

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7614855号
(P7614855)

(45)発行日 令和7年1月16日(2025.1.16)

(24)登録日 令和7年1月7日(2025.1.7)

(51)国際特許分類	F I		
H 1 0 F 30/225 (2025.01)	H 0 1 L 31/10	B	
H 1 0 F 30/20 (2025.01)	H 0 1 L 31/10	H	
H 1 0 F 39/18 (2025.01)	H 0 1 L 27/146	A	
G 0 8 G 1/16 (2006.01)	H 0 1 L 27/146	F	
	G 0 8 G 1/16	C	
請求項の数 18 (全32頁)			

(21)出願番号	特願2021-8442(P2021-8442)	(73)特許権者	000001007
(22)出願日	令和3年1月22日(2021.1.22)		キヤノン株式会社
(65)公開番号	特開2022-112594(P2022-112594 A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43)公開日	令和4年8月3日(2022.8.3)	(74)代理人	100126240
審査請求日	令和5年12月27日(2023.12.27)		弁理士 阿部 琢磨
		(74)代理人	100223941
			弁理士 高橋 佳子
		(74)代理人	100159695
			弁理士 中辻 七朗
		(74)代理人	100172476
			弁理士 富田 一史
		(74)代理人	100126974
			弁理士 大朋 靖尚
		(72)発明者	岩田 旬史
			東京都大田区下丸子3丁目30番2号キ
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 光電変換装置、光検出システム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

光入射面を有し、複数の光電変換素子を含む半導体層と、
前記半導体層の前記光入射面とは反対の面の側に配された配線構造と、を有し、
前記複数の光電変換素子のそれぞれは、アバランシェフォトダイオードを含み、
前記アバランシェフォトダイオードは、信号電荷と同じ極性の電荷を多数キャリアとする第1導電型の第1半導体領域と、第2導電型の第2半導体領域とを有し、
前記複数の光電変換素子の間には、トレンチ分離が配されており、
前記第2半導体領域には、前記第2導電型の半導体領域を介して駆動電圧が供給されており、
前記配線構造は、前記第2導電型の半導体領域に駆動電圧を供給する配線の中で前記半導体層に最も近い第1配線と、前記第1配線と前記第2導電型の半導体領域とを接続するコンタクトプラグと、前記第1半導体領域に駆動電圧を供給する第2配線と、を有し、
前記第2配線は、平面視において前記第1半導体領域を覆うように配置され、
前記第2配線と前記半導体層との距離は、前記第1配線と前記半導体層との距離よりも小さく、
前記コンタクトプラグは、平面視で前記トレンチ分離を覆うように配置されており、前記複数の光電変換素子のうちの第1の光電変換素子に含まれる前記第2導電型の半導体領域と、前記トレンチ分離と、前記複数の光電変換素子のうちの前記第1の光電変換素子に並んで配された第2の光電変換素子に含まれる前記第2導電型の半導体領域と、に接して配

されることを特徴とする光電変換装置。

【請求項 2】

光入射面を有し、複数の光電変換素子を含む半導体層と、
前記半導体層の前記光入射面とは反対の面の側に配された配線構造と、を有し、
前記複数の光電変換素子のそれぞれは、アバランシェフォトダイオードを含み、
前記アバランシェフォトダイオードは、信号電荷と同じ極性の電荷を多数キャリアとする第 1 導電型の第 1 半導体領域と、第 2 導電型の第 2 半導体領域とを有し、
前記複数の光電変換素子の間には、トレンチ分離が配されており、
前記第 2 半導体領域には、前記第 2 導電型の半導体領域を介して駆動電圧が供給されており、

10

前記配線構造は、前記第 2 導電型の半導体領域に駆動電圧を供給する配線の中で前記半導体層に最も近い第 1 配線と、前記第 1 配線と前記第 2 導電型の半導体領域とを接続するコンタクトプラグと、前記第 1 半導体領域に平面視で重なるように配された第 2 配線と、を有し、

前記第 2 配線は、平面視において前記第 1 半導体領域を覆うように配置され、

前記第 2 配線と前記半導体層との距離は、前記第 1 配線と前記半導体層との距離よりも小さく、

平面視で、前記複数の光電変換素子のうちの第 1 の光電変換素子と前記複数の光電変換素子のうちの第 2 の光電変換素子とは第 1 の方向に並んで配され、前記複数の光電変換素子のうちの第 3 の光電変換素子と前記第 2 の光電変換素子とは前記第 1 の方向と交差する第 2 の方向に並んで配され、

20

平面視で、前記第 1 の方向において、前記第 1 半導体領域と平面視で重なる前記第 2 配線と前記第 2 の光電変換素子の前記第 1 半導体領域と重なる前記第 2 配線とは隣り合って配されており、前記第 1 半導体領域と平面視で重なる前記第 2 配線と前記第 2 の光電変換素子の前記第 2 配線との間には前記第 1 配線は配されておらず、

前記コンタクトプラグは、平面視で前記トレンチ分離を覆うように配置されており、前記第 1 の光電変換素子に含まれる前記第 2 導電型の半導体領域と、前記トレンチ分離と、前記第 2 の光電変換素子に含まれる前記第 2 導電型の半導体領域と、に接して配されることを特徴とする光電変換装置。

【請求項 3】

30

前記第 2 配線と同じ高さには、前記コンタクトプラグの一部が配されることを特徴とする請求項 1 または 2 に記載の光電変換装置。

【請求項 4】

前記コンタクトプラグは、第 1 のビアと第 2 のビアとが積層されて構成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれか 1 項に記載の光電変換装置。

【請求項 5】

前記第 1 のビアと前記第 2 のビアとは同じ材料で構成されることを特徴とする請求項 4 に記載の光電変換装置。

【請求項 6】

前記第 2 配線と前記第 1 半導体領域とは第 2 のコンタクトプラグを介して接続されており、

40

前記第 2 のコンタクトプラグは、平面視で前記第 1 半導体領域の中心に配されることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれか 1 項に記載の光電変換装置。

【請求項 7】

前記アバランシェフォトダイオードから出力される信号を処理する信号処理回路を有する第 2 半導体層を有し、

前記第 2 半導体層と、前記半導体層とは積層されてい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】

平面視で、前記第 2 配線は、前記第 1 半導体領域の全域を覆うように配されることを特

50

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】

前記第 2 配線の主成分は、銅であることを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の光電変換装置。

【請求項 10】

前記第 2 配線の主成分は、アルミニウムであることを特徴とする請求項 1 乃至 8 のいずれか 1 項に記載の光電変換装置。

【請求項 11】

前記第 1 配線は、平面視で、前記第 2 配線と前記コンタクトプラグの間を覆うように配されていることを特徴とする請求項 1 乃至 10 のいずれか 1 項に記載の光電変換装置。

10

【請求項 12】

前記トレンチ分離は、前記半導体層を貫通することを特徴とする請求項 1 乃至 11 のいずれか 1 項に記載の光電変換装置。

【請求項 13】

前記トレンチ分離には、金属が埋め込まれていることを特徴とする請求項 1 乃至 12 のいずれか 1 項に記載の光電変換装置。

【請求項 14】

前記半導体層の光入射面は、複数の凹部を有す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】

20

前記アバランシェフォトダイオードは、前記第 1 導電型の第 3 半導体領域を含み、平面視で前記第 3 半導体領域は、前記第 1 半導体領域よりも大きく、前記第 3 半導体領域で生成された信号電荷は、前記第 1 半導体領域に集まるように構成されていることを特徴とする請求項 1 乃至 14 のいずれか 1 項に記載の光電変換装置。

【請求項 16】

前記第 2 配線は、平面視で、前記第 2 導電型の半導体領域に重なるように配されていることを特徴とする請求項 1 乃至 15 のいずれか 1 項に記載の光電変換装置。

【請求項 17】

請求項 1 乃至 16 のいずれか 1 項に記載の光電変換装置と、前記光電変換装置が出力する信号を処理する信号処理部と、を有することを特徴とする光検出システム。

30

【請求項 18】

請求項 1 乃至 16 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の信号に基づく測距情報から、対象物までの距離情報を取得する距離情報取得手段と、を有する移動体であって、前記距離情報に基づいて前記移動体を制御する制御手段をさらに有することを特徴とする移動体。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

40

本発明は、光電変換を行う光電変換装置、および光検出システムに関する。

【背景技術】

【0002】

複数の SPAD (Single Photon Avalanche Diode) 画素が平面的に配置されるように形成された画素アレイを含む光電変換装置が知られている。SPAD 画素では、半導体領域内の PN 接合領域において、単一光子に起因した光電荷がアバランシェ増倍を起こす。

【0003】

特許文献 1 には、SPAD 画素を有する光電変換装置において、アバランシェフォトダイオード (以下、APD) の N 型拡散層 (カソード) に電位を供給する第 1 配線と、AP

50

DのP型拡散層（アノード）に電位を供給する第2配線と、が開示されている。特許文献1において、第1配線および第2配線は、基板の光入射面とは反対側の面に配されている。そして、第1配線は、アバランシェ増倍領域を覆うように配されている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0004】

【文献】特開2018-88488号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0005】

10

特許文献1には、第1配線と第2配線との関係についての構成や配置位置について検討の余地がある。例えば、アバランシェフォトダイオードを含む画素の場合は、カソードへの印加電圧とアノードへの印加電圧との差を考慮して、耐圧を確保する必要がある。引用文献1では、耐圧を考慮したカソードに電位を供給する第1のメタル配線とアノードに電位を供給する第2のメタル配線の構成や配置位置などの関係について記載がされていない。

【課題を解決するための手段】

【0006】

一形態に係る光電変換装置は、光入射面を有し、複数の光電変換素子を含む半導体層と、前記半導体層の前記光入射面とは反対の面の側に配された配線構造と、を有し、前記複数の光電変換素子のそれぞれは、アバランシェフォトダイオードを含み、前記アバランシェフォトダイオードは、信号電荷と同じ極性の電荷を多数キャリアとする第1導電型の第1半導体領域と、第2導電型の第2半導体領域とを有し、前記第2半導体領域には、前記第2導電型の半導体領域を介して駆動電圧が供給されており、前記配線構造は、前記第2導電型の半導体領域に駆動電圧を供給する配線の中で前記半導体層に最も近い第1配線と、前記第1配線と前記第2導電型の半導体領域とを接続するコンタクトプラグと、前記第1半導体領域に駆動電圧を供給する第2配線と、を有し、前記第2配線は、平面視において前記第1半導体領域を覆うように配置され、前記第2配線と前記半導体層との距離は、前記第1配線と前記半導体層との距離よりも小さい。

20

【0007】

一形態に係る光電変換装置は、光入射面を有し、複数の光電変換素子を含む半導体層と、前記半導体層の前記光入射面とは反対の面の側に配された配線構造と、を有し、前記複数の光電変換素子のそれぞれは、アバランシェフォトダイオードを含み、前記アバランシェフォトダイオードは、信号電荷と同じ極性の電荷を多数キャリアとする第1導電型の第1半導体領域と、第2導電型の第2半導体領域とを有し、前記第2半導体領域には、前記第2導電型の半導体領域を介して駆動電圧が供給されており、前記配線構造は、前記第2導電型の半導体領域に駆動電圧を供給する配線の中で前記半導体層に最も近い第1配線と、前記第1配線と前記第2導電型の半導体領域とを接続するコンタクトプラグと、前記第1半導体領域に平面視で重なるように配された第2配線と、を有し、前記第2配線は、平面視において前記第1半導体領域を覆うように配置され、前記第2配線と前記半導体層との距離は、前記第1配線と前記半導体層との距離よりも小さく、平面視で、前記複数の光電変換素子のうちの第1の光電変換素子と前記複数の光電変換素子のうちの第2の光電変換素子とは第1の方向に並んで配され、前記複数の光電変換素子のうちの第3の光電変換素子と前記第2の光電変換素子とは前記第1の方向と交差する第2の方向に並んで配され、平面視で、前記第1の方向において、前記第1半導体領域と平面視で重なる前記第2配線と前記第2の光電変換素子の前記第1半導体領域と重なる前記第2配線とは隣り合って配されており、前記第1半導体領域と平面視で重なる前記第2配線と前記第2の光電変換素子の前記第2配線との間には前記第1配線は配されていない。

30

40

【0008】

一形態に係る光電変換装置は、光入射面を有し、アバランシェフォトダイオードを含む光電変換素子を含む半導体層と、前記半導体層の前記光入射面とは反対の面の側に配され

50

た配線構造と、を有し、前記アバランシェフォトダイオードは、信号電荷と同じ極性の電荷を多数キャリアとする第1導電型の第1半導体領域と、第2導電型の第2半導体領域とを有し、前記第2半導体領域には、前記第2導電型の半導体領域を介して駆動電圧が供給されており、前記配線構造は、前記第2導電型の半導体領域に駆動電圧を供給し、前記半導体層に最も近い第1配線と、前記第1配線と同じ配線層に配され、前記第1半導体領域に駆動電圧を供給する第2配線と、を有し、前記第1配線は、開口を有し、平面視で前記第1配線の前記開口に前記第2配線が配されており、平面視で、前記第2配線は、5つ以上の辺で構成され、前記第1配線の開口は、5つ以上の辺を有する。

【発明の効果】

【0009】

本発明によれば、APDの2つのノードのうちの一方に駆動電圧を供給する第1配線と、他方に駆動電圧を供給する第2配線とにおいて、耐圧を考慮した具体的な構成や配置位置を提供した光電変換装置とすることができる。

【図面の簡単な説明】

【0010】

【図1】光電変換装置の構成を示す図

【図2】センサ基板の配置例

【図3】回路基板の配置例

【図4】光電変換素子の等価回路を含むブロック図

【図5】APDの動作と出力信号との関係を示す図

【図6】実施形態1に係る光電変換装置の概略断面図

【図7】実施形態1に係る光電変換装置の概略平面図

【図8】実施形態1の他の例に係る光電変換装置の概略平面図

【図9】実施形態2に係る光電変換装置の概略断面図

【図10】実施形態2に係る光電変換装置の概略平面図

【図11】実施形態3に係る光電変換装置の概略断面図

【図12】実施形態4に係る光電変換装置の概略断面図

【図13】実施形態4の他の例に係る光電変換装置の概略断面図

【図14】実施形態5に係る光電変換装置の概略断面図

【図15】実施形態6に係る光電変換装置の概略断面図

【図16】実施形態7に係る光電変換装置の概略断面図

【図17】実施形態7に係る光電変換装置の概略平面図

【図18】実施形態8の光検出システムのブロック図

【図19】実施形態9の光検出システムのブロック図

【図20】実施形態10の光検出システムのブロック図

【図21】実施形態11の光検出システムのブロック図

【図22】実施形態11の光検出システムのフローチャート

【図23】実施形態12の電子機器の具体例を示す図

【発明を実施するための形態】

【0011】

以下に示す形態は、本発明の技術思想を具体化するためのものであって、本発明を限定するものではない。各図面が示す部材の大きさや位置関係は、説明を明確にするために誇張していることがある。以下の説明において、同一の構成については同一の番号を付して説明を省略することがある。

