

【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

第 1 の方向及び前記第 1 の方向に垂直な第 2 の方向を含む平面に複数の画素を備え、
前記複数の画素はそれぞれ、前記平面に垂直な第 3 の方向に、マイクロレンズと、前記
マイクロレンズから射出された光を伝搬可能な、コア及びクラッドを有する導波路部と、
前記導波路部から射出された光を光電変換する、前記第 1 の方向に並列された一対の光電
変換部と、を有する撮像素子であって、

前記画素は、前記一対の光電変換部により光電変換される被変換光束に対する光吸収率
が、前記コア及び前記クラッドよりも高く、且つ、電氣的に孤立している吸収部を有し、

前記吸収部は、前記第 3 の方向視において、前記コアの前記第 1 の方向にあり、

前記吸収部と、前記クラッドの前記マイクロレンズ側の界面と、の間の前記第 3 の方向
における光学的距離は、前記被変換光束の波長以下であることを特徴とする撮像素子。

【請求項 2】

前記吸収部と、前記クラッドの前記第 1 の方向側の界面と、の間の前記第 1 の方向にお
ける光学的距離は、前記被変換光束の波長以下であることを特徴とする請求項 1 に記載の
撮像素子。

【請求項 3】

前記吸収部は、前記クラッドの前記第 1 の方向側の界面を跨ることを特徴とする請求項
1 又は 2 に記載の撮像素子。

【請求項 4】

配線を有し、

前記吸収部は、前記配線よりも前記マイクロレンズ側にあることを特徴とする請求項 1
乃至 3 の何れかに記載の撮像素子。

【請求項 5】

前記マイクロレンズから射出された光が入射されるインナーレンズを有し、

前記インナーレンズは、前記コアの前記マイクロレンズ側にあることを特徴とする請求
項 1 乃至 4 の何れかに記載の撮像素子。

【請求項 6】

前記クラッドの前記マイクロレンズ側の界面の内径は、前記クラッドの前記第 3 の方向
における大きさに、前記被変換光束の前記平面に対する最大入射角を乗じて得られた値の
2 倍以下であることを特徴とする請求項 1 乃至 5 の何れかに記載の撮像素子。

【請求項 7】

前記クラッドの前記マイクロレンズ側の界面の内径は、 $1.4 \mu\text{m}$ 以下であることを特
徴とする請求項 1 乃至 5 の何れかに記載の撮像素子。

【請求項 8】

前記一対の光電変換部と、前記クラッドの前記一対の光電変換部側の界面と、の間の前
記第 3 の方向における光学的距離は、前記被変換光束の波長以上であることを特徴とする
請求項 1 乃至 7 の何れかに記載の撮像素子。

【請求項 9】

前記吸収部は、前記第 1 の方向における前記コアを挟んだ両側にあることを特徴とする
請求項 1 乃至 8 の何れかに記載の撮像素子。

【請求項 10】

前記吸収部は、前記撮像素子の中心を通り前記第 2 の方向に平行な中心線までの前記第
1 の方向における距離がより大きい第 1 の吸収部と、第 2 の吸収部を含み、

前記第 1 の吸収部の前記第 1 の方向における大きさは、前記第 2 の吸収部の前記第 1 の
方向における大きさよりも大きいことを特徴とする請求項 9 に記載の撮像素子。

【請求項 11】

前記吸収部は、前記撮像素子の中心を通り前記第 2 の方向に平行な中心線までの前記第
1 の方向における距離がより大きい第 1 の吸収部と、第 2 の吸収部を含み、

前記第 1 の吸収部の前記第 3 の方向における大きさは、第 2 の吸収部の前記第 3 の方向

10

20

30

40

50

における大きさよりも大きいことを特徴とする請求項 9 又は 10 に記載の撮像素子。

【請求項 12】

前記吸収部は、前記撮像素子の中心を通り前記第 2 の方向に平行な中心線までの前記第 1 の方向における距離がより大きい第 1 の吸収部と、第 2 の吸収部を含み、

前記第 1 の吸収部の体積は、前記第 2 の吸収部の体積よりも大きいことを特徴とする請求項 9 乃至 11 の何れかに記載の撮像素子。

【請求項 13】

前記複数の画素は、前記第 1 の方向に並列され、

前記吸収部は、前記第 1 の方向において互いに隣接する複数の画素の間で共用されることを特徴とする請求項 9 乃至 12 の何れかに記載の撮像素子。

10

【請求項 14】

第 1 の方向及び前記第 1 の方向に垂直な第 2 の方向を含む平面に複数の画素を備え、

前記複数の画素はそれぞれ、前記平面に垂直な第 3 の方向に、マイクロレンズと、前記マイクロレンズから射出された光を伝搬可能な、コア及びクラッドを有する導波路部と、前記導波路部から射出された光を光電変換する、前記第 1 の方向に並列された一対の光電変換部と、を有する撮像素子であって、

前記画素は、前記一対の光電変換部により光電変換される被変換光束に対する光吸収率が、前記コア及び前記クラッドよりも高く、且つ、電氣的に孤立している吸収部を有し、

前記吸収部は、前記第 3 の方向視において、前記コアの前記第 1 の方向にあり、

前記吸収部は、前記クラッドの前記マイクロレンズ側の界面よりも前記マイクロレンズ側にあることを特徴とする撮像素子。

20

【請求項 15】

結像光学系と、

前記結像光学系から射出された光を受光する請求項 1 乃至 14 のいずれかに記載の撮像素子と、を備えることを特徴とする撮像装置。

【請求項 16】

前記クラッドの前記マイクロレンズ側の界面の内径は、前記クラッドの前記第 3 の方向における大きさを、前記結像光学系の最小 F 値で除して得られた値以下であることを特徴とする請求項 15 に記載の撮像装置。

【発明の詳細な説明】

30

【技術分野】

【0001】

本発明は、デジタルスチルカメラやデジタルビデオカメラ等の撮像装置において用いられる撮像素子、及びそれを用いた撮像装置に関する。

【背景技術】

【0002】

デジタルスチルカメラやデジタルビデオカメラ等において、オートフォーカス (AF) 技術が知られている。AF 技術に関し、特許文献 1 では、撮像素子が有する複数の画素のうち、一部の画素に一対の光電変換部を持たせた撮像素子が提案されている。当該撮像素子からの出力信号を用いることで、位相差方式で AF 可能である。

40

【0003】

位相差方式とは、結像光学系の瞳領域上の、互いにずれた領域を通過した一対の入射光束 (以下、単に「一対の入射光束」という) が入射された一対の光電変換部からの一対の出力信号を用いる AF 方式である。当該一対の出力信号を用いて一対の像 (以下、「二像」という) が取得され、取得された二像間のズレ量 (以下、「像ズレ量」という) を検出することによりピントのズレ量を検出するのである。当該位相差方式によれば、所謂コントラスト方式とは異なり、合焦動作の際にレンズを前後に動かす所謂ウォブリングが不要である。そのため、高速・高精度な AF が可能である。

【0004】

特許文献 1 には、マイクロレンズと導波路部と一対の光電変換部を有する画素構造が開

50

示されている。当該画素構造より、一对の入射光束がそれぞれ、一对の光電変換部のうち、互いに異なる光電変換部に選択的に導かれる。そして、一对の光電変換部からの一对の出力信号を用いることで、位相差方式でAF可能である。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0005】

