

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号

特許第7100518号

(P7100518)

(45)発行日 令和4年7月13日(2022.7.13)

(24)登録日 令和4年7月5日(2022.7.5)

(51)国際特許分類

F I

H 0 4 N	5/335(2011.01)	H 0 4 N	5/335	5 0 0
H 0 4 N	5/369(2011.01)	H 0 4 N	5/369	6 0 0
G 0 1 C	3/06 (2006.01)	G 0 1 C	3/06	1 2 0 Q
G 0 1 S	17/89 (2020.01)	G 0 1 C	3/06	1 4 0
G 0 1 S	17/10 (2020.01)	G 0 1 S	17/89	

請求項の数 11 (全34頁) 最終頁に続く

(21)出願番号 特願2018-134479(P2018-134479)
 (22)出願日 平成30年7月17日(2018.7.17)
 (65)公開番号 特開2019-47486(P2019-47486A)
 (43)公開日 平成31年3月22日(2019.3.22)
 審査請求日 令和3年7月7日(2021.7.7)
 (31)優先権主張番号 特願2017-167639(P2017-167639)
 (32)優先日 平成29年8月31日(2017.8.31)
 (33)優先権主張国・地域又は機関
 日本国(JP)

(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 110003281
 特許業務法人大塚国際特許事務所
 (72)発明者 小林 寛和
 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 鈴木 聡史
 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 熊木 聡
 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 鈴木 明

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 固体撮像素子及び撮像装置

(57)【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数の画素を有する固体撮像素子であって、

前記複数の画素のそれぞれが、

光子の受光に応じてパルス信号を発するセンサ部と、

前記センサ部から発せられる前記パルス信号が入力されるローパスフィルタと、

前記ローパスフィルタの出力と閾値とを比較する比較器と、

発光部が光を発しない際に前記センサ部から発せられる前記パルス信号のパルス数をカウントする第1のモードでの動作と、所定信号のパルス数をカウントする第2のモードであって、該パルス数が前記発光部から光が発せられたタイミングからの経過時間に依存する第2のモードでの動作とを選択的に切り換えるように構成されたカウンタと、を有し、前記カウンタは、前記第2のモードで動作する場合、前記発光部から光が発せられたタイミングから前記比較器の出力が反転するタイミングまでの前記所定信号のパルス数をカウントする、

ことを特徴とする固体撮像素子。

【請求項2】

前記カウンタが前記第1のモードで動作する場合においては、前記センサ部から発せられる前記パルス信号が前記カウンタに供給されるように設定され、前記カウンタが前記第2のモードで動作する場合においては、前記所定信号が前記カウンタに供給されるように設定されるスイッチを更に有する請求項1に記載の固体撮像素子。

【請求項 3】

前記複数の画素のうちの第 1 の画素には、第 1 の透過波長域を備える第 1 のカラーフィルタが備えられ、
 前記複数の画素のうちの第 2 の画素には、前記第 1 の透過波長域とは異なる第 2 の透過波長域を備える第 2 のカラーフィルタが備えられ、
 前記第 1 の透過波長域に含まれる波長の光が前記発光部から発せられた際には、前記第 1 の画素に備えられた前記カウンタを前記第 2 のモードで動作させるとともに、前記第 2 の画素に備えられた前記カウンタを前記第 1 のモードで動作させ、
 前記第 2 の透過波長域に含まれる波長の光が前記発光部から発せられた際には、前記第 2 の画素に備えられた前記カウンタを前記第 2 のモードで動作させるとともに、前記第 1 の画素に備えられた前記カウンタを前記第 1 のモードで動作させることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の固体撮像素子。

10

【請求項 4】

前記複数の画素のうちの第 1 の画素には、所定波長域の可視光を透過するとともに赤外光を透過しない第 1 のカラーフィルタが備えられ、
 前記複数の画素のうちの第 2 の画素には、赤外光を透過する第 2 のカラーフィルタが備えられ、
 前記発光部からは赤外光が発せられることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の固体撮像素子。

20

【請求項 5】

前記複数の画素のうち、所定の領域に位置する画素に備えられた前記カウンタを前記第 2 のモードで動作させ、前記複数の画素のうち、前記所定の領域以外の領域に位置する画素に備えられた前記カウンタを前記第 1 のモードで動作させることを特徴とする請求項 1 から 4 のいずれか 1 項に記載の固体撮像素子。

【請求項 6】

前記カウンタが前記第 1 のモードで動作する場合、前記ローパスフィルタと前記比較器に供給する電力を制限することを特徴とする請求項 5 に記載の固体撮像素子。

【請求項 7】

前記カウンタが前記第 1 のモードで動作した際に得られたカウント値を、前記比較器の出力に基づいて補正する補正手段を更に備えることを特徴とする請求項 1 又は 6 に記載の固体撮像素子。

30

【請求項 8】

複数の画素を有する固体撮像素子と、
 前記固体撮像素子から出力される信号を処理する信号処理手段と、を有する撮像装置であって、

前記複数の画素のそれぞれが、

光子の受光に応じてパルス信号を発するセンサ部と、

前記センサ部から発せられる前記パルス信号が入力されるローパスフィルタと、

前記ローパスフィルタの出力と閾値とを比較する比較器と、

発光部が光を発しない際に前記センサ部から発せられる前記パルス信号のパルス数をカウントする第 1 のモードでの動作と、所定信号のパルス数をカウントする第 2 のモードであって、該パルス数が前記発光部から光が発せられたタイミングからの経過時間に依存する第 2 のモードでの動作とを選択的に切り換えるように構成されたカウンタと、を有し、
 前記カウンタは、前記第 2 のモードで動作する場合、前記発光部から光が発せられたタイミングから前記比較器の出力が反転するタイミングまでの前記所定信号のパルス数をカウントする、
 ことを特徴とする撮像装置。

40

【請求項 9】

前記信号処理手段は、前記カウンタが前記第 1 のモードで動作した際に得られたカウント値を、前記比較器の出力に基づいて補正することを特徴とする請求項 8 に記載の撮像装

50

置。

【請求項 10】

前記信号処理手段は、前記カウンタが前記第1のモードで動作した際に得られたカウント値に基づいて画像を生成し、前記カウンタが前記第2のモードで動作した際に得られたカウント値に基づいて被写体までの距離を算出することを特徴とする請求項8又は9に記載の撮像装置。

【請求項 11】

複数の画素を有する固体撮像素子と、ここで、前記複数の画素のそれぞれは、光子の受光に応じてパルス信号を発生するセンサ部と、前記センサ部から発生される前記パルス信号が入力されるローパスフィルタと、前記ローパスフィルタの出力と閾値とを比較する比較器と、カウンタとを有する、固体撮像素子と、

10

被写体を撮像する第1のモードでの動作と、前記被写体までの距離に関する情報を取得する第2のモードでの動作とを選択的に切り換えるように前記固体撮像素子を駆動ならびに制御する制御手段と、を有し、

前記第1のモードにおいて、前記制御手段は、発光部が光を発生しない際に前記センサ部から発生される前記パルス信号のパルス数をカウントするように前記カウンタを制御し、

前記第2のモードにおいて、前記制御手段は、所定信号のパルス数をカウントするように前記カウンタを制御し、ここで、該パルス数は前記発光部から光が発生されたタイミングからの経過時間に依存し、

前記第2のモードにおいて、前記制御手段は、前記発光部から光が発生されたタイミングから前記比較器の出力が反転するタイミングまでの前記所定信号のパルス数をカウントするように前記カウンタを制御する、

20

ことを特徴とする撮像装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、固体撮像素子及び撮像装置に関する。

【背景技術】

【0002】

従来、アバランシェフォトダイオード（APD：Avalanche Photo Diode）を用いることによって単一光子の検出を行う技術が提案されている。降伏電圧（ブレイクダウン電圧）より大きい逆バイアス電圧が印加されたアバランシェフォトダイオードに単一光子が入射すると、キャリアが生成され、アバランシェ増倍が起こり、大きな電流が発生する。この電流に基づいて、単一光子を検出することが可能となる。このようなアバランシェフォトダイオードは、SPAD（Single Photon Avalanche Diode）と呼ばれる。特許文献1は、アバランシェフォトダイオードが受光素子に備えられた光検出器を開示する。また特許文献2は、光電変換素子で生成された電荷を蓄積する蓄積容量と、蓄積容量の電圧が基準電圧と一致するとパルスを出力する比較器と、このパルスにより導通して蓄積容量の電圧をリセットするトランジスタとを各画素が備えるイメージセンサを開示する。

30

40

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【文献】特開2014-81253号公報
特開2015-173432号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

しかしながら、SPADを用いて画像取得と測距のいずれをも実現しようとした場合には、回路規模の増大を招いてしまう。

50

本発明の目的は、回路規模を抑制しつつ画像取得と測距とを実現し得る固体撮像素子及び撮像装置を提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【0005】

実施形態の一観点によれば、複数の画素を有する固体撮像素子であって、複数の画素のそれぞれが、光子の受光に応じてパルス信号を発するセンサ部と、センサ部から発せられるパルス信号が入力されるローパスフィルタと、ローパスフィルタの出力と閾値とを比較する比較器と、発光部が光を発しない際にセンサ部から発せられるパルス信号のパルス数をカウントする第1のモードでの動作と、所定信号のパルス数をカウントする第2のモードであって、パルス数が発光部から光が発せられたタイミングからの経過時間に依存する第2のモードでの動作とを選択的に切り換えるように構成されたカウンタと、を有し、カウンタは、第2のモードで動作する場合、発光部から光が発せられたタイミングから比較器の出力が反転するタイミングまでの所定信号のパルス数をカウントする、ことを特徴とする固体撮像素子が提供される。

10

【発明の効果】

【0006】

本発明によれば、回路規模を抑制しつつ画像取得と測距とを実現し得る固体撮像素子及び撮像装置を提供することができる。

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1】第1実施形態による固体撮像素子を示す図である。

【図2】第1実施形態による固体撮像素子の動作を示すタイミングチャートである。

【図3】第1実施形態による固体撮像素子を示す図である。

【図4】撮像装置を示すブロック図である。

【図5】第2実施形態による固体撮像素子を示す図である。

【図6】第2実施形態による固体撮像素子の動作を示すタイミングチャートである。

【図7】第3実施形態による固体撮像素子に備えられた画素アレイの各領域を概念的に示す図である。

【図8】第3実施形態による固体撮像素子を示す図である。

【図9】第3実施形態による固体撮像素子の動作を示すタイミングチャートである。

【図10】補正処理に用いられるルックアップテーブルの例を示す図である。

【図11】第3実施形態による撮像装置の動作を示すフローチャートである。

【図12】第4実施形態に係る単位画素に関する図である。

【図13】第5実施形態に係る単位画素に関する図である。

【図14】第5実施形態における制御信号のタイミングチャートの例を示す図である。

【図15】第6実施形態に係る単位画素に関する図である。

【発明を実施するための形態】

【0008】

本発明の実施の形態について図面を用いて以下に説明する。なお、本発明は以下の実施形態に限定されるものではなく、適宜変更可能である。

【0009】

[第1実施形態]

第1実施形態による固体撮像素子及び撮像装置について図1乃至図4を用いて説明する。

図1は、本実施形態による固体撮像素子を示す図である。

図1に示すように、本実施形態による固体撮像素子100は、垂直走査部101と、タイミングジェネレータ(TG: Timing Generator)102と、列メモリ103と、水平走査部104とを備えている。

また、固体撮像素子100には、画素アレイ130が備えられている。画素アレイ130には、複数の画素110を含む単位画素140が複数備えられている。図1には、画素アレイ130に備えられた複数の単位画素140のうちの1つの単位画素140が図示され

50

ている。固体撮像素子 100 は、行列状、即ち、マトリクス状に配された複数の画素 110 を備えている。

なお、ここでは、説明の簡略化のため、4つの画素 110 a、110 b、110 c、110 d が図示されているが、実際には多数の画素 110 が画素アレイ 130 に備えられている。また、画素一般について説明する際には、符号 110 を用い、個々の画素について説明する際には、符号 110 a ~ 110 d を用いることとする。

【0010】

タイミングジェネレータ 102 は、制御部 404 (図 4 参照) から供給される制御信号等に基づいて、固体撮像素子 100 の各部を制御するための信号を生成する。タイミングジェネレータ 102 には、制御部 404 から同期信号 VD 等が供給される。

10

タイミングジェネレータ 102 は、垂直走査部 101、列メモリ 103、及び、水平走査部 104 の各々に対して各種の信号等を供給する。また、タイミングジェネレータ 102 は、各々の画素 110 に対して、各種の制御信号を供給する。タイミングジェネレータ 102 は、固体撮像素子 100 の各部を制御する制御部として機能し得る。

【0011】

各々の画素 110 には、SPAD 111 と、クエンチング素子 112 と、インバータ 113 と、カウンタ 114 と、入力選択スイッチ 115 と、画素メモリ 116 とがそれぞれ備えられている。また、各々の画素 110 には、NAND 素子 117 と、AND 素子 118 と、LPF (ローパスフィルタ) 119 と、比較器 (CMP) 120 と、転送スイッチ 121 と、読み出しスイッチ 122 と、SR ラッチ回路 123 と、遅延回路 124 とが備えられている。

20

【0012】

SPAD 111 のアノードは接地電位に接続されており、SPAD 111 のカソードはクエンチング素子 (クエンチング抵抗) 112 の一端に接続されている。クエンチング素子 112 の他端にはバイアス電圧 V_{bias} が印加される。SPAD 111 には、クエンチング素子 112 を介して SPAD 111 の降伏電圧より大きいバイアス電圧 V_{bias} が印加される。このため、SPAD 111 はガイガーモードで動作する。

即ち、SPAD 111 に単一光子 (フォトン) が入射するとアバランシェ増倍現象を引き起こす。これにより、アバランシェ電流が生じ、クエンチング素子 112 において電圧降下が生ずる。クエンチング素子 112 は、SPAD 111 のアバランシェ増倍現象を停止されるための抵抗素子である。ここでは、MOS トランジスタの抵抗成分を利用してクエンチング素子 112 が構成されている。

30

アバランシェ増倍現象によってアバランシェ電流が生じると、クエンチング素子 112 において電圧降下が生じ、SPAD 111 に印加されるバイアス電圧が低下する。バイアス電圧が降伏電圧まで低下するとアバランシェ増倍現象が停止する。その結果、アバランシェ電流が流れなくなり、SPAD 111 には、再びバイアス電圧 V_{bias} が印加される。SPAD 111 のカソードと、クエンチング素子 112 の一端と、インバータ 113 の入力端子とは、ノード PLS a において互いに接続されている。インバータ 113 の出力端子と、入力選択スイッチ 115 の一方の入力端子と、LPF 119 の入力端子とは、ノード PLS d において互いに接続されている。

40

SPAD 111 に単一光子が入射すると、上記のような現象が生ずるため、ノード PLS a において電圧変化が生じる。インバータ 113 は、ノード PLS a における電圧変化に応じてパルス信号 PLS を生成し、生成したパルス信号 PLS をノード PLS d に出力する。こうして、波形整形されたパルス信号 PLS がインバータ 113 から出力される。

このように、センサ部 303 (図 3 参照) においては、SPAD 111 に単一光子が入射すると、単一光子の受光頻度に応じた頻度でインバータ 113 からパルス信号 PLS が出力される。バイアス電圧 V_{bias} は、例えば +20V 程度とすることができるが、これに限定されるものではない。例えば、SPAD 111 のアノードを負の電位に接続してもよい。

【0013】

50

ノード P L S d とカウンタ 1 1 4 の入力端子とが接続されるように入力選択スイッチ 1 1 5 が設定されている場合には、インバータ 1 1 3 から出力されるパルス信号 P L S のパルス数がカウンタ 1 1 4 によってカウントされる。カウンタ 1 1 4 のビット (b i t) 幅は、例えば 1 6 である。ビット幅が 1 6 のカウンタ 1 1 4 がカウント可能な上限値、即ち、カウント上限値は、 $0 \times F F F F$ (1 0 進数で 6 5 5 3 5) である。

