

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特許公報(B2)

(11) 特許番号

特許第5372102号
(P5372102)

(45) 発行日 平成25年12月18日(2013.12.18)

(24) 登録日 平成25年9月27日(2013.9.27)

(51) Int.Cl.

F 1

H01L 27/14 (2006.01)
H01L 31/0232 (2006.01)H01L 27/14
H01L 31/02D
D

請求項の数 28 (全 30 頁)

(21) 出願番号 特願2011-223303 (P2011-223303)
 (22) 出願日 平成23年10月7日 (2011.10.7)
 (65) 公開番号 特開2012-182432 (P2012-182432A)
 (43) 公開日 平成24年9月20日 (2012.9.20)
 審査請求日 平成25年2月5日 (2013.2.5)
 (31) 優先権主張番号 特願2011-26345 (P2011-26345)
 (32) 優先日 平成23年2月9日 (2011.2.9)
 (33) 優先権主張国 日本国 (JP)

早期審査対象出願

(73) 特許権者 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 栗原 政樹
 東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤ
 ノン株式会社内
 (72) 発明者 小林 昌弘
 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

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】光電変換装置および撮像システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

各々が、光電変換部と、第1レンズ部と、前記第1レンズ部と前記光電変換部との間に設けられた第2レンズ部と、前記第2レンズ部と前記光電変換部との間に設けられた導光路と、を備える複数の受光素子が配列された光電変換装置であって、

前記複数の受光素子は、第1受光素子と、第1方向において前記第1受光素子に隣り合う第2受光素子と、前記第1方向に対して斜めの第2方向において前記第1受光素子に隣り合う第3受光素子とを含み、前記第1受光素子の第1レンズ部の光軸と前記第2受光素子の第1レンズ部の光軸との距離が、前記第1受光素子の第1レンズ部の前記光軸と前記第3受光素子の第1レンズ部の光軸との距離よりも小さく、

前記第2受光素子の第1レンズ部が前記第1受光素子の第1レンズ部に接し、前記第2受光素子の第2レンズ部が前記第1受光素子の第2レンズ部から離れており、

前記複数の受光素子の第2レンズ部の各々は、前記第1レンズ部側に凸の曲面を有する凸レンズ形状を呈し、かつ、レンズ体と、前記曲面に沿って設けられた、前記第2レンズ部の前記レンズ体の屈折率よりも低い屈折率を有する層を含むコーティングと、で構成されており、

前記第1受光素子の第2レンズ部と前記第2受光素子の第2レンズ部との間には、前記第2レンズ部の前記レンズ体と同じ材料からなる基体と、前記第2レンズ部の前記コーティングとで構成された連結部が設けられており、

前記第1方向における前記第1受光素子の導光路の幅が、前記第1方向における前記第

10

20

1 受光素子の第 2 レンズ部の幅よりも小さく、

前記第 1 受光素子の第 2 レンズ部と前記第 1 受光素子の導光路との間に、前記第 1 受光素子の第 2 レンズ部の屈折率よりも低い屈折率を有する低屈折率膜が設けられていることを特徴とする光電変換装置。

【請求項 2】

前記第 3 受光素子の第 1 レンズ部が前記第 1 受光素子の第 1 レンズ部に接していることを特徴とする請求項 1 に記載の光電変換装置。

【請求項 3】

各々が、光電変換部と、第 1 レンズ部と、前記第 1 レンズ部と前記光電変換部との間に設けられた第 2 レンズ部と、前記第 2 レンズ部と前記光電変換部との間に設けられた導光路と、を備える複数の受光素子が配列された光電変換装置であって、

10

前記複数の受光素子は、第 1 受光素子と、第 1 方向において前記第 1 受光素子に隣り合う第 2 受光素子と、前記第 1 方向に対して斜めの第 2 方向において前記第 1 受光素子に隣り合う第 3 受光素子とを含み、前記第 1 受光素子の第 1 レンズ部の光軸と前記第 2 受光素子の第 1 レンズ部の光軸との距離が、前記第 1 受光素子の第 1 レンズ部の前記光軸と前記第 3 受光素子の第 1 レンズ部の光軸との距離よりも小さく、

前記第 2 受光素子の第 1 レンズ部および前記第 3 受光素子の第 1 レンズ部が前記第 1 受光素子の第 1 レンズ部に接しており、前記第 2 受光素子の第 2 レンズ部および前記第 3 受光素子の第 2 レンズ部が前記第 1 受光素子の第 2 レンズ部から離れており、

前記複数の受光素子の第 2 レンズ部の各々は、前記第 1 レンズ部側に凸の曲面を有する凸レンズ形状を呈し、

20

前記第 1 方向における前記第 1 受光素子の導光路の幅が、前記第 1 方向における前記第 1 受光素子の第 2 レンズ部の幅よりも小さく、

前記第 2 方向における前記第 1 受光素子の導光路の幅が、前記第 2 方向における前記第 1 受光素子の第 2 レンズ部の幅よりも小さく、

前記第 1 受光素子の第 2 レンズ部と前記第 1 受光素子の導光路との間に、前記第 1 受光素子の第 2 レンズ部の屈折率よりも低い屈折率を有する低屈折率膜が設けられていることを特徴とする光電変換装置。

【請求項 4】

前記第 1 受光素子の第 2 レンズ部と前記第 2 受光素子の第 2 レンズ部との間、および、前記第 1 受光素子の第 2 レンズ部と前記第 3 受光素子の第 2 レンズ部との間には、前記第 1 受光素子の第 2 レンズ部と同じ材料で構成された連結部が設けられていることを特徴とする、請求項 3 に記載の光電変換装置。

30

【請求項 5】

各々が、光電変換部と、第 1 レンズ部と、前記第 1 レンズ部と前記光電変換部との間に設けられた第 2 レンズ部と、前記第 2 レンズ部と前記光電変換部との間に設けられた導光路と、を備える複数の受光素子が配列された光電変換装置であって、

前記複数の受光素子は、第 1 受光素子と、第 1 方向において前記第 1 受光素子に隣り合う第 2 受光素子と、前記第 1 方向に対して斜めの第 2 方向において前記第 1 受光素子に隣り合う第 3 受光素子とを含み、前記第 1 受光素子のレンズ部の光軸と前記第 2 受光素子のレンズ部の光軸との距離が、第 1 受光素子のレンズ部の前記光軸と前記第 3 受光素子のレンズ部の光軸との距離よりも小さく、

40

前記第 1 方向における前記第 1 受光素子の第 1 レンズ部の幅が、前記第 1 受光素子の第 1 レンズ部の前記光軸と前記第 2 受光素子の第 1 レンズ部の前記光軸との前記距離に等しく、

前記第 2 方向における前記第 1 受光素子の第 1 レンズ部の幅が、前記第 1 受光素子の第 1 レンズ部の前記光軸と前記第 3 受光素子の第 1 レンズ部の前記光軸との前記距離に等しく、

前記第 2 方向における前記第 1 受光素子の第 2 レンズ部の幅が、前記第 1 受光素子の第 1 レンズ部の前記光軸と前記第 3 受光素子の第 1 レンズ部の前記光軸との前記距離より小

50

さく、

前記複数の受光素子の第2レンズ部の各々は、前記第1レンズ部側に凸の曲面を有する凸レンズ形状を呈し、前記第1受光素子の第2レンズ部と前記第3受光素子の第2レンズ部との間には、前記第1受光素子の第2レンズ部と同じ材料で構成された連結部が設けられており、

前記第2方向における前記第1受光素子の導光路の幅が、前記第2方向における前記第1受光素子の第2レンズ部の前記幅よりも小さく、前記第1受光素子の第2レンズ部と前記第1受光素子の導光路との間に、前記第1受光素子の第2レンズ部の屈折率よりも低い屈折率を有する低屈折率膜が設けられていることを特徴とする光電変換装置。

【請求項6】

前記第1方向における前記第1受光素子の第2レンズ部の幅が、前記第1受光素子の第1レンズ部の前記光軸と前記第2受光素子の第1レンズ部の前記光軸との前記距離より小さいことを特徴とする請求項5に記載の光電変換装置。

【請求項7】

前記複数の受光素子の各々は、前記第1レンズ部と前記第2レンズ部との間に、カラーフィルタを備えることを特徴とする請求項1乃至6のいずれか1項に記載の光電変換装置。

【請求項8】

前記複数の受光素子の導光路の各々は、絶縁膜で囲まれていることを特徴とする請求項1乃至7のいずれか1項に記載の光電変換装置。

【請求項9】

前記絶縁膜は前記導光路の屈折率よりも低い屈折率を有する絶縁層を含み、前記複数の受光素子の導光路の各々は、前記絶縁層の屈折率よりも高い屈折率を有する高屈折率膜で互いに連結されていることを特徴とする請求項8に記載の光電変換装置。

【請求項10】

前記高屈折率膜は前記絶縁膜と前記低屈折率膜の間に位置し、前記低屈折率膜は前記高屈折率膜の屈折率よりも低い屈折率を有することを特徴とする請求項9に記載の光電変換装置。

【請求項11】

前記低屈折率膜は、前記第1受光素子の第2レンズ部の屈折率よりも低い屈折率を有する第1低屈折率層と、前記第1低屈折率層と前記導光路の間に配された、前記第1低屈折率層の屈折率よりも低い屈折率を有する第2低屈折率層と、を含むことを特徴とする請求項10に記載の光電変換装置。

【請求項12】

前記低屈折率膜は、前記第2低屈折率層と前記導光路との間に配された、前記第2低屈折率層の屈折率と前記高屈折率膜の屈折率の間の屈折率を有する第3低屈折率層を含むことを特徴とする請求項11に記載の光電変換装置。

【請求項13】

前記第1受光素子の第2レンズ部の屈折率が前記導光路の屈折率よりも高く、前記第1低屈折率層の屈折率が、前記第3低屈折率層の屈折率よりも高いことを特徴とする請求項12に記載の光電変換装置。

【請求項14】

前記複数の受光素子の第1レンズ部の各々は、レンズ体と、前記第1レンズ部のレンズ体の曲面に沿って設けられた、前記第1レンズ部のレンズ体の屈折率よりも低い屈折率を有する層を含むコーティングと、で構成されていることを特徴とする請求項1乃至13のいずれか1項に記載の光電変換装置。

【請求項15】

前記第2受光素子の第1レンズ部のレンズ体が、前記第3受光素子の第1レンズ部のレンズ体に接していることを特徴とする請求項14に記載の光電変換装置。

【請求項16】

10

20

30

40

50

前記第1レンズ部の前記コーティングは、前記第1レンズ部の前記レンズ体の屈折率よりも高い屈折率を有する層を含むことを特徴とする請求項14または15に記載の光電変換装置。

【請求項17】

前記第1レンズ部の前記レンズ体は樹脂からなり、前記第1レンズ部の前記コーティングは酸化シリコン、酸窒化シリコンおよび窒化シリコンの少なくともいずれかを含むことを特徴とする請求項14乃至16のいずれか1項に記載の光電変換装置。

【請求項18】

前記複数の受光素子の第2レンズ部の各々は、レンズ体と、前記第2レンズ部の前記レンズ体の曲面に沿って設けられた、前記第2レンズ部の前記レンズ体の屈折率よりも低い屈折率を有する層を含むコーティングと、で構成されていることを特徴とする4乃至8のいずれか1項に記載の光電変換装置。

【請求項19】

前記第2レンズ部の前記レンズ体は窒化シリコンからなり、前記第2レンズ部の前記コーティングは酸窒化シリコンを含むことを特徴とする請求項1、2、3または18に記載の光電変換装置。

【請求項20】

前記第2レンズ部は、前記第1レンズ部の材料の屈折率よりも高い屈折率を有する材料を含むことを特徴とする請求項1乃至19のいずれか1項に記載の光電変換装置。

【請求項21】

前記第1受光素子の第1レンズ部の前記光軸と前記第2受光素子の第1レンズ部の前記光軸との前記距離が、 $2.0 \mu m$ 以下であることを特徴とする請求項1乃至20のいずれか1項に記載の光電変換装置。

【請求項22】

前記複数の受光素子の各々の第1レンズ部の曲率が $0.49 (1/\mu m)$ 以上であることを特徴とする請求項1乃至21のいずれか1項に記載の光電変換装置。

【請求項23】

前記第1低屈折率層および前記第3低屈折率層が酸窒化シリコンからなり、前記第2低屈折率層が酸化シリコンからなることを特徴とする請求項12または13に記載の光電変換装置。

【請求項24】

前記高屈折率膜の材料は、前記導光路の材料と同じであることを特徴とする請求項9に記載の光電変換装置。

【請求項25】

前記複数の受光素子の導光路の各々は、第1部分と、前記絶縁層と前記第1部分との間に位置する第2部分とを有しており、前記第1部分の屈折率が前記第2部分の屈折率と異なることを特徴とする請求項8乃至13および24のいずれか1項に記載の光電変換装置。

【請求項26】

前記第2部分の材料は、前記第1部分の材料と同じであることを特徴とする請求項25に記載の光電変換装置。

【請求項27】

前記複数の受光素子の導光路の各々は、前記絶縁層よりも高い屈折率を有する高屈折率膜で互いに連結されており、前記高屈折率膜は下記の条件(i)、(i i)、(i i i)の少なくともいずれかを満たすことを特徴とする請求項8に記載の光電変換装置。

