

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2005-197319

(P2005-197319A)

(43) 公開日 平成17年7月21日(2005.7.21)

(51) Int. Cl. ⁷	F I	テーマコード (参考)
HO 1 L 27/146	HO 1 L 27/14	A 4M118
HO 4 N 5/335	HO 4 N 5/335	E 5C024

審査請求 有 請求項の数 14 O L (全 15 頁)

(21) 出願番号	特願2003-435849 (P2003-435849)	(71) 出願人	000005049 シャープ株式会社 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号
(22) 出願日	平成15年12月26日(2003.12.26)	(74) 代理人	100078282 弁理士 山本 秀策
		(74) 代理人	100062409 弁理士 安村 高明
		(74) 代理人	100107489 弁理士 大塩 竹志
		(72) 発明者	小山 英嗣 大阪府大阪市阿倍野区長池町22番22号 シャープ株式会社内
		Fターム(参考)	4M118 AA02 AB01 BA14 CA03 CA09 DB09 DD20 FA06 5C024 CX03 GX03 GY35 GZ01 HX40

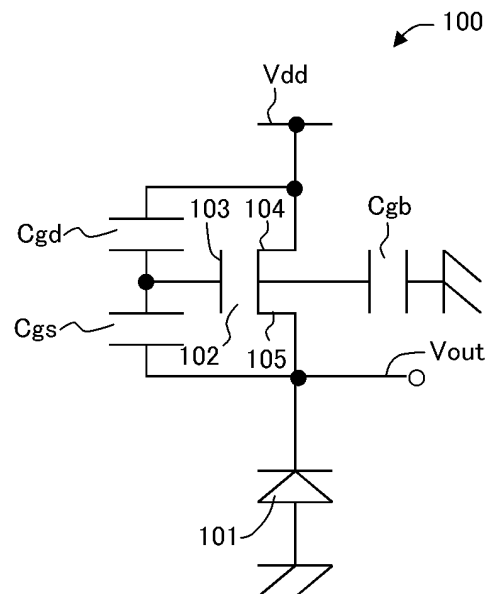
(54) 【発明の名称】 光検出装置、固体撮像装置およびカメラシステム

(57) 【要約】

【課題】 対数変換型イメージセンサの出力電圧変化量を大きくする。

【解決手段】 本発明の光検出装置は、入射光量に応じた電気信号を発生するフォトダイオードと、電気信号の電圧値を対数変換する対数変換用トランジスタとを備え、対数変換用トランジスタは、ソース電極およびドレイン電極のうち的一方である第1電極と、ソース電極およびドレイン電極のうち他方である第2電極と、ゲート電極とを備え、第1電極はフォトダイオードに接続されており、対数変換用トランジスタがサブスレッシュド領域で動作するように、第2電極には所定の電圧が印加されており、対数変換用トランジスタが電気信号の電圧値を対数変換するとき、ゲート電極の電圧をフローティング状態にする手段をさらに備える。

【選択図】 図1



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

入射光量に応じた電気信号を発生するフォトダイオードと、
前記電気信号の電圧値を対数変換する対数変換用トランジスタと
を備え、

前記対数変換用トランジスタは、ソース電極およびドレイン電極のうち的一方である第
1 電極と、前記ソース電極および前記ドレイン電極のうち他方である第 2 電極と、ゲー
ト電極とを備え、