カウンタ 1 1 4 によるパルス信号 P L S のカウント値を、撮像カウント値と称することとする。撮像カウント値は、インバータ 1 1 3 から出力されるパルス信号 P L S のパルス数をカウントすることにより得られるものであるため、S P A D 1 1 1 の受光量に依存する。

【 0 0 1 4 】

入力選択スイッチ 1 1 5 の他方の入力端子には、タイミングジェネレータ 1 0 2 から供給される所定周期のクロック信号 (所定信号) C L K が入力される。クロック信号 C L K がカウンタ 1 1 4 の入力端子に供給されるように入力選択スイッチ 1 1 5 が設定されている場合には、クロック信号 C L K のパルス数がカウンタ 1 1 4 によってカウントされる。

入力選択スイッチ 1 1 5 は、タイミングジェネレータ 1 0 2 から供給される制御信号 C L K _ s e l によって制御される。制御信号 C L K _ s e l が L o w レベルの際には、インバータ 1 1 3 から出力されるパルス信号 P L S がカウンタ 1 1 4 の入力端子に入力されるように、入力選択スイッチ 1 1 5 が設定される。

制御信号 C L K _ s e l が H i g h レベルの際には、クロック信号 C L K がカウンタ 1 1 4 の入力端子に入力されるように、入力選択スイッチ 1 1 5 が設定される。カウンタ 1 1 4 によるクロック信号 C L K のカウント値を、測距カウント値と称することとする。測距カウント値は、所定周期のクロック信号 C L K をカウントすることにより得られるものであるため、経過時間に比例する。

【 0 0 1 5 】

カウンタ 1 1 4 のリセット端子には、タイミングジェネレータ 1 0 2 から供給されるリセット信号 (リセットパルス) R E S が入力される。カウンタ 1 1 4 のカウント値は、リセット信号 R E S によって 0×0 にリセットされる。リセットが解除されると、カウンタ 1 1 4 は、カウントを開始する。後述する発光部 4 0 9 (図 4 参照) が発光するタイミングでリセット信号 R E S を供給するにすれば、発光タイミングからの経過時間を把握することが可能となる。

【 0 0 1 6 】

カウンタ 1 1 4 のイネーブル端子には、カウンタ 1 1 4 を動作させるか否かを制御するためのイネーブル信号 E N A B L E が、A N D 素子 1 1 8 を介してタイミングジェネレータ 1 0 2 から供給される。イネーブル信号 E N A B L E は、A N D 素子 1 1 8 の一方の入力端子に入力される。カウンタ 1 1 4 のイネーブル端子が H i g h レベルの際には、カウンタ 1 1 4 はカウント動作を行い、カウンタ 1 1 4 のイネーブル端子が L o w レベルの際には、カウンタ 1 1 4 はカウント動作を停止する。

A N D 素子 1 1 8 の他方の入力端子には、N A N D 素子 1 1 7 から出力される信号が供給される。N A N D 素子 1 1 7 の一方の入力端子には、制御信号 C L K _ s e l が供給され、N A N D 素子 1 1 7 の他方の入力端子には、比較器 1 2 0 から出力される信号が供給される。N A N D 素子 1 1 7 は、制御信号 C L K _ s e l と、比較器 1 2 0 から出力される信号との否定論理積を出力する。

イネーブル信号 E N A B L E が H i g h レベルであり、且つ、N A N D 素子 1 1 7 の出力が H i g h レベルである場合にのみ、A N D 素子 1 1 8 の出力は H i g h レベルとなり、カウンタ 1 1 4 がカウント動作する。従って、イネーブル信号 E N A B L E が H i g h レベルの際には、カウンタ 1 1 4 が動作するか否かは、N A N D 素子 1 1 7 から出力される信号のみによって確定される。

制御信号 C L K _ s e l が H i g h レベルであり、且つ、比較器 1 2 0 の出力が H i g h レベルである場合にのみ、N A N D 素子 1 1 7 の出力は L o w レベルとなる。従って、イネーブル信号 E N A B L E が H i g h レベルの際には、制御信号 C L K _ s e l が H i g h レベルである場合にのみ、カウンタ 1 1 4 を動作させるか否かが比較器 1 2 0 の出力に

10

20

30

40

50

よって制御される。

即ち、イネーブル信号 E N A B L E が H i g h レベルの際には、カウンタ 1 1 4 によって測距カウント値が得られる場合のみ、カウンタ 1 1 4 を動作させるか否かが比較器 1 2 0 の出力によって制御される。制御信号 C L K _ s e l が L o w レベルである場合、即ち、カウンタ 1 1 4 によって撮像カウント値が得られる場合には、イネーブル信号 E N A B L E が H i g h レベルであれば、カウンタ 1 1 4 は常にカウント動作を行い得る。

【 0 0 1 7 】

インバータ 1 1 3 から出力されるパルス信号 P L S は、高周波を遮断する L P F 1 1 9 を介して比較器 1 2 0 の一方の入力端子に供給される。なお、L P F 1 1 9 は、公知の構成の L P F を適宜用い得る。例えば、R C 回路によって L P F を構成してもよいし、L C 回路によって L P F を構成してもよい。また、オペアンプが L P F に備えられていてもよい。

10

【 0 0 1 8 】

画素 1 1 0 における受光量が少ない場合には、時間的に疎なパルス信号 P L S が L P F 1 1 9 に入力されるため、L P F 1 1 9 の出力電圧は比較的低くなる。一方、画素 1 1 0 における受光量が多い場合には、時間的に密なパルス信号 P L S が L P F 1 1 9 に入力されるため、L P F 1 1 9 の出力電圧は比較的高くなる。

【 0 0 1 9 】

比較器 1 2 0 の他方の入力端子の電圧は、第 1 の閾値 V t h 1 に設定されている。比較器 1 2 0 は、L P F 1 1 9 の出力電圧の変化に基づいて、画素 1 1 0 の受光量の変化をリアルタイムに検出し得る。L P F 1 1 9 の出力電圧が第 1 の閾値 V t h 1 よりも小さい場合には、比較器 1 2 0 から L o w レベルの信号が出力され、L P F 1 1 9 の出力電圧が第 1 の閾値 V t h 1 以上である場合には、比較器 1 2 0 から H i g h レベルの信号が出力される。このため、画素 1 1 0 の受光量が大きくなった際には、N A N D 素子 1 1 7 と A N D 素子 1 1 8 とを介してカウンタ 1 1 4 のカウント動作が停止される。

20

この後、画素 1 1 0 の受光量が低下した場合においても、S R ラッチ回路 1 2 3 は Q 端子を H i g h レベルに維持する。このため、カウンタ 1 1 4 のカウント動作の停止は、カウンタ 1 1 4 のリセット端子に入力されるリセット信号 R E S が H i g h レベルとなるまで維持される。こうして、発光部 4 0 9 が発光するタイミングと、被写体によって反射された光が画素 1 1 0 によって受光されるタイミングとの差に応じた測距カウント値が得られる。距離に関する情報の一例である光飛行時間 t T O F は、以下のような式 (1) によって求め得る。

30

$$t T O F = \text{測距カウント値} / \text{クロック信号 C L K の周波数} \cdots (1)$$

光飛行時間 t T O F と光速 c とに基づいて、被写体までの距離 D を以下のような式 (2) に基づいて求め得る。光速 c は、2 9 9 7 9 2 4 5 8 m / s である。

$$D = c \times t T O F / 2 \cdots (2)$$

【 0 0 2 0 】

光の往復時間は、1 m 当たり 0 . 3 3 3 n s と極めて短い。このため、十分な時間分解能を得るためのクロック信号 C L K の周波数は、例えば 1 G H z を超える。なお、このような高い周波数のクロック信号 C L K を用いなくても、例えば、位相の異なる複数のクロック信号の H i g h / L o w 状態を元に変換する時間 - デジタル変換器 (T D C : T i m e - T o - D i g i t a l C o n v e r t e r) を用いることによって、時間分解能を向上することは可能である。T D C は、例えばカウンタ 1 1 4 に備えられ得る。本実施形態によれば、光飛行時間 t T O F に基づいて、被写体までの距離を迅速に求めることが可能である。

40

【 0 0 2 1 】

このように、本実施形態では、カウンタ 1 1 4 の入力端子に入力される信号を切り換えることによって、画像を取得する撮像モードと、距離に関する情報を取得する測距モードとを切り換え得る。なお、L P F 1 1 9、比較器 1 2 0、発光部 4 0 9 は、測距モードにおいては動作させることを要するが、撮像モードにおいては動作させることを要しない。このため、撮像モードにおいて、L P F 1 1 9、比較器 1 2 0 及び発光部 4 0 9 に供給する

50

電流を制限することにより、消費電力を低減するようにしてもよい。

【0022】

転送スイッチ121には、タイミングジェネレータ102によって生成される制御パルスMEMが供給される。全ての画素110に備えられた転送スイッチ121に対して同じタイミングで制御パルスMEMが供給される。転送スイッチ121は、制御パルスMEMがHighレベルとなった際にON状態となる。転送スイッチ121がON状態になると、カウンタ114のカウント値が画素メモリ116に転送される。

画素メモリ116は、カウンタ114から供給されるカウント値を一時的に格納する。読み出しスイッチ122をON状態とすることによって、画素メモリ116に格納されたカウント値が、信号線105を介して、列メモリ103に書き込まれる。

10

【0023】

垂直走査部101には、水平方向に延在する複数の制御線が接続されている。垂直走査部101は、これらの制御線に読み出し信号（読み出しパルス）READを順次供給する。読み出し信号一般について説明する際には、符号READを用い、個々の読み出し信号について説明する際には、符号READ_n、READ_{n+1}を用いることとする。読み出し信号READ_nは、第n番目の行に位置する制御線に印加される読み出し信号である。読み出し信号READ_{n+1}は、第n+1番目の行に位置する制御線に印加される読み出し信号である。同じ行に位置する複数の画素110には、同じ制御線を介して読み出し信号READが供給される。読み出し信号READは、読み出しスイッチ122に供給される。読み出しスイッチ122は、読み出し信号READ_nがHighレベルになるとON状態となる。

20

【0024】

列メモリ103には、垂直方向に延在する複数の信号線（垂直信号線、出力信号線）105が接続されている。なお、信号線一般について説明する際には、符号105を用い、個々の信号線について説明する際には、符号105_a、105_bを用いることとする。ここでは、説明の簡略化のため、2つの信号線105が図示されているが、信号線105は列毎に備えられており、多数の信号線105が固体撮像素子100に備えられている。

画素メモリ116から出力される信号が、読み出しスイッチ122、出力部125及び信号線105を介して、列メモリ103に出力される。読み出しスイッチ122は、垂直走査部101から供給される読み出し信号READがLowレベルの際にはOFF状態となり、読み出し信号READがHighレベルの際にはON状態となる。

30

垂直走査部101から供給される読み出し信号READによって選択される行に位置する複数の画素110からそれぞれ出力される信号値、即ち、画素信号値（カウント値）が、信号線105をそれぞれ介して列メモリ103に書き込まれる。列メモリ103は、各々の画素110から読み出された画素信号値をそれぞれ保持する。

【0025】

画素メモリ116のリセット端子には、読み出し信号READを遅延回路124によって遅延されることにより得られる信号が供給される。遅延回路124は、例えば2つのインバータを直列に接続することによって構成されている。画素メモリ116から出力される信号が読み出しスイッチ122を介して列メモリ103に格納された後に、遅延回路124から供給される信号によって画素メモリ116がリセットされる。

40

水平走査部104は、列メモリ103に保持された各々の画素信号値を、出力線Outputを介して信号処理部402（図4参照）に順次出力する。

【0026】

図2は、本実施形態による固体撮像素子100の動作を示すタイミングチャートである。ここでは、複数の画素110のうちの画素110_aの動作に着目して説明する。タイミングt201からタイミングt206までの期間は、同期信号VDの周期に対応する期間である1V期間である。

タイミングt201からタイミングt211までの期間は、1フレームの期間である1フレーム期間である。タイミングt203からタイミングt205までの期間は、画素11

50

0が撮像モードで動作する期間である。タイミングt206からタイミングt211までの期間は、画素110が測距モードで動作する期間である。

【0027】

タイミングt201において、同期信号(同期パルス)VDがHighレベルになると、タイミングジェネレータ102は、リセット信号RESをHighレベルにする。これにより、各々の画素110のカウンタ114と、各々の画素110のSRラッチ回路123とがリセットされる。なお、同期信号VDは、タイミングt202においてLowレベルに戻る。

【0028】

タイミングt203において、タイミングジェネレータ102は、リセット信号RESをLowレベルにするとともに、イネーブル信号ENABLEをHighレベルにする。リセット信号RESがLowレベルになると、カウンタ114のリセットが解除され、イネーブル信号ENABLEがHighレベルになると、カウンタ114は、インバータ113から出力されるパルス信号PLSのカウントを開始する。これにより、撮像モードでの動作が開始される。

10

タイミングt203からタイミングt205までの期間は、撮像モードで動作する期間である。当該期間においては、図1を用いて上述したように、SPAD111に単一光子が入射すると、SPAD111によって信号が生成され、波形整形されたパルス信号PLSがインバータ113から出力される。カウンタ114は、インバータ113から出力されるパルス信号PLSの数をカウントする。

20

タイミングt205の直前のタイミングt204において、制御パルスMEMがHighレベルとなる。制御パルスMEMがHighレベルになると、転送スイッチ121がON状態となり、カウンタ114のカウント値が画素メモリ116に格納される。従って、タイミングt203からタイミングt204までにカウントされたパルス信号PLSの数が、撮像カウント値となる。

【0029】

タイミングt205からタイミングt206までの期間においては、列メモリ103に保持された画素信号値が出力線Outputを介して信号処理部402に順次出力される。具体的には、タイミングt205において、第0番目の行に位置する複数の画素110に垂直走査部101から供給される読み出し信号READ0がHighレベルとなる。

30

読み出し信号READ0がHighレベルになると、第0番目の行に位置する複数の画素110によってそれぞれ取得された撮像カウント値が、列メモリ103に書き込まれる。この後、読み出し信号READ0を遅延回路124によって遅延されることにより得られる信号が画素メモリ116のリセット端子に供給され、これにより画素メモリ116がリセットされる。

水平走査部104は、第0番目の行に位置する複数の画素110によって取得されるとともに列メモリ103に格納された画素信号値を、出力線Outputを介して信号処理部402に順次出力する。こうして、第0番目の行に位置する複数の画素110からの撮像カウント値の読み出しが完了する。

この後、同様にして、各々の行に位置する複数の画素110から撮像カウント値が順次読み出される。こうして、全ての行からの撮像カウント値が読み出され、1フレーム分の撮像カウント値の読み出しが完了する。

40

【0030】

タイミングt206からタイミングt211までの期間は、測距モードで動作する期間である。タイミングt206からタイミングt210までの期間においては、制御信号CLK_selがHighレベルに設定され、カウンタ114の入力端子にクロック信号CLKが入力される。

タイミングt207からタイミングt208までの期間においては、発光部409を発光させるための発光制御信号がHighレベルに設定されるとともに、リセット信号RESがHighレベルに設定される。これにより、撮像カウント値が保持されているカウンタ

50

114 がリセットされる。

【0031】

この後、被写体によって反射された光が固体撮像素子100の撮像面に達する。被写体によって反射された光が固体撮像素子100の撮像面に達すると、パルス信号PLSの時間間隔が狭くなる。パルス信号PLSの時間間隔が狭くなると、LPF119から出力される信号の電圧が上昇する。

タイミングt209において、LPF119から出力される信号の電圧が第1の閾値V_{th1}以上になり、比較器120からHighレベルの信号が出力される。制御信号CLK_{sel}がHighレベルであるため、比較器120からHighレベルの信号が出力されると、NAND素子117から出力される信号はLowレベルとなる。