【特許文献1】特開2009-158800号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0006】

10

撮像装置で使用されるレンズ（結像光学系）のF値が小さい場合には、当該F値が大きい場合と比較して、一对の入射光束のうち、画素への入射角度が大きい光（以下、単に「入射角度が大きい光」という）の割合が増加する。入射角度が大きい光は、導波路部のコアとクラッドの界面で多数回折り返され、一对の光電変換部のうち、対応しない（導かれるべきでない）光電変換部に導かれ易い。

【0007】

その結果、特許文献1に記載の構成は、撮像装置で使用されるレンズのF値が小さい場合には、当該F値が大きい場合と比較して、AF精度が低下し易いという課題が発生する。

【0008】

20

本発明は、上記課題に鑑み、入射角度が大きい光が、一对の光電変換部のうち、対応しない光電変換部に導かれることを抑制した撮像素子及びそれを有する撮像装置を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0009】

上記課題を解決するために、本発明の撮像素子は、第1の方向及び前記第1の方向に垂直な第2の方向を含む平面に複数の画素を備え、前記複数の画素はそれぞれ、前記平面に垂直な第3の方向に、マイクロレンズと、前記マイクロレンズから射出された光を伝搬可能な、コア及びクラッドを有する導波路部と、前記導波路部から射出された光を光電変換する、前記第1の方向に並列された一对の光電変換部と、を有する撮像素子であって、前記画素は、前記一对の光電変換部により光電変換される被変換光束に対する光吸収率が、前記コア及び前記クラッドよりも高く、且つ、電気的に孤立している吸収部を有し、前記吸収部は、前記第3の方向視において、前記コアの前記第1の方向にあり、前記吸収部と、前記クラッドの前記マイクロレンズ側の界面と、の間の前記第3の方向における光学的距離は、前記被変換光束の波長以下であることを特徴とする。

30

【0010】

また、上記課題を解決するために、本発明の撮像素子は、第1の方向及び前記第1の方向に垂直な第2の方向を含む平面に複数の画素を備え、前記複数の画素はそれぞれ、前記平面に垂直な第3の方向に、マイクロレンズと、前記マイクロレンズから射出された光を伝搬可能な、コア及びクラッドを有する導波路部と、前記導波路部から射出された光を光電変換する、前記第1の方向に並列された一对の光電変換部と、を有する撮像素子であって、前記画素は、前記一对の光電変換部により光電変換される被変換光束に対する光吸収率が、前記コア及び前記クラッドよりも高く、且つ、電気的に孤立している吸収部を有し、前記吸収部は、前記第3の方向視において、前記コアの前記第1の方向にあり、前記吸収部は、前記クラッドの前記マイクロレンズ側の界面よりも前記マイクロレンズ側にあることを特徴とする。

40

【発明の効果】

【0011】

本発明によれば、入射角度が大きい光が、一对の光電変換部のうち、対応しない光電変換部に導かれることを抑制した撮像素子及びそれを有する撮像装置を提供することができ

50

る。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 1 2 】

【図 1】本発明（実施例 1、2 に記載）の撮像素子を有する撮像装置の概略断面図（X Z 平面）。

【図 2】実施例 1 の一形態における画素の断面図（X Z 平面）。

【図 3】実施例 1 の一形態におけるコア及びクラッドの概略断面図（X Z 平面）。

【図 4】実施例 1 の一形態における画素の断面図（X Z 平面。光が伝搬される様子を模式的に図示）。

【図 5】実施例 1 の一形態における一对の光電変換部への入射光量と入射角度の関係を示したグラフ。

【図 6】実施例 1 の一形態における光電変換部への入射光量と入射角度の関係を示したグラフ。

【図 7】実施例 1 の他の形態における画素の断面図（X Z 平面、X Y 平面）。

【図 8】実施例 1 の他の形態における画素の断面図（X Z 平面）（光が伝搬される様子を模式的に図示）。

【図 9】実施例 2 における撮像素子の平面図（X Y 平面）。

【図 10】実施例 2 における画素の断面図（X Z 平面）。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 1 3 】

以下、図面を用いて、本発明の撮像素子について説明する。その際、全ての図面において、同一の機能を有する対象には同一の符号を振る。

【実施例 1】

【 0 0 1 4 】

図 1 は、本発明の撮像素子を有するデジタルスチルカメラやデジタルビデオカメラ等の撮像装置 190 の概略断面図（X Z 平面）である。

【 0 0 1 5 】

撮像装置 190 は、結像光学系 191、結像光学系 191 から射出された光を受光する撮像素子 100（200）、CPU 192、転送回路 193、信号処理部 194 を有する。

【 0 0 1 6 】

CPU 192 は、転送回路 193、信号処理部 194 の動作を制御する。

【 0 0 1 7 】

光電変換部 121、122 のそれぞれからの出力信号を用いて取得された像ズレ量を検出することで、位相差方式で AF 可能である。光電変換部 121、122 のそれぞれからの出力信号を加算することで、撮影画像用の信号も取得することができる。

【 0 0 1 8 】

図 2 は、実施例 1 における、撮像素子 100（図 1 参照）が有する複数の画素のうちの 1 つの断面図（X Z 平面）である。撮像素子 100 は、第 1 の方向（±X 軸方向）及び第 1 の方向に垂直な第 2 の方向（±Y 軸方向）を含む平面（X Y 平面）に、複数の画素を有する。「第 1 の方向」、「第 2 の方向」については後述する。

【 0 0 1 9 】

複数の画素 101 はそれぞれ、光束の入射側より、マイクロレンズ 102、導波路部 110、ゲッタリング層 103、一对の光電変換部としての第 1 の光電変換部 121 及び第 2 の光電変換部 122 を有する。ゲッタリング層 103 は、反射防止やゲッタリングの機能を有する層である。画素 101 は、一对の光電変換部 121、122 を有することにより、撮像のみならず、位相差 AF、距離又は距離に相当する情報の測定（測距）にも用いることができる。

【 0 0 2 0 】

マイクロレンズ 102 は、微細加工技術により形成された口径が数～数百 μm の微小な

10

20

30

40

50

レンズである。

【0021】

導波路部110は、コア111及び（コア111よりも屈折率が小さい）クラッド112を有し、マイクロレンズ102から射出された光を伝搬可能な導波路構造を有する。導波路部110は、入射端113、射出端115を有する。入射端113とは、コア111における、マイクロレンズ102から射出された光が入射される側の端である。入射端113の径は、クラッド112のマイクロレンズ102側の界面（第2の界面）117（図2、図3参照）の内径と一致する。射出端115とは、コア111における、導波路部110に入射された光が射出される側の端である。射出端115の径は、クラッド112の一对の光電変換部側の界面（第3の界面）118（図2、図3参照）の内径と一致する。

10

【0022】

一对の光電変換部121、122は、導波路部110（射出端115）から射出された光を光電変換する。一对の光電変換部121、122は、基板120に設けられる。また、一对の光電変換部121、122は、並列（して配置）される。一对の光電変換部121、122が並列される方向を、以下、「第1の方向」という。第1の方向は、図2等における±X軸方向と一致する。

【0023】

基板120は、シリコン等の材料により設けられる。当該材料は、一对の光電変換部121、122で検出されるべき波長帯域に応じて適宜選択される。一对の光電変換部121、122は、ポテンシャル勾配を有するが、当該ポテンシャル勾配は、基板120へのイオン打込み等により設けられる。

