

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6853652号
(P6853652)

(45) 発行日 令和3年3月31日 (2021.3.31)

(24) 登録日 令和3年3月16日 (2021.3.16)

(51) Int.Cl. F I
H 0 4 N 5/355 (2011.01) H 0 4 N 5/355

請求項の数 14 (全 22 頁)

| | | | |
|-----------|------------------------------|-----------|-----------------------------|
| (21) 出願番号 | 特願2016-217501 (P2016-217501) | (73) 特許権者 | 000001007 |
| (22) 出願日 | 平成28年11月7日 (2016.11.7) | | キヤノン株式会社 |
| (65) 公開番号 | 特開2018-78394 (P2018-78394A) | | 東京都大田区下丸子3丁目30番2号 |
| (43) 公開日 | 平成30年5月17日 (2018.5.17) | (74) 代理人 | 110003281 |
| 審査請求日 | 令和1年10月23日 (2019.10.23) | | 特許業務法人大塚国際特許事務所 |
| | | (72) 発明者 | 内藤 雄一 |
| | | | 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 | 橘 高志 |

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 放射線撮像装置、放射線撮像システム、放射線撮像装置の駆動方法およびプログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第1の感度および前記第1の感度よりも低い第2の感度で放射線を検出する複数の画素を含む放射線撮像装置であって、

前記複数の画素のそれぞれは、

入射する放射線に応じた電荷を生成する変換素子で生成された電荷を蓄積する容量と、前記変換素子とスイッチ素子を介して接続された追加容量と、を含み、前記スイッチ素子をオフ動作させることによって前記第1の感度で動作し、前記スイッチ素子をオン動作させることによって前記第2の感度で動作し、

前記放射線撮像装置への放射線の照射の開始に応じて、前記第1の感度で、照射された放射線に応じた信号を蓄積するための動作を開始し、

前記信号を蓄積するための動作の開始から、放射線が照射される期間よりも短い第1の時間の経過後、蓄積された信号を第1の信号としてサンプリングし、

次いで、前記スイッチ素子を前記オン動作させて前記第2の感度に切り替え、照射された放射線に応じた信号を蓄積し、前記放射線撮像装置への放射線の照射の終了に応じて、前記オン動作させた前記スイッチ素子を前記オフ動作させた後、蓄積された信号を第2の信号としてサンプリングし、

前記第1の信号および前記第2の信号に基づいた放射線画像を生成するために、前記第1の信号および前記第2の信号を出力することを特徴とする放射線撮像装置。

【請求項 2】

10

20

前記放射線撮像装置は、処理部を更に含み、

前記複数の画素のそれぞれは、前記第 1 の信号および前記第 2 の信号を前記処理部に出
力し、

前記処理部は、前記第 1 の信号および前記第 2 の信号に基づいて前記放射線画像を生成
することを特徴とする請求項 1 に記載の放射線撮像装置。

【請求項 3】

前記処理部は、信号を蓄積するための動作の開始から前記第 1 の信号をサンプリングす
るまでの時間と、信号を蓄積するための動作の開始から前記第 2 の信号をサンプリングす
るまでの時間と、に応じた係数を前記第 1 の信号および前記第 2 の信号の少なくとも一方
に適用し、少なくとも一方に前記係数が適用された前記第 1 の信号および前記第 2 の信号
に基づいて前記放射線画像を生成することを特徴とする請求項 2 に記載の放射線撮像装置
。

10

【請求項 4】

前記処理部は、信号を蓄積するための動作の開始から前記第 1 の信号をサンプリングす
るまでの時間と、信号を蓄積するための動作の開始から前記第 2 の信号をサンプリングす
るまでの時間と、に応じた係数を前記第 2 の信号に適用し、

前記第 1 の信号の大きさが第 1 の大きさよりも小さい場合、前記第 1 の信号に基づい
て前記放射線画像を生成し、

前記第 1 の信号の大きさが前記第 1 の大きさよりも小さい第 2 の大きさよりも小さい
場合、前記係数が適用された前記第 2 の信号に基づいて前記放射線画像を生成し、

20

前記第 1 の信号の大きさが前記第 1 の大きさ以下かつ前記第 2 の大きさ以上の場合、
前記第 1 の信号および前記係数が適用された前記第 2 の信号に基づいて前記放射線画像を
生成することを特徴とする請求項 2 に記載の放射線撮像装置。

【請求項 5】

前記処理部は、前記第 1 の信号から取得される実効的な放射線の線量と、前記第 2 の信
号から取得される実効的な放射線の線量と、に応じた係数を前記第 1 の信号および前記第
2 の信号の少なくとも一方に適用し、少なくとも一方に前記係数が適用された前記第 1 の
信号および前記第 2 の信号に基づいて前記放射線画像を生成することを特徴とする請求項
2 に記載の放射線撮像装置。

【請求項 6】

30

前記複数の画素のそれぞれは、前記第 2 の信号をサンプリングした後、前記第 1 の信号
および前記第 2 の信号を出力することを特徴とする請求項 1 乃至 5 の何れか 1 項に記載の
放射線撮像装置。

【請求項 7】

前記複数の画素のそれぞれは、

前記第 1 の信号をサンプリングした後かつ前記第 2 の信号をサンプリングするまでの
間に前記第 1 の信号を出力し、

前記第 2 の信号をサンプリングした後、前記第 2 の信号を出力することを特徴とする
請求項 1 乃至 5 の何れか 1 項に記載の放射線撮像装置。

【請求項 8】

40

前記放射線撮像装置は、ユーザによって設定される撮像情報に応じて、前記第 1 の時間
を決定することを特徴とする請求項 1 乃至 7 の何れか 1 項に記載の放射線撮像装置。

【請求項 9】

請求項 1 乃至 8 の何れか 1 項に記載の放射線撮像装置と、
放射線を発生するための放射線発生装置と、
を備えることを特徴とする放射線撮像システム。

【請求項 10】

第 1 の感度および前記第 1 の感度よりも低い第 2 の感度で放射線を検出する複数の画素
を含む放射線撮像装置の駆動方法であって、

前記複数の画素のそれぞれは、入射する放射線に応じた電荷を生成する変換素子で生成

50

された電荷を蓄積する容量と、前記変換素子とスイッチ素子を介して接続された追加容量と、を含み、前記スイッチ素子をオフ動作させることによって前記第1の感度で動作し、前記スイッチ素子をオン動作させることによって前記第2の感度で動作し、

前記放射線撮像装置への放射線の照射の開始に応じて、前記複数の画素のそれぞれに前記第1の感度で、照射された放射線に応じた信号を蓄積するための動作を開始させる第1の工程と、

前記信号を蓄積するための動作の開始から、放射線が照射される期間よりも短い第1の時間の経過後、前記複数の画素のそれぞれにおいて蓄積された信号を第1の信号としてサンプリングさせる第2の工程と、

次いで、前記スイッチ素子を前記オン動作させて前記複数の画素のそれぞれを前記第2の感度に切り替え、照射された放射線に応じた信号を蓄積させ、前記放射線撮像装置への放射線の照射の終了に応じて、前記オン動作させた前記スイッチ素子を前記オフ動作させた後、前記複数の画素のそれぞれにおいて蓄積された信号を第2の信号としてサンプリングさせる第3の工程と、

前記第1の信号および前記第2の信号に基づいた放射線画像を生成するために、前記複数の画素のそれぞれから前記第1の信号および前記第2の信号を出力させる第4の工程と、

を含むことを特徴とする駆動方法。

【請求項11】

前記第1の工程と前記第2の工程と前記第3の工程と前記第4の工程とを、この順で繰り返すことによって動画を撮像することを特徴とする請求項10に記載の駆動方法。

【請求項12】

コンピュータに、請求項10または11に記載の駆動方法の各工程を実行させるためのプログラム。

【請求項13】

第1の感度および前記第1の感度よりも低い第2の感度で放射線を検出する複数の画素を含む放射線撮像装置であって、

前記複数の画素のそれぞれは、

前記放射線撮像装置への放射線の照射の開始に応じて、前記第1の感度で、照射された放射線に応じた信号を蓄積するための動作を開始し、

信号を蓄積するための動作の開始から、放射線が照射される期間よりも短い第1の時間の経過後、蓄積された信号を第1の信号としてサンプリングし、次いで、前記第2の感度に切り替え、照射された放射線に応じた信号を蓄積し、

前記放射線撮像装置への放射線の照射の終了に応じて、蓄積された信号を第2の信号としてサンプリングし、

前記第1の信号および前記第2の信号に基づいた放射線画像を生成するために、前記第1の信号および前記第2の信号を出力し、

前記放射線撮像装置は、処理部を更に含み、

前記複数の画素のそれぞれは、前記第1の信号および前記第2の信号を前記処理部に出力し、

前記処理部は、信号を蓄積するための動作の開始から前記第1の信号をサンプリングするまでの時間と、信号を蓄積するための動作の開始から前記第2の信号をサンプリングするまでの時間と、に応じた係数を前記第2の信号に適用し、

前記第1の信号の大きさが第1の大きさよりも小さい場合、前記第1の信号に基づいて前記放射線画像を生成し、

前記第1の信号の大きさが前記第1の大きさよりも小さい第2の大きさよりも小さい場合、前記係数が適用された前記第2の信号に基づいて前記放射線画像を生成し、

前記第1の信号の大きさが前記第1の大きさ以下かつ前記第2の大きさ以上の場合、前記第1の信号および前記係数が適用された前記第2の信号に基づいて前記放射線画像を生成することを特徴とする放射線撮像装置。