前記第 1 電極は前記フォトダイオードに接続されており、

前記対数変換用トランジスタがサブスレッシュド領域で動作するように、前記第 2 電極 10
には第 1 電圧が印加されており、

前記対数変換用トランジスタが前記電気信号の電圧値を対数変換するときに、前記ゲー
ト電極の電圧をフローティング状態にする手段をさらに備える、光検出装置。

【請求項 2】

前記第 1 電極と前記ゲート電極との間のキャパシタンスは、前記第 2 電極と前記ゲー
ト電極との間のキャパシタンスよりも大きい、請求項 1 に記載の光検出装置。

【請求項 3】

前記ゲート電極と前記第 1 電極とが重複している幅は、前記ゲート電極と前記第 2 電極
とが重複している幅よりも大きい、請求項 2 に記載の光検出装置。

【請求項 4】

前記ゲート電極と前記第 1 電極とが重複している面積は、前記ゲート電極と前記第 2 電
極とが重複している面積よりも広い、請求項 2 に記載の光検出装置。 20

【請求項 5】

前記ゲート電極と前記第 1 電極とが重複している面積は、前記ゲート電極と前記第 2 電
極とが重複している面積よりも広い、請求項 3 に記載の光検出装置。

【請求項 6】

前記対数変換用トランジスタによって対数変換された電圧値を有する電気信号を増幅す
る増幅部と、

前記増幅部に接続された第 1 スイッチ部と
をさらに備え、 30

前記増幅部は増幅した電気信号を前記第 1 スイッチ部を介して出力する、請求項 1 に記
載の光検出装置。

【請求項 7】

前記ゲート電極の電圧をフローティング状態にする手段は、前記ゲート電極に接続され
た第 2 スイッチ部であり、

前記第 2 スイッチ部がオン状態のときは前記ゲート電極に第 2 電圧が印加され、前記第
2 スイッチ部がオフ状態のときは前記ゲート電極の電圧はフローティング状態にされる、
請求項 1 に記載の光検出装置。

【請求項 8】

定電流を発生する定電流電源部と、 40

前記第 1 電極と前記定電流電源部とに接続された第 3 スイッチ部と
をさらに備え、

前記第 3 スイッチ部がオン状態のときに前記第 1 電極に前記定電流が入力される、請求
項 7 に記載の光検出装置。

【請求項 9】

前記第 2 スイッチ部および前記第 3 スイッチ部がオン状態のときに前記対数変換用トラ
ンジスタはリセット信号を発生する、請求項 7 に記載の光検出装置。

【請求項 10】

前記第 2 スイッチ部がオン状態であって前記第 1 電圧がローレベルに下がった後にハイ
レベルに上がるときに前記対数変換用トランジスタはリセット信号を発生する、請求項 7 50

に記載の光検出装置。

【請求項 1 1】

前記第 1 電極と前記フォトダイオードとに接続された第 4 スイッチ部をさらに備え、前記第 4 スイッチ部がオン状態のときに前記第 1 電極に前記電気信号が入力される、請求項 7 に記載の光検出装置。

【請求項 1 2】

前記第 4 スイッチ部がオフ状態のときに前記対数変換用トランジスタはリセット信号を発生する、請求項 1 1 に記載の光検出装置。

【請求項 1 3】

複数の光検出装置を備えた固体撮像装置であって、
前記複数の光検出装置のそれぞれは、
入射光量に応じた電気信号を発生するフォトダイオードと、
前記電気信号の電圧値を対数変換する対数変換用トランジスタと
を備え、
前記対数変換用トランジスタは、ソース電極およびドレイン電極のうち的一方である第 1 電極と、前記ソース電極および前記ドレイン電極のうち他方である第 2 電極と、ゲート電極とを備え、
前記第 1 電極は前記フォトダイオードに接続されており、
前記対数変換用トランジスタがサブスレッシュド領域で動作するように、前記第 2 電極には所定の電圧が印加されており、
前記複数の光検出装置のそれぞれは、前記対数変換用トランジスタが前記電気信号の電圧値を対数変換するときに、前記ゲート電極の電圧をフローティング状態にする手段をさらに備える、固体撮像装置。

