値では、マイクロレンズ光学系の焦点位置を、開口部を有する遮光層よりマイクロレンズ側に z ($0 < z < z_D$) 離れた位置(基準位置)に設定する。図9(a)の例は、 $z = 0.5nF$ の場合である。この時、瞳強度分布の片側半値幅は、概ね、以下の式(8a)で求められる。

【 数 1 1 】

$$\Gamma \propto \frac{\sqrt{(\Delta z)^2 + z_R^2}}{\Delta z + f} \quad (8a)$$

式(8a)の分母は集光スポットの偏心変化率に比例し、分子は集光スポットの直径に比例する。

【 0 0 6 2 】

実際の撮像素子では、製造精度のばらつきのため、マイクロレンズ光学系の主点Hから開口部を有する遮光層までの膜厚が設計値から変動してしまう。

例えば、設計値よりも膜厚が z_1 ($0 < z_1 < z$) 小さくなった場合の光強度分布の計算例を、図9(b)に示す。この時、瞳強度分布の片側半値幅を表す式は、式(8a)から以下の式(8b)へと変化する。

【 数 1 2 】

$$\Gamma \propto \frac{\sqrt{(\Delta z - \delta z_1)^2 + z_R^2}}{(\Delta z - \delta z_1) + f} \approx \frac{\sqrt{(\Delta z)^2 + z_R^2} - \frac{\Delta z}{\sqrt{(\Delta z)^2 + z_R^2}} \delta z_1}{\Delta z + f - \delta z_1} \quad (8b)$$

主点Hから開口部を有する遮光層までの距離が短くなるのに伴い、式(8b)において、式(8a)よりも分母はやや減少する。同時に、焦点位置に近づくことに伴い、分子もやや減少する。分子と分母で変化を打ち消し合い、瞳強度分布の片側半値幅の変化を抑制することができる。

【 0 0 6 3 】

一方、設計値よりも膜厚が z_2 ($0 < z_2 < z_D - z$) 大きくなった場合の光強度分布の計算例を、図9(c)に示す。この時、瞳強度分布の片側半値幅は、式(8a)から以下の式(8c)へと変化する。

【 数 1 3 】

$$\Gamma \propto \frac{\sqrt{(\Delta z + \delta z_2)^2 + z_R^2}}{(\Delta z + \delta z_2) + f} \approx \frac{\sqrt{(\Delta z)^2 + z_R^2} + \frac{\Delta z}{\sqrt{(\Delta z)^2 + z_R^2}} \delta z_2}{\Delta z + f + \delta z_2} \quad (8c)$$

10

20

30

40

50

主点Hから開口部を有する遮光層までの距離が長くなるのに伴い、式(8c)において、式(8a)よりも分母はやや増加する。同時に、焦点位置から遠ざかることに伴い、分子もやや増加する。分子と分母で変化を打ち消し合い、瞳強度分布の片側半値幅の変化を抑制することができる。

【0064】

本発明の効果を、具体例を挙げて説明する。マイクロレンズ光学系の焦点深度は $z_D = 1.65 \mu\text{m}$ である。また、設計値として、マイクロレンズ光学系の焦点位置が、開口部を有する遮光層よりマイクロレンズ側に $z = 0.2 z_D = 0.35 \mu\text{m}$ 離れた位置とした。

図10に、膜厚が設計値より $0.39 \mu\text{m}$ 大きい場合の瞳強度分布を実線で、膜厚が設計値より $0.35 \mu\text{m}$ 小さい場合の瞳強度分布を破線で示す。このように、瞳強度分布がいずれの場合もほぼ同じであることがわかる。このように、 $0.74 \mu\text{m}$ の範囲の膜厚変化に対し、瞳強度分布の変化が抑制できていることがわかる。

【0065】

以上説明したように、本実施形態によれば、マイクロレンズ光学系の焦点位置が、開口部を有する遮光層よりもマイクロレンズ側に位置し、かつマイクロレンズの焦点位置から開口部を有する遮光層までの距離が、0より大きく nF より小さくなるように構成する。このような構成とすることにより、遮光層の厚みのばらつきによる焦点検出用画素の瞳強度分布の変化を抑制することが可能となる。

【0066】

(第2の実施形態)