20

【0024】

複数の画素101は、第1の方向に並列される（図7参照）。また、複数の画素101は、第1の方向に垂直な方向にも並列される。複数の画素101が設けられる、第1の方向に垂直な方向を、以下、「第2の方向」という。第2の方向は、図2等における±Y軸方向と一致する。

【0025】

マイクロレンズ102、導波路部110及びゲッタリング層103は、第1の方向及び第2の方向を含む平面（XY平面）に垂直な方向に設けられる。第1の方向及び第2の方向を含む平面に垂直な方向を、以下、「第3の方向」という。第3の方向は、図2等における±Z軸方向と一致する。

30

【0026】

マイクロレンズ102及び導波路部110は、一对の入射光束をそれぞれ、互いに異なる光電変換部に選択的に導く機能（瞳分割機能）を有している。当該機能において瞳を分割する方向を、瞳分割方向という。光電変換部121、122のそれぞれからの出力信号を用いて取得された像ズレ量を検出することで、位相差方式でAF可能である。また、測距も可能である。

【0027】

マイクロレンズ102、コア111、クラッド112、ゲッタリング層103は、たとえば、酸化シリコン、窒化シリコン、BPSG、有機材料等の材料により設けられる。但し、クラッド112は、コア111よりも屈折力が低い（コア111は、クラッド112よりも屈折率が高い）材料により設けられる（形成される）必要がある。

40

【0028】

撮像素子100は、配線123を有する。配線123は、クラッド112の第1の方向側の界面（第1の界面）116（図2、図3参照）よりもクラッド112側にある。つまり、クラッド112内に設けられている。配線123には、一对の光電変換部121、122により取得された撮像信号が伝送される。配線123は、たとえば、Al、Cu等の金属材料により形成される。撮像信号は、配線123を介して、一对の光電変換部121、122から撮像素子100が有する（図示しない）走査回路（周辺回路）へ送信される。

50

【 0 0 2 9 】

撮像素子 1 0 0 は、吸収部 1 1 4 を有する。吸収部 1 1 4 は、コア 1 1 1 に対して第 1 の方向に設けられている。吸収部 1 1 4 は、被変換光束（一对の光電変換部 1 2 1、1 2 2 により光電変換される光束）に対する光吸収率（以下、単に「光吸収率」という）が、コア 1 1 1 及びクラッド 1 1 2（の光吸収率）よりも高い。そのために、吸収部 1 1 4 は、コア 1 1 1 及びクラッド 1 1 2 を形成する材料よりも光吸収率が高い材料、たとえば、A l、C u 等の金属材料や、色素等の有機材料により設けられる。吸収部 1 1 4 は、被光電変換光に対する消衰係数が、0 . 0 1 以上の材料により設けられてもよい。また、吸収部 1 1 4 は、配線 1 2 3 と同じ材料により設けられてもよいし、配線 1 2 3 と異なる材料により設けられてもよい。吸収部 1 1 4 の光吸収率は、0 . 1 以上が好ましく、1 . 0 以上がさらに好ましい。

10

【 0 0 3 0 】

吸収部 1 1 4 は、電氣的に孤立している。「電氣的に孤立している」とは、たとえば、撮像信号が伝送される配線 1 1 4 と吸収部 1 1 4 の間の直列抵抗が 1 メガオーム以上のことをいう。配線 1 2 3 が吸収部を兼ねず、吸収部 1 1 4 が電氣的に孤立していることにより（吸収部 1 1 4 が配線 1 2 3 とは独立して設けられることにより）、伝送特性の悪化が低減される。伝送特性の悪化は、配線により光が吸収されることにより発生し得るが、吸収部 1 1 4 が配線として用いられないので、このような問題は発生しない。

【 0 0 3 1 】

吸収部 1 1 4 と配線 1 2 3 は、X Y 平面上の位置をずらして設けられるのが好ましい。これにより、吸収部 1 1 4 と配線 1 2 3 との間の容量性のカップリングが低減されるからである。さらに、吸収部 1 1 4 は、配線 1 2 3 のマイクロレンズ 1 0 2 側にある方が好ましい。これにより、配線よりも吸収部の方が光源に近づき、より多くの光が吸収部に吸収され、配線 1 2 3 の伝送特性の悪化が低減されるからである。

20

【 0 0 3 2 】

本発明に示す撮像素子 1 0 0 は、画素 1 0 1 が吸収部 1 1 4 を有することにより、使用される結像光学系の F 値が小さい場合でも、入射角度が大きい光が、一对の光電変換部のうち、対応しない光電変換部に導かれることを抑制する。そして、それにより、A F 精度や測距精度が低下することを抑制することを可能とする。以下で、説明を行う。なお、以下において、「画素への入射角度」は、マイクロレンズ 1 0 2 への入射角度ではなく、第 3 の方向に対する入射角度として定義する。また、「画素への入射角度」を、単に「入射角度」ともいう。

30

【 0 0 3 3 】

まず、マイクロレンズ 1 0 2 及び導波路部 1 1 0 による瞳分割の原理について説明する。

【 0 0 3 4 】

結像光学系の射出瞳上の異なる領域を通過した光は、異なる入射角度の光として画素に入射される。そのため、異なる入射角度で入射された光を、各々の光電変換部に選択的に導けば、瞳分割を行うことができる。

【 0 0 3 5 】

マイクロレンズ 1 0 2 に光が入射されると、光束の入射角度に応じて、入射端 1 1 3 において異なる位置に光が集光され、その集光位置に応じた導波モードに変換されて、導波路部中を伝搬される。従って、マイクロレンズ 1 0 2 の形状、導波路部 1 1 0 の形状と媒質及び、一对の光電変換部 1 2 1、1 2 2 の位置を適切に設計することで、変換される導波モードを制御することができる。その結果、光束の入射角度に応じて、異なる光電変換部に選択的に光を導くことができ、瞳分割が可能となる。

40

【 0 0 3 6 】

図 2 に示す画素では、第 1 の方向（± X 軸方向）が瞳分割方向であり、- X 軸方向かつ - Z 軸方向に傾いて入射される光を光電変換部 1 2 1 に、+ X 軸方向かつ - Z 軸方向に傾いて入射される光を光電変換部 1 2 2 に選択的に導く。

50

【 0 0 3 7 】

次に、吸収部 1 1 4 が、画素 1 0 1 に入射された光に及ぼす作用について、図面を用いて説明する。

【 0 0 3 8 】

図 4 は、第 3 の方向に対してそれぞれ異なる入射角度で画素 1 0 1 に入射された光が、画素 1 0 1 内を伝搬される様子を模式的に図示している。図 4 (a)、図 4 (b) は、相対的に小さい入射角度で画素 1 0 1 に入射された光 (入射角度が小さい光 1 1、1 2) が、画素 1 0 1 内を伝搬される様子を模式的に図示している。図 4 (c)、図 4 (d) は、相対的に大きい入射角度で画素 1 0 1 に入射された光 (入射角度が大きい光 2 1、2 2) が、画素 1 0 1 内を伝搬される様子を模式的に図示している。