(i) 前記高屈折率膜は前記第1部分と同じ材料からなり、前記複数の受光素子の各々の導光路の前記第1部分に接している。

(i i) 前記高屈折率膜は前記第2部分と同じ材料からなり、前記複数の受光素子の各々の導光路の前記第2部分に接している。

(i i i) 前記高屈折率膜は、前記第1部分と同じ材料からなる第1高屈折率層と、前

10

20

30

40

50

記第2部分と同じ材料からなる第2高屈折率層と、を有しており、前記第1高屈折率層は前記複数の受光素子の各々の導光路の前記第1部分に連続し、前記第2高屈折率層は前記複数の受光素子の各々の導光路の前記第2部分に接している。

【請求項28】

請求項1乃至27のいずれか1項に記載の光電変換装置と、前記光電変換装置から出力された電気信号が入力され、前記電気信号を処理する信号処理装置と、を有することを特徴とする撮像システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

10

本発明は、複数の光電変換部を有する半導体基板を備えた光電変換装置およびそれを用いた撮像システムに関する。

【背景技術】

【0002】

複数の光電変換部を備えた光電変換装置においては、複数の光電変換部の各々に適切に光を入射させる必要がある。そのために、入射光を集光するためのレンズ（マイクロレンズ）や、入射光を光電変換部へ導光するための導光路（光導波路）を有する導光構造を設けることが有効である。

【0003】

特許文献1、2にはレンズおよび導光構造を有する光電変換装置が開示されている。

20

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【特許文献1】特開2007-201091号公報

【特許文献2】特開2008-192951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、2のように、マイクロレンズや導光路を画素毎に設けているにも関わらず、画像の輪郭がぼやけたり、カラー画像の場合には混色が生じたりするなど、画質の低下が確認された。これは入射光が適切でない光電変換部に入射していることが原因であると考えられる。そこで本発明は、適切な光を光電変換部に精度よく入射させることができる光電変換装置を提供することを目的とする。

30

【課題を解決するための手段】

【0006】

上記課題を解決するための本発明は、各々が、光電変換部と、第1レンズ部と、前記第1レンズ部と前記光電変換部との間に設けられた第2レンズ部と、前記第2レンズ部と前記光電変換部との間に設けられた導光路と、を備える複数の受光素子が配列された光電変換装置であって、前記複数の受光素子は、第1受光素子と、第1方向において前記第1受光素子に隣り合う第2受光素子と、前記第1方向に対して斜めの第2方向において前記第1受光素子に隣り合う第3受光素子とを含み、前記第1受光素子の第1レンズ部の光軸と前記第2受光素子の第1レンズ部の光軸との距離が、前記第1受光素子の第1レンズ部の前記光軸と前記第3受光素子の第1レンズ部の光軸との距離よりも小さい光電変換装置である。

40

上記課題を解決するための本発明は、上記光電変換装置に関して、前記第2受光素子の第1レンズ部が前記第1受光素子の第1レンズ部に接し、前記第2受光素子の第2レンズ部が前記第1受光素子の第2レンズ部から離れており、前記複数の受光素子の第2レンズ部の各々は、前記第1レンズ部側に凸の曲面を有する凸レンズ形状を呈し、かつ、レンズ体と、前記曲面に沿って設けられた、前記第2レンズ部の前記レンズ体の屈折率よりも低い屈折率を有する層を含むコーティングと、で構成されており、前記第1受光素子の第2

50

レンズ部と前記第2受光素子の第2レンズ部との間には、前記第2レンズ部の前記レンズ体と同じ材料からなる基体と、前記第2レンズ部の前記コーティングとで構成された連結部が設けられており、前記第1方向における前記第1受光素子の導光路の幅が、前記第1方向における前記第1受光素子の第2レンズ部の幅よりも小さく、前記第1受光素子の第2レンズ部と前記第1受光素子の導光路との間に、前記第1受光素子の第2レンズ部の屈折率よりも低い屈折率を有する低屈折率膜が設けられていることを特徴とする。

また、上記課題を解決するための本発明は、上記光電変換装置に関して、前記第2受光素子の第1レンズ部および前記第3受光素子の第1レンズ部が前記第1受光素子の第1レンズ部に接しており、前記第2受光素子の第2レンズ部および前記第3受光素子の第2レンズ部が前記第1受光素子の第2レンズ部から離れており、前記複数の受光素子の第2レンズ部の各々は、前記第1レンズ部側に凸の曲面を有する凸レンズ形状を呈し、前記第1方向における前記第1受光素子の導光路の幅が、前記第1方向における前記第1受光素子の第2レンズ部の幅よりも小さく、前記第2方向における前記第1受光素子の第2レンズ部の幅よりも小さく、前記第1受光素子の第2レンズ部と前記第1受光素子の導光路との間に、前記第1受光素子の第2レンズ部の屈折率よりも低い屈折率を有する低屈折率膜が設けられていることを特徴とする。

また、上記課題を解決するための本発明は、上記光電変換装置に関して、前記第1方向における前記第1受光素子の第1レンズ部の幅が、前記第1受光素子の第1レンズ部の前記光軸と前記第2受光素子の第1レンズ部の前記光軸との前記距離に等しく、前記第2方向における前記第1受光素子の第1レンズ部の幅が、前記第1受光素子の第1レンズ部の前記光軸と前記第3受光素子の第1レンズ部の前記光軸との前記距離に等しく、前記第2方向における前記第1受光素子の第2レンズ部の幅が、前記第1受光素子の第1レンズ部の前記光軸と前記第3受光素子の第1レンズ部の前記光軸との前記距離より小さく、前記複数の受光素子の第2レンズ部の各々は、前記第1レンズ部側に凸の曲面を有する凸レンズ形状を呈し、前記第1受光素子の第2レンズ部と前記第3受光素子の第2レンズ部との間に、前記第1受光素子の第2レンズ部と同じ材料で構成された連結部が設けられており、前記第2方向における前記第1受光素子の導光路の幅が、前記第2方向における前記第1受光素子の第2レンズ部の前記幅よりも小さく、前記第1受光素子の第2レンズ部と前記第1受光素子の導光路との間に、前記第1受光素子の第2レンズ部の屈折率よりも低い屈折率を有する低屈折率膜が設けられていることを特徴とする。

【発明の効果】

【0007】

本発明によれば、適切な光を光電変換部に精度よく入射させることができる。

【図面の簡単な説明】

【0008】

【図1】第1実施形態の光電変換装置を説明する模式図であり、(a)は光電変換装置の平面図、(b)は(a)のA-A'線及びB-B'線における断面図、(c)は(a)のC-C'線及びD-D'線における断面図断面図である。

【図2】第2実施形態の光電変換装置を説明する模式図であり、(a)は光電変換装置の平面図、(b)は(a)のA-A'線及びB-B'線における断面図、(c)は(a)のC-C'線及びD-D'線における断面図断面図である。

【図3】第3実施形態の光電変換装置を説明する模式図であり、(a)は光電変換装置の平面図、(b)は(a)のA-A'線及びB-B'線における断面図、(c)は(a)のC-C'線及びD-D'線における断面図断面図である。

【図4】第4実施形態の光電変換装置を説明する模式図であり、(a)は第4実施形態の第1例の断面図、(b)は第4実施形態の第2例の断面図、(c)は第4実施形態の第3例の断面図である。

【図5】光電変換装置の変形例を説明する模式図であり、(a)は第1変形例の断面図、(b)は第2変形例の断面図、(c)は第3変形例の断面図である。

10

20

30

40

50

【図6】光電変換装置の変形例を説明する模式図であり、(a)は第4変形例の断面図、(b)は第5変形例の断面図、(c)は第6変形例の断面図、(d)は第7変形例の断面図、(e)は第8変形例の断面図である。

【図7】第5実施形態の光電変換装置の一例の断面図である。

【図8】本発明を説明するための模式図である。

【図9】撮像システムの一例を説明するための模式図である。

【発明を実施するための形態】

【0009】

まず、光電変換装置1の概要について、図1(a)、(b)、(c)を用いて説明する。光電変換装置1は複数の受光素子10、11、12を備えている。図1(a)は光電変換装置1の平面図であり、 3×3 の二次元状に配列された9つの受光素子を示した。しかしながら、受光素子の数は2つ以上であれば本発明を適用することができ、2つ以上の受光素子を1次元状に配列してもよい。

10

【0010】

9つの受光素子(10、11、12)のうち、説明のために注目する、ある受光素子を注目受光素子10とする。図1(a)の例では、注目受光素子10は中央に位置しており、注目受光素子10に隣り合う8つの受光素子(11、12)がある。本発明で、「隣り合う」とは、複数の受光素子間に別の受光素子が存在していない形態を意味しており、複数の受光素子同士が接している形態と接していない(離れている)形態の両方を含む。本明細書では、受光素子に限らず、様々な部材について、「隣り合う」を斯かる意味として用いる。なお、「隣接」や「近接」といった用語も、複数の部材同士が接している形態と、複数の部材同士が隣り合って接していない(離れている)形態の両方を意味する場合がある。

20

【0011】

注目受光素子10に隣り合う8つの受光素子(11、12)のうちの4つの受光素子(1次近傍受光素子11)は、注目受光素子10の対辺方向(図面上で上下左右方向)で隣り合っており、注目受光素子10との距離(ピッチ)が最も短い位置に配されている。注目受光素子10に隣り合う8つの受光素子(11、12)のうちの残りの4つの受光素子(2次近傍受光素子12)は、注目受光素子10の対角方向(図面上で斜め方向)で隣り合っており、1次近傍受光素子11よりも注目受光素子10から離れて配されている。なお、注目受光素子10、1次近傍受光素子11、2次近傍受光素子12は相対的な位置関係によって便宜的に区別されるのであって、それぞれが実質的に同じ構造を有することができる。なお、受光素子が2つのみの場合、あるいは一次元状に配列されている場合には2次近傍受光素子12は存在しない。また、注目受光素子の周りに正六角形状に6つの受光素子が配列されていると、1次近傍受光素子11は6つとなり、2次近傍受光素子12も6つとなる場合もある。

30

【0012】

図1(b)は、光電変換装置1の注目受光素子10と1次近傍受光素子11を含む、図1(a)のA-A'線における断面図及びB-B'線における断面図である。図1(c)は光電変換装置1の注目受光素子10と2次近傍受光素子12を含む、図1(a)のC-C'線における断面図及びD-D'における断面図である。なお、図1(b)に示す構造は、図1(a)に示したA-A'線の断面とB-B'線の断面の一方のみで成立していてもよいが、両方で成立していることが好ましい。同様に、図1(c)に示す構造は、図1(a)に示したC-C'線の断面とD-D'線の断面の一方のみで成立していてもよいが、両方で成立していることが好ましい。

40

【0013】

半導体基板2は複数の光電変換部3を有しており、各光電変換部3が複数の受光素子の各々の一部を成している。各受光素子の光電変換部3を複数の領域に分割して、各受光素子が複数の光電変換領域からなる光電変換部を有していてもよい。典型的な半導体基板2はシリコンからなる。光電変換部3はフォトダイオードまたはフォトゲート等で構成され

50

ており、光電変換部3への入射光の強度に応じて信号電荷を生成する。また、半導体基板2は光電変換部3以外に、半導体素子4を有することができる。光電変換装置1がいわゆるCMOSセンサーのような画素増幅型の場合には、半導体素子4として、増幅トランジスタや、転送トランジタ、リセットトランジスタ等を含む。光電変換装置1がいわゆるCCDセンサーのような電荷転送型の場合には、半導体素子4として電荷結合素子を含む。上記したように、各受光素子の光電変換部3が複数の光電変換領域に分割されている場合、各光電変換領域毎に信号を得ることができる。なお、光電変換部3は、典型的には単結晶シリコンウエハに不純物を導入（注入や拡散）して形成されるが、ガラス基板等の上に、MIS型構造やPIN型構造を有する薄膜として形成してもよい。

【0014】

10

半導体基板2上には複数の材料を用いて構成された複合部材300が、複数の光電変換部3を覆うように設けられている。複合部材300は、少なくとも絶縁膜310と、高屈折率部材320と高屈折率膜330を有している。複合部材300は光学的機能および電気的機能を少なくとも有している。

【0015】

高屈折率部材320と高屈折率膜330は透明である。本発明において、「透明」とは、光電変換部3に入射することによって信号電荷を生成し得る光に対して透過性を有することを意味する。例えば後述するようにカラーフィルタ等の波長選択部材を設ける場合には、波長選択部材を透過した光の波長に対して透過性を有していればよい。

【0016】

20

絶縁膜310を各々が互いに異なる材料（絶縁材料）からなる複数の絶縁層が積層された多層膜としてもよい。典型的な絶縁膜310は透明である。絶縁膜310の材料としては、酸化シリコンや酸窒化シリコン、窒化シリコン、BSG（硼珪酸塩ガラス）、PSG（燐珪酸塩ガラス）、BPSG（硼燐珪酸塩ガラス）が好適である。絶縁膜310の屈折率は1.4～1.6であることが好ましい。絶縁膜310の厚みT_Lは0.55μm以上であることが好ましく、1.0μm以上であることがより好ましい。絶縁膜310を極端に厚くすると応力が大きくなったり、製造に時間がかかったりするため、実用的には、絶縁膜310の厚みT_Lは10μm以下とする。