10

20

30

40

50

【請求項 1 4】

第 1 の感度および前記第 1 の感度よりも低い第 2 の感度で放射線を検出する複数の画素を含む放射線撮像装置であって、

前記複数の画素のそれぞれは、

前記放射線撮像装置への放射線の照射の開始に応じて、前記第 1 の感度で、照射された放射線に応じた信号を蓄積するための動作を開始し、

信号を蓄積するための動作の開始から、放射線が照射される期間よりも短い第 1 の時間の経過後、蓄積された信号を第 1 の信号としてサンプリングし、次いで、前記第 2 の感度に切り替え、照射された放射線に応じた信号を蓄積し、

前記放射線撮像装置への放射線の照射の終了に応じて、蓄積された信号を第 2 の信号としてサンプリングし、

前記第 1 の信号および前記第 2 の信号に基づいた放射線画像を生成するために、前記第 1 の信号および前記第 2 の信号を出力し、

前記放射線撮像装置は、処理部を更に含み、

前記複数の画素のそれぞれは、前記第 1 の信号および前記第 2 の信号を前記処理部に出力し、

前記処理部は、前記第 1 の信号から取得される実効的な放射線の線量と、前記第 2 の信号から取得される実効的な放射線の線量と、に応じた係数を前記第 1 の信号および前記第 2 の信号の少なくとも一方に適用し、少なくとも一方に前記係数が適用された前記第 1 の信号および前記第 2 の信号に基づいて前記放射線画像を生成することを特徴とする放射線撮像装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、放射線撮像装置、放射線撮像システム、放射線撮像装置の駆動方法およびプログラムに関する。

【背景技術】

【0002】

光電変換素子と薄膜トランジスタ (TFT) などのスイッチ素子とを組み合わせた画素がアレイ状に配された平面型の画素パネルを含む放射線撮像装置が広く利用されている。特許文献 1 には、ダイナミックレンジを確保するために、光電変換素子として用いるフォトダイオード (PD) のピクセル静電容量と、PD にスイッチ素子を介して接続された低感度用コンデンサと、を用いた X 線検出器が示されている。X 線の照射後に、まず、ピクセル静電容量に集められた電荷がサンプリングされる。次いで、PD と低感度用コンデンサとの間のスイッチ素子をオン動作させ、ピクセル静電容量と低感度用コンデンサとの間で電荷を再分配した後、再度サンプリングを行う。1 回の X 線の照射に対して感度の範囲の異なる 2 つの信号を読み出すことによって、ダイナミックレンジを拡大することができる。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開 2014 - 60725 号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

特許文献 1 に示される X 線検出器では、X 線の照射後に信号電荷をサンプリングするため、入射する線量が多い場合や蓄積時間が長い場合、蓄積される電荷量が多くなり、X 線の照射中にピクセル静電容量が飽和してしまう可能性がある。より高感度に撮像するためには、少ない電荷の変化に対して感度を有するようにピクセル静電容量を小さくする必要があるため、ピクセル静電容量がより飽和しやすくなる。ピクセル静電容量が飽和した場

10

20

30

40

50

合、得られる放射線画像のリニアリティが悪化する。

【 0 0 0 5 】

本発明は、放射線撮像装置においてダイナミックレンジを拡大するのに有利な技術を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【 0 0 0 6 】

上記課題に鑑みて、本発明の実施形態に係る放射線撮像装置は、第1の感度および第1の感度よりも低い第2の感度で放射線を検出する複数の画素を含む放射線撮像装置であって、複数の画素のそれぞれは、入射する放射線に応じた電荷を生成する変換素子で生成された電荷を蓄積する容量と、変換素子とスイッチ素子を介して接続された追加容量と、を含み、スイッチ素子をオフ動作させることによって第1の感度で動作し、スイッチ素子をオン動作させることによって第2の感度で動作し、放射線撮像装置への放射線の照射の開始に応じて、第1の感度で、照射された放射線に応じた信号を蓄積するための動作を開始し、前記信号を蓄積するための動作の開始から、放射線が照射される期間よりも短い第1の時間の経過後、蓄積された信号を第1の信号としてサンプリングし、次いで、前記スイッチ素子を前記オン動作させて第2の感度に切り替え、照射された放射線に応じた信号を蓄積し、放射線撮像装置への放射線の照射の終了に応じて、前記オン動作させた前記スイッチ素子を前記オフ動作させた後、蓄積された信号を第2の信号としてサンプリングし、第1の信号および第2の信号に基づいた放射線画像を生成するために、第1の信号および第2の信号を出力することを特徴とする。

【発明の効果】

【 0 0 0 7 】

上記手段によって、放射線撮像装置においてダイナミックレンジを拡大するのに有利な技術を提供する。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 0 8 】

【図1】本発明の実施形態に係る撮像装置のシステム構成例を示す図。

【図2】図1の撮像装置の画素の構成例を示す図。

【図3】図1の撮像装置の駆動の制御例を示すタイミングチャート。

【図4】図1の撮像装置のセンサユニットの構成例を示す図。

【図5】図1の撮像装置の読出部の構成例を示す図。

【図6】図1の撮像装置の画像処理方法を示すフローチャート。

【図7】図1の撮像装置の画素の構成例を示す図。

【図8】図1の撮像装置の駆動の制御例を示すタイミングチャート。

【図9】図1の撮像装置の駆動の制御例を示すタイミングチャート。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 0 9 】

以下、本発明に係る放射線撮像装置の具体的な実施形態を、添付図面を参照して説明する。以下の説明及び図面において、複数の図面に渡って共通の構成については共通の符号を付している。そのため、複数の図面を相互に参照して共通する構成を説明し、共通の符号を付した構成については適宜説明を省略する。なお、本発明における放射線には、放射線崩壊によって放出される粒子（光子を含む）の作るビームである線、線、線などの他に、同程度以上のエネルギーを有するビーム、例えばX線や粒子線、宇宙線なども含む。

【 0 0 1 0 】

第1の実施形態

図1～6を参照して、本発明の実施形態による放射線撮像装置の構成、及び、駆動方法について説明する。図1は、本発明の第1の実施形態における放射線撮像装置100を備える放射線撮像システムSYSの全体構成例を示すシステムブロック図である。放射線撮像システムSYSは、放射線撮像装置100、システム制御部101、表示部102、照

射制御部 103 および放射線源 104 を含む。

【0011】

放射線撮像装置 100 は、放射線撮像によって被検体の内部情報を示す画像データを取得し、画像データをシステム制御部 101 に出力する。システム制御部 101 は、放射線撮像装置 100 から出力された画像データに対して画像処理やデータ処理を行う処理部として機能する。また、システム制御部 101 は、それぞれのユニット間で制御信号の授受を行い、放射線撮像装置 100 や照射制御部 103 を含む放射線撮像システム S Y S 全体のシステム制御や同期制御を行う制御部としても機能する。表示部 102 は、例えばディスプレイを含み、放射線撮像装置 100 からシステム制御部 101 を介して出力される画像データに基づいて、放射線画像を表示する。例えば、放射線照射に対応したフレーム画像データが、放射線撮像装置 100 からシステム制御部 101 に転送され、システム制御部 101 で画像処理が行われた後、表示部 102 に放射線画像がリアルタイムに表示される。

10

【0012】

照射制御部 103 は、放射線撮像の際に、放射線撮像装置 100 と同期するようにシステム制御部 101 から制御される。照射制御部 103 は、システム制御部 101 から出力される制御信号に応じて、放射線の照射を行うための信号を放射線発生装置である放射線源 104 に出力する。放射線源 104 は、照射制御部 103 から出力される信号に応じて、放射線撮像を行うための放射線を発生する。換言すると、システム制御部 101 は、放射線撮像装置の放射線撮像装置 100 へ放射線を照射するための放射線源 104 に、照射制御部 103 を介して放射線の照射を制御するための信号を出力する。

20

【0013】

放射線撮像装置 100 は、センサパネル 105 と読出部 R O と制御部 109 とを含む。読出部 R O は、センサパネル 105 から出力される画像用信号を読み出す。制御部 109 は、システム制御部 101 との間で制御信号などの信号の授受を行いながら放射線撮像装置 100 内の各ユニットを制御する。

【0014】

センサパネル 105 には、複数のセンサユニット 106 が配列される。それぞれのセンサユニット 106 は、例えば、シリコンウェーハなどの半導体の基板を用いて公知の半導体製造プロセスによって作製され、C M O S 型の撮像素子である画素が 2 次元アレイ状に配されたセンサチップである。それぞれのセンサユニット 106 は、被検体の内部情報を示す画像用信号を取得するための撮像領域を有する。また、それぞれのセンサユニット 106 は、撮像領域の他に、遮光されたオプティカルブラック領域を有していてもよい。それぞれのセンサユニット 106 は、ダイシングなどによって物理的に分離されたものでありうる。換言すると、センサパネル 105 に配される複数のセンサユニット 106 は、それぞれのセンサユニット 106 ごとに分離可能な構成を有しうる。複数のセンサユニット 106 を不図示の板状の基台の上にタイリングすることによって、センサパネル 105 を大型化することが可能となる。センサユニット 106 に形成される画素の変換素子は、互いに隣接するセンサユニット 106 の境界を挟んで、センサユニット 106 内部と同等のピッチで配されるように、それぞれのセンサユニット 106 がタイリングされる。図 1 に示す構成では、説明を容易にするため、センサユニット 106 が 2 行 × 7 列タイリングされた構成を示すが、センサパネル 105 の構成は、この構成に限られるものではない。

30

40

【0015】

センサパネル 105 の放射線を照射するための入射面の側には、例えば、放射線を光に変換するシンチレータ（不図示）が配され、センサパネル 105 のそれぞれのセンサユニットに配された画素によって、放射線から変換された光に応じた電気信号が得られる。本実施形態では、放射線をシンチレータによって光に変換し、変換された光を光電変換する間接型の変換素子を備える画素を用いた撮像装置の構成例を示すが、放射線を直接、電気信号に変換する直接型の変換素子を用いた撮像装置であってもよい。