【請求項 1 4】

固体撮像装置を備えたカメラシステムであって、
前記固体撮像装置は複数の光検出装置を備え、
前記複数の光検出装置のそれぞれは、
入射光量に応じた電気信号を発生するフォトダイオードと、
前記電気信号の電圧値を対数変換する対数変換用トランジスタと
を備え、
前記対数変換用トランジスタは、ソース電極およびドレイン電極のうち的一方である第 1 電極と、前記ソース電極および前記ドレイン電極のうち他方である第 2 電極と、ゲート電極とを備え、
前記第 1 電極は前記フォトダイオードに接続されており、
前記対数変換用トランジスタがサブスレッシュド領域で動作するように、前記第 2 電極には所定の電圧が印加されており、
前記複数の光検出装置のそれぞれは、前記対数変換用トランジスタが前記電気信号の電圧値を対数変換するときに、前記ゲート電極の電圧をフローティング状態にする手段をさらに備える、カメラシステム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、光検出装置、複数の光検出装置を備えた固体撮像装置および固体撮像装置を備えたカメラシステムに関する。

【背景技術】

【0002】

CCD 型イメージセンサや MOS 型イメージセンサなどの半導体イメージセンサは、多くの画像入力デバイス装置に適用されている。特に近年消費電力が小さく、かつ周辺回路と同じ CMOS 技術で作成できる利点を生かして、MOS 型イメージセンサが見直されて

10

20

30

40

50

いる。さらにMOS型イメージセンサの分野においては、MOSトランジスタのサブスレッシュド領域を利用し、光の照射量に対して出力が対数特性をもつ、高ダイナミックレンジ動作を特徴とした、いわゆる対数変換型イメージセンサも注目されている（例えば特許文献1参照）。

【0003】

図10に対数変換型イメージセンサの単位画素毎に設けられる光検出装置900を示す。光検出装置900においては、フォトダイオード901で生成される光電流 I_{pd} と、対数変換用MOSトランジスタ902のサブスレッシュド電流 I_{ds} とがつりあうように、出力電圧 V_{out} の値が決定される。

【0004】

ここでMOSトランジスタのサブスレッシュド電流 I_{ds} は以下の式(1)で表される。

$$I_{ds} = I_0 \exp\left(\frac{g - V_s}{kT}\right) \quad (1)$$

ここで、 I_0 は比例定数であり、 q は電子1個あたりの電荷量、 k はボルツマン定数、 T は絶対温度を表す。 g はゲート下部のサーフェスポテンシャル、 V_s はソース電位である。

【0005】

ゲート電圧 V_g とサーフェスポテンシャル g の関係は一般に以下の式(2)で表される。

$$V_g = m g + a \quad (2)$$

ここで、 $m = dV_g / dg = 1 + C_d / C_{ox} \sim 1.1$ (C_{ox} :酸化膜容量、 C_d :ゲート下部の空乏層容量)、

a は定数である。これより以下の式(3)が得られる。

$$I_{ds} = I_0 \exp\left(\frac{(V_g - a) / m - V_s}{kT}\right) \quad (3)$$

ここで、図10より $I_{ds} = I_{pd}$ 、 $V_g = V_{dd}$ とすると、 $V_{out} (= V_s)$ は以下の式(4)のように表される。

$$V_{out} = (V_{dd} - a) / m - (kT / q) \ln(I_{pd} / I_0) \quad (4)$$

以上から、光電流 I_{pd} に対して出力 V_{out} が対数特性をもつことがわかる。さらに異なる光量での光電流を I_{pd1} と I_{pd2} とし、そのときの出力電圧を V_{out1} 、 V_{out2} とすれば、以下の式(5)が得られる。

$$V_{out2} - V_{out1} = - (kT / q) \ln(I_{pd2} / I_{pd1}) \quad (5)$$

例えば常温の時に光量が10倍に変化する時(すなわち $I_{pd2} = I_{pd1} \times 10$)、

$$V_{out2} - V_{out1} = - (kT / q) \ln(10) \sim -60 \text{ mV} \quad (6)$$

となる。これは、光量変化率に対する出力電圧変化量が絶対温度以外に依存せず、一定値であることを示している。今、光量変化率を α とすれば、その時の出力電圧変化量は

$$V_{out} = - (kT / q) \ln(\alpha) \quad (7)$$

と表される。

【0006】

なお、イメージセンサが2次元に配列された複数の光検出装置を備える場合、図11に示す光検出装置910のような光検出装置が用いられる。光検出装置910は、光検出装置900の構成要素に加えて、インピーダンス変換のための画素アンプ911と行選択スイッチ部912とを備え、列毎に信号が出力されるのが一般的である。光検出装置910では、信号線SELに電圧が印加されることにより行選択スイッチ部912がON状態となり、画素アンプ911から出力された信号が列出力ライン913へ出力される。