10

【 0 0 3 9 】

入射角度が小さい光 1 1、1 2 は、マイクロレンズ 1 0 2 により、入射端 1 1 3 の第 1 の方向における中心近傍に集光される。一般に、入射端 1 1 3 の第 1 の方向における中心近傍に入射された光ほど、低次の導波モード 1 3 1 に結合する。低次の導波モード 1 3 1 に結合した光は、導波路部 1 1 0 内を、第 3 の方向に対して比較的小さい角度で伝搬される。従って、入射角度が小さい光 1 1、1 2 は、一对の光電変換部 1 2 1、1 2 2 のいずれか一方 (所望する方の光電変換部) に選択的に入射される。

【 0 0 4 0 】

一方、入射角度が大きい光 2 1、2 2 は、マイクロレンズ 1 0 2 により、入射端 1 1 3 の第 1 の方向における端部近傍に集光される。一般に、入射端 1 1 3 の第 1 の方向における端部近傍に入射された光ほど、高次の導波モード 1 3 2 に結合する。高次の導波モード 1 3 2 に結合した光は、第 1 の界面 1 1 6 で折り返されて、導波路部 1 1 0 内を、第 3 の方向に対して比較的大きい角度で伝搬される。従って、入射角度が大きい光 2 1、2 2 については、一对の光電変換部 1 2 1、1 2 2 のうち、所望しない方の光電変換部に入射される割合が多くなる。

20

【 0 0 4 1 】

図 5 に、一对の光電変換部 1 2 1、1 2 2 への入射光量と入射角度の関係 (入射光量の入射角度依存性) を図 5 に示した。縦軸は、光電変換部への入射光量を示し、横軸は、入射角度を示す。入射角度 (横軸) は、画素 1 0 1 に対して、第 3 の方向 (- Z 軸方向) に入射する光束の入射角度をゼロとしている。また、- X 軸方向かつ - Z 軸方向に傾いて入射する光束の入射角度を正とし、+ X 軸方向かつ - Z 軸方向に傾いて入射する光束の入射角度を負としている。

30

【 0 0 4 2 】

実線により、画素 1 0 1 に吸収部 1 1 4 を設けたときの、入射光量の入射角度依存性を示した。また、破線により、画素 1 0 1 に吸収部 1 1 4 を設けなかったときの、入射光量の入射角度依存性を示した。

【 0 0 4 3 】

吸収部 1 1 4 が設けられた場合には、以下の傾向が見られる。第 3 の方向 ($\pm Z$ 軸方向) に対して + 2 0 度付近の入射角度で入射された光束のうち、光電変換部 1 2 2 に入射された成分が減少している。また、第 3 の方向に対して - 2 0 度付近の入射角度で入射された光束のうち、光電変換部 1 2 1 に入射された成分が減少している。一方、第 3 の方向に対して $\pm 1 0$ 度以下の入射角度で入射された光については、吸収部 1 1 4 の影響は殆ど見られない。つまり、- X 軸方向かつ - Z 軸方向に傾入射された光を光電変換部 1 2 1 に、+ X 軸方向かつ - Z 軸方向に傾入射された光を光電変換部 1 2 2 に選択的に導いている。

40

【 0 0 4 4 】

吸収部 1 1 4 が設けられた場合には、入射端 1 1 3 の第 1 の方向における端部近傍に集光された光が、吸収部 1 1 4 により選択的に吸収された結果、入射角度が大きい光 2 1、2 2 が、高次の導波モード 1 3 2 に結合する前に吸収されたと考えられる。即ち、入射角度が大きい光 2 1、2 2 が入射される場合にも、- X 軸方向かつ - Z 軸方向に傾入射された光を光電変換部 1 2 1 に、+ X 軸方向かつ - Z 軸方向に傾入射された光を光電変換部 1

50

22に、選択的に導くことができたと考えられる。

【0045】

図2、4には、吸収部114と、クラッド112のマイクロレンズ102側の界面(第2の界面)117と、の間の第3の方向における光学的距離がゼロの場合を示した。但し、吸収部114と第2の界面117との距離はゼロでなくても良い。即ち、吸収部114の方が第2の界面117よりも基板側に設けられていても良いし、吸収部114の方が第2の界面117よりもマイクロレンズ102側に設けられていても良い。また、吸収部114と第2の界面117との間の第3の方向における光学的距離は短い方が好ましい。以下で理由を説明する。

【0046】

一般に、導波モードの次数により導波路部内の拡がり方は異なるものの、導波モードは導波路部のコア全体に分布する。そのため、入射端113の異なる位置に集光された光は、導波路部110内を伝搬されるにつれて、導波路部110のコア111全体に広がるようになる。即ち、異なる入射角度で入射した光は、入射端113に近いほど、異なるX座標に分離している。そのため、吸収部114と第2の界面117との間の第3の方向における光学的距離が短いほど、画素101に大きい入射角度で入射した光を吸収部114により選択的に吸収され、瞳分割性能が向上する。

【0047】

図6に、吸収部114(の入射側の界面)のZ座標(吸収部114と第2の界面117との間の第3の方向における光学的距離)を変えたときの、光電変換部121への入射光量と入射角度の関係(入射光量の入射角度依存性)を示した。縦軸は、光電変換部への入射光量を示し、横軸は、入射角度を示す。入射角度(横軸)は、画素101に対して、第3の方向(-Z軸方向)に入射する光束の入射角度をゼロとしている。また、-X軸方向かつ-Z軸方向に傾いて入射する光束の入射角度を正とし、+X軸方向かつ-Z軸方向に傾いて入射する光束の入射角度を負としている。

【0048】

実線により、吸収部114の入射側の界面が第2の界面117に一致する場合(吸収部114と第2の界面117との間の第3の方向における光学的距離がゼロの場合)における、光電変換部への入射光量の入射角度依存性を示した。「吸収部114の入射側の界面」とは、吸収部114の界面のうち、最もZ座標が大きい界面のことである。「光電変換部への入射光量の入射角度依存性」のことを、単に「入射角度依存性」ともいう。

【0049】

鎖線により、吸収部114の入射側の界面と第2の界面117との間の第3の方向における光学的距離が、被光電変換光束の波長 λ と同じ長さの場合における入射角度依存性を示した。点線により、吸収部114の入射側の界面と第2の界面117との間の第3の方向における光学的距離が、被変換光束の波長 λ の2.5倍の長さの場合における入射角度依存性を示した。そして、破線により、画素101に吸収部114を設けなかった場合における入射角度依存性を示した。

【0050】

光学的距離(光学的な距離)とは、実際の距離に、媒質の屈折率を乗じて得た値である。なお、光電変換部122への入射光量の入射角度依存性は、図6に示された、光電変換部121への入射光量の入射角度依存性を、0度を中心として正負入れ替えたようになる(図示せず)。

【0051】

図6より、吸収部114と第2の界面117との間の第3の方向(Z軸方向)における光学的距離が短いほど、 ± 20 度付近の入射角度で入射した光束のうち、反対側の光電変換部に入射してしまう成分を選択的に吸収されていることがわかる。また、吸収部114と第2の界面117との間の第3の方向における光学的距離が、被変換光束の波長 λ よりも長い場合には、吸収部114を設けなかった場合と殆ど同じ入射角度依存性となることもわかる。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 2 】

従って、吸収部 1 1 4 と第 2 の界面 1 1 7 との間の第 3 の方向における光学的距離が、被変換光束の波長 λ 以下であることが好ましい。

【 0 0 5 3 】

さらに、吸収部 1 1 4 と第 1 の界面 1 1 6 との間の第 1 の方向 (X 軸方向) における光学的距離は、被変換光束の波長以下であることが好ましい。以下で理由を説明する。

