

【公報種別】特許法第17条の2の規定による補正の掲載

【部門区分】第7部門第3区分

【発行日】令和3年9月2日(2021.9.2)

【公開番号】特開2020-17861(P2020-17861A)

【公開日】令和2年1月30日(2020.1.30)

【年通号数】公開・登録公報2020-004

【出願番号】特願2018-139621(P2018-139621)

【国際特許分類】

H 0 4 N 5/3745 (2011.01)

G 0 1 J 1/42 (2006.01)

G 0 1 J 1/44 (2006.01)

H 0 1 L 31/10 (2006.01)

【F I】

H 0 4 N 5/3745 5 0 0

G 0 1 J 1/42 H

G 0 1 J 1/44 P

G 0 1 J 1/44 H

H 0 1 L 31/10 A

【手続補正書】

【提出日】令和3年7月21日(2021.7.21)

【手続補正1】

【補正対象書類名】特許請求の範囲

【補正対象項目名】全文

【補正方法】変更

【補正の内容】

【特許請求の範囲】

【請求項1】

フォトンの入射に応じて、出力電圧が変動する受光素子と、
前記出力電圧を互いに異なる複数の参照電圧とそれぞれ比較し、前記出力電圧が前記参照電圧を超える1回の変動につき、信号を1つ出力する比較手段と、
前記出力電圧と前記複数の参照電圧それぞれとの比較により前記比較手段から出力された信号の数を、参照電圧ごとにカウントして、カウント値を出力するカウント手段と
を有する複数の画素を含むことを特徴とする撮像素子。

【請求項2】

前記比較手段は、
前記出力電圧を予め決められた第1の参照電圧と比較し、前記出力電圧が前記第1の参照電圧を超える1回の変動につき、信号を1つ出力する第1の比較手段と、
前記出力電圧を、前記第1の参照電圧と異なる予め決められた第2の参照電圧と比較し、前記出力電圧が前記第2の参照電圧を超える1回の変動につき、信号を1つ出力する第2の比較手段と、を有し、
前記カウント手段は、
前記第1の比較手段から出力された信号の数をカウントして、第1のカウント値を出力する第1のカウント手段と、
前記第2の比較手段から出力された信号の数をカウントして、第2のカウント値を出力する第2のカウント手段と
を有することを特徴とする請求項1に記載の撮像素子。

【請求項3】

前記複数の参照電圧は、第1の参照電圧と、前記第1の参照電圧と異なる第2の参照電

圧とを含み、

前記複数の画素はそれぞれ、前記第1の参照電圧および前記第2の参照電圧を切り替えて、前記比較手段に供給する切り替え手段を更に有し、

前記カウント手段は、前記出力電圧を前記第1の参照電圧と比較したときに前記比較手段から出力された信号の数をカウントして、第1のカウント値を出力すると共に、前記出力電圧を前記第2の参照電圧と比較したときに前記比較手段から出力された信号の数をカウントして、第2のカウント値を出力することを特徴とする請求項1に記載の撮像素子。

【請求項4】

前記複数の画素は、前記撮像素子の全ての画素であることを特徴とする請求項1乃至3のいずれか1項に記載の撮像素子。

【請求項5】

フォトンの入射に応じて、出力電圧が変動する受光素子をそれぞれ有する複数の第1の画素と複数の第2の画素とを含む画素アレイを有し、

前記第1の画素は、

第1の参照電圧を生成する第1の生成手段と、

前記出力電圧を前記第1の参照電圧と比較し、前記出力電圧が前記第1の参照電圧を超える1回の変動につき、信号を1つ出力する第1の比較手段と、

前記第1の比較手段から出力された信号の数をカウントして、第1のカウント値を出力する第1のカウント手段と、を含み、

前記第2の画素は、

前記第1の参照電圧と異なる第2の参照電圧を生成する第2の生成手段と、

前記出力電圧を前記第2の参照電圧と比較し、前記出力電圧が前記第2の参照電圧を超える1回の変動につき、信号を1つ出力する第2の比較手段と、

前記第2の比較手段から出力された信号の数をカウントして、第2のカウント値を出力する第2のカウント手段と、を含む

ことを特徴とする撮像素子。

【請求項6】

フォトンが入射していない場合の前記出力電圧と前記第1の参照電圧との差が、フォトンが入射していない場合の前記出力電圧と前記第2の参照電圧との差よりも小さいことを特徴とする請求項2、3、5のいずれか1項に記載の撮像素子。

【請求項7】

前記受光素子はガイガーモードで駆動されたアバランシェフォトダイオードであって、前記画素は更にクエンチ抵抗を含むことを特徴とする請求項1乃至6のいずれか1項に記載の撮像素子。