【0007】

サブスレッシュド領域で動作する対数変換用MOSトランジスタ902には、素子毎にMOSトランジスタ特性にバラツキがある。このため、各画素間で対数変換用MOSトランジスタ902の動作点がずれることで、いわゆる2次元的な固定パターンノイズが発生することは知られている。この対策として、各画素での出力信号とリセット信号との差分を出力する回路(CDS回路)を用いることで固定パターンノイズ低減を図っている(例

10

20

30

40

50

えば特許文献2参照)。

【0008】

図12に光検出装置920を示す。光検出装置920は、光検出装置910の構成要素に加えて、定電流電源914と、定電流電源914と対数変換用MOSトランジスタ902とに接続されたスイッチ部915とを備える。

【0009】

図13は、光検出装置920の駆動パルスタイミング例を示す。出力信号読み出しタイミングt1には、SELスイッチを導通させて出力信号を列出力ラインに出力する。この時、Voutの波形は暗時の場合は電位が高く、明時の場合は電位が低い波形となる。

【0010】

次に、タイミングt2にて、スイッチ部915を導通させ、出力信号と比較して十分大きい定電流を発生する定電流電源914に対数変換用MOSトランジスタ902のソース電極とを導通させることで、入力がVddなるソースフォロワ回路が形成される。この状態は、フォトダイオード901に過剰な光が入射している状態と同等であり、Voutの電位は明時暗時に関わらず十分に下がる。

【0011】

その後タイミングt3にて、SELスイッチを導通させ、Voutの電位が十分に下がった時点の出力信号をリセット信号として、列出力ライン913に出力する。リセット信号には、対数変換用MOSトランジスタの特性バラツキが含まれる(より正確には画素アンプの特性バラツキも含まれる)ため、後段のCD回路(図示せず)によって、各画素の対数変換用トランジスタ902の特性バラツキが相殺され、結果として固定パターンノイズが低減される。タイミングt4以降はスイッチ部915をオフ状態にし、通常の光検出動作を次の読み出し時(1フレーム期間後)まで続ける。

【特許文献1】特開2003-158683公報

【特許文献2】特開2001-245214公報

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0012】

上述したような従来の光検出装置では、式(6)より10倍の光量変化率に対して出力電圧変化量は約60mVである。光検出装置の動作可能な入射光量範囲の上限は、対数変換用MOSトランジスタの動作がサブレスシュド領域から逸脱するくらい大きな電流が発生する高輝度時の光量であり、入射光量範囲の下限は、フォトダイオードで発生する暗電流成分が無視できないくらい小さな電流が発生する低輝度時の光量である。その光量範囲は、160dB(=10の8乗)程度である。そのため、出力電圧変化量は60mV×8=480mV程度しかなく、従来の線形変換型イメージセンサの出力電圧変化量が約1V程度あることと比較して、対数変換型イメージセンサは出力信号のダイナミックレンジが不足している。対数変換型イメージセンサの場合、出力信号を効率よくAD変換するためには、アナログアンプなどでゲインを上げざるを得ず、ノイズが大きくなるので画質劣化が生じてしまう。このように、対数変換型イメージセンサは、従来の線形変換型イメージセンサに比べて絶対的な出力電圧変化量が小さいことが課題である。

