

(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.

H04N 5/355 (2011.01)

F 1

H04N 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 キヤノン株式会社 東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(22) 出願日	平成28年11月7日 (2016.11.7)	(74) 代理人	110003281 特許業務法人大塚国際特許事務所
(65) 公開番号	特開2018-78394 (P2018-78394A)	(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
(43) 公開日	平成30年5月17日 (2018.5.17)		
審査請求日	令和1年10月23日 (2019.10.23)		

審査官 橋 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】

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。
30

【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】

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。
40

【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、 10

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。 20

【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、 30

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、 40

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。 50

【請求項 14】

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、 10

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。 20

【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しうる。

【0005】

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】

【0006】

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つて、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。10 20

【発明の効果】

【0007】

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】

【0008】

【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。30

【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】

【0009】

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、宇宙線なども含みうる。40

【0010】

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50

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 SYS 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 R0 と制御部 109 を含む。読出部 R0 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、CMOS 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、遮光されたオブ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。3040

【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】

読み出部 R O は、例えば、差動アンプ 107 とアナログデジタル（A / D）変換を行う A / D 変換器 108 と、を含む。差動アンプ 107 および A / D 変換器 108 の構成および動作については後述する。

【0017】

センサパネル 105 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 105 からの画像用信号は、電極を介して読み出部 R O によって読み出され、また、制御部 109 からの制御信号は、電極を介してセンサパネル 105 に供給される。

【0018】

制御部 109 は、センサパネル 105、差動アンプ 107、A / D 変換器 108 の動作を制御し、例えば、それぞれのセンサユニット 106 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 109 は、読み出部の A / D 変換器 108 によって A / D 変換されたセンサパネル 105 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 101 に出力される。

【0019】

制御部 109 とシステム制御部 101 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 110 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ーフェースである。また、制御用インタフェース 110 は、放射線撮像装置 100 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 111 は、放射線撮像装置 100 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 101 に出力するためのインターフェースである。また、制御部 109 は、放射線撮像装置 100 が撮像可能な状態になったことを R E A D Y 信号 112 によってシステム制御部 101 に通知する。システム制御部 101 は、制御部 109 から出力される R E A D Y 信号 112 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 113 によって制御部 109 に通知する。システム制御部 101 は、制御部 109 から出力される曝射許可信号 114 がイネーブル状態の間に、照射制御部 103 に制御信号を出力し、放射線の照射を開始させる。

【0020】

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 101 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 101 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 100 は、センサパネル 105 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 101 に出力する。システム制御部 101 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 102 に表示させる。

【0021】

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 101 と照射制御部 103 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 100 とシステム制御部 101 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 100 は、放射線撮像装置 100 の備える各機能に加え、システム制

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 PIX 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 PD 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 PD 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 PD 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。

10

【0023】

容量 Cf d は、フォトダイオード PD 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 Cf d には、フォトダイオード PD に寄生する寄生容量も含まれる。トランジスタ M1 は、画素 PIX 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 Cf d 1 は、画素 PIX の感度切り替え用の追加容量であり、トランジスタ M1 を介してフォトダイオード PD に接続される。この構成によって、それぞれの画素 PIX において、フォトダイオード PD 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 PIX の放射線に対する感度が切り替えられる。

20

【0024】

トランジスタ M2 は、フォトダイオード PD、容量 Cf d、容量 Cf 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 M4 は、ソースフォロアとして動作するための増幅 MOS トランジスタ（画素アンプ）である。トランジスタ M3 はトランジスタ M4 を動作状態とさせるための選択スイッチである。

30

【0025】

トランジスタ M4 の後段には、フォトダイオード PD を含む光電変換部で発生する kT 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 Cc 1 はクランプ容量であり、トランジスタ M5 は、クランプ用のクランプスイッチである。トランジスタ M7 は、ソースフォロアとして動作する増幅 MOS トランジスタ（画素アンプ）である。トランジスタ M6 はトランジスタ M7 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 M7 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 M8、M11 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 CS 1 および容量 CS 2 は、光信号用ホールド容量である。トランジスタ M14 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 CN は、基準信号用ホールド容量である。トランジスタ M10、M13 は、ソースフォロアとして動作する光信号の増幅 MOS トランジスタ（画素アンプ）である。アナログスイッチ M9、M12 は、トランジスタ M10 およびトランジスタ M13 で増幅された光信号を、それぞれ光信号出力部 S1、S2 へ出力するための転送スイッチである。トランジスタ M16 は、ソースフォロアとしての動作する基準信号の増幅 MOS トランジスタ（画素アンプ）である。アナログスイッチ M15 は、トランジスタ M16 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。