【請求項8】

前記参照電圧ごとに得られたカウント値の差が予め決められた閾値以上である画素を、飽和した画素と判定する判定手段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項に記載の撮像素子。

【請求項9】

前記飽和した画素と判定された画素から、予め決められたカウント値を前記撮像素子の外部に出力することを特徴とする請求項8に記載の撮像素子。

【請求項10】

請求項1乃至9のいずれか1項に記載の撮像素子と、

信号処理手段と

を有することを特徴とする撮像装置。

【請求項11】

請求項1乃至7のいずれか1項に記載の撮像素子と、

前記撮像素子から出力された前記参照電圧ごとに得られたカウント値の差が予め決められた閾値以上である画素を、飽和した画素と判定する判定手段と

を有することを特徴とする撮像装置。

【請求項 1 2】

光量調節部材を有し、
前記飽和した画素と判定された画素の数が予め決められた数以上の場合に、前記光量調節部材により、前記受光素子に入射する光量を制限することを特徴とする請求項 1 1 に記載の撮像装置。

【請求項 1 3】

請求項 8 または 9 に記載の撮像素子と、
光量調節部材を有し、
前記飽和した画素と判定された画素の数が予め決められた数以上の場合に、前記光量調節部材により、前記受光素子に入射する光量を制限することを特徴とする撮像装置。

【請求項 1 4】

フォトンに入射に応じて出力電圧が変動する複数の受光素子から出力される信号の信号処理方法であって、
比較手段が、前記出力電圧を互いに異なる複数の参照電圧の少なくとも一つと比較し、前記出力電圧が前記参照電圧を超える 1 回の変動につき、信号を 1 つ出力する比較工程と、
カウント手段が、前記出力電圧と前記複数の参照電圧との比較により出力された信号の数を前記参照電圧ごとにカウントして、カウント値を出力するカウント工程と、
判定手段が、前記参照電圧ごとに得られたカウント値の差が予め決められた閾値以上である画素を、飽和した画素と判定する判定工程と
を有することを特徴とする信号処理方法。

【請求項 1 5】

フォトンに入射に応じて出力電圧が変動する複数の受光素子と、前記出力電圧を互いに異なる複数の参照電圧の少なくとも一方と比較し、前記出力電圧が前記参照電圧を超える 1 回の変動につき、信号を 1 つ出力する比較手段と、前記出力電圧と前記複数の参照電圧との比較により出力された信号の数を、前記参照電圧ごとにカウントして、カウント値を出力するカウント手段と、を有する複数の画素を含む撮像素子から出力される信号の信号処理方法であって、
入力手段が、前記参照電圧ごとに得られたカウント値を入力する入力工程と、
判定手段が、前記参照電圧ごとに得られたカウント値の差が予め決められた閾値以上である画素を、飽和した画素と判定する判定工程と、
を有することを特徴とする信号処理方法。

【手続補正 2】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 0 0 7

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0 0 0 7】

A P D のアノード端は G N D に接続されており、カソード端はクエンチ抵抗に接続されている。そして、クエンチ抵抗を介して、電圧 H V D D による逆バイアス電圧が印加される。このとき電圧 H V D D と G N D の電圧差は A P D をガイガーモードにする為にブレークダウン電圧以上となるように設定する。

【手続補正 3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 0 0 8

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0 0 0 8】

図 9 (b) は、A P D をガイガーモードで動作させているときの概念図である。フォトン入射待ちをしているときは、動作 A の開始点の状態 にいる。ここで A P D にフォト

ンが入射すると、APDではアバランシェ現象が発生しAPDに大電流が流れる。電流が流れると同時にクエンチ抵抗によって、APDのカソード端の電圧降下が発生する。これはAPDのI-V特性において逆バイアスが低下したことになり、状態が動作Aのように遷移する。APDのカソード端の電圧降下により、APDに印加される逆バイアス電圧が降伏電圧未満となってアバランシェ現象が止まる（状態 ）。アバランシェ現象が止まり動作Bに遷移したのち、APDのカソード端は電圧HVDDによりチャージされ、再び動作Aの開始点の状態__に戻る（動作C）。

【手続補正4】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0017

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0017】

上記目的を達成するために、本発明の撮像素子は、フォトンが入射に応じて、出力電圧が変動する受光素子と、前記出力電圧を互いに異なる複数の参照電圧とそれぞれ比較し、前記出力電圧が前記参照電圧を超える1回の変動につき、信号を1つ出力する比較手段と、前記出力電圧と前記複数の参照電圧それぞれとの比較により前記比較手段から出力された信号の数を、前記参照電圧ごとにカウントして、カウント値を出力するカウント手段とを有する複数の画素を含む。