【0012】

図1乃至図4を用いて、各実施形態における光電変換装置に共通する構成を説明する。光電変換装置はアバランシェフォトダイオードを含むSPAD画素を有する。アバランシェフォトダイオードで生じる電荷対のうち信号電荷として用いられる電荷の導電型を第1導電型と呼ぶ。第1導電型とは、信号電荷と同じ極性の電荷を多数キャリアとする導電型を指す。また、第1導電型と反対の導電型を第2導電型と呼ぶ。以下では、信号電荷が電

10

20

30

40

50

子であり、第１導電型がＮ型、第２導電型がＰ型である例を説明するが、信号電荷が正孔であり、第１導電型がＰ型、第２導電型がＮ型であってもよい。

【００１３】

本明細書において、単に「不純物濃度」という用語が使われた場合、逆導電型の不純物によって補償された分を差し引いた正味の不純物濃度を意味している。つまり、「不純物濃度」とは、ＮＥＴドーピング濃度を指す。Ｐ型の添加不純物濃度がＮ型の添加不純物濃度より高い領域はＰ型半導体領域である。反対に、Ｎ型の添加不純物濃度がＰ型の添加不純物濃度より高い領域はＮ型半導体領域である。

【００１４】

本明細書において、「平面視」とは、後述する半導体基板の光入射面に対して垂直な方向から視ることを指す。また、断面とは、センサ基板１１の半導体層３０２の光入射面と垂直な方向における面を指す。なお、微視的に見て半導体層の光入射面が粗面である場合は、巨視的に見たときの半導体層の光入射面を基準として平面視を定義する。

【００１５】

本明細書において、深さ方向は、半導体層３０２の光入射面（第１面）から回路基板２１が配される側の面（第２面）に向かう方向である。

【００１６】

まず、各実施形態に共通する構成を説明する。

【００１７】

図１は、本発明の実施形態に係る積層型の光電変換装置１００の構成を示す図である。光電変換装置１００は、センサ基板１１と、回路基板２１の２つの基板が積層され、且つ電氣的に接続されることにより構成される。センサ基板１１は、後述する光電変換素子１０２を有する第１半導体層と、第１配線構造と、を有する。回路基板２１は、後述する信号処理部１０３等の回路を有する第２半導体層と、第２配線構造と、を有する。光電変換装置１００は、第２半導体層、第２配線構造、第１配線構造、第１半導体層の順に積層して構成される。各実施形態に記載の光電変換装置は、第１面から光が入射し、第２面に回路基板が配される、裏面照射型の光電変換装置である。

【００１８】

以下では、センサ基板１１と回路基板２１とは、ダイシングされたチップで説明するが、チップに限定されない。例えば、各基板はウエハであってもよい。また、各基板はウエハ状態で積層した後にダイシングされていてよいし、チップ化した後に各チップを積層して接合してもよい。

【００１９】

センサ基板１１には、画素領域１２が配され、回路基板２１には、画素領域１２で検出された信号を処理する回路領域２２が配される。

【００２０】

図２は、センサ基板１１の配置例を示す図である。アバランシェフォトダイオードを含む光電変換素子１０２を有する画素１０１が平面視で二次元アレイ状に配列され、画素領域１２を形成する。

【００２１】

画素１０１は、典型的には、画像を形成するための画素であるが、ＴＯＦ（Time of Flight）に用いる場合には、必ずしも画像を形成しなくてもよい。すなわち、画素１０１は、光が到達した時刻と光量を測定するための画素であってもよい。

【００２２】

図３は、回路基板２１の構成図である。図２の光電変換素子１０２で光電変換された電荷を処理する信号処理部１０３、読み出し回路１１２、制御パルス生成部１１５、水平走査回路部１１１、出力線１１３、垂直走査回路部１１０を有している。

【００２３】

図２の光電変換素子１０２と、図３の信号処理部１０３は、画素毎に設けられた接続配線を介して電氣的に接続される。

10

20

30

40

50

【 0 0 2 4 】

垂直走査回路部 1 1 0 は、制御パルス生成部 1 1 5 から供給された制御パルスを受け、各画素に制御パルスを供給する。垂直走査回路部 1 1 0 にはシフトレジスタやアドレスデコードといった論理回路が用いられる。

【 0 0 2 5 】

画素の光電変換素子 1 0 2 から出力された信号は、信号処理部 1 0 3 で処理される。信号処理部 1 0 3 は、カウンタやメモリなどが設けられており、メモリにはデジタル値が保持される。

【 0 0 2 6 】

水平走査回路部 1 1 1 は、デジタル信号が保持された各画素のメモリから信号を読み出すために、各列を順次選択する制御パルスを信号処理部 1 0 3 に入力する。

10

【 0 0 2 7 】

出力線 1 1 3 には、選択されている列について、垂直走査回路部 1 1 0 により選択された画素の信号処理部 1 0 3 から信号が出力される。

【 0 0 2 8 】

出力線 1 1 3 に出力された信号は、出力回路 1 1 4 を介して、光電変換装置 1 0 0 の外部の記録部または信号処理部に出力する。

【 0 0 2 9 】

図 2 において、画素領域における光電変換素子の配列は 1 次元状に配されていてもよい。また、画素が 1 つであっても本発明の効果を得ることは可能であり、複数の画素を有する光電変換装置であれば本実施形態の耐压確保による効果を得やすくなる。信号処理部の機能は、必ずしも全ての光電変換素子に 1 つずつ設けられる必要はなく、例えば、複数の光電変換素子によって 1 つの信号処理部が共有され、順次信号処理が行われてもよい。

20

【 0 0 3 0 】

図 2 および図 3 に示すように、平面視で画素領域 1 2 に重なる領域に、複数の信号処理部 1 0 3 が配される。そして、平面視で、センサ基板 1 1 の端と画素領域 1 2 の端との間に重なるように、垂直走査回路部 1 1 0、水平走査回路部 1 1 1、列回路 1 1 2、出力回路 1 1 4、制御パルス生成部 1 1 5 が配される。言い換えると、センサ基板 1 1 は、画素領域 1 2 と画素領域 1 2 の周りに配された非画素領域とを有し、平面視で非画素領域に重なる領域に、垂直走査回路部 1 1 0、水平走査回路部 1 1 1、列回路 1 1 2、出力回路 1 1 4、制御パルス生成部 1 1 5 が配される。

30

【 0 0 3 1 】

図 4 は、図 2 及び図 3 の等価回路を含むブロック図の一例である。

【 0 0 3 2 】

図 2 において、A P D 2 0 1 を有する光電変換素子 1 0 2 は、センサ基板 1 1 に設けられており、その他の部材は、回路基板 2 1 に設けられている。

【 0 0 3 3 】

A P D 2 0 1 は、光電変換により入射光に応じた電荷対を生成する。A P D 2 0 1 のアノードには、電圧 V_L (第 1 電圧) が供給される。また、A P D 2 0 1 のカソードには、アノードに供給される電圧 V_L よりも高い電圧 V_H (第 2 電圧) が供給される。アノードとカソードには、A P D 2 0 1 がアバランシェ増倍動作をするような逆バイアス電圧が供給される。このような電圧を供給した状態とすることで、入射光によって生じた電荷がアバランシェ増倍を起こし、アバランシェ電流が発生する。

40

【 0 0 3 4 】

尚、逆バイアスの電圧が供給される場合において、アノードおよびカソードの電位差が降伏電圧より大きい電位差で動作させるガイガーモードと、アノードおよびカソードの電位差が降伏電圧近傍、もしくはそれ以下の電圧差で動作させるリニアモードがある。

【 0 0 3 5 】

ガイガーモードで動作させる A P D を S P A D と呼ぶ。例えば、電圧 V_L (第 1 電圧) は、 -30 V 、電圧 V_H (第 2 電圧) は、 1 V である。A P D 2 0 1 は、リニアモードで

50

動作させてもよいし、ガイガーモードで動作させてもよい。SPADの場合はリニアモードのAPDに比べて電位差が大きくなり耐圧の効果が顕著となるため、SPADであることが好ましい。

【0036】

クエンチ素子202は、電圧VHを供給する電源とAPD201に接続される。クエンチ素子202は、アバランシェ増倍による信号増倍時に負荷回路（クエンチ回路）として機能し、APD201に供給する電圧を抑制して、アバランシェ増倍を抑制する働きを持つ（クエンチ動作）。また、クエンチ素子202は、クエンチ動作で電圧低下した分の電流を流すことにより、APD201に供給する電圧を電圧VHへと戻す働きを持つ（リチャージ動作）。

10

【0037】

信号処理部103は、波形整形部210、カウンタ回路211、選択回路212を有する。本明細書において、信号処理部103は、波形整形部210、カウンタ回路211、選択回路212のいずれかを有していればよい。

【0038】

波形整形部210は、光子検出時に得られるAPD201のカソードの電位変化を整形して、パルス信号を出力する。波形整形部210としては、例えば、インバータ回路が用いられる。図4では、波形整形部210としてインバータを一つ用いた例を示したが、複数のインバータを直列接続した回路を用いてもよいし、波形整形効果があるその他の回路を用いてもよい。

20

【0039】

カウンタ回路211は、波形整形部210から出力されたパルス信号をカウントし、カウント値を保持する。また、駆動線213を介して制御パルスpRESが供給されたとき、カウンタ回路211に保持された信号がリセットされる。

【0040】

選択回路212には、図3の垂直走査回路部110から、図4の駆動線214（図3では不図示）を介して制御パルスpSELが供給され、カウンタ回路211と出力線113との電気的な接続、非接続を切り替える。選択回路212には、例えば、信号を出力するためのバッファ回路などを含む。

【0041】

30

クエンチ素子202とAPD201との間や、光電変換素子102と信号処理部103との間にトランジスタ等のスイッチを配して、電気的な接続を切り替えてもよい。同様に、光電変換素子102に供給される電圧VHまたは電圧VLの供給をトランジスタ等のスイッチを用いて電氣的に切り替えてもよい。

【0042】

本実施形態では、カウンタ回路211を用いる構成を示した。しかし、カウンタ回路211の代わりに、時間・デジタル変換回路（Time to Digital Converter：以下、TDC）、メモリを用いて、パルス検出タイミングを取得する光電変換装置100としてもよい。このとき、波形整形部210から出力されたパルス信号の発生タイミングは、TDCによってデジタル信号に変換される。TDCには、パルス信号のタイミングの測定に、図3の垂直走査回路部110から駆動線を介して、制御パルスpREF（参照信号）が供給される。TDCは、制御パルスpREFを基準として、波形整形部210を介して各画素から出力された信号の入力タイミングを相対的な時間としたときの信号をデジタル信号として取得する。

40

【0043】

図5は、APDの動作と出力信号との関係を模式的に示した図である。

【0044】

図5(a)は、図4のAPD201、クエンチ素子202、波形整形部210を抜粋した図である。ここで、波形整形部210の入力側をnode A、出力側をnode Bとする。図5(b)は、図5(a)のnode Aの波形変化を、図5(c)は、図5(a)の

50

node Bの波形変化をそれぞれ示す。

【0045】

時刻 t_0 から時刻 t_1 の間において、図5(a)のAPD201には、 $V_H - V_L$ の電位差が印加されている。時刻 t_1 において光子がAPD201に入射すると、APD201でアバランシェ増倍が生じ、クエンチ素子202にアバランシェ増倍電流が流れ、node Aの電圧は降下する。電圧降下量がさらに大きくなり、APD201に印加される電位差が小さくなると、時刻 t_2 のようにAPD201のアバランシェ増倍が停止し、node Aの電圧レベルはある一定値以上降下しなくなる。その後、時刻 t_2 から時刻 t_3 の間において、node Aには電圧 V_L から電圧降下分を補う電流が流れ、時刻 t_3 においてnode Aは元の電位レベルに静定する。このとき、node Aにおいて出力波形がある閾値を越えた部分は、波形整形部210で波形整形され、node Bで信号として出力される。

10

【0046】

なお、出力線113の配置、列回路112、出力回路114の配置は図3に限定されない。例えば、出力線113はが行方向に延びて配されており、列回路112が出力線113が延びる先に配されていてもよい。

【0047】

以下では、各実施形態の光電変換装置について説明する。

【0048】

<実施形態1>

20

図6は、実施形態1におけるSPAD画素の概略断面図である。図7は、図6のA-A'における概略平面図である。また、図8は図6のB-B'における概略平面図である。

【0049】

図6に示すように、回路基板21とセンサ基板11とは積層されている。回路基板21は、信号処理回路を構成する回路素子を含む半導体層402と、配線構造403とを有する。センサ基板11は、APDが配された半導体層302と、配線構造303と、を有する。光入射面側から順に、半導体層302、配線構造303、配線構造403、半導体層402が配される。光電変換装置は、回路基板21の配線構造403とセンサ基板11の配線構造303とが接して接合している。具体的には、配線構造303に含まれる配線332と配線構造403に含まれる配線432とが接合されている。つまり、配線332が配される配線層と配線432が配される配線層とが接合されている。そして、配線332と配線432とで金属接合部を構成している。後述するように、金属接合部には、半導体層302および半導体層402と電気的に接続される金属接合部と、半導体層302および半導体層402に接続されない金属接合部とが含まれる。

30

【0050】

ここで、配線層とは、配線構造303を構成する多層配線のうちの、ある層を指す。そして、配線とは、各層に配された配線のうちの特定の電位が供給される特定の配線を指す。各配線間には、層間絶縁膜329、427が配されている。

【0051】

センサ基板11の半導体層302は、APDを有する。APDは、第1導電型の第1半導体領域311と、第2導電型の第2半導体領域312を含む。第1半導体領域311と第2半導体領域312とでPN接合を形成している。APDを構成するPN接合の端部には、電界緩和のための第1導電型の第3半導体領域313を形成されていてもよい。なお、第3半導体領域313は、電界緩和の目的であれば、第2導電型の半導体領域で構成されていてもよい。第3半導体領域313の不純物濃度は、第1導電型の場合には、第1半導体領域311よりも低く、第2導電型の場合には、第2半導体領域312よりも低い。第3半導体領域313と、第1半導体領域311または第2半導体領域312との不純物濃度の差は2倍以上異なる。

