(19)日本国特許庁(JP)　(12)特　許　公　報(B2)　(11)特許番号

特許第6929671号
(P6929671)

(45)発行日　令和3年9月1日(2021.9.1)　(24)登録日　令和3年8月13日(2021.8.13)

| (51)Int.Cl. | | | F I | | |
|---|---|---|---|---|---|
| H04N | 5/3745 | (2011.01) | H04N | 5/3745 | |
| H04N | 5/335 | (2011.01) | H04N | 5/335 | 500 |
| H01L | 27/146 | (2006.01) | H01L | 27/146 | F |
| | | | H01L | 27/146 | A |

請求項の数 28　(全 27 頁)

(21)出願番号　特願2017-52956(P2017-52956)
(22)出願日　平成29年3月17日(2017.3.17)
(65)公開番号　特開2018-157387(P2018-157387A)
(43)公開日　平成30年10月4日(2018.10.4)
審査請求日　令和2年3月13日(2020.3.13)

(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　100094112
弁理士　岡部　讓
(74)代理人　100101498
弁理士　越智　隆夫
(74)代理人　100106183
弁理士　吉澤　弘司
(74)代理人　100128668
弁理士　齋藤　正巳
(72)発明者　太田　径介
東京都大田区下丸子３丁目３０番２号　キヤノン株式会社内

最終頁に続く

(54)【発明の名称】撮像装置及び撮像システム

(57)【特許請求の範囲】
【請求項１】
複数のアバランシェフォトダイオードと、前記複数のアバランシェフォトダイオードを個別にアクティブ状態又は非アクティブ状態に設定する設定手段と、前記複数のアバランシェフォトダイオードのうち、前記アクティブ状態に設定されたアバランシェフォトダイオードにより検出されたフォトンの数をカウントして出力するカウンタ回路と、をそれぞれが含む複数の画素を有し、
被写体の明るさに応じて、前記複数のアバランシェフォトダイオードのうち前記アクティブ状態に設定されるアバランシェフォトダイオードの数を変更するように構成されている
ことを特徴とする撮像装置。
【請求項２】
前記設定手段は、前記アバランシェフォトダイオードに印加される電圧を、前記アバランシェフォトダイオードの降伏電圧よりも高い電圧又は前記降伏電圧以下の電圧に切り替えるスイッチである
ことを特徴とする請求項１記載の撮像装置。
【請求項３】
前記設定手段は、前記アバランシェフォトダイオードと前記カウンタ回路との間の接続と非接続とを切り替えるスイッチである
ことを特徴とする請求項１記載の撮像装置。

【請求項４】
被写体の明るさに応じた制御信号を受信するように構成された制御信号受信部と、
前記制御信号に応じて、前記設定手段を制御する制御回路と、を更に有する
ことを特徴とする請求項１乃至３のいずれか１項に記載の撮像装置。
【請求項５】
前記制御回路は、前記制御信号に応じて、前記アクティブ状態に設定される前記アバランシェフォトダイオードの数を制御する
ことを特徴とする請求項４記載の撮像装置。
【請求項６】
前記制御回路は、１つの画像を取得するための露光期間の間に、前記アクティブ状態に設定されたアバランシェフォトダイオードの配置を切り替える
ことを特徴とする請求項４記載の撮像装置。
【請求項７】
前記制御回路は、１つの画像を取得するための露光期間の間に、前記アクティブ状態に設定されたアバランシェフォトダイオードの数を切り替える
ことを特徴とする請求項４記載の撮像装置。
【請求項８】
一の画素の前記複数のアバランシェフォトダイオードが設けられた領域と、他の画素の前記複数のアバランシェフォトダイオードが設けられた領域との間に設けられた分離部を更に有する
ことを特徴とする請求項１乃至７のいずれか１項に記載の撮像装置。
【請求項９】
前記複数の画素に含まれる一の画素と他の一の画素とにおいて、前記アクティブ状態に設定されるアバランシェフォトダイオードの配置が異なっている
ことを特徴とする請求項１乃至８のいずれか１項に記載の撮像装置。
【請求項１０】
前記複数のアバランシェフォトダイオードのうち前記アクティブ状態に設定されるアバランシェフォトダイオードの数が、前記複数の画素において同じにな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９のいずれか１項に記載の撮像装置。
【請求項１１】
複数のアバランシェフォトダイオードと、
前記複数のアバランシェフォトダイオードを個別にアクティブ状態又は非アクティブ状態に設定する設定手段と、
前記複数のアバランシェフォトダイオードからの信号が入力され、前記複数のアバランシェフォトダイオードのうち前記アクティブ状態に設定されたアバランシェフォトダイオードから出力される信号をカウントするように、前記複数のアバランシェフォトダイオードに接続されたカウンタ回路と、を有し、
光が入射する領域において、撮影条件に応じて、前記複数のアバランシェフォトダイオードのうち前記アクティブ状態に設定されるアバランシェフォトダイオードの数を変更するように構成されている
ことを特徴とする光電変換装置。
【請求項１２】
前記設定手段は、前記アバランシェフォトダイオードに印加される逆バイアス電圧が降伏電圧よりも高い場合に前記アクティブ状態となり、前記アバランシェフォトダイオードに印加される逆バイアス電圧が前記降伏電圧以下の場合に前記非アクティブ状態となるように、前記複数のアバランシェフォトダイオードの各々に印加する電圧を切り替えるスイッチである
ことを特徴とする請求項１１記載の光電変換装置。
【請求項１３】

前記設定手段は、前記複数のアバランシェフォトダイオードの各々と前記カウンタ回路との間の接続と非接続とを切り替えるスイッチである
ことを特徴とする請求項１１又は１２記載の光電変換装置。
【請求項１４】
前記設定手段は、１つの画像を取得するための露光期間の間に、前記アクティブ状態に設定されたアバランシェフォトダイオードの配置を切り替える
ことを特徴とする請求項１１乃至１３のいずれか１項に記載の光電変換装置。
【請求項１５】
前記設定手段は、１つの画像を取得するための露光期間の間に、前記アクティブ状態に設定されたアバランシェフォトダイオードの数を切り替える
ことを特徴とする請求項１１乃至１３のいずれか１項に記載の撮像装置。
【請求項１６】
複数のアバランシェフォトダイオードと、
前記複数のアバランシェフォトダイオードを個別にアクティブ状態又は非アクティブ状態に設定する設定手段と、
前記複数のアバランシェフォトダイオードのうち、前記アクティブ状態に設定されたアバランシェフォトダイオードから出力される信号をカウントするカウンタ回路と、を有し、
ＩＳＯ感度設定に応じて、前記複数のアバランシェフォトダイオードのうち前記アクティブ状態に設定されるアバランシェフォトダイオードの数を変更するように構成されている
ことを特徴とする光電変換装置。
【請求項１７】
前記設定手段は、前記アバランシェフォトダイオードに印加される逆バイアス電圧が降伏電圧よりも高い場合に前記アクティブ状態となり、前記アバランシェフォトダイオードに印加される逆バイアス電圧が前記降伏電圧以下の場合に前記非アクティブ状態となるように、前記複数のアバランシェフォトダイオードの各々に印加する電圧を切り替えるスイッチである
ことを特徴とする請求項１６記載の光電変換装置。
【請求項１８】
前記複数のアバランシェフォトダイオード及び前記カウンタ回路を各々が含む第１の画素及び第２の画素と、
前記第１の画素と前記第２の画素との間に設けられた分離領域と、を更に有する
ことを特徴とする請求項１１乃至１７のいずれか１項に記載の光電変換装置。
【請求項１９】
１つの画像を取得するための露光期間において、前記複数のアバランシェフォトダイオードのうち前記アクティブ状態に設定されるアバランシェフォトダイオードの数が、前記第１の画素と前記第２の画素とで異なっている
ことを特徴とする請求項１８記載の光電変換装置。
【請求項２０】
前記複数のアバランシェフォトダイオードのうち前記アクティブ状態に設定されるアバランシェフォトダイオードの数が、前記第１の画素と前記第２の画素とで同じである
ことを特徴とする請求項１８記載の光電変換装置。
【請求項２１】
前記複数のアバランシェフォトダイオードが設けられた第１の基板と、前記カウンタ回路が設けられた第２の基板とが積層されてなる
ことを特徴とする請求項１１乃至２０のいずれか１項に記載の光電変換装置。
【請求項２２】
第１のフレーム期間において、前記複数のアバランシェフォトダイオードのうちの第１のアバランシェフォトダイオードは前記アクティブ状態であり、

第２のフレーム期間において、前記第１のアバランシェフォトダイオードは前記非アクティブ状態である
ことを特徴とする請求項１１乃至２１のいずれか１項に記載の光電変換装置。
【請求項２３】
複数のアバランシェフォトダイオードと、前記複数のアバランシェフォトダイオードを個別にアクティブ状態又は非アクティブ状態に設定する手段と、前記複数のアバランシェフォトダイオードのうち、前記アクティブ状態に設定されたアバランシェフォトダイオードにより検出されたフォトンの数をカウントして出力するカウンタ回路と、をそれぞれが含む複数の画素を有する撮像装置の駆動方法であって、
被写体の明るさに応じて、前記複数の画素のそれぞれにおいて、前記複数のアバランシェフォトダイオードのうち前記アクティブ状態に設定されるアバランシェフォトダイオードの数を同じ数に設定する
ことを特徴とする撮像装置の駆動方法。
【請求項２４】
１つの画像を取得するための露光期間の間に、前記アクティブ状態に設定されたアバランシェフォトダイオードの配置を切り替える
ことを特徴とする請求項２３記載の撮像装置の駆動方法。
【請求項２５】
１つの画像を取得するための露光期間の間に、前記アクティブ状態に設定されたアバランシェフォトダイオードの数を切り替える
ことを特徴とする請求項２３記載の撮像装置の駆動方法。
【請求項２６】
請求項１乃至１０のいずれか１項に記載の撮像装置と、
前記撮像装置の前記複数の画素から出力され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撮像システム。
【請求項２７】
被写体の明るさに応じて、前記撮像装置の前記複数の画素のそれぞれにおいて、前記アクティブ状態に設定する前記アバランシェフォトダイオードの数を同じ数に制御する制御部を更に有する
ことを特徴とする請求項２６記載の撮像システム。
【請求項２８】
移動体であって、
請求項１乃至１０のいずれか１項に記載の撮像装置と、
前記撮像装置からの信号に基づく視差画像から、対象物までの距離情報を取得する距離情報取得手段と、
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と
を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】
本発明は、撮像装置及び撮像システムに関する。
【背景技術】
【０００２】
近年、単一光子レベルの微弱光を検出可能な半導体装置について、幅広い分野での応用が期待されている。特に、単一光子に対応する信号が信号読み出し時のノイズよりも大きくなるような光検出素子を用いることで、従来は連続値として扱ってきた入力光の輝度を光子数という離散値として精確に計数する、いわゆるフォトンカウンティングが可能となる。
【０００３】
フォトンカウンティングを実現する光検出素子の一例として、アバランシェフォトダイ

オード（以下、「ＡＰＤ」とも表記する）が挙げられる。ＡＰＤは、半導体のｐｎ接合部に誘起された強電界により発生するアバランシェ増幅現象を用いることで、光子により励起された信号電荷量を数倍～百万倍程度に増幅することができる。このアバランシェ増幅現象の高ゲイン性を利用することで、微弱光の信号を読み出しノイズよりも十分大きく増幅し、単一光子レベルの輝度分解能を実現することができる。

【０００４】

特許文献１には、ＡＰＤをガイガーモードで動作させる単一光子アバランシェダイオード（Single Photon Avalanche Diode、以下「ＳＰＡＤ」とも表記する）を２次元状に配列してなる撮像装置が記載されている。特許文献１に記載の撮像装置では、光信号に寄与しないＳＰＡＤ画素や、ＡＰＤにおけるノイズの代表例であるＤＣＲ（Dark Count Rate）ノイズの大きいＳＰＡＤ画素を使用しないようにすることで、画像品質の向上を図っている。