【0017】

絶縁膜310は複数の開口311を有している。複数の開口311は別々の光電変換部3に対応するように、光電変換部3上の領域に設けられている。開口311の内側は絶縁膜310で囲まれてあり、絶縁膜310の表面の一部が、開口311の側面312を構成している。図1(b)、(c)では絶縁膜310の表面の別の一部が、開口311の底面313を構成しているが、半導体基板2が開口311の底面313を構成する場合には開口311は絶縁膜310を貫通して設けられるが、光電変換部3へのダメージを低減する観点では、絶縁膜310が開口311の底面313を構成することが好ましい。絶縁膜をエッチングして開口311を形成する場合には、絶縁膜にエッチングストップ層（不図示）を設け、当該エッチングストップ層を開口311の底面313とする。絶縁膜310の大部分が酸化シリコンからなる場合には、エッチングストップ層を窒化シリコンとするとよい。開口311の深さD₀は、絶縁膜310の厚みT_Iの1/4以上であることが好ましく、絶縁膜310の厚みT_Iの1/2以上であることがより好ましい。

30

【0018】

40

開口311の平面形状（半導体基板2に平行な面内での開口311の形状）は閉ループ状であればよく、図1(a)に示す様な円形や、橢円形、角丸四角形、四角形、六角形とすることができる。開口311の断面形状（半導体基板2に垂直な面内での開口311の形状）は、図1(b)、(c)に示す様な逆台形や、正台形、長方形、正方形、あるいはこれらを組み合わせた階段形とすることができる。

【0019】

50

高屈折率部材 320 は複数の開口 311 の各々の内側に設けられている。そのため、複数の高屈折率部材 320 の各々は、絶縁膜 310 で囲まれている。開口 311 が絶縁膜 310 の凹部である場合には、高屈折率部材 320 は、絶縁膜 310 の一部に囲まれていると云える。高屈折率部材 320 の形状は実質的に開口 311 の形状と略一致する。図 1 の例では、高屈折率部材 320 は円錐台形状を呈するが、開口 311 の形状に応じて、角錐台形状でもよいし、角柱形状、円柱形状でもよい。典型的な高屈折率部材 320 の材料（透明材料）は、絶縁材料である。高屈折率部材 320 の屈折率は絶縁膜 310 の屈折率よりも高い。図 1 (b)、(c) の例では、高屈折率部材 320 と絶縁膜 310 とが互いに接して界面を成しており、この界面は開口 311 の側面 312 に一致する。この界面では、高屈折率部材 320 の屈折率と絶縁膜 310 の屈折率との違いにより全反射が生じ得る。そのため、開口 311 内の高屈折率部材 320 に入射した光のうち、側面 312 に向かう光を光電変換部 3 に向けて反射することができる。10

【0020】

高屈折率膜 330 の屈折率は、絶縁膜 310 の屈折率よりも高い。高屈折率膜 330 の材料は高屈折率部材 320 の材料と異なっていてもよいが、高屈折率膜 330 が高屈折率部材 320 と同じ材料（透明材料）からなる場合には、特に好適に本発明を適用できる。本発明において、「同じ材料」とは、化学量論的組成が同じである材料を意味している。そのため、化学量論的組成からずれた（すなわち、非化学量論的組成が異なっている）材料や、結晶性、材料密度、不純物（1wt%以下）およびその濃度が異なっている材料も「同じ材料」とみなすことができる。例えば、窒化シリコンの化学量論的組成比は Si : N = 3 : 4 であるが、化学量論的組成比が同じである範囲内において、実際の Si と N の比が互いに異なる材料同士も同じ材料とみなす。なお、化学量論的組成が異なる材料は同じ材料ではない。例えば、一酸化チタン (TiO) と二酸化チタン (TiO₂) はいずれも酸素とチタンの化合物（チタン酸化物）ではあるが、化学量論的には異なる材料である。なお、以下の説明において、「酸化シリコン」と記載した場合は、化学量論的組成比が Si : O = 1 : 2 である二酸化シリコン (SiO₂) を意味するものとする。また、「窒化シリコン」と記載した場合は、化学量論的組成比が Si : N = 3 : 4 である四窒化三シリコン (Si₃N₄) を意味するものとする。その他の材料については、必要に応じて、組成式を用いて化学量論的組成比を説明する。20

【0021】

高屈折率膜 330 は絶縁膜 310 上に位置している。そして絶縁膜 310 上から複数の高屈折率部材 320 上に延在している。詳細には、高屈折率膜 330 は複数の高屈折率部材 320 に接している。その結果、高屈折率膜 330 は、複数の高屈折率部材 320 同士を連結するように設けられている。30

【0022】

図 1 (a)、(b) の例では、高屈折率膜 330 は高屈折率部材 320 を完全に覆うように、換言すれば開口 311 を覆うように設けているが、高屈折率膜 330 は高屈折率部材 320 と少なくとも一部で接していればよい。高屈折率部材 320 と高屈折率膜 330 とが互いに同じ透明材料であると、高屈折率部材 320 と高屈折率膜 330 が一体となって、高屈折率部材 320 と高屈折率膜 330 との境界が明確に観察できない場合がある。上述したように、高屈折率部材 320 は開口 311 の内側に位置し、高屈折率膜 330 は開口 311 の外側に存在する。したがって、透明材料が、開口 311 の内側に存在するか、開口 311 の外側に存在するかを判断することにより、高屈折率部材 320 と高屈折率膜 330 を区別することができる。開口 311 の内側と外側の区分は、図 1 (b)、(c) に点線で示す様に、複合部材 300 の断面の観察画像において、絶縁膜 310 の上面を開口 311 上まで仮想的に延長する（開口 311 の側面 312 の上端同士を仮想的に直線で結ぶ）ことにより可能である。40

【0023】

高屈折率部材 320 や高屈折率膜 330 の材料（透明材料）は、有機材料（樹脂）でもよいが、無機材料は化学的に安定するために好ましい。樹脂としては、シロキサン系樹50

脂やポリイミド等が挙げられる。無機材料としては、窒化シリコン、酸窒化シリコン、酸化チタン(TiO_2)が好適であり、特に窒化シリコンが好ましい。高屈折率部材320や高屈折率膜330の屈折率は1.6以上であることが好ましい。一般的な樹脂の屈折率は1.3~1.6、高屈折率樹脂でも1.6~1.8であるが、金属酸化物等の高屈折率無機材料を含有させることにより、実効的な屈折率を高くすることができる。樹脂に含有させる高屈折率無機材料としては、酸化チタン、酸化タンタル、酸化ニオブ、酸化タンゲステン、酸化ジルコニウム、酸化亜鉛、酸化インジウム、酸化ハフニウム等が挙げられる。高屈折率膜330の厚み T_T が、高屈折率部材320に入射する光の波長を λ 、高屈折率膜330の屈折率を n_{330} として、 $\lambda/4n_{330}$ 以上であると本発明は顕著な効果を奏する。高屈折率膜330の厚み T_T は、典型的には $0.10\mu m$ 以上である。一方、高屈折率膜330を極端に厚くすると開口311への入射光量が減少する。高屈折率膜330の厚み T_T は開口311の深さ D_0 以下であることが好ましく、開口311の深さ D_0 の半分以下であることがより好ましい。高屈折率膜330の厚み T_T が、高屈折率部材320に入射する光の波長を λ 、高屈折率膜330の屈折率を n_T として、 $2\lambda/n_T$ 以下であると本発明は顕著な効果を奏する。10

【0024】

高屈折率部材320、高屈折率膜330、絶縁膜310の材料として例示した材料の屈折率の大まかな値を挙げる。酸化シリコンは1.4~1.5、酸窒化シリコンが1.6~1.9、窒化シリコンは1.8~2.3、酸化チタンは2.5~2.7、BSG、PSG、BPSGは1.4~2.0である。なお、上記した値は一例であって、同じ材料であっても、成膜方法を変更することによって、非化学量論的組成比や、材料密度が変化するため、屈折率を適宜設定することが可能である。20

【0025】

絶縁膜310が多層膜である場合、多層膜の一部の層の屈折率が高屈折率部材320の屈折率以上であってもよい。しかしながら、このような高屈折率部材320の屈折率以上の層(高屈折率絶縁層:不図示)が開口311の側面312の大部分を形成することは好ましくない。これは、高屈折率部材320に入射した光が高屈折率絶縁層内を伝搬して、開口311から漏れる可能性があるためである。そのため、高屈折率絶縁層が成す開口311の側面312は、開口311の側面312全体の面積の半分以下とすること好ましく、 $1/4$ 以下とすることがより好ましい。換言すれば、多層膜のうちの高屈折率部材320の屈折率より低い層(低屈折率絶縁層)が、開口311の側面312全体の面積の半分以上、好ましくは $3/4$ 以上を成すことが好ましい。各層が成す開口311の側面312の面積は、各層の厚みや開口311の側面312の角度を適宜設定することで調整できる。30。1つの低屈折率絶縁層の厚みは、典型的には $0.10\mu m$ 以上である。1つの高屈折率絶縁層の厚みは、高屈折率部材320に入射する光の波長を λ 、高屈折率絶縁層の屈折率を n_{HI} として、 $\lambda/2n_{HI}$ 以下であることが好ましく、 $\lambda/4n_{HI}$ 以下であることがより好ましい。高屈折率絶縁層の厚みは、典型的には $0.10\mu m$ 以下である。

【0026】

複合部材300上には、層内レンズ層が設けられており、層内レンズ層上には中間膜500が設けられており、中間膜500上には波長選択層400が設けられており、波長選択層400上にはトップレンズ層(マイクロレンズ層)が設けられている。以下の説明では、トップレンズ層を第1レンズ層100とよび、層内レンズ層を第2レンズ層200と呼ぶことにする。第2レンズ層200は第1レンズ層100と複合部材300との間に位置する。40

【0027】

第1レンズ層100と第2レンズ層200の共通点を説明する。各レンズ層は、複数の集光レンズ部を有している。詳細には、第1レンズ層100は複数の第1集光レンズ部110を有しており、第2レンズ層200は複数の第2集光レンズ部210を有している。複数の第1集光レンズ部110の各々および複数の第2集光レンズ部210の各々は1つの受光素子の一部を成しており、別々の光電変換部3に対応して位置している。詳しくは50

後述するが、複数の第1集光レンズ部110のうちの、互いに隣り合う第1集光レンズ部110同士、および、複数の第2集光レンズ部210のうちの、互いに隣り合う第1集光レンズ部210同士の、少なくとも一方は互いに接している。

【0028】

各集光レンズ部の形状は光の入射側の面(図面上では上側)が、入射側に向かって凸形状をなす曲面形状(凸レンズ形状)を呈しているか、光の出射側の面(図面上では下側)が出射側に向かって凸形状なす曲面形状(凸レンズ形状)を呈していればよい。曲面形状としては、理想球面形状、略球面形状、非球面形状などが挙げられる。

【0029】

図1(b)、(c)では、上凸の平凸レンズ形状としているが、両凸レンズ形状であってもよいし、凸メニスカス形状であってもよい。集光レンズ部の屈折率は、集光レンズ部の凸レンズ形状を呈する面と界面を成す膜(ここでは中間膜500や波長選択層400)の屈折率よりも高く設定される。集光レンズ部の凸レンズ形状およびその屈折率により、入射光を集光することができる。第1レンズ層100と第2レンズ層200の両方を設ける場合には、第1集光レンズ部110で集光された入射光が第2集光レンズ部210でさらに集光される。なお、光路中に、凹レンズ形状を有する発散レンズ部を設けることもできる。この発散レンズ部も、凹レンズ形状を有する面と界面を成す膜の屈折率よりも高く設定される。例えば、中間膜500の下面は凹レンズ形状を有しているが、第2レンズ層200よりも屈折率が低いため、中間膜500は発散レンズ部ではない。

10

【0030】

第1レンズ層100、第2レンズ層200の材料は、有機材料(樹脂)でも無機材料でもよい。第1レンズ層100の屈折率と第2レンズ層200の屈折率は同じでもよいし、異なっていてもよいが、第2レンズ層の屈折率が第1レンズ層の屈折率よりも高いことが好ましい。例えば、第1レンズ層100の材料に樹脂を用いて、第2レンズ層200の材料に窒化シリコンを用いるとよい。第2レンズ層200の材料が、高屈折率膜330と高屈折率部材320の材料の少なくとも一方と同じであってもよい。

20

【0031】

集光レンズ部(第2集光レンズ部210)は、レンズ層(第2レンズ層200)の表面の凸レンズ形状を成している領域(曲面領域)の、半導体基板2に対する幾何学的な正射影に含まれる部分である。図1(b)に示した連結部(第2連結部220)は、レンズ層の表面の、凸レンズ形状を成しておらず実質的に平坦な領域(平面領域)の、半導体基板2に対する幾何学的な正射影に含まれる部分である。レンズ層については、後述する第4~8変形例を用いて詳細に説明する。