図11は、本発明の第2の実施形態に係る撮像素子の画素配列を、4行×4列の範囲で示した図である。

本実施形態においても、第1の実施形態と同様、2行×2列の画素群230は、対角2画素にGの分光感度を有する画素230Gが、他の2画素にRの分光感度を有する画素230RとBの分光感度を有する画素230Bが配置されている。本実施形態では、各画素230R、230G、230Bがそれぞれ、瞳分割用の4つの副画素(画素230Rであれば副画素 $230R_1 \sim 230R_4$)から構成されていることを特徴とする。本実施形態では、焦点検出用画素と撮像素子とに構成上の明確な区別はなく、全ての画素が焦点検出用画素としても撮像素子としても機能する。

【0067】

図11に示した撮像素子の1つの画素(ここでは画素230Gとする)を、撮像素子の受光面側(+z側)から見た平面図を図12(a)に、図12(a)のc-c断面を-y側から見た断面図を図12(b)に示す。

【0068】

図12に示すように、本実施形態の画素230Gは、p型層300に包含されるように4つのn型層301a、301b、301c、301dが形成され、各々が光電変換部(副画素)230G₁~230G₄を構成している。4つの副画素230G₁~230G₄は、画素230Gの中心に対してそれぞれ(-x、-y)、(+x、-y)、(+x、+y)、(-x、+y)方向に偏心した位置に存在している。より詳しくは、4つの副画素230G₁~230G₄の個々の受光面の重心が、4つの副画素の受光面を合成した1つの受光面の重心と異なるように偏心されて構成されている。4つの偏心した副画素の受光面は、マイクロレンズ光学系を介して、結像光学系の射出瞳面に投影され、これにより、射出瞳が4つの瞳領域に分割される。第1の実施形態では、開口部を有する遮光層により射出瞳を分割したが、第2の実施形態では、遮光層を用いず、各画素に複数の光電変換部(副画素)を設けることで、各光電変換部が異なる瞳領域を受光するようにして射出瞳を分割している。本実施形態の撮像素子は、他の点では第1の実施形態と同様の構成を有する。

【0069】

このように、本実施形態では、光電変換部の受光面が第1の実施形態における遮光層と同様に機能する。そのため、光電変換部(副画素)の受光面を第1の実施形態における遮

10

20

30

40

50

光層と同様の配置とすることで、受光面の位置のばらつきによる焦点検出用画素の瞳強度分布の変化を抑制することが可能となる。

【0070】

すなわち、本実施形態では、光電変換部の受光面を、マイクロレンズ光学系の後側焦点深度の範囲 $0 < z < z_0$ に構成する。より具体的には、マイクロレンズ光学系の焦点位置が、光電変換部の受光面よりもマイクロレンズ側に位置し、かつマイクロレンズの焦点位置から光電変換部の受光面までの距離が、 0 より大きく nF より小さくなるように画素を構成する。

以上の構成により、受光面の位置の製造上のばらつきによる焦点検出用画素の瞳強度分布の変化を抑制することが可能となる。

10

【0071】

(第3の実施形態)

図13は、本発明の第3の実施形態に係る撮像素子の1つの画素の、図12(b)と同様の断面図である。本実施形態においても、第2の実施形態と同様、各画素が複数の副画素に分割されている。ここでは、図12(a)に示したように4つの副画素が設けられているものとする。図13に示すように、本実施形態では、光電変換部の受光効率を向上するために、各光電変換部の受光面のマイクロレンズ側に光導波路307を形成している。光導波路307は副画素単位で分割されている。

【0072】

4つの光導波路307は、対応する光電変換部と同様、受光面の中心が、画素の中心に対してそれぞれ、 $(-x, -y)$ 、 $(+x, -y)$ 、 $(+x, +y)$ 、 $(-x, +y)$ 方向に偏心している。より具体的には、4つの光導波路307の個々の受光面の重心が、4つの光導波路の受光面を合成した1つの受光面の重心と異なるように偏心されて構成されている。4つの偏心した光導波路307の受光面は、マイクロレンズ光学系を介して、結像光学系の射出瞳面に投影され、これにより、射出瞳が4つの瞳領域に分割される。第3の実施形態に係る撮像素子は、光導波路の受光面を偏心することで射出瞳を分割する点以外は第2の実施形態と同様の構成を有する。

20

【0073】

このように、本実施形態では、光導波路307の受光面が第1の実施形態における遮光層や第2の実施形態における光電変換部の受光面と同様に機能する。そのため、光導波路の受光面を第1の実施形態における遮光層や第2の実施形態における光電変換部の受光面と同様の配置とすることで、光導波路の受光面の位置のばらつきによる焦点検出用画素の瞳強度分布の変化を抑制することが可能となる。