10

NAND素子117から出力される信号がLowレベルになると、AND素子118から出力される信号はLowレベルになり、カウンタ114のイネーブル端子はLowレベルとなる。タイミングt207とタイミングt209との間の時刻差は、被写体までの距離に比例する。タイミングt207とタイミングt209との時間差に応じた測距カウント値がカウンタ114によって取得される。

【0032】

タイミングt210からタイミングt211までの期間においては、制御パルスMEMがHighレベルとなる。制御パルスMEMがHighレベルになると、転送スイッチ121がON状態となり、カウンタ114のカウント値が画素メモリ116に格納される。従って、タイミングt207からタイミングt209までにカウントされたパルス信号PLSの数が、測距カウント値となる。

20

タイミングt211以降においては、各々の行から画素信号値が順次読み出される。各々の行に位置する複数の画素110から測距カウント値が順次読み出される。こうして、全ての行からの測距カウント値が読み出され、1フレーム分の測距カウント値の読み出しが完了する。

【0033】

なお、タイミングt210において同期信号VDをHighレベルとし、当該フレームの次のフレームの撮影を開始するようにしてもよい。また、測距カウント値に基づいて求められる被写体距離に変化が生じた場合には、次のフレームの撮影に先立って、光学系(撮像光学系)401(図4参照)の焦点位置を調節するようにしてもよい。また、第1の閾値V_{th1}の値に応じた検出遅れが比較器120において生じ得るため、被写体までの距離を測距カウント値に基づいて求める際に、第1の閾値V_{th1}の値に応じた補正を行うようにしてもよい。

30

【0034】

本実施形態による固体撮像素子100は、カウンタ114と画素メモリ116とを含む計数部304に多ビットのデータが保持されるため、回路規模が大きくなる傾向がある。しかし、撮像モードにおけるカウント動作と測距モードにおけるカウント動作とを同じ計数部304を用いて行い得るため、回路規模の過度な増大を抑制し得る。

【0035】

図3は、本実施形態による固体撮像素子を示す図である。図3(a)は、本実施形態による固体撮像素子を示す斜視図である。図3(a)に示すように、固体撮像素子100は、2つの基板(半導体チップ)301, 302を積層することによって構成されている。図3(b)は、本実施形態による固体撮像素子100に備えられている画素を示している。図3(b)においては、固体撮像素子100に備えられた複数の画素110のうちの1つの画素110が抜き出して示されている。

40

【0036】

図3(a)に示すように、固体撮像素子100は、光学系401によって形成される光学像を受光する基板(上部基板)301と、主としてデジタル系の回路を備える基板(下部基板)302とから構成されている。図3(b)に示すように、画素110は、センサ部(受光部、画素部)303と計数部304とによって構成されている。画素110のうち

50

のセンサ部 303 が基板 301 に形成されている。

画素 110 のうちの計数部 304 が基板 302 に形成されている。複数のセンサ部 303 が、基板 301 に行列状に配列されている。複数の計数部 304 が、基板 302 に行列状に配列されている。複数のセンサ部 303 の各々と、これらのセンサ部 303 に対応する複数の計数部 304 の各々が、互いに電氣的に接続されている。こうして、複数の画素 110 がマトリクス状に配されている。

【0037】

センサ部 303 には、SPAD 111 と、クエンチング素子 112 と、インバータ 113 とが備えられている。センサ部 303 にインバータ 113 が備えられているため、波形整形されたパルス信号 PLS がセンサ部 303 から計数部 304 に伝送される。

10

従って、センサ部 303 から計数部 304 への伝送は比較的口バストである。計数部 304 には、入力選択スイッチ 115 と、カウンタ 114 と、転送スイッチ 121 と、画素メモリ 116 と、NAND 素子 117 と、AND 素子 118 と、LPF 119 と、比較器 120 と、読み出しスイッチ 122 とが備えられている。計数部 304 には、SR ラッチ回路 123 と、遅延回路 124 とが更に備えられている。

【0038】

垂直走査部 101 と、タイミングジェネレータ 102 と、列メモリ 103 と、水平走査部 104 とは、基板 301 の周辺回路部 305 又は基板 302 の周辺回路部 306 とのうちのいずれかに備えられている。ここでは、垂直走査部 101 と、タイミングジェネレータ 102 と、列メモリ 103 と、水平走査部 104 とが、基板 302 の周辺回路部 306 に配置されている場合を例に説明する。

20

【0039】

このように、本実施形態では、センサ部 303 が基板 301 に形成されており、計数部 304 が基板 302 に形成されている。回路規模が大きい計数部 304 が、センサ部 303 が備えられている基板 301 とは別個の基板 302 に備えられているため、センサ部 303 の面積を十分に確保することができる。このため、センサ部 303 の開口面積を十分に確保することができる。

【0040】

なお、固体撮像素子 100 の構造は、上記に限定されるものではない。目的や用途に応じて固体撮像素子 100 の構造を適宜変更し得る。例えば、3 つ以上の基板を積層することにより固体撮像素子 100 を構成してもよいし、1 つの基板によって固体撮像素子 100 を構成してもよい。複数の基板（半導体チップ）の各々は、異なるプロセスルールに従って製造するようにしてもよい。また、信号処理を行うための別の回路や、フレームメモリ等を、基板 302 に設けるようにしてもよい。例えば、ノイズ低減処理を施す信号処理回路や、撮像された被写体の検出等を行う検出回路等を、基板 302 に設けるようにしてもよい。

30

【0041】

図 4 (a) は、本実施形態による撮像装置 400 を示すブロック図である。撮像装置 400 は、固体撮像素子 100、信号処理部 402、メモリ 403、制御部 404、操作部 405、表示部 406、記録部 407、光学系駆動部 408、及び、発光部 409 を備えている。撮像装置 400 には、光学系 401 が備えられる。光学系 401 は、撮像装置 400 に着脱可能であってもよいし着脱不能であってもよい。

40

【0042】

光学系 401 には、フォーカスレンズ、ズームレンズ、及び、絞り等が備えられている。光学系 401 は、被写体の光学像を形成し、形成した光学像を固体撮像素子 100 の撮像面に入射する。固体撮像素子 100 は、光学系 401 によって形成される光学像を上記のようにして撮像する。

固体撮像素子 100 は、画素信号値を複数の画素 110 の各々から順次読み出し、読み出した画素信号値を信号処理部 402 に順次出力する。撮像モードにおいては、固体撮像素子 100 から撮像カウント値が出力され、測距モードにおいては、固体撮像素子 100 が

50

ら測距カウント値が出力される。

【 0 0 4 3 】

信号処理部 4 0 2 は、固体撮像素子 1 0 0 から出力される撮像カウント値又は測距カウント値に対して順次処理を行う。例えば、信号処理部 4 0 2 は、上記の式 (1) 及び (2) に基づいて、各被写体までの距離を算出することにより、2 次元的な距離データである距離マップを取得し得る。

また、信号処理部 4 0 2 は、撮像カウント値に対して、補正処理等を行い得る。こうして、画像、即ち、画像データが生成される。かかる画像は、静止画像であってもよいし、動画画像を構成するフレームであってもよい。信号処理部 4 0 2 は、画像を生成する過程において、信号の並べ替え、欠陥画素の補正、ノイズリダクション、色変換、ホワイトバランス補正、ガンマ補正、解像度変換、データ圧縮等を更に行うこともできる。

10

【 0 0 4 4 】

メモリ 4 0 3 は、信号処理部 4 0 2 が演算処理等を行う際に用いられる。メモリ 4 0 3 としては、例えば DRAM (Dynamic Random Access Memory) やフラッシュメモリ等を用い得る。メモリ 4 0 3 は、連続撮影の際には、バッファメモリとしても用い得る。

制御部 (全体制御・演算部) 4 0 4 は、本実施形態による撮像装置 4 0 0 の全体の制御を司る。制御部 4 0 4 には、CPU (Central Processing Unit) 等が備えられている。また、制御部 4 0 4 は、信号処理部 4 0 2 によって処理された画像信号を、メモリ 4 0 3 や表示部 4 0 6 に出力する。制御部 4 0 4 は、信号処理部 4 0 2 から供給される静止画像又は動画画像を記録部 4 0 7 や表示部 4 0 6 に供給する。

20

【 0 0 4 5 】

操作部 4 0 5 は、ボタン、スイッチ、電子ダイヤル等の操作部材によって構成される。ユーザ等が操作部 4 0 5 を操作すると、操作内容に応じた信号が操作部 4 0 5 から制御部 4 0 4 に供給される。表示部 4 0 6 は、制御部 4 0 4 から供給される画像を表示する。記録部 (記録制御部) 4 0 7 には、不図示の記録媒体が装着される。かかる記録媒体としては、例えば、メモリカード等が用いられる。なお、記録媒体として、ハードディスク等が用いられてもよい。光学系駆動部 4 0 8 は、光学系 4 0 1 に備えられたフォーカスレンズ、ズームレンズ、絞り等の制御を行うためのものである。

【 0 0 4 6 】

制御部 4 0 4 は、信号処理部 4 0 2 から供給される距離マップと、予め設定された測距モードとに基づいて、光学系 4 0 1 に備えられたフォーカスレンズを光学系駆動部 4 0 8 により駆動することで、オートフォーカス処理を行う。測距モードとしては、例えば中央重点測距、主要被写体重点測距等が挙げられるが、これに限定されるものではない。

なお、外部装置と通信するための有線又は無線による通信インターフェースを、撮像装置 4 0 0 が更に備えるようにしてもよい。この場合、撮像装置 4 0 0 は、当該通信インターフェースを介して、生成した画像等を外部装置等に送信したり、外部装置から制御信号等を受信したりすることが可能となる。

30

【 0 0 4 7 】

発光部 4 0 9 は、測距モードにおいて用いられる光源である。発光部 4 0 9 は、例えば可視光領域の光を発する。発光部 4 0 9 は、制御部 4 0 4 から供給される発光制御信号が High レベルになると発光を開始し、当該発光制御信号が Low レベルになると発光を終了する。

40

このように、本実施形態によれば、カウンタ 1 1 4 は、センサ部 3 0 3 から発せられるパルス信号 PLS のパルス数をカウントする第 1 のモードで動作し得る。また、カウンタ 1 1 4 は、発光部 4 0 9 から光が発せられたタイミングからの経過時間に応じたクロック信号 CLK のパルス数をカウントする第 2 のモードでも動作し得る。このため、本実施形態によれば、回路規模を抑制しつつ画像取得と測距とを実現し得る固体撮像素子及び撮像装置を提供することができる。

【 0 0 4 8 】

50

[第 2 実施形態]

第 2 実施形態による固体撮像素子及び撮像装置について図 4 (b)、図 5 及び図 6 を用いて説明する。図 1 乃至図 4 に示す第 1 実施形態による固体撮像素子等と同一の構成要素には、同一の符号を付して説明を省略または簡潔にする。

【 0 0 4 9 】

本実施形態による固体撮像素子 5 0 0 は、R 画素 1 1 0 a と B 画素 1 1 0 d とを測距モードで動作させている際に、G 画素 1 1 0 b、1 1 0 c を撮像モードで動作させ得るものである。また、本実施形態による固体撮像素子 5 0 0 は、R 画素 1 1 0 a と B 画素 1 1 0 d とを撮像モードで動作させている際に、G 画素 1 1 0 b、1 1 0 c を測距モードで動作させ得るものである。

10

【 0 0 5 0 】

図 4 (b) は、本実施形態による撮像装置 4 0 0 を示すブロック図である。図 4 (b) に示すように、発光部 4 0 9 は、R (赤色) に対応する波長の光を発する R 発光部 4 0 9 R と、G (緑色) に対応する波長の光を発する G 発光部 4 0 9 G と、B (青色) に対応する波長の光を発する B 発光部 4 0 9 B とを備えている。R 発光部 4 0 9 R の発光波長は、例えば 6 0 0 n m 台である。G 発光部 4 0 9 G の発光波長は、5 0 0 n m 台である。B 発光部 4 0 9 B の発光波長は、例えば 4 0 0 n m 台である。

【 0 0 5 1 】

図 5 は、本実施形態による固体撮像素子 5 0 0 を示す図である。画素 1 1 0 a は、R の透過波長域を備えたカラーフィルタが備えられた R 画素であり、画素 1 1 0 b、1 1 0 c は、G の透過波長域を備えたカラーフィルタが備えられた G 画素である。画素 1 1 0 d は、B の透過波長域を備えたカラーフィルタが備えられた B 画素である。このように、固体撮像素子 5 0 0 の画素アレイには、ベイア配列の画素 1 1 0 が備えられている。

20

固体撮像素子 5 0 0 には、制御信号 C L K _ s e l _ G をタイミングジェネレータ 1 0 2 から画素 1 1 0 に供給するための配線と、制御信号 C L K _ s e l _ R B をタイミングジェネレータ 1 0 2 から画素 1 1 0 に供給するための配線とが備えられている。制御信号 C L K _ s e l _ R B は、R 画素 1 1 0 a と B 画素 1 1 0 d とにそれぞれ備えられた入力選択スイッチ 1 1 5 に供給される。

また、制御信号 C L K _ s e l _ R B は、R 画素 1 1 0 a と B 画素 1 1 0 d とにそれぞれ備えられた N A N D 素子 1 1 7 の一方の入力端子にも供給される。制御信号 C L K _ s e l _ G は、G の画素である G 画素 1 1 0 b、1 1 0 c にそれぞれ備えられた入力選択スイッチ 1 1 5 に供給される。また、制御信号 C L K _ s e l _ G は、G 画素 1 1 0 b、1 1 0 c にそれぞれ備えられた N A N D 素子 1 1 7 の一方の入力端子にも供給される。

30

【 0 0 5 2 】

図 6 は、本実施形態による固体撮像素子 5 0 0 の動作を示すタイミングチャートである。タイミング t 6 0 1 からタイミング t 6 1 3 までの期間は、同期信号 V D の周期に対応する期間である 1 V 期間である。タイミング t 6 0 3 からタイミング t 6 0 8 までの期間は、G 画素 1 1 0 b、1 1 0 c を撮像モードで動作させ、R 画素 1 1 0 a 及び B 画素 1 1 0 d を測距モードで動作させる期間である。タイミング t 6 0 8 からタイミング t 6 1 3 までの期間は、R 画素 1 1 0 a 及び B 画素 1 1 0 d を撮像モードで動作させ、G 画素 1 1 0 b、1 1 0 c を測距モードで動作させる期間である。

40

【 0 0 5 3 】

タイミング t 6 0 1 において、同期信号 V D が H i g h レベルになる。タイミング t 6 0 2 において、同期信号 V D は、L o w レベルに戻る。

タイミング t 6 0 3 において、制御部 4 0 4 は、R 発光部 4 0 9 R を発光させるための R 発光制御信号と、B 発光部 4 0 9 B を発光させるための B 発光制御信号とを H i g h レベルに設定する。これにより、R 発光部 4 0 9 R と B 発光部 4 0 9 B とが発光開始する。

また、タイミング t 6 0 3 において、タイミングジェネレータ 1 0 2 は、リセット信号 R E S を H i g h レベルにする。これにより、各々の画素 1 1 0 のカウンタ 1 1 4 と、各々の画素 1 1 0 の S R ラッチ回路 1 2 3 とがリセットされる。

50

また、タイミング t_{603} において、タイミングジェネレータ 102 は、制御信号 CLK_sel_RB を Low レベルから $High$ レベルに変化させる。これにより、 R 画素 110a と B 画素 110d とにおいて、クロック信号 CLK がカウンタ 114 の入力端子に入力されるように、入力選択スイッチ 115 が設定される。これにより、 R 画素 110a と B 画素 110d とは、測距モードで動作し得るようになる。