40

【0052】

半導体層302の厚みは、光検出を行う波長によって適宜設定することができる。光電

50

変換装置が検出する光の色は、青色、緑色、赤色、赤外光など目的に応じて設定することができる。光電変換装置が検出する光のピーク波長は、例えば、350 nm以上1000 nm以下の範囲内で設定することができる。反射メタル層322は半導体層302を通過した光を反射することができるため、本実施形態は、特に赤外光等の長波長光に対する感度を向上しやすくなる。

【0053】

隣り合うAPD間は、第2導電型の第4半導体領域314で分離されている。また、光入射面側に、第2導電型の第5半導体領域315を配置している。また、第2半導体領域312と第5半導体領域315との間には、第2導電型の第6半導体領域316が配されている。

10

【0054】

平面視で第1半導体領域311と重なる領域における第6半導体領域316の第2導電型の不純物濃度は、平面視で第1半導体領域311に重ならない領域における第6半導体領域316の第2導電型の不純物濃度よりも高くしてもよい。

【0055】

光入射面の界面には、暗電流抑制のためのピニング膜341を配置してもよい。ピニング膜341には、公知の材料を採用することができる。また、ピニング膜341の光入射面側には、平坦化層342、フィルタ層343、マイクロレンズ344が配置されている。フィルタ層343には、カラーフィルタ、赤外光カットフィルタ、モノクロフィルタ等種々の光学フィルタを用いることができる。カラーフィルタには、RGBカラーフィルタ、RGBWカラーフィルタ等を用いることができる。

20

【0056】

APDのアノードとカソードにそれぞれ駆動電圧が印加される。APDに逆バイアスを印加する電圧が、各駆動電圧として印加される。これらの駆動電圧のうち、絶対値が高い方の電圧は、パッド開口355に配置されたパッド電極352を介してAPDのアノードとカソードのうちの一方に印加される。そして、駆動電圧のうちの絶対値が低い方の電圧は、パッド開口353に配置されたパッド電極354を介してAPDのアノードとカソードのうちの他方に印加される。図6では、パッド電極352を介して印加された電圧がAPDのアノードへと印加されており、パッド電極354を介して印加された電圧がAPDのカソードへと印加されている。

30

【0057】

パッド開口353、355の最大径は、例えば、50 μm以上とすることが好ましく、80 μm以上とすることがさらに好ましい。また、パッド開口353、355の深さは、例えば、1 μm以上30 μm以下とすることが好ましく、3 μm以上8 μm以下とすることがさらに好ましい。

【0058】

駆動電圧のうち、絶対値が高い方の電圧は、ビア324を介してアノードへと印加されている。具体的には、配線326、ビア324、APDのアノード電極に接続されるコンタクトプラグ321を介して、第4半導体領域314に印加される。配線326、ビア324、コンタクトプラグ321はそれぞれAPDのアノード電極と同電位となる。配線326は、第4半導体領域314に駆動電圧を供給する配線の中で最も半導体層302に近い配線である。

40

【0059】

APDの駆動電圧のうち、絶対値が低い方の電圧は、パッド電極354を介して、配線332に接続されるビア331、配線332を介して回路基板21へと供給される。そして、回路基板21を介してカソード電極に駆動電圧が供給される。

【0060】

PN接合でアバランシェ増倍された信号電荷は、コンタクトプラグ320、反射メタル層322、ビア323、配線325、ビア327、配線328、配線332に接続されるビア331、配線332を介して回路基板21へと供給される。アバランシェ増倍された

50

電荷を読み出すときは、コンタクトプラグ 3 2 0、反射メタル層 3 2 2、ビア 3 2 3、配線 3 2 5、ビア 3 2 7、配線 3 2 8、配線 3 3 2 に接続されるビア 3 3 1、配線 3 3 2 は A P D のカソード電極と同電位となる。

【 0 0 6 1 】

反射メタル層 3 2 2 は、半導体層 3 0 2 を通過した光を反射させている。反射メタル層 3 2 2 は、平面視でアバランシェ増倍領域を覆うように配置されている。好ましくは、反射メタル層 3 2 2 は、平面視で、アバランシェ増倍領域の全域を覆うように配される。また、反射メタル層 3 2 2 は、平面視で、第 1 半導体領域 3 1 1 の全域を覆うように配されることが好ましい。反射メタル層 3 2 2 は、配線構造のうちの最も半導体層 3 0 2 に近い側の配線層で構成されている。例えば、半導体層 3 0 2 で吸収しきれない長波長光は、反射メタル層 3 2 2 で反射させることで、再度半導体層 3 0 2 へと入射させることができる。したがって、半導体層 3 0 2 で吸収しきれない長波長光に対しての感度を向上させる。

10

【 0 0 6 2 】

反射メタル層 3 2 2 の材料は、反射対象となる光の波長の反射率が最も高くなるような材料を選択することが好ましい。反射メタル層 3 2 2 の材料は、例えば、銅、アルミニウム等を用いることができる。また、銅を用いる場合は、アルミニウムを用いる場合に比べて赤外光に対する反射率を向上させることができる。なお、ここで、銅を用いるとは、銅を主成分として用いることを指し、銅のみからなる必要はない。反射メタル層 3 2 2 を構成する材料のうちの 5 0 % を超えて含有される材料を主成分という。アルミニウムを用いる、という場合も同様にアルミニウムが主成分であることを指す。

20

【 0 0 6 3 】

パッド電極 3 5 2 をアルミニウムとして、その他の配線をすべて銅で構成してもよい。

【 0 0 6 4 】

なお、反射メタル層 3 2 2 は、配線 3 2 6 とは異なる材料としてもよい。

【 0 0 6 5 】

反射メタル層 3 2 2 の面積が大きいほど、入射光に対する反射光の量を増やすことができるため、反射メタル層 3 2 2 は可能な限り大面積で配置することが好ましい。反射メタル層 3 2 2 には A P D の駆動用電圧のうちの一方の電圧が印加される。従来のように、A P D の 2 つの駆動用電圧のうちの他方が印加される配線が反射メタル層 3 2 2 と同じ層に配され、反射メタル層を大きくすると反射メタル層と当該配線間の距離が近くなるため耐圧を確保できなくなる可能性がある。

30

【 0 0 6 6 】

したがって、本実施形態では、A P D の一方のノードに印加される電圧が供給される配線 3 2 6 が配される配線層と、反射メタル層 3 2 2 が配される配線層とを異なる層としている。つまり、反射メタル層 3 2 2 は、配線 3 2 6 が配される配線層よりも半導体層 3 0 2 に近い側の層に配されている。言い換えると、反射メタル層 3 2 2 と半導体層 3 0 2 との距離は、配線 3 2 6 と半導体層 3 0 2 との距離よりも小さい。例えば、図 6 では、コンタクトプラグ 3 2 1 とビア 3 2 4 との間には配線を配置せず、コンタクトプラグ 3 2 1 とビア 3 2 4 どうしを直接スタック接続している。つまり、第 1 のビアと第 2 のビアとを積層してコンタクトプラグが構成されている。反射メタル層 3 2 2 と同じ配線層には、コンタクトプラグ 3 2 1 及びビア 3 2 4 の少なくとも一方が配されており、A P D のアノードに電位を供給する配線は配されていない。つまり、反射メタル層 3 2 2 と同じ高さには、第 1 のビアと第 2 のビアとを積層して構成されたコンタクトプラグの一部が配される。

40

【 0 0 6 7 】

コンタクトプラグ 3 2 1 とビア 3 2 4 とを直接スタックして製造する方法は以下の通りである。

【 0 0 6 8 】

まず、コンタクトプラグ 3 2 0 とコンタクトプラグ 3 2 1 とを形成する。次に、反射メタル層 3 2 2 を形成する。このとき、アノードの配線は形成しない。次に、ビア 3 2 3 とビア 3 2 4 とを形成する。次に、配線 3 2 5 および配線 3 2 6 を形成する。

50

【 0 0 6 9 】

なお、コンタクトプラグ 3 2 1 とビア 3 2 4 とをスタック接続せずに、反射メタル層 3 2 2 と半導体層 3 0 2 との距離を、配線 3 2 6 と半導体層 3 0 2 との距離よりも小さくしてもよい。つまりコンタクトプラグ 3 2 1 が、コンタクトプラグ 3 2 0 よりも深く形成されており、コンタクトプラグ 3 2 1 と配線 2 3 6 とが直接接続されていてもよい。

【 0 0 7 0 】

その場合の製法は以下のとおりである。まず、コンタクトプラグ 3 2 0 を形成する。次に、反射メタル層 3 2 2 を形成する。次に、ビア 3 2 3 を形成する。次に、コンタクトプラグ 3 2 1 を半導体層 3 0 2 の第 2 面から配線 3 2 5 の回路基板 2 1 の側の深さまで連続して形成する。そして、配線 3 2 5 と配線 3 2 6 とを形成する。

10

【 0 0 7 1 】

以上のように、反射メタル層 3 2 2 を半導体層 3 0 2 に近づけることにより、反射メタル層 3 2 2 と配線 3 2 6 との間の耐圧を確保しながら、反射メタル層 3 2 2 の面積を大きくして、A P D の長波長光の感度を向上させることができる。

【 0 0 7 2 】

反射メタル層 3 2 2 と半導体層 3 0 2 との間の距離は、例えば、 $0.05\mu\text{m}$ 以上 $2\mu\text{m}$ 以下とすることが好ましく、 $0.1\mu\text{m}$ 以上 $0.8\mu\text{m}$ 以下とすることがより好ましい。所定の値以上の距離とすることにより半導体層 3 0 2 と反射メタル層 3 2 2 間の耐圧を確保することができる。また、所定の値以下の距離とすることにより、半導体層 3 0 2 を通過した光を半導体層 3 0 2 へ反射させやすくなり、A P D の感度を向上させやすくなる。

20

【 0 0 7 3 】

A P D のアノードに印加される電位と同電位の配線 3 2 6 は、平面視で、ビア 3 2 4 と反射メタル層 3 2 2 の隙間を覆うように配置することが好ましい。これにより、ビア 3 2 4 と反射メタル層 3 2 2 の隙間を通過する光を配線 3 2 6 で反射させることができ、半導体層 3 0 2 で吸収させることができる。配線 3 2 6 は、平面視で反射メタル層 3 2 2 とビア 3 2 4 とに連続的に重なるように配されることが好ましい。

【 0 0 7 4 】

回路基板 2 1 の半導体層 4 0 2 には、活性領域 4 1 1 と、素子分離領域 4 1 2 が配されている。素子分離領域 4 1 2 には、例えば、P N 接合分離や、Shallow Trench Isolation (S T I) や Deep Trench Isolation (D T I) などの絶縁分離を用いることができる。

30

【 0 0 7 5 】

センサ基板 1 1 の A P D から出力された信号は、メタルボンディングを構成する配線 4 3 2、ビア 4 3 1、配線 4 2 6、ビア 4 2 5、配線 4 2 4、ビア 4 2 3、配線 4 2 2、コンタクトプラグ 4 2 1 を介して、回路基板 2 1 に配される処理回路に供給される。

【 0 0 7 6 】

図 6 に示すように、パッド電極 3 5 4 およびパッド電極 3 5 2 は、センサ基板 1 1 に配されている。そして、パッド電極 3 5 2 から供給される電圧は、センサ基板 1 1 のみに供給され、回路基板 2 1 には供給されない。また、パッド電極 3 5 4 から供給される電圧は金属接合部を介して半導体層 4 0 2 に供給されている。このように、A P D の駆動電圧のうちの絶対値が大きい電圧が、回路基板 2 1 に印加されない構成とすることにより、光電変換装置の信頼性の低下を抑制している。

40

【 0 0 7 7 】

図 6 に示すように、パッド電極 3 5 2 と半導体層 4 0 2 との間には、金属接合部が配されていることが好ましい。この金属接合部は、他の配線層の配線には接続されていない。この金属接合部により、パッド電極 3 5 2 の近傍における、センサ基板 1 1 と回路基板 2 1 との接合強度を確保している。

【 0 0 7 8 】

図 6 では、画素領域内にも各半導体層 3 0 2、4 0 2 に接続されない金属接合部が開示されている。これにより、画素領域内においても、センサ基板 1 1 と回路基板 2 1 との接

50

合強度の低下を抑制することができる。なお、当該金属接合部は、必須ではなく、画素領域内には、少なくとも1つのAPDに対してAPDからの信号を読み出すための金属接合部が1つあればよい。つまり、少なくとも各APDに対応してAPDからの信号を読み出す金属接合部のみが配されていればよい。また、図6では説明しやすくするために、パッド電極の大きさがAPDの大きさよりも小さくなっているが、APDの大きさはパッド電極よりも小さくてもよい。また、パッド電極354に接続される金属接合部の数は3つ以上でもよい。

【0079】

図6では、センサ基板11側にパッド電極354、パッド電極352を配しているが、パッド電極354、パッド電極352は回路基板21側に配されていてもよい。この場合は、耐圧性の確保の観点から、パッド電極352から印加される電位が半導体層402に印加されないように構成する。

【0080】

図7(a)は、図6の反射メタル層322が配置される高さA-A'の概略平面図であり、図7(b)は、図6の配線325、326が配置される高さB-B'の概略平面図である。

【0081】

図7(a)に示すように、複数のビア324が、平面視で、反射メタル層322の周囲を取り囲むように配されている。図6において、第4半導体領域314は、平面視で、第1半導体領域311を取り囲むように配されている。そして、複数のビア324が、第4半導体領域314に電位を供給している。

【0082】

反射メタル層322は、APDを駆動するための2つの電圧のうち的一方が印加され、ビア324はAPDを駆動するための2つの電圧のうち他方が印加される。したがって、上述の通り、反射メタル層322とビア324とは、絶縁破壊が起きない程度の距離を確保する必要がある。ビア324と反射メタル層322との間の距離は、例えば、0.4 μm 以上1.5 μm 以下であることが好ましく、0.5 μm 以上1.0 μm 以下であることがより好ましい。一定以上の距離を確保することで、両者の耐圧を確保することができ、一定以下の距離とすることにより、長波長光に対するAPDの感度を向上させることができる。