40

【0027】

50

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。10 20

【0028】

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。30

【0029】

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。40

【0030】

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50

準電圧 V C L に接続する。同時に、信号 T S 1、T S 2、T N をハイレベルにし、トランジスタ M 8、M 1 1、M 1 4 をオン動作させる。

【 0 0 3 1 】

次いで、時刻 t 3 で、信号 W I D E をローレベルにしてトランジスタ M 1 をオフ動作とし、画素 P I X 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 P R E S をローレベルにしてリセットを終了し、容量 C c 1 のトランジスタ M 4 側にリセット電圧がセットされる。また、容量 C f d 1 もトランジスタ M 1 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 M 5 をオフ動作とし、基準電圧 V C L と基準電圧 V R E S の差分の電圧に応じた電荷が容量 C c 1 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 M 8、M 1 1、M 1 4 もオフ動作とされ、容量 C S 1、C S 2、C N に、基準電圧 V C L 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 C S 1、C S 2 および基準信号をサンプリングするための容量 C N 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

【 0 0 3 2 】

時刻 t 3 において、リセット駆動 R を終了し、画素 P I X が蓄積状態となったため、制御部 1 0 9 は、曝射許可信号 1 1 4 をイネーブルにし放射線の照射を要求する。時間 t 3 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 1 1 4 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 P D、フローティングディフュージョンの容量 C f d への電荷の蓄積が始まる。つまり、時刻 t 3 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 E N をローレベルとし、画素アンプを構成するトランジスタ M 4、M 7 が非動作状態となる。20

【 0 0 3 3 】

リセット駆動 R は、放射線撮像装置 1 0 0 に配された画素 P I X に対して一括して行う。後に繰り返すリセット駆動 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 1 0 0 に配されるすべての画素 P I X 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 P I X のフォトダイオード P D で発生した信号電荷が容量 C f d およびフォトダイオード P D の寄生容量に蓄積される。30

【 0 0 3 4 】

次に時刻 t 4 から始まる高感度のサンプリング駆動 S H について説明する。時刻 t 4 で、信号 E N をハイレベルにしトランジスタ M 3、M 6 をオン動作させる。これによって、容量 C f d 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 c 1 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 C L 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 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 S 1 に一括転送される。このときの光信号は、信号 W I D E 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 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によって、容量 C S 1 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 S H 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 C f d 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

【 0 0 3 5 】

次に信号 W I D E 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Cc1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畠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。20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。

【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。これによつて、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つても、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つたところ、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つた。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TH50

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（ ROH ）と低感度の光信号の出力（ ROL ）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。20

【0043】

図 2 の画素回路において、フォトダイオード PD 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 PCL 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 TS_2 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、これに限られないことはない。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 IX 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 106 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 106 は、チップセレクト端子 CS 、光信号出力端子 TS1 、光信号出力端子 TS2 、基準信号出力端子 TN 、垂直走査回路スタート信号端子 VST 、垂直走査回路クロック端子 CLKV 、水平走査回路スタート信号端子 HST 、水平走査回路クロック端子 CLKH の各端子を含む。また、センサユニット 106 には、列方向に m 個 × 行方向に n 個の画素 P IX が 2 次元アレイ状に配列されている。垂直走査回路 403 は、行方向に並ぶ画素 P IX を行ごとに選択し、垂直走査クロック CLKV 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 403 は、例えば、シフトレジスタで構成されうる。水平走査回路 404 は、垂直走査回路 403 によって選択された主走査方向である列方向の画素 P IX の列信号線を、水平走査クロック CLKH に同期して順次、1 画素ずつ選択する。それぞれの画素 P IX は、垂直走査回路 403 に接続された行信号線 405 がイネーブルになることによって、列信号線 406 、 407 、 408 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 406 、 407 、 408 に出力された各信号を水平走査回路 404 が順次選択することによって、アナログ出力線 409 、 410 、 411 にそれぞれ画素 P IX 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 106 は、垂直走査回路 403 、水平走査回路 404 を使用した XY アドレス方式によるスイッチング動作によって画素 P IX の選択が行われる。それぞれの画素 P IX の光信号、基準信号は、列信号線 406 、 407 、 408 およびアナログ出力線 409 、 410 、 411 を通して光信号出力端子 TS1 、光信号出力端子 TS2 、基準信号出力端子 TN から出力される。

