

(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2015-32610

(P2015-32610A)

(43) 公開日 平成27年2月16日(2015.2.16)

(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

審査請求 未請求 請求項の数 24 O L (全 18 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2013-159139 (P2013-159139)                  (22) 出願日 平成25年7月31日 (2013.7.31)</p>	<p>(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                  (74) 代理人 100126240                  弁理士 阿部 琢磨                  (74) 代理人 100124442                  弁理士 黒岩 創吾                  (72) 発明者 沼田 愛彦                  東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤ                  ノン株式会社内                  Fターム(参考) 4M118 AB01 AB03 AB10 CA22 CA34                  GA07 GA09 GD02 GD04 GD07                  GD11</p>
--	---

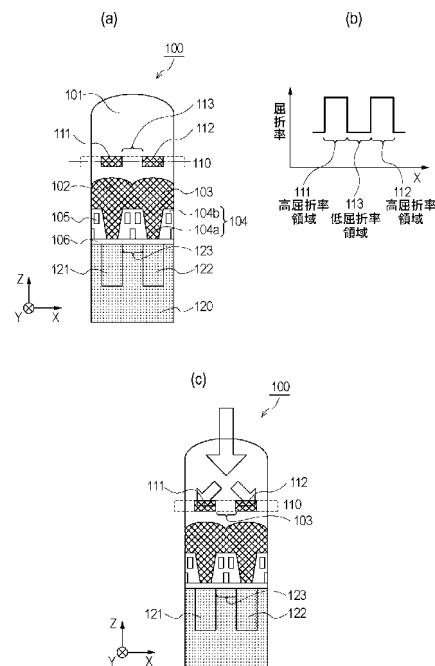
(54) 【発明の名称】 固体撮像素子およびそれを用いた撮像装置

(57) 【要約】

【課題】 画質の低下を抑制することができる固体撮像素子を提供する。

【解決手段】 瞳分割手段101と複数の光電変換部121、122の間に、複数の光電変換部121、122の上に配置された複数の高屈折率領域111、112と、複数の高屈折率領域111、112の間に配置されて、高屈折率領域111、112よりも屈折率の低い低屈折率領域113と、を有する光分離層110を有し、高屈折率領域111、112と低屈折率領域113との境界において、屈折率がステップ状に変化しており、ステップ状の部分の屈折率差が0.15以上である。

【選択図】 図1



## 【特許請求の範囲】

## 【請求項 1】

結像光学系の射出瞳を通過した光束を分割する瞳分割手段と、前記瞳分割手段を通過した光を受光する複数の光電変換部と、を備える測距画素を含む固体撮像素子であって、

前記瞳分割手段と前記複数の光電変換部の間に、前記複数の光電変換部の上に配置された複数の高屈折率領域と、前記複数の高屈折率領域の間に配置されて、前記高屈折率領域よりも屈折率の低い低屈折率領域と、を有する光分離層を有し、

前記高屈折率領域と前記低屈折率領域との境界において、屈折率がステップ状に変化しており、

前記ステップ状の部分の屈折率差が  $0.15$  以上であることを特徴とする、固体撮像素子。 10

## 【請求項 2】

前記高屈折率領域は、前記低屈折率領域と、前記高屈折率領域よりも前記瞳分割手段の側に配置された低屈折率媒質と、に囲まれていることを特徴とする、請求項 1 に記載の固体撮像素子。

## 【請求項 3】

前記ステップ状の部分の屈折率差が  $0.30$  以上であることを特徴とする、請求項 1 または 2 に記載の固体撮像素子。

## 【請求項 4】

前記ステップ状の部分の屈折率差が  $0.50$  以下であることを特徴とする、請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の固体撮像素子。 20

## 【請求項 5】

前記光分離層の物理的な厚さに、前記ステップ状の部分の屈折率差を乗じた値が、入射光の波長の  $0.10$  倍以上であることを特徴とする、請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の固体撮像素子。

## 【請求項 6】

前記光分離層の物理的な厚さに、前記高屈折率領域の屈折率を乗じた値が、入射光の波長の  $2.0$  倍以下であることを特徴とする、請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の固体撮像素子。

## 【請求項 7】

前記低屈折率領域の幅が、前記複数の光電変換部の間の距離の  $0.40$  倍以上であることを特徴とする、請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の固体撮像素子。 30

## 【請求項 8】

前記低屈折率領域の幅が、前記複数の光電変換部の間の距離の  $1.4$  倍以下であることを特徴とする、請求項 1 から 7 のいずれか 1 項に記載の固体撮像素子。

## 【請求項 9】

前記ステップ状の部分の幅が、入射光の波長以下であることを特徴とする、請求項 1 から 8 のいずれか 1 項に記載の固体撮像素子。

## 【請求項 10】

前記ステップ状の部分の幅が、入射光の波長の  $0.20$  倍以下であることを特徴とする、請求項 1 から 9 のいずれか 1 項に記載の固体撮像素子。 40

## 【請求項 11】

前記高屈折率領域が、前記複数の光電変換部の上のみ配置されていることを特徴とする、請求項 1 から 10 のいずれか 1 項に記載の固体撮像素子。

## 【請求項 12】

前記高屈折率領域が、前記複数の光電変換部の外側にまで配置されていることを特徴とする、請求項 1 から 11 のいずれか 1 項に記載の固体撮像素子。

## 【請求項 13】

前記瞳分割手段が、前記複数の光電変換部にまたがって配置されたレンズであることを特徴とする、請求項 1 から 12 のいずれか 1 項に記載の固体撮像素子。 50

## 【請求項 14】

前記瞳分割手段が、前記複数の光電変換部にまたがって配置された導波路であることを特徴とする、請求項 1 から 13 のいずれか 1 項に記載の固体撮像素子。

## 【請求項 15】

前記光分離層において、前記高屈折率領域の平面視形状が、四角形であることを特徴とする、請求項 1 から 14 のいずれか 1 項に記載の固体撮像素子。

## 【請求項 16】

前記光分離層と前記複数の光電変換部の間に、前記複数の光電変換部の各々に対応した複数のレンズを有することを特徴とする、請求項 1 から 15 のいずれか 1 項に記載の固体撮像素子。

10

## 【請求項 17】

前記光分離層と前記複数の光電変換部の間に、前記複数の光電変換部の各々に対応した複数の導波路を有することを特徴とする、請求項 1 から 16 のいずれか 1 項に記載の固体撮像素子。

## 【請求項 18】

前記導波路と前記光分離層との間に、前記導波路のコアと同一の材料からなる導波路上膜を有し、前記高屈折率領域と前記導波路上膜と前記導波路とが接続されていることを特徴とする、請求項 17 に記載の固体撮像素子。

## 【請求項 19】

前記導波路上膜の厚さが、200nm以上800nm以下であることを特徴とする、請求項 18 に記載の固体撮像素子。

20

## 【請求項 20】

前記複数の光電変換部の間に対応する領域に配線が設けられていることを特徴とする、請求項 1 から 19 のいずれか 1 項に記載の固体撮像素子。

## 【請求項 21】

単一の光電変換部を備える撮像素子をさらに含むことを特徴とする、請求項 1 から 20 のいずれか 1 項に記載の固体撮像素子。

## 【請求項 22】

前記測距画素の大きさが、前記撮像素素の大きさの整数倍になっていることを特徴とする、請求項 21 に記載の固体撮像素子。

30

## 【請求項 23】

前記測距画素には前記複数の光電変換部の間に対応する領域に配線が設けられており、前記撮像素素には光電変換部の外側に配線が設けられており、前記測距画素の中の配線と、前記撮像素素の中の配線とが、同じパターンであることを特徴とする、請求項 21 又は 22 に記載の固体撮像素子。