30

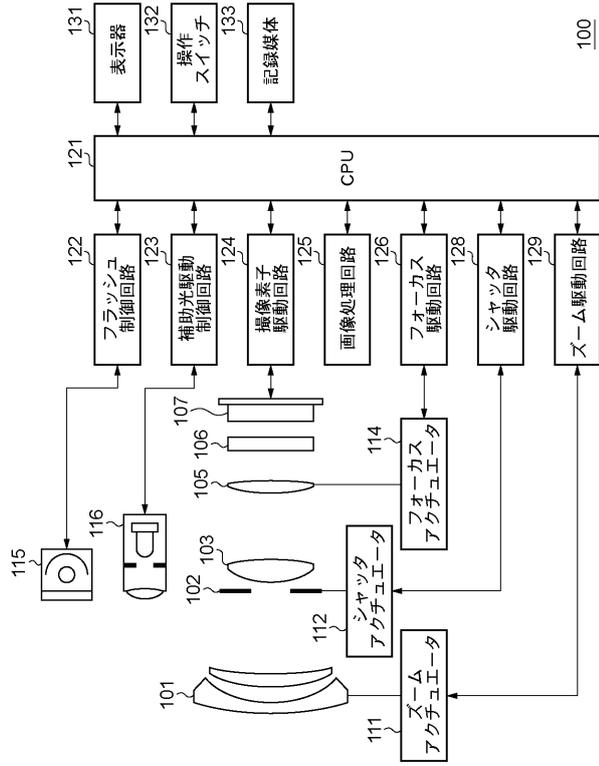
【0074】

すなわち、本実施形態では、光導波路の受光面を、マイクロレンズ光学系の後側焦点深度の範囲 $0 < z < z_0$ に構成する。より具体的には、マイクロレンズ光学系の焦点位置が、光導波路の受光面よりもマイクロレンズ側に位置し、かつマイクロレンズの焦点位置から光導波路の受光面までの距離が、 0 より大きく nF より小さくなるように画素を構成する。

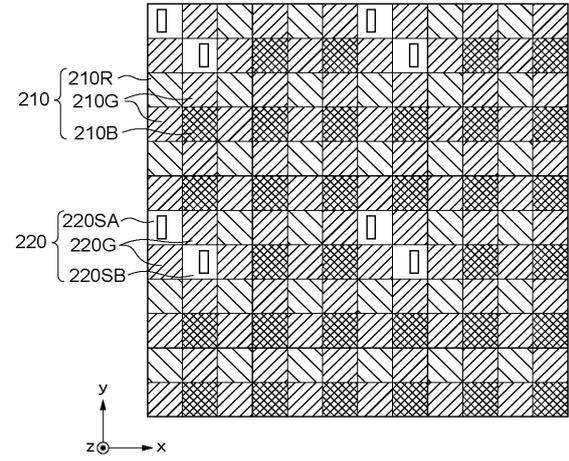
以上の構成により、光導波路の受光面の位置の製造上のばらつきによる焦点検出用画素の瞳強度分布の変化を抑制することが可能となる。また、光導波路を設けることで、光電変換部の受光効率を向上させることができる。