【 0 0 5 4 】

導波モードに結合した光は、光学的距離に換算して、波長の長さ程度の広がりを持って導波路中を伝搬する。言い換えると、導波モードは、コア 1 1 1 内だけではなく、クラッド 1 1 2 の内、第 1 の界面 1 1 6 から光束の波長の長さだけ離れた領域にまで広がって伝搬する。従って、第 1 の界面 1 1 6 からの光学的な距離が被変換光束の波長以下であれば、吸収部 1 1 4 によって、反対側の光電変換部に入射してしまう成分を選択的に吸収することができる。

10

【 0 0 5 5 】

次に、吸収部 1 1 4 の方が第 2 の界面 1 1 7 よりも基板 1 2 0 から遠い場合について説明する。

【 0 0 5 6 】

図 4 (a)、図 4 (b) からわかるように、画素 1 0 1 に小さい入射角度で入射した光 1 1、1 2 は、入射端 1 1 3 では中央付近に集光されるが、第 2 の界面 1 1 7 よりも上側になるほど、画素 1 0 1 の周辺側にも広がる。

20

【 0 0 5 7 】

そのため、吸収部 1 1 4 と入射端 1 1 3 との間の第 3 の方向における光学的距離 (の絶対値) が長いほど、画素 1 0 1 に小さい入射角度で入射した光も吸収部 1 1 4 により吸収されてしまう。従って、吸収部 1 1 4 と入射端 1 1 3 との間の第 3 の方向における光学的距離 (の絶対値) は短いほど好ましい。

【 0 0 5 8 】

以上のように、吸収部 1 1 4 と入射端 1 1 3 との間の第 3 の方向における光学的距離 (の絶対値) は短いほど好ましい。特に、吸収部 1 1 4 の第 3 の方向における位置と入射端 1 1 3 の第 3 の方向における位置とが一致する場合 (吸収部 1 1 4 と入射端 1 1 3 との間の第 3 の方向における光学的距離がゼロの場合) がもっとも好ましい。

30

【 0 0 5 9 】

なお、吸収部 1 1 4 (の射出側の面) の方が、入射端 1 1 3 よりも、基板 1 2 0 から第 3 の方向において遠い場合には、導波路部を製造するプロセスとは独立に吸収部の配置を決定できる。その結果、吸収部の配置の自由度が向上したり、吸収部の製造が容易となったりするため好ましい。

【 0 0 6 0 】

なお、図 7 (a) のように、入射端 1 1 3 とマイクロレンズ 1 0 2 の間に (コア 1 1 1 のマイクロレンズ 1 0 2 側に) インナーレンズ 1 0 4 を設けられれば更に好ましい。インナーレンズ 1 0 4 により、画素 1 0 1 に第 3 の方向に対して大きい入射角度で入射した光を、入射端 1 1 3 よりも上側で、画素 1 0 1 の中心に集めることが可能となるためである。

40

【 0 0 6 1 】

図 2 では、吸収部 1 1 4 が、クラッド 1 1 2 の第 1 の方向側の界面 (第 1 の界面) 1 1 6 を跨がない場合を示したが、図 7 (b) に示すように、吸収部 1 1 4 の一部がコア 1 1 1 にはみ出しているもよい (吸収部 1 1 4 が第 1 の界面 1 1 6 を跨いでもよい)。

【 0 0 6 2 】

第 3 の方向視において、吸収部 1 1 4 が入射端 1 1 3 の中心に近いほど、吸収される光束の量が増加する。その結果、F 値が小さい場合の A F 精度や測距精度を向上させることができる。一方、第 3 の方向視において、吸収部 1 1 4 が入射端 1 1 3 の中心に近いほど、高次の導波モードに結合した光だけではなく、より低次の導波モードに結合した光を吸

50

収し易くなる。その結果、F 値が大きい場合の A F 精度や測距精度を低下させてしまう。

【 0 0 6 3 】

従って、固定絞りの結像光学系を用いる場合等、F 値が小さい場合のみの A F 精度や測距精度が重視されるならば、第 3 の方向視において、吸収部を入射端 1 1 3 の中心に近づける方が好ましい。一方、可変絞りの結像光学系を用いる場合等、F 値が小さい場合のみならず F 値が大きい場合の A F 精度や測距精度も重視されるならば、第 3 の方向視において、吸収部を入射端 1 1 3 の中心から遠ざける方が好ましい。第 3 の方向視における吸収部 1 1 4 の位置は、A F 精度や測距精度を重視したい F 値の範囲を基に決定すればよい。

【 0 0 6 4 】

吸収部 1 1 4 の形状は、第 3 の方向視において、図 7 (c) に示すように、長方形であってもよいし、その他の多角形や円形であってもよい。また、図 7 (d) に示すように、第 1 の方向 (+ X 軸方向) において互いに隣接する複数 (この場合は 2 つ) の画素の間で、吸収部 1 1 4 が共用されていてもよい。なお、図 7 (c) 、 (d) において、破線は入射端 1 1 3 を示している。

【 0 0 6 5 】

図 2 では、吸収部 1 1 4 が、前記第 1 の方向における前記コアを挟んだ両側にある場合を示したが、片側のみにあっても良い。この場合、+ X 軸方向または - X 軸方向のどちらか一方に傾いて入射した光束のみ、対応しない光電変換部に入射する成分が減少する。一方、図 2 のように、前記第 1 の方向における前記コアを挟んだ両側にある場合、+ X 軸方向に傾いて入射する光束と、- X 軸方向に傾いて入射した光束の双方に対して、対応しない光電変換部に入射する成分が減少する。従って、図 1 のように、吸収部が前記第 1 の方向における前記コアを挟んだ両側にある方が好ましい。

【 0 0 6 6 】

クラッド 1 1 2 のマイクロレンズ 1 0 2 側の界面の内径 (入射端 1 1 3 の第 1 の方向における径) が小さいほど、高次の導波モードに結合した光が、所望の光電変換部ではない、もう片方の光電変換部に入射し易くなるので、本発明の効果が大きくなる。

【 0 0 6 7 】

クラッド 1 1 2 のマイクロレンズ 1 0 2 側の界面の内径の好ましい大きさは、使用する結像光学系の最小 F 値と、製造条件により決定される導波路部の長さに応じて変化する。

【 0 0 6 8 】

具体的には、クラッド 1 1 2 の第 3 の方向における大きさに、被変換光束の画素 1 0 1 への最大入射角度 (第 3 の方向に対する入射角度の最大値。以下、単に「最大入射角度」ともいう) を乗じて得られた値の 2 倍以下である方が好ましい。言い換えると、入射端 1 1 3 の第 1 の方向における長さは、クラッド 1 1 2 の第 3 の方向における大きさを、使用する結像光学系の最小 F 値で除した値以下である方が好ましい。

【 0 0 6 9 】

厳密には画素中の光束の伝搬の描像は導波モードで記述されるが、以下では図 8 を用いて、幾何光学で近似して説明を行う。

【 0 0 7 0 】

画素 1 0 1 は結像光学系の F 値で決定される角度範囲の光を受光するように設計されるため、結像光学系の開口の端を通った光は、入射端 1 1 3 の第 1 の方向における端付近に入射される。