## 【請求項 24】

結像光学系と、請求項 1 から 23 のいずれか 1 項に記載の固体撮像素子と、を備えた撮像装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

40

## 【0001】

本発明は、固体撮像素子に関する。特に、撮像装置において測距に用いられる固体撮像素子に関するものである。

## 【背景技術】

## 【0002】

デジタルスチルカメラやビデオカメラなどの撮像装置において、撮像素子の一部あるいは全部の画素に測距機能を有する距離測定用画素（以下、測距画素）を配置した固体撮像素子が提案されている。このような固体撮像素子では、位相差方式で距離を測定することができる。位相差方式とは、結像光学系の瞳上の異なる領域を通過した光の像を比較し、ステレオ画像による三角測量を用いて距離を検出する方法である。位相差方式は従来のコ

50

ントラスト方式とは異なり、距離を測定するためにレンズを動かす必要が無いため、高速高精度なAFが可能となる。また、動画撮影時にリアルタイムAFが可能になる。

【0003】

特許文献1では、撮影レンズの瞳の異なる領域を通過した光を、瞳分割用マイクロレンズによって異なる複数の光電変換部に集光させている。そして、測距画素の異なる光電変換部それぞれで検出された信号を基に距離を測定することができる。また、複数の光電変換部で検出された信号は、足し合わされることにより、撮影画像を生成するための測距画素の画素値として用いることもできる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特許04835136号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

特許文献1の測距画素において、複数の光電変換部の間の領域に入った光のうち一部は、その領域の表面や内部に存在する結晶欠陥に捉えられて損失となり、測距画素の光電変換部で受光できる光量が低下する。また、その領域に入った光のうち他の一部は、電子に変換され、拡散して隣の測距画素あるいは撮像素子の光電変換部に入り、画素値が変化し、撮影画像の品質が低下する。特に、測距画素の信号を撮影画像の生成のために用いる場合、上記の損失やクロストークによって測距画素そのものの画素値も変わってしまうため、画像の品質が低下する。

【0006】

本発明は、上記課題に鑑み、撮影画像の画質の低下を抑制することができる固体撮像素子の提供を目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0007】

本発明の固体撮像素子は、結像光学系の射出瞳を通過した光束を分割する瞳分割手段と、前記瞳分割手段を通過した光を受光する複数の光電変換部と、を備える測距画素を含む固体撮像素子であって、前記瞳分割手段と前記複数の光電変換部の間に、前記複数の光電変換部の上に配置された複数の高屈折率領域と、前記複数の高屈折率領域の間に配置されて、前記高屈折率領域よりも屈折率の低い低屈折率領域と、を有する光分離層を有し、前記高屈折率領域と前記低屈折率領域との境界において、屈折率がステップ状に変化しており、前記ステップ状の部分の屈折率差が0.15以上であることを特徴とする。

【発明の効果】

【0008】

本発明によれば、撮影画像の画質の低下を抑制することができる固体撮像素子が提供できる。

【図面の簡単な説明】

【0009】

【図1】実施形態1に係る固体撮像素子の測距画素の一例を示す概略図

【図2】実施形態1に係る測距画素と従来の測距画素との感度の比較を示す図

【図3】実施形態1に係る測距画素の感度の屈折率差に対する依存性を示す図

【図4】実施形態1に係る測距画素の低屈折率領域の幅を説明する図

【図5】実施形態1に係る測距画素の光分離層中の高屈折率領域の形状を説明する図

【図6】実施形態1に係る光分離層の他の例を示す概略図

【図7】実施形態1に係る測距画素の他の例を示す概略図

【図8】実施形態1に係る測距画素の他の例を示す概略図

【図9】実施形態1に係る固体撮像素子に含まれる撮像素子撮像素子の一例を示す概略図

【図10】実施形態1に係る固体撮像素子を備える撮像素子の一例を示す概略図

10

20

30

40

50

【図 1 1】実施形態 2 に係る固体撮像素子の測距画素の一例を示す概略図

【図 1 2】実施形態 2 に係る測距画素の製造方法の一例を示す概略図

【図 1 3】実施形態 3 に係る固体撮像素子の測距画素の例を示す概略図

【図 1 4】従来の固体撮像素子の測距画素を示す概略図

【発明を実施するための形態】

【0010】

以下、図を用いて、本発明の実施形態における固体撮像素子について説明する。その際、全ての図において同一の機能を有するものは同一の符号を付け、その繰り返しの説明は省略する。

【0011】

(実施形態 1)

図 1 (a) は、実施形態 1 における固体撮像素子の一部に配置された測距画素 100 の概略図である。測距画素 100 は、光の入射側より順に、瞳分割手段であるマイクロレンズ 101 と、光分離層 110 と、集光用のマイクロレンズ 102 と、導波路上膜 103 と、導波路 104 と、光電変換部 121、122 と、を有している。導波路 104 はコア 104a とクラッド 104b とで構成されている。マイクロレンズ 101 は、後述する撮像装置の結像光学系の射出瞳を通過した光束を分割する。より具体的には、マイクロレンズ 101 は、結像光学系の射出瞳の約半分を通過した光束をマイクロレンズ 102 の一方へ、他の約半分を通過した光束をマイクロレンズ 102 の他方へ分割し、瞳分割光束を生成する。そして、瞳分割光束は、は、コア 104a 内を導波して光電変換部 121、122

10

20

【0012】

コア 104a、クラッド 104b は、酸化シリコン、窒化シリコン、酸窒化シリコン、炭化シリコン、BPSG などの無機物、ポリマーや樹脂等の有機物を使用することができる。ただし、コア 104a の屈折率がクラッド 104b の屈折率よりも大きくなるように、コア 104a とクラッド 104b の材料の組み合わせは選択される。

【0013】

光電変換部 121、122 は、検出する波長帯域で吸収を有するシリコンなどの材料で構成された基板 120 内に、対応する領域にイオン打ち込みなどでポテンシャル勾配を形成することで構成される。光電変換部 121、122 の間にはポテンシャルバリアが形成され、バリア領域 123 となっている。なお、光電変換部 121、122 に対応する領域ではなく、このバリア領域 123 に対応する領域にイオンを打ち込んで、導電性を下げるようにしてポテンシャルバリアを形成してもよい。また、両方を行ってもよい。バリア領域 123 の上のクラッド 104b 内には、光電変換部 121、122 で発生した電荷を後述する信号処理回路に転送するための配線 105 が設けられている。また、導波路 104 と基板 120 の間には入射光の反射防止と光電変換部 121、122 の汚染防止のためのゲッター層 106 が形成されている。

30

【0014】

マイクロレンズ 101 は、複数の光電変換部 121、122 にまたがって配置されている。そして、後述する結像光学系の光軸から +x 方向に偏心した瞳領域から入射した光束を光電変換部 121 上部のマイクロレンズ 102 (左側) に選択的に導いている。また、結像光学系の光軸から -x 方向に偏心した瞳領域から入射した光束を光電変換部 122 上部のマイクロレンズ 102 (右側) に選択的に導いている。このように、異なる瞳領域を通過した光を、異なる複数の光電変換部 121、122 に導いている。マイクロレンズ 102 および導波路 104 は複数の光電変換部 121、122 の各々に対応して配置され、光分離層 110 を通過した光を複数の光電変換部 121、122 に効率良く導いている。