【手続補正5】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0023

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0023】

メカニカルシャッタ203と、その後段の絞り204（光量調節部材）は、撮像素子206へ入射する光の照射時間を機械的に制御する露光量調整機構である。メカニカルシャッタ203及び絞り204は、シャッタ・絞り駆動部205によって駆動制御される。

【手続補正6】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0036

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0036】

APD102のアノード端はGNDに接続されており、カソード端はクエンチ抵抗101に接続されている。そしてAPD102には、クエンチ抵抗101を介して、電圧HVDDによる逆バイアス電圧が印加される。このとき電圧HVDDとGNDの電圧差は、APD102をガイガーモードにする為にブレイクダウン電圧以上となるように設定される。

【手続補正7】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0043

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0043】

図4(a)に示す通り、第1コンパレータ103、第2コンパレータ104の参照電圧 V_{thA} と V_{thB} は、フォトン入射待機状態時の電圧 V_0 とアバランシェ現象が発生した時の最も低い電圧 V_{min} との間の値である。また、参照電圧 V_{thB} は、参照電圧 V_{thA} よりも小さい値（ $V_{thB} < V_{thA}$ ）となるように設定される。

【手続補正8】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0044

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0044】

時刻 t_1 ~ 時刻 t_7 は、それぞれ APD102 に光子 P_1 ~ P_7 が入射したタイミングを示している。時刻 t_1 ~ 時刻 t_2 、時刻 t_6 ~ 時刻 t_7 、時刻 t_7 ~ 時刻 t_8 の期間は、デッドタイムより長い間隔で光子 P_1 、 P_6 、 P_7 が入射している。そのため、光子 P_1 、 P_6 、 P_7 により、電圧 V_{APD} はそれぞれ電圧 V_0 から V_{min} まで変動し、APD102 のカソードは電圧 $HVDD$ によりチャージされ再び光子入射待機状態の電圧 V_0 に収束する。

【手続補正9】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0045

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0045】

一方、時刻 t_2 ~ 時刻 t_4 及び時刻 t_4 ~ 時刻 t_6 の期間は、デッドタイムより短い間隔で光子 P_2 、 P_3 、 P_4 、 P_5 が入射している。そのため、光子 P_2 、 P_4 により、電圧 V_{APD} はそれぞれ電圧 V_0 から V_{min} まで変動するが、電圧 V_0 へと収束しきる前に光子 P_3 、 P_5 によるアバランシェ現象で再び電圧 V_{min} に到達する。その後、電圧 $HVDD$ によりチャージされて光子入射待機状態の電圧 V_0 に収束する。

【手続補正10】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0055

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0055】

撮像素子206の全ての画素303 ($1 \leq X \leq x_{max}$, $1 \leq Y \leq y_{max}$,) について $S_{10} \sim S_{17}$ の処理を行い、判定フラグ $J(x, y)$ 及び画素出力値 $I_{out}(x, y)$ を求める。

【手続補正11】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0057

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0057】

また、飽和画素総数 KAS は、撮像信号処理回路207を経て全体制御演算部210へ送られる。全体制御演算部210では、飽和画素総数 KAS が所定数以上である場合、撮像素子206に入射している光子の入射数が多すぎると判断して絞り204を1段絞るようシャッタ・絞り駆動部205へと指令を出す。なお、本発明はこれに限られるものではなく、例えば、NDフィルタなどの光学素子を用いて減光制御しても良い。

【手続補正12】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0066

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0066】

APD702のアノード端は GND に接続されており、カソード端はクエンチ抵抗701に接続されている。そしてAPD702には、クエンチ抵抗701を介して、電圧 $HVDD$ による逆バイアス電圧が印加される。このとき電圧 $HVDD$ と GND の電圧差は、 A

P D 7 0 2 をガイガーモードにする為にブレイクダウン電圧以上となるように設定される。

【手続補正 1 3】

【補正対象書類名】明細書

【補正対象項目名】0 0 7 9

【補正方法】変更

【補正の内容】

【0 0 7 9】

< 第 2 の実施形態の変形例 >

上述した第 2 の実施形態では、撮像素子 2 0 6 内の全ての画素 3 0 3 が図 7 に示す構成を有し、参照電圧を切り替えて用いるものとして説明した。これに対し、本変形例では、異なる参照電圧を利用する別の構成について説明する。なお、本変形例における画素 3 0 3 は、図 9 (a) に示すものと同様の構成を有するが、コンパレータに参照電圧 V_{thA} 及び V_{thB} のいずれかを供給する。