【0013】

上記課題を鑑みて、本発明は、フォトダイオードから発生した電気信号の電圧値のダイナミックレンジを大きくすることができ、且つ入射光量の変化に伴う電気信号の電圧値の変化量を大きくすることができる光検出装置、複数の光検出装置を備えた固体撮像装置、および固体撮像装置を備えたカメラシステム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】

【0014】

本発明の光検出装置は、入射光量に応じた電気信号を発生するフォトダイオードと、上記電気信号の電圧値を対数変換する対数変換用トランジスタとを備え、上記対数変換用トランジスタは、ソース電極およびドレイン電極のうち的一方である第1電極と、上記ソー

10

20

30

40

50

ス電極および上記ドレイン電極のうちの他方である第2電極と、ゲート電極とを備え、上記第1電極は上記フォトダイオードに接続されており、上記対数変換用トランジスタがサブスレッシュド領域で動作するように、上記第2電極には第1電圧が印加されており、上記対数変換用トランジスタが上記電気信号の電圧値を対数変換するときに、上記ゲート電極の電圧をフローティング状態にする手段をさらに備え、そのことにより上記目的が達成される。

【0015】

上記第1電極と上記ゲート電極との間のキャパシタンスは、上記第2電極と上記ゲート電極との間のキャパシタンスよりも大きくてもよい。

【0016】

上記ゲート電極と上記第1電極とが重複している幅は、上記ゲート電極と上記第2電極とが重複している幅よりも大きくてもよい。

【0017】

上記ゲート電極と上記第1電極とが重複している面積は、上記ゲート電極と上記第2電極とが重複している面積よりも広くてもよい。

【0018】

上記対数変換用トランジスタによって対数変換された電圧値を有する電気信号を増幅する増幅部と、上記増幅部に接続された第1スイッチ部とをさらに備え、上記増幅部は増幅した電気信号を上記第1スイッチ部を介して出力してもよい。

【0019】

上記ゲート電極の電圧をフローティング状態にする手段は、上記ゲート電極に接続された第2スイッチ部であり、上記第2スイッチ部がオン状態のときは上記ゲート電極に第2電圧が印加され、上記第2スイッチ部がオフ状態のときは上記ゲート電極の電圧はフローティング状態にされてもよい。

【0020】

定電流を発生する定電流電源部と、上記第1電極と上記定電流電源部とに接続された第3スイッチ部とをさらに備え、上記第3スイッチ部がオン状態のときに上記第1電極に上記定電流が入力されてもよい。

【0021】

上記第2スイッチ部および上記第3スイッチ部がオン状態のときに上記対数変換用トランジスタはリセット信号を発生してもよい。

【0022】

上記第2スイッチ部がオン状態であって上記第1電圧がローレベルに下がった後にハイレベルに上がるときに上記対数変換用トランジスタはリセット信号を発生してもよい。

【0023】

上記第1電極と上記フォトダイオードとに接続された第4スイッチ部をさらに備え、上記第4スイッチ部がオン状態のときに上記第1電極に上記電気信号が入力されてもよい。

【0024】

上記第4スイッチ部がオフ状態のときに上記対数変換用トランジスタはリセット信号を発生してもよい。

【0025】

本発明の複数の光検出装置を備えた固体撮像装置において、上記複数の光検出装置のそれぞれは、入射光量に応じた電気信号を発生するフォトダイオードと、上記電気信号の電圧値を対数変換する対数変換用トランジスタとを備え、上記対数変換用トランジスタは、ソース電極およびドレイン電極のうちの一方である第1電極と、上記ソース電極および上記ドレイン電極のうちの他方である第2電極と、ゲート電極とを備え、上記第1電極は上記フォトダイオードに接続されており、上記対数変換用トランジスタがサブスレッシュド領域で動作するように、上記第2電極には所定の電圧が印加されており、上記複数の光検出装置のそれぞれは、上記対数変換用トランジスタが上記電気信号の電圧値を対数変換するときに、上記ゲート電極の電圧をフローティング状態にする手段をさらに備え、そのこ