40

【0015】

導波路上膜 103 は、導波路 104 とマイクロレンズ 102 との間に配置されている。また、導波路上膜 103 は、導波路 104 を製造する際、導波路 104 のコア 104a を、導波路 104 のクラッド 104b よりも高い屈折率の材料で埋め込んだ後、平坦化する

50

工程で形成される。配線 105 はポリシリコンまたは銅やアルミなどの金属で形成されている。

【0016】

光分離層 110 は、マイクロレンズ 101 と複数の光電変換部 121、122 との間に配置されている。また、光分離層 110 は、複数の光電変換部 121、122 の上にそれぞれ配置された複数の高屈折率領域 111、112 を有する。また、光分離層 110 は、高屈折率領域 111、112 の間で、かつ、光電変換部 121、122 の間のバリア領域 123 の上に、高屈折率領域 111、112 よりも屈折率の低い低屈折率領域 113 を有する。

【0017】

例えば、低屈折率領域 113 を形成する媒質は酸化シリコンで、高屈折率領域 111、112 を形成する媒質は窒化シリコンとすればよい。この他、高屈折率領域 111、112 を形成する媒質、低屈折率領域 113 を形成する媒質として、上述したコア 104 a、クラッド 104 b に用いられる材料を使用することができる。また、高屈折率領域 111、112 を形成する媒質はコア 104 a と同じ材料で構成されてもよい。また、低屈折率領域 113 を形成する媒質はクラッド 104 b と材料で構成されてもよい。

【0018】

図 1 (b) は、この光分離層 110 の膜厚方向における中央付近の屈折率変化を示している。このように、光分離層 110 において、高屈折率領域 111、112 と低屈折率領域 113 との境界において、屈折率がステップ状に変化している。また、高屈折率領域 111、112 は、低屈折率領域 113 と、高屈折率領域 111、112 よりも瞳分割手段側に配置された低屈折率媒質（マイクロレンズ 101）と、に囲まれている。光は低屈折率媒質よりも高屈折率媒質側に曲げられる性質がある。よって、光分離層 110 の構成により、図 1 (c) に示すように、低屈折率領域 113 に入射する光束を、バリア領域 123 に入射させないように、高屈折率領域 111、112 に曲げることが可能となる。この結果、バリア領域 123 に入射する光が減少し、光電変換部 121、122 で検出される光量を増加させることができる。そのため、測距画素 100 で検出された信号を撮影画像の生成で用いた際の画質の低下を抑制することができる。

【0019】

< 感度の入射角依存性 >

図 2 は、本実施形態に係る固体撮像素子の測距画素 100 及び、従来の固体撮像素子の測距画素 1000 の感度の入射角依存性を比較して示したものである。従来の測距画素 1000 の構成は、図 14 (a) で図示されており、図 1 (a) の測距画素 100 とは、光分離層 110 が配置されていない点で異なる。図 2 から、従来の測距画素 1000 に対し、本実施形態の測距画素 100 はどの入射角度であっても、感度が向上していることがわかる。なお、入射角度は、図 1 (a) の z 軸を基準としたものである。例えば、入射角度 +10 (deg) の光とは、z 軸から +x 方向に 10 (deg) 傾いた角度から入射する光のことである。

【0020】

従来の測距画素よりも本実施形態に係る測距画素の方が感度が向上する理由について、以下に説明する。図 14 (b) は、従来の測距画素の光束の伝搬を、特許文献 1 と同様に、局所的な屈折率差を考慮した、光線追跡を用いて説明した図である。光線追跡で考えれば、マイクロレンズ 101 によって、入射角に応じて異なる位置に集められた光束は、マイクロレンズ 102 によって、対応する光電変換部 121、122 に集光される。しかし、実際には回折の影響によって光束は拡がりを持っているため、局所的な屈折率差で単純に曲げられるわけではなく、回折による光束の拡がり程度の範囲内での平均的な屈折率差によって、光束の伝搬が決まる。特に、図 14 (c) で示すように、マイクロレンズ 102 同士の境界近傍を通過した光は、図 14 (d) で示す 2 つのマイクロレンズ 102 の連続的な屈折率変化による影響を受ける。このため、その光束は拡がったままバリア領域 123 にも入射する。

10

20

30

40

50

## 【0021】

一方、本実施形態の測距画素100では、図1(c)のように光分離層110におけるステップ状の屈折率差を感じて、光束が高屈折率領域111側もしくは高屈折率領域112側に曲げられた後にマイクロレンズ102に入射する。そのため、バリア領域123に入射する光を減少させ、光電変換部121、122に入射する光量を増加させることができる。

## 【0022】

更に、図2で示すように、従来の測距画素1000においては、基板120に対して垂直に入射する光に対する感度が、斜めに入射する光に対する感度よりも低い。これは、垂直に近い角度で入射する光ほど、バリア領域123に入射する割合が大きいためである。このように、感度の角度特性に凹みがあると、測距画素の信号を撮影画像で用いた場合に、不自然な画像となってしまう。具体的には、感度のピーク値に対して、垂直光に対する感度が8割以下であると、画像のドーナツ状のボケを感じてしまうためである。

10

## 【0023】

一方、本実施形態の測距画素100では、従来の測距画素1000ではバリア領域123に入射してしまう光を、光分離層110内で高屈折率領域111、112に曲げるため、垂直入射光の感度をピーク値またはピーク値の8割以上にすることができる。その結果、本実施形態の測距画素100は従来の測距画素1000よりも感度が高いことに加え、より自然な画像を取得することができる。

## 【0024】

## &lt;光分離層の屈折率差&gt;

光分離層110において、低屈折率領域113を形成する媒質の屈折率と、高屈折率領域111、112を形成する媒質の屈折率と、の屈折率差が大きいが好ましい。それは、低屈折率領域113に入射する光束を、高屈折率領域111側もしくは高屈折率領域112側に曲げる効果を大きくするためである。図3は、低屈折率領域113を形成する媒質と高屈折率領域111、112を形成する媒質との屈折率差の変化に伴う測距画素100の感度の入射依存性を示したものである。図3より、屈折率差が大きくなるほど測距画素100の感度が高くなっている。特に、屈折率差が0.15以上の場合には、垂直入射光(角度0(deg))に対する感度が、ピーク値の8割以上となる。従って、光分離層110において、屈折率のステップ状の部分の屈折率差は0.15以上であることが好ましい。さらに、屈折率のステップ状の部分の屈折率差が0.30以上であれば、垂直入射光(角度0(deg))に対する感度が、ピーク値とほぼ等しくなるため、更に好ましい。また、ステップ状の部分の屈折率差は、光分離層110として使用できる材料の観点から0.50以下であることが好ましい。

20

30

## 【0025】

また、ステップ状の部分は1つのステップを有していてもよいし、複数のステップを有していてもよい。ただし、屈折率のステップ状の部分の屈折率差とは、1つのステップにおいて屈折率差のことである。つまり、ステップ状の部分の屈折率差は0.15以上とは、1つのステップにおいて屈折率差が0.15以上のことをいう。

## 【0026】

## &lt;光分離層の光学的な厚さ&gt;

また、光分離層110の効果を大きくするためには、光分離層110の物理的な厚さは、入射光が屈折率のステップ状の変化を感じることができる程度厚いほうが好ましい。具体的には、光分離層110の物理的な厚さに、ステップ状の部分の屈折率差を乗じた値が、入射光の波長の0.10倍以上であることが好ましい。例えば、入射光の波長が600nm、屈折率差が0.30の場合は、光分離層110の物理的な厚さは200nm以上であることが好ましい。