【 0 0 7 1 】

導波路部に入射した光は、界面 1 1 6 で反射されて導波路部内を伝搬し、射出端 1 1 5 から射出される。入射端 1 1 3 の第 1 の方向における端部近傍に入射された光束の主光線が、射出端 1 1 5 で射出される位置 x は、以下の式 1 のように書ける。

$$x = h \times \tan \theta \quad h \times \theta \cdots (式 1)$$

【 0 0 7 2 】

ここで、h は、導波路部の伝搬方向の長さ、 θ は、光束の入射角度 (導波路部が伝搬可能な光束の第 3 の方向に対する最大入射角度) である。また、x は、入射端 1 1 3 の第 1

10

20

30

40

50

の方向における端からの距離（クラッド 112 のマイクロレンズ 102 側の第 1 の方向における内径）である。ここで、近似的には、射出端 115 において、導波路部の中心よりも反対側から主光線が射出されたときに、所望の光電変換部とは反対側の光電変換部に光が入射すると近似する。すると、入射端 113 の第 1 の方向における長さ w が、以下の式 2 を満たすときに、本発明の効果が高くなる。

$$w = 2 \times x = 2 \times h \times \theta \cdots (\text{式 2})$$

【0073】

即ち、入射端 113 の第 1 の方向における長さ w は、導波路部の第 3 の方向における大きさ（導波路部の伝搬方向の長さ）と、導波路部が伝搬可能な光束の第 3 の方向に対する最大入射角度を乗じた値の 2 倍以下である方が好ましい。更に、結像光学系の F 値と、導波路部が伝搬可能な光束の第 3 の方向に対する最大入射角度の関係（ $F = 2 \times \theta$ ）から、以下の式 3 のように記述することもできる。

$$w = 2 \times h \times \theta = h \div F \cdots (\text{式 3})$$

【0074】

即ち、入射端 113 の第 1 の方向における長さ w は、導波路部の第 3 の方向における大きさ（導波路部の伝搬方向の長さ）を、使用する結像光学系の最小 F 値で除した値以下である方が好ましい。

【0075】

例えば、導波路部の第 3 の方向における大きさが $2.0 \mu\text{m}$ 、使用する結像光学系の最小 F 値が 1.4 の場合、入射端 113 の第 1 の方向における径が $1.4 \mu\text{m}$ 以下である場合に、本発明の効果が大きくなる。「入射端 113 の第 1 の方向における径」とは、入射端 113 の第 1 の方向における長さが最も長い部分の長さのことをいう。たとえば、入射端 113 が円形の場合には直径を、第 1 の方向に長径を有する楕円形の場合には長径を、第 1 の方向における径を、第 1 の方向に沿った辺を有する正方形の場合には一辺の長さのことをいう。

【0076】

また、基板 120（一对の光電変換部 121、122）と第 3 の界面 118 との間の第 3 の方向における光学的距離が長いほど、本発明の効果が大きくなる。なぜなら、第 3 の界面 118（射出端 115）が基板 120（一对の光電変換部 121、122）から離れているほど、高次の導波モードに結合した光が、導波路部から射出後に拡がって伝搬される距離が長くなるためである。

【0077】

具体的には、基板 120（一对の光電変換部 121、122）と、射出端 115 との間の第 3 の方向における光学的距離が、被変換光束の波長以上が好ましい。

【0078】

撮像素子 100 が有する全ての画素を画素 101 としてもよいし、一部の画素のみを画素 101 とし、その他の画素を撮像素素（光電変換部を 1 つのみ有する画素）としてもよい。画素 101 で取得した信号を用いて AF や測距を行い、撮像素素で取得した信号を用いて画像を生成してもよい。また、撮像素素で取得した信号を用いて、近接する画素 101 の撮影画像用の信号を生成してもよい。

【0079】

撮像素子 100 が有する全ての画素を画素 101 とした場合には、撮像素子 100 の全領域の AF や測距が可能となる。また、各画素に含まれる光電変換部 121 及び 122 で取得した信号を加算し、撮影画像用の信号としても利用することができる。

【0080】

瞳分割方向は X 軸方向でなくても良く、Y 軸方向や斜め方向であってもよい。また、瞳分割方向の異なる複数の画素が設けられていてもよい。このような構成とすると、被写体のコントラストの変化がある方向によらず、高精度な AF や測距が可能となる。

【0081】

実施例 1 では、配線 123 が第 1 の光電変換部 121 及び第 2 の光電変換部 122 に対

10

20

30

40

50

して光束の入射側に設けられる、所謂表面入射型の撮像素子に本発明を適用した例を示した。しかし、配線 1 2 3 が一对の光電変換部 1 2 1、1 2 2 に対して、光束の入射側とは反対側に設けられる、所謂裏面入射型の撮像素子に本発明を適用してもよい。

【0082】

表面入射型の撮像素子において、配線 1 2 3 が吸収部 1 1 4 よりもマイクロレンズ側に設けられている場合には、配線 1 2 3 により光が吸収され、配線 1 2 3 の電気特性が不安定になる。また、複数の配線 1 2 3、1 2 3 間や、配線 1 2 3 の下部に吸収部を配置する必要が生じるため、配線レイアウトの自由度も制限される。

【0083】

従って、図 2 に示されたように、表面入射型の撮像素子においては、吸収部 1 1 4 は配線 1 2 3 よりもマイクロレンズ側に設けられる方が好ましい。なお、複数の配線 1 2 3 が設けられる場合には、吸収部 1 1 4 は、最もマイクロレンズ側に設けられた配線 1 2 3 よりもマイクロレンズ側に設けられる方が好ましい。

【実施例 2】

【0084】

実施例 2 に示す撮像素子 2 0 0 は、撮像素子 2 0 0 中の画素 2 0 1 の位置により、吸収部 2 1 4 の形状が異なる。図 9 は、実施例 2 に示す撮像素子 2 0 0 中の画素の配置を示す図である。画素 2 0 1 a、2 0 1 b は、各々、撮像素子 2 0 0 の第 1 の方向（- X 軸方向）の周辺領域 2 0 0 a、第 1 の方向（+ X 軸方向）の周辺領域 2 0 0 b に設けられた画素である。

【0085】

図 1 0（a）、（b）はそれぞれ、画素 2 0 1 a、2 0 1 b の構成を示した断面図である。画素 2 0 1 a、2 0 1 b は、図 2 に示す画素 1 0 1 と比較して、吸収部の大きさが異なる。

【0086】

具体的には、撮像素子の周辺領域 2 0 0 a（- X 軸方向）に設けられた画素 2 0 1 a においては、- X 軸方向に設けられた、吸収部としての第 1 の吸収部 2 1 4 a 1 の方が、+ X 軸方向に設けられた、吸収部としての第 2 の吸収部 2 1 4 a 2 の体積よりも大きい。また、撮像素子の周辺領域 2 0 0 b（+ X 軸方向）に設けられた画素 2 0 1 b においては、+ X 軸方向に設けられた第 1 の吸収部 2 1 4 b 1 の方が、- X 軸方向に設けられた第 2 の吸収部 2 1 4 b 2 の体積よりも大きい。

【0087】

即ち、撮像素子の周辺領域では、撮像素子 2 0 0 の中心を通り第 2 の方向に平行な中心線までの第 1 の方向における距離が大きい第 1 の吸収部 2 1 4 a 1、2 1 4 b 1 の体積は、第 2 の吸収部 2 1 4 a 2、2 1 4 b 2 の体積よりも大きくなっている。このような構成とすることで、撮像素子中の画素の位置によらず、高精度な A F や測距が可能となる。以下で説明を行う。