【0016】

50

読出部 R O は、例えば、差動アンプ 1 0 7 とアナログデジタル (A / D) 変換を行う A / D 変換器 1 0 8 と、を含む。差動アンプ 1 0 7 および A / D 変換器 1 0 8 の構成および動作については後述する。

【 0 0 1 7 】

センサパネル 1 0 5 の上辺部、及び、下辺部には、信号の授受、または、電源の供給を行うための電極が配される。電極は、フライングリード式プリント配線板 (不図示) などによって外部回路に接続される。例えば、センサパネル 1 0 5 からの画像用信号は、電極を介して読出部 R O によって読み出され、また、制御部 1 0 9 からの制御信号は、電極を介してセンサパネル 1 0 5 に供給される。

【 0 0 1 8 】

制御部 1 0 9 は、センサパネル 1 0 5、差動アンプ 1 0 7、A / D 変換器 1 0 8 の動作を制御し、例えば、それぞれのセンサユニット 1 0 6 に供給する基準電圧の設定やそれぞれの画素の駆動制御、動作モード制御を行う。また、制御部 1 0 9 は、読出部の A / D 変換器 1 0 8 によって A / D 変換されたセンサパネル 1 0 5 の各センサから出力された画像用信号 (デジタルデータ) を用いて単位期間ごとに 1 つのフレームデータを生成する。生成されたフレームデータは、画像データとしてシステム制御部 1 0 1 に出力される。

【 0 0 1 9 】

制御部 1 0 9 とシステム制御部 1 0 1 との間では、各種インタフェースを介して、制御コマンドなどの制御信号や画像データなどの授受が行われる。制御用インタフェース 1 1 0 は、駆動モードや各種パラメータなどの撮像情報や設定情報の授受を行うためのインタフェースである。また、制御用インタフェース 1 1 0 は、放射線撮像装置 1 0 0 の動作状態などの装置情報の授受を行ってもよい。画像データインタフェース 1 1 1 は、放射線撮像装置 1 0 0 から出力される画像用信号に基づく画像データをシステム制御部 1 0 1 に出力するためのインタフェースである。また、制御部 1 0 9 は、放射線撮像装置 1 0 0 が撮像可能な状態になったことを R E A D Y 信号 1 1 2 によってシステム制御部 1 0 1 に通知する。システム制御部 1 0 1 は、制御部 1 0 9 から出力される R E A D Y 信号 1 1 2 に応じて、放射線の照射開始 (曝射) のタイミングを、同期信号 1 1 3 によって制御部 1 0 9 に通知する。システム制御部 1 0 1 は、制御部 1 0 9 から出力される曝射許可信号 1 1 4 がイネーブル状態の間に、照射制御部 1 0 3 に制御信号を出力し、放射線の照射を開始させる。

【 0 0 2 0 】

以上のような構成によって、放射線撮像システム S Y S における各ユニットの制御、例えば駆動制御、同期制御、駆動モード制御などがなされる。例えば、システム制御部 1 0 1 に、ユーザが動作モードや各種パラメータなどの撮像情報などを入力するための情報入力部や情報入力端末などの入力部 (不図示) が接続されていてもよく、各ユニットの制御は、ユーザによって入力された撮像情報に基づいてなされる。例えば、システム制御部 1 0 1 は、駆動モード設定部として機能し、ユーザの入力した撮像情報に基づいて駆動モードを選択し、放射線撮像システム S Y S が動作するように放射線撮像システム S Y S 全体を制御する。そして、放射線撮像装置 1 0 0 は、センサパネル 1 0 5 から読み出された画素からの画像用信号を、1 つ 1 つの単位期間ごとにフレームデータを生成し、画像用信号に基づいた画像データとしてシステム制御部 1 0 1 に出力する。システム制御部 1 0 1 は、画像データに対して所定の画像処理やデータ処理を行い、画像データに基づく放射線画像を表示部 1 0 2 に表示させる。

【 0 0 2 1 】

放射線撮像システム S Y S における各ユニットは、上記構成に限られるものではなく、各ユニットの構成は、目的などに応じて、適宜変更されてもよい。例えば、システム制御部 1 0 1 と照射制御部 1 0 3 などの 2 つ以上のユニットの各機能が、1 つのユニットによって達成されてもよい。また例えば、本実施形態において、放射線撮像装置 1 0 0 とシステム制御部 1 0 1 とは、別々のユニットとして示されているが、これに限られることはない。放射線撮像装置 1 0 0 は、放射線撮像装置 1 0 0 の備える各機能に加え、システム制

10

20

30

40

50

御部 101 や表示部 102、照射制御部 103 の一部またはすべての機能を含んでいてもよい。例えば、システム制御部 101 の画像処理を行う処理部としての機能が放射線撮像装置 100 に含まれるなど、あるユニットの一部の機能が、他のユニットによって達成されてもよい。また例えば、システム制御部 101 の画像処理を行う処理部として機能と、システム制御を行う制御部としての機能とが、それぞれ別のユニットによって達成されるなど、それぞれのユニットが、機能によって別のユニットに分かれていてもよい。

【0022】

図 2 は、センサパネル 105 のそれぞれのセンサユニット 106 に配される 1 つの画素 P I X の回路構成例を示している。図 2 において、フォトダイオード P D は光電変換素子であり、入射する放射線に応じて前述のシンチレータで生じた光を電気信号に変換する。具体的には、シンチレータで生じた光の光量に応じた量の電荷がフォトダイオード P D で発生する。本実施形態において、上述のように間接型の変換素子を用いたセンサパネル 105 を考えており、放射線を検出するための検出素子としてフォトダイオード P D を用いる構成を示したが、これに限られることはない。放射線を検出するための検出素子として、例えば、放射線を直接電気信号に変換する直接型の変換素子を用いてもよい。

【0023】

容量 C f d は、フォトダイオード P D で発生した電荷を蓄積するためのフローティングディフュージョン（浮遊拡散領域）の容量である。また、容量 C f d には、フォトダイオード P D に寄生する寄生容量も含まれる。トランジスタ M 1 は、画素 P I X の放射線に対する感度を切り替えるためのスイッチ素子である。容量 C f d 1 は、画素 P I X の感度切り替え用の追加容量であり、トランジスタ M 1 を介してフォトダイオード P D に接続される。この構成によって、それぞれの画素 P I X において、フォトダイオード P D で生成された電荷を蓄積するための容量の容量値が変更可能となり、画素 P I X の放射線に対する感度が切り替えられる。

【0024】

トランジスタ M 2 は、フォトダイオード P D、容量 C f d、容量 C f d 1 に蓄積された電荷を放電させるためのリセットスイッチである。トランジスタ M 4 は、ソースフォロアとして動作するための増幅 M O S トランジスタ（画素アンプ）である。トランジスタ M 3 はトランジスタ M 4 を動作状態とさせるための選択スイッチである。

【0025】

トランジスタ M 4 の後段には、フォトダイオード P D を含む光電変換部で発生する k T C ノイズを除去するためのクランプ回路が設けられる。容量 C c 1 はクランプ容量であり、トランジスタ M 5 は、クランプ用のクランプスイッチである。トランジスタ M 7 は、ソースフォロアとして動作する増幅 M O S トランジスタ（画素アンプ）である。トランジスタ M 6 はトランジスタ M 7 を動作状態とするための選択スイッチである。

【0026】

トランジスタ M 7 の後段には、3 つのサンプルホールド回路が設けられた保持部が配される。トランジスタ M 8、M 11 は、それぞれ放射線から変換された光によって生成される画像用信号である光信号を蓄積するためのサンプルホールド回路を構成するサンプルホールドスイッチである。容量 C S 1 および容量 C S 2 は、光信号用ホールド容量である。トランジスタ M 14 は基準電圧の信号を蓄積するためのサンプルホールド回路を構成するサンプルホールドスイッチである。容量 C N は、基準信号用ホールド容量である。トランジスタ M 10、M 13 は、ソースフォロアとして動作する光信号の増幅 M O S トランジスタ（画素アンプ）である。アナログスイッチ M 9、M 12 は、トランジスタ M 10 およびトランジスタ M 13 で増幅された光信号を、それぞれ光信号出力部 S 1、S 2 へ出力するための転送スイッチである。トランジスタ M 16 は、ソースフォロアとしての動作する基準信号の増幅 M O S トランジスタ（画素アンプ）である。アナログスイッチ M 15 は、トランジスタ M 16 で増幅された基準信号を基準信号出力部 N へ出力するための転送スイッチである。