40

## 【0027】

一方、光分離層110の厚さが厚すぎると、光分離層110は導波路として機能し、伝搬できる導波モードが限定されてしまうため、導波路の導波モードに結合出来なかった光

50

が損失となって測距画素 100 の感度が低下する。具体的には、光分離層 110 の物理的な厚さに、高屈折率領域 111、112 の屈折率を乗じた値が、入射光の波長の 2.0 倍以下であることが好ましい。

#### 【0028】

< 低屈折率領域の幅 >

図 4 (a) は、低屈折率領域 113 の幅が広い場合の低屈折率領域 113 の中央付近に入射した光の様子を示している。この場合、低屈折率領域 113 の中央付近に入射した光が、光分離層 110 内のステップ状に変化する屈折率差による影響を十分に受けない。そのため、バリア領域 123 にそのまま入射してしまう。一方、図 4 (b) は、低屈折率領域 113 の幅が狭い場合の低屈折率領域 113 の中央付近に入射した光の様子を示している。この場合、低屈折率領域 113 の中央付近に入射した光が十分に曲げられずに、バリア領域 123 にそのまま入射してしまう。なお、バリア領域 123 の幅とは光電変換部 121、122 の間の距離である。

10

#### 【0029】

図 4 (c) は、バリア領域 123 の幅に対する低屈折率領域 113 の幅の比の値変化に伴う測距画素 100 の感度の入射角度依存性を示している。グラフの凡例は、低屈折率領域 113 の幅がバリア領域 123 の幅の何倍であることを示している。図 4 (c) より、高屈折率領域 111、112 の間隔、つまり、低屈折率領域 113 の幅が、バリア領域 123 の幅と同じ場合に、感度が大きいことがわかる。なお、低屈折率領域 113 の幅が、バリア領域 123 の幅の 0.40 倍以上 1.4 倍以下であると、垂直入射光に対する感度が、ピーク感度の 8 割以上となるため好ましい。

20

#### 【0030】

< 屈折率のステップ部分の幅 >

光分離層 110 の製造方法は以下の二通りのどちらかを用いればよい。一つ目の方法は、低屈折率領域 113 を形成する媒質を成膜した後、フォトリソグラフィとエッチングによって光電変換部 121、122 の上部を除去し、そこに高屈折率領域 111、112 を形成する媒質を充填する方法である。この場合、図 5 (a) で示すように、一般的には高屈折率領域 111、112 の形状は、光の入射側から光電変換部 121、122 側に向かって徐々に小さくなる逆テーパ形状となる。

#### 【0031】

もう一つは、高屈折率領域 111、112 を形成する媒質を成膜した後、バリア領域 123 の上部を除去し、低屈折率領域 113 を形成する媒質を充填する方法である。この場合、図 5 (b) で示すように、一般的には高屈折率領域 111、112 の形状は、光の入射側から光電変換部 121、122 側に向かって徐々に大きくなる順テーパ形状となる。

30

#### 【0032】

いずれの場合でも、高屈折率領域 111、112 のテーパ角度が 90 度に近いほうが、ステップ状の部分の幅 114 が小さいため好ましい。入射光の広がりに対して、ステップ状の部分の幅 114 が十分小さければ、入射光は、ステップ状の不連続な屈折率変化の影響を受けることができる。その結果、低屈折率領域 113 に入射する光を高屈折率領域 111 または高屈折率領域 112 に効率よく分離できる。一方、ステップ状の部分の幅 114 が大きすぎる場合、入射光は屈折率変化をステップ状の不連続な屈折率変化の影響を十分に受けない。その結果、光分離層 110 の分離性能が不十分になってしまう。

40

#### 【0033】

図 5 (c) は、高屈折率領域 111、112 の側面部分の、ステップ状の部分の幅 114 の変化に伴う測距画素の感度の入射依存性を示している。グラフの凡例は、ステップ状の部分の幅 114 が入射光の波長の何倍であることを示している。図 5 (c) より、屈折率がステップ状に変化する部分の幅 114 が小さいほど、垂直入射光に対する感度の凹みが小さくなっていることがわかる。特に、屈折率がステップ状に変化する部分の幅 114 が入射光の波長以下であるときに、垂直入射光に対する感度がピーク感度の 8 割以上となる。従って、ステップ状の部分の幅 114 が入射光の波長以下であることが好ましい。更に

50



、ステップ状の部分の幅 114 が入射光の波長の 0.20 倍以下であれば、ステップ状の部分の幅 114 がゼロ（即ち、テーパ角が 90 度）の場合とほぼ同じ感度を得られることがわかる。従って、ステップ状の部分の幅が入射光の波長の 0.20 倍以下であれば、更に好ましい。

#### 【0034】

<変形例>

上記の例では、光分離層 110 において、高屈折率領域 111、112 を構成する材料と低屈折率領域 113 を構成する材料の種類を変えることで、屈折率をステップ状に変化させる例を示した。しかし、入射する光が感じる実効的な屈折率がステップ状に変化していればよい。

#### 【0035】

他の構成例としては、高屈折率領域 111、112 や低屈折率領域 113 が、宿主媒質中にゲスト媒質が分散されたコンジット材料で形成されていてもよい。宿主媒質領域、ゲスト媒質領域の大きさが入射する光の波長（光の回折拡がり）よりも十分小さければ、光は宿主媒質とゲスト媒質の影響を同時にうける。従って、入射する光は、宿主媒質やゲスト媒質そのものの屈折率ではなく、ゲスト媒質の体積充填率で決定される実効的な屈折率を感じる。このように、コンジット材料のゲスト媒質の体積充填率を制御することで、実効的な屈折率を変化させることができる。

#### 【0036】

図 6 (a)、(b) は、光分離層 110 を取り出した模式図である。この光分離層 110 は、高屈折率領域 111、112 や低屈折率領域 113 としてコンジット材料で構成されている。高屈折率領域 111、112、低屈折率領域 113 は、 $\text{SiO}_2$  からなる宿主媒質 151 中に、 $\text{SiO}_2$  よりも屈折率が高い  $\text{TiO}_2$  からなるゲスト媒質 152 が分散されたコンジット材料から構成されている。そして、低屈折率領域 113 から高屈折率領域 111、112 に向かって、ゲスト媒質 152 の体積密度がステップ状に増加している。具体的には、図 6 (a) は高屈折率領域 111、112 中のゲスト媒質 152 の大きさが低屈折率領域 113 のそれよりも大きい構成である。一方、図 6 (b) は高屈折率領域 111、112 中のゲスト媒質 152 の数密度が低屈折率領域 113 のそれよりも大きい構成である。このような構成とすれば、高屈折率領域 111、112 の実効的な屈折率を、低屈折率領域 113 の実効的な屈折率よりも高くすることが可能となる。その結果、光分離層 110 の中でステップ状の屈折率を形成することが可能となる。

#### 【0037】

また、他の例としては、高屈折率領域 111、112 や低屈折率領域 113 が、波長以下の大きさの共鳴構造を有していてもよい。金属微粒子や、スプリットリング共振器などのような構造中では、光は構造の形状によって決まる共鳴を感じ、その共鳴状態によって実効的な屈折率が決定される。このように、高屈折率領域や低屈折率領域が、共鳴構造によって形成されている場合、構造の形状を制御することで、実効的な屈折率を変化させることができる。具体的には、構造の共鳴波長と入射する光の波長が近いほど、実効的な屈折率を大きくすることができる。