30

【0032】

図1(b)には、各第1集光レンズ部110の光軸と各第2集光レンズ部210の光軸を長破線で示した。ここでは、第1集光レンズ部110の光軸と第2集光レンズ部210の光軸が一致しているが、第1集光レンズ部110で集光された光が第2集光レンズ部210に入射し得る範囲で光軸がずれていてもよい。1次近傍受光素子11の第1集光レンズ部110の光軸は、注目受光素子10の第1集光レンズ部110の光軸から、所定距離P1だけ離れている。各第1集光レンズ部110のA-A'断面及びB-B'断面における幅をW11で表している。

40

【0033】

また、第1集光レンズ部110の光軸と第2集光レンズ部210の光軸が一致しているため、1次近傍受光素子11の第2集光レンズ部210の光軸は、注目受光素子10の第2集光レンズ部210の光軸から、所定距離P1だけ離れている。典型的には、所定距離P1は10μm以下であり、5.0μm以下であることが好ましく、2.0μm以下であることがより好ましい。各第2集光レンズ部210のA-A'断面及びB-B'断面における幅をW12で表している。

【0034】

図1(c)にも、各第1集光レンズ部110の光軸と各第2集光レンズ部210の光軸

50

を長破線で示した。注目受光素子 10 の第 1 集光レンズ部 110 の光軸と、2 次近傍受光素子 12 の第 1 集光レンズ部 110 同士の距離を P2 で表している。P2 は所定距離 P1 よりも長い。ここでは、複数の第 1 集光レンズ部 110 が正方格子状に配列されているため、P2 = 2 × P1 である。各第 1 集光レンズ部 110 の C - C' 断面及び D - D' 断面における幅を W21 で表している。

【0035】

また、第 1 集光レンズ部 110 の光軸と第 2 集光レンズ部 210 の光軸が一致しているため、2 次近傍受光素子 12 の第 2 集光レンズ部 210 の光軸は、注目受光素子 10 の第 2 集光レンズ部 210 の光軸から、距離 P2 だけ離れている。各第 2 集光レンズ部 210 の C - C' 断面及び D - D' 断面における幅を W22 で表している。

10

【0036】

なお、第 1 集光レンズ部 110 の輪郭が円形であれば W11 = W21 となり、第 2 集光レンズ部 210 の輪郭が円形であれば W12 = W22 となる。図 1 (a) の例では第 1 集光レンズ部 110 および第 2 集光レンズ部 210 は角丸四角形であるので、W11 < W21、W12 < W22 である。

【0037】

絶縁膜 310 の内部には、半導体基板 2 に設けられた半導体素子 4 同士を電気的に接続する配線 340 を設けることができる。配線 340 は多層配線であってもよく、図 1 (b) では、配線 340 が、第 1 配線層 341 と、第 2 配線層 342 と、第 1 コンタクト層 343 と、第 2 コンタクト層 344 とで構成された例を示している。第 1 コンタクト層 343 は、半導体素子 4 と第 1 配線層 341 とを接続しており、第 2 コンタクト層 344 は、第 1 配線層 341 と第 2 配線層 342 とを接続している。配線層を 2 層とした例を示したが、第 1 配線層 341 と第 2 配線層 342 との間にさらに配線層を設けて 3 層以上の配線層としてもよい。配線 340 は複合部材 300 の一部を構成する。配線 340 には銅やアルミニウム、タングステン、タンタル、ポリシリコンなどの導電材料を用いることができる。典型的な配線 340 は不透明であり、金属光沢を有している。

20

【0038】

波長選択層 400 は、各々が別々の光電変換部 3 に対応して設けられた、互いに異なる波長に対応した複数種類の波長選択部材（カラーフィルタ）を配列することでマルチカラーフィルタを構成することができる。波長選択部材の種類は、原色系（RGB）であってもよいし、補色系（CMY）であってもよいが、対応する波長は可視光線に限定されない。1 種類の波長選択部材のみを用いて、1 つの波長のみを複数の光電変換部 3 の各々に入射させてもよい。複数種類の波長選択部材を用いる場合には、ベイヤー配列やストライプ配列とすることができる。例えば、ベイヤー配列の波長選択層 400 を用いた場合、注目受光素子 10 が緑色の波長選択部材を有すると、1 次近傍受光素子 11 は青色の波長選択部材を有する受光素子と、赤色の波長選択部材を有する受光素子とを含む。また、2 次近傍受光素子 12 はすべて緑色の波長選択部材を有する受光素子となる。

30

【0039】

波長選択層 400 が第 1 レンズ層 100 と第 2 レンズ層 200 の間に位置する例を示したが、波長選択層 400 が第 2 レンズ層 200 と複合部材 300 との間に位置してもよい。波長選択層 400 を第 1 レンズ層 100 上に設けることもできるが、混色が生じやすくなるので、波長選択層 400 は第 1 レンズ層 100 又は第 2 レンズ層 200 と、複合部材 300 との間に設けることが好ましい。また、波長選択層 400 を光電変換装置 1 から削除することもできる。後述する撮像システムにおいて、削除された波長選択層 400 の代わりに、光電変換装置 1 から離れた位置に、波長選択部材を設けてもよい。

40

【0040】

中間膜 500 は第 1 レンズ層 100 と第 2 レンズ層 200 との間に位置している。中間膜 500 は、例えば、平凸レンズ形状の第 2 集光レンズ部 210 を有する第 2 レンズ層 200 の上に、平凸レンズ形状の第 1 集光レンズ部 110 を有する第 1 レンズ層 100 を設けるための、平坦化膜として機能する。中間膜 500 の屈折率は、第 1 レンズ層 100 お

50

より第2レンズ層200よりも低く設定される。中間膜500は多層膜であってもよい。

【0041】

以下、本発明の実施形態を図1～図7を用いて説明するが、同様の機能を有する部分には同じの符号を付し、詳細な説明は省略する。

【0042】

<第1実施形態>

図1(a)～(c)を用いて、第1実施形態の光電変換装置1を説明する。図1(a)において、点線は複数の第1集光レンズ部110の輪郭を示しており、破線は第2集光レンズ部210の輪郭を示しており、実線は開口311の側面312の上端を示している。

【0043】

図1(a)、(b)に示す様に、第1レンズ層100において、注目受光素子10の第1集光レンズ部110と1次近傍受光素子11との第1集光レンズ部110同士が接している。一方、図1(a)、(b)に示す様に、第2レンズ層200において、注目受光素子10の第2集光レンズ部210と1次近傍受光素子11の第2集光レンズ部210同士は離れている。注目受光素子10の第2集光レンズ部210と1次近傍受光素子11の第2集光レンズ部210の間には集光機能を有しない第2連結部220が設けられている。図1(a)、(c)に示す様に、第1レンズ層100において、注目受光素子10の第1集光レンズ部110と2次近傍受光素子12との第1集光レンズ部110同士は離れている。注目受光素子10の第2集光レンズ部210と2次近傍受光素子12の第2集光レンズ部210の間には集光機能を有しない第2連結部220が設けられている。また、図1(a)、(c)に示す様に、第2レンズ層200において、注目受光素子10の第2集光レンズ部210と1次近傍受光素子11の第2集光レンズ部210同士は離れている。注目受光素子10の第2集光レンズ部210と2次近傍受光素子12の第2集光レンズ部210の間には集光機能を有しない第2連結部220が設けられている。

【0044】

集光レンズ部同士が接することは、注目受光素子10の集光レンズ部の光軸と、1次近傍受光素子11、2次近傍受光素子12の集光レンズ部の光軸との距離(ピッチ)が、光軸同士を結ぶ方向における、注目受光素子10の集光レンズ部の幅と等しいこと実質的に同義である。なお、集光レンズ部の光軸とは、集光レンズ部の入射面あるいは出射面の先端を含む軸であり、典型的には、集光レンズ部の曲面形状の曲率中心を含む軸である。光軸を中心軸(回転対称軸)ということもできる。第1集光レンズ部110の曲率は、0.49(1/μm)以上であることが好ましい。例えば、互いに隣り合う第1集光レンズ部110の曲率を、0.63(1/μm)とすることができる。一方、第2集光レンズ部210の曲率は、第1集光レンズ部110の曲率よりも大きいこと、つまり、第2集光レンズ部210の曲率半径が第1集光レンズ部110の曲率半径よりも小さいことが好ましい。

【0045】

1次近傍受光素子11の集光レンズ部が、注目受光素子10の集光レンズ部から離れていると、注目受光素子10の集光レンズ部の光軸と1次近傍受光素子11の集光レンズ部の光軸との距離(ピッチ)が、注目受光素子10の集光レンズ部の幅よりも大きくなる。なお、ここでいう、注目受光素子10の集光レンズ部の幅とは、両者の光軸を結ぶ方向(対辺方向)における集光レンズ部の幅である。同様に、2次近傍受光素子12の集光レンズ部が、注目受光素子10の集光レンズ部から離れていると、注目受光素子10の集光レンズ部の光軸と2次近傍受光素子12の集光レンズ部の光軸との距離(ピッチ)が、注目受光素子10の集光レンズ部の幅よりも大きくなる。なお、ここでいう、注目受光素子10の集光レンズ部の幅とは、両者の光軸を結ぶ方向(対角方向)における集光レンズ部の幅である。また、互いに接する集光レンズ部同士の境界線の高さは、連結部の高さと同じ場合もあるが、典型的には連結部の高さよりも高くなる。

【0046】

図1(b)、(c)を用いて、ピッチと幅の関係を詳細に説明する。

10

20

30

40

50

図1(b)に示す様に、注目受光素子10の第1集光レンズ部110と1次近傍受光素子11の第1集光レンズ部110同士が接しているため、W11=P1となっている。注目受光素子10の第2集光レンズ部210と1次近傍受光素子11の第2集光レンズ部210同士が離れているため、W12<P1となっている。つまり、注目受光素子10の第2集光レンズ部210と1次近傍受光素子11の第2集光レンズ部210同士はP1-W12だけ離れている。

【0047】

図1(c)に示す様に、注目受光素子10の第1集光レンズ部110と2次近傍受光素子12の第1集光レンズ部110同士が離れているため、W21<P2となっている。つまり、注目受光素子10の第1集光レンズ部110と1次近傍受光素子11の第1集光レンズ部110同士はP2-W21だけ離れている。注目受光素子10の第2集光レンズ部210と2次近傍受光素子12の第2集光レンズ部210同士が離れているため、W22<P2となっている。つまり、注目受光素子10の第2集光レンズ部210と1次近傍受光素子11の第2集光レンズ部210同士はP2-W22だけ離れている。

【0048】

第1実施形態の図1(b)を比較用に変更した図8を用いて本発明について説明する。図8に示す様に、第1レンズ層100において互いに隣り合う第1集光レンズ部110同士は離れており、第2レンズ層200において互いに隣り合う第2集光レンズ部210同士も離れている。そのため、互いに隣り合う第1集光レンズ部110同士の間の第1連結部120に入射した光は実質的に集光されず、入射光の光路が曲がることなく互いに隣り合う第2集光レンズ部210同士の間に入射する。そして、第2集光レンズ部210同士の間の第2連結部220に入射した光は、高屈折率膜330に入射する。高屈折率膜330は絶縁膜310より高い屈折率を有しているために、入射光は、幾何光学あるいは波動光学で説明されるように高屈折率膜330内を伝搬する。このような、高屈折率膜330内での光の伝搬は、注目受光素子10と1次近傍受光素子11の集光レンズ部の光軸間の距離(所定距離P1)が5.0μm以下であると生じやすく、2.0μm以下である場合に特に顕著になる。高屈折率膜330は高屈折率部材320同士を連結しているために、高屈折率膜330を伝搬した光は別々の高屈折率部材320に導かれる。これは、波動光学的には、光は屈折率が低い媒質(絶縁膜310)よりも屈折率が高い媒質(高屈折率部材320)を伝搬しやすい性質があるためと考えられる。特に、高屈折率部材320と高屈折率膜330とが互いに同じ材料からなる場合には、高屈折率部材320と高屈折率膜330とが互いに異なる材料からなる場合に比べて、高屈折率膜330と高屈折率部材320との間での光の損失が小さくなる。そのため、高屈折率膜330内での光の伝搬および高屈折率部材320への伝搬の影響は大きい。別々の高屈折率部材320に導かれた光は別々の光電変換部3に入射して電荷を生じる。したがって、本来、注目受光素子10の光電変換部3のみに入射すべき光が、1次近傍受光素子11の光電変換部3にも入射してしまうことにより、画像の輪郭がぼけてしまうと考えられる。さらに、複数種類の波長選択部材を有する波長選択層400を用いる場合には、本来注目受光素子10のみに入射すべき波長の光が、対応波長の異なる波長選択部材を有する1次近傍受光素子11へも入射してしまう。また、異なる波長に対応した波長選択部材同士が接している場合、特に高屈折率膜330上の領域で重なって接している場合には、複数の波長帯域を有する光(混色光)が高屈折率膜330に入射し、高屈折率部材320に入射してしまう。このような要因により画像に混色が生じると考えられる。注目受光素子10と2次近傍受光素子12との間への光の入射も同様に説明することができる。