【0088】

撮像素子 2 0 0 中の画素の位置により、画素に入射する主光線の入射角度は異なる。具体的には、- X 軸方向の周辺領域 2 0 0 a では主光線が、- X 軸方向かつ - Z 軸方向に斜入射され、+ X 軸方向の周辺領域 2 0 0 b では主光線が、+ X 軸方向かつ - Z 軸方向に傾入射される。

【0089】

画素 2 0 1 a は、撮像素子の - X 軸方向の周辺領域に設けられているので、画素 2 0 1 a においては、- X 軸方向かつ - Z 軸方向に傾入射される光束の方が、+ X 軸方向かつ - Z 軸方向に傾入射される光よりも最大入射角度が大きい。そのため、- X 軸方向かつ - Z 軸方向に傾入射される光束の方が、マイクロレンズ 2 0 2 a により、入射端 1 1 3 の第 1 の方向（- X 軸方向）における端部近傍に集光される。

【0090】

前述したように、入射端 1 1 3 の第 1 の方向における端部近傍に集光された光ほど、高

10

20

30

40

50

次の導波モードに結合し、光電変換部 2 1 1 a、2 1 2 a の双方に入射して、瞳分割性能を悪化させる原因となる。

【0091】

そのため、- X 軸方向かつ - Z 軸方向に傾いて入射する光が集光される - X 軸方向の吸収部 2 1 4 a 1 の体積を大きくすることで、瞳分割性能を更に向上させることができる。

【0092】

一方、画素 2 0 1 b は、撮像素子の + X 軸方向の周辺領域に設けられているので、画素 2 0 1 b においては、+ X 軸方向かつ - Z 軸方向に傾入射される光束の方が、- X 軸方向かつ - Z 軸方向に傾入射される光よりも最大入射角度が大きい。そのため、+ X 軸方向かつ - Z 軸方向に傾入射される光束の方が、マイクロレンズ 2 0 2 b により、入射端 1 1 3 の第 1 の方向 (+ X 軸方向) における端部近傍に集光される。前述したように、入射端 1 1 3 の第 1 の方向における端部近傍に集光された光ほど、高次の導波モードに結合し、光電変換部 2 1 1 a、2 1 2 a の双方に入射して、瞳分割性能を悪化させる原因となる。

10

【0093】

そのため、+ X 軸方向かつ - Z 軸方向に傾いて入射する光が集光される + X 軸方向の吸収部 2 1 4 b 1 の体積を大きくすることで、瞳分割性能を更に向上させることができる。

【0094】

なお、図 10 では、吸収部の体積を変える方法として、吸収部の長さ (吸収部の第 1 の方向における大きさ) を変えた場合を示した。しかし、吸収部における高さ (吸収部の第 3 の方向における大きさ) を変えてもよいし、吸収部の第 1 の方向の長さと厚みの双方を変えてもよい。

20

【0095】

但し、図 10 のように、吸収部の高さは変えずに吸収部の第 1 の方向における長さのみを変える方が、製造が容易となるため、好ましい。

【0096】

撮像素子の中心領域については、画素に入射する主光線の入射角度の傾きが小さいため、撮像素子の第 1 の方向の両側に設けられた吸収部の体積が、互いに等しい方が好ましい。

【0097】

周辺領域は、撮像素子の中心を通り、第 1 の方向に垂直な方向に延びる直線 2 3 0 からの距離が、撮像素子の第 1 の方向の長さの 0 . 4 0 倍以上の領域であると好ましく、0 . 2 5 倍以上の領域であれば、更に好ましい。

30

【符号の説明】

【0098】

1 0 0、2 0 0 撮像素子

1 0 1、2 0 1 a、2 0 1 b 画素

1 0 2、2 0 2 a、2 0 2 b マイクロレンズ

1 1 0 導波路部

1 1 1、2 1 1 a、2 1 1 b コア

1 1 2 クラッド

1 1 3 入射端

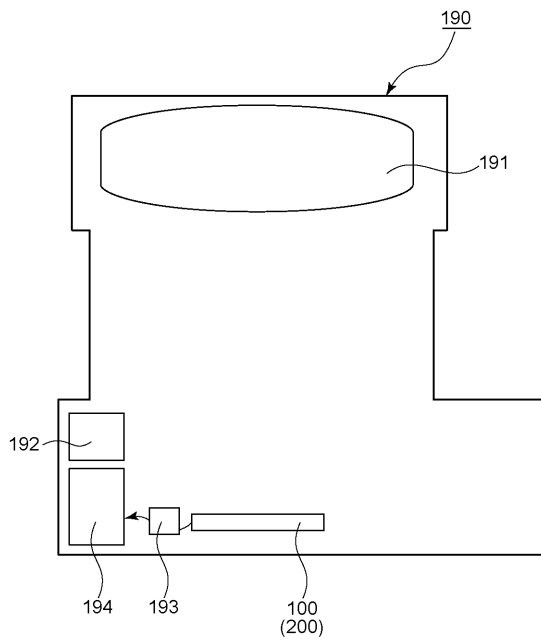
1 1 4、2 1 4 a 1、2 1 4 a 2、2 1 4 b 1、2 1 4 b 2 吸収部

1 1 6 界面

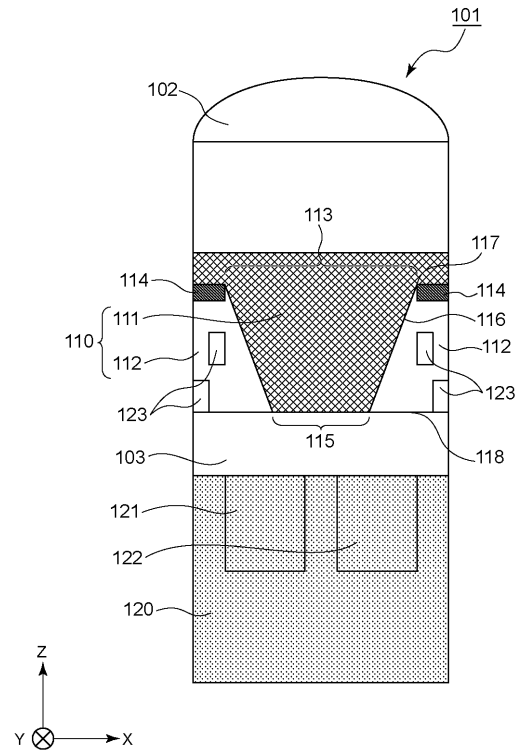
1 2 1、1 2 2、2 2 1 a、2 2 2 a、2 2 1 b、2 2 2 b 光電変換部