【0027】

信号 E N は、トランジスタ M 3、M 6 のゲートに接続され、トランジスタ M 4、M 7 の動作状態を制御するための制御信号である。信号 E N がハイレベルのとき、トランジスタ M 4、M 7 は同時に動作状態となる。信号 P R E S は、トランジスタ M 2 のゲートに接続され、トランジスタ M 2 の動作状態を制御するための制御信号（リセット信号）である。信号 P R E S がハイレベルのとき、トランジスタ M 2 はオン動作し、フォトダイオード P D、容量 C f d、C f d 1 に蓄積された電荷を放電させる。信号 P C L は、トランジスタ M 5 のゲートに接続され、トランジスタ M 5 を制御するための制御信号である。信号 P C L がハイレベルのとき、トランジスタ M 5 がオン動作し、容量 C c 1 を基準電圧 V C L にセットする。信号 T S 1 は、トランジスタ M 8 のゲートに接続され、光信号のサンプルホールドを制御する制御信号である。信号 T S 1 をハイレベルとし、トランジスタ M 8 をオン動作させることで、光信号がトランジスタ M 7 を介して容量 C S 1 に一括転送される。次いで、すべての画素 P I X 一括で信号 T S 1 をローレベルとし、トランジスタ M 8 をオフ動作させることで、サンプルホールド回路の容量 C S 1 への光信号のサンプリングが完了する。信号 T S 2 信号は、トランジスタ M 1 1 のゲートに接続され、信号 T S 1 と同様に動作し、サンプルホールド回路の容量 C S 2 への光信号のサンプリングを行う。信号 T N は、トランジスタ M 1 4 のゲートに接続され、基準信号のサンプルホールドを制御する制御信号である。信号 T N をハイレベルとし、トランジスタ M 1 4 をオン動作させることで、基準信号がトランジスタ M 7 を介して容量 C N に一括転送される。次いで、すべての画素一括で信号 T N をローレベルとし、トランジスタ M 1 4 をオフ動作させることで、サンプルホールド回路の容量 C N への基準信号のサンプリングが完了する。容量 C S 1、C S 2、C N へのサンプルホールド後は、トランジスタ M 8、M 1 1、M 1 4 がオフとなり、容量 C S 1、C S 2、C N は、前段の蓄積回路と切り離される。このため、再度サンプリングを行うまで蓄積された光信号、基準信号は、それぞれアナログスイッチ M 9、1 2、1 5 を導通状態にすることによって、非破壊で読み出すことができる。つまり、トランジスタ M 8、M 1 1、M 1 4 を非導通状態にしている間、保持している光信号および基準信号を、任意のタイミングで読み出すことができる。

【 0 0 2 8 】

図 3 は、図 2 に示す画素 P I X が配された放射線撮像装置において、ダイナミックレンジを拡大し、固定フレームレートで 1 つのフレームあたりの放射線の照射時間に制限がある場合の、動画を撮像する駆動例を示すタイミングチャートである。以下、動画撮像において、画素 P I X の動作開始から光信号用ホールド容量である容量 C S 1、C S 2 および基準信号用ホールド容量である容量 C N に電荷がサンプリングされるまでの制御信号のタイミングについて、図 3 を用いて説明する。

【 0 0 2 9 】

まず、時刻 t 1 において動画撮像、静止画撮像などの駆動モードや、感度、蓄積時間、放射線の照射時間などの各種パラメータなど撮像情報の設定および撮像開始の設定がなされる。撮像情報の設定は、ユーザが駆動モードや各種パラメータを 1 つ 1 つ入力してもよい。また例えば、撮像情報の設定は、システム制御部 1 0 1 が複数の撮像条件が保存されたメモリを有し、ユーザが複数の撮像条件の中から適宜、選択することによって撮像情報として設定してもよい。

【 0 0 3 0 】

次いで、時刻 t 2 から撮像のための駆動が開始される。まず、時刻 t 2 で始まるリセット駆動 R について説明する。リセット駆動 R は、それぞれの画素 P I X のリセットとクランプとを行う駆動である。まず、時刻 t 2 で、システム制御部 1 0 1 からの同期信号 1 1 3 がハイレベルになったことを制御部 1 0 9 が検知すると、信号 E N をハイレベルにし、画素アンプであるトランジスタ M 4、画素アンプであるトランジスタ M 7 をオン状態にする。次に、信号 W I D E と信号 P R E S をハイレベルにし、感度を切り替えるためのトランジスタ M 1 をオン動作させた状態で、フォトダイオード P D を基準電圧 V R E S に接続する。次いで、信号 P C L をハイレベルにすることによってクランプスイッチであるトランジスタ M 5 をオン動作させ、クランプ容量である容量 C c 1 のトランジスタ M 7 側を基

10

20

30

40

50

準電圧VCLに接続する。同時に、信号TS1、TS2、TNをハイレベルにし、トランジスタM8、M11、M14をオン動作させる。

【0031】

次いで、時刻t3で、信号WIDEをローレベルにしてトランジスタM1をオフ動作とし、画素PIXの感度を高感度で放射線を検出するモードに切り替える。さらに、信号PRESをローレベルにしてリセットを終了し、容量Cc1のトランジスタM4側にリセット電圧がセットされる。また、容量Cfd1もトランジスタM1側がリセット電圧で保持され、不定電圧が生じることを防ぐ。そして、トランジスタM5をオフ動作とし、基準電圧VCLと基準電圧PRESの差分の電圧に応じた電荷が容量Cc1に蓄積されクランプが終了する。また同時に、トランジスタM8、M11、M14もオフ動作とされ、容量CS1、CS2、CNに、基準電圧VCLがセットされたときの基準信号がサンプルホールドされる。光信号をサンプリングするための容量CS1、CS2および基準信号をサンプリングするための容量CNの電荷を、サンプリングが行われる前に一定にすることによって、残像の影響が低減される。

10

【0032】

時刻t3において、リセット駆動Rを終了し、画素PIXが蓄積状態となったため、制御部109は、曝射許可信号114をイネーブルにし放射線の照射を要求する。時間t3は、それぞれの画素において、照射された放射線に応じた信号(電荷)を蓄積するための動作を開始する時間といえる。曝射許可信号114をイネーブルにすることによる放射線の照射の開始に応じて、フォトダイオードPD、フローティングディフュージョンの容量Cfdへの電荷の蓄積が始まる。つまり、時刻t3から高感度で、照射された放射線に応じた信号の蓄積が開始される。また、信号ENをローレベルとし、画素アンプを構成するトランジスタM4、M7が非動作状態となる。

20

【0033】

リセット駆動Rは、放射線撮像装置100に配された画素PIXに対して一括して行う。後に続くリセット駆動Rも、同様のタイミングで制御される。動画や静止画の撮像時、画素間や走査線間の時間的スイッチングのずれによって発生する画像ズレを防止するため、放射線撮像装置100に配されるすべての画素PIXにおいて同一のタイミング、同一の期間でリセット駆動Rが行われうる。その後、放射線の照射によって電荷の蓄積が行われ、それぞれの画素PIXのフォトダイオードPDで発生した信号電荷が容量CfdおよびフォトダイオードPDの寄生容量に蓄積される。

30

【0034】

次に時刻t4から始まる高感度のサンプリング駆動SHについて説明する。時刻t4で、信号ENをハイレベルにしトランジスタM3、M6をオン動作させる。これによって、容量Cfdに蓄積された電荷は、電荷/電圧変換されソースフォロアとして動作し画素アンプを構成するトランジスタM4によって電圧として容量Cc1に出力される。トランジスタM4の出力はリセットノイズを含むが、クランプ回路によってリセット駆動Rの際にトランジスタM7側を基準電圧VCLにセットしているため、リセットノイズが除去された光信号として画素アンプを構成するトランジスタM7に出力される。次に、放射線の照射によって生成された画像用信号である光信号のサンプリングを制御する信号TS1をハイレベルとし、トランジスタM8をオン動作させる。これによって、光信号は画素アンプを構成するトランジスタM7を介して、光信号用ホールド容量である容量CS1に一括転送される。このときの光信号は、信号WIDEをローレベルとしているため、高感度で取得された信号である。時刻t5で、信号TS1をローレベルとし、トランジスタM8をオフ動作させることによって、容量CS1に高感度で取得された光信号がサンプリングされる。サンプリング駆動SHでは、放射線の検出の開始から放射線の照射される期間よりも短い時間で容量Cfdに蓄積された信号が、高感度のモードの光信号としてサンプリングされる。

40

【0035】

次に信号WIDEをハイレベルとし、感度を切り替えるためのスイッチ素子であるトラ

50

ンジスタM1をオン動作させる。トランジスタM1がオン動作することによって、フローティングディフュージョンの容量が増え、画素の感度が高感度から低感度へと変化するとともに、引き続き照射された放射線に応じた信号を蓄積する。

【0036】

次いで、時刻t6で、信号ENをハイレベルにしトランジスタM3、M6をオン動作させる。次に、信号TS2をハイレベルとし、トランジスタM11をオン動作させることによって、低感度で取得された光信号が、画素アンプを構成するトランジスタM7を介してもう一つの光信号用ホールド容量である容量CS2に一括転送される。時刻t7で、信号TS2をローレベルとし、トランジスタM11をオフ動作させることによって、容量CS2に低感度で取得された光信号がサンプリングされる。サンプリング駆動SLでは、放射線の検出の開始から放射線の照射が終了するまでに容量Cfdおよび容量Cfd1に蓄積された信号が、低感度のモードの光信号としてサンプリングされる。

10

【0037】

次に、信号PRESをハイレベルとし、トランジスタM2をオン動作させ、容量Cfd、Cfd1を基準電圧VRESにリセットする。次いで、信号PCLをハイレベルとする。容量Cclには、電圧VCLと電圧VRESとの差分の電圧にリセットノイズが重畳した電荷が蓄積される。更に信号TNをハイレベルとし、トランジスタM14をオン動作させることによって、基準電圧VCLにセットされた際の基準信号を基準信号用ホールド容量である容量CNに転送する。続いて時刻t8で、信号TNをローレベルとし、トランジスタM14をオフ動作させることによって、容量CNに基準信号がサンプリングされる。さらに、信号PRES、PCL、ENをローレベルとし、サンプリング駆動SLを終了する。

20

【0038】

高感度に放射線を検出するためには、容量Cfdを小さくし、蓄積される電荷に対する感度を高くする必要がある。このため、入射する線量が多い条件や蓄積時間が長い条件で撮像を行った場合、蓄積される電荷量が多くなり、容量Cfdが飽和してしまう可能性がある。容量Cfdが飽和すると、容量Cfdに蓄積された電荷に基づく光信号のリニアリティが悪化し、生成される放射線画像が劣化してしまう。また、容量Cfdが飽和に近づいた場合であっても、フォトダイオードPDやフローティングディフュージョンを構成するSi基板に例えばSi基板表面のダングリングボンドなどの結晶欠陥があると、蓄積された電荷が欠陥からリークする可能性がある。電荷のリークが発生した場合、光信号のリニアリティが悪化し、放射線画像が劣化してしまう。