【0083】

図7(b)に示すように、APDのカソード電極と同電位の配線325は、図7(a)の反射メタル層322と電気的に接続され、APDのアノード電極と配線326は、図7(a)のビア324と電気的に接続される。

【0084】

図7(b)に示すように、配線326は平面視で繋がっている。そして、図6に示すパッド電極352から供給される電位を配線326に供給することにより、複数のAPDのアノードに電圧を印加している。つまり、複数のAPDのアノードには共通の配線326を介して共通の電位が供給されている。一方で反射メタル層322と配線325とは、各APDで分かれて配されている。つまり、1APDに対して1つの反射メタル層322および配線325が配されている。これにより、APDごとの信号を個別に読み出すことが可能となる。

【0085】

反射メタル層322、配線325、および配線326の他の例を、図8を参照しながら説明する。図8(a)は、図7(a)に示す反射メタル層322の他の例であり、図8(b)は、図7(b)に示す配線325、326の他の例である。

【0086】

図8(a)及び図8(b)は、平面視において、反射メタル層322および配線325がコーナー部がカットされた形状であり、配線326が配線325の形状に合わせた形状となっている点が図7とは異なる。言い換えると、他の例では、反射メタル層322及び

10

20

30

40

50

配線 3 2 5 は、平面視で、八角形であり、配線 3 2 6 の各配線 3 2 5 に対応する開口が八角形である。すなわち、反射メタル層 3 2 2 は、8 つの辺を含み、配線 3 2 5 の開口が 8 つの辺を含む。上述の通り、反射メタル層 3 2 2、配線 3 2 5 にはそれぞれ A P D を駆動するためのカソード電圧が供給される。また、ビア 3 2 4、配線 3 2 6 には、A P D を駆動するためのアノード電圧が供給される。電界は角部に集中しやすい性質があるため、反射メタル層 3 2 2、ビア 3 2 4、配線 3 2 5、配線 3 2 6 に角部があると、電界が集中する可能性がある。これに対して図 8 に示すように、反射メタル層 3 2 2 に 90 以下の角部がなくなるため、角部に過度に電界が集中することを抑制することができる。

【 0 0 8 7 】

ここで、平面視で四角形、八角形とは角が面取りされているものも含まれる。つまり、角部がなくても巨視的に四角形、八角形となっているものを本明細書では四角形、八角形という。また、図では、反射メタル層 3 2 2 が 8 つの辺を有する例で説明したが、少なくとも 5 つの辺を有していれば電界集中抑制の効果を得ることができる。

【 0 0 8 8 】

< 実施形態 2 >

図 9、図 10 を参照しながら、実施形態 2 に係る光電変換装置について説明する。図 9 は、本実施形態に係る光電変換装置の概略断面図である。図 10 (a) は図 9 の A - A ' における概略断面図であり、図 10 (b) は図 9 の B - B ' における概略断面図である。本実施形態に係る光電変換装置は、ビア 3 2 4 が配される位置、及び配線 3 2 6 が連続して配されていない点の実施形態 1 とは異なる。この点及び以下で説明する事項以外は、実質的に実施形態 1 と同様であるため、実施形態 1 と同様の構成については同一の符号を付して、説明を省略する場合がある。

【 0 0 8 9 】

図 9 は、センサ基板 1 1 の画素アレイを平面視した際の第 1 方向の画素断面図である。第 1 方向は、例えば、A P D の対辺方向である。つまり、図 10 (a) の水平方向に並ぶ A P D の概略断面図である。A P D のアノードを構成する第 4 半導体領域 3 1 4 に接続されるビア 3 2 4 は、第 1 方向に交差する第 2 方向に配されるため、図 9 では不図示である。第 2 方向は、例えば、A P D の対角方向である。ビア 3 2 4 は A P D の対角線上に配されているため、図 9 では不図示である。図 10 (a) に示すように、反射メタル層 3 2 2 の周囲に配された複数のビア 3 2 4 は、画素間の対角方向にのみ配置され、対辺方向には配置されない。つまり、2 行 3 列に配された 6 つの A P D のうち、斜めに配される A P D 間にビア 3 2 4 が配されており、左右上下に配される A P D 間にはビア 3 2 4 が配されていない。

【 0 0 9 0 】

実施形態 1 と同様に、反射メタル層 3 2 2 及びビア 3 2 4 のうち、一方には A P D を駆動するための絶対値の低い電圧が印加され、他方には A P D を駆動するための絶対値の高い電圧が印加される。したがって、両者の間は絶縁破壊が起きない程度の距離を確保する必要がある。例えば、反射メタル層 3 2 2 には A P D を駆動するための絶対値の低い電圧が印加され、ビア 3 2 4 には A P D を駆動するための絶対値の高い電圧が印加される。

【 0 0 9 1 】

本実施形態では、対辺方向の隣接画素間は、互いに同電位である反射メタル層 3 2 2 が対向する。つまり、対辺方向の隣接画素間には、ビア 3 2 4 が配されない。したがって、実施形態 1 に比較して、上下左右に配された反射メタル層 3 2 2 間のスペースを縮小することができる。本実施形態の構造により、反射メタル層 3 2 2 の面積は、実施形態 1 よりも大きく配置することができるため、画素の感度、特に長波長光に対する感度を向上させやすくなる。

【 0 0 9 2 】

図 10 (b) は、図 9 の配線 3 2 5、3 2 6 が配される配線層の高さ B - B ' における概略平面図である。A P D のカソード電極と同電位の配線 3 2 5 は、図 10 (a) の反射メタル層 3 2 2 と電氣的に接続され、A P D のアノード電極と同電位の配線 3 2 6 は、図 1

0 (a) のビア 3 2 4 と電氣的に接続されている。図 1 0 (b) では、配線 3 2 5 に対応する位置に配線 3 2 6 が配されている。言い換えると、連続した配線 3 2 6 ではなく、複数の配線 3 2 6 が配されている。これに限定されず、配線 3 2 6 は、図 7 (b) に示すように、連続的に配されていてもよい。

【 0 0 9 3 】

本実施形態によれば、実施形態 1 と同様に、ビア 3 2 4 と反射メタル層 3 2 2 間の耐圧を確保しながら、A P D の感度を向上させることができる。また、実施形態 1 と比較して、A P D の感度を向上させやすくなる。

【 0 0 9 4 】

一例として、本実施形態の採用有無による反射メタル層の面積を比較すると、波長にもよるが、本実施形態の採用により、画素サイズ $5 \mu\text{m}$ 以下でおよそ 1 0 % 以上の反射メタル面積増加を期待することができる。

10

【 0 0 9 5 】

< 実施形態 3 >

図 1 1 は、実施形態 3 における光電変換装置の概略断面図である。本実施形態の光電変換装置は、隣接画素間の分離部として、D T I 3 5 1 が配されている点の実施形態 1 とは異なる。この点及び以下で説明する事項以外は、実質的に実施形態 1 と同様であるため、実施形態 1 と同様の構成については同一の符号を付して、説明を省略する場合がある。

【 0 0 9 6 】

図 1 1 に示すように、隣接画素間には、D T I 3 5 1 が配されている。これにより、反射メタル層 3 2 2 で反射した光が隣接画素へクロストークすることを抑制する効果がある。

20

【 0 0 9 7 】

図 1 1 では、D T I 3 5 1 を半導体層 3 0 2 の第 1 面から第 2 面まで貫通して配している。このように、D T I 3 5 1 を非貫通構造とする場合と比較して貫通構造とすることで、隣接画素へのクロストーク抑制効果をより高めることができる。

【 0 0 9 8 】

なお、D T I 3 5 1 は必ずしも貫通している必要はなく、部分的に D T I 3 5 1 が配されていてもよい。例えば、回路基板 2 1 が配される側の面 (第 2 面) から第 1 面に向かって部分的にトレンチ分離が配されていてもよい。D T I 3 5 1 が非貫通の場合の深さは特に限定されないが、クロストーク抑制のためには、半導体層 3 0 2 の厚みの $1 / 2$ 以上の深さであることが好ましい。

30

【 0 0 9 9 】

D T I 3 5 1 には、酸化膜あるいは金属を埋め込むことができるが、前述したクロストーク抑制のためには、特に金属を埋め込むことが好ましい。これにより、反射メタル層 3 2 2 で反射された光が隣接画素へクロストークすることをさらに抑制することが可能となる。例えば、反射メタル層 3 2 2 で反射した光が角度 θ で D T I 3 5 1 当たる場合、その波長 λ と角度 θ の反射率を高めるような D T I の材料や膜厚設計とすることが好ましい。

【 0 1 0 0 】

D T I 3 5 1 の側壁には、第 2 導電型の第 4 半導体領域 3 1 4 が配されることが好ましい。これにより、D T I 3 5 1 の側壁から発生する暗電流の影響を抑制することができる。

40

【 0 1 0 1 】

A P D のアノード電極に接続されるコンタクトプラグ 3 2 1 は、D T I 3 5 1 を平面視で覆うように配置することが好ましい。例えば、コンタクトプラグ 3 2 1 は、ある画素の第 4 半導体領域 3 1 4、D T I 3 5 1、及び隣の画素の第 4 半導体領域 3 1 4 に接するように配されることが好ましい。これにより、1 つのコンタクトプラグ 3 2 1 を介して隣り合う画素の各第 4 半導体領域 3 1 4 へと A P D の駆動電圧を供給することができる。

【 0 1 0 2 】

本実施形態によれば、実施形態 1 と同様に、ビア 3 2 4 と反射メタル層 3 2 2 間の耐圧を確保しながら、A P D の感度を向上させることができる。また、実施形態 1 と比較して、A P D の感度を向上させやすくなる。また、本実施形態によれば、実施形態 1 と比較し

50

て、反射メタル層 3 2 2 で反射された光が半導体層 3 0 2 内で吸収される実効的な長さを長くできるため、長波長光の感度を向上することができる。また、本実施形態によれば、D T I 3 5 1 を配することにより、ある画素で生じた電荷が隣接画素へと混入することを抑制できる。さらに、D T I 3 5 1 を配することにより、A P D のアバランシェ増倍領域の発光が隣接画素へ入射することを低減しやすくなる。

【 0 1 0 3 】

< 実施形態 4 >

図 1 2 は、実施形態 4 における光電変換装置の概略断面図である。本実施形態の光電変換装置は、半導体層 3 0 2 の第 1 面に散乱構造 3 5 6 が配されている点が実施形態 3 とは異なる。この点及び以下で説明する事項以外は、実質的に実施形態 3 と同様であるため、実施形態 3 と同様の構成については同一の符号を付して、説明を省略する場合がある。

【 0 1 0 4 】

図 1 2 に示すように、半導体層 3 0 2 の光入射面には、光を散乱・回折させる構造 3 5 6 が配されている。散乱・回折された光は、反射メタル層 3 2 2 および隣接画素間の D T I 3 5 1 でも反射する。したがって、入射光が半導体層 3 0 2 を進む長さが実効的に長くなり、半導体層 3 0 2 の厚さが実施形態 3 と同じ場合でも、半導体層 3 0 2 で吸収される割合が増加し、実施形態 3 よりも感度を向上させることが可能となる。

【 0 1 0 5 】

散乱構造 3 5 6 としては、複数の凹部が設けられている。これにより、半導体層 3 0 2 の第 1 面から入射した光を散乱させて第 2 面までの光路長を長くすることができる。入射光が赤外光の場合は、光電変換されるまでの距離を長くし、光電変換されずに抜ける光を減らす必要があるため、赤外光の場合は効果が顕著となる。

【 0 1 0 6 】

散乱構造 3 5 6 に設ける凹部の数や形は、入射光に合わせて適宜設計することができる。図 1 2 に示すように断面視において、凹部の形状が三角形であり、画素内において第 1 面の全体に設けられていてもよい。また、凹部の形状はピラミッド形状であってもよい。凹部は、図 1 3 に示すように、画素内において第 1 面の一部に設けられていてもよい。図 1 2 の構成によれば、光の入射角度に対して散乱・回折角を緩やかにできる。したがって、隣接画素への光の漏れを抑えながら赤外感度を向上できる。

【 0 1 0 7 】

図 1 2 のように、1 つの凹部の幅は、例えば、画素の幅に対して、 $1/30$ 以上 $1/3$ 以下とすることが好ましい。別の観点で、1 つの凹部の幅は、例えば、 10 nm 以上 $1\text{ }\mu\text{ m}$ 以下とすることができ。また、1 つの凹部の深さは、例えば、第 1 面から第 2 面までの距離に対して、 $1/50$ 以上 $1/3$ 以下とすることができ。

【 0 1 0 8 】

凹部の形状は、例えば、三角形や台形などとすることができ。角形や台形の頂点が丸みを帯びていてもよい。また、第 1 面において、凹部が連続的に形成されている必要はない。例えば、凹部と凹部の間や、凹部と D T I 3 5 1 との間に凹部が形成されていない領域があってもよい。凹部はドライエッチング等の公知の方法で形成することができる。

【 0 1 0 9 】

散乱構造 3 5 6 の凹部には絶縁体が配されている。絶縁体の材料は、例えば、酸化ケイ素、窒化ケイ素等を用いることができる。

【 0 1 1 0 】

本実施形態によれば、実施形態 3 と同様に、ビア 3 2 4 と反射メタル層 3 2 2 間の耐圧を確保しながら、A P D の感度を向上させることができる。また、実施形態 3 に比較して、散乱構造 3 5 6 で光を散乱させてアバランシェ増倍領域までの光路を長くすることができる。したがって、赤外光を効率よく光電変換させることができる。

【 0 1 1 1 】

< 実施形態 5 >

図 1 4 は、実施形態 5 における光電変換装置の概略断面図である。本実施形態の光電変

10

20

30

40

50

換装置は、DTI351の幅が広がっている点の実施形態4とは異なる。この点及び以下で説明する事項以外は、実質的に実施形態4と同様であるため、実施形態4と同様の構成については同一の符号を付して、説明を省略する場合がある。

【0112】

図14は、画素領域を平面視した際の、対辺方向の画素の概略断面図である。隣接画素間のDTI351の幅は、例えば、DTI351と反射メタル層322とが平面視で重なるようにする。APDを通る断面において、APDの下方に反射メタル層322が配されており、反射メタル層322の一端から他端までの長さは一方のDTI351から他方のDTI351までの長さよりも長い。DTI351と、反射メタル層322とは、例えば、距離L1だけ重なるように配されている。