40

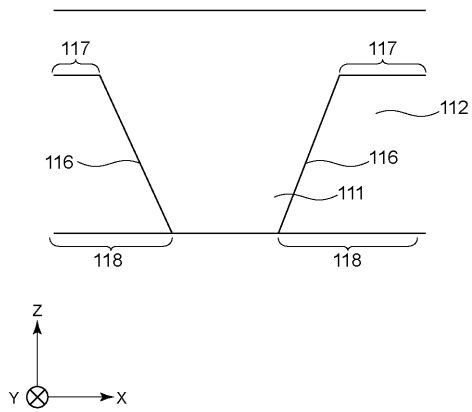
【 図 1 】



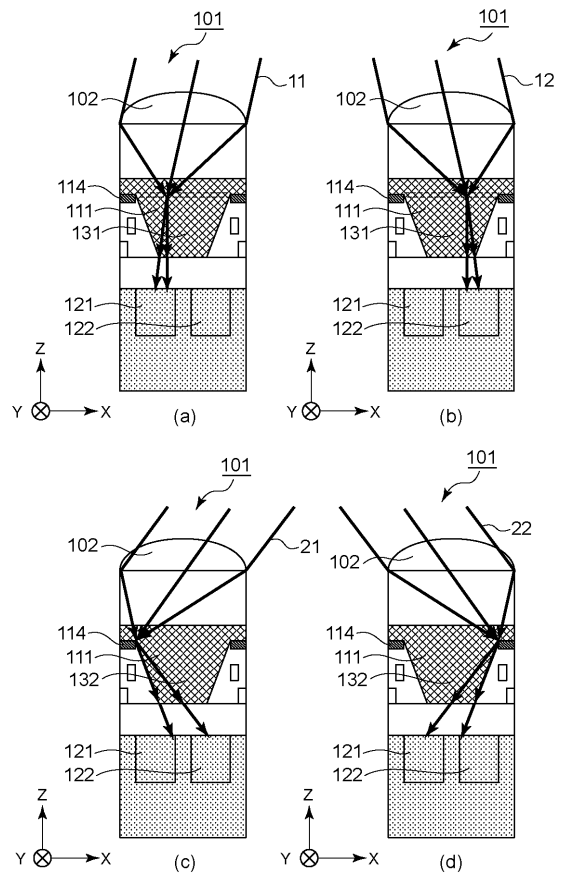
【 図 2 】



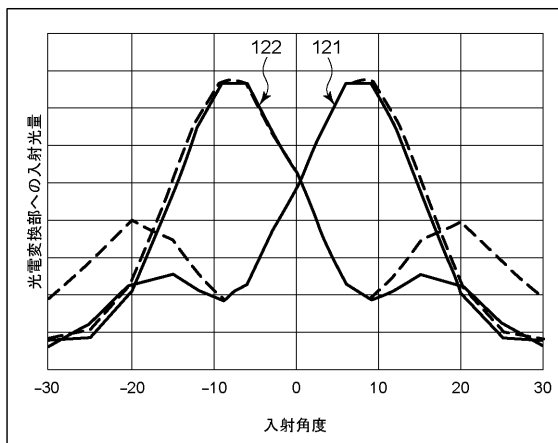
【 図 3 】



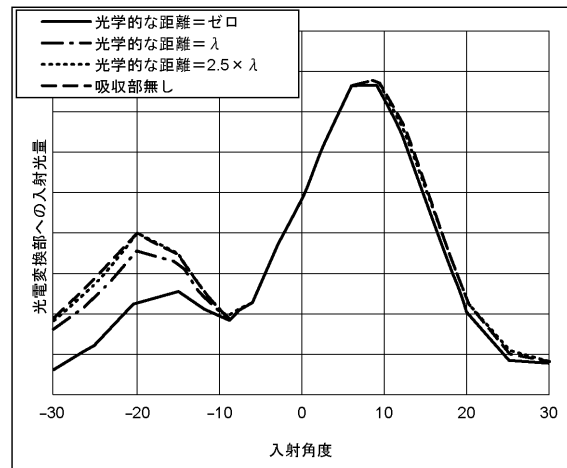
【 図 4 】



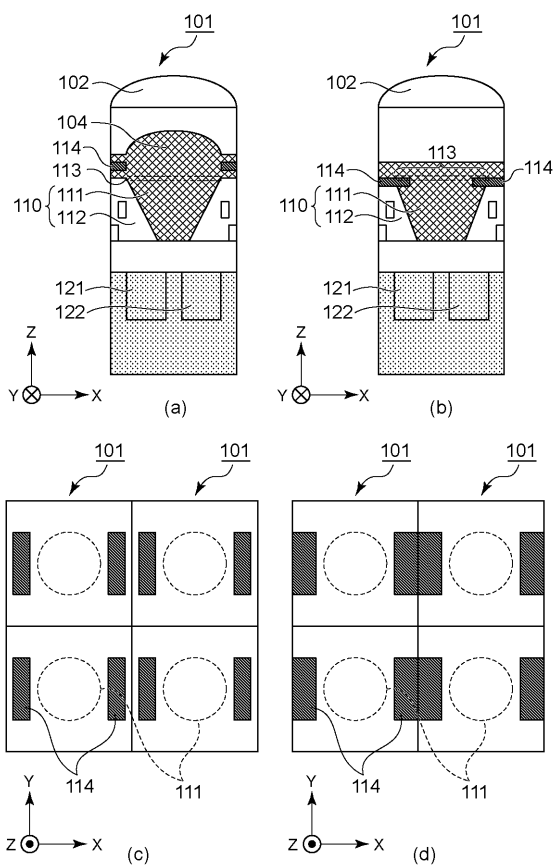
【図 5】



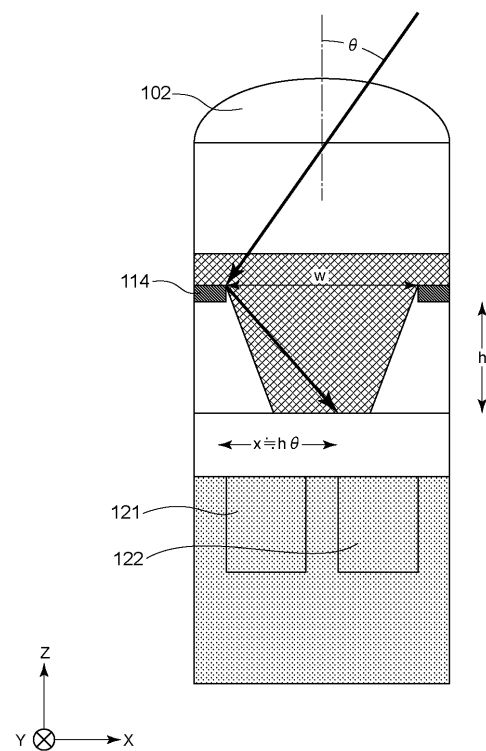
【図 6】



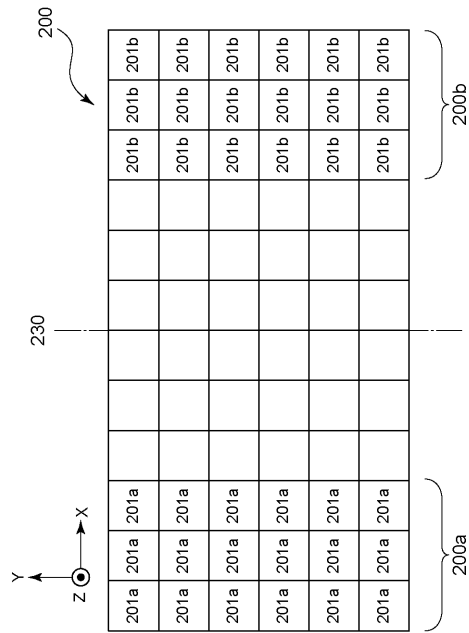
【図 7】



【図 8】



【 図 9 】



【 図 10 】