30

【0039】

そこで、本実施形態において、高感度で放射線を検出するための蓄積時間を低感度で放射線を検出するための蓄積時間よりも短くする。具体的には、低感度で放射線を検出するための蓄積時間である時刻t3から時刻t7までの時間TLよりも、高感度で放射線を検出するための蓄積時間である時刻t3から時刻t5までの時間THを短くする。例えば、時間THを時間TLの半分に設定してもよい。照射される放射線に応じた信号の蓄積を開始し、放射線の検出を開始してから、放射線が照射される期間である時刻t3から時刻t6までよりも短い時間THの経過後、蓄積された電荷を高感度でサンプリングする。その後、感度を低感度に切り替えることによって、容量Cfdが飽和しにくくなる。これによって、容量Cfdの飽和による光信号のリニアリティの悪化を抑制できる。また、容量Cfdが飽和に近づきにくくなり、フォトダイオードPDや容量Cfdを構成するSi基板に結晶欠陥があっても、電荷のリークが抑制され、リニアリティの悪化が抑制される。本発明者が実験を行ったところ、時間TLを266ミリ秒(ms)、時間THを133msと設定し、高感度および低感度で光信号を取得した結果、リニアリティが悪化する画素は発生しなかった。

40

【0040】

ここで、時間THと時間TLとの比は、高感度と低感度との感度の比に基づいて、適宜決定すればよい。例えば、高感度が低感度と比較して感度が5倍であった場合、時間TH

50

は時間 T_L の $1/5$ としてもよい。時間 T_H は、ユーザによって設定される放射線の強度や時間 T_L などの撮像条件や、放射線撮像装置の有する高感度と低感度との感度の比などに応じて、適宜決定すればよい。例えば、撮像情報の設定は、システム制御部 101 が複数の時間 T_H 、時間 T_L などを含む撮像条件が保存されたメモリを有し、ユーザが選択した条件に合わせて時間 T_H を決定してもよい。

【0041】

サンプリング駆動 S_H およびサンプリング駆動 S_L は、放射線撮像装置 100 に配されたすべての画素 P_{IX} において一括して行う。後に続くサンプリング駆動 S_H 、 S_L も、同様のタイミングで制御される。サンプリング駆動 S_L の後、時刻 t_9 にてリセット駆動 R が行われ、次のフレームのフォトダイオード P_D での放射線の検出（照射される放射線に応じた信号の蓄積）が開始される。

10

【0042】

高感度と低感度との光信号および基準信号の画素 P_{IX} からの出力は、時刻 t_6 の曝射許可信号 114 の停止による放射線の照射の終了に応じたサンプリング駆動 S_L の終了後、画素 P_{IX} ごとに行われる。基準信号の出力は、高感度の光信号の出力（ R_{OH} ）と低感度の光信号の出力（ R_{OL} ）との何れの期間に行われてもよい。アナログスイッチ M_9 、 M_{12} 、 M_{15} をオン動作させることによって、容量 C_{S1} 、 C_{S2} 、 C_N の電圧が、それぞれ画素アンプを構成するトランジスタ M_{10} 、 M_{13} 、 M_{16} を通して、それぞれ光信号出力部 S_1 、 S_2 と基準信号出力部 N とに転送される。

【0043】

20

図2の画素回路において、フォトダイオード P_D での放射線に応じた信号の蓄積の開始のタイミングは、図3に示すリセット完了後に信号 P_{CL} をローレベルにしてクランプが完了した時刻 t_3 や時刻 t_{10} である。また、信号の蓄積を終了し、放射線の検出を終了するタイミングは、信号 T_{S2} がローレベルになり低感度で取得した光信号をサンプリングした時刻 t_7 である。そこで、光信号および基準信号をサンプリングするサンプリング駆動 S_L とサンプリング駆動 S_H の間に、リセット駆動 R を挿入することによって、1フレームあたりの電荷を蓄積する時間を制限している。図3において、時刻 t_6 で始まるサンプリング駆動 S_L と時刻 t_{11} で始まるサンプリング駆動 S_H との間に、時刻 t_9 で始まるリセット駆動 R を挿入する。これによって、実質的な蓄積時間である高感度の放射線の照射時間を時刻 t_{10} から時刻 t_{12} の時間 T_H 、および、低感度の放射線の照射時間を時刻 t_{10} から時刻 t_{14} の時間 T_L に制限している。

30

【0044】

また、画素 P_{IX} から光信号および基準信号の読み出しが可能な期間は、時刻 t_7 のサンプリングの終了時から、容量 C_{S1} 、 C_{S2} 、 C_N に、次のフレームのリセット駆動 R が再び開始される時刻 t_9 までの間である。低感度サンプリング駆動 S_L 終了後に、それぞれの画素 P_{IX} から高感度および低感度で取得された各光信号の出力が行われる。

【0045】

本実施形態では、時刻 t_1 で撮像情報の設定および撮像開始の設定がされた後、時刻 t_2 から時刻 t_9 までの各工程の動作を繰り返すことによって動画を撮像する例を示すが、これに限られるものではない。例えば、時刻 t_1 から時刻 t_9 までの各工程の動作を1回、行うことによって静止画を撮像してもよい。

40

【0046】

また、本実施形態では、制御部 109 から曝射許可信号 114 がイネーブルになることによって放射線の照射が開始されるが、放射線の照射の開始のタイミングは、これに限られることはない。例えば、放射線撮像装置 100 のセンサパネル 105 などに、放射線の照射開始を検出するための開始検出画素を設けてもよい。この場合、時刻 t_1 から、それぞれの画素 P_{IX} はリセット駆動 R を繰り返す。開始検出画素が放射線の照射の開始を検出したことに応じて、時間 t_3 からの放射線の入射によって生成される信号（電荷）を蓄積するための動作を開始してもよい。その後、電荷の蓄積の開始から、撮像情報などで得られる放射線が照射される期間よりも短い時間 T_H の経過後、サンプリング駆動 S_H を行

50

い、次いで、それぞれの画素 P I X を低感度のモードに切り替える。さらに、開始検出画素によって放射線の照射の終了を検出し、放射線の照射の終了に応じて、時刻 t 6 からのサンプリング駆動 S L を行ってもよい。

【 0 0 4 7 】

図 4 は、センサユニット 1 0 6 の内部構造の構成例を模式的に示す図である。それぞれのセンサユニット 1 0 6 は、チップセレクト端子 C S、光信号出力端子 T S 1、光信号出力端子 T S 2、基準信号出力端子 T N、垂直走査回路スタート信号端子 V S T、垂直走査回路クロック端子 C L K V、水平走査回路スタート信号端子 H S T、水平走査回路クロック端子 C L K H の各端子を含む。また、センサユニット 1 0 6 には、列方向に m 個 × 行方向に n 個の画素 P I X が 2 次元アレイ状に配列されている。垂直走査回路 4 0 3 は、行方向に並ぶ画素 P I X を行ごとに選択し、垂直走査クロック C L K V に同期して画素群を順次、副走査方向である垂直方向に走査する。垂直走査回路 4 0 3 は、例えば、シフトレジスタで構成される。水平走査回路 4 0 4 は、垂直走査回路 4 0 3 によって選択された主走査方向である列方向の画素 P I X の列信号線を、水平走査クロック C L K H に同期して順次、1 画素ずつ選択する。それぞれの画素 P I X は、垂直走査回路 4 0 3 に接続された行信号線 4 0 5 がイネーブルになることによって、列信号線 4 0 6、4 0 7、4 0 8 に、それぞれサンプリングされた高感度と低感度との光信号および基準信号を出力する。列信号線 4 0 6、4 0 7、4 0 8 に出力された各信号を水平走査回路 4 0 4 が順次選択することによって、アナログ出力線 4 0 9、4 1 0、4 1 1 にそれぞれ画素 P I X の各信号が順次出力される。以上のように、センサユニット 1 0 6 は、垂直走査回路 4 0 3、水平走査回路 4 0 4 を使用した X Y アドレス方式によるスイッチング動作によって画素 P I X の選択が行われる。それぞれの画素 P I X の光信号、基準信号は、列信号線 4 0 6、4 0 7、4 0 8 およびアナログ出力線 4 0 9、4 1 0、4 1 1 を通して光信号出力端子 T S 1、光信号出力端子 T S 2、基準信号出力端子 T N から出力される。

【 0 0 4 8 】

図 5 は、それぞれの画素 P I X から出力される光信号および基準信号を A / D 変換する差動アンプ 1 0 7 および A / D 変換器 1 0 8 を含む読出部 R O の構成例を示す図である。光信号出力端子 T S 1、T S 2 からの出力は、それぞれ入力スイッチ M 5 0、入力スイッチ M 5 1 に接続される。入力スイッチ M 5 0 は信号 S W 1 によって動作し、入力スイッチ M 5 1 は信号 S W 2 によって動作する。信号 S W 1 および信号 S W 2 は、画素 P I X から出力される各信号の破壊や、素子の破壊を防ぐため、同時にオン動作しないように制御される。

【 0 0 4 9 】

例えば、それぞれの画素 P I X の高感度と低感度との光信号および基準信号が同時に出力される場合でも、まず、信号 S W 1 をハイレベル、信号 S W 2 をローレベルに制御する。そして、図 4 に示す画素 P I X (1、1) から順に画素 P I X (n、m) までの高感度で取得した光信号と基準信号とを読み出す。次いで、信号 S W 1 をローレベル、信号 S W 2 をハイレベルに制御して、画素 P I X (1、1) から順に画素 P I X (n、m) までの低感度で取得した光信号と基準信号とを読み出してもよい。