【0049】

第1実施形態では、注目受光素子10の第1集光レンズ部110と1次近傍受光素子11の第1集光レンズ部110同士が接している。そのために、注目受光素子10の第1集光レンズ部110と1次近傍受光素子11の第1集光レンズ部110の境界に入射した光は、両第1集光レンズ部110のどちらかで集光されることが可能となる。したがって、光路が導光部材に向かう方向に曲げられ、高屈折率膜330に入射することを抑制できる

10

20

30

40

50

。そのため、高屈折率膜330に入射して伝搬することによって生じ得る受光精度の低下を抑制することができる。

【0050】

<第2実施形態>

図2(a)～(c)を用いて、第2実施形態の光電変換装置1を説明する。図2(a)は光電変換装置1の平面図であり、図2(a)において、点線は複数の第1集光レンズ部110の輪郭を示しており、破線は第2集光レンズ部210の輪郭を示しており、実線は開口311の側面312を示している。図2(b)は、光電変換装置1の注目受光素子10と1次近傍受光素子11を含む、図2(a)のA-A'断面図及びB-B'断面図である。図2(c)は光電変換装置1の注目受光素子10と2次近傍受光素子12を含む、図2(a)のC-C'断面図及びD-D'断面図である。ただし、図1(b)に示す構造は、図1(a)に示したA-A'線の断面とB-B'線の断面の一方のみで成立していてもよいが、両方で成立していることが好ましい。同様に、図2(c)に示す構造は、図2(a)に示したC-C'線の断面とD-D'線の断面の一方のみで成立していてもよいが、両方で成立していることが好ましい。
10

【0051】

図2(a)、(b)に示す様に、第1レンズ層100において、注目受光素子10の第1集光レンズ部110と1次近傍受光素子11の第1集光レンズ部110同士が接している。また、図2(a)、(b)に示す様に、第2レンズ層200において、注目受光素子10の第2集光レンズ部210と1次近傍受光素子11の第2集光レンズ部210同士が接している。図2(a)、(c)に示す様に、第1レンズ層100において、注目受光素子10の第1集光レンズ部110と2次近傍受光素子12の第1集光レンズ部110同士は接している。一方、図2(a)、(c)に示す様に、第2レンズ層200において、注目受光素子10の第2集光レンズ部210と2次近傍受光素子12の第2集光レンズ部210同士は離れている。注目受光素子10の第2集光レンズ部210と2次近傍受光素子12の第2集光レンズ部210の間には集光機能を有しない第2連結部220が設けられている。
20

【0052】

図2(b)、(c)を用いて、ピッチと幅の関係を詳細に説明する。図2(b)、(c)に記載したW11、P1、W12、W21、P2、W22の定義は図1(b)、(c)と同じである。
30

【0053】

図2(b)に示す様に、注目受光素子10の第1集光レンズ部110と1次近傍受光素子11の第1集光レンズ部110同士が接しているため、W11=P1となっている。注目受光素子10の第2集光レンズ部210と1次近傍受光素子11の第2集光レンズ部210同士が接しているため、W12=P1となっている。また、W12=W11となっている。

【0054】

図2(c)に示す様に、注目受光素子10の第1集光レンズ部110と2次近傍受光素子12の第1集光レンズ部110同士が接しているため、W21=P2となっている。注目受光素子10と1次近傍受光素子11の第1集光レンズ部110同士は、ある程度の幅を持って接しているが、注目受光素子10と2次近傍受光素子12の第1集光レンズ部110同士は、実質的に1点で接している。そして、注目受光素子10の第1集光レンズ部110の輪郭は、図2(a)に示す様に正方形となっている。注目受光素子10の第2集光レンズ部210と2次近傍受光素子12の第2集光レンズ部210同士が離れているため、W22<P2となっている。つまり、注目受光素子10の第2集光レンズ部210と2次近傍受光素子12の第2集光レンズ部210同士はP2-W22だけ離れている。
40

【0055】

第2実施形態では、注目受光素子10の第1集光レンズ部110と1次近傍受光素子11の第1集光レンズ部110同士が接しており、注目受光素子10の第1集光レンズ部110

10と2次近傍受光素子12の第1集光レンズ部110同士が接している。そのため、第1実施形態と異なり、第1レンズ層100は第1連結部120を有しない。そのため、第1レンズ層100に入射した光が、第2レンズ層200の第2連結部220および高屈折率膜330に入射することを抑制することができる。

【0056】

<第3実施形態>

図3(a)～(c)を用いて、第3実施形態の光電変換装置1を説明する。図3(a)は光電変換装置1の平面図であり、図3(a)において、点線は複数の第1集光レンズ部110の輪郭を示しており、破線は第2集光レンズ部210の輪郭を示しており、実線は開口311の側面312を示している。図3(b)は、光電変換装置1の注目受光素子10と1次近傍受光素子11を含む、図3(a)のA-A'断面図及びB-B'断面図である。図3(c)は光電変換装置1の注目受光素子10と2次近傍受光素子12を含む、図3(a)のC-C'断面図及びD-D'断面図である。ただし、図3(b)に示す構造は、図3(a)に示したA-A'線の断面とB-B'線の断面の一方のみで成立していてよいが、両方で成立していることが好ましい。同様に、図3(c)に示す構造は、図3(a)に示したC-C'線の断面とD-D'線の断面の一方のみで成立していてよいが、両方で成立していることが好ましい。

【0057】

図3(a)、(b)に示す様に、第1レンズ層100において、注目受光素子10の第1集光レンズ部110と1次近傍受光素子11との第1集光レンズ部110同士が接している。また、図3(a)、(b)に示す様に、第2レンズ層200において、注目受光素子10の第2集光レンズ部210と1次近傍受光素子11の第2集光レンズ部210同士が離れている。注目受光素子10の第2集光レンズ部210と1次近傍受光素子11の第2集光レンズ部210の間には集光機能を有しない第2連結部220が設けられている。一方、図3(a)、(c)に示す様に、第1レンズ層100において、注目受光素子10の第1集光レンズ部110と2次近傍受光素子12の第1集光レンズ部110同士は接している。また、図3(a)、(c)に示す様に、第2レンズ層200において、注目受光素子10の第2集光レンズ部210と1次近傍受光素子11の第2集光レンズ部210同士は離れている。注目受光素子10の第2集光レンズ部210と2次近傍受光素子12の第2集光レンズ部210の間には集光機能を有しない第2連結部220が設けられている。

【0058】

図3(b)、(c)を用いて、ピッチと幅の関係を詳細に説明する。図3(b)、(c)に記載したW11、P1、W12、W21、P2、W22の定義は図1(b)、(c)と同じである。

【0059】

図3(b)に示す様に、注目受光素子10の第1集光レンズ部110と1次近傍受光素子11の第1集光レンズ部110同士が接しているため、W11=P1となっている。注目受光素子10の第2集光レンズ部210と1次近傍受光素子11の第2集光レンズ部210同士が離れているため、W12<P1となっている。また、W12<W11となっている。

【0060】

図3(c)に示す様に、注目受光素子10の第1集光レンズ部110と2次近傍受光素子12の第1集光レンズ部110同士が接しているため、W21=P2となっている。注目受光素子10の第2集光レンズ部210と2次近傍受光素子12の第2集光レンズ部210同士が離れているため、W22<P2となっている。つまり、注目受光素子10の第2集光レンズ部210と1次近傍受光素子11の第2集光レンズ部210同士はP2-W22だけ離れている。また、W22<W21となっている。

【0061】

第2集光レンズ部210には、第1集光レンズ部110で集光された光が入射するため

10

20

30

40

50

に、第2集光レンズ部210の面積は、第1集光レンズ部110の面積よりも小さくすることが好ましい。第2集光レンズ部210の面積を小さくすることにより、第2集光レンズ部210の厚みを大きくすることなく、より高い集光性能（より小さい曲率）を第2集光レンズ部210に持たせることが可能となる。本実施形態では、第2集光レンズ部210の面積を第1集光レンズ部110の面積より小さくしても、第2集光レンズ部210間に射する光を低減できる。

【0062】

本発明は第1～3実施形態に限定されることなく、第1レンズ層100と第2レンズ層200の少なくとも一方において、互いに隣り合う受光素子同士の、集光レンズ部同士が接していればよい。ほかの実施形態の一例を以下に挙げる。

10

【0063】

第1実施形態を変形して、注目受光素子10の第2集光レンズ部210と1次近傍受光素子11の第2集光レンズ部210同士が接する形態を採用してもよい。第1実施形態を変形して、注目受光素子10の第2集光レンズ部210と1次近傍受光素子11の第2集光レンズ部210同士が接する形態を採用してもよい。第2実施形態を変形して、注目受光素子10の第2集光レンズ部210と2次近傍受光素子12の第2集光レンズ部210同士が接した形態を採用してもよい。第2実施形態を変形して、注目受光素子10の第1集光レンズ部110と1次近傍受光素子11の第1集光レンズ部110同士が離れ、注目受光素子10の第1集光レンズ部110と2次近傍受光素子12の第1集光レンズ部110同士が離れた形態を採用してもよい。第2実施形態を変形して、注目受光素子10の第1集光レンズ部110と1次近傍受光素子11の第1集光レンズ部110同士が離れ、注目受光素子10の第1集光レンズ部110と2次近傍受光素子12の第1集光レンズ部110同士が離れ、注目受光素子10の第2集光レンズ部210と2次近傍受光素子12の第2集光レンズ部210同士が接する形態を採用してもよい。

20

【0064】

以上、2つのレンズ層を有する形態について説明したが、第1レンズ層100と第2レンズ層200の一方のみを設けて、他方を設けない形態を採用してもよい。本発明は、複数の集光レンズ部を有する少なくとも1つのレンズ層を備え、当該レンズ層において、互いに隣り合う受光素子同士の、集光レンズ部同士が接していればよい。例えば、第1実施形態や第3実施形態の第2レンズ層200のように、注目受光素子10と第1近傍受光素子の第2集光レンズ部210同士が離れている場合には、第2レンズ層200を削除することもできる。互いに隣り合う集光レンズ部の形成方法は、階調露光法やエッチバック法、リフロー法などを単独あるいは組み合わせて用い、これらの条件を適宜設定することで実現が可能である。例えば、特開2006-041467号公報、特開2004-145319号公報、特開昭61-67003号公報、特開2008-277800号公報、特開2008-52004号公報、特開2003-33254号公報を参照することができる。対角方向で隣り合う集光レンズ部（注目受光素子10と2次近傍受光素子12の集光レンズ部）同士が接するようにするには、各集光レンズ部のパターニング時に、対角方向の集光レンズ部用パターン同士が十分な面積で重なるようにすればよい。なお、レンズ層が1層のみの場合に、波長選択層400を設ける場合にも、レンズ層と複合部材300の間に波長選択層400を設けることが好ましい。

30

【0065】

<第4実施形態>

図4(a)～(c)を用いて第4実施形態の光電変換装置1を説明する。図4(a)第4実施形態の第1例を、図4(b)に第4実施形態の第2例を、図4(c)に第4実施形態の第3例を、それぞれ示す。図4(a)～(c)は、図1(b)で示した第1実施形態に各例を適用した例を示したが、第2実施形態および第3実施形態にも本実施形態を適用することできる。第1～3例は、第2レンズ層200と高屈折率部材320との間に、第2レンズ層200の屈折率よりも低い屈折率を有する透明な低屈折率膜が設けられている点が共通している。以下には、低屈折率膜600が高屈折率膜330と界面を成している

40

50

例を説明するが、低屈折率膜 600 が高屈折率部材 320 と界面を成してもよい。

【0066】

第1例では、低屈折率膜 600 は单層膜であり、第2レンズ層 100 と高屈折率膜 330 の間に設けられている。詳細には、低屈折率膜 600 の上面は第2レンズ層 200 の下面と界面を成し、低屈折率膜 600 の下面は高屈折率膜 330 の上面と界面を成している。例えば、第2レンズ層 200 の材料が屈折率 2.00 の窒化シリコンである場合、低屈折率膜 600 の材料には屈折率 1.72 の酸窒化シリコンまたは、屈折率 1.46 の酸化シリコンを用いることができる。

【0067】

第2集光レンズ部 210 で集光された光は、低屈折率膜 600 に対して斜めに入射し得る。低屈折率膜 600 の屈折率は第2レンズ層 200 の屈折率よりも低いため、低屈折率膜 600 内ではスネルの法則に従って、開口 311 の中心（光軸）へ近づく方向に屈折する。そのため、開口 311 に入射する光量を増加させることができる。低屈折率膜 600 の屈折率が高屈折率膜 330 の屈折率よりも低い場合、低屈折率膜 600 で屈折した光は、高屈折率膜 330 に対して斜めに入射する。高屈折率膜 330 の屈折率は低屈折率膜 600 の屈折率よりも高いため、高屈折率膜 330 内ではスネルの法則に従って、開口 311 の中心（光軸）との角度が小さくなるような方向に屈折する。そのため、開口に 311 に入射した後の側面 312 での全反射が生じる光束を増やし、開口 311 の側面 312 から漏れてしまう光の量を減少させることができる。実用的には、低屈折率絶縁膜 600 の屈折率は、第2レンズ層 200 の屈折率の 0.95 倍以下であることが好ましく、0.85 倍以下であることが好ましい。