また、タイミング t_{603} において、タイミングジェネレータ 102 は、制御信号 CLK_sel_G を $High$ レベルから Low レベルに変化させる。これにより、 G 画素 110b、110c において、インバータ 113 から出力されるパルス信号 PLS がカウンタ 114 の入力端子に入力されるように、入力選択スイッチ 115 が設定される。これにより、 G 画素 110b、110c が、撮像モードで動作し得るようになる。

10

【0054】

タイミング t_{604} において、制御部 404 は、 R 発光部 409R を発光させるための R 発光制御信号と、 B 発光部 409B を発光させるための B 発光制御信号とを Low レベルに設定する。これにより、 R 発光部 409R と B 発光部 409B とが発光を停止する。

また、タイミング t_{604} において、タイミングジェネレータ 102 は、リセット信号 RES を Low レベルにするとともに、イネーブル信号 $ENABLE$ を $High$ レベルにする。リセット信号 RES が Low レベルになると、カウンタ 114 のリセットが解除され、イネーブル信号 $ENABLE$ が $High$ レベルになると、カウンタ 114 は、カウント動作を開始する。

R 発光部 409R と B 発光部 409B とから発せられた光が被写体によって反射され、固体撮像素子 500 の撮像面に配された画素 110 に達する。被写体によって反射された光が固体撮像素子 500 の撮像面に配された画素 110 に達すると、 R 画素 110a と B 画素 110d とにおいて、パルス信号 PLS の時間間隔が狭くなる。

20

R 画素 110a と B 画素 110d とにおいて、パルス信号 PLS の時間間隔が狭くなると、 R 画素 110a と B 画素 110d とにそれぞれ備えられた LPF 119 から出力される信号の電圧が上昇する。そして、 R 画素 110a と B 画素 110d とにそれぞれ備えられた LPF 119 から出力される信号の電圧が、タイミング t_{605} において第 1 の閾値 V_{th1} 以上となる。これにより、 R 画素 110a と B 画素 110d とに備えられた比較器 120 から出力される信号が $High$ レベルに反転する。

タイミング t_{603} とタイミング t_{605} との間の時刻差は、被写体までの距離に比例する。制御信号 CLK_sel_RB は $High$ レベルとなっている。このため、 R 画素 110a と B 画素 110d とにそれぞれ備えられた比較器 120 から出力される信号が $High$ レベルに反転すると、 R 画素 110a と B 画素 110d とにそれぞれ備えられた $NAND$ 素子 117 から出力される信号は Low レベルとなる。

30

R 画素 110a と B 画素 110d とにそれぞれ備えられた $NAND$ 素子 117 から出力される信号が Low レベルになると、 R 画素 110a と B 画素 110d とにそれぞれ備えられた AND 素子 118 から出力される信号は Low レベルとなる。また、 R 画素 110a と B 画素 110d とにそれぞれ備えられた $NAND$ 素子 117 から出力される信号が Low レベルになると、 R 画素 110a と B 画素 110d とにそれぞれ備えられたカウンタ 114 のイネーブル端子は Low レベルとなる。

40

こうして、タイミング t_{603} とタイミング t_{605} との時間差に応じた測距カウント値が、 R 画素 110a と B 画素 110d とにそれぞれ備えられたカウンタ 114 によって取得される。なお、 R 画素 110a と B 画素 110d とにそれぞれ備えられた比較器 120 から出力される信号は、タイミング t_{606} において Low レベルとなる。

一方、 G 画素 110b、110c においては、タイミング t_{604} において、カウンタ 114 が、インバータ 113 から出力されるパルス信号 PLS のカウントを開始する。 G 画素 110b、110c に備えられた $SPAD$ 111 に光子が入射すると、当該 $SPAD$ 111 によって信号が生成され、波形整形されたパルス信号 PLS がインバータ 113 から出力される。 G 画素 110b、110c に備えられたカウンタ 114 は、 G 画素 110b、110c に備えられたインバータ 113 から出力されるパルス信号 PLS の数をカウン

50

トする。

【 0 0 5 5 】

タイミング t 6 0 8 の直前のタイミング t 6 0 7 において、制御パルス M E M が H i g h レベルとなる。制御パルス M E M が H i g h レベルになると、転送スイッチ 1 2 1 が O N 状態となり、カウンタ 1 1 4 のカウント値が画素メモリ 1 1 6 に格納される。従って、R 画素 1 1 0 a と B 画素 1 1 0 d の各々に備えられたカウンタ 1 1 4 により得られたカウント値が、R 画素 1 1 0 a と B 画素 1 1 0 d の各々における測距カウント値となる。また、G 画素 1 1 0 b、1 1 0 c の各々に備えられたカウンタ 1 1 4 により得られたカウント値が、G 画素 1 1 0 b、1 1 0 c における撮像カウント値となる。

【 0 0 5 6 】

タイミング t 6 0 8 において、制御部 4 0 4 は、G 発光部 4 0 9 G を発光させるための G 発光制御信号を H i g h レベルに設定する。これにより、G 発光部 4 0 9 G が発光開始する。また、タイミング t 6 0 8 において、タイミングジェネレータ 1 0 2 は、リセット信号 R E S を H i g h レベルにする。これにより、各々の画素 1 1 0 のカウンタ 1 1 4 と、各々の画素 1 1 0 の S R ラッチ回路 1 2 3 とがリセットされる。

また、タイミング t 6 0 8 において、タイミングジェネレータ 1 0 2 は、制御信号 C L K _ s e l _ R B を H i g h レベルから L o w レベルに変化させる。これにより、R 画素 1 1 0 a と B 画素 1 1 0 d とにおいて、インバータ 1 1 3 から出力されるパルス信号 P L S がカウンタ 1 1 4 の入力端子に入力されるように、入力選択スイッチ 1 1 5 が設定される。これにより、R 画素 1 1 0 a と B 画素 1 1 0 d とは、撮像モードで動作し得るようになる。

また、タイミング t 6 0 8 において、タイミングジェネレータ 1 0 2 は、制御信号 C L K _ s e l _ G を L o w レベルから H i g h レベルに変化させる。これにより、G 画素 1 1 0 b、1 1 0 c において、クロック信号 C L K がカウンタ 1 1 4 の入力端子に入力されるように、入力選択スイッチ 1 1 5 が設定される。これにより、G 画素 1 1 0 b、1 1 0 c が、測距モードで動作し得るようになる。

【 0 0 5 7 】

タイミング t 6 0 8 以降においては、各々の行から画素信号値が順次読み出される。R 画素 1 1 0 a 及び B 画素 1 1 0 d からは測距カウント値が読み出され、G 画素 1 1 0 b、1 1 0 c からは撮像カウント値が読み出される。こうして、全ての行からのこれらのカウント値が読み出される。

【 0 0 5 8 】

タイミング t 6 0 9 において、制御部 4 0 4 は、G 発光部 4 0 9 G を発光させるための G 発光制御信号を L o w レベルに設定する。これにより、G 発光部 4 0 9 G が発光を停止する。また、タイミング t 6 0 9 において、タイミングジェネレータ 1 0 2 は、リセット信号 R E S を L o w レベルにする。リセット信号 R E S が L o w レベルになると、カウンタ 1 1 4 のリセットが解除され、カウンタ 1 1 4 は、カウント動作を開始する。

G 発光部 4 0 9 G から発せられた光が被写体によって反射され、固体撮像素子 1 0 0 の撮像面に配された画素 1 1 0 に達する。被写体によって反射された光が固体撮像素子 1 0 0 の撮像面に達すると、G 画素 1 1 0 b、1 1 0 c において、パルス信号 P L S の時間間隔が狭くなる。G 画素 1 1 0 b、1 1 0 c において、パルス信号 P L S の時間間隔が狭くなると、G 画素 1 1 0 b、1 1 0 c にそれぞれ備えられた L P F 1 1 9 から出力される信号の電圧が上昇する。

そして、G 画素 1 1 0 b、1 1 0 c にそれぞれ備えられた L P F 1 1 9 から出力される信号の電圧が、タイミング t 6 1 0 において第 1 の閾値 V t h 1 以上となる。これにより、G 画素 1 1 0 b、1 1 0 c に備えられた比較器 1 2 0 から出力される信号が H i g h レベルとなる。

タイミング t 6 0 8 とタイミング t 6 1 0 との間の時刻差は、被写体までの距離に比例する。制御信号 C L K _ s e l _ G は H i g h レベルとなっている。このため、G 画素 1 1 0 b、1 1 0 c にそれぞれ備えられた比較器 1 2 0 から H i g h レベルの信号が出力され

10

20

30

40

50

ると、G画素110b, 110cにそれぞれ備えられたNAND素子117から出力される信号はLowレベルとなる。

G画素110b, 110cにそれぞれ備えられたNAND素子117から出力される信号がLowレベルになると、G画素110b, 110cにそれぞれ備えられたAND素子118から出力される信号はLowレベルとなる。また、G画素110b, 110cにそれぞれ備えられたNAND素子117から出力される信号がLowレベルになると、G画素110b、110cにそれぞれ備えられたカウンタ114のイネーブル端子はLowレベルとなる。こうして、タイミングt608とタイミングt610との時間差に応じた測距カウント値が、G画素110b、110cにそれぞれ備えられたカウンタ114によって取得される。

10

なお、G画素110b、110cに備えられた比較器120から出力される信号は、タイミングt611においてLowレベルとなる。一方、R画素110aとB画素110dとにおいては、タイミングt609において、カウンタ114が、インバータ113から出力されるパルス信号PLSのカウントを開始する。R画素110aとB画素110dとに備えられたSPAD111に光子が入射すると、当該SPAD111によって信号が生成され、波形整形されたパルス信号PLSがインバータ113から出力される。R画素110aとB画素110dとにそれぞれ備えられたカウンタ114は、R画素110aとB画素110dとにそれぞれ備えられたインバータ113から出力されるパルス信号PLSの数をカウントする。

【0059】

20

タイミングt613の直前のタイミングt612において、制御パルスMEMがHighレベルとなる。制御パルスMEMがHighレベルになると、転送スイッチ121がON状態となり、カウンタ114のカウント値が画素メモリ116に格納される。

従って、R画素110aとB画素110dの各々に備えられたカウンタ114により得られたカウント値が、R画素110aとB画素110dの各々における撮像カウント値となる。また、G画素110b、110cの各々に備えられたカウンタ114により得られたカウント値が、G画素110b、110cにおける測距カウント値となる。

タイミングt613以降においては、各々の行から画素信号値が順次読み出される。R画素110a及びB画素110dからは撮像カウント値が読み出され、G画素110b、110cからは測距カウント値が読み出される。こうして、全ての行からのこれらのカウント値が読み出される。

30

【0060】

このように、本実施形態によれば、R画素110aとB画素110dとを測距モードで動作させている際に、G画素110b、110cを撮像モードで動作させる。一方、R画素110aとB画素110dとを撮像モードで動作させている際に、G画素110b、110cを測距モードで動作させる。このように、本実施形態によれば、測距モードでの動作と撮像モードでの動作を並列的に実行し得る。

【0061】

[第3実施形態]

第3実施形態による固体撮像素子及び撮像装置を図4(c)及び図7乃至図11を用いて説明する。図1乃至図6に示す第1又は第2実施形態による固体撮像素子等と同一の構成要素には、同一の符号を付して説明を省略または簡潔にする。

40

本実施形態による固体撮像素子は、赤外光を検出し得る画素810cが備えられているものである。

【0062】

図4(c)は、本実施形態による撮像装置400を示すブロック図である。図4(c)に示すように、本実施形態による撮像装置400は、赤外光を発する赤外発光部409IRを備えている。

【0063】

図7は、本実施形態による固体撮像素子800に備えられた画素アレイ830の各領域を

50

概念的に示す図である。図 7 に示すように、画素アレイ 830 は、複数の領域 Area (p, q) を含む。1 つの領域 Area (p, q) には、複数の単位画素 840 (図 8 参照) が形成されている。単位画素 840 は、2 行 x 2 列で配された 4 つの画素 810 a ~ 810 d (図 8 参照) を含む。図 7 には、画素アレイ 830 が 64 個の領域 Area (p, q) に分割されている場合が例として示されているが、これに限定されるものではない。

【0064】

図 8 は、本実施形態による固体撮像素子 800 を示す図である。固体撮像素子 800 には、複数の画素 810 を含む単位画素 840 が複数備えられている。図 8 には、画素アレイ 830 に備えられた複数の単位画素 840 のうちの 1 つの単位画素 840 が図示されている。1 つの単位画素 840 は、上述したように、4 つの画素 810 を含む。

10

画素一般について説明する際には、符号 810 を用い、個々の画素について説明する際には、符号 810 a ~ 810 d を用いることとする。画素 810 c の構成は、図 1 を用いて上述した第 1 実施形態における固体撮像素子 100 に備えられた画素 110 c の構成と同様である。制御信号 CLK_sel_Area (p, q) は、領域 Area (p, q) 内に位置する画素 810 c に供給される。制御信号 CLK_sel_Area (p, q) は、画素 810 a、810 b、810 d には供給されない。

【0065】

画素 810 a、810 b、810 d には、入力選択スイッチ 115 が備えられていない。このため、画素 810 a、810 b、810 d に備えられたカウンタ 114 の入力端子に入力される信号は、インバータ 113 から出力されるパルス信号 PLS のみである。従って、画素 810 a、810 b、810 d は撮像モードでのみ動作する。また、画素 810 a、810 b、810 d には、AND 素子 118 と、NAND 素子 117 とが備えられていない。このため、画素 810 a、810 b、810 d に備えられたカウンタ 114 をイネーブルにするか否かは、イネーブル信号 ENABLE のみによって制御される。

20

また、画素 810 a、810 b、810 d においては、SR ラッチ回路 123 の Q 端子から出力される信号は、カウンタ 114 から供給されるカウント値とともに、画素メモリ 116 に供給される。また、画素 810 a、810 b、810 d に備えられた比較器 120 の一方の入力端子には、画素 810 c に備えられた比較器 120 と同様に、LPF 119 から出力される信号が入力される。

画素 810 a、810 b、810 d に備えられた比較器 120 の他方の入力端子には、第 1 の閾値 Vth1 とは異なる第 2 の閾値 Vth2 が供給される。画素 810 a、810 b、810 d においては、LPF 119 の出力電圧が第 2 の閾値 Vth2 よりも小さい場合に、比較器 120 から Low レベルの信号が出力される。画素 810 a、810 b、810 d においては、LPF 119 の出力電圧が第 2 の閾値 Vth2 以上である場合に、比較器 120 から High レベルの信号が出力される。

30

これにより、画素 810 a、810 b、810 d に備えられた SR ラッチ回路 123 の Q 端子は High レベルとなる。この後、画素 810 a、810 b、810 d の受光量が低下した場合においても、画素 810 a、810 b、810 d に備えられた SR ラッチ回路 123 の Q 端子は High レベルを維持する。

【0066】

40

画素 810 c は、赤外光を透過するカラーフィルタが備えられた画素、即ち、IR 画素である。画素 810 a は、R 画素であり、R (赤色) に対応する所定波長域の光を透過するとともに赤外光を透過しないカラーフィルタが備えられている。画素 810 b は、G 画素であり、G (緑色) に対応する所定波長域の光を透過するとともに赤外光を透過しないカラーフィルタが備えられている。

画素 810 d は、B 画素であり、B (青色) に対応する所定波長域の光を透過するとともに赤外光を透過しないカラーフィルタが備えられている。即ち、本実施形態における単位画素 840 は、ベイア配列を基本としつつ、ベイア配列の単位画素を構成する 2 つの G 画素のうちの 1 つが IR 画素によって置き換えられた単位画素である。

本実施形態では、IR 画素 810 c が備えられているため、R 画素 810 a、G 画素 81

50

0 b及びB画素810 dを用いて撮像を行いつつ、IR画素810 cを用いて測距を行い得る。また、主要被写体が位置する領域である主要被写体領域内のIR画素810 cのみを測距モードで動作させるようにすることにより、可視光画像のみならず、赤外光画像をも取得することが可能となる。なお、主要被写体の検出には、公知の顔検出技術等を用いてもよい。