【 0 0 5 0 】

また例えば、まず、信号 S W 1 をハイレベル、信号 S W 2 をローレベルに制御して、画素 P I X (1、1) から順に画素 P I X (n、1) までの高感度で取得した光信号と基準信号とを読み出す。次いで、信号 S W 1 をローレベル、信号 S W 2 をハイレベルに制御して、画素 P I X (1、1) から順に画素 P I X (n、1) までの低感度で取得した光信号と基準信号とを読み出す。次に、垂直走査回路 4 0 3 に垂直走査クロック C L K V をあたえて、副走査方向に 1 つ走査することによって、画素 P I X (1、2) から順に (n、2) を選択する。再度、信号 S W 1 をハイレベル、信号 S W 2 をローレベルに制御して、画素 P I X (1、2) から順に画素 P I X (n、2) までの高感度で取得した光信号と基準信号とを読み出す。次いで、信号 S W 1 をローレベル、信号 S W 2 をハイレベルに制御して、画素 P I X (1、2) から順に画素 P I X (n、2) までの低感度で取得した光信号

と基準信号とを読み出す。このように、行単位で信号SW1と信号SW2とを制御して、画素PIX(1, 1)から順に画素PIX(n, m)までの各信号を読み出してもよい。

【0051】

差動アンプ107は、マイナス側入力に高感度または低感度で取得した光信号が入力され、プラス側入力に基準信号が入力される。差動アンプ107で基準信号から光信号を減算することによって、画素PIX内のそれぞれの画素アンプでの熱ノイズ、 $1/f$ ノイズ、温度差、プロセスばらつきによる固定パターンノイズ(FPN)などが除去される。差動アンプ107の出力は、A/D変換器108に入力される。A/D変換器108は、信号ADCLKからクロック信号を受け取り、信号ADCLKがハイレベルに切り替わるタイミングでA/D変換されたデジタルの光信号ADOUTを、センサユニット106ごと

10

【0052】

制御部109に送信された高感度および低感度の光信号ADOUTは、画像データインタフェース111によって、読出部で読み出された順に画像データとしてシステム制御部101に送信される。システム制御部101では、画像データインタフェース111を介して入力した高感度および低感度の光信号ADOUTを用いてダイナミックレンジ拡大のための画像処理が行われる。

【0053】

次に、ダイナミックレンジを拡大するための画像処理の方法を、図6のフローチャートを用いて説明する。放射線撮像装置100から高感度および低感度で取得した光信号ADOUTの画素データを受信すると、システム制御部101は、画像処理を開始する(ステップS120)。まず、センサパネル105の特性を補正するため、ステップS121でオフセット補正、ステップS122でゲイン補正、ステップS123で欠陥補正の各処理が実施される。ステップS121~S123の各処理によって、それぞれの画素PIXの画素値と、当該画素PIXの周辺に配された画素PIXの画素値との相関関係が保たれた状態にする。また、本実施形態において、センサパネル105は、複数のセンサユニット106によって構成される。このため、ステップS121~S123の各処理によって、センサユニット106間での特性の補正もなされる。

20

【0054】

次いで、ステップS124で画像中の画素の位置を表す変数であるaを0に初期化する。変数aの最大値bは、図1に示す構成を有するセンサパネル105の場合、それぞれのセンサユニット106に画素PIXが $n \times m$ 個配されるため、 $b = n \times m \times 7 \times 2$ となる。

30

【0055】

ここで、画素位置がaのときの低感度で取得した光信号ADOUT(以下、低感度画像と呼ぶ。)の画素値をPLa、高感度で取得した光信号ADOUT(以下、高感度画像と呼ぶ。)の画素値をPHaとする。ステップS125では、低感度画像の画素値PLaに対して、時間THと時間TLとに応じた係数を適用する。具体的には、高感度と低感度とのゲイン比Gと高感度の蓄積時間THと低感度の蓄積時間TLとの比 TH/TL とで示される係数($G \cdot TH/TL$)を、画素値PLaに乗算する。

40

【0056】

次いで、ステップS126で高感度画像の画素値PHaの大きさによって、画素PIXの放射線画像を構成する画素値Paの値の選択方法を振り分ける。本実施形態において、A/D変換器108でA/D変換されたデジタルの光信号ADOUTが16ビット(0~65535LSB)の場合を示す。

【0057】

高感度画像の画素値PHaが30000LSBよりも小さい場合、高感度画像の画素値PHaを画素PIXの画素値Paとする(ステップS127)。一方、高感度画像の画素値PHaが40000LSBよりも大きい場合、ステップS125で係数の適用された低感度画像の画素値PLaを画素PIXの画素値Paとする(ステップS129)。また、

50

高感度画像の画素値 P_{H0} が 30000LSB 以上かつ 40000LSB 以下の場合、画素値 P_{La} および画素値 P_{Ha} を合成することによって、画素 P_{IX} の画素値 P_a を生成する。このとき、所定の重み付け係数 k を用いて、 $(1 - k) \cdot P_{Ha} + k \cdot P_{La}$ で求まる値を当該画素 P_{IX} の画素値 P_a としてもよい。係数 k は、0 よりも大きく、かつ 1 未満の値を有する。

【0058】

次いで、ステップ S_{130} で、画素位置を表す変数 a に 1 を加算し、ステップ S_{131} で変数 a の値が最大値 b より小さい場合は、ステップ S_{125} に戻り、次の画素位置の画素値 P_a の生成を開始する。ステップ S_{131} で、変数 a の値が最大値 b 以上場合は、ステップ S_{132} に進み、画像処理を終了する。

10

【0059】

以上のように、放射線撮像装置 100 のセンサパネル 105 のすべての画素 P_{IX} に対して、高感度画像と低感度画像とに基づいた画素値 P_a の生成を行い、ダイナミックレンジを拡大した放射線画像を生成することができる。本実施形態では、画素値 P_a の選択方法を振り分ける際、画素値 P_{Ha} に対するしきい値を固定としたが、蓄積時間 T_H と蓄積時間 T_L との比 T_H / T_L に依存して、変更してもよい。また、本実施形態では、画素値 P_{Ha} によって画素値 P_a の選択方法を振り分けたが、例えば、すべての画像 P_{IX} に対してステップ S_{128} の処理を行ってもよい。

【0060】

第2の実施形態

20

図7、8を参照して、本発明の実施形態による放射線撮像装置の構成、及び、駆動方法について説明する。図7は、本発明の第2の実施形態におけるセンサパネル 105 のそれぞれのセンサユニット 106 に配された1つの画素 P_{IX} の回路構成例を示している。図2に示した画素 P_{IX} と比較して、保持部のサンプルホールド回路が2つとなり、光信号を蓄積するためのサンプルホールド回路が1つとなっている点で異なる。これ以外の構成は、上述の第1の実施形態で示したセンサユニット 106 などと同様であってよい。

【0061】

図8は、図7示す画素 P_{IX} が配された撮像装置において、ダイナミックレンジを拡大し、固定フレームレートで1つのフレームあたりの放射線の照射時間に制限がある場合の動画を撮像する駆動例を示すタイミングチャートである。以下、動画撮像において、光信号用ホールド容量である容量 C_{S1} および基準信号用ホールド容量である容量 C_N に電荷がサンプリングされるまでの制御信号のタイミングについて、図8を用いて説明する。時刻 t_1 から時刻 t_4 までの動作は、上述の第1の実施形態と同様のため、ここでは説明を省略し、時刻 t_4 からの動作について説明する。

30

【0062】

時刻 t_4 から高感度のサンプリング駆動 S_H が始まる。時刻 t_4 で、信号 E_N をハイレベルにシトランジスタ M_3 、 M_6 をオン動作させる。これによって、容量 C_{fd} に蓄積された電荷は、電荷/電圧変換されソースフォロアとして動作し画素アンプを構成するトランジスタ M_4 によって電圧として容量 C_{c1} に出力される。トランジスタ M_4 の出力はリセットノイズを含むが、クランプ回路によってリセット駆動 R の際にトランジスタ M_7 側を基準電圧 V_{CL} にセットしているため、リセットノイズが除去された光信号として画素アンプを構成するトランジスタ M_7 に出力される。次に、放射線の照射によって生成された信号のサンプリングを制御する信号 T_{S1} をハイレベルとし、トランジスタ M_8 をオン動作させる。これによって、光信号は画素アンプを構成するトランジスタ M_7 を介して、光信号用ホールド容量である容量 C_{S1} に一括転送される。このときの光信号は、信号 W_{IDE} をローレベルとしているため、高感度で取得された信号である。時刻 t_5 で、信号 T_{S1} をローレベルとし、トランジスタ M_8 をオフ動作させることによって、容量 C_{S1} に高感度の光信号がサンプリングされる。

40

【0063】

次に信号 W_{IDE} をハイレベルとし、感度を切り替えるためのスイッチ素子であるトラ

50

ンジスタM1をオン動作させる。トランジスタM1がオン動作することによって、フローティングディフュージョンの容量が増え、画素の感度が高感度から低感度へと変化する。続いて、本実施形態では、図7に示すように、光信号用のサンプルホールド回路が1つしかないことから、高感度のサンプリング駆動SHの後、低感度サンプリング駆動SLを行うまでに取得した光信号を出力する読み出し処理が行われる(ROH)。

【0064】

次に高感度の光信号が、光信号用のサンプルホールド回路の容量CS1から出力された後、時刻t6で信号ENをハイレベルにし、トランジスタM4、M6をオン動作させる。次に、信号TS1をハイレベルとし、トランジスタM8をオンすることによって、低感度の光信号が、画素アンプを構成するトランジスタM7を通して容量CS1に一括転送される。時刻t7で信号TS1をローレベルとし、トランジスタM8をオフ動作させることによって、容量CS1に低感度での光信号がサンプリングされる。