【 0 0 4 8 】

図 5 は、それぞれの画素 P IX 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 107 および A / D 変換器 108 を含む読出部 RO の構成例を示す図である。光信号出力端子 TS1 、 TS2 からの出力は、それぞれ入力スイッチ M50 、入力スイッチ M51 に接続される。入力スイッチ M50 は信号 SW1 によって動作し、入力スイッチ M51 は信号 SW2 によって動作する。信号 SW1 および信号 SW2 は、画素 P IX 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 IX の高感度と低感度との光信号および基準信号が同時にに出力される場合でも、まず、信号 SW1 をハイレベル、信号 SW2 をローレベルに制御する。そして、図 4 に示す画素 P IX (1, 1) から順に画素 P IX (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 SW1 をローレベル、信号 SW2 をハイレベルに制御して、画素 P IX (1, 1) から順に画素 P IX (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よい。

【 0 0 5 0 】

また例えば、まず、信号 SW1 をハイレベル、信号 SW2 をローレベルに制御して、画素 P IX (1, 1) から順に画素 P IX (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 SW1 をローレベル、信号 SW2 をハイレベルに制御して、画素 P IX (1, 1) から順に画素 P IX (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 403 に垂直走査クロック CLKV 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 IX (1, 2) から順に (n, 2) を選択する。再度、信号 SW1 をハイレベル、信号 SW2 をローレベルに制御して、画素 P IX (1, 2) から順に画素 P IX (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 SW1 をローレベル、信号 SW2 をハイレベルに制御して、画素 P IX (1, 2) から順に画素 P IX (n, 2) までの低感度で取得した光信号

10

20

30

40

50

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 ごとに制御部 109 に出力する。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、画像データインターフェース 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、画像データインターフェース 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 ~ 65535 LSB) の場合を示す。

【0057】

高感度画像の画素値 PHA が 30000 LSB 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 40000 LSB 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 H 0 が 3 0 0 0 0 L S B 以上かつ 4 0 0 0 0 L S B 以下の場合は、画素値 P L a および画素値 P H a を合成することによって、画素 P I X 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、 $(1 - k) \cdot P H a + k \cdot P L a$ で求まる値を当該画素 P I X 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 未満の値を有しうる。

【 0 0 5 8 】

次いで、ステップ S 1 3 0 で、画素位置を表す変数 a に 1 を加算し、ステップ S 1 3 1 で変数 a の値が最大値 b より小さい場合は、ステップ S 1 2 5 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 1 3 1 で、変数 a の値が最大値 b 以上場合は、ステップ S 1 3 2 に進み、画像処理を終了する。

10

【 0 0 5 9 】

以上のように、放射線撮像装置 1 0 0 のセンサパネル 1 0 5 のすべての画素 P I X 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 H a 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 H a 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 I X に対してステップ S 1 2 8 の処理を行ってもよい。

【 0 0 6 0 】

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 1 0 5 のそれぞれのセンサユニット 1 0 6 に配された 1 つの画素 P I X の回路構成例を示している。図 2 に示した画素 P I X 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 1 0 6 などと同様であってよい。

【 0 0 6 1 】

図 8 は、図 7 示す画素 P I X 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 S 1 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

【 0 0 6 2 】

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 をハイレベルにしトランジスタ M 3、M 6 をオン動作させる。これによって、容量 C f d 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 c 1 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 C L 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 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 S 1 に一括転送される。このときの光信号は、信号 W I D E 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 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によって、容量 C S 1 に高感度の光信号がサンプリングされる。

40

【 0 0 6 3 】

次に信号 W I D E 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Cc1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畠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。20
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。

【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までの時間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PIX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 のサンプルリングの終了時から、容量CS1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 のサンプルリングの終了時から、容量CS1、CN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PIX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PIX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M1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M1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20000 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50000 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20000 LSB狭くなることを意味する。20