40

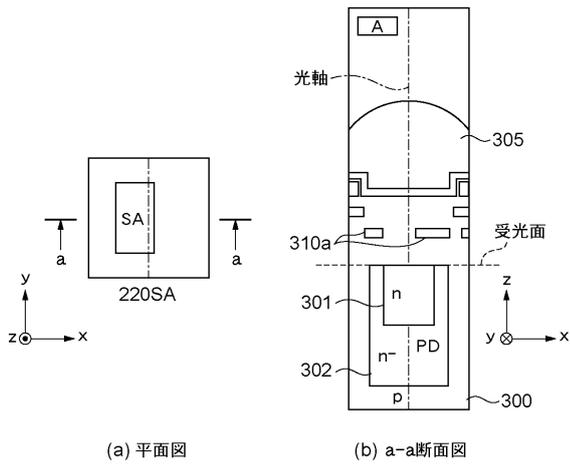
【 図 1 】



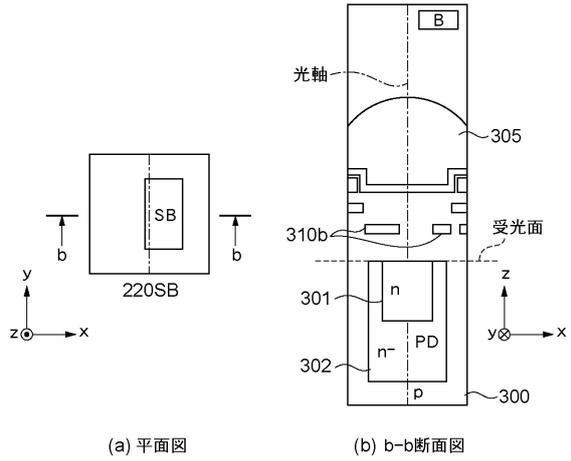
【 図 2 】



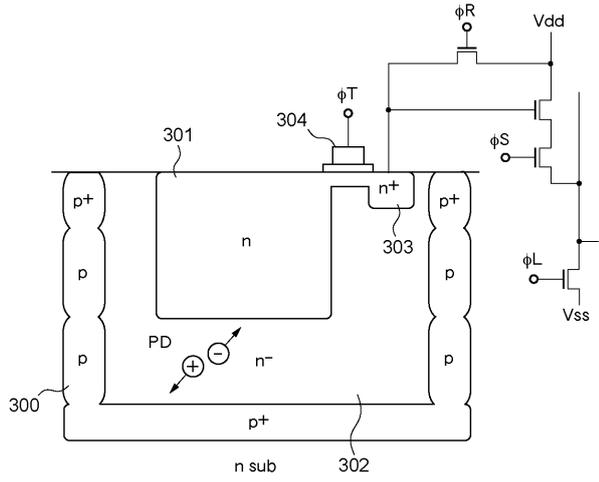
【 図 3 】



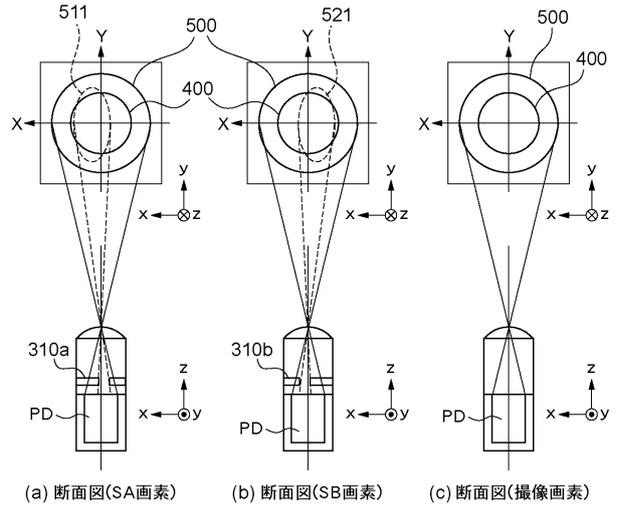
【 図 4 】



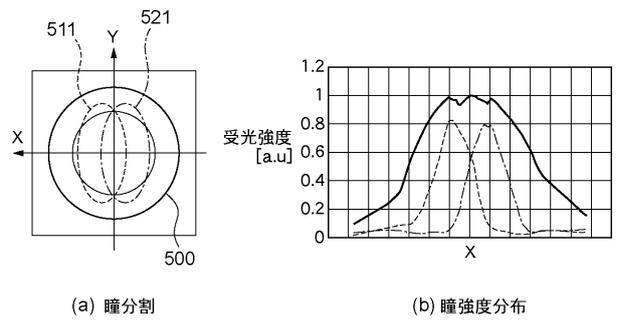
【 図 5 】