【0067】

図9は、本実施形態による固体撮像素子800の動作を示すタイミングチャートである。タイミングt901からタイミングt907までの期間は、同期信号VDの周期に対応する期間である1V期間である。また、タイミングt907からタイミングt913までの期間も、同期信号VDの周期に対応する期間である1V期間である。

10

図9には、第1番目のフレームの取得と、第2番目のフレームの取得とに対応するタイミングチャートが示されている。第1番目のフレームの取得においては、例えば、全てのR画素810 a、G画素810 b及びB画素810 dを撮像モードで動作させるとともに、全てのIR画素810 cを測距モードで動作させる。第2番目のフレームの取得においては、例えば主要被写体領域内に位置するIR画素810 cを測距モードで動作させるとともに、当該IR画素810 c以外の全ての画素810を撮像モードで動作させる。

【0068】

タイミングt901において、同期信号VDがHighレベルになる。タイミングt902において、同期信号VDは、Lowレベルに戻る。

タイミングt903において、制御部404は、赤外発光部409 IRを発光させるための赤外発光制御信号をHighレベルに設定する。これにより、赤外発光部409 IRが発光開始する。また、タイミングt903において、タイミングジェネレータ102は、リセット信号RESをHighレベルにする。これにより、各々の画素810のカウンタ114と、各々の画素810のSRラッチ回路123とがリセットされる。

20

また、タイミングt903において、タイミングジェネレータ102は、全ての領域Area(p, q)にそれぞれ供給される制御信号CLK_sel_Area(p, q)をLowレベルからHighレベルに変化させる。これにより、画素アレイ830に備えられた全てのIR画素810 cにおいて、クロック信号CLKがカウンタ114の入力端子に入力されるように、入力選択スイッチ115が設定される。これにより、画素アレイ830に備えられた全てのIR画素810 cが、測距モードで動作し得るようになる。

30

【0069】

タイミングt904において、制御部404は、赤外発光部409 IRを発光させるための赤外発光制御信号をLowレベルに設定する。これにより、赤外発光部409 IRが発光を停止する。また、タイミングt904において、タイミングジェネレータ102は、リセット信号RESをLowレベルにするとともに、イネーブル信号ENABLEをHighレベルにする。リセット信号RESがLowレベルになると、カウンタ114のリセットが解除され、イネーブル信号ENABLEがHighレベルになると、カウンタ114は、カウント動作を開始する。

赤外発光部409 IRから発せられた赤外光が被写体によって反射され、固体撮像素子800の撮像面に配された画素810に達する。被写体によって反射された光が固体撮像素子100の撮像面に配された画素810に達すると、IR画素810 cにおいて、パルス信号PLSの時間間隔が狭くなる。IR画素810 cにおいて、パルス信号PLSの時間間隔が狭くなると、IR画素810 cに備えられたLPF119から出力される信号の電圧が上昇する。

40

そして、IR画素810 cに備えられたLPF119から出力される信号の電圧が、タイミングt905において第1の閾値Vth1以上となる。これにより、IR画素810 cに備えられた比較器120から出力される信号がHighレベルとなる。

タイミングt903とタイミングt905との間の時刻差は、被写体までの距離に比例する。制御信号CLK_sel_Area(p, q)はHighレベルとなっている。このため、IR画素810 cに備えられた比較器120からHighレベルの信号が出力され

50

ると、IR画素810cに備えられたNAND素子117から出力される信号はLowレベルとなる。

IR画素810cに備えられたNAND素子117から出力される信号がLowレベルになると、IR画素810cに備えられたAND素子118から出力される信号はLowレベルとなる。また、IR画素810cにそれぞれ備えられたNAND素子117から出力される信号がLowレベルになると、IR画素810cに備えられたカウンタ114のイネーブル端子はLowレベルとなる。

こうして、タイミングt903とタイミングt905との時間差に応じた測距カウント値が、IR画素810cに備えられたカウンタ114によって取得される。なお、IR画素810cに備えられた比較器120から出力される信号は、タイミングt906においてLowレベルとなる。

10

【0070】

一方、R画素810a、G画素810b、B画素810dにおいては、タイミングt904において、カウンタ114が、インバータ113から出力されるパルス信号PLSのカウントを開始する。

R画素810a、G画素810b、B画素810dに備えられたSPAD111に光子が入射すると、当該SPAD111によって信号が生成され、波形整形されたパルス信号PLSがインバータ113から出力される。

R画素810a、G画素810b、B画素810dに備えられたカウンタ114は、R画素810a、G画素810b、B画素810dに備えられたインバータ113から出力されるパルス信号PLSの数をカウントする。

20

【0071】

タイミングt907において、同期信号VDがHighレベルになるとともに、制御パルスMEMがHighレベルになる。制御パルスMEMがHighレベルになると、転送スイッチ121がON状態となり、カウンタ114のカウント値が画素メモリ116に格納される。

従って、R画素810a、G画素810b及びB画素810dの各々に備えられたカウンタ114により得られたカウント値が、R画素810a、G画素810b及びB画素810dの各々における撮像カウント値となる。また、IR画素810cに備えられたカウンタ114により得られたカウント値が、IR画素810cにおける測距カウント値となる。

30

【0072】

タイミングt908において、制御部404は、赤外発光部409IRを発光させるための赤外光制御信号をHighレベルに設定する。これにより、赤外発光部409IRが発光開始する。また、タイミングt908において、タイミングジェネレータ102は、リセット信号RESをHighレベルにする。これにより、各々の画素810のカウンタ114と、各々の画素810のSRラッチ回路123とがリセットされる。

また、タイミングt908において、タイミングジェネレータ102は、主要被写体領域以外の領域に位置するIR画素810cに供給される制御信号CLK_sel_Area(p, q)をHighレベルからLowレベルに変化させる。これにより、主要被写体領域以外の領域に位置するIR画素810cにおいて、インバータ113から出力されるパルス信号PLSがカウンタ114の入力端子に入力されるように、入力選択スイッチ115が設定される。これにより、主要被写体領域以外の領域に位置するIR画素810cは撮像モードで動作することとなる。

40

一方、主要被写体領域に位置するIR画素810cに供給される制御信号CLK_sel_Area(p, q)は、Highレベルのまま維持される。このため、主要被写体領域に位置するIR画素810cは、測距モードで引き続き動作する。R画素810a、G画素810b、B画素810dは、撮像モードで引き続き動作する。

【0073】

なお、ここでは、主要被写体領域内に位置する全てのIR画素810cにHighレベルの制御信号CLK_sel_Area(p, q)を供給する場合を例に説明したが、これ

50

に限定されるものではない。例えば、主要被写体領域内に位置する複数の I R 画素 8 1 0 c のうちの一部の I R 画素 8 1 0 c に対してのみ、H i g h レベルの制御信号 C L K _ s e l _ A r e a (p , q) を供給するようにしてもよい。このようにすれば、測距に用いられる I R 画素 8 1 0 c をより少なくすることができ、より良好な赤外光画像を得ることが可能となる。

タイミング t 9 0 8 以降においては、各々の行から画素信号値が順次読み出される。R 画素 8 1 0 a、G 画素 8 1 0 b、B 画素 8 1 0 d からは撮像カウント値が読み出され、I R 画素 8 1 0 c からは測距カウント値が読み出される。こうして、全ての行からのこれらのカウント値が読み出される。

【 0 0 7 4 】

タイミング t 9 0 9 において、制御部 4 0 4 は、赤外発光部 4 0 9 I R を発光させるための赤外発光制御信号を L o w レベルに設定する。これにより、赤外発光部 4 0 9 I R が発光を停止する。また、タイミング t 9 0 9 において、タイミングジェネレータ 1 0 2 は、リセット信号 R E S を L o w レベルにする。リセット信号 R E S が L o w レベルになると、カウンタ 1 1 4 のリセットが解除され、カウンタ 1 1 4 は、カウント動作を開始する。赤外発光部 4 0 9 I R から発せられた光が被写体によって反射され、固体撮像素子 8 0 0 の撮像面に配された画素 8 1 0 に達する。被写体によって反射された光が固体撮像素子 8 0 0 の撮像面に配された画素 8 1 0 に達すると、I R 画素 8 1 0 c においては、パルス信号 P L S の時間間隔が狭くなる。I R 画素 8 1 0 c において、パルス信号 P L S の時間間隔が狭くなると、I R 画素 8 1 0 c に備えられた L P F 1 1 9 から出力される信号の電圧が上昇する。そして、I R 画素 8 1 0 c に備えられた L P F 1 1 9 から出力される信号の電圧が、タイミング t 9 1 0 において第 1 の閾値 V t h 1 以上となる。

これにより、I R 画素 8 1 0 c に備えられた比較器 1 2 0 から出力される信号が H i g h レベルとなる。主要被写体領域に位置する I R 画素 8 1 0 c に供給される制御信号 C L K _ s e l _ A r e a (p , q) は H i g h レベルとなっている。このため、主要被写体領域に位置する I R 画素 8 1 0 c に備えられた比較器 1 2 0 から H i g h レベルの信号が出力されると、当該 I R 画素 8 1 0 c に備えられた N A N D 素子 1 1 7 から出力される信号は L o w レベルとなる。

主要被写体領域に位置する I R 画素 8 1 0 c に備えられた N A N D 素子 1 1 7 から出力される信号が L o w レベルになると、主要被写体領域に位置する I R 画素 8 1 0 c に備えられた A N D 素子 1 1 8 から出力される信号は L o w レベルとなる。また、主要被写体領域に位置する I R 画素 8 1 0 c に備えられた N A N D 素子 1 1 7 から出力される信号が L o w レベルになると、主要被写体領域に位置する I R 画素 8 1 0 c に備えられたカウンタ 1 1 4 のイネーブル端子は L o w レベルとなる。

タイミング t 9 0 8 とタイミング t 9 1 0 との間の時刻差は、被写体までの距離に比例する。タイミング t 9 0 8 とタイミング t 9 1 0 との時間差に応じた測距カウント値が、主要被写体領域に位置する I R 画素 8 1 0 c に備えられたカウンタ 1 1 4 によって取得される。なお、I R 画素 8 1 0 c に備えられた比較器 1 2 0 から出力される信号は、タイミング t 9 1 1 において L o w レベルとなる。一方、R 画素 8 1 0 a、G 画素 8 1 0 b 及び B 画素 8 1 0 d においては、タイミング t 9 0 9 において、カウンタ 1 1 4 が、インバータ 1 1 3 から出力されるパルス信号 P L S のカウントを開始する。

R 画素 8 1 0 a、G 画素 8 1 0 b、B 画素 8 1 0 d に備えられた S P A D 1 1 1 に光子が入射すると、当該 S P A D 1 1 1 によって信号が生成され、波形整形されたパルス信号 P L S がインバータ 1 1 3 から出力される。R 画素 8 1 0 a、G 画素 8 1 0 b、B 画素 8 1 0 d にそれぞれ備えられたカウンタ 1 1 4 は、R 画素 8 1 0 a、G 画素 8 1 0 b、B 画素 8 1 0 d にそれぞれ備えられたインバータ 1 1 3 から出力されるパルス信号 P L S の数をカウントする。

【 0 0 7 5 】

タイミング t 9 1 3 の直前のタイミング t 9 1 2 において、制御パルス M E M が H i g h レベルとなる。制御パルス M E M が H i g h レベルになると、転送スイッチ 1 2 1 が O N

10

20

30

40

50

状態となり、カウンタ 1 1 4 のカウント値が画素メモリ 1 1 6 に格納される。R 画素 8 1 0 a、G 画素 8 1 0 b、B 画素 8 1 0 d の各々に備えられたカウンタ 1 1 4 により得られたカウント値が、R 画素 8 1 0 a、G 画素 8 1 0 b、B 画素 8 1 0 d の各々における撮像カウント値となる。

主要被写体領域以外の領域に位置する I R 画素 8 1 0 c に備えられたカウンタ 1 1 4 により得られたカウント値が、当該 I R 画素 8 1 0 c における撮像カウント値となる。主要被写体領域に位置する I R 画素 8 1 0 c に備えられたカウンタ 1 1 4 により得られたカウント値が、当該 I R 画素 8 1 0 c における測距カウント値となる。

【 0 0 7 6 】

タイミング t 9 1 3 以降においては、各々の行から画素信号値が順次読み出される。R 画素 8 1 0 a、G 画素 8 1 0 b、B 画素 8 1 0 d、及び、主要被写体領域以外の領域に位置する I R 画素 8 1 0 c からは、撮像カウント値が読み出される。ただし、R 画素 8 1 0 a と、G 画素 8 1 0 b と、B 画素 8 1 0 d とからは、撮像カウント値のみならず、S R ラッチ回路 1 2 3 の出力も読み出される。主要被写体領域に位置する I R 画素 8 1 0 c からは、測距カウント値が読み出される。こうして、全ての行からのこれらのカウント値が読み出される。

【 0 0 7 7 】

このように、本実施形態によれば、R 画素 8 1 0 a、G 画素 8 1 0 b 及び B 画素 8 1 0 d を用いて可視光画像を取得しつつ、I R 画素 8 1 0 c を用いて測距を行うことができる。そして、一部の I R 画素 8 1 0 c のみを測距モードで動作させるようにすることにより、可視光画像のみならず、赤外光画像をも取得することが可能となる。即ち、赤外発光部 4 0 9 I R から発せられる赤外光を照明として用いて、赤外画像を得ることができる。人間は赤外光を肉眼で認識し得ないため、本実施形態による撮像装置 4 0 0 は例えば監視用として好適である。

【 0 0 7 8 】

ところで、受光量に応じた周波数のパルス信号 P L S がセンサ部 3 0 3 からは出力される。しかし、センサ部 3 0 3 における受光量が大きくなり、クエンチング動作が完了しないうちに次の光子が受光されるようになると、以下のような現象が生じ得る。即ち、当該センサ部 3 0 3 の出力が H i g h レベルに維持されがちになり、クエンチング動作が間に合った際にのみ当該センサ部 3 0 3 の出力が L o w レベルとなるようになる。

図 9 においては、このような現象が G 画素 8 1 0 b で生じている場合の例が示されている。即ち、R 画素 8 1 0 a、B 画素 8 1 0 d においては、受光量が比較的小さいため、クエンチング動作が完了しないうちに次の光子が受光されるような現象は生じていない。一方、G 画素 8 1 0 b においては、受光量が比較的大きいため、クエンチング動作が完了しないうちに次の光子が受光されるような現象が生じている。

このため、図 9 に示す例においては、G 画素 8 1 0 b に備えられたカウンタ 1 1 4 におけるカウント値が、R 画素 8 1 0 a 及び B 画素 8 1 0 d に備えられたカウンタ 1 1 4 におけるカウント値よりも小さくなっている。本実施形態では、このような現象が生じる場合には、信号処理部 4 0 2 において以下のような補正処理を行うことによって、本来の受光量に応じた信号が得られるようにしている。

【 0 0 7 9 】

次に、本実施形態による撮像装置 4 0 0 において行われる補正処理について図 1 0 及び図 1 1 を用いて説明する。

図 1 0 は、補正処理に用いられるルックアップテーブル (L U T) の例を示す図である。横軸は、撮像カウント値を示している。縦軸は、補正処理後の撮像カウント値を示している。上述したように、受光量が大きすぎる場合には、撮像カウント値が小さくなることがある。受光量が大きいことに起因して撮像カウント値が小さくなっているのか否かは、当該画素 8 1 0 に備えられた S R ラッチ回路 1 2 3 の出力に基づいて判定し得る。

即ち、S R ラッチ回路 1 2 3 の出力が H i g h レベル、即ち、1 である場合には、受光量が大きいことに起因して撮像カウント値が小さくなっていると判定し得る。一方、S R ラ