【先行技術文献】

【特許文献】

【０００５】

【特許文献１】特開２０１３－０２０９７２号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【０００６】

しかしながら、ＳＰＡＤは、微弱光の検出に優れている反面、日中の光の下のような明るい状況ではたとえ絞り機構で光量を落としたとしてもフォトンの検出頻度が高くなりすぎる。そのため、ＳＰＡＤを用いた撮像装置では、同じ画素で暗いシーンの撮影と明るいシーンの撮影との両方に対応することは困難であった。

【０００７】

本発明の目的は、ＳＰＡＤを用いた撮像装置であって、画素としての光電変化ゲインを容易に制御しうる撮像装置及び撮像システムを提供することにある。

【課題を解決するための手段】

【０００８】

本発明の一観点によれば、複数のアバランシェフォトダイオードと、前記複数のアバランシェフォトダイオードを個別にアクティブ状態又は非アクティブ状態に設定する設定手段と、前記複数のアバランシェフォトダイオードのうち、前記アクティブ状態に設定されたアバランシェフォトダイオードにより検出されたフォトンの数をカウントして出力するカウンタ回路と、をそれぞれが含む複数の画素を有し、被写体の明るさに応じて、前記複数のアバランシェフォトダイオードのうち前記アクティブ状態に設定されるアバランシェフォトダイオードの数を変更するように構成されている撮像装置が提供される。

また、本発明の他の一観点によれば、複数のアバランシェフォトダイオードと、前記複数のアバランシェフォトダイオードを個別にアクティブ状態又は非アクティブ状態に設定する設定手段と、前記複数のアバランシェフォトダイオードからの信号が入力され、前記複数のアバランシェフォトダイオードのうち前記アクティブ状態に設定されたアバランシェフォトダイオードから出力される信号をカウントするように、前記複数のアバランシェフォトダイオードに接続されたカウンタ回路と、を有し、光が入射する領域において、撮影条件に応じて、前記複数のアバランシェフォトダイオードのうち前記アクティブ状態に設定されるアバランシェフォトダイオードの数を変更するように構成されている光電変換装置に提供される。

また、本発明の他の一観点によれば、複数のアバランシェフォトダイオードと、前記複数のアバランシェフォトダイオードを個別にアクティブ状態又は非アクティブ状態に設定する設定手段と、前記複数のアバランシェフォトダイオードのうち、前記アクティブ状態に設定されたアバランシェフォトダイオードから出力される信号をカウントするカウンタ回路と、を有し、ＩＳＯ感度設定に応じて、前記複数のアバランシェフォトダイオードのうち前記アクティブ状態に設定されるアバランシェフォトダイオードの数を変更するよう

に構成されている光電変換装置が提供される。
【０００９】
また、本発明の他の一観点によれば、複数のアバランシェフォトダイオードと、前記複数のアバランシェフォトダイオードを個別にアクティブ状態又は非アクティブ状態に設定する設定手段と、前記複数のアバランシェフォトダイオードのうち、前記アクティブ状態に設定されたアバランシェフォトダイオードにより検出されたフォトンの数をカウントして出力するカウンタ回路と、をそれぞれが含む複数の画素を有する撮像装置の駆動方法であって、前記複数の画素において、前記複数のアバランシェフォトダイオードのうち前記アクティブ状態に設定されるアバランシェフォトダイオードの数を、被写体の明るさに応じた同じ数に設定する撮像装置の駆動方法が提供される。
【発明の効果】
【００１０】
本発明によれば、ＳＰＡＤを用いた撮像装置において、画素としての光電変化ゲインを容易に制御できるようになり、デジタルカメラなどの撮像システムへの応用も可能となる。
【図面の簡単な説明】
【００１１】
【図１】本発明の第１実施形態による撮像装置の概略構成を示すブロック図である。
【図２】本発明の第１実施形態による撮像装置の画素の概略構成を示すブロック図である。
【図３】本発明の第１実施形態による撮像装置の画素の光電変換信号生成部の構成例を示す回路図である。
【図４】本発明の第１実施形態による撮像装置の画素のアバランシェフォトダイオードの概略構成を示す断面図である。
【図５】アバランシェフォトダイオードの電流－電圧特性の一例を示すグラフである。
【図６】実際に入射するフォトン数とカウントされるフォトン数との関係を示すグラフである。
【図７】インバータ回路及びＯＲ回路の出力電圧の時間変化を示すグラフである。
【図８】本発明の第１実施形態による撮像装置の画素の上面図である。
【図９】本発明の第２実施形態による撮像装置の画素の光電変換信号生成部の構成例を示す回路図である。
【図１０】本発明の第３実施形態による撮像装置の駆動方法を示す図である。
【図１１】本発明の第４実施形態による撮像装置の駆動方法を示す図である。
【図１２】本発明の第５実施形態による撮像装置の概略構成を示す断面図である。
【図１３】本発明の第６実施形態による撮像装置の駆動方法を示すフローチャート（その１）である。
【図１４】本発明の第６実施形態による撮像装置の駆動方法を示すフローチャート（その２）である。
【図１５】本発明の第７実施形態による撮像システムの概略構成を示すブロック図である。
【図１６】本発明の第８実施形態による撮像システム及び移動体の構成例を示す図である。
【発明を実施するための形態】
【００１２】
［第１実施形態］
本発明の第１実施形態による撮像装置及びその駆動方法について、図１乃至図８を用いて説明する。図１は、本実施形態による固体撮像装置の概略構成を示すブロック図である。図２は、本実施形態による撮像装置の画素の概略構成を示すブロック図である。図３は、本実施形態による撮像装置の画素の光電変換信号生成部の構成例を示す回路図である。図４は、本実施形態による撮像装置の画素のアバランシェフォトダイオードの概略構成を

示す断面図である。図５は、アバランシェフォトダイオードの電流－電圧特性の一例を示すグラフである。図６は、実際に入射するフォトン数とカウントされるフォトン数との関係を示すグラフである。図７は、インバータ回路及びＯＲ回路の出力電圧の時間変化を示すグラフである。図８は、本実施形態による撮像装置の画素の上面図である。

【００１３】

本実施形態による撮像装置１００は、図１に示すように、画素領域１０と、垂直走査回路２０と、列読み出し回路３０と、水平走査回路４０と、制御回路５０と、出力回路６０とを有している。

【００１４】

画素領域１０には、複数行及び複数列に渡ってマトリクス状に配された複数の画素１２が設けられている。画素領域１０の画素アレイの各行には、行方向（図１において横方向）に延在して、制御信号線１４が配されている。制御信号線１４は、行方向に並ぶ画素１２にそれぞれ接続され、これら画素１２に共通の信号線をなしている。また、画素領域１０の画素アレイの各列には、列方向（図１において縦方向）に延在して、垂直出力線１６が配されている。垂直出力線１６は、列方向に並ぶ画素１２にそれぞれ接続され、これら画素１２に共通の信号線をなしている。

【００１５】

画素領域１０を構成する画素１２の数は、特に限定されるものではない。例えば、一般的なデジタルカメラのように数千行×数千列の画素１２で画素領域１０を構成してもよい。或いは、１行又は１列に並べた複数の画素１２で画素領域１０を構成してもよい。或いは、１つの画素１２で画素領域１０を構成してもよい。

【００１６】

各行の制御信号線１４は、垂直走査回路２０に接続されている。垂直走査回路２０は、画素１２から画素信号を読み出す際に画素１２内の読み出し回路を駆動するための制御信号を、制御信号線１４を介して画素１２に供給する回路部である。各列の垂直出力線１６の一端は、列読み出し回路３０に接続されている。画素１２から読み出された画素信号は、垂直出力線１６を介して列読み出し回路３０に入力される。列読み出し回路３０は、画素１２から読み出された画素信号に対して所定の信号処理、例えば増幅処理やＡＤ変換処理等の信号処理を実施する回路部である。列読み出し回路３０は、差動増幅回路、サンプル・ホールド回路、ＡＤ変換回路等を含み得る。

【００１７】

水平走査回路４０は、列読み出し回路３０において処理された画素信号を列毎に順次、出力回路６０に転送するための制御信号を、列読み出し回路３０に供給する回路部である。制御回路５０は、垂直走査回路２０、列読み出し回路３０及び水平走査回路４０の動作やそのタイミングを制御する制御信号を供給するための回路部である。出力回路６０は、バッファアンプ、差動増幅器などから構成され、列読み出し回路３０から読み出された画素信号を撮像装置１００の外部の信号処理部に出力するための回路部である。

【００１８】

図２は、画素１２の概略構成を示すブロック図である。それぞれの画素１２は、図２に示すように、光電変換信号生成部１１０と、カウンタ回路１２０と、選択回路１３０と、を含む。光電変換信号生成部１１０は、カウンタ回路１２０に接続されている。カウンタ回路１２０は、選択回路１３０を介して、垂直出力線１６に接続されている。

【００１９】

図２の構成例において、各行の制御信号線１４は、リセット信号線ＲＥＳと、選択信号線ＳＥＬと、ゲイン制御信号線ＧＡＩＮとを含む。リセット信号線ＲＥＳは、対応する行に属する画素１２のカウンタ回路１２０にそれぞれ接続されている。選択信号線ＳＥＬは、対応する行に属する画素１２の選択回路１３０にそれぞれ接続されている。ゲイン制御信号線ＧＡＩＮは、対応する行に属する画素１２の光電変換信号生成部１１０にそれぞれ接続されている。ゲイン制御信号線ＧＡＩＮは、垂直走査回路２０とは異なる他の制御回路（図示せず）からゲイン制御信号が供給されるように構成されていてもよい。また、同

じ行に属する複数の画素１２の光電変換信号生成部１１０に接続されるゲイン制御信号線ＧＡＩＮは、必ずしも共通の信号線である必要はない。

【００２０】

図３は、光電変換信号生成部１１０の構成例を示す回路図である。光電変換信号生成部１１０は、アバランシェフォトダイオードＡＰＤ、Ｐ型ＭＯＳトランジスタＭＰ、Ｎ型ＭＯＳトランジスタＭＮ及びインバータ回路ＩＮＶをそれぞれが含む複数の画素要素と、ＯＲ回路１１２とを含む。図３には、第１の画素要素、第２の画素要素及び第３の画素要素の３つの画素要素を含む光電変換信号生成部１１０を示している。なお、光電変換信号生成部１１０に含まれる画素要素の数は、特に限定されるものではない。

【００２１】

第１の画素要素は、アバランシェフォトダイオードＡＰＤ１、Ｐ型ＭＯＳトランジスタＭＰ１、Ｎ型ＭＯＳトランジスタＭＮ１及びインバータ回路ＩＮＶ１を含む。アバランシェフォトダイオードＡＰＤ１のアノードは、電圧ＶＬを供給する電源に接続されている。アバランシェフォトダイオードＡＰＤ１のカソード（ノードＮ１）は、Ｐ型ＭＯＳトランジスタＭＰ１のドレイン、Ｎ型ＭＯＳトランジスタＭＮ１のドレイン及びインバータ回路ＩＮＶ１の入力端子に接続されている。Ｐ型ＭＯＳトランジスタＭＰ１のソースは、電圧ＶＬよりも電位の高い電圧ＶＨを供給する電源に接続されている。Ｎ型ＭＯＳトランジスタＭＮ１のソースは、接地されている。インバータ回路ＩＮＶ１の出力端子は、ＯＲ回路１１２の入力端子のうちの１つに接続されている。光電変換信号生成部１１０の出力端子でもあるＯＲ回路１１２の出力端子は、カウンタ回路１２０に接続されている。

【００２２】

同様に、第２の画素要素は、アバランシェフォトダイオードＡＰＤ２、Ｐ型ＭＯＳトランジスタＭＰ２、Ｎ型ＭＯＳトランジスタＭＮ２及びインバータ回路ＩＮＶ２を含む。アバランシェフォトダイオードＡＰＤ２のアノードは、電圧ＶＬを供給する電源に接続されている。アバランシェフォトダイオードＡＰＤ２のカソード（ノードＮ２）は、Ｐ型ＭＯＳトランジスタＭＰ２のドレイン、Ｎ型ＭＯＳトランジスタＭＮ２のドレイン及びインバータ回路ＩＮＶ２の入力端子に接続されている。Ｐ型ＭＯＳトランジスタＭＰ２のソースは、電圧ＶＬよりも電位の高い電圧ＶＨを供給する電源に接続されている。Ｎ型ＭＯＳトランジスタＭＮ２のソースは、接地されている。インバータ回路ＩＮＶ２の出力端子は、ＯＲ回路１１２の入力端子のうちの１つに接続されている。