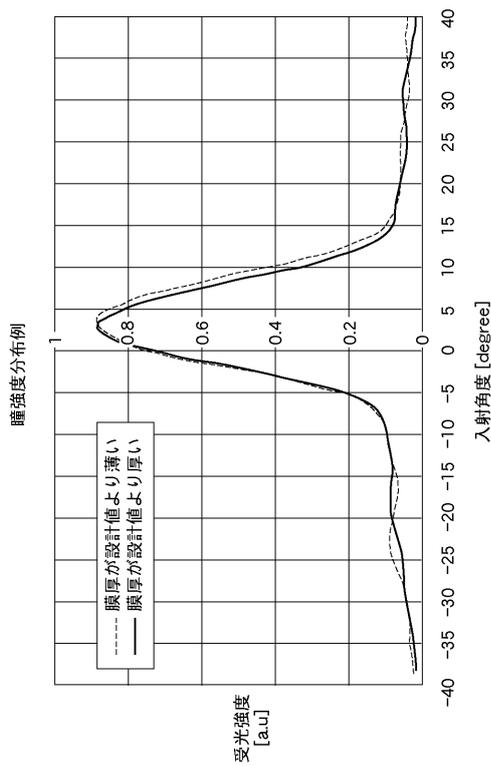
【 図 6 】



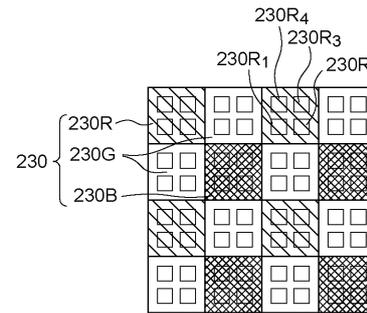
【 図 7 】



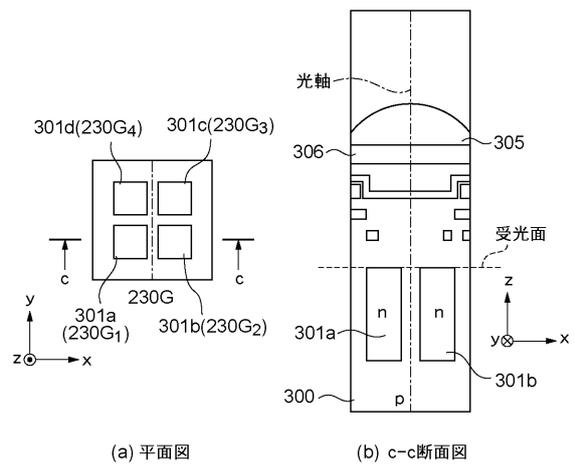
【 図 10 】



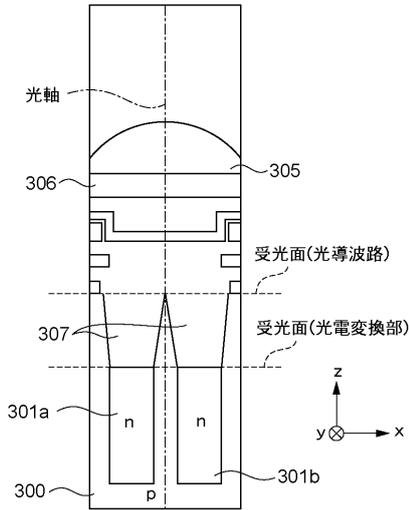
【 図 11 】



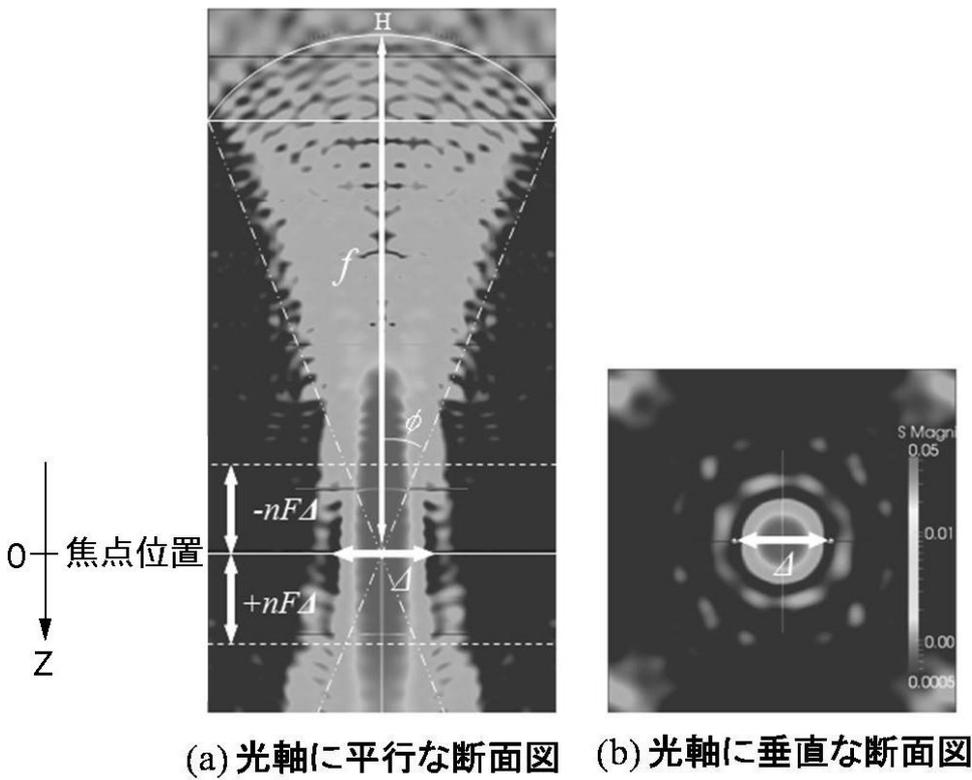
【 図 12 】