10

【0113】

本実施形態によれば、半導体層302の光入射面に配置されるDTI351で散乱・回折された光が、漏れなく半導体層302へと反射されるため、実施形態4と比較して画素の感度を向上させることができる。

【0114】

<実施形態6>

図15は、実施形態6における光電変換装置の概略断面図である。本実施形態の光電変換装置は、実施形態1に比べてアバランシェ増倍領域が小さくなり、信号電荷がアバランシェ増倍領域へと収集される構成となっている点の実施形態1とは異なる。この点及び以下で説明する事項以外は、実質的に実施形態1と同様であるため、実施形態1と同様の構成については同一の符号を付して、説明を省略する場合がある。

20

【0115】

第1導電型の第1半導体領域311と、第2導電型の第2半導体領域312との間でPN接合が形成されている。平面視で第1半導体領域311に重なる位置には、第2導電型の第7半導体領域317が配されている。第7半導体領域317は、信号電荷に対するポテンシャルが第2半導体領域312よりも低い。第6半導体領域316で光電変換された電荷は、第7半導体領域317を通過する際に、第1半導体領域311と第2半導体領域312との間で形成されるアバランシェ増倍領域で増倍され、カソード電極用のコンタクトプラグ320から読み出される。

【0116】

なお、ここでは、第7半導体領域が第2導電型の場合について説明したが、上記のようなポテンシャルが実現できるのであれば、第7半導体領域は第1導電型の半導体領域であってもよい。また、第7半導体領域317は、イオン注入時に、第2半導体領域312よりも不純物濃度を高くしてもよいし、イオン注入時には同じ不純物濃度だが第1半導体領域311のイオン注入等の影響により実効的に不純物濃度が低くなっているてもよい。

30

【0117】

本実施形態では、第6半導体領域316は、第1導電型の半導体領域により構成される。第6半導体領域316は、不純物濃度が均一であってもよいし、平面視で第7半導体領域に重なる領域の不純物濃度が、平面視で第2半導体領域312に重なる領域の不純物濃度よりも高くなっているてもよい。これにより、第6半導体領域316の端部で生じた電荷も第7半導体領域317へと向かうポテンシャル構造を形成することができる。第6半導体領域316の端部とは例えば、第4半導体領域314と第5半導体領域315とが交わる部分の近傍や、第4半導体領域314と第2半導体領域312とが交わる領域の近傍である。

40

【0118】

図15に示すように、第5半導体領域315は、画素領域とパッド電極の間まで延びて配されているてもよい。言い換えると、第5半導体領域315が配される領域は、平面視で画素領域よりも大きくなるように配されているてもよい。

【0119】

本実施形態によれば、実施形態1と同様に、ビア324と反射メタル層322間の耐圧

50

を確保しながら、A P Dの感度を向上させることができる。また、第6半導体領域3 1 6で生じる電荷を収集してアバランシェ増倍させることができるため、A P Dの感度を向上させやすくなる。さらに、アバランシェ増倍領域を小さくできるため、暗電流を減らすことができる。

【0 1 2 0】

<実施形態7>

図1 6及び図1 7は、実施形態7における光電変換装置の概略断面図である。本実施形態の光電変換装置は、実施形態6に比べて各配線層の形状が異なる点の実施形態6とは異なる。また、反射メタル層3 2 2が配されていない点の実施形態7とは異なる。これらの点及び以下で説明する事項以外は、実質的に実施形態6と同様であるため、実施形態1と同様の構成については同一の符号を付して、説明を省略する場合がある。

【0 1 2 1】

図1 6は、対辺方向にならぶ画素の概略断面図である。また、図1 7 (a) は、図1 6のA - A 'における概略平面図であり、図1 7 (b) は、図1 6のB - B 'における概略平面図である。図1 7 (c) は、図1 6のC - C 'における概略平面図であり、図1 7 (d) は、図1 6のD - D 'における概略平面図である。なお、図1 7 (a) はコンタクトプラグがどの半導体領域に接続されるかをわかりやすくするために、半導体層3 0 2の半導体領域の一部を図示している。

【0 1 2 2】

コンタクトプラグ3 2 1は、第2導電型の第8半導体領域3 1 8を介して第4半導体領域3 1 4と接続されている。第8半導体領域3 1 8は、第4半導体領域3 1 4よりも不純物濃度の高い半導体領域である。第4半導体領域3 1 4と第8半導体領域3 1 8との配置位置は、図1 7 (a) に示すように一致していなくてもよいし、第4半導体領域3 1 4と第8半導体領域3 1 8とが一致していてもよい。また、第8半導体領域3 1 8が平面視で第4半導体領域3 1 4の一部と重なるように配されていてもよい。この場合は、コンタクトプラグ3 2 1と第4半導体領域3 1 4とが平面視で重なるように配されることが好ましい。

【0 1 2 3】

図1 6および図1 7 (b) に示すように、配線3 3 5が配される配線層には、A P Dの駆動電圧が供給される配線3 3 0が配されている。つまり、本実施形態では、A P Dの駆動電圧のうちの一方の電圧を供給する配線と他方の電圧を供給する配線とが同じ配線層に配されている。この場合においても、配線3 3 5と配線3 3 0との間の距離を確保することにより、耐圧を確保することができる。また、図1 7 (b) に示すように各配線の角は電界が集中して絶縁破壊が生じやすくなる可能性がある。したがって、図1 7 (b) に示すように、配線3 3 0は、9 0度以下の角部をなくすことにより、信頼性を確保している。また、配線3 2 5の開口の形状を配線3 3 0の形状に合わせている。

【0 1 2 4】

図1 7 (c) に示すように、ビア3 2 4は、複数配されていてもよい。配線3 2 5に接続されるビア3 2 4は、A P Dの駆動電圧のうちの絶対値の大きい方の電圧が印加される。このように複数のビア3 2 4を介して配線3 2 5に接続することにより、抵抗を下げるため、A P D駆動時の電圧降下量を減らすことができる。ビア3 2 4間の間隔は、同じであることが好ましいが、ずれていてもよい。

【0 1 2 5】

図1 7 (d) に示すように、配線3 2 6と配線3 2 5とが配されている。配線3 2 5が配される配線層と、配線3 3 0が配される層とは、平面視で実質的に同じ形状である。配線3 2 6が配される配線層はなくてもよいが、あることが好ましい。図1 7 (e) に示す配線3 2 8が配される配線層はパッド電極3 5 2と同じ配線層となる。

【0 1 2 6】

パッド電極3 5 2から供給される駆動電圧は、図1 5に断面図で示すように、配線3 2 5が配される配線層と同層に配された配線を介してA P Dのアノード電極に供給される。

このとき、パッド電極と配線とを接続するビアは、図 15 に示すように、その上の層のビアよりもパッド電極側にずれて配されているてもよい。そうすることで、画素アレイ内部よりも画素アレイ端部のビア配置個数を増やすことができるため、APD 駆動時の PAD からの電圧降下量を減らすことができる。

【0127】

図 16 において、配線構造 303 の金属接合部を構成する配線以外の配線層の材料はアルミニウムであり、金属接合部を構成する配線および配線構造 403 の配線は銅であるが、配線構造 303 の金属接合部を構成する配線以外の配線層の材料は銅であってもよい。

【0128】

本実施形態によれば、APD の駆動電圧が供給される配線の材料や配線の形状を上記のように構成したことにより、信頼性の高い光電変換装置を提供することが可能となる。

【0129】

<実施形態 8>

図 18 は、本実施形態に係る光検出システム 1200 の構成を示すブロック図である。本実施形態の光検出システム 1200 は、光電変換装置 1204 を含む。ここで、光電変換装置 1204 は、上述の実施形態で述べた光電変換装置のいずれかを適用することができる。光検出システム 1200 は例えば、撮像システムとして用いることができる。撮像システムの具体例としては、デジタルスチルカメラ、デジタルカムコーダー、監視カメラ等が挙げられる。図 18 では、光検出システム 1200 としてデジタルスチルカメラの例を示している。

【0130】

図 18 に示す光検出システム 1200 は、光電変換装置 1204、被写体の光学像を光電変換装置 1204 に結像させるレンズ 1202、レンズ 1202 を通過する光量を可変にするための絞り 1203、レンズ 1202 の保護のためのバリア 1201 を有する。レンズ 1202 および絞り 1203 は、光電変換装置 1204 に光を集光する光学系である。

【0131】

光検出システム 1200 は、光電変換装置 1204 から出力される出力信号の処理を行う信号処理部 1205 を有する。信号処理部 1205 は、必要に応じて入力信号に対して各種の補正、圧縮を行って出力する信号処理の動作を行う。光検出システム 1200 は、更に、画像データを一時的に記憶するためのバッファメモリ部 1206、外部コンピュータ等と通信するための外部インターフェース部（外部 I/F 部）1209 を有する。更に光検出システム 1200 は、撮像データの記録または読み出しを行うための半導体メモリ等の記録媒体 1211、記録媒体 1211 に記録または読み出しを行うための記録媒体制御インターフェース部（記録媒体制御 I/F 部）1210 を有する。記録媒体 1211 は、光検出システム 1200 に内蔵されているてもよく、着脱可能であってもよい。また、記録媒体制御 I/F 部 1210 から記録媒体 1211 との通信や外部 I/F 部 1209 からの通信は無線によってなされてもよい。

【0132】

更に光検出システム 1200 は、各種演算を行うとともにデジタルスチルカメラ全体を制御する全体制御・演算部 1208、光電変換装置 1204 と信号処理部 1205 に各種タイミング信号を出力するタイミング発生部 1207 を有する。ここで、タイミング信号などは外部から入力されてもよく、光検出システム 1200 は、少なくとも光電変換装置 1204 と、光電変換装置 1204 から出力された出力信号を処理する信号処理部 1205 とを有すればよい。第 4 の実施形態にて説明したようにタイミング発生部 1207 は光電変換装置に搭載されているてもよい。全体制御・演算部 1208 およびタイミング発生部 1207 は、光電変換装置 1204 の制御機能の一部または全部を実施するように構成してもよい。

【0133】

光電変換装置 1204 は、画像用信号を信号処理部 1205 に出力する。信号処理部 1205 は、光電変換装置 1204 から出力される画像用信号に対して所定の信号処理を実

10

20

30

40

50

施し、画像データを出力する。また、信号処理部 1205 は、画像用信号を用いて、画像を生成する。また、信号処理部 1205 は、光電変換装置 1204 から出力される信号に対して測距演算を行ってもよい。なお、信号処理部 1205 やタイミング発生部 1207 は、光電変換装置に搭載されていてもよい。つまり、信号処理部 1205 やタイミング発生部 1207 は、画素が配された基板に設けられていてもよいし、別の基板に設けられている構成であってもよい。上述した各実施形態の光電変換装置を用いて撮像システムを構成することにより、より良質の画像が取得可能な撮像システムを実現することができる。

【0134】

<実施形態 9>

図 19 は、前述の実施形態に記載の光電変換装置を利用した電子機器である距離画像センサの構成例を示すブロック図である。

10

【0135】

図 19 に示すように、距離画像センサ 401 は、光学系 407、光電変換装置 408、画像処理回路 404、モニタ 405、およびメモリ 406 を備えて構成される。そして、距離画像センサ 401 は、光源装置 409 から被写体に向かって投光され、被写体の表面で反射された光（変調光やパルス光）を受光することにより、被写体までの距離に応じた距離画像を取得することができる。

【0136】

光学系 407 は、1 枚または複数枚のレンズを有して構成され、被写体からの像光（入射光）を光電変換装置 408 に導き、光電変換装置 408 の受光面（センサ部）に結像させる。

20

【0137】

光電変換装置 408 としては、上述した各実施形態の光電変換装置が適用され、光電変換装置 408 から出力される受光信号から求められる距離を示す距離信号が画像処理回路 404 に供給される。

【0138】

画像処理回路 404 は、光電変換装置 408 から供給された距離信号に基づいて距離画像を構築する画像処理を行う。そして、その画像処理により得られた距離画像（画像データ）は、モニタ 405 に供給されて表示されたり、メモリ 406 に供給されて記憶（記録）されたりする。

30

【0139】

このように構成されている距離画像センサ 401 では、上述した光電変換装置を適用することで、画素の特性向上に伴って、例えば、より正確な距離画像を取得することができる。

【0140】

<実施形態 10>

本開示に係る技術（本技術）は、様々な製品へ応用することができる。例えば、本開示に係る技術は、内視鏡手術システムに適用されてもよい。

【0141】

図 20 は、本開示に係る技術（本技術）が適用され得る内視鏡手術システムの概略的な構成の一例を示す図である。

40

【0142】

図 20 では、術者（医師）1131 が、内視鏡手術システム 1003 を用いて、患者ベッド 1133 上の患者 1132 に手術を行っている様子が図示されている。図示するように、内視鏡手術システム 1003 は、内視鏡 1100 と、術具 1110 と、内視鏡下手術のための各種の装置が搭載されたカート 1134 と、から構成される。

【0143】

内視鏡 1100 は、先端から所定の長さの領域が患者 1132 の体腔内に挿入される鏡筒 1101 と、鏡筒 1101 の基端に接続されるカメラヘッド 1102 と、から構成される。図示する例では、硬性の鏡筒 1101 を有するいわゆる硬性鏡として構成される内視

50

鏡 1 1 0 0 を図示しているが、内視鏡 1 1 0 0 は、軟性の鏡筒を有するいわゆる軟性鏡として構成されてもよい。

【 0 1 4 4 】

鏡筒 1 1 0 1 の先端には、対物レンズが嵌め込まれた開口部が設けられている。内視鏡 1 1 0 0 には光源装置 1 2 0 3 が接続されており、光源装置 1 2 0 3 によって生成された光が、鏡筒 1 1 0 1 の内部に延設されるライトガイドによって当該鏡筒の先端まで導光され、対物レンズを介して患者 1 1 3 2 の体腔内の観察対象に向かって照射される。なお、内視鏡 1 1 0 0 は、直視鏡であってもよいし、斜視鏡又は側視鏡であってもよい。

【 0 1 4 5 】

カメラヘッド 1 1 0 2 の内部には光学系及び光電変換装置が設けられており、観察対象からの反射光（観察光）は当該光学系によって当該光電変換装置に集光される。当該光電変換装置によって観察光が光電変換され、観察光に対応する電気信号、すなわち観察像に対応する画像信号が生成される。当該光電変換装置としては、前述の各実施形態に記載の光電変換装置を用いることができる。当該画像信号は、RAWデータとしてカメラコントロールユニット（CCU：Camera Control Unit）1 1 3 5 に送信される。