【0068】

第2例では、低屈折率膜 600 は多層膜であり、第1低屈折率層 610 と第2低屈折率層で構成されている。第1低屈折率層 610 の上面は第2レンズ層 200 の下面と界面を成しており、第1低屈折率層 610 の屈折率は、第2レンズ層 200 の屈折率よりも低い。第2低屈折率層 620 の上面は第1低屈折率層 610 の下面と界面を成しており、第2低屈折率層 620 の屈折率は、第1低屈折率層の屈折率よりも低い。第2低屈折率層 620 の下面は高屈折率膜 330 の上面と界面を成している。そのため、第1低屈折率層 610 は、第2レンズ層 200 の屈折率と、第2低屈折率層 620 の屈折率の間の屈折率を有している。本例は、第1例の单層の低屈折率膜 600 を第2低屈折率層 620 と見做して、第1例の单層の低屈折率膜 600 と第2レンズ層 200 との間に、第1低屈折率層 610 を設けた例であると考えることができる。例えば、第2レンズ層 200 の材料が窒化シリコンである場合、第1低屈折率層 610 の材料には酸窒化シリコンを、第2低屈折率層 620 の材料には酸化シリコンを用いることができる。実用的には、最も屈折率が低い層（本例では第2低屈折率層 620）の屈折率は、1.40 以上 1.60 以下であることが好ましい。

【0069】

第1例の場合、第2レンズ層 200 と低屈折率膜 600 の屈折率差により、第2レンズ層 200 と低屈折率膜 600 との界面で垂直入射光の反射が生じる場合がある。この時の反射率 R は、 $R = (n_{200} - n_{600})^2 / (n_{200} + n_{600})^2$ で表すことができる。ここで n_{200} は第2レンズ層 200 の屈折率、 n_{600} は低屈折率膜 600 の屈折率である。第2例では、第2レンズ層 200 と第1低屈折率層 610 との屈折率差と、第1低屈折率層 610 と第2低屈折率層 620 との屈折率の双方が、第2レンズ層 200 と第2低屈折率膜 620 との屈折率差よりも小さい。したがって、第2レンズ層 200 と第1低屈折率層 610 との界面での透過率、及び、第1低屈折率層 610 と第2低屈折率層 620 との界面での透過率を向上でき、第2低屈折率層 620 に入射する光量を増加させることができる。

【0070】

第1低屈折率層 610 の厚み T_{R1} を、 $T_{R1} = (M - 0.5) / 4n_1$ 倍 ~ $(M + 0.5) / 4n_1$ 倍とすると好ましく、入射光の波長の $M / 4n_1$ 倍とすること

10

20

30

40

50

がより好ましい。ここで、Mは奇数、 n_1 は第1低屈折率層610の屈折率である。Mは1又は3であることが好ましく、1であることがより好ましい。第1低屈折率層610の厚み T_{R1} をこのように設定すると、第1低屈折率層610は第2レンズ層200との界面での反射光と、第2低屈折率層620との界面での反射光の干渉を弱め、第2低屈折率層620に入射する光の強度を増加させることができる。

【0071】

第1例で説明したように光軸へ近づくような屈折を、低屈折率膜600の厚みが限られた範囲で大きくする上では、第1低屈折率層610の厚み T_{R1} と第2低屈折率層620の厚み T_{R2} を次のように設定すると良い。まず、第2レンズ層200と第1低屈折率層610との相対屈折率と、第1低屈折率層610第2低屈折率層620との相対屈折率とを比較する。相対屈折率が大きい方の出射側の媒質（第1低屈折率層610と第2低屈折率層620の一方）の厚みを、小さい方の出射側の媒質（第1低屈折率層610と第2低屈折率層620の他方）の厚みよりも大きくする。なお、ここで相対屈折率は、（入射側媒質の屈折率）/（出射側媒質の屈折率）であり、本例では、相対屈折率は1より大きい。なお、これまでの説明において、単に「屈折率」と記載した場合には、絶対屈折率を意味している。スネルの法則によれば、相対屈折率が大きい方が出射角が大きくなるため、上記相対屈折率が大きい方の出射側媒質の厚みを大きくすることにより、出射光をより大きく光軸に近づけることができる。例えば、第2レンズ層200の屈折率が2.00、第1低屈折率層610の屈折率が1.72、第2低屈折率層620の屈折率が1.46の場合には、 $2.00 / 1.72 < 1.72 / 1.46$ である。したがって、第2低屈折率層620の厚み T_{R2} を、第1低屈折率層610の厚み T_{R1} よりも大きくすればよい。第2低屈折率層620の厚み T_{R2} は60nm以上500nm以下であることが好ましく、80nm以上200nm以下であることがより好ましい。また、第1低屈折率層610の厚み T_{R1} は、20nm以上300nm以下であることが好ましく、40nm以上150nm以下であることがより好ましい。

【0072】

第3例でも、低屈折率膜600は多層膜であり、第1低屈折率層610と第2低屈折率層620と、第3低屈折率層630で構成されている。第1低屈折率層610の上面は第2レンズ層200の下面と界面を成しており、第1低屈折率層610の屈折率は、第2レンズ層200の屈折率よりも低い。第2低屈折率層620の上面は第1低屈折率層610の下面と界面を成しており、第2低屈折率層620の屈折率は、第1低屈折率層の屈折率よりも低い。第3低屈折率層630の上面は第2低屈折率層620の下面と界面を成しており、第3低屈折率層630の屈折率は、第2低屈折率層620の屈折率よりも高い。第3低屈折率層630の下面は高屈折率膜330の上面と界面を成しており、第3低屈折率層630の屈折率は、第3低屈折率層620の屈折率は高屈折率膜330の屈折率よりも低い。そのため、第3低屈折率層630は、第2低屈折率層620の屈折率と、高屈折率膜330の屈折率の間の屈折率を有している。本例は、上記した第2例で第2低屈折率層620の屈折率が高屈折率膜330の屈折率より低い場合において、第2例の第2低屈折率層620と高屈折率膜330との間に第3低屈折率層630を設けた例であると考えることができる。例えば、第2レンズ層200および高屈折率膜330の材料が窒化シリコンである場合、第1低屈折率層610および第3低屈折率層630の材料には酸窒化シリコンを、第2低屈折率層620の材料には酸化シリコンを用いることができる。

【0073】

第3例では、第2低屈折率層620と第3低屈折率層630との屈折率差と、第3低屈折率層630と高屈折率膜330との屈折率の双方が、第2低屈折率層620と高屈折率膜330との屈折率差よりも小さい。したがって、第2低屈折率層620と第3低屈折率層630との界面での透過率、及び、第3低屈折率層630と高屈折率膜330との界面での透過率を向上でき、高屈折率膜330に入射する光量を増加させることができる。

【0074】

第3低屈折率層630の厚み T_{R3} は、第2例と同様に、入射光の波長の(M-0.5

10

20

30

40

50

) / 4 n_3 倍 ~ (M + 0.5) / 4 n_3 倍とすると好ましく、入射光の波長のM / 4 n_3 倍とすることがより好ましい。ここで、Mは奇数、 n_3 は第3低屈折率層630の屈折率である。第3低屈折率層630の厚み T_{R3} と第2低屈折率層620の厚み T_{R2} との大小関係も、第2例と同様に設定することができる。第3低屈折率層630の厚み T_{R3} も第2例の第1低屈折率層610と同様に、20nm以上300nm以下であることが好ましく、40nm以上150nm以下であることがより好ましい。

【0075】

第1低屈折率層610の屈折率 n_1 は、($n_{200} + n_2$) / 4以上であることが好ましく、 $3 \times (n_{200} + n_2) / 4$ 以下であることも好ましい。第3低屈折率層630の屈折率 n_3 は、($n_{330} + n_2$) / 4以上であることが好ましく、 $3 \times (n_{200} + n_2) / 4$ 以下であることも好ましい。ここで、 n_{330} は高屈折率膜330の屈折率である。

【0076】

第2レンズ層200の屈折率が高屈折率膜330の屈折率よりも高い場合、第1低屈折率層610の屈折率を第3低屈折率層630の屈折率よりも高くすることが好ましい。すなわち、第2レンズ層200の屈折率を n_{200} 、高屈折率膜330の屈折率を n_{330} として、 $n_2 < n_3 < n_1 < n_{330} < n_{200}$ とすることが好ましい。逆に、第2レンズ層200の屈折率が高屈折率膜330の屈折率よりも低い場合、第1低屈折率層610の屈折率を第3低屈折率層630の屈折率よりも低くすることが好ましい。すなわち、 $n_2 < n_1 < n_3 < n_{200} < n_{330}$ とすることが好ましい。このように、第1低屈折率層610と第3低屈折率層630の屈折率を、その上下の部材の屈折率に合せて異ならせることで、第2レンズ層200から高屈折率膜330への光の透過率を向上することができ、光電変換装置1の感度を向上することできる。光電変換装置1の複合部材300の変形例を説明する。図5(a)に第1変形例を、図5(b)に第2変形例を、図5(c)に第3変形例を、それぞれ示す。図5(a)~(c)は、図1(b)で示した第1実施形態に各変形例を適用した例を示したが、第2~4実施形態にも本変形例を適用することができる。第1~3変形例は、開口311内の部材が第1高屈折率部分321と第2高屈折率部分322とで構成されている点が共通している。絶縁膜310の構成は図1(a)と同様であり、光電変換部3に対応した複数の開口311が設けられている。

【0077】

<第1変形例>

図5(a)に示す第1変形例では、第2高屈折率部分322が開口311の側面312上に設けられており、開口311内であって第2高屈折率部分322の内側には第1高屈折率部分321が設けられている。第2高屈折率部分322は図5(a)に示す様に開口311の底面313上にも設けてもよいし、開口311の底面313を覆わなくてもよい。そのため、第1高屈折率部分321と開口311の側面312との間に第2高屈折率部分322が位置している。高屈折率膜330は、絶縁膜310上に位置しており、第1高屈折率部分321上に延在している。高屈折率膜330は第1高屈折率部分321と同じ透明材料からなる。高屈折率膜330の屈折率は絶縁膜310の屈折率よりも高く、複数の開口311内の各々に設けられた複数の第2高屈折率部分322同士を連結するように設けられている。高屈折率膜330の材料は第1高屈折率部分321の材料と同じであってもよいし異なっていてもよいが、同じであることが好ましい。

【0078】

第1高屈折率部分321の屈折率と第2高屈折率部分322の屈折率は異なっている。第1高屈折率部分321の屈折率を第2高屈折率部分322の屈折率よりも高くすることによって、主に第1高屈折率部分321を導光路として用いることができる。逆に、第1高屈折率部分321の屈折率を第2高屈折率部分322の屈折率よりも低くすることによって、主に第1高屈折率部分321を導光路として用いることができる。すなわち、幾何光学的には、第1高屈折率部分321と第2高屈折率部分322との界面での全反射によって開口311内の第1高屈折率部分321に入射した光のうち、側面312に向かう光

10

20

30

40

50

を光電変換部3に向けて反射することができる。また、波動光学的には、光は屈折率が高い方へ導かれるために、導光路として機能しうる。

【0079】

<第2変形例>

図5(b)に示す第2変形例では、第2高屈折率部分322が開口311の側面312上に設けられており、開口311内であって第2高屈折率部分322の内側には第1高屈折率部分321が設けられている。そのため、第1高屈折率部分321と開口311の側面312との間に第2高屈折率部分322が位置している。高屈折率膜330は、絶縁膜310上に位置しており、第1高屈折率部分321上に延在している。高屈折率膜330は第1高屈折率層331と、第1高屈折率層331と絶縁膜310の間に位置する第2高屈折率層332とで構成されている。第1高屈折率層331の屈折率は絶縁膜310の屈折率よりも高く、複数の開口311内の各々に設けられた複数の第1高屈折率部分321同士を連結するように設けられている。第1高屈折率層331の材料は第1高屈折率部分321の材料と同じであってもよい。第1高屈折率部分321の屈折率と第2高屈折率部分322の屈折率は異なる。第1高屈折率層331の屈折率と第2高屈折率層の屈折率は異なる。第2高屈折率層332の屈折率は絶縁膜310の屈折率よりも高く、複数の開口311内の各々に設けられた複数の第2高屈折率部分322同士を連結するように設けられている。第2高屈折率層332の材料は第2高屈折率部分322の材料と同じであってもよい。

【0080】

<第3変形例>

図5(c)に示す第3変形例では、第2高屈折率部分322は開口311の側面312上に設けられており、開口311内であって第2高屈折率部分322の内側には第1高屈折率部分321が設けられている。そのため、第1高屈折率部分321と開口311の側面312との間に第2高屈折率部分322が位置している。本変形例では、第2高屈折率部分322は、第1高屈折率部分321の入射側の一部と側面312の入射側の一部にのみ設けられている。第1高屈折率部分321および第2高屈折率部分322の屈折率は、絶縁膜310の屈折率よりも高い。第2高屈折率部分322の材料は、第1高屈折率部分321の材料と同じであってもよい。高屈折率膜330は、第1高屈折率領域333と第2高屈折率領域334とで構成されている。第1高屈折率領域333は第1高屈折率部分321と同じ材料からなり、第1高屈折率部分上に位置している。第2高屈折率領域334の屈折率は、絶縁膜310の屈折率よりも高く、第2高屈折率部分321上から絶縁膜310上に延在している。第2高屈折率領域334は、複数の開口311内の各々に設けられた複数の第2高屈折率部分322同士を連結するように設けられている。第2高屈折率領域334の材料は第2高屈折率部分322の材料と同じであってもよい。