【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CS1、CS2および基準信号用ホールド容量である容量CN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CS1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M3、M6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。

【 0 0 7 6 】

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

【 0 0 7 7 】

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畠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

【 0 0 7 8 】

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

【 0 0 7 9 】

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。

【 0 0 8 0 】

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

【 0 0 8 1 】

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。

【 0 0 8 2 】

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もなされうる。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。

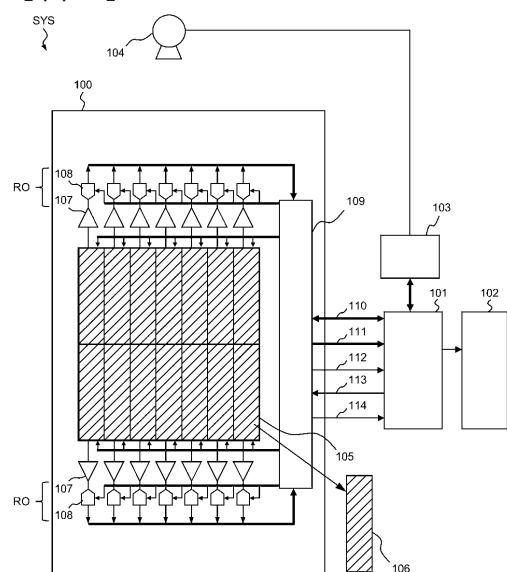
【 符号の説明 】

【 0 0 8 4 】

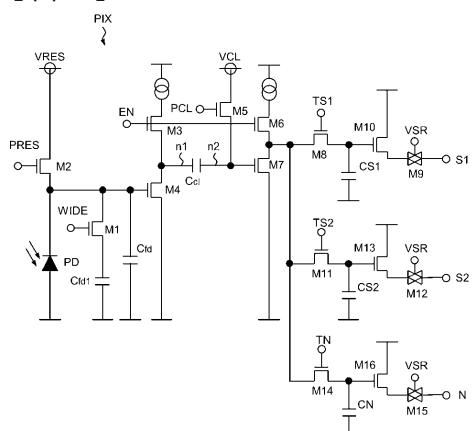
1 0 0 : 放射線撮像装置、PIX : 画素

10

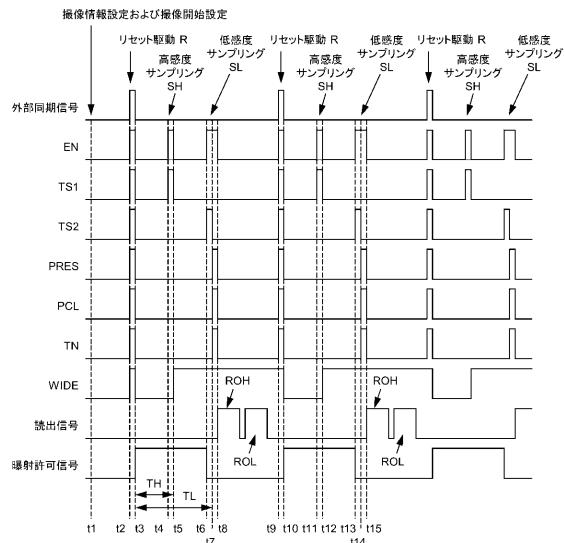
【 図 1 】



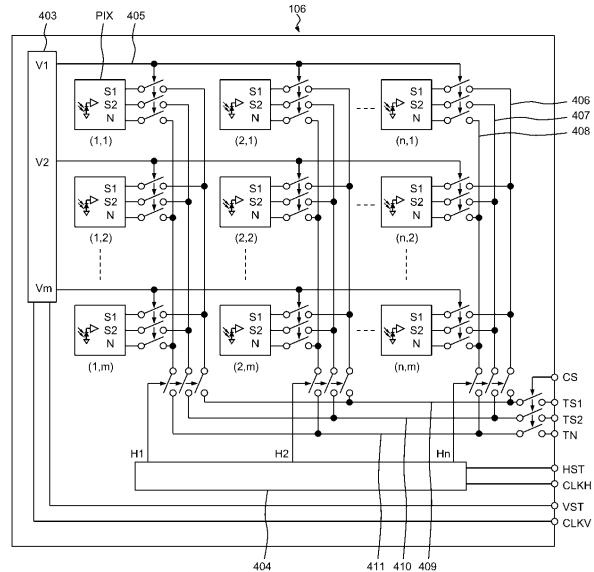
【 図 2 】



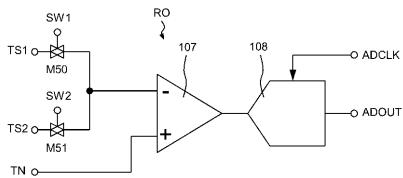
【図3】



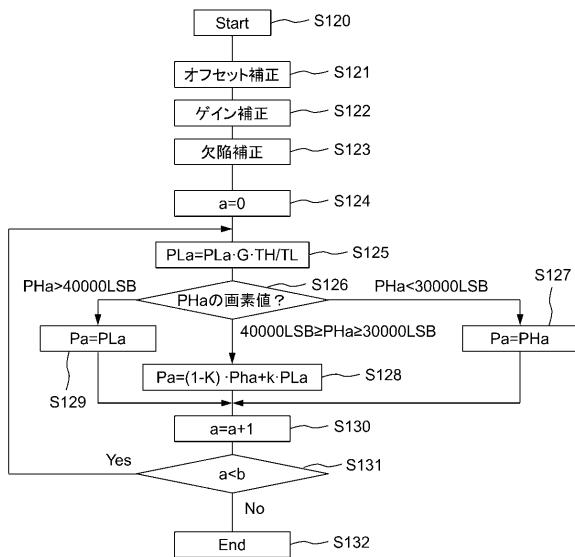
【図4】



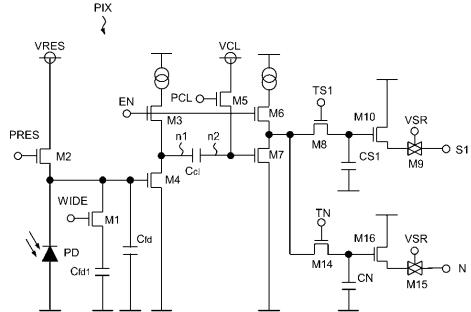
【図5】



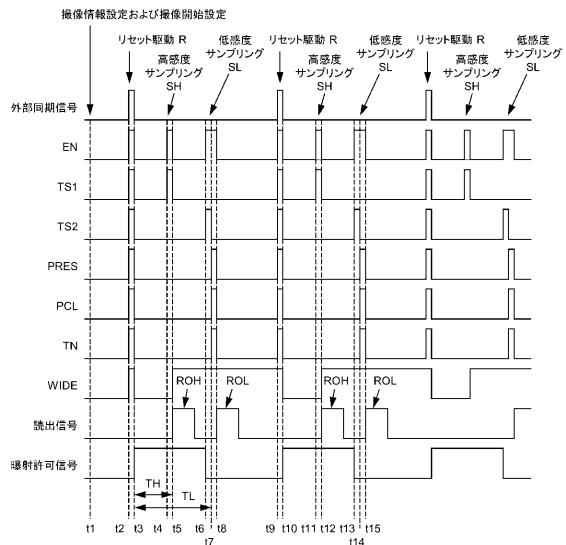
【図6】



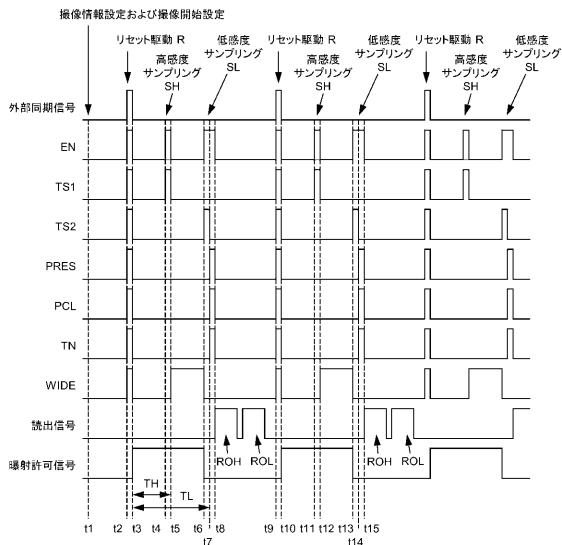
【図7】



【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