10

【0065】

次に、信号PRESをハイレベルとし、トランジスタM2をオン動作させ、容量Cfd、Cfd1を基準電圧VRESにリセットする。次いで、信号PCLをハイレベルとする。容量Cclには、電圧VCLと電圧VRESとの差分の電圧にリセットノイズが重畳した電荷が蓄積される。更に信号TNをハイレベルとし、トランジスタM14をオン動作させることによって、基準電圧VCLにセットされた際の基準信号を基準信号用ホールド容量である容量CNに転送する。続いて時刻t8で、信号TNをローレベルとし、トランジスタM14をオフ動作させることによって、容量CNに基準信号がサンプリングされる。さらに、信号PRES、PCL、ENをローレベルとし、低感度サンプリング駆動SLを終了する。低感度サンプリング駆動SLの後、サンプリングされた低感度の光信号を出力する読み出し処理が行われる(ROL)。低感度の光信号を出力する期間(ROL)において、基準信号の出力も行われる。

20

【0066】

本実施形態においても、低感度で放射線を検出するための蓄積時間である時刻t3から時刻t7までの時間TLに対して、高感度で放射線を検出するための蓄積時間である時刻t3から時刻t5まで時間THは短い。電荷の蓄積を開始してから、放射線が照射される期間である時刻t3から時刻t6までよりも短い時間THの経過後、蓄積された電荷を高感度でサンプリングし、感度を低感度に切り替えることによって、容量Cfdが飽和しにくくなる。これによって、上述の第1の実施形態と同様の効果が得られる。本発明者が実験を行ったところ、時間TLを266ms、時間THを133msと設定し、高感度および低感度で光信号を取得した結果、リニアリティが悪化する画素は発生しなかった。

30

【0067】

サンプリング駆動SHおよびサンプリング駆動SLは、放射線撮像装置100に配されたすべての画素PIXにおいて一括して行う。後に続くサンプリング駆動SH、SLも、同様のタイミングで制御される。サンプリング駆動SLの後、時刻t9にて再びリセット駆動Rが行われ、次のフレームのフォトダイオードPDでの蓄積が開始される。

【0068】

それぞれの光信号および基準信号の走査は画素PIXごとに行われる。アナログスイッチM9、M15をオン動作させることによって、容量CS1、CNの電圧が、それぞれ画素アンプを構成するトランジスタM10、M16を通して、それぞれ光信号出力部S1と基準信号出力部Nとに転送される。

40

【0069】

図7の画素回路において、フォトダイオードPDの蓄積開始のタイミングは、図8に示すリセット完了後に信号PCLをローレベルにしてクランプが完了した時刻t3や時刻t10である。また蓄積終了のタイミングは信号TS1のうち、信号TS1がローレベルになり、低感度で取得した光信号をサンプリングした時刻t7である。そこで、光信号および基準信号をサンプリングするサンプリング駆動SLとサンプリング駆動SHの間に、リセット駆動Rを挿入することによって、1フレームあたりの蓄積時間を制限している。

50

図 8 において、時刻 t_6 で始まるサンプリング駆動 S_L と時刻 t_{11} で始まるサンプリング駆動 S_H との間に、時刻 t_9 で始まるリセット駆動 R を挿入する。これによって、実質的な蓄積時間である高感度の放射線の照射時間を時刻 t_{10} から時刻 t_{12} の時間 T_H 、および、低感度の放射線の照射時間を時刻 t_{10} から時刻 t_{14} の時間 T_L に制限している。

【0070】

画素 P_{IX} から高感度の光信号および基準信号の読み出しが可能な期間は、時刻 t_5 のサンプリングの終了時から、容量 C_{S1} にサンプリング駆動 S_L によって低感度の光信号がサンプリングされる時刻 t_6 までの間である。また、低感度の光信号および基準信号の読み出しが可能な期間は、時刻 t_7 のサンプリングの終了時から、容量 C_{S1} 、 C_N に、次のフレームのリセット駆動 R が再び開始される時刻 t_9 までの間である。

10

【0071】

第 3 の実施形態

図 9 を参照して、本発明の実施形態による放射線撮像装置の駆動方法について説明する。図 9 は、本発明の第 3 の実施形態におけるダイナミックレンジを拡大し、固定フレームレートで 1 つのフレームあたりの放射線の照射時間に制限がある場合の動画を撮像する駆動例を示すタイミングチャートである。放射線撮像装置や画素 P_{IX} の構成は、上述の第 1 の実施形態と同様であってよい。

【0072】

上述の第 1 および第 2 の実施形態では、リセット駆動 R 後に信号 $WIDE$ を 1 回、ハイレベルに遷移させることによって、画素 P_{IX} を高感度から低感度に切り替えて、低感度のサンプリングを行っている。しかし、感度を切り替えるためのトランジスタ M_1 において、スイッチをオンまたはオフすると、チャージインジェクションと呼ばれる現象によって、信号 $WIDE$ から電荷が注入あるいは放出されうることが知られている。つまり、リセット駆動 R の後に信号 $WIDE$ をハイレベルに遷移させることによって、信号 $WIDE$ から電荷が注入されうる。このため、サンプリングされる低感度の光信号にオフセットが発生してしまう可能性がある。本発明者が実験を行ったところ、放射線の非照射時に A/D 変換器 108 で読み出した高感度の光信号 $ADOUT$ が約 8000 LSB であった。一方、トランジスタ M_1 を動作させた後、読み出した低感度の光信号 $ADOUT$ は約 10000 LSB と約 2000 LSB 大きくなっていた。 A/D 変換器 108 の分解能を 16 ビットとすると、 A/D 変換器 108 の出力範囲は 0 ~ 65535 LSB である。一般的に各種ばらつきを考慮し、放射線が照射されていない状態から放射線の強度が最大の状態の範囲は、 A/D 変換器 108 の出力範囲のうち 5000 LSB 程度の範囲で表現される。したがって、低感度の画像のダイナミックレンジが約 2000 LSB 狭くなることを意味する。

20

30

【0073】

図 9 は、このチャージインジェクションによって低感度の画像のダイナミックレンジが狭くなることを防止するための駆動制御の一例を示すタイミングチャートである。以下、動画撮像において、光信号用ホールド容量である容量 C_{S1} 、 C_{S2} および基準信号用ホールド容量である容量 C_N に電荷がサンプリングされるまでの制御信号のタイミングについて、図 9 を用いて説明する。時刻 t_1 から時刻 t_5 までの動作は、上述の第 1 の実施形態と同様のため、ここでは説明を省略し、時刻 t_5 からの動作について説明する。

40

【0074】

サンプリング駆動 S_H によって高感度の光信号を容量 C_{S1} にサンプリングした後、時刻 t_5 で信号 $WIDE$ をハイレベルとし、感度を切り替えるためのスイッチ素子であるトランジスタ M_1 をオン動作させる。トランジスタ M_1 がオン動作することによって、フローティングディフュージョンの容量が増え、画素の感度が高感度から低感度のモードへと変化する。

【0075】

次いで、時刻 t_6 で、信号 EN をハイレベルにしトランジスタ M_3 、 M_6 をオン動作さ

50

せる。次に、信号W I D Eをローレベルとし、感度切り替え用のスイッチ素子であるトランジスタM 1をオフ動作とする。これによって、信号W I D Eから電荷が放出されることになる。すなわち、時刻t 5で信号W I D Eをハイレベルとし、トランジスタM 1をON動作としたときに、信号W I D Eから注入された電荷が、時刻t 6で放出され、低感度の光信号の電圧レベルが補正される。

【0076】

次に、信号T S 2をハイレベルとし、トランジスタM 1 1をオン動作させることによって、低感度で取得された光信号が画素アンプを構成するトランジスタM 7を通して光信号用ホールド容量である容量C S 2に一括転送される。時刻t 7で、信号T S 2をローレベルとし、トランジスタM 1 1をオフ動作させることによって、容量C S 2に低感度で取得された光信号がサンプリングされる。

10

【0077】

次いで、信号P R E Sをハイレベルとし、トランジスタM 2をオン動作させ、容量C f d、C f d 1を基準電圧V R E Sにリセットする。次いで、信号P C Lをハイレベルとする。容量C c 1には、電圧V C Lと電圧V R E Sとの差分の電圧にリセットノイズが重畳した電荷が蓄積される。更に信号T Nをハイレベルとし、トランジスタM 1 4をオン動作させることによって、基準電圧V C Lにセットされた際の基準信号を基準信号用ホールド容量である容量C Nに転送する。続いて時刻t 8で、信号T Nをローレベルとし、トランジスタM 1 4をオフ動作させることによって、容量C Nに基準信号がサンプリングされる。さらに、信号P R E S、P C L、E Nをローレベルとし、サンプリング駆動S Lを終了する。高感度と低感度との光信号および基準信号の画素P I Xからの出力は、サンプリング駆動S Lの終了後、上述の第1の実施形態と同様に、画素P I Xごとに行われる。

20

【0078】

低感度の光信号のサンプリングを行う前にトランジスタM 1をオフさせることによって、実験では、放射線非照射時の高感度の光信号A D O U Tが約8 0 0 0 L S Bであったのに対し、低感度の光信号A D O U Tも約8 0 0 0 L S Bと略同等になった。本実施形態の駆動方法を用いることによって、低感度のデジタル画像データのダイナミックレンジも高感度のデジタル画像データと同等のダイナミックレンジが確保できる。また、本実施形態においても、電荷の蓄積を開始してから、放射線が照射される期間よりも短い時間T Hの経過後、蓄積された電荷を高感度でサンプリングし、感度を低感度に切り替えることによって、容量C f dが飽和しにくくなる。これによって、上述の第1の実施形態と同様の効果が得られる。

30

【0079】

以上、本発明に係る実施形態を3形態示したが、本発明はこれらの実施形態に限定されないことはいうまでもなく、本発明の要旨を逸脱しない範囲で、上述した実施形態は適宜変更、組み合わせが可能である。