#### 【0038】

図 6 (c) は、高屈折率領域 111、112 及び低屈折率領域 113 が、Al 微粒子で構成された光分離層 110 の構成例を示している。この構成では、低屈折率領域 113 に含まれる Al 微粒子の大きさが高屈折率領域 111、112 のそれよりも大きい。そして、高屈折率領域 111、112 中の Al 微粒子 153 の共鳴波長の方が、低屈折率領域 113 中の Al 微粒子 154 の共鳴波長よりも、入射する光の波長に近くなっている。このような構成とすれば、高屈折率領域 111、112 の実効的な屈折率を、低屈折率領域 113 の実効的な屈折率よりも高くすることができる。

#### 【0039】

バリア領域 123 上の低屈折率領域 113 から高屈折率領域 111、112 に向かって屈折率がステップ状に増加していれば、図 1 (a) のように、測距画素 100 の外側に、

10

20

30

40

50

低屈折率領域が配置されていてもよい。つまり、測距画素100の外側から光電変換部121、122上に向かって屈折率がステップ状に増加していてもよい。

【0040】

また、図7(a)のように、測距画素100の外側にまで高屈折率領域111、112を設け、測距画素100の外側から光電変換部121、122の上に向かっては屈折率が一定であってもよい。この構成では、光分離層110中の高屈折率領域111、112を形成するためのパターンが疎になり、製造が容易になるため好ましい。また、この場合、x方向に隣り合う測距画素があれば、その2つの測距画素に渡って連続的に高屈折率領域111、112が配置されていてもよい。ただし、図1(a)のように高屈折率領域111、112が光電変換部121、122上のみ設けられていた方が、より効率的に光束を光電変換部121、122に導くことができるため、この観点においては図1(a)の方が好ましい。

10

【0041】

図1(a)に示す測距画素100では、光分離層110の下部にマイクロレンズ102を設けたが、マイクロレンズ102は、本実施形態では必須の構成ではない。ただし、マイクロレンズ102を設けたほうが、光電変換部121、122に効率的に光を導くことができる。

【0042】

また、図1に示す測距画素100では、マイクロレンズ102の下部に複数の導波路104を設けたが、導波路104を設けなくてもよいし、1つの導波路のみで構成してもよい。ただし、複数の導波路104を設けたほうが、光電変換部121、122に効率的に光を導くことができるため好ましい。

20

【0043】

また、図7(b)のように、測距画素100にカラーフィルタ107を設けて、色情報の取得を同時に行ってもよい。具体的には、マイクロレンズ101と光分離層110の間に、光電変換部121、122をまたぐようにカラーフィルタ107を配置すればよい。

【0044】

また、瞳分割手段としてマイクロレンズ101を用いず、図7(c)のように、複数の光電変換部121、122にまたがって配置された単一の導波路108を使用してもよい。この導波路108は、入射方向によって、光束が導波路108に結合するモードが異なる機能を有する。そのため、入射方向に依存して、光束を異なる複数の光電変換部121、122に導くことができる。ただし、図1(a)のように瞳分割手段として、マイクロレンズ101を用いたほうが、製造が容易なため好ましい。しかし、測距画素の大きさが小さい場合には、図7(c)のように導波路108を用いた方が、瞳分割の効果が高くなるため好ましい。

30

【0045】

図1(a)では、基板120の光入射側に配線105を配置した表面照射型の固体撮像素子の例を示したが、図7(d)のように基板120の光入射側とは反対側に配線105を配置した裏面照射型の固体撮像素子であってもよい。

【0046】

図1(a)に示す測距画素100においては、バリア領域123上に配線105が配置されている場合を示した。この場合、バリア領域123の幅が、単に複数の光電変換部121、122間のクロストークを防止する場合に比べて、配線を設置する幅を確保するために広がる。そのため、光分離層110を設けなかった場合、バリア領域123に入射する光量が多くなってしまう。従って、バリア領域123上に配線105が配置されている測距画素100に、光分離層110を適用した方が、光分離層110の効果が大きくなる。言い換えれば、光分離層110を配置することにより、バリア領域123上に配線105が配置されている場合など、バリア領域123の幅が広い場合でも、測距画素100の感度を向上させることができる。

40

【0047】

50

なお、バリア領域 123 上に配線 105 を配置できれば、回路設計の自由度が上がるため、ノイズ低減などの機能付加や、製造コスト低減が実現できる。

【0048】

複数の測距画素のうち、一部の測距画素を、図 1 ( a ) に示す測距画素 100 の構造を z 軸周りに 90 度回転し、射出瞳を y 軸方向に分割して測距画素にしてもよい。射出瞳を x 軸方向に分割した画素では、x 軸方向にコントラストを有する被写体の測距が、射出瞳を y 軸方向に分割した画素では、y 軸方向にコントラストを有する被写体の測距が可能となる。

【0049】

図 1 ( a ) では、測距画素 100 中に設けられる光電変換部 121、122 を二つとしたが、三つ以上の光電変換部が設けられていてもよい。図 1 ( a ) における x 方向に光電変換部を 3 つ以上設けた場合、結像光学系の瞳をより詳細に分割でき、高精度な測距が行える。

【0050】

また、図 1 ( a ) の y 方向にも複数の光電変換部を設けてもよい。図 8 は、x 方向に加えて y 方向にも複数の光電変換部を設けた場合の測距画素 150 の概略図である。図 8 ( a ) は測距画素 150 の x z 断面図 ( 図 1 ( a ) と同じ断面図 ) である。図 8 ( b ) は測距画素 150 の y z 断面図である。図 8 ( c ) は測距画素 150 の光分離層 160 で切断した x y 断面図である。図 8 ( d ) は測距画素 150 の光電変換部で切断した x y 断面図である。図 8 ( c )、( d ) において、A - A' で切断した断面図が図 8 ( a ) に対応し、B - B' で切断した断面図が図 8 ( b ) に対応する。また、図 8 ( a )、( b ) において C - C' で切断した断面図が図 8 ( c ) に対応し、D - D' で切断した断面図が図 8 ( d ) に対応する。測距画素 150 は、4 つの光電変換部 171 ~ 174 が設けられており、各光電変換部の間はバリア領域 175 となっている。マイクロレンズ 101 は、結像光学系の光軸から + x 方向かつ + y 方向に偏心した瞳領域からの光を光電変換部 171 に導くように配置されている。同様に、結像光学系の光軸から + x 方向かつ - y 方向に偏心した瞳領域は光電変換部 172 に導かれる。さらに、結像光学系の光軸から - x 方向かつ + y 方向に偏心した瞳領域は光電変換部 173 に、結像光学系の光軸から - x 方向かつ - y 方向に偏心した瞳領域は光電変換部 174 に導かれる。測距画素 150 のように、y 方向にも複数の光電変換部を設けることで、x 方向にコントラストを有する被写体だけでなく、y 方向や斜め方向にコントラストを有する被写体についても測距を行うことができる。

【0051】

光分離層 160 は、高屈折率領域 161 ~ 164 が、光電変換部 171 ~ 174 の上部に配置されている。すなわち、測距画素 100 と同様に、光分離層 160 は、マイクロレンズ 101 と複数の光電変換部 171、172、173、174 の間に位置している。そして、光分離層 160 内において、高屈折率領域 161 ~ 164 の間には低屈折率領域 165 が配置されている。さらに、測距画素 100 と同様に、高屈折率領域 161 ~ 164 と低屈折率領域 165 との境界において、屈折率がステップ状に変化している。このような構成とすることで、測距画素 100 と同様、バリア領域 175 に入射する光束を、光電変換部 171 ~ 174 に適切に分離させることが可能となる。その結果、測距画素 150 の信号を撮影画像として用いる際の画質の低下を抑制することができる。