10

【 0 1 4 6 】

CCU 1 1 3 5 は、CPU（Central Processing Unit）やGPU（Graphics Processing Unit）等によって構成され、内視鏡 1 1 0 0 及び表示装置 1 1 3 6 の動作を統括的に制御する。さらに、CCU 1 1 3 5 は、カメラヘッド 1 1 0 2 から画像信号を受け取り、その画像信号に対して、例えば現像処理（デモザイク処理）等の、当該画像信号に基づく画像を表示するための各種の画像処理を施す。

20

【 0 1 4 7 】

表示装置 1 1 3 6 は、CCU 1 1 3 5 からの制御により、当該CCU 1 1 3 5 によって画像処理が施された画像信号に基づく画像を表示する。

【 0 1 4 8 】

光源装置 1 2 0 3 は、例えばLED（Light Emitting Diode）等の光源から構成され、術部等を撮影する際の照射光を内視鏡 1 1 0 0 に供給する。

【 0 1 4 9 】

30

入力装置 1 1 3 7 は、内視鏡手術システム 1 0 0 3 に対する入力インターフェースである。ユーザーは、入力装置 1 1 3 7 を介して、内視鏡手術システム 1 0 0 3 に対して各種の情報の入力や指示入力を行うことができる。

【 0 1 5 0 】

処置具制御装置 1 1 3 8 は、組織の焼灼、切開又は血管の封止等のためのエネルギー処置具 1 1 1 2 の駆動を制御する。

【 0 1 5 1 】

内視鏡 1 1 0 0 に術部を撮影する際の照射光を供給する光源装置 1 2 0 3 は、例えばLED、レーザ光源又はこれらの組み合わせによって構成される白色光源から構成することができる。RGBレーザ光源の組み合わせにより白色光源が構成される場合には、各色（各波長）の出力強度及び出力タイミングを高精度に制御することができるため、光源装置 1 2 0 3 において撮像画像のホワイトバランスの調整を行うことができる。また、この場合には、RGBレーザ光源それぞれからのレーザ光を時分割で観察対象に照射し、その照射タイミングに同期してカメラヘッド 1 1 0 2 の撮像素子の駆動を制御することにより、RGBそれぞれに対応した画像を時分割で撮像することも可能である。当該方法によれば、当該撮像素子にカラーフィルタを設けなくても、カラー画像を得ることができる。

40

【 0 1 5 2 】

また、光源装置 1 2 0 3 は、出力する光の強度を所定の時間ごとに変更するようにその駆動が制御されてもよい。その光の強度の変更のタイミングに同期してカメラヘッド 1 1 0 2 の撮像素子の駆動を制御して時分割で画像を取得し、その画像を合成することにより

50

、いわゆる黒つぶれ及び白とびのない高ダイナミックレンジの画像を生成することができる。

【 0 1 5 3 】

また、光源装置 1 2 0 3 は、特殊光観察に対応した所定の波長帯域の光を供給可能に構成されてもよい。特殊光観察では、例えば、体組織における光の吸収の波長依存性を利用する。具体的には、通常の観察時における照射光（すなわち、白色光）に比べて狭帯域の光を照射することにより、粘膜表層の血管等の所定の組織を高コントラストで撮影する。あるいは、特殊光観察では、励起光を照射することにより発生する蛍光により画像を得る蛍光観察が行われてもよい。蛍光観察では、体組織に励起光を照射し当該体組織からの蛍光を観察すること、又はインドシアニンググリーン（ I C G ）等の試薬を体組織に局注するとともに当該体組織にその試薬の蛍光波長に対応した励起光を照射し蛍光像を得ること等を行うことができる。光源装置 1 2 0 3 は、このような特殊光観察に対応した狭帯域光及び／又は励起光を供給可能に構成され得る。

10

【 0 1 5 4 】

< 実施形態 1 1 >

本実施形態の光検出システムおよび移動体について、図 2 1 及び図 2 2 用いて説明する。図 2 1 は、本実施形態による光検出システムおよび移動体の構成例を示す概略図である。図 2 2 は、本実施形態による光検出システムの動作を示すフロー図である。本実施形態では、光検出システムとして、車載カメラの一例を示す。

【 0 1 5 5 】

図 2 1 は、車両システムとこれに搭載される撮像を行う光検出システムの一例を示したものである。光検出システム 1 3 0 1 は、光電変換装置 1 3 0 2、画像前処理部 1 3 1 5、集積回路 1 3 0 3、光学系 1 3 1 4 を含む。光学系 1 3 1 4 は、光電変換装置 1 3 0 2 に被写体の光学像を結像する。光電変換装置 1 3 0 2 は、光学系 1 3 1 4 により結像された被写体の光学像を電気信号に変換する。光電変換装置 1 3 0 2 は、上述の各実施形態のいずれかの光電変換装置である。画像前処理部 1 3 1 5 は、光電変換装置 1 3 0 2 から出力された信号に対して所定の信号処理を行う。画像前処理部 1 3 1 5 の機能は、光電変換装置 1 3 0 2 内に組み込まれていてもよい。光検出システム 1 3 0 1 には、光学系 1 3 1 4、光電変換装置 1 3 0 2 および画像前処理部 1 3 1 5 が、少なくとも 2 組設けられており、各組の画像前処理部 1 3 1 5 からの出力が集積回路 1 3 0 3 に入力されるようになっている。

20

30

【 0 1 5 6 】

集積回路 1 3 0 3 は、撮像システム用途向けの集積回路であり、メモリ 1 3 0 5 を含む画像処理部 1 3 0 4、光学測距部 1 3 0 6、測距演算部 1 3 0 7、物体認知部 1 3 0 8、異常検出部 1 3 0 9 を含む。画像処理部 1 3 0 4 は、画像前処理部 1 3 1 5 の出力信号に対して、現像処理や欠陥補正等の画像処理を行う。メモリ 1 3 0 5 は、撮像画像の一次記憶、撮像画素の欠陥位置を格納する。光学測距部 1 3 0 6 は、被写体の合焦や、測距を行う。測距演算部 1 3 0 7 は、複数の光電変換装置 1 3 0 2 により取得された複数の画像データから測距情報の算出を行う。物体認知部 1 3 0 8 は、車、道、標識、人等の被写体の認知を行う。異常検出部 1 3 0 9 は、光電変換装置 1 3 0 2 の異常を検出すると、主制御部 1 3 1 3 に異常を発報する。

40

【 0 1 5 7 】

集積回路 1 3 0 3 は、専用に設計されたハードウェアによって実現されてもよいし、ソフトウェアモジュールによって実現されてもよいし、これらの組合せによって実現されてもよい。また、FPGA (Field Programmable Gate Array) やASIC (Application Specific Integrated Circuit) 等によって実現されてもよいし、これらの組合せによって実現されてもよい。

【 0 1 5 8 】

主制御部 1 3 1 3 は、光検出システム 1 3 0 1、車両センサ 1 3 1 0、制御ユニット 1 3 2 0 等の動作を統括・制御する。主制御部 1 3 1 3 を持たず、光検出システム 1 3 0 1

50

、車両センサ 1310、制御ユニット 1320 が個別に通信インターフェースを有して、それぞれが通信ネットワークを介して制御信号の送受を行う（例えば CAN 規格）方法も取り得る。

【0159】

集積回路 1303 は、主制御部 1313 からの制御信号を受け或いは自身の制御部によって、光電変換装置 1302 へ制御信号や設定値を送信する機能を有する。

【0160】

光検出システム 1301 は、車両センサ 1310 に接続されており、車速、ヨーレート、舵角などの車両走行状態および自車外環境や他車・障害物の状態を検出することができる。車両センサ 1310 は、対象物までの距離情報を取得する距離情報取得手段でもある。また、光検出システム 1301 は、自動操舵、自動巡行、衝突防止機能等の種々の運転支援を行う運転支援制御部 1311 に接続されている。特に、衝突判定機能に関しては、光検出システム 1301 や車両センサ 1310 の検出結果を基に他車・障害物との衝突推定・衝突有無を判定する。これにより、衝突が推定される場合の回避制御、衝突時の安全装置起動を行う。

10

【0161】

また、光検出システム 1301 は、衝突判定部での判定結果に基づいて、ドライバーに警報を発する警報装置 1312 にも接続されている。例えば、衝突判定部の判定結果として衝突可能性が高い場合、主制御部 1313 は、ブレーキをかける、アクセルを戻す、エンジン出力を抑制するなどして、衝突を回避、被害を軽減する車両制御を行う。警報装置 1312 は、音等の警報を鳴らす、カーナビゲーションシステムやメーターパネルなどの表示部画面に警報情報を表示する、シートベルトやステアリングに振動を与えるなどしてユーザーに警告を行う。

20

【0162】

本実施形態では、車両の周囲、例えば前方または後方を光検出システム 1301 で撮影する。図 21 (b) に、車両前方を光検出システム 1301 で撮像する場合の光検出システム 1301 の配置例を示す。

【0163】

2つの光電変換装置 1302 は、車両 1300 の前方に配される。具体的には、車両 1300 の進退方位または外形（例えば車幅）に対する中心線を対称軸に見立て、その対称軸に対して2つの光電変換装置 1302 が線対称に配されると、車両 1300 と被写対象物との間の距離情報の取得や衝突可能性の判定を行う上で好ましい。また、光電変換装置 1302 は、運転者が運転席から車両 1300 の外の状況を視認する際に運転者の視野を妨げない配置が好ましい。警報装置 1312 は、運転者の視野に入りやすい配置が好ましい。

30

【0164】

次に、光検出システム 1301 における光電変換装置 1302 の故障検出動作について、図 22 を用いて説明する。光電変換装置 1302 の故障検出動作は、図 22 に示すステップ S1410 ~ S1480 に従って実施される。

【0165】

ステップ S1410 は、光電変換装置 1302 のスタートアップ時の設定を行うステップである。すなわち、光検出システム 1301 の外部（例えば主制御部 1313）または光検出システム 1301 の内部から、光電変換装置 1302 の動作のための設定を送信し、光電変換装置 1302 の撮像動作および故障検出動作を開始する。

40

【0166】

次いで、ステップ S1420 において、有効画素から画素信号を取得する。また、ステップ S1430 において、故障検出用に設けた故障検出画素からの出力値を取得する。この故障検出画素は、有効画素と同じく光電変換素子を備える。この光電変換素子には、所定の電圧が書き込まれる。故障検出用画素は、この光電変換素子に書き込まれた電圧に対応する信号を出力する。なお、ステップ S1420 とステップ S1430 とは逆でもよい。

50

【 0 1 6 7 】

次いで、ステップ S 1 4 4 0 において、故障検出画素の出力期待値と、実際の故障検出画素からの出力値との該非判定を行う。ステップ S 1 4 4 0 における該非判定の結果、出力期待値と実際の出力値とが一致している場合は、ステップ S 1 4 5 0 に移行し、撮像動作が正常に行われていると判定し、処理ステップがステップ S 1 4 6 0 へと移行する。ステップ S 1 4 6 0 では、走査行の画素信号をメモリ 1 3 0 5 に送信して一次保存する。そののち、ステップ S 1 4 2 0 に戻り、故障検出動作を継続する。一方、ステップ S 1 4 4 0 における該非判定の結果、出力期待値と実際の出力値とが一致していない場合は、処理ステップはステップ S 1 4 7 0 に移行する。ステップ S 1 4 7 0 において、撮像動作に異常があると判定し、主制御部 1 3 1 3、または警報装置 1 3 1 2 に警報を発報する。警報装置 1 3 1 2 は、表示部に異常が検出されたことを表示させる。その後、ステップ S 1 4 8 0 において光電変換装置 1 3 0 2 を停止し、光検出システム 1 3 0 1 の動作を終了する。

10

【 0 1 6 8 】

なお、本実施形態では、1行毎にフローチャートをループさせる例を例示したが、複数行毎にフローチャートをループさせてもよいし、1フレーム毎に故障検出動作を行ってもよい。ステップ S 1 4 7 0 の警報の発報は、無線ネットワークを介して、車両の外部に通知するようにしてもよい。

【 0 1 6 9 】

また、本実施形態では、他の車両と衝突しない制御を説明したが、他の車両に追従して自動運転する制御や、車線からはみ出さないように自動運転する制御などにも適用可能である。さらに、光検出システム 1 3 0 1 は、自車両等の車両に限らず、例えば、船舶、航空機或いは産業用ロボットなどの移動体（移動装置）に適用することができる。加えて、移動体に限らず、高度道路交通システム（ITS）等、広く物体認識を利用する機器に適用することができる。

20

【 0 1 7 0 】

本発明の光電変換装置は、更に、距離情報など各種情報を取得可能な構成であってもよい。

【 0 1 7 1 】

< 実施形態 1 2 >

図 2 3 (a) は、1つの適用例に係る眼鏡 1 6 0 0（スマートグラス）を説明する。眼鏡 1 6 0 0 には、光電変換装置 1 6 0 2 を有する。光電変換装置 1 6 0 2 は、上記の各実施形態に記載の光電変換装置である。また、レンズ 1 6 0 1 の裏面側には、O L E D や L E D 等の発光装置を含む表示装置が設けられていてもよい。光電変換装置 1 6 0 2 は1つでもよいし、複数でもよい。また、複数種類の光電変換装置を組み合わせ用いてもよい。光電変換装置 1 6 0 2 の配置位置は図 2 3 (a) に限定されない。

30

【 0 1 7 2 】

眼鏡 1 6 0 0 は、制御装置 1 6 0 3 をさらに備える。制御装置 1 6 0 3 は、光電変換装置 1 6 0 2 と上記の表示装置に電力を供給する電源として機能する。また、制御装置 1 6 0 3 は、光電変換装置 1 6 0 2 と表示装置の動作を制御する。レンズ 1 6 0 1 には、光電変換装置 1 6 0 2 に光を集光するための光学系が形成されている。

40

【 0 1 7 3 】

図 2 3 (b) は、1つの適用例に係る眼鏡 1 6 1 0（スマートグラス）を説明する。眼鏡 1 6 1 0 は、制御装置 1 6 1 2 を有しており、制御装置 1 6 1 2 に、光電変換装置 1 6 0 2 に相当する光電変換装置と、表示装置が搭載される。レンズ 1 6 1 1 には、制御装置 1 6 1 2 内の光電変換装置と、表示装置からの発光を投影するための光学系が形成されており、レンズ 1 6 1 1 には画像が投影される。制御装置 1 6 1 2 は、光電変換装置および表示装置に電力を供給する電源として機能するとともに、光電変換装置および表示装置の動作を制御する。制御装置は、装着者の視線を検知する視線検知部を有してもよい。視線の検知は赤外線を用いてよい。赤外発光部は、表示画像を注視しているユーザーの眼球に対して、赤外光を発する。発せられた赤外光の眼球からの反射光を、受光素子を有する撮