【００２３】

また、第３の画素要素は、アバランシェフォトダイオードＡＰＤ３、Ｐ型ＭＯＳトランジスタＭＰ３、Ｎ型ＭＯＳトランジスタＭＮ３及びインバータ回路ＩＮＶ３を含む。アバランシェフォトダイオードＡＰＤ３のアノードは、電圧ＶＬを供給する電源に接続されている。アバランシェフォトダイオードＡＰＤ３のカソード（ノードＮ３）は、Ｐ型ＭＯＳトランジスタＭＰ３のドレイン、Ｎ型ＭＯＳトランジスタＭＮ３のドレイン及びインバータ回路ＩＮＶ３の入力端子に接続されている。Ｐ型ＭＯＳトランジスタＭＰ３のソースは、電圧ＶＬよりも電位の高い電圧ＶＨを供給する電源に接続されている。Ｎ型ＭＯＳトランジスタＭＮ３のソースは、接地されている。インバータ回路ＩＮＶ３の出力端子は、ＯＲ回路１１２の入力端子のうちの１つに接続されている。

【００２４】

図３に示す構成例の場合、光電変換信号生成部１１０に接続されたゲイン制御信号線ＧＡＩＮは、Ｎ型ＭＯＳトランジスタＭＮ１，ＭＮ２，ＭＮ３のゲートにそれぞれゲイン制御信号φＧ１，φＧ２，φＧ３を供給する３本の信号線を含む。

【００２５】

それぞれの画素要素において、Ｐ型ＭＯＳトランジスタＭＰは、アバランシェフォトダイオードＡＰＤのクエンチング抵抗として機能する。また、Ｎ型ＭＯＳトランジスタＭＮは、アバランシェフォトダイオードＡＰＤのゲイン（アクティブ状態又は非アクティブ状態）を個別に制御するゲイン制御スイッチとして機能する。インバータ回路ＩＮＶは、アバランシェフォトダイオードＡＰＤから出力される信号の波形をパルス波形に成形する。

【００２６】
本実施形態による撮像装置は、一例では、アバランシェフォトダイオードＡＰＤが設けられた基板と、アバランシェフォトダイオードＡＰＤ以外の他の構成要素が設けられた基板とを貼り合わせることにより構成することができる（第５実施形態を参照）。他の構成要素には、アバランシェフォトダイオードＡＰＤ以外の画素１２の構成要素のほか、垂直走査回路２０、列読み出し回路３０、水平走査回路４０、制御回路５０、出力回路６０等の周辺回路も含み得る。図４は、これら２つの基板のうち、アバランシェフォトダイオードＡＰＤが設けられた基板の断面図を示したものである。
【００２７】
各画素１２のアバランシェフォトダイオードＡＰＤは、半導体基板２１０に形成される。半導体基板２１０は、例えばｎ型のシリコン基板である。半導体基板２１０は、第１面２１２と、第１面２１２に対向する第２面２１４とを含む。例えば、第１面２１２は半導体基板２１０の表面であり、第２面２１４は半導体基板２１０の裏面である。
【００２８】
半導体基板２１０には、ｎ型半導体領域２２４が設けられている。ｎ型半導体領域２２４は、分離部２２０によって、１つの画素１２に対応する領域毎に分けられている。分離部２２０によって分けられたｎ型半導体領域２２４のそれぞれには、１つの画素１２に含まれる複数のアバランシェフォトダイオードＡＰＤが配される。
【００２９】
分離部２２０は、半導体基板２１０の第１面２１２に接するｐ型半導体領域２１６と、ｐ型半導体領域２１６の第２面２１４側に接して配されたｐ型半導体領域２１８とを含み、平面視においてそれぞれのｎ型半導体領域２２４を囲うように配されている。ｐ型半導体領域２１８の第２面２１４側は、半導体基板２１０の第２面２１４に接して設けられたｐ型半導体領域２２２に接している。
【００３０】
なお、ここでは各画素１２の複数のアバランシェフォトダイオードＡＰＤが配されるｎ型半導体領域２２４を、ｐｎ接合分離によって分離する例を示しているが、他の素子分離方法によって分離するようにしてもよい。他の素子分離方法としては、例えば、ＳＴＩ（Shallow Trench Isolation）法、ＤＴＩ（Deep Trench Isolation）法、ＬＯＣＯＳ（LOCal Oxidation of Silicon）法等が挙げられる。
【００３１】
分離部２２０により画定されたそれぞれのｎ型半導体領域２２４には、一の画素１２に含まれる複数のアバランシェフォトダイオードＡＰＤが配されている。図４には、ｎ型半導体領域２２４に配された３つのアバランシェフォトダイオードＡＰＤを示している。
【００３２】
それぞれのアバランシェフォトダイオードＡＰＤは、ｎ型半導体領域２２６，２２８と、ｐ型半導体領域２３０，２３２とを含む。ｎ型半導体領域２２６は、半導体基板２１０の第１面２１２に接して配されている。ｎ型半導体領域２２８は、ｎ型半導体領域２２６を囲むように半導体基板２１０の第１面２１２に接して配されている。ｐ型半導体領域２３０は、ｎ型半導体領域２２８の底部に接して配されている。ｐ型半導体領域２３２は、隣接するアバランシェフォトダイオードＡＰＤのｎ型半導体領域２２８の間に、半導体基板２１０の第１面２１２に接して配されている。
【００３３】
ここで、ｎ型半導体領域２２６の不純物濃度は、ｎ型半導体領域２２８の不純物濃度よりも高い。また、ｎ型半導体領域２２８の不純物濃度は、ｎ型半導体領域２２４の不純物濃度よりも高い。ｐ型半導体領域２１６の不純物濃度は、ｐ型半導体領域２１８及びｐ型半導体領域２２２の不純物濃度よりも高い。また、ｐ型半導体領域２１８及びｐ型半導体領域２２２の不純物濃度は、ｐ型半導体領域２３０，２３２の不純物濃度よりも高い。
【００３４】
ｎ型半導体領域２２６の不純物濃度を十分に高くすることで、ｎ型半導体領域２２６に

生じる空乏層の電界を強くすることが可能である。ｎ型半導体領域２２６よりも低濃度のｎ型半導体領域２２８は、ｎ型半導体領域２２６の電界集中領域を他の領域に広げないための電界緩和領域としての機能を備える。ｐ型半導体領域２３０，２３２は、ｎ型半導体領域２２４内で生じた電荷（電子）をｎ型半導体領域２２４に導くためのポテンシャルの谷を形成する。ｎ型半導体領域２２４は、フォトンの入射によりキャリアを生成する光電変換領域である。

【００３５】

アバランシェフォトダイオードＡＰＤが設けられた半導体基板２１０の上には、絶縁膜２３４が設けられている。絶縁膜２３４の上には、コンタクトプラグ２３６を介してｐ型半導体領域２１６に接続された配線２３８と、コンタクトプラグ２４０を介してｎ型半導体領域２２６に接続された配線２４２とが設けられている。ｐ型半導体領域２１６には、配線２３８及びコンタクトプラグ２３６を介して、電圧ＶＬが供給される。ｎ型半導体領域２２６は、コンタクトプラグ２４０及び配線２４２を介して、図３に示す回路のノードＮに接続される。

【００３６】

次に、本実施形態による撮像装置の駆動方法について、図３の回路構成の場合を例にして説明する。

【００３７】

電圧ＶＨ及び電圧ＶＬは、アバランシェフォトダイオードＡＰＤに、ガイガーモードで動作するに十分な逆バイアス電圧を印加することが可能となるように設定されている。ここでは一例として、アバランシェフォトダイオードＡＰＤが、図５に示すような電流－電圧特性を有している場合を想定する。図５に示すアバランシェフォトダイオードＡＰＤの逆方向降伏電圧は、－５０Ｖから－５３．３Ｖの間に存在する。すなわち、このアバランシェフォトダイオードＡＰＤは、－５０Ｖ程度の逆バイアスが印加されてもアバランシェ増幅は起きないが、それ以上の逆バイアスが印加されるとアバランシェ増幅を起こす。また、－５３．３Ｖ程度以上の逆バイアスが印加されると、アバランシェ増幅のゲインが非常に高くなる、いわゆるガイガーモードで動作する。

【００３８】

本実施形態では、アバランシェフォトダイオードＡＰＤをガイガーモードで動作、すなわち単一光子アバランシェダイオード（ＳＰＡＤ）として使用する。そのため、アバランシェフォトダイオードＡＰＤのアノードには電圧ＶＬとして例えば－５０Ｖを印加し、Ｐ型ＭＯＳトランジスタＭＰのソースには電圧ＶＨとして例えば＋３．３Ｖを印加する。

【００３９】

クエンチング抵抗としてのＰ型ＭＯＳトランジスタＭＰのゲートには、通常、ソースに印加する電圧と同じ電圧を印加する。このようにすることで、Ｐ型ＭＯＳトランジスタＭＰは、トランジスタの寸法で抵抗値が決まる抵抗素子として動作する。Ｐ型ＭＯＳトランジスタＭＰのゲートに印加する電圧をソースに印加する電圧よりも意図的に低く設定し、より抵抗値の大きな抵抗素子として利用することも可能である。Ｐ型ＭＯＳトランジスタＭＰのゲート電圧は、所望のクエンチング抵抗が得られるように適宜設定することができる。

【００４０】

ゲイン制御スイッチとしてのＮ型ＭＯＳトランジスタＭＮは、ゲートに供給されるゲイン制御信号φＧにより制御される。Ｎ型ＭＯＳトランジスタＭＮは、ゲイン制御信号φＧがハイレベルのときにオンとなり、ゲイン制御信号φＧがローレベルのときにオフとなる。

【００４１】

Ｎ型ＭＯＳトランジスタＭＮがオフのとき、電流が流れない初期の状態では、アバランシェフォトダイオードＡＰＤには、電圧ＶＨと電圧ＶＬとの間の電位差である５３．３Ｖの逆バイアス電圧が印加されている。この逆バイアス電圧は降伏電圧よりも高い電圧でありアバランシェ増幅を起こすに十分であるが、種となるキャリアが存在しない状態ではア