【0080】

例えば、上述の実施形態では、光信号用のサンプルホールド回路を1つまたは2つ備えた画素P I Xを用いて説明を行ったが、それぞれの画素P I Xが、光信号用に3つ以上のサンプルホールド回路を備えていてもよい。この場合、感度を切り替えるための追加容量およびフォトダイオードP Dと追加容量との間に配されるトランジスタなどのスイッチ素子が、それぞれ2つ以上、配されてもよい。

40

【0081】

また例えば、本実施形態では、設定される放射線の蓄積時間が短い場合は、リニアリティが悪化する画素が発生しにくくなるため、高感度の蓄積時間T Hと低感度の蓄積時間T Lを同じ時間としてもよい。

【0082】

また、本実施形態では、高感度用の蓄積時間T Hと低感度用の蓄積時間T Lの比に基づいて、放射線画像に用いる画素値の生成を行ったが、これに限られることはない。例えば、高感度の光信号から取得される実効的な放射線の線量と、低感度の光信号から取得され

50

る実効的な放射線の線量の比に応じた係数を用いて、画素値の生成を行ってもよい。これによっても、精度の高い画素値の生成が可能となる。

【 0 0 8 3 】

また、本発明は、プログラムないしソフトウェアをコンピュータにより実行することによってなされうる。具体的には、例えば、上述の実施形態の機能を実現するプログラムが、ネットワーク又は各種記憶媒体を介して、システムないし装置に供給される。システムないし装置のコンピュータ（またはＣＰＵやＭＰＵ等）は、その後、該プログラムを読み出して実行する。

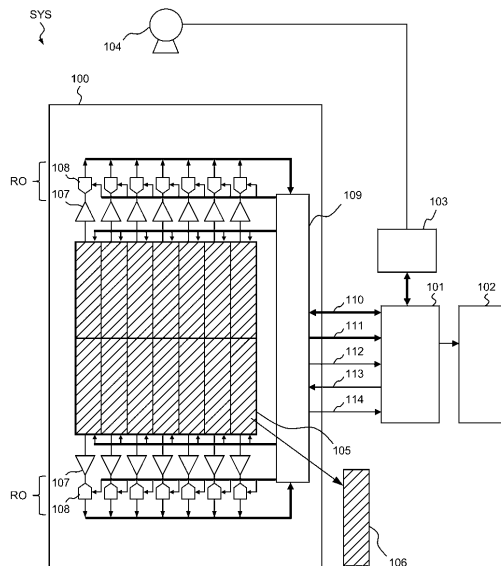
【符号の説明】

【 0 0 8 4 】

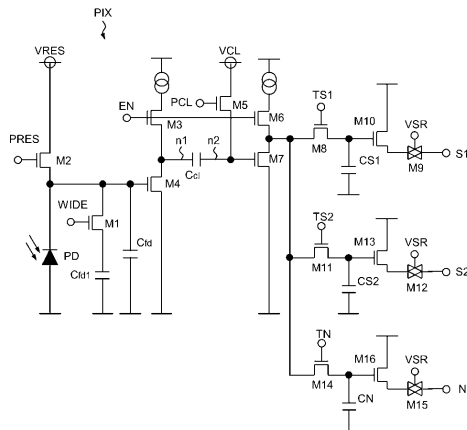
1 0 0 : 放射線撮像装置、P I X : 画素

10

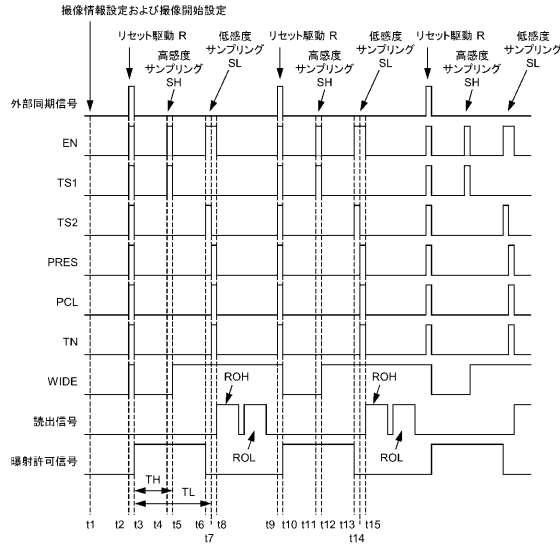
【圖 1】



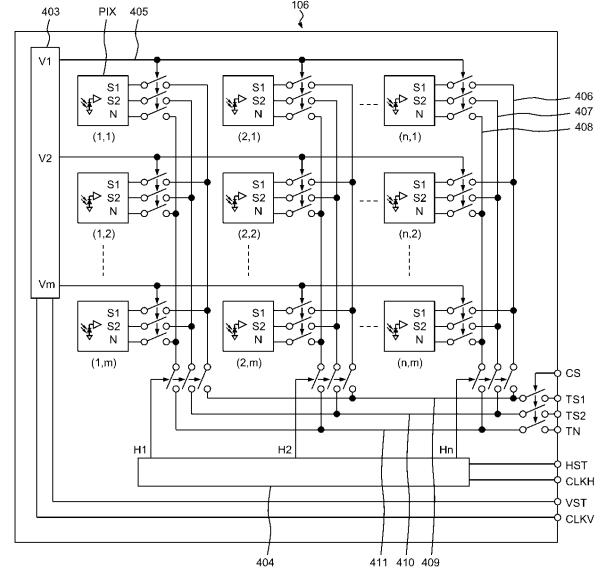
【圖 2】



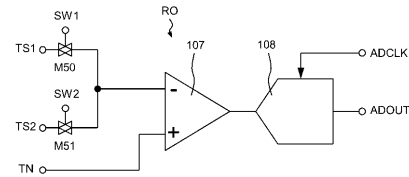
【図 3】



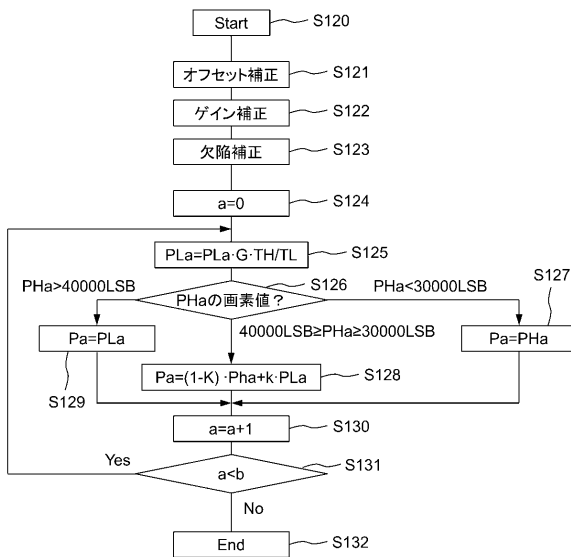
【図 4】



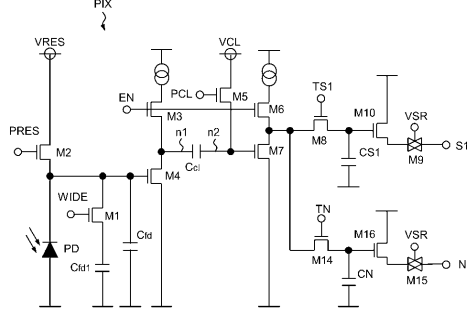
【図 5】



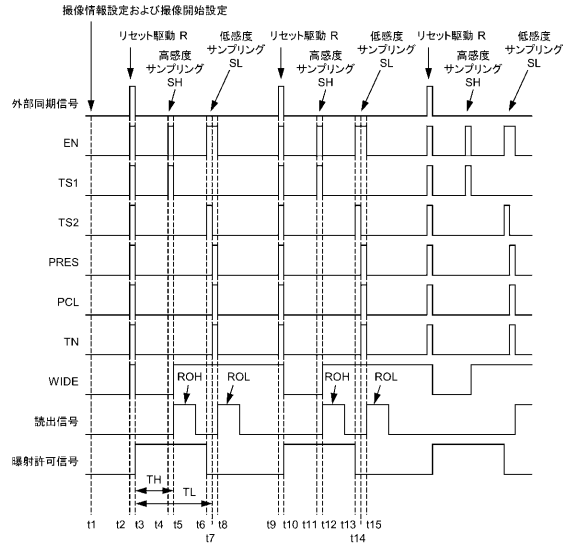
【図 6】



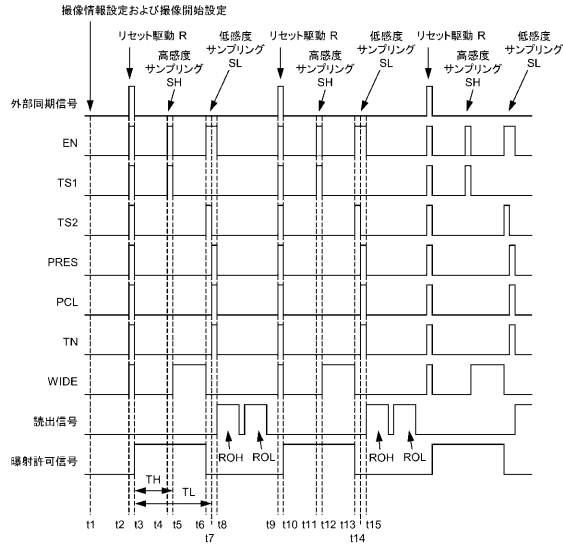
【図 7】



【図 8】



【図 9】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2015-136546(JP,A)
特許第5897752(JP,B2)
国際公開第2008/112058(WO,A1)
特開2015-115660(JP,A)
特開2002-190983(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)
H04N 5/355