50

像部が検出することで眼球の撮像画像が得られる。平面視における赤外発光部から表示部への光を低減する低減手段を有することで、画像品位の低下を低減する。

【0174】

赤外光の撮像により得られた眼球の撮像画像から表示画像に対するユーザーの視線を検出する。眼球の撮像画像を用いた視線検出には任意の公知の手法が適用できる。一例として、角膜での照射光の反射によるプルキニエ像に基づく視線検出方法を用いることができる。

【0175】

より具体的には、瞳孔角膜反射法に基づく視線検出処理が行われる。瞳孔角膜反射法を用いて、眼球の撮像画像に含まれる瞳孔の像とプルキニエ像とに基づいて、眼球の向き（回転角度）を表す視線ベクトルが算出されることにより、ユーザーの視線が検出される。

【0176】

本実施形態の表示装置は、受光素子を有する光電変換装置を有し、光電変換装置からのユーザーの視線情報に基づいて表示装置の表示画像を制御してよい。

【0177】

具体的には、表示装置は、視線情報に基づいて、ユーザーが注視する第一の視界領域と、第一の視界領域以外の第二の視界領域とを決定される。第一の視界領域、第二の視界領域は、表示装置の制御装置が決定してもよいし、外部の制御装置が決定したものを受信してもよい。表示装置の表示領域において、第一の視界領域の表示解像度を第二の視界領域の表示解像度よりも高く制御してよい。つまり、第二の視界領域の解像度を第一の視界領域よりも低くしてよい。

【0178】

また、表示領域は、第一の表示領域、第一の表示領域とは異なる第二の表示領域とを有し、視線情報に基づいて、第一の表示領域および第二の表示領域から優先度が高い領域を決定されてよい。第一の視界領域、第二の視界領域は、表示装置の制御装置が決定してもよいし、外部の制御装置が決定したものを受信してもよい。優先度の高い領域の解像度を、優先度が高い領域以外の領域の解像度よりも高く制御してよい。つまり優先度が相対的に低い領域の解像度を低くしてよい。

【0179】

なお、第一の視界領域や優先度が高い領域の決定には、AIを用いてもよい。AIは、眼球の画像と当該画像の眼球が実際に視ていた方向とを教師データとして、眼球の画像から視線の角度、視線の先の目的物までの距離を推定するよう構成されたモデルであってよい。AIプログラムは、表示装置が有しても、光電変換装置が有しても、外部装置が有してもよい。外部装置が有する場合は、通信を介して、表示装置に伝えられる。

【0180】

視認検知に基づいて表示制御する場合、外部を撮像する光電変換装置を更に有するスマートグラスに好ましく適用できる。スマートグラスは、撮像した外部情報をリアルタイムで表示することができる。