バランシェ増幅は起こらず、アバランシェフォトダイオードＡＰＤに電流は流れない。
【００４２】
この状態で半導体基板２１０の第２面２１４側からフォトンが入射すると、ｎ型半導体領域２２４でフォトンが吸収され、電子・ホール対が生成される。これらのうちホールは、ｐ型半導体領域２１６，２１８，２２２，２３０，２３２を介して排出される。一方、電子は、ｐ型半導体領域２３０の間のポテンシャルの谷に沿ってｎ型半導体領域２２６へと導かれる。この電子がｎ型半導体領域２２６部の電界で加速されてアバランシェ増幅を引き起こし、アバランシェフォトダイオードＡＰＤはガイガーモードで動作する。
【００４３】
アバランシェ増幅が起きてアバランシェフォトダイオードＡＰＤに大電流が流れることで、アバランシェフォトダイオードＡＰＤのカソード側の端子であるノードＮ（ノードＮ１，Ｎ２，Ｎ３）の電位が降下し、アバランシェ増幅は停止する。ノードＮのキャリアは負荷として接続されたＰ型ＭＯＳトランジスタＭＰを介して徐々に排出され、ノードＮは再び初期電圧に戻る（クエンチング動作）。
【００４４】
このように、アバランシェフォトダイオードＡＰＤのカソード（ノードＮ）の電位は、フォトンの入射に伴い、キャリア待機状態から、ガイガーモードで大電流が流れて電圧が降下した状態となり、その後再びキャリア待機状態に戻る。ノードＮにおけるこの電圧波形をインバータ回路ＩＮＶにより成形することで、１フォトンの到来時刻を開始点とする信号パルスが生成される。この信号パルスの数を数えることで、いわゆるフォトンカウンティングを行うことができる。
【００４５】
一方、Ｎ型ＭＯＳトランジスタＭＮがオンのとき、アバランシェフォトダイオードＡＰＤのカソード（ノードＮ）の電位は０Ｖとなり、アバランシェフォトダイオードＡＰＤに印加される逆バイアス電圧は、降伏電圧以下の電圧である５０Ｖとなる。この状態では、たとえフォトンの入射により電子が発生したとしても、その電子はアバンシェ増幅を引き起こすことなく、Ｐ型ＭＯＳトランジスタＭＰを介して排出される。素電荷による電流は非常に小さく、Ｐ型ＭＯＳトランジスタＭＰによる電圧の降下は非常に小さいため、インバータ回路ＩＮＶのスレッショルドを超えて信号パルスが出力されることはない。
【００４６】
このように、Ｎ型ＭＯＳトランジスタＭＮは、アバランシェフォトダイオードＡＰＤに印加される電圧を、アバランシェフォトダイオードＡＰＤの降伏電圧よりも高い電圧又は降伏電圧以下の電圧に切り替えるスイッチである。
【００４７】
アバランシェフォトダイオードＡＰＤ１，ＡＰＤ２，ＡＰＤ３は、互いに独立してフォトンの検出が可能であり、インバータ回路ＩＮＶ１，ＩＮＶ２，ＩＮＶ３からは、それぞれ信号パルスが出力される。インバータ回路ＩＮＶ１，ＩＮＶ２，ＩＮＶ３の出力はＯＲ回路１１２で１つに束ねられ、カウンタ回路１２０へと出力される。これにより、カウンタ回路１２０では、アバランシェフォトダイオードＡＰＤ１，ＡＰＤ２，ＡＰＤ３で検出されたフォトンの総数がカウントされることになる。そして、カウンタ回路１２０でカウントされたカウント値は、垂直走査回路２０からの選択信号に応じて選択回路１３０が動作することにより、垂直出力線１６へと出力される。
【００４８】
次に、本実施形態による撮像装置におけるフォトンカウント動作について、図６及び図７を用いてより具体的に説明する。なお、以下に説明する動作時において、ゲイン制御スイッチとしてのＮ型ＭＯＳトランジスタＭＮ１，ＭＮ２，ＭＮ３のゲイン制御信号φＧはローレベルであり、アバランシェフォトダイオードＡＰＤ１，ＡＰＤ２，ＡＰＤ３はガイガーモードで動作するものとする。
【００４９】
図６は、入射するフォトンの数と、カウンタ回路１２０によるフォトンカウント数との

関係を示すグラフである。図６に示すように、入射するフォトンの数が少ないときには、その数をカウンタ回路１２０により正確にカウントすることができる（Ａ領域）。しかしながら、入射するフォトン数が増加すると、カウンタ回路１２０によるフォトンカウント数は、実際に入射したフォトン数よりも少なくなる。極端に光が強く入射するフォトンの数が著しく多い場合には、カウンタ回路１２０によるフォトンカウントができず、フォトンカウント数がゼロになってしまう（Ｂ領域）。

【００５０】

図６に示すような現象が生じる原因について、図７を用いて説明する。図７は、インバータ回路ＩＮＶ１，ＩＮＶ２，ＩＮＶ３及びＯＲ回路１１２の出力電圧の時間変化を示すグラフである。図７（ａ）は図６のＡ領域に該当する場合であり、図７（ｂ）は図６のＢ領域に該当する場合である。

【００５１】

Ａ領域の場合、入射するフォトン数が比較的少ないため、例えば図７（ａ）に示すように、アバランシェフォトダイオードＡＰＤ１，ＡＰＤ２，ＡＰＤ３でフォトンを検出するタイミングが時間的に重なる確率は非常に低い。そのため、インバータ回路ＩＮＶ１，ＩＮＶ２，ＩＮＶ３から出力される信号パルスも時間的に重ならず、ＯＲ回路１１２はアバランシェフォトダイオードＡＰＤ１，ＡＰＤ２，ＡＰＤ３で検出したフォトンの数に相当する数の信号パルスを出力することができる。例えば、図７（ａ）の例では、アバランシェフォトダイオードＡＰＤ１，ＡＰＤ２，ＡＰＤ３が検出したフォトン数（インバータ回路ＩＮＶ１，ＩＮＶ２，ＩＮＶ３の出力パルス数）の５に対し、ＯＲ回路１１２が出力する信号パルス数も５である。

【００５２】

一方、Ｂ領域の場合、入射するフォトン数が多いため、アバランシェフォトダイオードＡＰＤ１，ＡＰＤ２，ＡＰＤ３でフォトンを検出するタイミングが時間的に重なることがある。また、ＯＲ回路１１２の信号パルスが下がりきる前に次のフォトンが入射することで、本来複数の信号パルスとして検出されるべきものが繋がって１つの信号パルスとして検出されることがある。例えば、図７（ｂ）の例では、アバランシェフォトダイオードＡＰＤ１，ＡＰＤ２，ＡＰＤ３が検出したフォトン数（インバータ回路ＩＮＶ１，ＩＮＶ２，ＩＮＶ３の出力パルス数）の１２に対し、ＯＲ回路１１２が出力する信号パルス数は５に減少している。

【００５３】

更に光が強くなると、各インバータ回路ＩＮＶにおいて、信号パルスが立ち上がった後、それが立ち下がる前に再びフォトンを検出することで、次の信号パルスが繋がることが起こりうる。このような現象が各インバータ回路ＩＮＶにおいて生じると、常にいずれかのインバータ回路ＩＮＶ１，ＩＮＶ２，ＩＮＶ３の出力がハイレベルになっている状態となり、ＯＲ回路１１２の出力はハイレベルのまま変化しなくなる。この結果、カウンタ回路１２０において信号パルスをカウントすることができず、フォトンカウント数がゼロになってしまうことが生じる。

【００５４】

このように、フォトンカウンティングでは、１つのフォトンを検出してから次のフォトンを検出できるようになるまでの期間（「デッドタイム」と呼ばれる）によって検出可能なフォトン到来頻度（＝光の強さ）が決定される。

【００５５】

月明かりや星明かりといった非常に暗い状況でもフォトンを検出できるような超高感度の撮像装置を実現するためには、ある程度大きなサイズの画素１２を設けることが考えられる。しかしながら、このように構成した撮像装置では、日中の光の下のような明るい状況ではたとえ絞り機構で光量を落としたとしてもフォトン検出頻度が高くなりすぎ、フォトンカウンティングができなくなる。

【００５６】

このような観点から、本実施形態による撮像装置では、画素１２の各画素要素にゲイン

制御スイッチを設け、一の画素に含まれる複数のアバランシェフォトダイオードＡＰＤの動作状態を個別に設定できるように構成している。ゲイン制御スイッチ（Ｎ型ＭＯＳトランジスタＭＮ）は、複数のアバランシェフォトダイオードを個別にアクティブ状態又は非アクティブ状態に設定する設定手段である。

【００５７】

例えば、図３の回路において、ゲイン制御信号φＧ２をローレベルに設定し、ゲイン制御信号φＧ１，φＧ３をハイレベルに設定する。このようにすることで、アバランシェフォトダイオードＡＰＤ２はアバランシェ増幅が起きる電圧条件に設定し、アバランシェフォトダイオードＡＰＤ１，ＡＰＤ３はアバランシェ増幅が起きない電圧条件に設定することができる。つまり、アバランシェフォトダイオードＡＰＤ２は光に感応する状態（アクティブ状態）となり、アバランシェフォトダイオードＡＰＤ１，ＡＰＤ３は、光に感応しない状態（非アクティブ状態）となる。これにより、アバランシェフォトダイオードＡＰＤ１，ＡＰＤ３のｎ型半導体領域２２６に導かれたキャリアに基づく信号は、フォトンカウンティングに寄与しなくなる。

【００５８】

例えば、図７（ｂ）の例では、インバータ回路ＩＮＶ１，ＩＮＶ３から出力される信号パルス数はともに０となる。この結果、ＯＲ回路１１２から出力される信号パルス数は、インバータ回路ＩＮＶ２から出力される信号パルス数である４と同じになり、正確なフォトンカウンティングが可能となる。

【００５９】

複数のアバランシェフォトダイオードＡＰＤのうち一部を非アクティブ状態にすることは、サイズの小さい低感度の画素に切り替えることと同等である。すなわち、光が弱く非常に暗いシチュエーションにおいては、総てのアバランシェフォトダイオードＡＰＤをガイガーモードに制御して入射したフォトンを余すところなく検出するようにし、超高感度で撮影を行うことができる。一方、日中のように光が強く明るいシチュエーションにおいては、いくつかのアバランシェフォトダイオードＡＰＤを非アクティブ状態に制御し、低感度で撮影を行う。この際、絞りによる光量制御を組み合わせてもよい。このようにすることで、撮影可能な光量範囲を広げることができる。

【００６０】

感度の面内均一性を向上するうえで、アクティブ状態に設定するアバランシェフォトダイオードＡＰＤの数は、総ての画素１２において同じにすることが望ましい。アクティブ状態に設定するアバランシェフォトダイオードＡＰＤの数を総ての画素１２で同じにする方法は、特に限定されるものではない。例えば、図３に示す構成例の場合、Ｎ型ＭＯＳトランジスタＭＮ１，ＭＮ２，ＭＮ３にゲイン制御信号φＧ１，φＧ２，φＧ３を供給する３本の信号線を、各画素１２に共通の信号線とする方法が挙げられる。ゲイン制御信号φＧ１，φＧ２，φＧ３を供給する信号線を各画素１２で別々の信号線とし、アクティブ状態に設定するアバランシェフォトダイオードＡＰＤの数が総ての画素１２で同じになるようにゲイン制御信号φＧ１，φＧ２，φＧ３を設定してもよい。

【００６１】

なお、本実施形態では、一の画素１２に含まれるアバランシェフォトダイオードＡＰＤが３つの場合を例示したが、一の画素１２に含まれるアバランシェフォトダイオードＡＰＤの数は複数であれば特に限定されるものではない。また、アクティブ状態にするアバランシェフォトダイオードＡＰＤの数と非アクティブ状態にするアバランシェフォトダイオードＡＰＤの数との関係は、撮影条件に応じて適宜選択することができる。

【００６２】

アクティブ状態にするアバランシェフォトダイオードＡＰＤの配置は、画素１２毎に異なっていてもよい。図８は、半導体基板２１０を第１面２１２側から見た平面図であり、４つの画素１２のｎ型半導体領域２２４が分離部２２０を介して隣接配置された状態を示している。それぞれの画素１２のｎ型半導体領域２２４には、それぞれ５つのアバランシェフォトダイオードＡＰＤが配されている。図８中、斜線を付した円がアクティブ状態の

アバランシェフォトダイオードＡＰＤを示しており、白抜きの円が非アクティブ状態のアバランシェフォトダイオードＡＰＤを示している。何れの画素１２においても、５つのアバランシェフォトダイオードＡＰＤのうち、３つがアクティブ状態であり、２つが非アクティブ状態である。ただし、アクティブ状態であるアバランシェフォトダイオードＡＰＤの位置は、画素１２毎に異なっている。画素１２の感度を揃えるうえでアクティブ状態に設定するアバランシェフォトダイオードＡＰＤの数は同じにすることが望ましいが、アクティブ状態に設定するアバランシェフォトダイオードＡＰＤの位置は、特に限定されるものではない。

【００６３】

撮像装置１００がデジタル一眼レフカメラ等の撮像システムに搭載される場合、被写体の明るさに応じた制御信号が、撮像システム側から撮像装置１００へと供給される。この場合、例えば制御回路５０が、当該制御信号を受信する制御信号受信部として機能するとともに、当該制御信号に従ってアクティブ状態に設定されるアバランシェフォトダイオードＡＰＤの数を制御する。

【００６４】

このように、本実施形態によれば、１つの画素を複数のアバランシェフォトダイオードで構成し、複数のアバランシェフォトダイオードを個別にアクティブ状態又は非アクティブ状態に設定するので、光電変換ゲインの設定の自由度を向上することができる。また、画素アレイを構成する複数の画素においてアクティブ状態にするアバランシェフォトダイオードの数を同じにすることで、画素の感度を均一化することができ、画質を向上することができる。