【0052】

高屈折率領域 161 ~ 164 の形状は、図 8 ( c ) に示すように円形であってもよいし、四角形などの多角形であってもよい。但し、通常、光電変換部 171 ~ 174 の平面視形状は、図 8 ( d ) に示すような四角形であるため、高屈折率領域 161 ~ 164 の平面視形状も四角形である方が好ましい。高屈折率領域 161 ~ 164 の平面視形状が四角形であると、屈折率がステップ状に変化する部分の形状が、バリア領域 175 と光電変換部 171 ~ 174 の境界の形状と一致させることができる。その結果、低屈折率領域 165 に入射する光を高屈折率領域 161 ~ 164 に効率良く分離できるため、好ましい。

【0053】

10

20

30

40

50

< 測距画素と撮像素素との関係 >

固体撮像素子は、上述した測距画素 100 (あるいは測距画素 150) のみを有する構成でもよいが、図 9 (a) で示すような測距画素の他に通常の撮像素素 130 を有していてもよい。撮像素素 130 は、測距画素とは異なり、画素中に単一の光電変換部 124 を有し、光束の入射方向によらずに同一の光電変換部 124 で光を検出する構成になっている。

【0054】

固体撮像素子が、図 9 (b) のように、測距画素 100 と撮像素素 130 とを両方有する構成の場合には、パリア領域 123 上に配線 105 を配置することが好ましい。図 9 (a) で示すように、一般に、撮像素素 130 では、光電変換部 124 の外側に配線 105 が配置されている。仮に、測距画素 100 のパリア領域 123 上に配線 105 を設けずに、光電変換部 121、122 の外側に設けた場合、測距画素 100 と通常の撮像素素 130 の間で、配線パターンにズレが生じ、回路設計が複雑化し、製造が困難になる。そのため、測距画素 100 のパリア領域 123 上に配線 105 を設けることが好ましく、この構成において、光分離層 110 の効果が高くなる。

10

【0055】

なお、図 9 (b) には、撮像素素 130 二つ分の大きさで測距画素 100 を構成している例を示しているが、撮像素素 130 と測距画素 100 の大きさが同じでもよい。ただし、配線パターンを同一にするためには、測距画素 100 の大きさが撮像素素 130 の整数倍であることが好ましい。

20

【0056】

< 撮像装置 >

図 10 は、本実施形態に係る固体撮像素子を備えた撮像装置 190 の概略図である。撮像装置 190 は、測距画素 100 を有する固体撮像素子 193 の他に、結像光学系 191、CPU 192、転送回路 194、信号処理部 195 を有する。CPU 192 は、転送回路 194、信号処理部 195 の動作を制御する。光電変換部 121、122 で取得した信号を転送回路 194 によって信号処理部 195 に転送し、信号処理部 195 で各像を形成し、各々の像を信号処理部 195 で比較することで測距を行っている。また、同様に光電変換部 121、122 で取得した信号は、信号処理部 195 で処理され、撮影画像用の信号としても使用される。

30

【0057】

(実施形態 2)

図 11 は、本実施形態に係る固体撮像素子の一部もしくは全部に配置された測距画素 200 の概略図である。本実施形態に係る測距画素 200 は、実施形態 1 に示す測距画素 100 に対し、マイクロレンズ 102 がなく、導波路上膜 103 と光分離層 210 が接続している点で異なっている。導波路 104 の上部に導波路 104 のコア 104a と同一の材料からなる導波路上膜 103 が配置されている。このため、光分離層 210 と導波路上膜 103 と導波路 104 とが接続されている。このような構成とすることで、マイクロレンズ 102 を設ける工程が不要となり、光分離層 210 を導波路上膜 103 の一部分を除去することにより製造できるため、製造が容易となる。

40

【0058】

導波路上膜 103 は、製造工程の面、測距画素 200 の感度向上の観点から設けられている。なぜならば、光分離層 210 によって分離された光は、光分離層 210 のステップ状に変化する屈折率差による影響で低屈折率領域 213 から高屈折率領域 211、212 の方に曲げられる。このような光は導波路 104 のモードとの結合効率が悪いいため、導波路上膜 103 を設けずに光分離層 210 と導波路 104 とを直接接続すると、光分離層 210 によって曲げられた光が導波路 104 に結合せず、損失となる。

【0059】

一方、導波路上膜 103 がある場合、光分離層 210 によって曲げられた光を導波路上膜 103 中で伝播させた後、緩やかに導波路 104 に結合させることができる。その結果

50

、光分離層 210 によって分離された光を効率よく導波路 104 に導くことができ、測距画素 200 の感度を更に向上させることができる。特に、導波路上膜 103 の厚さは、200 nm 以上 800 nm 以下であることが、製造工程の点、測距画素 200 の感度の点から好ましい。

#### 【0060】

< 製造方法 >

測距画素 200 の具体的な製造方法を、図 12 を用いて説明する。なお、公知の構成についての製造方法の詳細な説明は省略する。まず、図 12 (a) で示すように、基板 120 内に光電変換部 121、122 を形成し、次に、ゲッタリング層 106、クラッド部材 104c と配線 105 を形成する。次に、図 12 (b) で示すように、クラッド部材 104c において、導波路 104 のクラッド 104b となる部分を残し、コアとなる部分をフォトリソグラフィとエッチングによって除去する。

10

#### 【0061】

続いて、図 12 (c) で示すように、除去されたクラッド部材 104c (例えば酸化シリコン) よりも屈折率の高い材料 (例えば窒化シリコン) を CVD やスパッタ等で成膜し、CMP などによって表面を平坦化する。この工程で、クラッド部材 104c が除去された領域にコア 104a が形成されてコア 104a とクラッド 104b からなる導波路 104 が光電変換部 121、122 上に形成される。さらに、導波路 104 のコア 104a と同一の材料からなる、導波路上膜 103 が形成される。

#### 【0062】

その後、図 12 (d) のように、導波路上膜 103 のうち、光分離層 210 の高屈折率領域 211、212 になる部分を残して、バリア領域 123 の上部の領域 215 をエッチングによって除去する。続いて、図 12 (e) のように、領域 215 を高屈折率領域 211、212 よりも屈折率の低い材料 (例えば酸化シリコン) で埋めて低屈折率領域 213 とすることで、光分離層 210 を形成する。最後に、図 12 (f) のように、マイクロレンズ 101 を作製して、測距画素 200 を製造する。

20

#### 【0063】

(実施形態 3)

< 光電変換部直上に光分離層を配置した場合 >

図 13 (a) は、本実施形態に係る固体撮像素子の一部もしくは全部に配置された測距画素 300 の概略図である。測距画素 300 は、実施形態 1 に示す測距画素 100 に対し、マイクロレンズ 102、導波路上膜 103、導波路 104 が設けられず、ゲッタリング層 106 を介して光電変換部 121、122 の直上に光分離層 310 が設けられている点異なる。また、バリア領域 123 上には配線が設けられず、図 1 (a) のバリア領域 123 上の配線 105 に対応する配線は、光電変換部 121、122 の外側の配線 305 の一部で構成される。

30

#### 【0064】

光分離層 310 は、高屈折率領域 311、312 と、低屈折率領域 313 と、を有し、高屈折率領域 311、312 と低屈折率領域 313 との境界において、屈折率がステップ状に変化している。これにより、バリア領域 123 に入射する光を、高屈折率領域 311、312 に分離することができる。分離された光は、光電変換部 121、122 に入射するため、測距画素の感度を向上させることができる。