【0181】

<その他の実施形態>

以上、各実施形態について説明したが、本発明はこれらの実施形態に制限されるものではなく、様々な変更および変形が可能である。また、各実施形態は相互に適用可能である。

【符号の説明】

【0182】

- 311 第1半導体領域
- 312 第2半導体領域
- 314 第4半導体領域
- 322 第2配線
- 326 第1配線

10

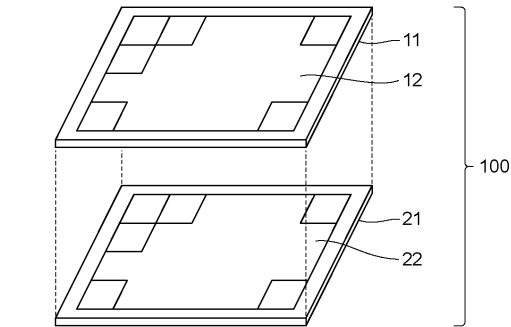
20

30

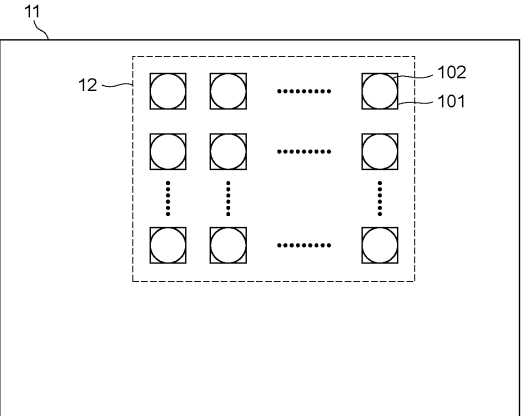
40

50

【図面】
【図 1】



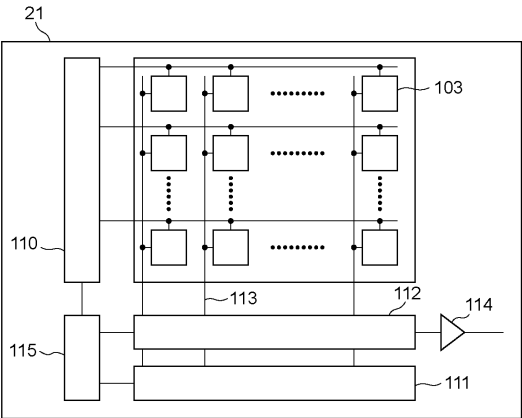
【図 2】



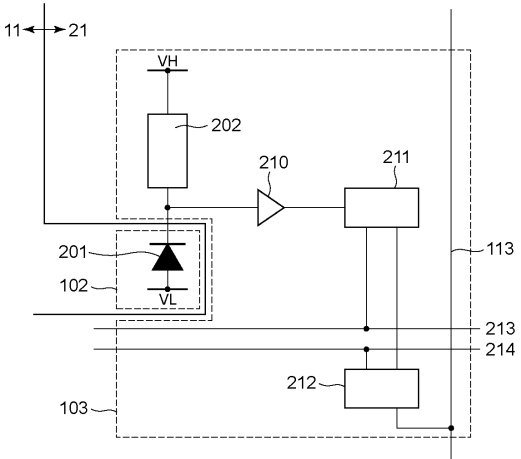
10

20

【図 3】



【図 4】

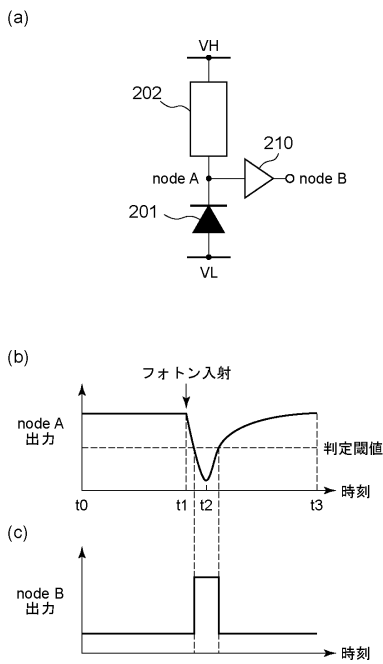


30

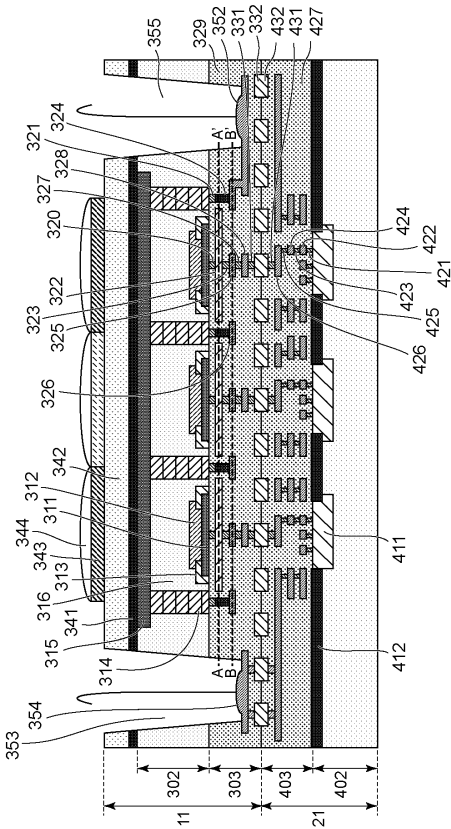
40

50

【図 5】



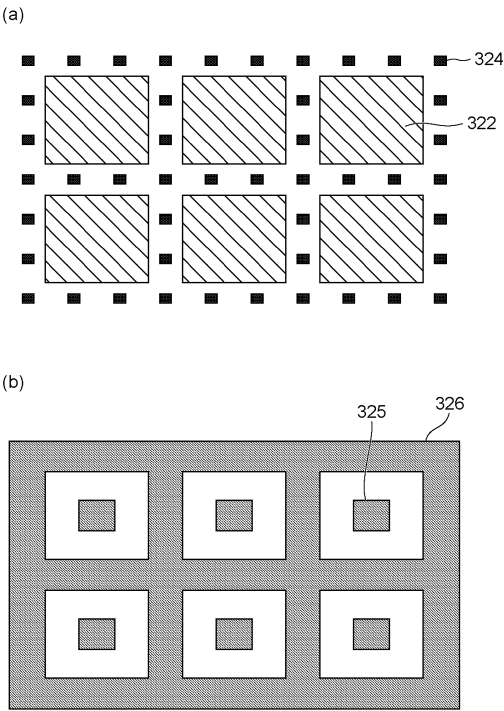
【図 6】



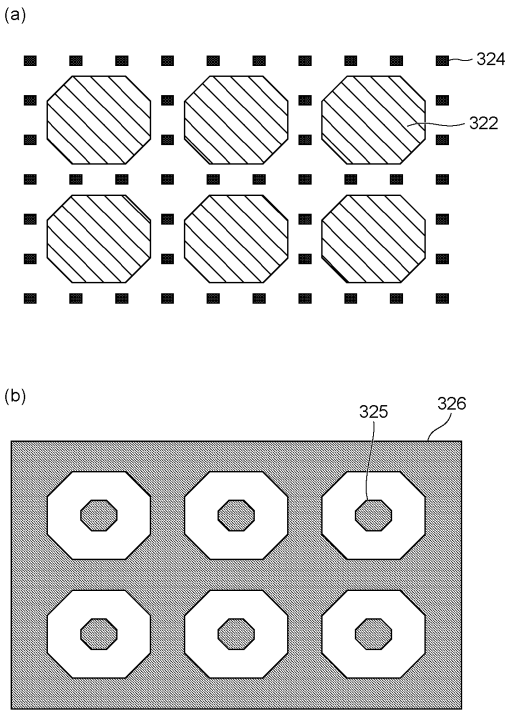
10

20

【図 7】



【図 8】

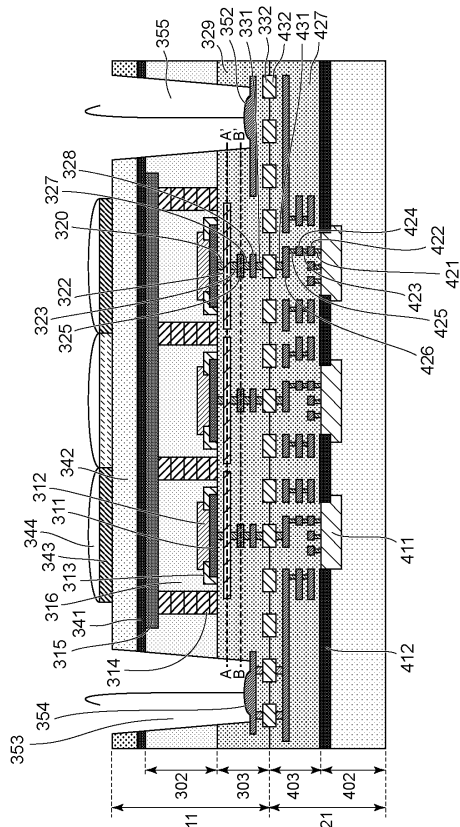


30

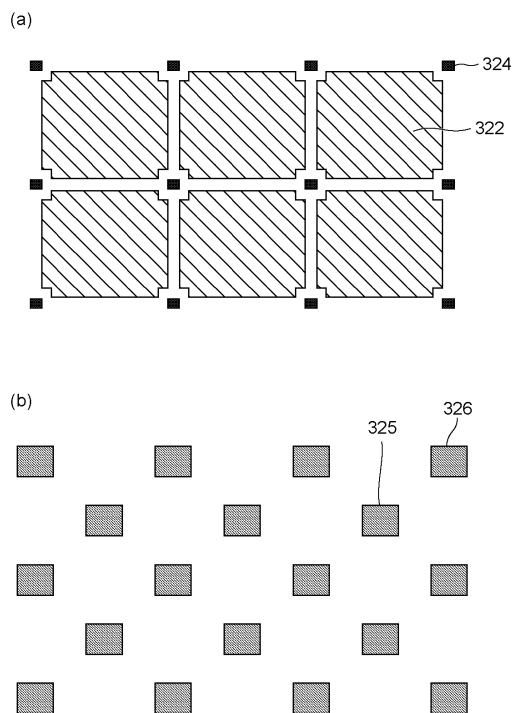
40

50

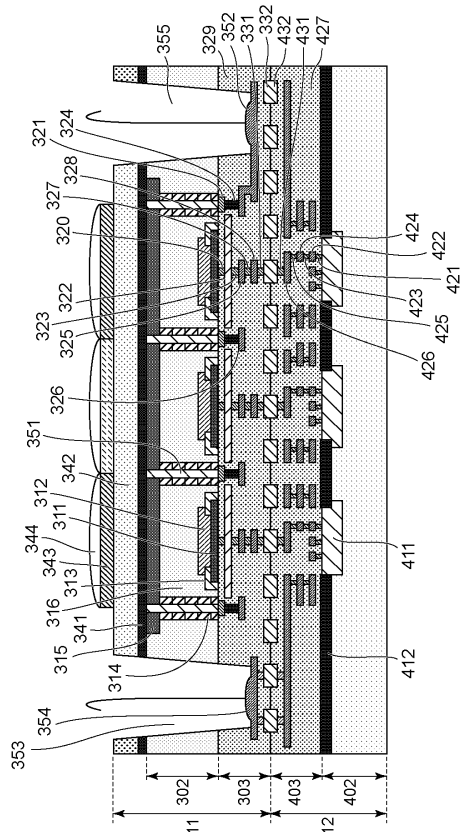
【 図 9 】



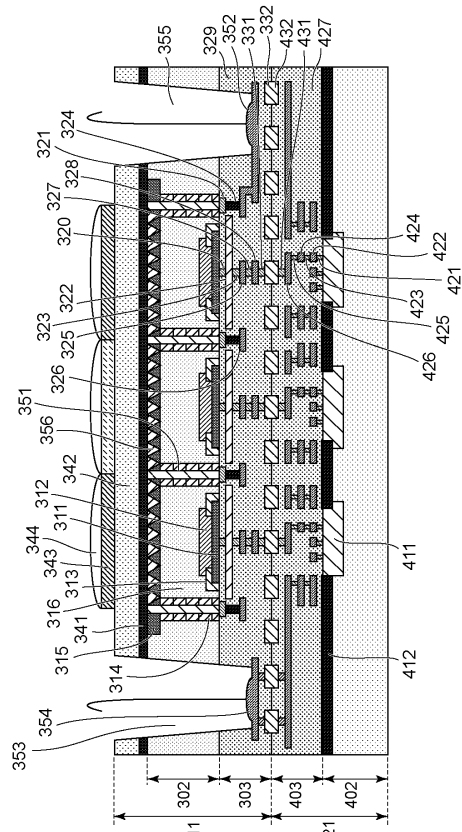
【 図 1 0 】



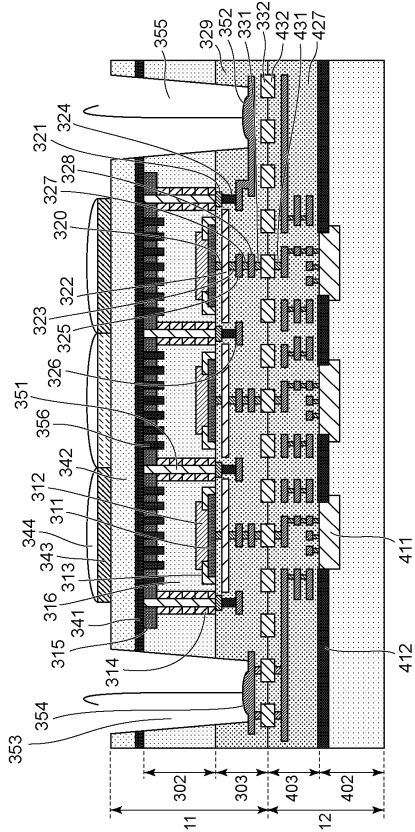
【 図 1 1 】



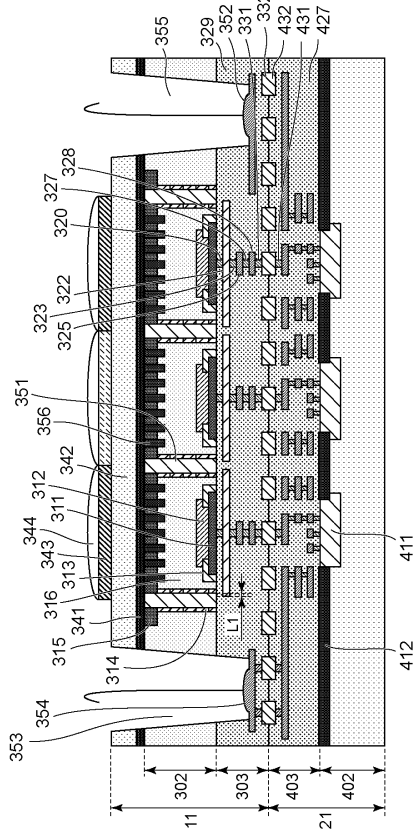
【圖 1 2】



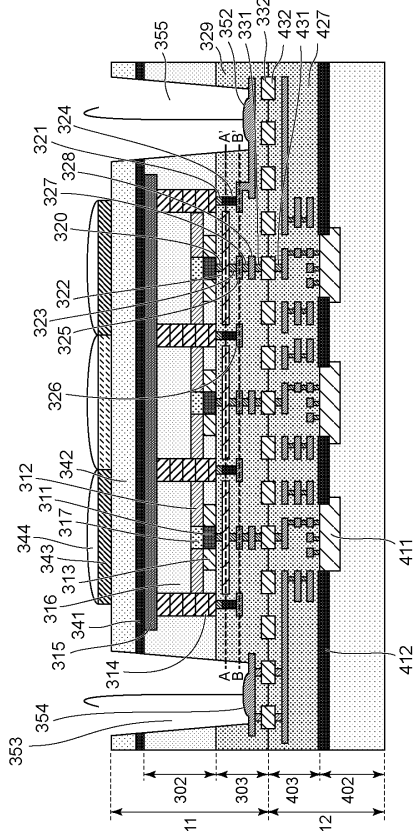
【図 13】



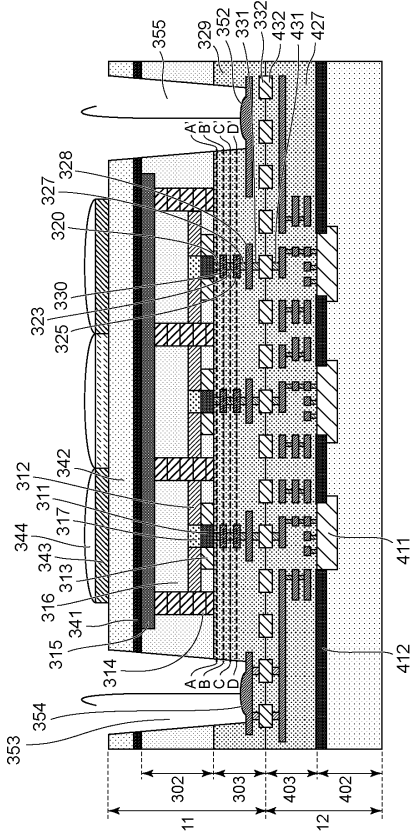
【図 14】



【図 15】



【図 16】



10

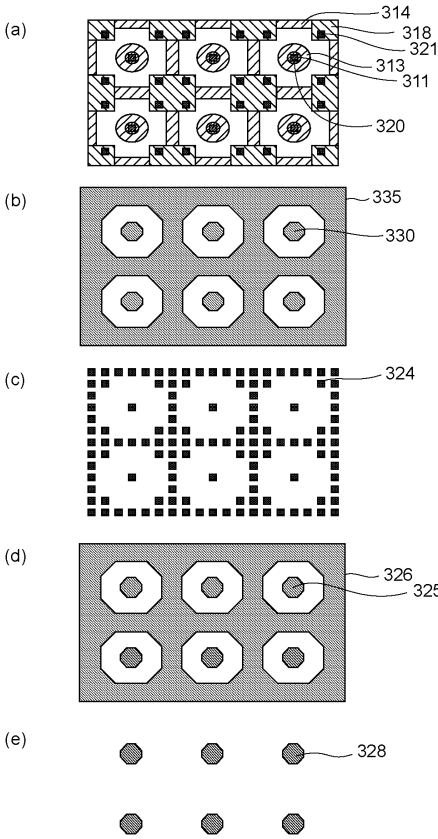
20

30

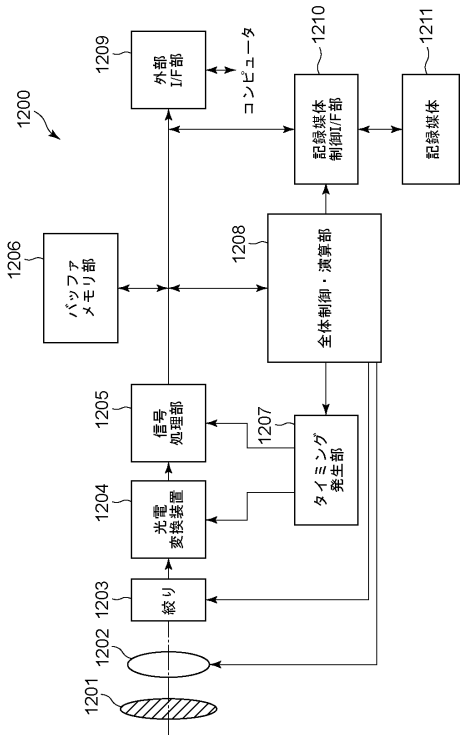
40

50

【図 17】



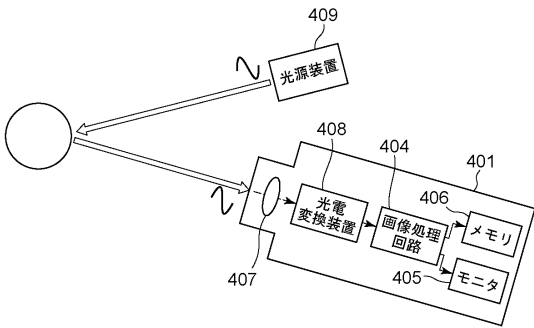
【図 18】



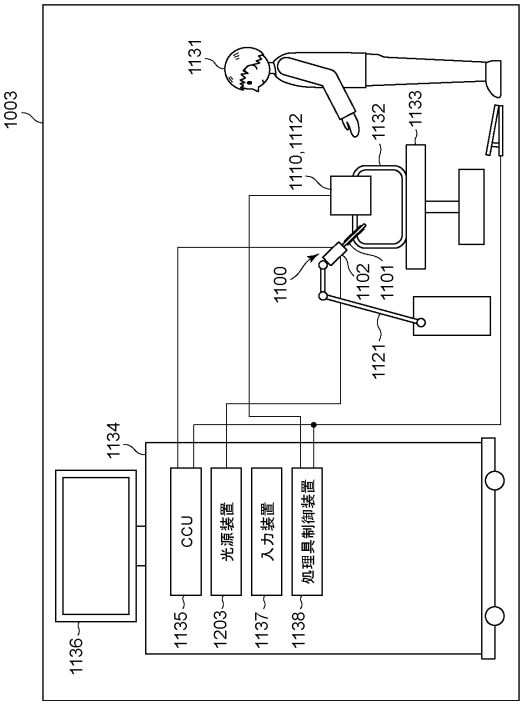
10

20

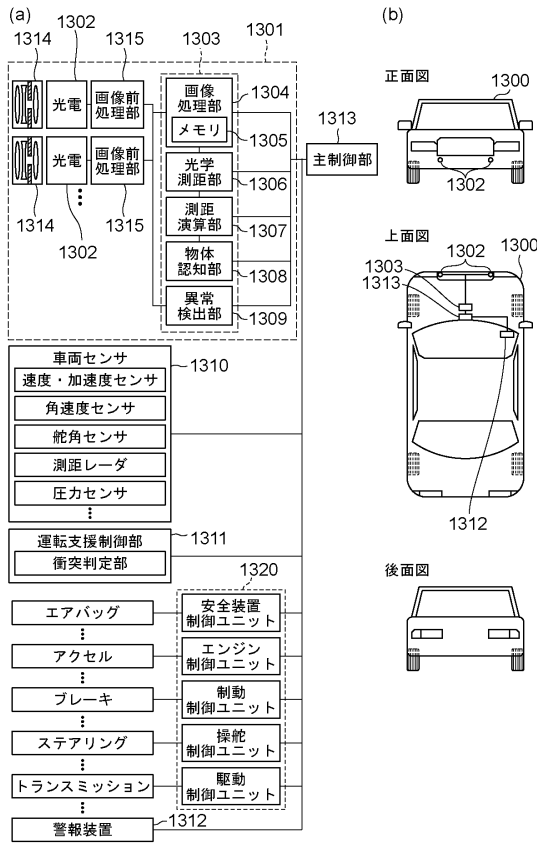
【図 19】



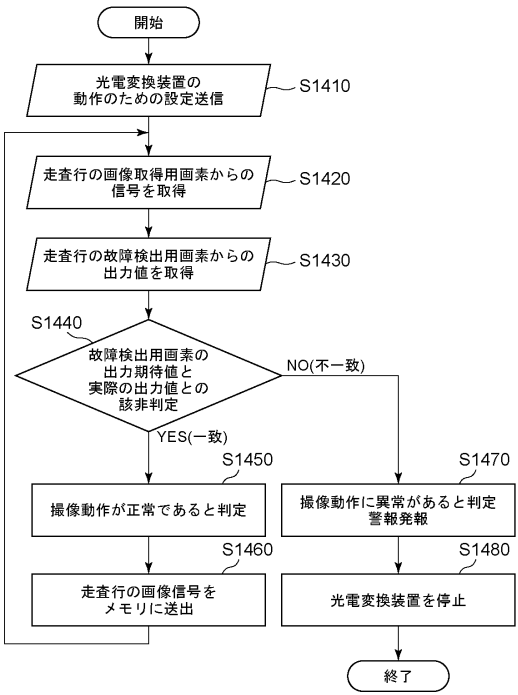
【図 20】



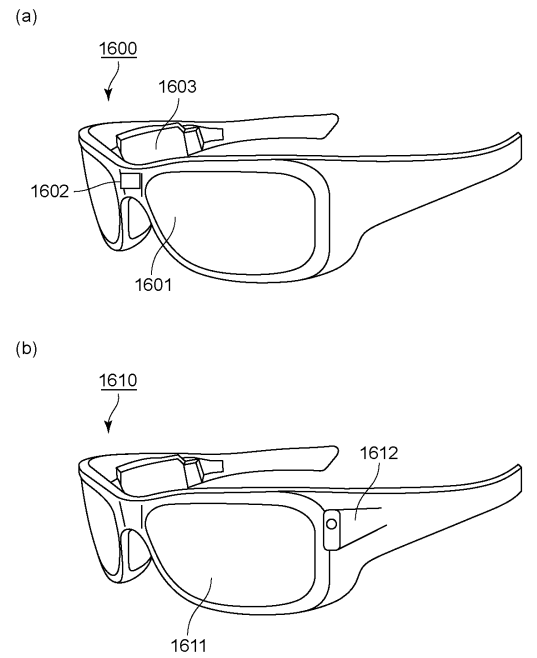
【図 2 1】



【図 2 2】



【図 2 3】



10

20

30

40

50

フロントページの続き

ヤノン株式会社内

(72)発明者 林 良之

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 佐竹 政彦

(56)参考文献 特開2020-021889(JP, A)

特開2018-088488(JP, A)

国際公開第2020/179290(WO, A1)

特開2020-057651(JP, A)

(58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)

H01L 31/107

H01L 27/146 - 27/148