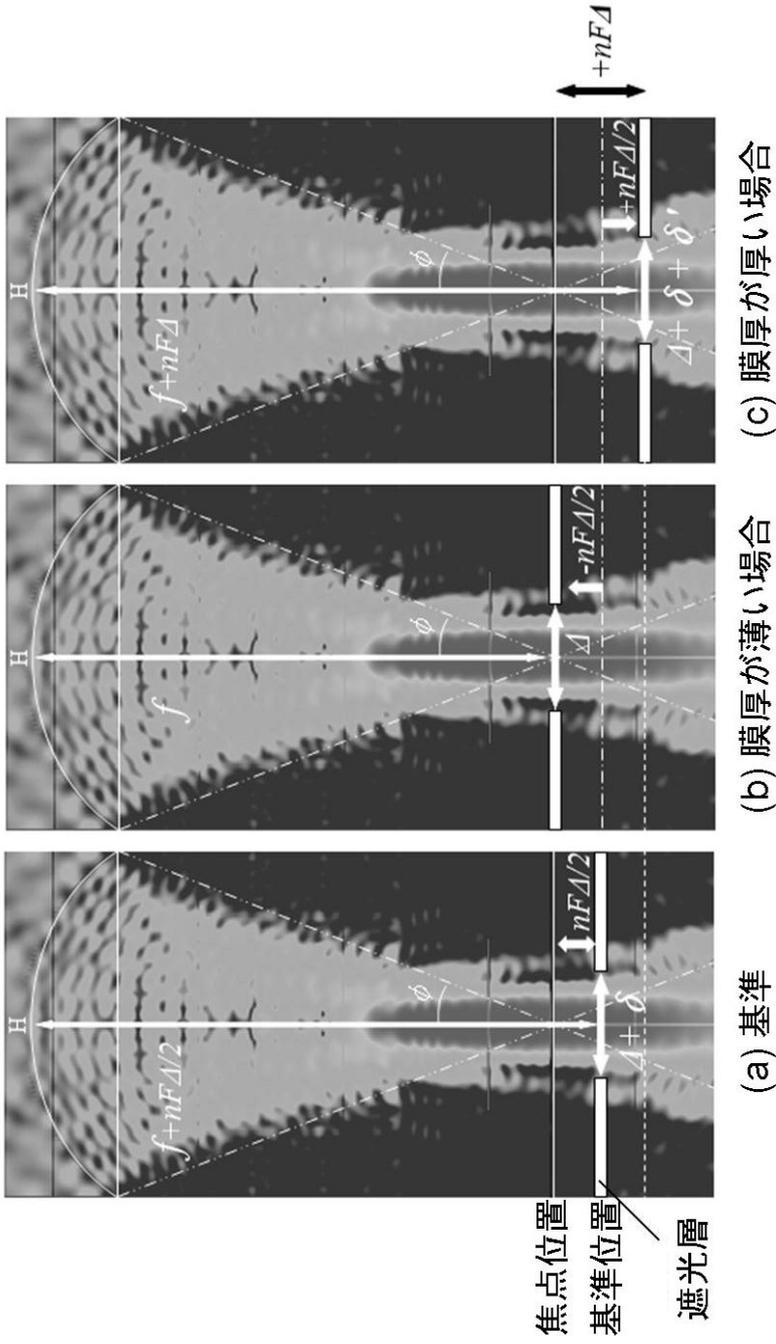
【 図 1 3 】



【 図 8 】



【 図 9 】



フロントページの続き

(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

Fターム(参考) 4M118 AB01 AB10 BA14 CA03 CA18 CA22 DD04 DD12 GB06 GB07

GC07 GC08 GC14 GD03 GD04 GD07

5C024 EX12 EX43