【0081】

図5(a)で示した第1変形例において、第2高屈折率部分322の屈折率を、絶縁層310の屈折率よりも低い透明材料に置き換えてよい。図5(b)で示した第2変形例において、第1高屈折率部分321および第1高屈折率層331と、第2高屈折率部分322および第2高屈折率層332と、のいずれか一方を、絶縁層310の屈折率よりも低い透明材料に置き換えてよい。

【0082】

図5(a)、(b)で示した第1変形例、第2変形例において、第2高屈折率部分322を、金属光沢を有する不透明材料に置き換えてよい。その場合には、この第2高屈折率部分322に相当する金属材料からなる部分は開口311の底面313を覆わないように設けるべきである。金属光沢によって開口311内の第1高屈折率部分321に入射した光のうち、側面312に向かう光を光電変換部3に向けて反射することができる。

【0083】

図5(a)、(b)で示した第1変形例、第2変形例において、図5(c)に示したように、第2高屈折率部分を、第1高屈折率部分321の入射側の一部と側面312の入射

10

20

30

40

50

側の一部にのみ設けてよい。

【0084】

上記第1～3変形例において、第1高屈折率部分321と第2高屈折率部分322は互いに異なる屈折率を有する異なる材料を用いてもよいし、互いに異なる屈折率を有する同じ材料で構成されていてもよい。第2変形例の第1高屈折率層331と第2高屈折率層332、第3変形例の第1高屈折率領域333と第2高屈折率領域334についても同様である。同じ材料であっても、材料密度を変化させることによって屈折率を異ならせることができ。その場合には、第1高屈折率部分と第2高屈折率部分との間、第1高屈折率層と第2高屈折率層との間、第1高屈折率膜と第2高屈折率膜との間で、屈折率が連続的に変化していることもある。同じ材料を用いて屈折率を異ならせると、材料が異なる場合に比べて応力が抑制できるので好ましい。

【0085】

光電変換装置1のレンズ層の変形例を説明する。図6(a)に第4変形例を、図6(b)に第5変形例を、図6(c)に第6変形例を、図6(d)に第7変形例、図6(e)に第8変形例を、をそれぞれ示す。図6(a)～(e)は、第2レンズ層200に各変形例を適用した例を示したが、第1レンズ層100にも同様に、第4～8変形例を適用することができる。なお、図6(a)～(e)の部材700は、第2レンズ層200の下面と界面を成す部材であり、図1(a)で示した高屈折率膜330や図4(a)で示した低屈折率膜600などに相当する。

【0086】

第2レンズ層200は複数の第2集光レンズ部210を有しているが、第4、5変形例は、互いに隣り合う第2集光レンズ部同士が離れている形態であり、第6～8変形例は、互いに隣り合う第2集光レンズ部同士が接している形態である。第5、6、8変形例では、第2レンズ層200は、互いに隣り合う複数のレンズ体230と、レンズ基体240と、コーティング250とで構成されている。レンズ層は、少なくともレンズ体230を有していればよく、レンズ基体240やコーティング250は適宜省略することができる。

【0087】

<第4変形例>

図6(a)に示す第4変形例では、レンズ基体240が設けられておらず、互いに離れて隣り合う第2集光レンズ部210同士の間には、図1(b)に示したような第2連結部220が存在していない。

【0088】

<第5変形例>

図6(b)に示す第5変形例では、第2レンズ層200は、互いに隣り合う複数のレンズ体230と、レンズ基体240と、コーティング250とで構成されている。レンズ体230の表面は略球面を呈しており、互いに隣り合うレンズ体230同士は離れている。

【0089】

複数のレンズ体230はレンズ基体240上に位置している。レンズ基体240は、レンズ体230の、全部もしくはレンズ基体240近傍の一部の材料と同じ材料の単一の材料からなる。そのため、レンズ体230とレンズ基体240の境界を観察することは困難な場合が多く、レンズ体230の表面(略球面)の端同士を結んだ、仮想的な境界を設定することが好ましい。なお、第2レンズ層200の材料が高屈折率膜330の材料と同じであって、高屈折率膜330とレンズ基体240との境界が明確でない場合がある。その場合には、上記仮想的な境界を第2レンズ層200の下面とみなして、第2レンズ層と高屈折率膜330とが接していると考えることができる。

【0090】

レンズ基体240の、レンズ体230から半導体基板2に向けた正射影の領域に存在する部分をレンズ体対応部241と呼び、それ以外の領域に存在する部分をレンズ体非対応部242と呼ぶ。レンズ体非対応部242は実質的に平坦な表面を有する。

【0091】

10

20

30

40

50

コーティング250はレンズ体230およびレンズ基体240の表面(略球面)に沿つて設けられた膜であり、コーティング250の表面の一部の領域は略球面を呈しており、この領域を曲面領域251と呼ぶ。コーティング250は、レンズ体230とは異なる材料からなる。コーティング250は単層コーティングであってもよいし、材料が異なる2つ以上の層を含む複層コーティングであってもよい。例えば、コーティング250を酸化シリコン層と酸窒化シリコン層と窒化シリコン層とフッ素樹脂層から選ばれた二つ以上の層で構成することもできる。コーティング250の表面の、曲面領域251以外の領域は実質的に平坦であり、この領域を平面領域252と呼ぶ。曲面領域251から半導体基板2に向けた正射影の領域に位置する、レンズ体230の全部と、レンズ基体240の一部と、コーティング250の一部とが、複数の第2集光レンズ部210を構成している。ここでいうレンズ基体240の一部とは詳細には、レンズ体対応部241の全部とレンズ体非対応部242の一部である。一方、平面領域252から半導体基板2に向けた正射影の領域に位置する、レンズ基体240の一部(詳細には、レンズ体非対応部242の残りの一部)と、コーティング250の一部とが、第2連結部220を構成している。このようにして、互いに隣り合う第2集光レンズ部210同士が離れている構成を得ることもできる。

【0092】

コーティング250の屈折率をレンズ体230の屈折率よりも低くするとよい。コーティング250の屈折率をこのように設定すると、コーティング250はレンズ体230の表面への入射光の透過率を高める、幾何光学的な視点での反射抑制機能を奏する。

【0093】

コーティング250の厚み T_c はレンズ体230の厚み T_L より小さい。 T_c が T_L の1/2以下であることが好ましい。コーティング250の厚み T_c は200nm以下であることが望ましい。コーティング250の厚み T_c を、入射光の波長の($M - 0.5$)/4 n_c 倍~($M + 0.5$)/4 n_c 倍とすると好ましく、入射光の波長の $M/4n_c$ 倍とすることがより好ましい。ここで、 M は奇数、 n_c はコーティング250の屈折率である。 M は1または3が好ましく、1がより好ましい。コーティング250の厚みをこのように設定すると、コーティング250はレンズ体230の表面での反射光とコーティング250の表面での反射光の干渉を弱める、波動光学的な視点での反射抑制機能を奏する。以上のように、レンズ部が反射抑制構造を有することにより、光の損失が低減され、高い感度を有する光電変換装置が得られる。例えば、レンズ体230が屈折率2.00の窒化シリコンからなる場合、コーティング250は屈折率が1.73である酸窒化シリコンからなることが好ましい。コーティング250の厚みは、例えば80nmとすることができます。また、例えば、レンズ体230が屈折率1.60の樹脂からなる場合、コーティング250は屈折率が1.46である酸化シリコンからなることが好ましい。コーティング250の厚みは、例えば94nmとすることができます。なお、複層コーティングの場合、コーティング250を共にレンズ体230の屈折率よりも低い複数の層で構成することもできるが、厚みと波長に因る干渉を弱める条件に基づき、レンズ体230よりも屈折率が高い層と、レンズ体230よりも屈折率が低い層とで構成することもできる。

【0094】

<第6変形例>

図6(c)に示す第6変形例でも、互いに隣り合うレンズ体230同士は離れており、レンズ基体240は、実質的に平坦な表面を有するレンズ体非対応部242を有している。一方、コーティング250の曲面領域251同士が接している。したがって、レンズ体230の全部と、レンズ基体240の全部(詳細には、レンズ体対応部241の全部とレンズ体非対応部242の全部)と、コーティング250の全部とが、複数の第2集光レンズ部210を構成している。このように、レンズ体230同士が離れていても、コーティング250を設けることによって、互いに隣り合う第2集光レンズ部210同士が接している構成を得ることもできる。

【0095】

10

20

30

40

50

<第7変形例>

図6(d)に示す第7変形例でも、互いに隣り合うレンズ体230同士は離れている。なお、本変形例では、レンズ基体240を削除している。一方、コーティング250の曲面領域251同士が接している。したがって、レンズ体230の全部と、コーティング250の全部とが、複数の第2集光レンズ部210を構成している。このように、レンズ体230同士が離れていても、コーティング250を設けることによって、互いに隣り合う第2集光レンズ部210同士が接している構成を得ることもできる。

【0096】

<第8変形例>

図6(e)に示す第8変形例では、互いに隣り合うレンズ体230同士が接しており、互いに隣り合う曲面領域251も接している。なお、レンズ基体240には実質的に平坦なレンズ体非対応部242が存在していない。したがって、レンズ体230の全部と、レンズ基体240の全部と、コーティング250の全部とが、複数の第2集光レンズ部210を構成している。その結果、互いに隣り合う第2集光レンズ部210同士は接している。本実施形態では、レンズ体230同士が接しているため、互いに隣り合う第2集光レンズ部210同士の境界近傍(曲面領域251同士の境界近傍)に入射した光を、より確実に別々のレンズ体230で集光することが可能になる。

【0097】

<第5実施形態>

上述したように、第1レンズ層100にも同様に、第4~8変形例を適用することができる。第5実施形態として、図4(c)で説明した、第4実施形態の第3例において、第1レンズ層100に第8変形例を、第2レンズ層200に第5変形例を適用した例を図7に示す。

【0098】

第1レンズ層100の第1集光レンズ部110は、第1基体140と第1レンズ体130と第1コーティング150を含んでいる。本例では、第1基体140および第1レンズ体130は樹脂からなり、第1コーティング150は酸化シリコンからなる。第2レンズ層200の第2集光レンズ部210は、第2基体240と第2レンズ体230と第2コーティング250を含んでいる。本例では、本例では、第2基体240および第2レンズ体230は窒化シリコンからなり、第2コーティング250は酸窒化シリコンからなる。

【0099】

図8を用いて説明したように、レンズ層の連結部に光が入射すると画質の低下が生じる場合がある。そのため、仮に、第1レンズ体部110同士の間の第1連結部に、光の反射を抑制するようなコーティングが設けられると、画質の低下が顕著になってしまう恐れがある。一方、本例では、互いに隣り合う第1レンズ体部110が接しているため、上述したように、注目受光素子10の第1レンズ体部110と1次近傍受光素子11同士の間には連結部が存在しない。そのため、連結部へ入射するような光が存在しないため、画質の低下が抑制される。注目受光素子10と2次近傍受光素子11に関しても同様である。

【0100】

また、第1レンズ層100から半導体基板2までの間で反射率が高い界面が存在すると、各界面での反射光の干渉が生じやすく、色ムラが顕著になる可能性がある。特に第1レンズ層100の表面(上面)での反射、第2レンズ層200の表面(上面)での反射、および半導体基板2の表面での反射が、光の干渉による色ムラの大きな原因となりうる。本例では、第1コーティング150により第1レンズ層100での反射を抑制できるため、色ムラを改善することが可能となる。またさらに本例では、第2コーティングにより第2レンズ層200の表面での反射を抑制することができる。色ムラは、反射面の間隔が小さ場合に顕著になりうるが、第1レンズ層100の表面と第2レンズ層200の表面の双方で反射を抑制することにより、色ムラをより改善することができる。なお、第2レンズ層200は第2連結部220を有しており、第2コーティング250により第2連結部22

10

20

30

40

50

0での反射も抑制されうるが、第1レンズ層100の第1レンズ部110同士が接していることにより、第2連結部220への入射光は可及的に低減される。

【0101】

第1集光レンズ部110の曲率を0.49(1/μm)以上とすることにより、色ムラを抑制することができる。色ムラは、半導体基板2の法線方向で生じる光の干渉が主たる要因である。第1集光レンズ110の曲率半径を小さくすることで、第1集光レンズ部110の表面(上面)での反射光の進行方向を他の面での反射光の進行方向からずらすことができる。その結果、第1集光レンズ部110の表面(上面)での反射光が他の面での反射光と干渉することを抑制することができる。