【００６５】

［第２実施形態］

本発明の第２実施形態による撮像装置及びその駆動方法について、図９を用いて説明する。第１実施形態による撮像装置と同様の構成要素には同一の符号を付し、説明を省略し或いは簡潔にする。図９は、本実施形態による撮像装置の画素の光電変換信号生成部の構成例を示す回路図である。

【００６６】

本実施形態による撮像装置は、光電変換信号生成部１１０の構成が異なるほかは、第１実施形態による撮像装置と同様である。すなわち、本実施形態による撮像装置の光電変換信号生成部１１０は、図９に示すように、ゲイン制御スイッチとしてのＮ型ＭＯＳトランジスタＭＮ１，ＭＮ２，ＭＮ３を有していない。その代わりに、インバータ回路ＩＮＶ１，ＩＮＶ２，ＩＮＶ３とＯＲ回路１１２との間に、スイッチＳＷ１，ＳＷ２，ＳＷ３を有している。スイッチＳＷ１，ＳＷ２，ＳＷ３は、それぞれゲイン制御信号φＧ１，φＧ２，φＧ３により制御が可能である。例えば、ゲイン制御信号φＧがハイレベルのとき対応するスイッチＳＷがオンになり、ゲイン制御信号φＧがローレベルのとき対応するスイッチＳＷがオフになる。

【００６７】

本実施形態では、電圧ＶＨと電圧ＶＬとの間の電位差である５３．３Ｖの逆バイアス電圧がアバランシェフォトダイオードＡＰＤに常に印加された状態であり、総てのアバランシェフォトダイオードＡＰＤが常にガイガーモードで動作している。そのため、入射するフォトン数が多い場合、インバータ回路ＩＮＶ１，ＩＮＶ２，ＩＮＶ３から出力される信号パルスは、例えば図７（ｂ）に示すようになる。

【００６８】

しかしながら、インバータ回路ＩＮＶ１，ＩＮＶ２，ＩＮＶ３とＯＲ回路１１２との間にはスイッチＳＷ１，ＳＷ２，ＳＷ３が設けられており、ＯＲ回路１１２に接続されるインバータ回路ＩＮＶを任意に選択することができる。例えば、スイッチＳＷ２をオン、スイッチＳＷ１，ＳＷ３をオフに設定することで、インバータ回路ＩＮＶ２から出力される信号パルスだけをＯＲ回路１１２に入力する。これにより、ＯＲ回路１１２から出力される信号パルス数は、インバータ回路ＩＮＶ２から出力される信号パルス数である４と同じ

になり、正確なフォトンカウンティングが可能となる。これにより、第１実施形態と同様の効果を実現することができる。

【００６９】

スイッチＳＷは、必ずしもインバータ回路ＩＮＶとＯＲ回路１１２との間に設ける必要はなく、アバランシェフォトダイオードＡＰＤのカソード端子（ノードＮ）とインバータ回路ＩＮＶとの間に設けてもよい。この場合、インバータ回路ＩＮＶを介してＯＲ回路１１２に接続されるアバランシェフォトダイオードＡＰＤを任意に選択することができ、図９の回路と同様の効果を実現することができる。

【００７０】

このように、スイッチＳＷは、アバランシェフォトダイオードＡＰＤとＯＲ回路１１２との間の接続と非接続とを切り替えるスイッチである。換言すると、スイッチＳＷは、複数のアバランシェフォトダイオードを個別にアクティブ状態又は非アクティブ状態に設定する設定手段でもある。なお、ＯＲ回路１１２は、カウンタ回路１２０の一部とも考えられる。この場合、スイッチＳＷは、アバランシェフォトダイオードＡＰＤとカウンタ回路１２０との間の接続と非接続とを切り替えるスイッチともいえる。

【００７１】

なお、アバランシェフォトダイオードＡＰＤとＯＲ回路１１２との間の接続をスイッチＳＷによって切断すると、スイッチＳＷの出力側の端子はフローティングの状態となる。例えば図９の回路構成では、ＯＲ回路１１２の入力端子のうち、オフにしたスイッチＳＷに接続された入力端子がフローティングの状態となる。この入力端子の電位が外乱等によって変動すると、ＯＲ回路１１２の出力信号に影響し、フォトンカウンティングが正常に行われなくなる虞がある。

【００７２】

したがって、本実施形態のようにアバランシェフォトダイオードＡＰＤとＯＲ回路１１２との間にスイッチＳＷを配する構成の場合、オフ状態のスイッチＳＷの出力側の端子は、所定の電位に固定することが望ましい。例えば、図９の回路構成の場合、オフにしたスイッチＳＷに接続されたＯＲ回路１１２の入力端子の電位をローレベルに固定する。

【００７３】

このように、本実施形態によれば、１つの画素を複数のアバランシェフォトダイオードで構成し、複数のアバランシェフォトダイオードを個別にアクティブ状態又は非アクティブ状態に設定するので、光電変換ゲインの設定の自由度を向上することができる。また、画素アレイを構成する複数の画素においてアクティブ状態にするアバランシェフォトダイオードの数を同じにすることで、画素の感度を均一化することができ、画質を向上することができる。

【００７４】

［第３実施形態］

本発明の第３実施形態による撮像装置の駆動方法について、図１０を用いて説明する。第１及び第２実施形態による撮像装置と同様の構成要素には同一の符号を付し、説明を省略し或いは簡潔にする。図１０は、本実施形態による撮像装置の駆動方法を示す図である。

【００７５】

本実施形態では、第１又は第２実施形態による撮像装置の他の駆動方法を説明する。撮像装置の構成は、第１又は第２実施形態による撮像装置と同様である。

【００７６】

本実施形態による撮像装置の駆動方法では、１画素内におけるアクティブ状態のアバランシェフォトダイオードＡＰＤと非アクティブ状態のアバランシェフォトダイオードＡＰＤとの配置を、時間的に変化する。

【００７７】

図１０（ａ）は、１つの画像を取得するための全体の露光期間を２Ｎ個（Ｎは整数）に分割し、分割した露光期間１、露光期間２、露光期間３、…、露光期間２Ｎを、時間ｔの

経過に従って順次実施する様子を模式的に示している。各露光期間の下に示している「パターン１」、「パターン２」は、対応する露光期間における、アクティブ状態のアバランシェフォトダイオードＡＰＤと非アクティブ状態のアバランシェフォトダイオードＡＰＤとの配置パターンを示している。すなわち、露光期間１ではパターン１を採用し、露光期間２ではパターン２を採用する。以後の露光期間では、パターン１とパターン２とを交互に採用する。

【００７８】

図１０（ｂ）及び図１０（ｃ）は、パターン１及びパターン２の具体例を示している。図１０（ｂ）及び図１０（ｃ）は半導体基板２１０を第１面２１２側から見た平面図であり、ｎ型半導体領域２２４内に配置された１つの画素１２の５つのアバランシェフォトダイオードＡＰＤを示している。図中、斜線を付した円がアクティブ状態のアバランシェフォトダイオードＡＰＤを示しており、白抜きの円が非アクティブ状態のアバランシェフォトダイオードＡＰＤを示している。各アバランシェフォトダイオードＡＰＤを中心として描かれた点線の円は、中心のアバランシェフォトダイオードＡＰＤが集めうるフォトンの範囲を簡易的に示したものである。実際には、各アバランシェフォトダイオードＡＰＤの中間点をおよそのポテンシャルの峰として、峰で囲まれた領域内のフォトンがそれぞれのアバランシェフォトダイオードＡＰＤに集まるようになっている。

【００７９】

パターン１では、中心のアバランシェフォトダイオードＡＰＤに加えて右側の２つのアバランシェフォトダイオードＡＰＤをアクティブ状態とし、右側の領域に入射したフォトンを検出しやすいように動作している。一方、パターン２では、中心のアバランシェフォトダイオードＡＰＤに加えて左側の２つのアバランシェフォトダイオードＡＰＤをアクティブ状態とし、左側の領域に入射したフォトンを検出しやすいように動作している。

【００８０】

１つの画素１２に含まれる複数のアバランシェフォトダイオードＡＰＤのうちの一部のみをアクティブ状態とする場合、画素領域内の特定の領域のみにおいてフォトンが検出される状態が起こりうる。このような場合に、画素１２への光の到達位置が偏っていると、画素１２に入射するフォトン数を正確にカウントできない虞がある。例えば、エリア型のセンサでは、画面の左右の周辺部の画素１２において、左右で光の入射角度が変わってしまい画素１２への光の到達位置が偏ってしまうことがある。

【００８１】

全体の露光期間を複数の露光期間に分割し、各露光期間においてアクティブ状態／非アクティブ状態にするアバランシェフォトダイオードＡＰＤのパターンを変えることで、画素１２への光の到達位置が偏った場合にも、平均的な信号出力を得ることができる。

【００８２】

分割した露光期間毎におけるアクティブ状態のアバランシェフォトダイオードＡＰＤの数や配置は、上記の例に限定されるものではない。例えば、１つの画素１２に含まれるアバランシェフォトダイオードＡＰＤの数は、５つに限られるものではない。また、本実施形態では、露光期間毎に左右に検出エリアを切り替える例を説明したが、上下や対角方向に検出エリアを切り替えるようにしてもよい。また、１つの画素１２に含まれる複数のアバランシェフォトダイオードＡＰＤを１つずつ個別に動作させるようにしてもよい。また、本実施形態では、２種類のパターンを繰り返すようにしたが、３種類以上のパターンを繰り返すようにしてもよい。

【００８３】

このように、本実施形態によれば、１つの画像を取得するための露光期間の間に、１つの画素内でアクティブ状態に設定するアバランシェフォトダイオードの配置を切り替えるので、画素への光の到達位置の偏りによる画質への影響を抑制することができる。

【００８４】

［第４実施形態］

本発明の第４実施形態による撮像装置の駆動方法について、図１１を用いて説明する。

第１乃至第３実施形態による撮像装置と同様の構成要素には同一の符号を付し、説明を省略し或いは簡潔にする。図１１は、本実施形態による撮像装置の駆動方法を示す図である。

【００８５】

本実施形態では、第１又は第２実施形態による撮像装置の他の駆動方法を説明する。撮像装置の構成は、第１又は第２実施形態による撮像装置と同様である。

【００８６】

本実施形態による撮像装置の駆動方法では、第３実施形態の場合と同様、１画素内におけるアクティブ状態のアバランシェフォトダイオードＡＰＤと非アクティブ状態のアバランシェフォトダイオードＡＰＤとの配置を、時間的に変化する。ただし、本実施形態では、分割した露光期間において、必要に応じて、アクティブ状態にするアバランシェフォトダイオードＡＰＤの数を変化する。

【００８７】

図１１（ａ）は、１つの画像を取得するための全体の露光期間を３Ｎ個（Ｎは整数）に分割し、分割した露光期間１、露光期間２、露光期間３、…、露光期間３Ｎを、時間ｔの経過に従って順次実施する様子を模式的に示している。各露光期間の下に示している「パターン１」、「パターン２」、「パターン３」は、対応する露光期間における、アクティブ状態のアバランシェフォトダイオードＡＰＤと非アクティブ状態のアバランシェフォトダイオードＡＰＤとの配置パターンを示している。すなわち、露光期間１ではパターン１を採用し、露光期間２ではパターン２を採用し、露光期間３ではパターン３を採用する。以後の露光期間では、パターン１、パターン２及びパターン３を、この順番で繰り返し採用する。

【００８８】

図１１（ｂ）、図１１（ｃ）及び図１１（ｄ）は、パターン１、パターン２及びパターン３の具体例を示している。図１１（ｂ）、図１１（ｃ）及び図１１（ｄ）は半導体基板２１０を第１面２１２側から見た平面図であり、ｎ型半導体領域２２４内に配置された１つの画素の５つのアバランシェフォトダイオードＡＰＤを示している。図中、斜線を付した円がアクティブ状態のアバランシェフォトダイオードＡＰＤを示しており、白抜きの円が非アクティブ状態のアバランシェフォトダイオードＡＰＤを示している。各アバランシェフォトダイオードＡＰＤを中心として描かれた点線の円は、中心のアバランシェフォトダイオードＡＰＤが集めうるフォトンの範囲を簡易的に示したものである。