10

20

30

40

50

ッチ回路 1 2 3 の出力が Low レベル、即ち、0 である場合には、受光量に応じた撮像カウント値が得られていると判定し得る。例えば、SR ラッチ回路 1 2 3 の出力が 0 である場合には、SR ラッチ回路 1 2 3 の出力が 0 である場合のルックアップテーブルに基づいて、撮像カウント値が判定される。

図 10 から分かるように、画素 8 1 0 から出力された撮像カウント値が 1 0 0 であり、且つ、当該画素 8 1 0 に備えられた SR ラッチ回路 1 2 3 の出力が 0 である場合には、当該撮像カウント値に対応する補正後の撮像カウント値は 1 0 0 である。従って、この場合には、1 0 0 という撮像カウント値が画素データに用いられる。SR ラッチ回路 1 2 3 の出力が 1 である場合には、SR ラッチ回路 1 2 3 の出力が 1 である場合のルックアップテーブルに基づいて、撮像カウント値が判定される。

10

図 10 から分かるように、画素 8 1 0 から出力された撮像カウント値が 1 0 0 であり、且つ、当該画素 8 1 0 に備えられた SR ラッチ回路 1 2 3 の出力が 1 である場合には、当該撮像カウント値に対応する補正後の撮像カウント値は 1 6 0 である。従って、この場合には、1 6 0 という撮像カウント値が画素データに用いられる。なお、このようなルックアップテーブルは、撮像装置 4 0 0 に備えられたメモリ 4 0 3 に予め格納されている。

【0080】

図 11 は、本実施形態による撮像装置 4 0 0 の動作を示すフローチャートである。

まず、S 1 0 0 1 において、信号処理部 4 0 2 は、処理の対象となる信号が、IR 画素 8 1 0 c によって取得された信号であるか否かを判定する。処理の対象となる信号が IR 画素 8 1 0 c によって取得された信号である場合には (S 1 0 0 1 において YES)、S 1 0 0 2 に移行する。処理の対象となる信号が IR 画素 8 1 0 c によって取得された信号でない場合には (S 1 0 0 1 において NO)、S 1 0 0 9 に移行する。

20

【0081】

S 1 0 0 2 において、信号処理部 4 0 2 は、当該 IR 画素 8 1 0 c に供給された制御信号 CLK_sel_Area (p, q) が High レベル、即ち、1 であるか否かを判定する。当該 IR 画素 8 1 0 c に供給された制御信号 CLK_sel_Area (p, q) が 1 である場合には (S 1 0 0 2 において YES)、S 1 0 0 3 に移行する。一方、当該 IR 画素 8 1 0 c に供給された制御信号 CLK_sel_Area (p, q) が 0 である場合には (S 1 0 0 2 において NO)、S 1 0 0 5 に移行する。

【0082】

S 1 0 0 3 において、信号処理部 4 0 2 は、当該 IR 画素 8 1 0 c によって取得された測距カウント値に基づいて、距離に関する情報の一例である光飛行時間 t TOF を算出する。S 1 0 0 4 において、信号処理部 4 0 2 は、S 1 0 0 3 において算出された光飛行時間 t TOF に基づいて、距離データを生成する。こうして生成された距離データは、オートフォーカス処理に用いられ得る。オートフォーカス処理においては、撮像装置 4 0 0 に備えられた制御部 4 0 4 が、S 1 0 0 4 において算出された距離データに基づいて光学系駆動部 4 0 8 を介して光学系 4 0 1 を駆動する。

30

【0083】

S 1 0 0 5 において、信号処理部 4 0 2 は、当該 IR 画素 8 1 0 c に備えられた SR ラッチ回路 1 2 3 の出力が High レベル、即ち、1 であるか否かを判定する。当該 IR 画素 8 1 0 c に備えられた SR ラッチ回路 1 2 3 の出力が 1 である場合には (S 1 0 0 5 において YES)、S 1 0 0 6 に移行する。一方、当該 IR 画素 8 1 0 c に備えられた SR ラッチ回路 1 2 3 の出力が 0 である場合には (S 1 0 0 5 において NO)、S 1 0 0 7 に移行する。

40

【0084】

S 1 0 0 6 において、信号処理部 4 0 2 は、SR ラッチ回路 1 2 3 の出力が 1 である場合のルックアップテーブル、即ち、高輝度側のルックアップテーブルに基づいて補正処理を行う。

S 1 0 0 7 において、信号処理部 4 0 2 は、SR ラッチ回路 1 2 3 の出力が 0 である場合のルックアップテーブル、即ち、低輝度側のルックアップテーブルに基づいて補正処理を

50

行う。

S 1 0 0 8 においては、こうして I R 画素 8 1 0 c から得られた撮像カウント値に基づいて、モノクロの赤外光画像を生成する。

【 0 0 8 5 】

S 1 0 0 9 においては、信号処理部 4 0 2 は、当該画素 8 1 0 a、8 1 0 b、8 1 0 d に備えられた S R ラッチ回路 1 2 3 の出力が 1 であるか否かを判定する。当該画素 8 1 0 a、8 1 0 b、8 1 0 d に備えられた S R ラッチ回路 1 2 3 の出力が 1 である場合には (S 1 0 0 9 において Y E S)、S 1 0 1 0 に移行する。一方、当該画素 8 1 0 a、8 1 0 b、8 1 0 d に備えられた S R ラッチ回路 1 2 3 の出力が 0 である場合には (S 1 0 0 9 において N O)、S 1 0 1 1 に移行する。

10

【 0 0 8 6 】

S 1 0 1 0 において、信号処理部 4 0 2 は、S R ラッチ回路 1 2 3 の出力が 1 である場合のルックアップテーブル、即ち、高輝度側のルックアップテーブルに基づいて補正処理を行う。

S 1 0 1 1 において、信号処理部 4 0 2 は、S R ラッチ回路 1 2 3 の出力が 0 である場合のルックアップテーブル、即ち、低輝度側のルックアップテーブルに基づいて補正処理を行う。

S 1 0 1 2 においては、こうして画素 8 1 0 a、8 1 0 b、8 1 0 d から得られた撮像カウント値に基づいて、カラーの可視光画像を生成する。なお、可視光画像を生成する際に、G 画素 8 1 0 b の撮像カウント値を用いた補間処理を行うことによって、I R 画素 8 1 0 c の位置の G 信号を生成するようにしてもよい。

20

こうして、図 1 1 に示す処理が終了する。

【 0 0 8 7 】

このように、本実施形態によれば、I R 画素 8 1 0 c により取得される測距カウント値を用いて測距を行いつつ、R 画素 8 1 0 a、G 画素 8 1 0 b 及び B 画素 8 1 0 d により取得される撮像カウント値を用いて可視光画像を取得することができる。I R 画素 8 1 0 c は撮像カウント値を取得することも可能であるため、本実施形態によれば、I R 画素 8 1 0 c により取得される撮像カウント値を用いて赤外光画像を取得することもできる。

一部の I R 画素 8 1 0 c のみを測距に用いるようにすれば、当該一部の I R 画素 8 1 0 c のみを用いて測距を行いつつ、可視光画像と赤外光画像とを取得することができる。赤外発光部 4 0 9 I R から発せられる赤外光を照明として用いて、赤外光画像を得ることもできる。人間は赤外光を肉眼で認識し得ないため、本実施形態による撮像装置 4 0 0 は例えば監視用として好適である。

30

【 0 0 8 8 】

[第 4 実施形態]

次に、第 4 実施形態について図 1 2 を用いて説明する。本実施形態は、各单位画素に測距用の S P A D と撮像用の S P A D とを別個に設けた構成を有する。単位画像以外の周辺回路の構成に関しては第 1 ~ 第 3 実施形態と同様であってよい。

図 1 2 (a) は、本実施形態における単位画素の等価回路の一例を示す図である。単位画素は、受光領域としての S P A D P D __ A および P D __ B を備える。S P A D P D __ A および P D __ B は P N 接合に逆バイアス電圧を印加して形成した空乏化領域を含む。S P A D P D __ A および P D __ B のカソード端子には、それぞれ独立したクエンチング回路としての抵抗 R __ A および R __ B を直列に介して、図示しない電圧供給部より正電圧 V D D A および V D D B (例えばいずれも 3 V) が与えられている。

40

【 0 0 8 9 】

一方、S P A D P D __ A および P D __ B のアノード端子には共通に負電圧 (例えば - 2 0 V) が与えられている。このように大きな逆バイアス電圧を印加することで、受光領域にて受光した単一光子を光電変換して発生した 1 つの電子をアバランシェ増倍することができる。アバランシェ増倍に伴う電流のため、S P A D P D __ A および P D __ B のカソード端子の電位は - 2 0 V まで下降する。

50

しかし、クエンチング回路としての抵抗 R_A および R_B を備えることで、ある時定数を以ってこの電流を打ち消すことができる（いわゆるガイガーモード動作）。抵抗 R_A および R_B に電流が流れなくなれば、SPAD PD_A および PD_B のカソード端子の電位は 3 V に戻る。つまり単一光子の光電変換で生じた 1 つの電子により 1 つの電圧パルスが生じる。

【0090】

SPAD PD_A および PD_B のカソード端子はさらに、セレクト SEL の入力端子に接続される。セレクト SEL は、制御信号 SEL_{CNT} により、2 つの入力端子に入力された信号の一方を選択的にインバータ INV に供給する。制御信号 SEL_{CNT} は例えば先の実施形態で説明した TG102 が出力する。インバータ INV は、先の実施形態におけるインバータ 113 と同様、SPAD が出力する電圧パルスを整形してパルス信号を生成する。

10

【0091】

インバータ INV が生成するパルス信号はカウンタ CNT に入力される。カウンタ CNT は、パルス信号を計数する。カウンタ CNT はイネーブル端子 EN とリセット端子 RES を備え、例えば先の実施形態で説明した TG102 が出力するイネーブル信号 PEN とリセット信号 PRES とがそれぞれ入力される。所定の計数期間におけるカウンタ CNT の計数値は、受光量に応じて生じる電圧パルスの数に比例するので、計数値は受光量を AD 変換した値と等価である。

【0092】

撮像モードでは、インバータ INV に SPAD PD_A のカソード端子を接続するよう、TG102 が SEL_{CNT} によってセレクト SEL を制御する。また、TG102 は、SPAD PD_B の電源 V_{DDB} を浮遊状態とする。一方、測距モードでは、セレクト SEL が、インバータ INV に SPAD PD_B のカソード端子を接続するよう、TG102 が SEL_{CNT} によってセレクト SEL を制御する。また、TG102 は SPAD PD_A の電源 V_{DDA} を浮遊状態とする。

20

【0093】

図 12 (b) は、図 12 (a) に示した単位画素の構造例を示す垂直断面図である。図 12 (b) では、光が紙面下方からマイクロレンズ 1201 に入射するものとする。マイクロレンズ (ML) 1201 は、撮影光学系から入射する光束を集光する。第 1 導電型領域としての N 型エピタキシャル層 (N-Epi) 1202 は、受光領域の一部として機能する。

30

【0094】

第 2 導電型領域としての P 型半導体領域 (P) 1203 には、所定のコンタクト電極を介して大きな負電圧（例えば -20 V）を与える。図 12 (b) において、P 型半導体領域 1203 は、マイクロレンズ 1201 で画定される画素間と、後述する第 1 導電型領域 N+1204 A および N+1204 B の間との 2 箇所、示されているが、これらは一体形成されている。また、P 型半導体領域 1203 は、後述の正電圧を与えられた第 1 導電型の N 型領域との間で形成される空乏化領域に入射した単一光子を光電変換した際に生じる正孔をドリフトで吸収して撮像素子の外に排出する機能も持つ。

40

【0095】

第 1 導電型領域 1204 A および 1204 B は、マイクロレンズ 1201 で画定される単位画素内に電氣的に独立した領域として形成される。第 1 導電型領域 1204 A および 1204 B にはそれぞれクエンチング回路としての抵抗 R_A および R_B を介して正電圧（例えば 3 V）が与えられ、P 型半導体領域 1203 との間で形成される PN 接合フォトダイオードのカソード端子として機能する。第 1 導電型領域 1204 A および 1204 B はそれぞれインバータ INV_A および INV_B に接続される。

【0096】

また、第 1 導電型領域 1204 A および 1204 B は、P 型半導体領域 1203 との間で形成される空乏化領域に入射した単一光子を光電変換した際に生じる電子をドリフトで吸

50

収する。そして、第1導電形領域1204Aおよび1204Bは、図中最もP型半導体領域1203との距離が短くなる高電界領域Eでアバランシェ増倍を発生させる。P型半導体領域1203は、第1導電形領域1204Aおよび1204Bの間に途切れなく延在し、N型エピタキシャル層120との接合面を持つ。

これにより、空乏化領域で発生した電子が第1導電形領域1204Aまたは1204Bにドリフトするのを促進し、再結合する前にもれなく高電界領域Eに移動してアバランシェ増倍を発生させることができる。つまり、マイクロレンズ1201を通じてちょうど第1導電形領域1204Aと1204Bの間に垂直入射した単一光子は50%の確率で第1導電形領域1204AとP型半導体領域1203との間の高電界領域Eでアバランシェ増倍する。また、50%の確率で第1導電形領域1204BとP型半導体領域1203との間の高電界領域Eでアバランシェ増倍する。そのため、光子を確実に検出できる。

10

【0097】

また、画素間のP型半導体領域1203を延伸し、第1導電形領域1204Aおよび1204Bとの間に新たな高電界領域Jを設けている。これにより、ML101からの距離が近くカソード端子N+1204AもしくはN+1204Bから遠い受光領域で光電変換された電子も確実にアバランシェ増倍することができる。そのため、裏面照射型構造における短波長の撮像時に、光電変換部を分割しない場合と同様のボケ味を得ることができる。

【0098】

本実施形態では、SPAD PD_Aのカソード端子として機能する第1導電形領域1204Aが、SPAD PD_Bのカソード端子として機能する第1導電形領域1204Bよりも半導体中でマイクロレンズに近い位置に配置されている。シリコン(Si)半導体の光吸収特性は、短波長ほど侵入長が浅く、長波長ほど侵入長が長い。

20

TOF方式の測距に赤外光を用いる場合、被写体からの反射光は波長が長いため、マイクロレンズ1201から離れた深部まで到達して光電変換される。そのため、測距用のSPAD PD_Bを形成する第1導電形領域1204Bをマイクロレンズ1201から離れた位置に形成することにより、赤外光が十分光電変換された位置でアバランシェ増倍を発生されれば、測距に関する信号を漏れなく検出することができる。

【0099】

他方、可視光線は短波長を含む一方で、赤外光のような長波長の検出はむしろ不要である。そのため、撮像用のSPAD PD_Aを形成する第1導電形領域1204Aをマイクロレンズ1201に近い位置に形成することにより、可視光線の波長域について十分光電変換され、赤外光の検出を抑制した検出が可能である。

30

なお、撮像モードで正電圧VDDを浮遊状態としたとき、SPAD PD_Bでは第1導電形領域1204Bが非リセット状態となっている。そのため、前のフレームで発生した電子や暗電流による電子で満たされた平衡状態となっており、受光領域で発生した電子を新たにドリフトで移動させることができない。

したがって、受光領域で発生した新たな電子は全てSPAD PD_Aの第1導電形領域1204Aにドリフトで移動し、アバランシェ増倍に寄与するため、撮像信号を集約することができる。測距モード時には逆に、受光領域で発生した新たな電子は全てSPAD PD_Bの第1導電形領域1204Bにドリフトで移動し、アバランシェ増倍に寄与する。図12(c)は、図12(b)のGの位置における水平断面をマイクロレンズ1201側から見た模式図である。

40

【0100】

[第5実施形態]

次に、第5実施形態について図13(a)~図14(b)を用いて説明する。本実施形態は、第4実施形態において、第1導電形領域1204Aおよび1204Bをマイクロレンズ1201から同じ距離に設けた構成を有する。そして、1つのマイクロレンズ1201を共有する第1導電形領域1204Aおよび1204Bの出力を別個に取り扱うことにより、位相差方式のオートフォーカスの原理に基づく測距を実現する。