【0102】

さらに、本例では、第2レンズ層200の屈折率(詳細には、第2レンズ層200の第2基体240の屈折率)が高屈折率部材330の屈折率よりも高くなっている。例えば、第2レンズ層200を屈折率が2.00の窒化シリコンとし、高屈折率膜330を屈折率が1.84の窒化シリコンとすることができる。したがって、第3変形例で説明したように、第1低屈折率層610の屈折率を第3低屈折率層630の屈折率よりも高くすることにより、第2レンズ層200の下面と高屈折率膜300の上面での反射光を低減することができる。例えば第1低屈折率層610を屈折率が1.73の酸窒化シリコンとし、第2低屈折率層620を屈折率が1.46の酸化シリコンとし、第3低屈折率層630を1.65とすることができる。

【0103】

以上説明した光電変換装置1は、例えば、イメージングセンサーや測距センサー、測光センサーとしての利用が可能である。光電変換装置1が、イメージングセンサーと測距センサー、測光センサーとしての機能のうちの複数の機能を兼ね備えていてもよい。

【0104】

光電変換装置1と、光電変換装置1から出力された電気信号が入力され、当該電気信号を処理する信号処理装置とを備える撮像システムを構築することもできる。図9は、撮像システム1001の一例を示す図である。電気信号は、光電変換装置1のOUT1、OUT2から出力される。ここでは、出力経路をOUT1、OUT2の2つを設けた例を示したが、出力経路は、1つであってもよいし、3つ以上であってもよい。電気信号は、信号処理装置1000のINに入力される。電気信号は、電流信号であってもよいし電圧信号でもよく、また、アナログ信号であってもよいしデジタル信号であってもよい。

【0105】

光電変換装置1をイメージセンサーとして用いる場合には、信号処理装置1000を、INに電気信号を入力することにより、OUT3から画像信号を出力するように構成する。光電変換装置1を焦点検出用の測距センサーとして用いる場合には、信号処理装置100を、INに電気信号を入力することにより、光電変換装置1の前方に設けられたレンズを駆動するための駆動信号を、OUT3から出力するように構成する。光電変換装置1を測光センサーとして用いる場合には、信号処理装置1000を、INに電気信号を入力することにより、シャッターを制御して露光時間を調整する制御信号をOUT3から出力するように構成する。なお、上記シャッターはメカニカルシャッターでも電子シャッターでもよいが、電子シャッターの場合は、実質的に光電変換装置1を制御することになる。本発明の光電変換装置1をイメージセンサーとして用いると特に好適であり、良好な画像を得ることができる。

【0106】

図9に示した撮像システム1001における光電変換装置1の一例を説明する。本例では、光電変換装置1として画素增幅型光電変換装置をイメージセンサーとして用いている。図9において、光電変換装置1は、画素部711と、垂直走査回路712と、2つの読み出し回路713と、2つの水平走査回路714と、2つの出力アンプ715を備えている。画素部711以外の領域を周辺回路部とも称する。

【0107】

10

20

30

40

50

画素部 711 は、複数の画素セルが 2 次元状に配列されて構成される。各画素セルは、複数の画素を含んで構成される。各画素は、読み出し回路 713、例えば、列アンプ、CDS 回路、加算回路等を含み、垂直走査回路 712 によって選択された行の画素から垂直信号線を介して読み出された信号に対して増幅、加算等を行う。列アンプ、CDS 回路、加算回路等は、例えば、画素列又は複数の画素列毎に配置される。水平走査回路 714 は、読み出し回路 713 の信号を順番に読み出すための信号を生成する。出力アンプ 715 は、水平走査回路 714 によって選択された列の信号を増幅して出力する。

【0108】

以上の構成は、光電変換装置 1 の一つの構成例に過ぎず、これに限定されるものではない。読み出し回路 713 と水平走査回路 714 と出力アンプ 715 とは、2 系統の出力経路 (OUT1、OUT2) を構成するため、画素部 711 を挟んで上下に 1 つずつ配置されている。

10

【0109】

代表的な撮像システム 1001 としてはスチルカメラやビデオカメラ等のカメラが挙げられる。撮像システム 1001 は、光電変換装置 1 を移動可能にする移動手段 (不図示) を備えることもできる。移動手段としては、電動モーター・やレシプロエンジン、ロータリーエンジン等を動力源とする車輪が挙げられる。また、移動手段としては、プロペラ、タービンエンジン、ロケットエンジン等の推進装置も挙げられる。このような、移動手段を備える撮像システムは、自動車や鉄道車両、船舶、航空機、人工衛星等に、光電変換装置 1 および信号処理装置 1000 を搭載することにより実現が可能である。

20

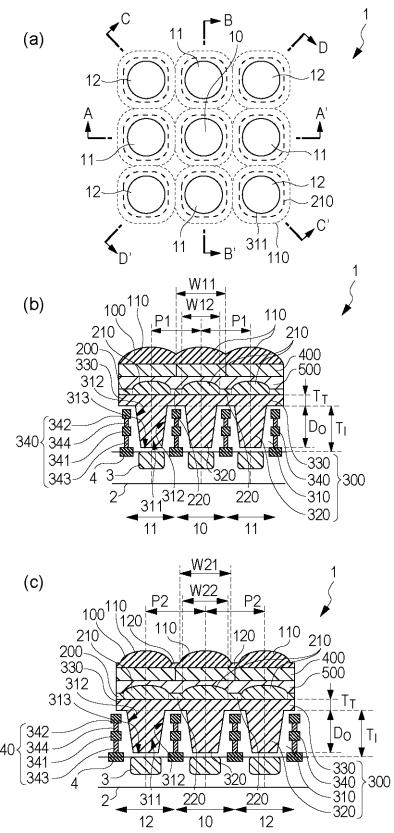
【符号の説明】

【0110】

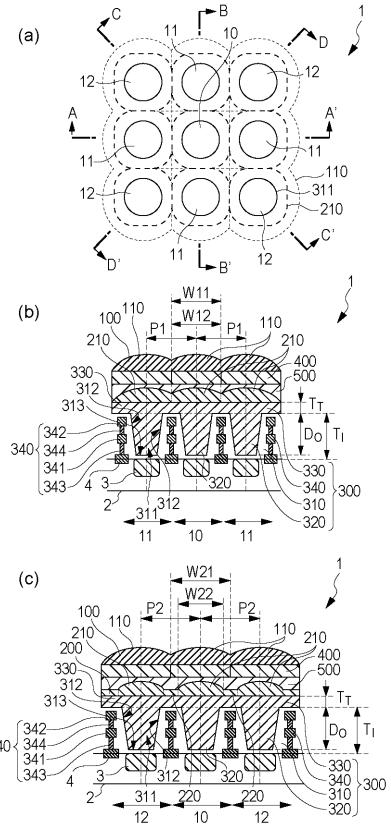
- 1 光電変換装置
- 3 光電変換部
- 300 複合部材
- 310 絶縁膜
- 320 高屈折率部材
- 321 第 1 高屈折率部分
- 322 第 2 高屈折率部分
- 330 高屈折率膜
- 110 第 1 集光レンズ部
- 210 第 2 集光レンズ部
- 400 波長選択層
- 600 低屈折率膜

30

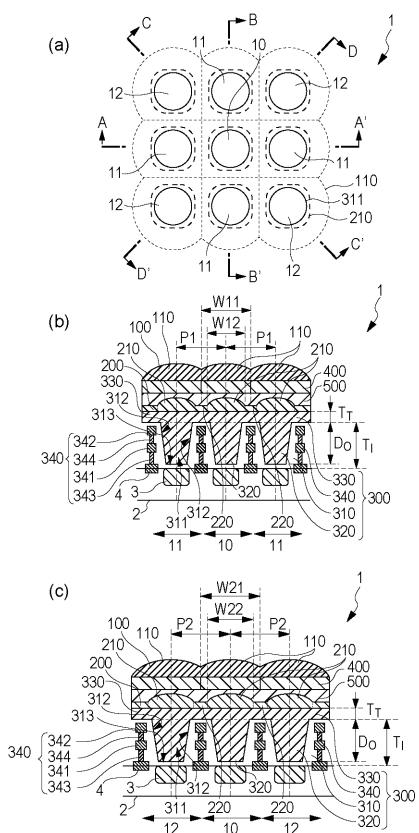
【 図 1 】



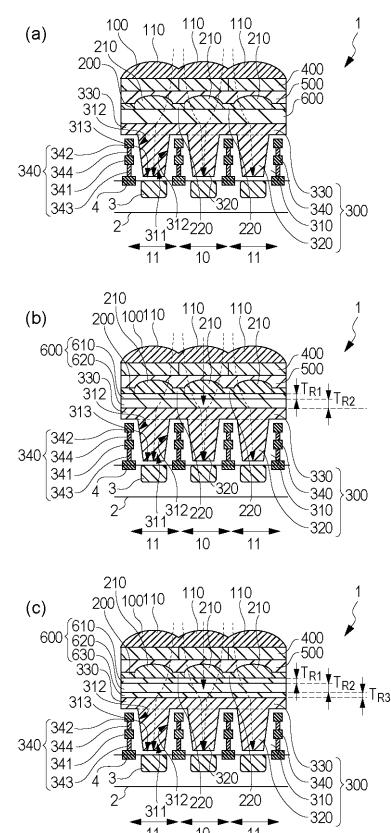
【 図 2 】



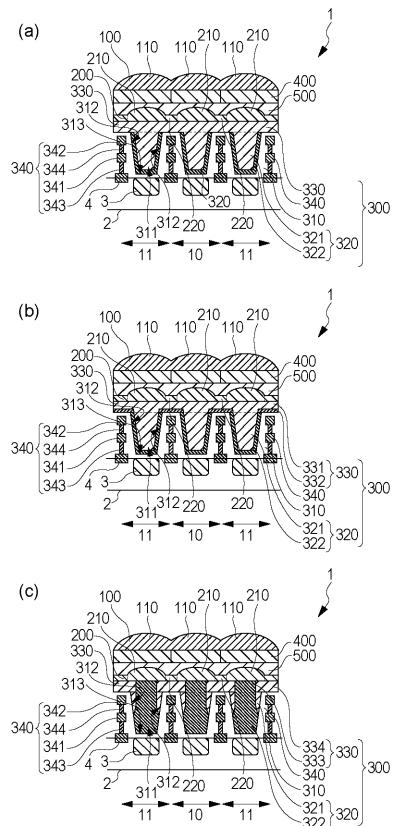
【図3】



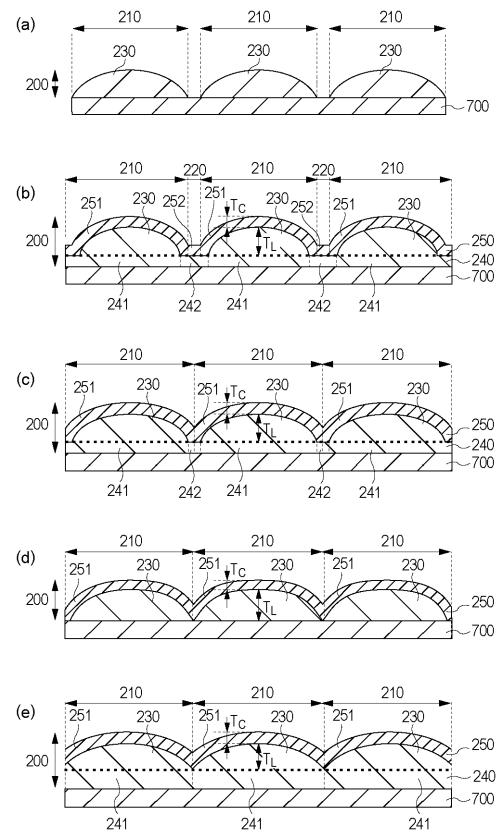
【 図 4 】



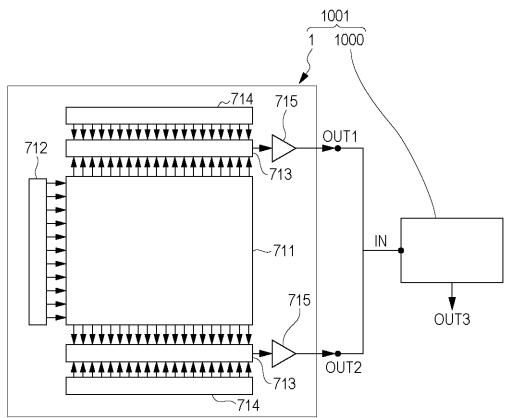
【図5】



【図6】



【図9】



フロントページの続き

(72)発明者 市川 武史
東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内
(72)発明者 関根 康弘
東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内
(72)発明者 篠原 真人
東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内
(72)発明者 加藤 太朗
東京都大田区下丸子3丁目30番2号キヤノン株式会社内
(72)発明者 門間 玄三
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 多賀 和宏

(56)参考文献 特開2008-009079 (JP, A)
特開2009-194340 (JP, A)
特開2008-258203 (JP, A)
特開2006-351759 (JP, A)
特開2009-194402 (JP, A)
国際公開第2009/019818 (WO, A1)
特開2005-252391 (JP, A)
特開2009-170562 (JP, A)
特開2008-071972 (JP, A)
特開2000-252451 (JP, A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 27/14、31/0232