【００８９】

パターン１では、中心のアバランシェフォトダイオードＡＰＤと右側の２つのアバランシェフォトダイオードＡＰＤ、計３つのアバランシェフォトダイオードＡＰＤをアクティブ状態としている。パターン２では、中心のアバランシェフォトダイオードＡＰＤと左側の２つのアバランシェフォトダイオードＡＰＤ、計３つのアバランシェフォトダイオードＡＰＤをアクティブ状態としている。パターン３では、中心のアバランシェフォトダイオードＡＰＤを除く計４つのアバランシェフォトダイオードＡＰＤをアクティブ状態としている。換言すると、パターン１及びパターン２では、５つのアバランシェフォトダイオードＡＰＤのうちの３／５をアクティブ状態としている。パターン３では、５つのアバランシェフォトダイオードＡＰＤのうちの４／５をアクティブ状態としている。

【００９０】

このように全体の露光期間を、アクティブ状態のアバランシェフォトダイオードＡＰＤの数を変えながら露光する複数の露光期間に分割することで、感度設定の自由度を向上することができる。例えば、総てのアバランシェフォトダイオードＡＰＤがアクティブ状態であるときの感度を１とした場合に対して、その半分や１／３といった感度に設定することが可能となる。

【００９１】

例えば、露光期間１から露光期間３の間に５つのアバランシェフォトダイオードＡＰＤを総てアクティブ状態にする場合、露光期間１から露光期間３の間にのべ１５個のアバラ

ンシェフォトダイオードＡＰＤがアクティブ状態になる。一方、露光期間１から露光期間３の間におけるパターンを図１１（ｂ）～図１１（ｄ）に示すパターン１からパターン３とする場合、露光期間１から露光期間３の間にのべ１０個のアバランシェフォトダイオードＡＰＤがアクティブ状態になる。

【００９２】

したがって、図１１のように全体の露光期間を設定することで、５つのアバランシェフォトダイオードＡＰＤを総てアクティブ状態にした場合と比較して、感度を２／３に落とすことができる。このような動作をすることによって、カメラにおけるＩＳＯ感度設定のように、例えば「－１／３段」のような感度設定が可能となる。

【００９３】

このように、本実施形態によれば、１つの画像を取得するための露光期間の間に、１つの画素内でアクティブ状態に設定するアバランシェフォトダイオードの配置を切り替えるので、画素の感度設定の自由度を向上することができる。これにより、カメラのＩＳＯ感度設定に応じて画素の感度を適切に設定することが可能となる。

【００９４】

［第５実施形態］

本発明の第５実施形態による撮像装置について、図１２を用いて説明する。第１乃至第４実施形態による撮像装置と同様の構成要素には同一の符号を付し、説明を省略し或いは簡潔にする。図１２は、本実施形態による撮像装置の概略構成を示す断面図である。

【００９５】

前述のように、本発明の撮像装置１００は、例えばアバランシェフォトダイオードＡＰＤが設けられた基板とアバランシェフォトダイオードＡＰＤ以外の他の構成要素が設けられた基板とを貼り合わせることにより構成することができる。本実施形態では、アバランシェフォトダイオードＡＰＤが設けられた基板とアバランシェフォトダイオードＡＰＤ以外の他の構成要素が設けられた基板とを含んで構成される撮像装置１００の一例を示す。

【００９６】

撮像装置１００は、図１２に示すように、アバランシェフォトダイオードＡＰＤが設けられた基板２００と、アバランシェフォトダイオードＡＰＤ以外の他の構成要素が設けられた基板３００とを含む。基板２００は、半導体基板２１０の上に配された絶縁膜２３４上に、必要に応じて更に複数の配線層が形成されたものである。基板２００に設けられた最上層の配線２５０は、絶縁膜２５２の中に配された複数の配線やコンタクトプラグを介して、配線２４２に電気的に接続されている。基板３００は、アバランシェフォトダイオードＡＰＤ以外の他の構成要素を含む制御部３１２が設けられた半導体基板３１０の上に、複数の配線層が形成されたものである。基板３００に設けられた最上層の配線３２０は、絶縁膜３２２の中に配された複数の配線やコンタクトプラグを介して、制御部３１２に電気的に接続されている。基板２００と基板３００とは、基板２００の配線２５０と、基板３００の配線３２０とが接続されるように貼り合わされている。

【００９７】

半導体基板２１０の第２面２１４側には、カラーフィルタ３３０と、マイクロレンズ３４０とが配されている。撮像装置１００に入射する光は、マイクロレンズ３４０及びカラーフィルタ３３０を通過し、半導体基板２１０の第２面２１４側からｎ型半導体領域２２４へと入射するように構成されている。すなわち、本実施形態において、アバランシェフォトダイオードＡＰＤは、裏面照射型の構成である。

【００９８】

本実施形態では、アバランシェフォトダイオードＡＰＤ以外の他の構成要素を、アバランシェフォトダイオードＡＰＤが設けられた基板２００とは別の基板３００に配置しているため、アバランシェフォトダイオードＡＰＤの配置の自由度が向上する。これにより、アバランシェフォトダイオードＡＰＤの開口率を容易に高めることができ、光検出効率を向上することができる。

【００９９】

なお、本実施形態ではアバランシェフォトダイオードＡＰＤを裏面照射型の構成としたが、表面照射型の構成としてもよい。ただし、表面照射型の場合と比べ裏面照射型の場合の方が、基板の最表面付近（光入射の側）で発生した電荷をより高効率で検出できるため、短波長から長波長までブロードな波長帯で高い光検出効率を実現できるという点で好ましい。

【０１００】

［第６実施形態］

本発明の第６実施形態による撮像装置の駆動方法について、図１３及び図１４を用いて説明する。第１乃至第５実施形態による撮像装置と同様の構成要素には同一の符号を付し、説明を省略し或いは簡潔にする。図１３及び図１４は、本実施形態による撮像装置の駆動方法を示すフローチャートである。

【０１０１】

第１乃至第５実施形態で説明した撮像装置は、後述する実施形態で説明するように、種々の撮像システムに適用可能である。本実施形態では、第１乃至第５実施形態で説明した撮像装置を撮像システムに適用した場合の撮像装置の駆動例を説明する。

【０１０２】

図１３は、デジタル一眼レフカメラに代表されるような、静止画を撮影する機能を備えた撮像システムにおける撮像装置の制御フローである。

【０１０３】

デジタル一眼レフカメラは、撮像装置のほかにＡＥセンサなどを別途搭載しており、採光した光の量に応じてカメラが備える設定テーブルなどを参照し、レンズの絞り値、露出時間、ＩＳＯ感度設定を決定するオート設定モードを有している。また、デジタル一眼レフカメラは、ユーザーによる設定に応じて撮影条件を決定するマニュアル設定モードを有している。

【０１０４】

オート設定モードでは、まず、ステップＳ１０１において、ＡＥセンサなどの受光素子を用い、シーンの明るさを検出する。

【０１０５】

次いで、ステップＳ１０２において、ステップＳ１０１で検出したシーンの明るさに基づいて、露光レベルを決定する。

【０１０６】

次いで、ステップＳ１０３において、カメラ内の設定テーブルを参照し、レンズの絞り値（Ａｖ値）、シャッター速度（Ｔｖ値）及びＩＳＯ感度の設定値を、ステップＳ１０２において決定した露出レベルに応じた最適値に設定する。

【０１０７】

次いで、ステップＳ１０４において、ステップＳ１０３で設定されたＩＳＯ感度に応じて、１画素に含まれる複数のアバランシェフォトダイオードＡＰＤのうち、アクティブ状態にするアバランシェフォトダイオードＡＰＤの数を設定する。

【０１０８】

次いで、ステップＳ１０５において、ステップＳ１０３で設定されたシャッター速度（Ｔｖ値）及びステップＳ１０４で設定されたアクティブ状態にするアバランシェフォトダイオードＡＰＤの数に応じて、露光期間における駆動パターンを設定する。

次いで、ステップＳ１０６において、実際の撮影を行う。

【０１０９】

一方、マニュアル設定モードでは、ステップＳ１０７において、ユーザーによるボタン操作などを通じて、任意のＩＳＯ感度の設定入力を受け付ける。その後、上述のステップＳ１０４からステップＳ１０６と同様にして、実際の撮影を行う。

【０１１０】

図１４は、例えばビデオカメラにおける動画撮影のように、シーンの明るさ変化に追従して感度制御を行いながら連続して画像を取得する機能を備えた撮像システムにおける制

御フローである。
【０１１１】
静止画の撮影の際に適用されるようなＡＥセンサを用いた採光は、カメラに入射した光の光路を変更して受光素子に導く必要があるため、動画撮影の場合など、連続して信号を出力する必要がある場合には実施することができない。そのため、動画撮影では、撮影したフレーム画像の信号レベルを判定し、必要に応じて次フレーム以降の設定を変更する。
【０１１２】
ステップＳ２０１において撮影がスタートされると、続くステップＳ２０２において最初のフレーム画像が取得される。
【０１１３】
次いで、ステップＳ２０３において、取得したフレーム画像の指定の領域、例えば中心部分の１００画素×１００画素の領域における画素の信号レベルを平均化した平均信号出力ｘを算出する。
【０１１４】
次いで、ステップＳ２０４において、平均信号出力ｘの閾値判定を行う。具体的には、平均信号出力ｘが、予め定められた信号レベルの下限値Ｌ２と上限値Ｌ１との間の範囲にあるかどうかを判定する。
【０１１５】
その結果、平均信号出力ｘが下限値Ｌ２と上限値Ｌ１との間の範囲にある場合（Ｌ２≦ｘ≦Ｌ１）には、露出は適正であり、露出の設定を変更する必要はないと判断し、ステップＳ２０２に戻って次フレームのフレーム画像を取得する。
【０１１６】
一方、平均信号出力ｘが上限値Ｌ１よりも大きい場合（Ｌ１＜ｘ）は露出オーバーと判断し、また、平均信号出力ｘが下限値Ｌ２よりも小さい場合（ｘ＜Ｌ２）は露出アンダーと判断し、ステップＳ２０５へと移行する。
【０１１７】
ステップＳ２０５では、ステップＳ２０４における露出の判定結果をもとに、レンズの絞り値（Ａｖ値）、シャッター速度（Ｔｖ値）、ＩＳＯ感度の設定値を、最適値に設定する。
【０１１８】
次いで、ステップＳ２０６において、ステップＳ２０５で設定されたＩＳＯ感度に応じて、１画素に含まれる複数のアバランシェフォトダイオードＡＰＤのうち、アクティブ状態にするアバランシェフォトダイオードＡＰＤの数を設定する。
【０１１９】
次いで、ステップＳ２０７において、ステップＳ２０５で設定されたシャッター速度（Ｔｖ値）及びステップＳ２０７で設定されたアクティブ状態にするアバランシェフォトダイオードＡＰＤの数に応じて、露光期間における駆動パターンを設定する。
次いで、ステップＳ２０２に戻り、次フレームのフレーム画像を取得する。
【０１２０】
なお、このフローに従うと、動画の１フレームごとに露出を制御することになるが、実際の運用においては、例えば１０フレームの撮影ごとに１回、露出の設定を見直すというような動作も可能である。
【０１２１】
［第７実施形態］
本発明の第７実施形態による撮像システムについて、図１５を用いて説明する。第１乃至第６実施形態による撮像装置と同様の構成要素には同一の符号を付し説明を省略し或いは簡潔にする。図１５は、本実施形態による撮像システムの概略構成を示すブロック図である。
【０１２２】
上記第１乃至第６実施形態で述べた撮像装置１００は、種々の撮像システムに適用可能

である。適用可能な撮像システムの例としては、デジタルスチルカメラ、デジタルカムコーダ、監視カメラ、複写機、ファックス、携帯電話、車載カメラ、観測衛星などが挙げられる。また、レンズなどの光学系と撮像装置とを備えるカメラモジュールも、撮像システムに含まれる。図１５には、これらのうちの一例として、デジタルスチルカメラのブロック図を例示している。

【０１２３】

図１５に例示した撮像システム４００は、撮像装置４０２、被写体の光学像を撮像装置４０２に結像させるレンズ４０４、レンズ４０４を通過する光量を可変にするための絞り４０６、レンズ４０４の保護のためのバリア４０８を有する。レンズ４０４及び絞り４０６は、撮像装置４０２に光を集光する光学系である。撮像装置４０２は、第１乃至第６実施形態で説明した撮像装置１００であって、レンズ４０４により結像された光学像を画像データに変換する。