40

#### 【0065】

なお、図 13 (b)、(c) のように、測距画素 300 を配線 305 が光入射側とは反対側に設けられた、裏面照射型の固体撮像素子に適用してもよい。図 13 (b) は、バリア領域 123 の下部に配線 305 が設けられている例であり、図 13 (c) は、バリア領域 123 の下部の配線を光電変換部 121、122 の外側に移動して、バリア領域 123 の幅を狭くした例である。

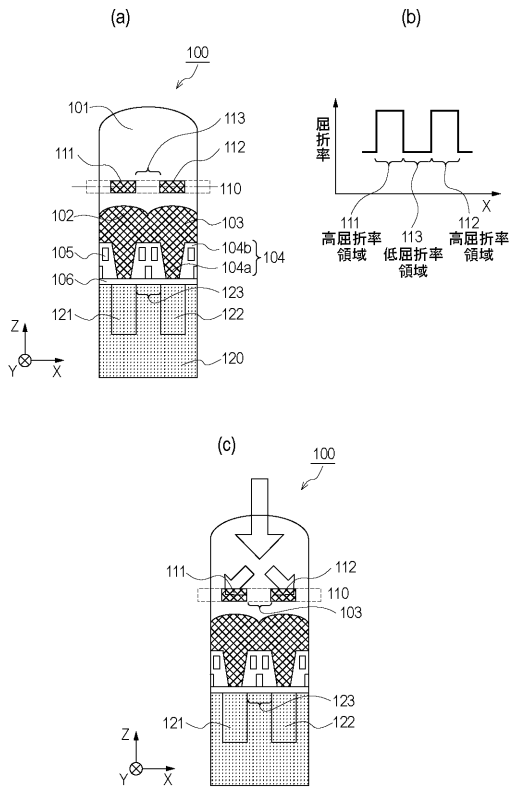
#### 【符号の説明】

#### 【0066】

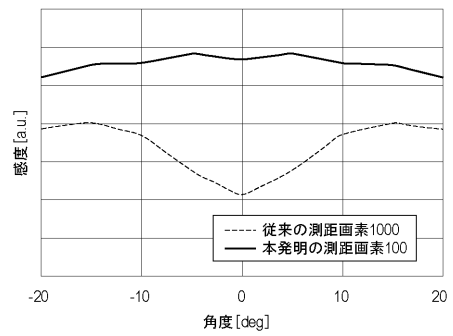
50

- 100、150、200、300 測距画素
- 101 マイクロレンズ
- 108 導波路
- 110 光分離層
- 111、112、161、162、163、164、311、312 高屈折率領域
- 113、165、313 低屈折率領域
- 121、122、171、172、173、174 光電変換部
- 193 固体撮像素子