1つのマイクロレンズを共有する複数の光電変換部を設け、個々の光電変換部から得られ

50

る信号の位相差を検出して撮像光学系のデフォーカス量を求める手法は公知であるため、詳細については説明を省略する。また、デフォーカス量が求めれば、合焦距離に相当するフォーカスレンズ位置が特定できるため、距離を特定することができる。また、画素ごとに距離を求めることも可能である。一方で、1つのマイクロレンズ1201を共有する第1導電形領域1204Aおよび1204Bの出力をまとめて取り扱うことにより、撮像を実現する。

【0101】

図13(a)は、本実施形態における単位画素の等価回路の一例を示す図である。本実施形態では、インバータおよびカウンタがSPADごとに設けられる点で第4実施形態と異なる。すなわち、SPAD PD_Aのカソード電極にはインバータINV_AおよびカウンタCNT_Aが接続され、SPAD PD_Bのカソード電極にはインバータINV_BおよびカウンタCNT_Bが接続される。インバータINV_AおよびINV_Bの機能は第4実施形態のインバータINVと、カウンタCNT_AおよびCNT_Bの機能は第4実施形態のカウンタCNTと同様である。カウンタCNT_AおよびCNT_Bの制御信号EN_AおよびEN_Bと、RESとはTG102から供給される。

10

【0102】

また、本実施形態にかかる単位画素を画素アレイに有する撮像装置は、裏面照射構造が好適に用いられる。その場合、カウンタCNT_AおよびCNT_Bを光の入射方向と反対側に積層した別基板に設け、制御信号EN_AやEN_BなどをThrough Silicon Via (TSV) によってカウンタCNT_AおよびCNT_Bに供給することができる。

20

【0103】

図13(b)は、図13(a)に示した単位画素の構造例を示す垂直断面図であり、第4実施形態と同じ構成については図12(b)と同じ符号を付してある。図12(b)との対比から分かる様に、第4実施形態との構造上の差異は、SPAD PD_Aに関する構成が、SPAD PD_Bに関する構成と等しいことである。

特に、マイクロレンズ1201から第1導電形領域1204Aまでの距離が、マイクロレンズ1201から第1導電形領域1204Bまでの距離と等しいことである。あるいは、第1導電形領域1204Aおよび1204Bが深さ方向で等しい位置に設けられることである。そして、第1導電形領域1204Aの位置が異なることにより、第1導電形領域1204Aに接する第1導電形領域1202および1205、第2導電形領域1203の構成も異なっている。

30

【0104】

本実施形態では、第1導電形領域1204Aおよび1204Bが同じ深さでアバランシェ増倍を発生させる。なお、図13(b)では第1導電形領域1204Aの位置を第1導電形領域1204Bの位置に合わせた構成について例示している。しかし、赤外光の影響を抑制し、可視光線の波長域についての検出効率を高めるために、第1導電形領域1204Bの位置を第4実施形態の第1導電形領域1204Aの位置に合わせる様に構成してもよい。

【0105】

次に、図14(a)および図14(b)を参照して、本実施形態における撮像素子の駆動方法について説明する。

40

図14(a)は、第1の駆動モードにおける制御信号のタイミングチャートの一例である。なお、正電圧VDDAおよびVDD B (例えば3V)と、-20Vの逆バイアスを与え、SPAD PD_AおよびPD_Bをガイガーモードで動作させているものとする。

【0106】

時刻t1200においてTG102はリセット制御信号RESをLowレベルとしてカウンタCNT_AおよびCNT_Bのリセットを解除する。このときイネーブル制御信号EN_AおよびEN_BがHighレベルであればカウンタCNT_AおよびCNT_BはSPAD PD_AおよびPD_Bと抵抗R_AおよびR_Bとで生じるガイガーモード動

50

作に伴って発生する電圧パルス数を数え始める。

【0107】

カウンタCNT__AおよびCNT__Bは、時刻t1201においてTG102が制御信号EN__AおよびEN__BをLowレベルとするまで、インバータINV__AおよびINV__Bから入力される電圧パルス数を数える。したがって、電圧パルスの計数期間は時刻t1200からt1201までの期間である。カウンタCNT__AおよびCNT__Bの計数値は、時刻t1201以降に読み出す。時刻t1201で垂直走査部101は0行目の垂直走査信号（読み出し信号READ0）をHighレベルとしてp=0行目を選択する。

【0108】

時刻t1202で1行目の垂直走査信号（READ1）がhighレベルとなってp=1行目が選択されるまでの間に、水平走査部104から水平走査信号（列メモリ103の選択信号）が順次出力され、p=0行目の8画素分の計数値を読み出す。図14(a)では、カウンタCNT__AおよびCNT__Bそれぞれから計数値を読み出すため、水平走査信号は画素数の2倍の16回極性変化を繰り返している。

10

【0109】

時刻t1202以降のp=1行目からp=3行目も同様の走査を行う。各画素のカウンタCNT__Aから読み出した計数値群から生成される像信号（A像信号と呼ぶ）と、各画素のカウンタCNT__Bから読み出した計数値群から生成される像信号（B像信号と呼ぶ）とは、測距用信号である。一方、画素ごとにカウンタCNT__AおよびCNT__Bの計数値を加算することにより、撮像画像を生成するための画素信号を得ることができる。

20

このように、各画素が有するカウンタCNT__AおよびCNT__Bの計数値を独立して読み出す第1の駆動モードより、測距用の信号と、画像生成用の信号との両方を得ることができる。しかしながら、測距用の信号を撮像素子とは別個のセンサで取得する場合など、測距用の信号を撮像素子から読み出す必要がない場合には、以下の第2の駆動モードによって撮像素子から画像信号を読み出すことができる。

【0110】

図14(b)は、第2の駆動モードにおける制御信号のタイミングチャートの一例を示す図である。図14(a)との相違は、正電圧VDD Bを浮遊状態としてSPAD PD__Bを非ガイガーモード動作とし、対応するカウンタCNT__Bのイネーブル制御信号EN__BをLowレベルとした点である。

30

【0111】

これにより、SPAD PD__Aのみをガイガーモード動作として、撮像信号をアバランシェ増倍の段階から一方のSPAD（ここではPD__A）でまとめて検出し、1つのカウンタCNT__Aで電圧パルスを計数する。上述した様に、VDD Bを浮遊状態とした場合、受光領域で発生した新たな電子は全てSPAD PD__Aの第1導電形領域1204 Aにドリフトで移動するため、カウンタCNT__Aでまとめて検出できる。

【0112】

時刻t1300から時刻t1301の計数期間は時刻t1200から時刻t1201と同一の長さであっても、計数値を読み出す回数は第1の駆動モードの半分で済む。したがって、時刻t1301以降の読み出し期間は第1の駆動モードの読み出し期間の半分の長さである。

40

なお、行ごとにVDD Bの状態を浮遊状態と3Vとで切り替え可能に構成すれば、特定の行はVDD Bを3Vとして他の行では浮遊状態とすることで、特定の行について測距することができる。例えば測距はp=1行目やp=2行目のように主要被写体が多い画像中央部で行い、それ以外の領域では撮像信号のみを得ることで、読み出し期間の短縮と位相差検出信号の取得とを両立することもできる。また、VDD Bの状態を列ごとに切り替え可能に構成し、特定の列について測距することができる。

【0113】

また、第2の駆動モードでは正電圧VDD Aを、第1の駆動モードのときよりも高くすることができる。これにより、受光領域で発生した電子をドリフトで第1導電形領域120

50

4 A に移動させる際、より広い領域から電子をドリフトさせ、垂直入射光子に対する検出効率を向上させ、光電変換部を分割しない場合と同様のボケ味を得ることができる。

【0114】

[第6実施形態]

次に、第6実施形態について図15を用いて説明する。本実施形態は、第5実施形態において、第1導電形領域1202を第1導電形領域120Aに対応する領域と、第1導電形領域1204Bに対応する領域に分割した構成を有する。このような構成においても、第5実施形態で説明した第1の駆動モードによってカウンタCNT__AおよびCNT__Bの計数值を別個に読み出し、測距を実現することができる。

【0115】

図15(a)は、本実施形態の単位画素の構成例を示す垂直断面図であり、第4または第5実施形態と同様の構成要素には図12(b)または図13(b)と同じ符号を付してある。なお、単位画素の等価回路は第5実施形態で説明した図13(a)と同様である。また、図15(b)は、図15(a)における位置Hの水平断面をマイクロレンズ1201側から見た図である。なお、図15(a)は、図15(b)における位置Iでの垂直断面を示している。

【0116】

本実施形態においても、図15(a)および図15(b)に示される第2導電形領域1203は一体形成されている。また、第2導電形領域1203は正電圧VDDを与えられた第1導電形のN型領域との間で形成される空乏化領域に入射した単一光子を光電変換した際に生じる正孔をドリフトで吸収して撮像装置外に排出する機能も持つ。

【0117】

図15(b)に示す様に、本実施形態では、第2導電形領域1203は画素内の任意の領域、SPAD PD__AとPD__Bとの間で途切れている。図15(b)に示すように、1光子を光電変換した電荷が第1導電形領域1204Aと1204Bとの間を行き来できるように、第1導電形領域1202Aと1202Bとが接続した領域を設ける。これにより、第1導電形領域1204Aと1204Bのいずれかについての正電圧VDD AもしくはVDD Bを浮遊状態とすれば、第2駆動モードが実現できる。すなわち、SPAD PD__AもしくはPD__Bのみガイガーモード動作として、撮像信号をアバランシェ増倍の段階から片方に集約してカウンタCNT__AもしくはCNT__Bで計数することができる。

【0118】

例えばVDD Bを浮遊状態としたとき、SPAD PD__Bでは第1導電形領域が非リセット状態となっている。そのため、第1導電形領域は前のフレームで発生した電子や暗電流による電子で満たされた平衡状態となっている。したがって、受光領域で発生した電子をドリフトで第1導電形領域1204Bに移動させることができない。

そのため受光領域で発生した新たな電子は全て第1導電形領域1204Aにドリフトで移動しアバランシェ増倍に寄与する。したがって、画素全体で受光した光子を1つのSPAD PD__Aで検出し、1つのカウンタCNT__Aで電圧パルスを計数することができる。なお、駆動時の制御信号のタイミングチャートは第5実施形態と同様であるため、説明を省略する。

【0119】

[変形実施形態]

以上、本発明の好ましい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限定されず、その要旨の範囲内で種々の変形および変更が可能である。

例えば、上記実施形態では、固体撮像素子100, 500, 800と信号処理部402とが別個に設けられている場合を例に説明したが、これに限定されるものではない。信号処理部402が、固体撮像素子100, 500, 800に備えられていてもよい。この場合には、例えば、基板302(図3(a)参照)に信号処理部402が備えられ得る。また、信号処理部402が備えられた基板(図示せず)を、基板302に積層させるようにし

10

20

30

40

50

てもよい。

【 0 1 2 0 】

本発明は、上述の実施形態の 1 以上の機能を実現するプログラムを、ネットワーク又は記憶媒体を介してシステム又は装置に供給し、そのシステム又は装置のコンピュータにおける 1 つ以上のプロセッサがプログラムを読み出し実行する処理でも実現可能である。また、1 以上の機能を実現する回路（例えば、A S I C）によっても実現可能である。