【０１２４】

撮像システム４００は、また、撮像装置４０２より出力される出力信号の処理を行う信号処理部４１０を有する。信号処理部４１０は、撮像装置４０２が出力するアナログ信号をデジタル信号に変換するＡＤ変換を行う。また、信号処理部４１０はその他、必要に応じて各種の補正、圧縮を行って画像データを出力する動作を行う。信号処理部４１０の一部であるＡＤ変換部は、撮像装置４０２が設けられた半導体基板（例えば、半導体基板３１０）に形成されていてもよいし、撮像装置４０２とは別の半導体基板に形成されていてもよい。また、撮像装置４０２と信号処理部４１０とが同一の半導体基板に形成されていてもよい。

【０１２５】

撮像システム４００は、さらに、画像データを一時的に記憶するためのメモリ部４１２、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）４１４を有する。さらに撮像システム４００は、撮像データの記録又は読み出しを行うための半導体メモリ等の記録媒体４１６、記録媒体４１６に記録又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）４１８を有する。なお、記録媒体４１６は、撮像システム４００に内蔵されていてもよく、着脱可能であってもよい。

【０１２６】

さらに撮像システム４００は、全体制御・演算部４２０、タイミング発生部４２２、ゲイン制御部４２４を有する。全体制御・演算部４２０は、各種演算やデジタルスチルカメラの全体の制御を司る。タイミング発生部４２２は、撮像装置４０２や信号処理部４１０に各種タイミング信号を出力する。ゲイン制御部４２４は、撮像装置４０２のゲイン設定を制御するとともに、そのゲイン設定情報を信号処理部４１０及びタイミング発生部４２２に伝える役割を担っている。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、撮像システム４００は少なくとも撮像装置４０２と、撮像装置４０２から出力された出力信号を処理する信号処理部４１０とを有すればよい。

【０１２７】

撮像装置４０２は、撮像信号を信号処理部４１０に出力する。信号処理部４１０は、撮像装置４０２から出力される撮像信号に対して所定の信号処理を実施し、画像データを出力する。信号処理部４１０は、撮像信号を用いて、画像を生成する。

【０１２８】

第１乃至第６実施形態による撮像装置１００を適用することにより、幅広い明るさの範囲で良質な画像を取得しうる撮像システムを実現することができる。

【０１２９】

［第８実施形態］

本発明の第８実施形態による撮像システム及び移動体について、図１６を用いて説明する。図１６は、本実施形態による撮像システム及び移動体の構成を示す図である。

【０１３０】

図１６（ａ）は、車載カメラに関する撮像システムの一例を示したものである。撮像シ

ステム５００は、撮像装置５１０を有する。撮像装置５１０は、上記第１乃至第６実施形態のいずれかに記載の撮像装置１００である。撮像システム５００は、撮像装置５１０により取得された複数の画像データに対し、画像処理を行う画像処理部５１２と、撮像システム５００により取得された複数の画像データから視差（視差画像の位相差）の算出を行う視差算出部５１４を有する。また、撮像システム５００は、算出された視差に基づいて対象物までの距離を算出する距離計測部５１６と、算出された距離に基づいて衝突可能性があるか否かを判定する衝突判定部５１８と、を有する。ここで、視差算出部５１４や距離計測部５１６は、対象物までの距離情報を取得する距離情報取得手段の一例である。すなわち、距離情報とは、視差、デフォーカス量、対象物までの距離等に関する情報である。衝突判定部５１８はこれらの距離情報のいずれかを用いて、衝突可能性を判定してもよい。距離情報取得手段は、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。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。

【０１３１】

撮像システム５００は車両情報取得装置５２０と接続されており、車速、ヨーレート、舵角などの車両情報を取得することができる。また、撮像システム５００は、衝突判定部５１８での判定結果に基づいて、車両に対して制動力を発生させる制御信号を出力する制御装置である制御ＥＣＵ５３０が接続されている。また、撮像システム５００は、衝突判定部５１８での判定結果に基づいて、ドライバーへ警報を発する警報装置５４０とも接続されている。例えば、衝突判定部５１８の判定結果として衝突可能性が高い場合、制御ＥＣＵ５３０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５４０は音等の警報を鳴らす、カーナビゲーションシステムなどの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。

【０１３２】

本実施形態では、車両の周囲、例えば前方又は後方を撮像システム５００で撮像する。図１６（ｂ）に、車両前方（撮像範囲５５０）を撮像する場合の撮像システムを示した。車両情報取得装置５２０が、撮像システム５００ないしは撮像装置５１０に指示を送る。このような構成により、測距の精度をより向上させることができる。

【０１３３】

上記では、他の車両と衝突しないように制御する例を説明したが、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、撮像システム５００は、自車両等の車両に限らず、例えば、船舶、航空機ある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。

【０１３４】

［変形実施形態］

本発明は、上記実施形態に限らず種々の変形が可能である。

例えば、いずれかの実施形態の一部の構成を他の実施形態に追加した例や、他の実施形態の一部の構成と置換した例も、本発明の実施形態である。

【０１３５】

また、図４に示したアバランシェフォトダイオードは一例であり、本発明に適用可能なアバランシェフォトダイオードの構造は、図４に示すものに限定されるものではない。また、アバランシェフォトダイオードが有する特性も、図５に示すものに限定されるものではない。アバランシェフォトダイオードを駆動する電源の電圧は、アバランシェフォトダイオードの特性に応じて適宜選択されるべきものである。

【０１３６】

また、上記実施形態では、１つの画素の複数のアバランシェフォトダイオードＡＰＤを

、１つのｎ型半導体領域２２４内に配置しているが、アバランシェフォトダイオードＡＰＤ毎に別々のｎ型半導体領域２２４内に配置してもよい。

【０１３７】

また、第７及び第８実施形態に示した撮像システムは、本発明の撮像装置を適用しうる撮像システムを例示したものであり、本発明の撮像装置を適用可能な撮像システムは図１５及び図１６に示した構成に限定されるものではない。

【０１３８】

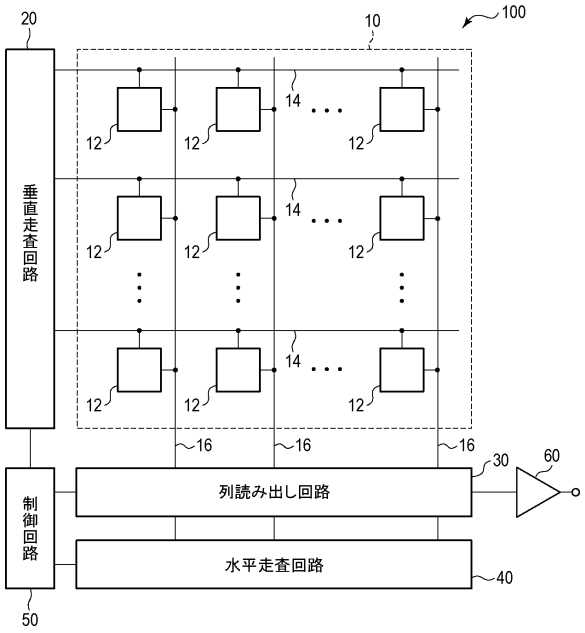
なお、上記実施形態は、何れも本発明を実施するにあたっての具体化の例を示したものに過ぎず、これらによって本発明の技術的範囲が限定的に解釈されてはならないものである。すなわち、本発明はその技術思想、又はその主要な特徴から逸脱することなく、様々な形で実施することができる。

【符号の説明】

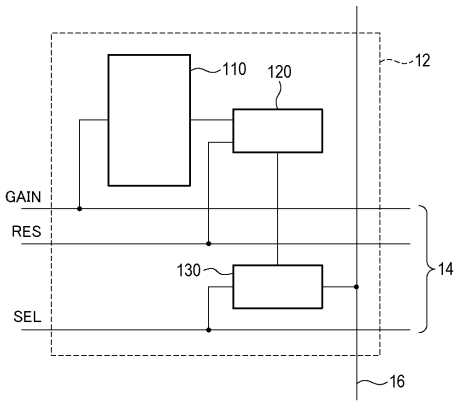
【０１３９】

ＡＰＤ…アバランシェフォトダイオード
ＩＮＶ…インバータ回路
ＭＮ…Ｎ型ＭＯＳトランジスタ（ゲイン制御スイッチ）
ＭＰ…Ｐ型ＭＯＳトランジスタ（クエンチング抵抗）
ＳＷ…スイッチ
１２…画素
１００…撮像装置
１２０…カウンタ回路
４００，５００…撮像システム
４２４…ゲイン制御部