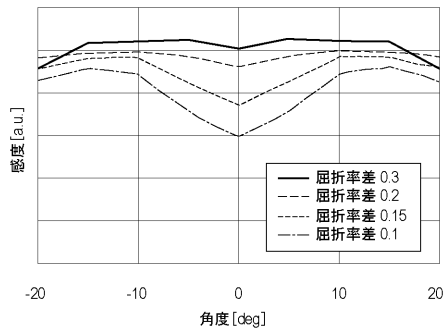
【図1】



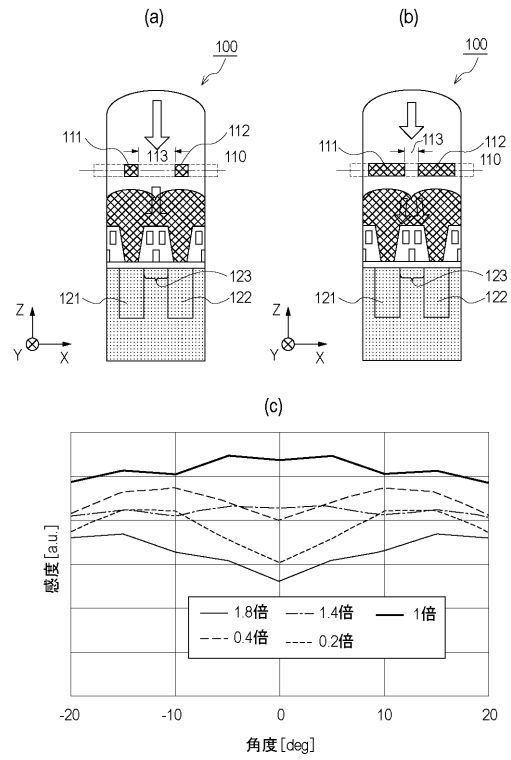
【図2】



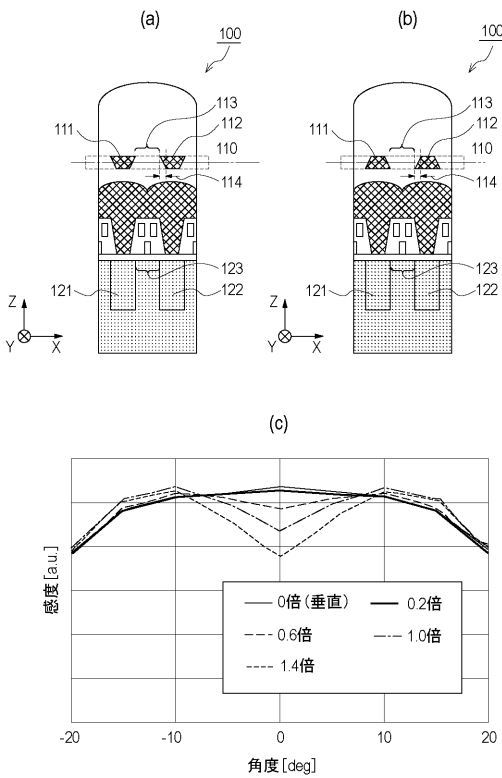
【 图 3 】



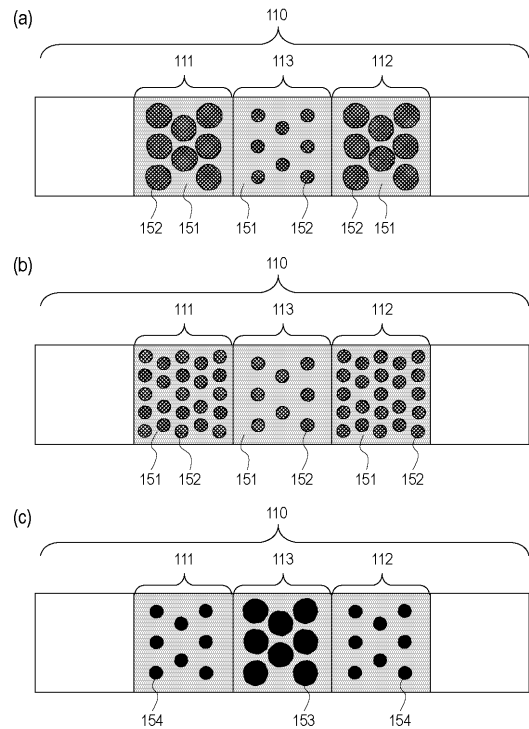
【 图 4 】



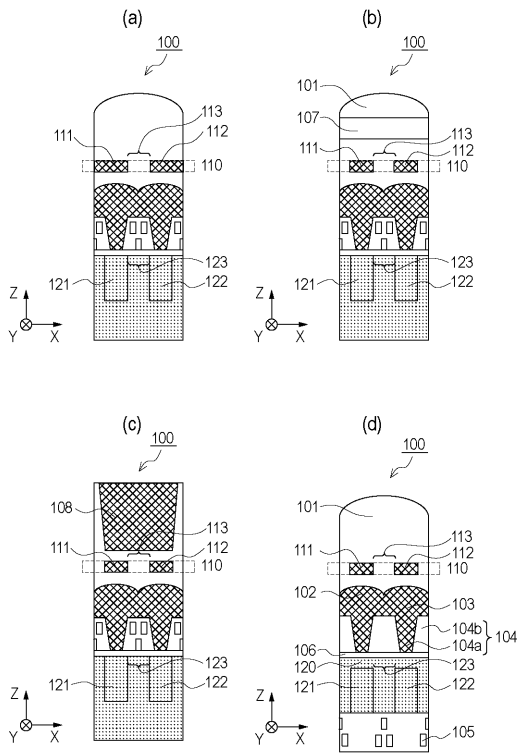
【 图 5 】



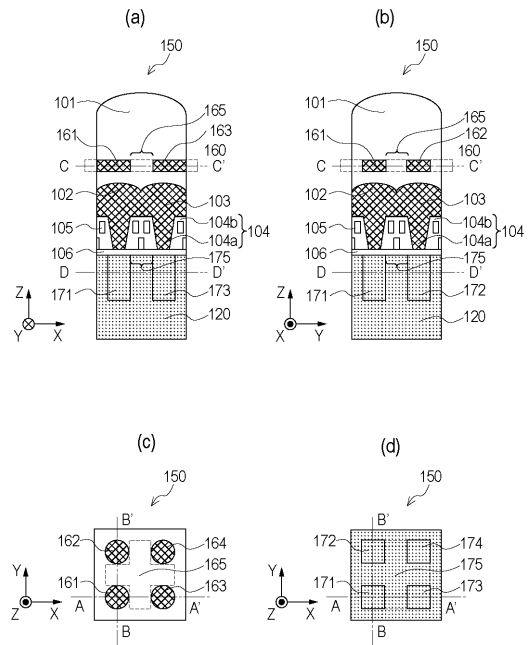
【 图 6 】



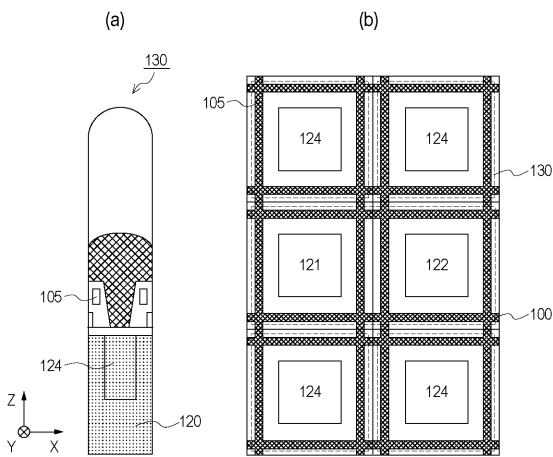
【 図 7 】



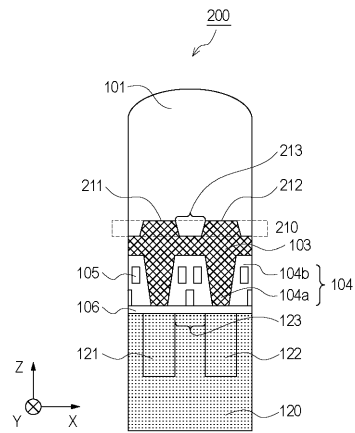
【 図 8 】



【 図 9 】

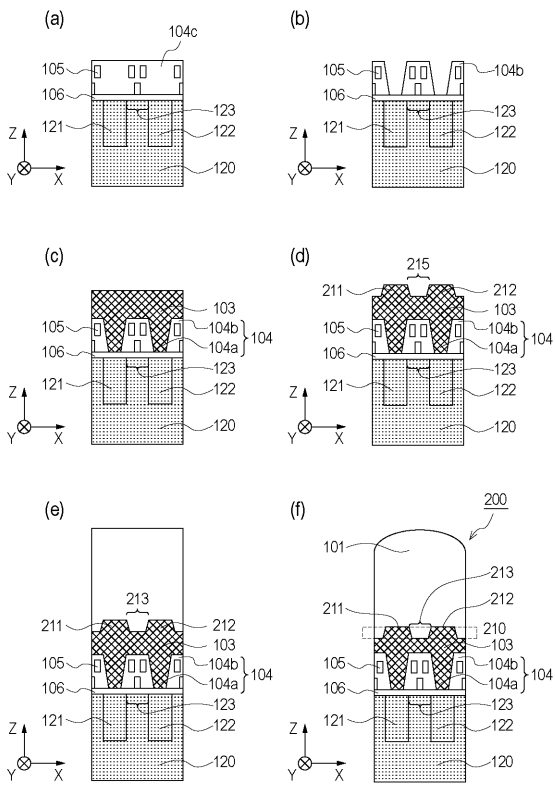


【 図 1 1 】

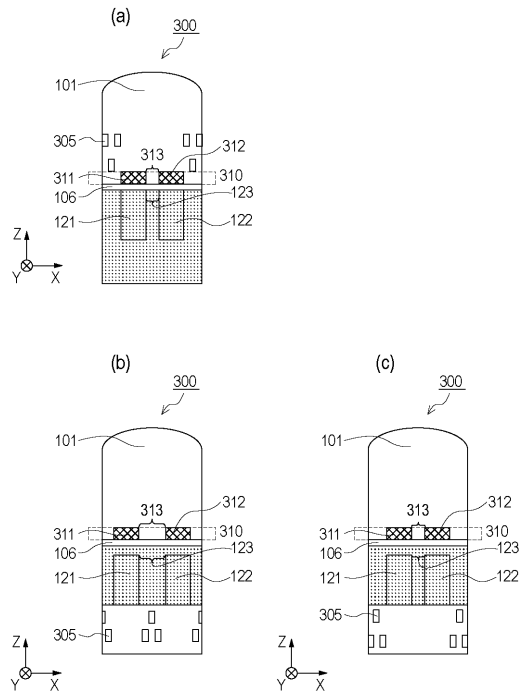




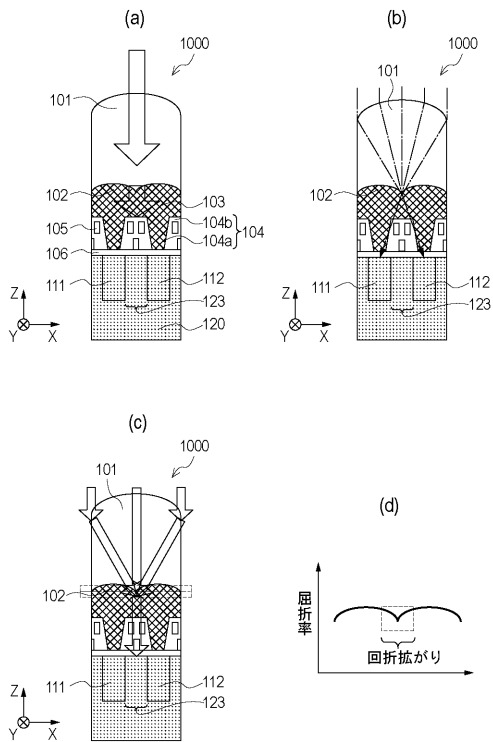
【 図 1 2 】



【 図 1 3 】



【 図 1 4 】



【 図 1 0 】