【符号の説明】

【 0 1 2 1 】

1 0 0、5 0 0、8 0 0 ... 固体撮像素子

1 1 4 ... カウンタ

3 0 3 ... センサ部

10

20

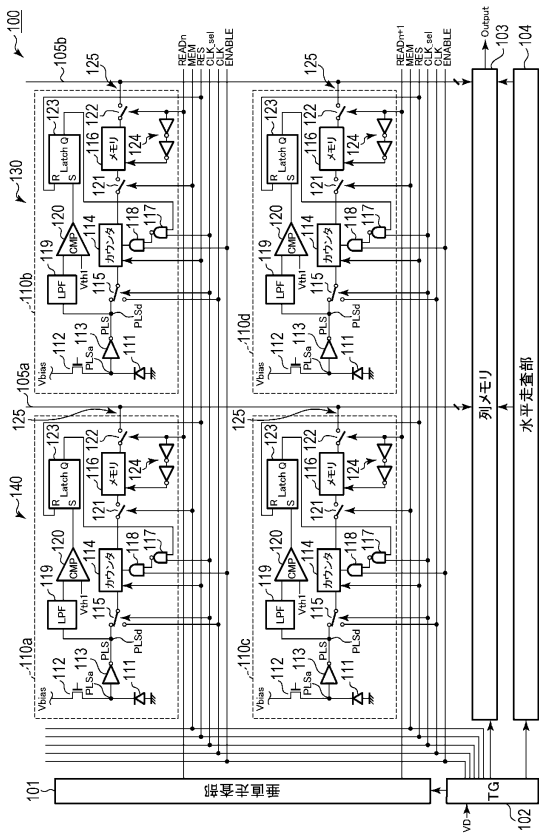
30

40

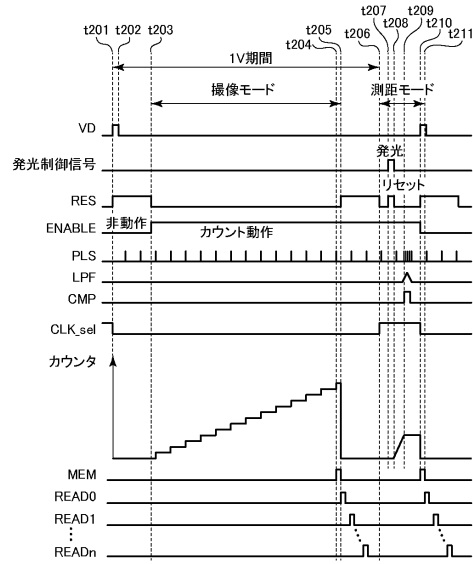
50

【図面】

【図 1】



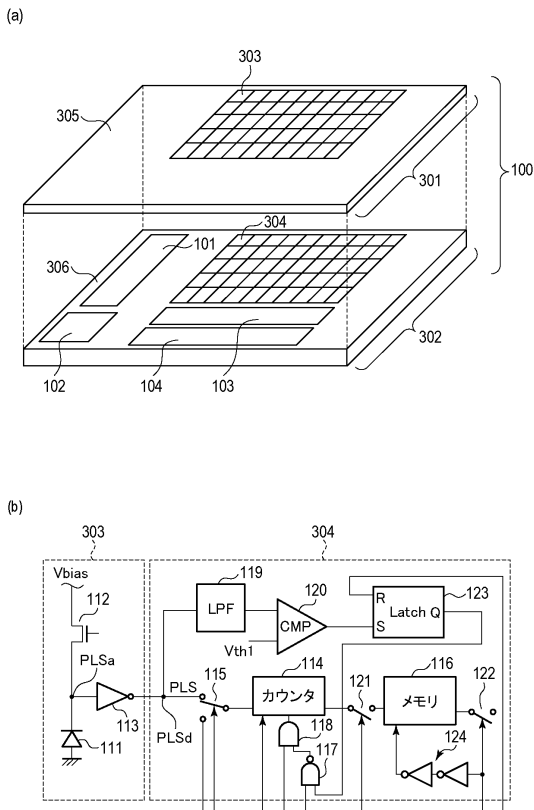
【図 2】



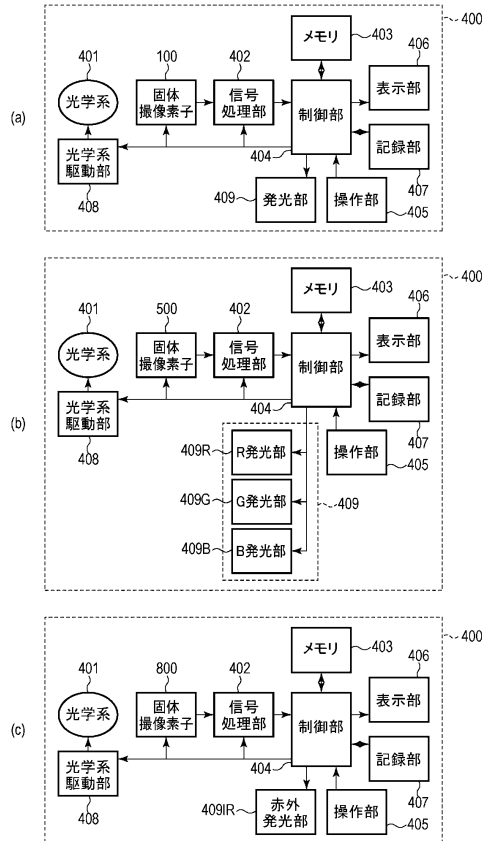
10

20

【図 3】



【図 4】

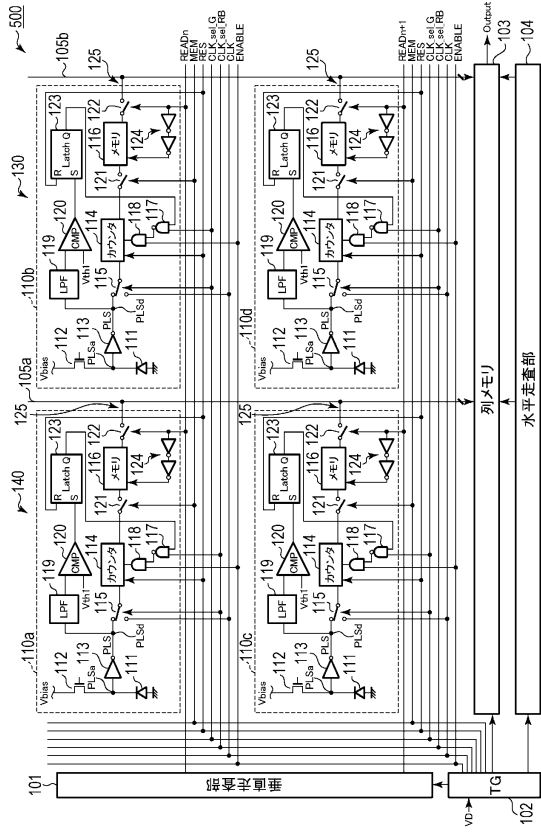


30

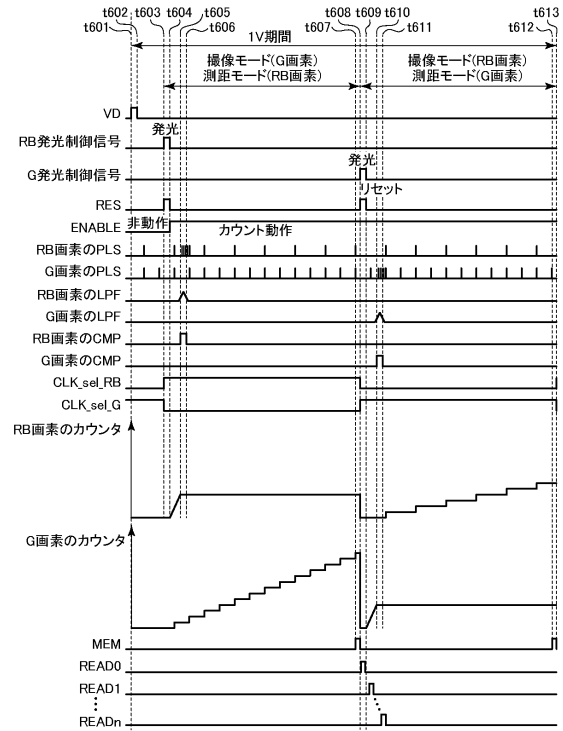
40

50

【図5】



【図6】



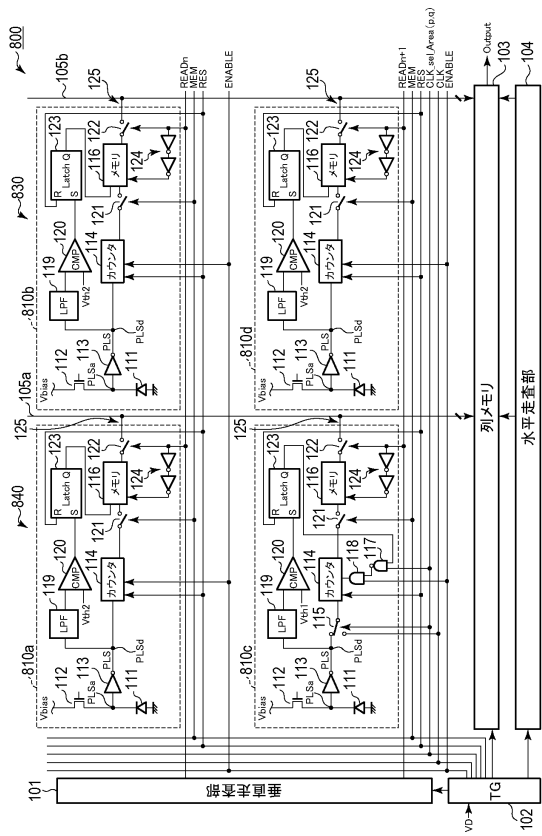
10

20

【図7】

Area (1.1)	Area (1.2)	Area (1.3)	Area (1.4)	Area (1.5)	Area (1.6)	Area (1.7)	Area (1.8)
Area (2.1)	Area (2.2)	Area (2.3)	Area (2.4)	Area (2.5)	Area (2.6)	Area (2.7)	Area (2.8)
Area (3.1)	Area (3.2)	Area (3.3)	Area (3.4)	Area (3.5)	Area (3.6)	Area (3.7)	Area (3.8)
Area (4.1)	Area (4.2)	Area (4.3)	Area (4.4)	Area (4.5)	Area (4.6)	Area (4.7)	Area (4.8)
Area (5.1)	Area (5.2)	Area (5.3)	Area (5.4)	Area (5.5)	Area (5.6)	Area (5.7)	Area (5.8)
Area (6.1)	Area (6.2)	Area (6.3)	Area (6.4)	Area (6.5)	Area (6.6)	Area (6.7)	Area (6.8)
Area (7.1)	Area (7.2)	Area (7.3)	Area (7.4)	Area (7.5)	Area (7.6)	Area (7.7)	Area (7.8)
Area (8.1)	Area (8.2)	Area (8.3)	Area (8.4)	Area (8.5)	Area (8.6)	Area (8.7)	Area (8.8)

【図8】

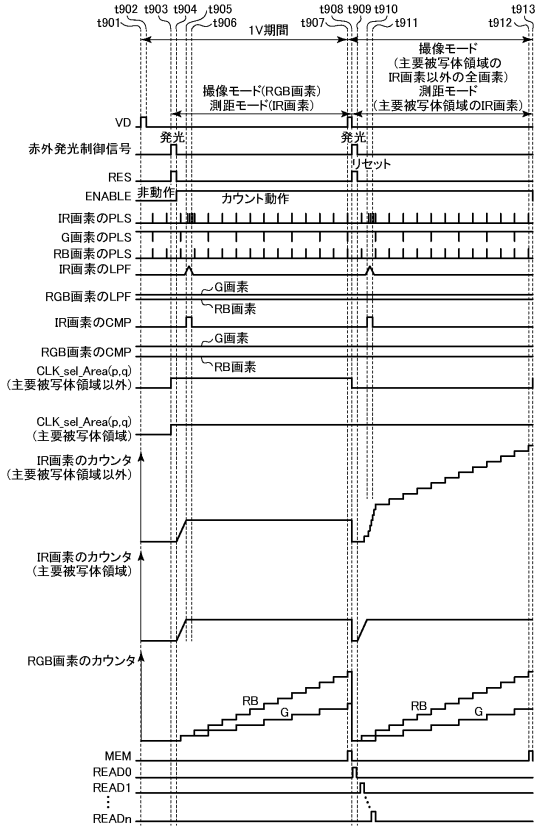


30

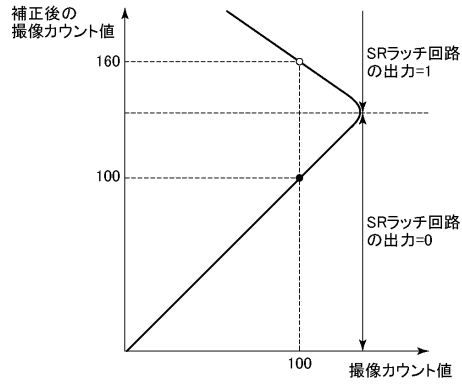
40

50

【図 9】



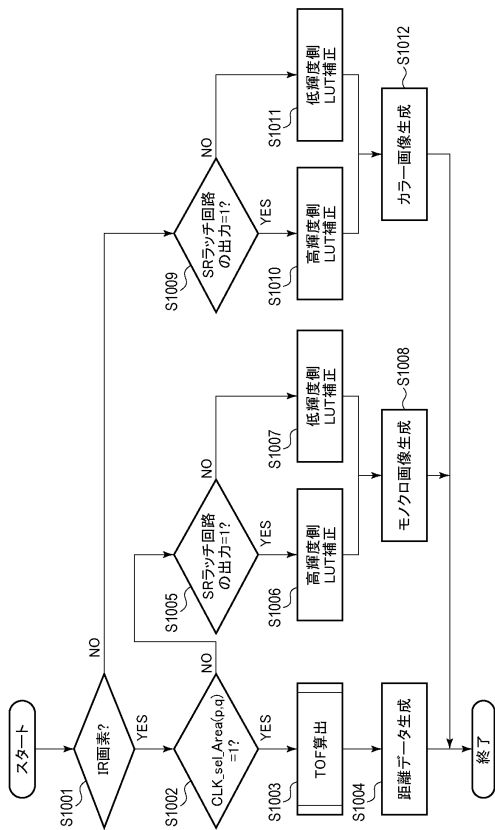
【図 10】



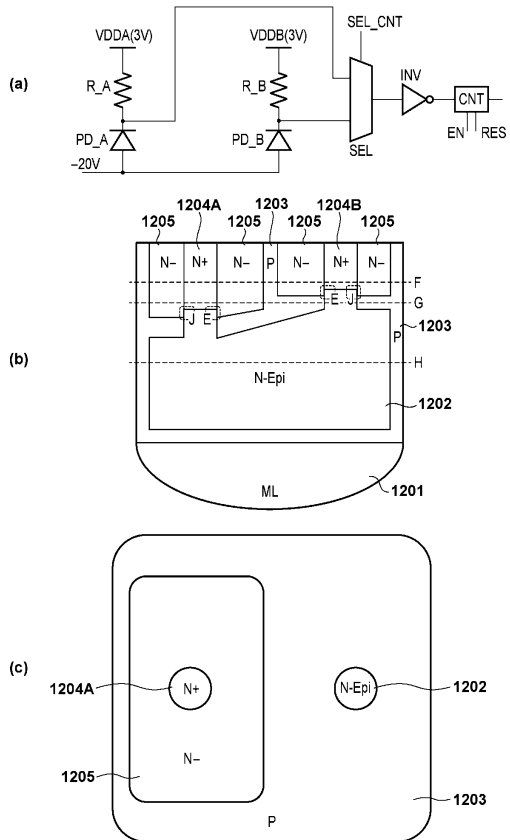
10

20

【図 11】



【図 12】

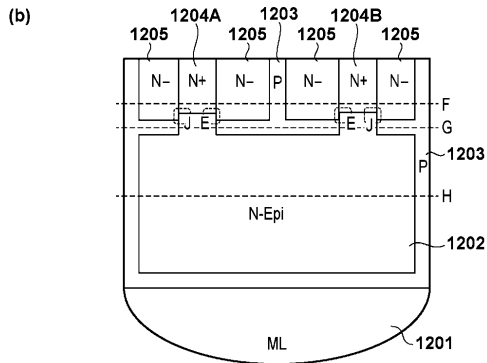
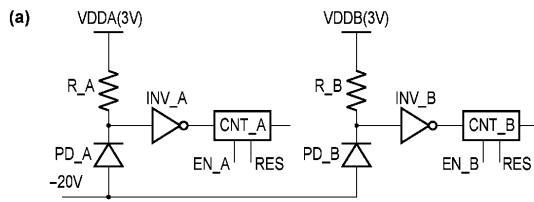


30

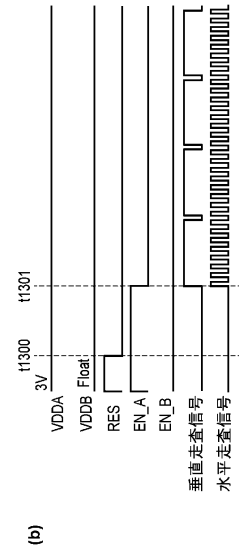
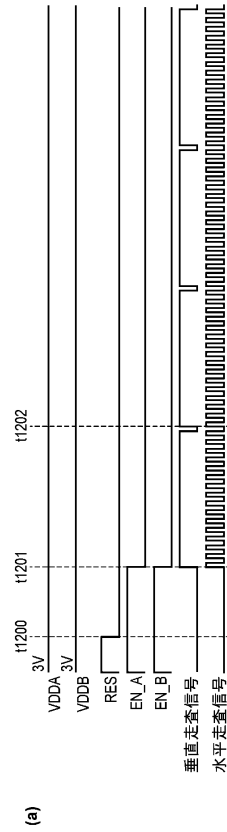
40

50

【 1 3 】



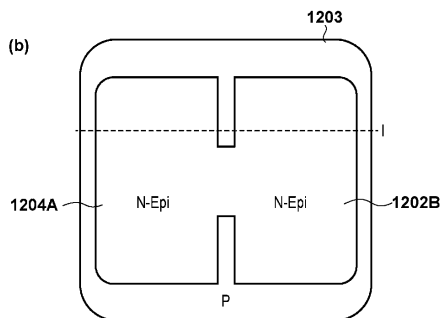
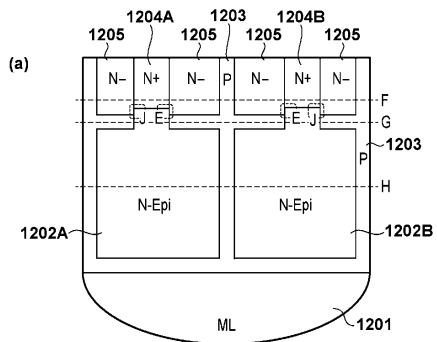
【 1 4 】



10

20

【 1 5 】



30

40

50

フロントページの続き

- (51)国際特許分類
- | | | | | | |
|----------------|-----------------------|---------|-------|--|---|
| <i>H 0 4 N</i> | <i>9/07 (2006.01)</i> | F I | | | |
| | | G 0 1 S | 17/10 | | |
| | | H 0 4 N | 9/07 | | A |
- (56)参考文献
- 特開 2 0 1 7 - 1 1 7 8 3 6 (J P , A)
 - 国際公開第 2 0 1 7 / 0 9 5 8 1 7 (W O , A 1)
 - 特表 2 0 1 8 - 5 3 5 4 3 8 (J P , A)
 - 特開 2 0 0 8 - 1 1 6 3 0 8 (J P , A)
 - 特開 2 0 1 7 - 1 0 3 5 4 4 (J P , A)
 - 国際公開第 2 0 1 7 / 0 8 6 1 8 1 (W O , A 1)
 - 特開 2 0 1 0 - 3 5 1 6 8 (J P , A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., D B 名)
- H 0 4 N 5 / 3 0 - 5 / 3 7 8
 - G 0 1 C 3 / 0 6
 - G 0 1 S 1 7 / 8 9
 - G 0 1 S 1 7 / 1 0
 - H 0 4 N 9 / 0 4 - 9 / 1 1