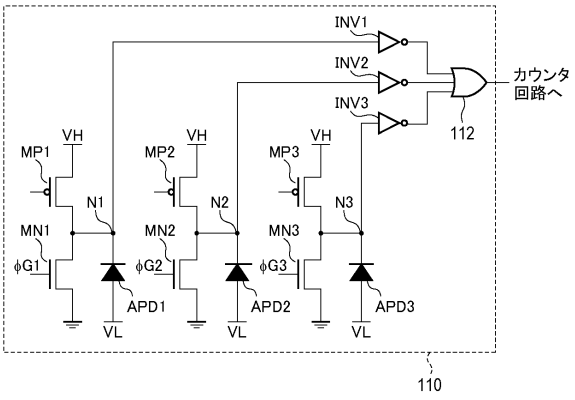
【図１】



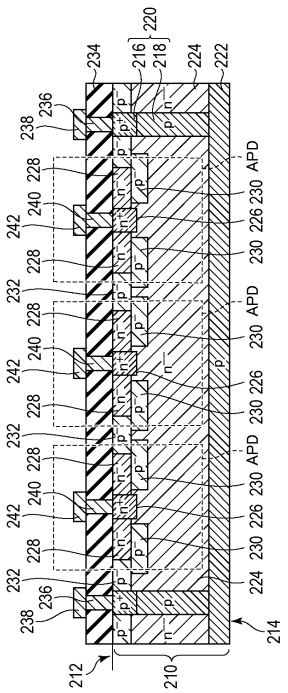

【図２】



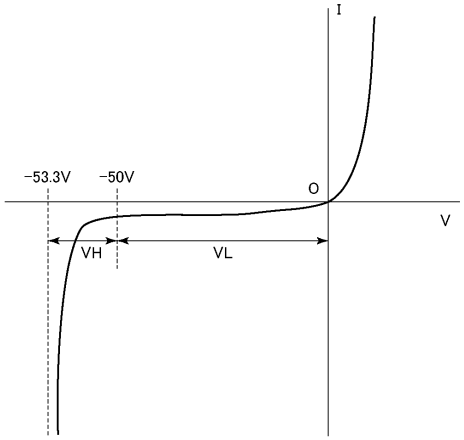

【図３】



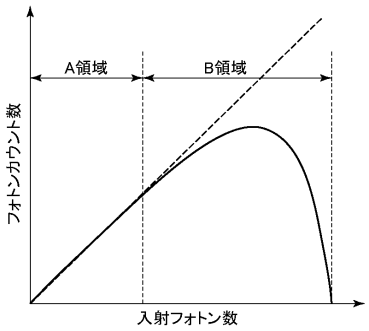
【図４】



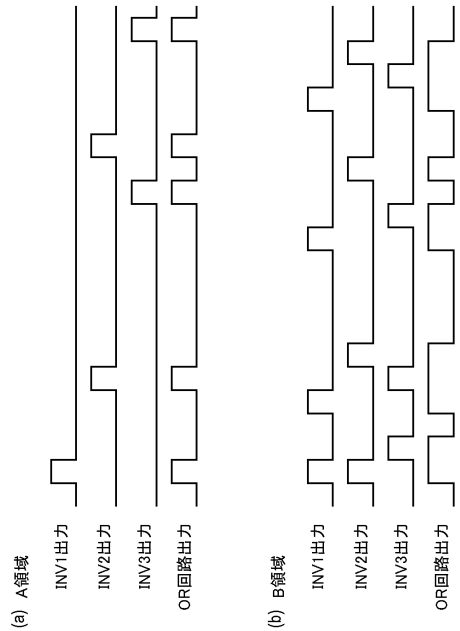

【図５】



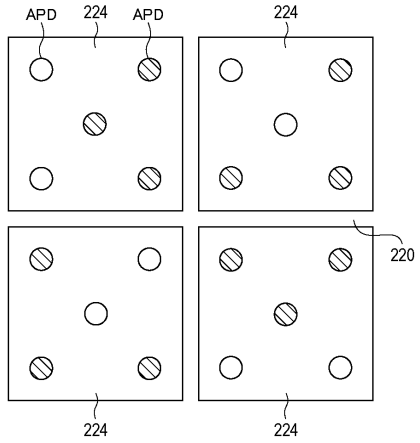

【図６】



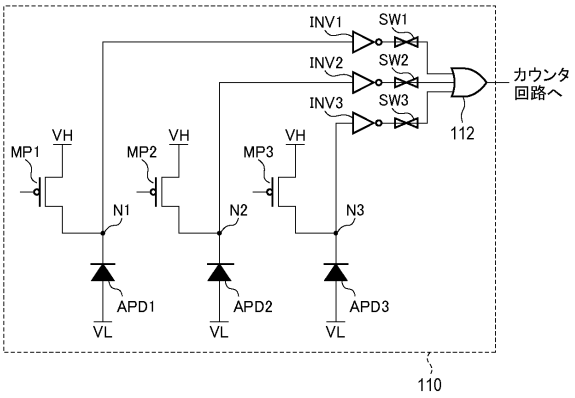

【図７】



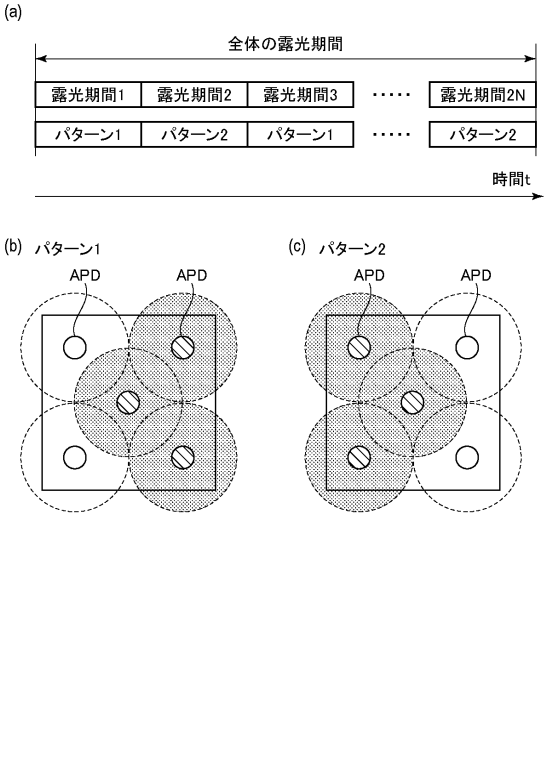

【図８】



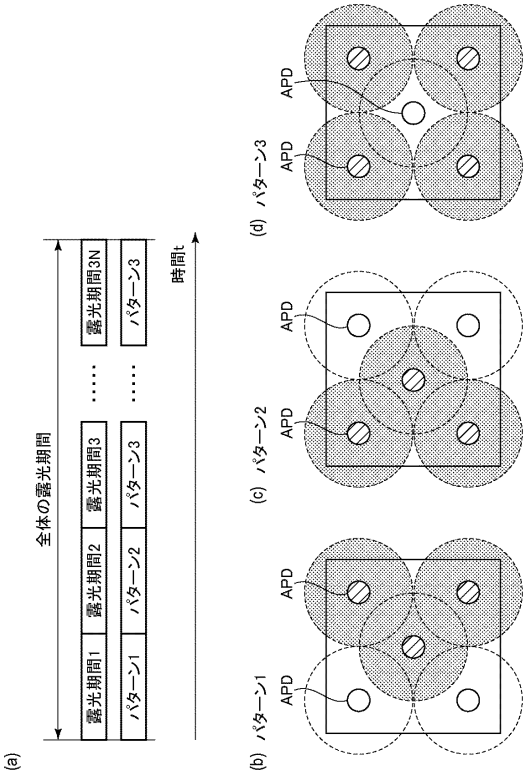

【図９】



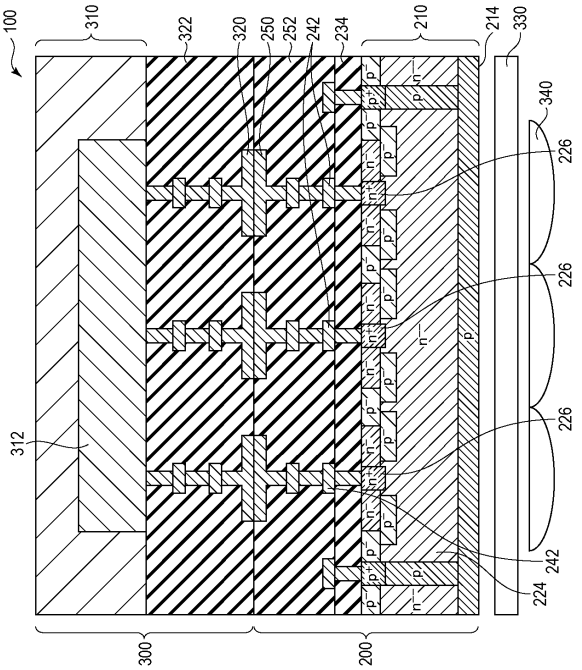
【図１０】



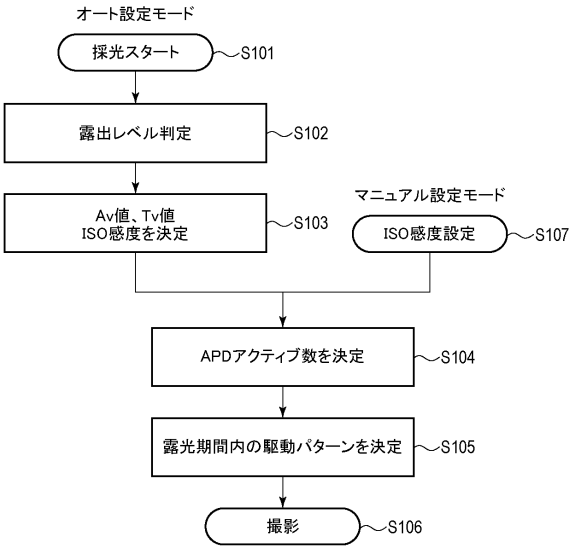

【図１１】



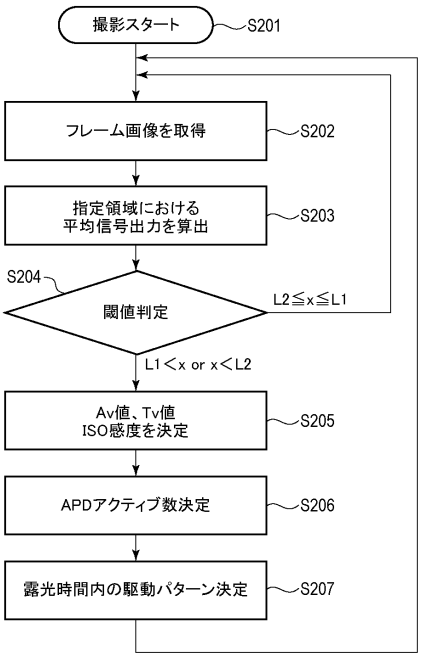

【図１２】



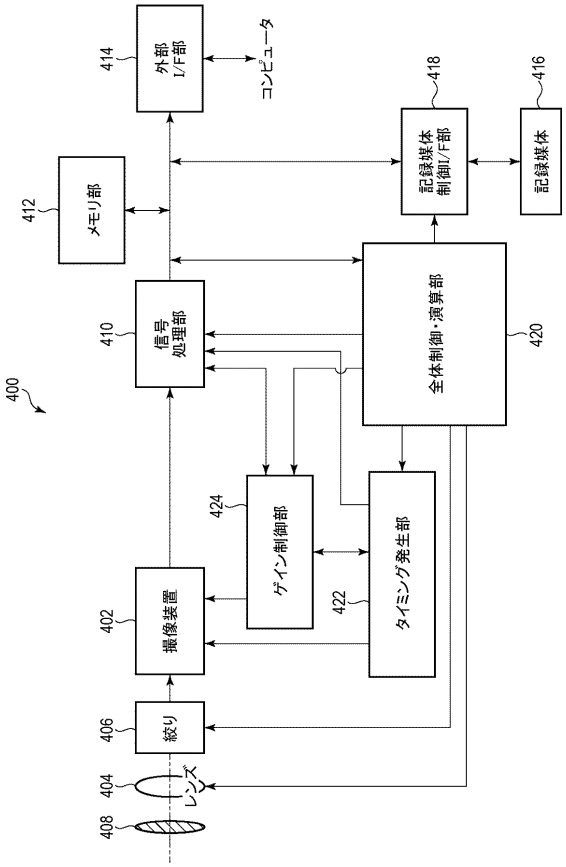

【図１３】



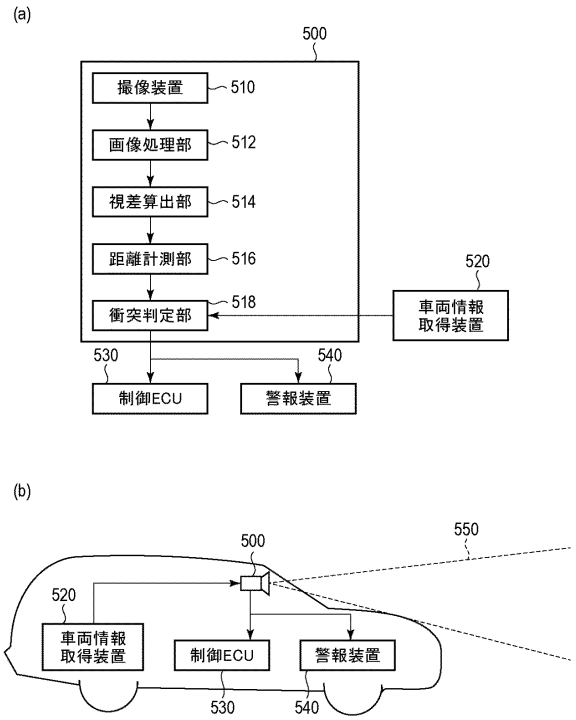
【図１４】


撮影スタート
S201
フレーム画像を取得
S202
指定領域における
平均信号出力を算出
S203
S204
閾値判定
L2≦x≦L1
L1＜x or x＜L2
Av値、Tv値
ISO感度を決定
S205
APDアクティブ数決定
S206
露光時間内の駆動パターン決定
S207

【図１５】


400
402
404
406
408
410
412
414
416
418
420
422
424
外部
I/F部
コンピュータ
メモリ部
記録媒体
制御I/F部
記録媒体
信号
処理部
全体制御・演算部
ゲイン制御部
タイミング発生部
撮像装置
絞り
レンズ

【図１６】


(a)
500
撮像装置
510
画像処理部
512
視差算出部
514
距離計測部
516
衝突判定部
518
520
車両情報
取得装置
530
制御ECU
540
警報装置
(b)
500
550
520
車両情報
取得装置
制御ECU
警報装置
530
540

フロントページの続き

審査官　大室　秀明

(56)参考文献　特開２０１３－０２０９７２（ＪＰ，Ａ）
特表２００８－５３８６０６（ＪＰ，Ａ）
米国特許出願公開第２０１５／０１１５１３１（ＵＳ，Ａ１）
国際公開第２０１７／０９８７２５（WO，Ａ１）

(58)調査した分野(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ０１Ｊ　１／００－１／６０
Ｇ０１Ｊ１１／００
Ｇ０１Ｔ　１／００－１／１６
Ｇ０１Ｔ　１／１６７－７／１２
Ｈ０１Ｌ２１／３３９
Ｈ０１Ｌ２７／１４－２７／１４８
Ｈ０１Ｌ２７／３０
Ｈ０１Ｌ２９／７６２
Ｈ０４Ｎ　５／３０－５／３７８