10

20

30

40

50

とにより上記目的が達成される。

【0026】

本発明の固体撮像装置を備えたカメラシステムにおいて、上記固体撮像装置は複数の光検出装置を備え、上記複数の光検出装置のそれぞれは、入射光量に応じた電気信号を発生するフォトダイオードと、上記電気信号の電圧値を対数変換する対数変換用トランジスタとを備え、上記対数変換用トランジスタは、ソース電極およびドレイン電極のうち的一方である第1電極と、上記ソース電極および上記ドレイン電極のうち他方である第2電極と、ゲート電極とを備え、上記第1電極は上記フォトダイオードに接続されており、上記対数変換用トランジスタがサブスレッシュド領域で動作するように、上記第2電極には所定の電圧が印加されており、上記複数の光検出装置のそれぞれは、上記対数変換用トランジスタが上記電気信号の電圧値を対数変換するとき、上記ゲート電極の電圧をフローティング状態にする手段をさらに備え、そのことにより上記目的が達成される。

10

【発明の効果】

【0027】

本発明によれば、フォトダイオードから発生した電気信号の電圧値を対数変換用トランジスタが対数変換するとき、対数変換用トランジスタのゲート電極の電圧はフローティング状態にされる。このことにより、フォトダイオードから発生した電気信号の電圧値のダイナミックレンジを大きくすることができ、且つ入射光量の変化に伴う電気信号の電圧値の変化量を大きくすることができるので、高感度の光検出装置が実現でき、高画質の画像を得ることが出来る。

20

【発明を実施するための最良の形態】

【0028】

以下、本発明の実施の形態を図面を参照しながら説明する。

【0029】

(実施の形態1)

図1は、本発明の実施の形態1における光検出装置100を示す。

【0030】

光検出装置100は、入射光量に応じた電気信号を発生するフォトダイオード101と、フォトダイオード101が発生した電気信号の電圧値を対数変換する対数変換用トランジスタ102とを備える。対数変換用トランジスタ102は例えばMOSトランジスタであり、ソース電極およびドレイン電極のうち的一方である第1電極105と、ソース電極およびドレイン電極のうち他方である第2電極104と、ゲート電極103とを備える。本発明の実施の形態では、第1電極105はソース電極であり、第2電極104はドレイン電極であるが、回路構成に応じて逆でもよい。ソース電極105はフォトダイオード101に接続されている。対数変換用トランジスタ102がサブスレッシュド領域で動作するように、ドレイン電極104には電源ラインV_{dd}から所定の電圧が印加されている。ゲート電極103は電源ラインV_{dd}に接続されていない。

30

【0031】

光検出装置100は、フォトダイオード101が発生した電気信号の電圧値を対数変換用トランジスタ102が対数変換するとき、ゲート電極103の電圧をフローティング状態にする手段を備える。光検出装置100では、ゲート電極103に電源ラインV_{dd}を接続していない構成が、ゲート電極103の電圧をフローティング状態にする手段にあたる。

40

【0032】

従来の対数変換用トランジスタのゲート電極が電源ラインV_{dd}に接続されているのに対し、本発明の光検出装置100のゲート電極103は、電源ラインV_{dd}に接続されず、電位的にフローティング状態となっている。このときの、ゲート電極103とドレイン電極104との間のキャパシタンスであるカップリング容量をC_{gd}、ゲート電極103とソース電極105との間のキャパシタンスであるカップリング容量をC_{gs}、ゲート電極103と基板との間のキャパシタンスであるカップリング容量をC_{gb}とする。

50

今、ある光量での出力信号電圧を V_{out} 、光電流を I_{pd} 、ゲート電圧を V_g とすれば、式 (3) より、下記式 (8) が得られる。

$$I_{pd} = I_0 \exp\left(\frac{(V_g - a) - V_{out}}{m} \frac{q}{kT}\right) \quad (8)$$

光量が 倍に変化した場合、式 (8) は下記式 (9) に変形される。

$$\alpha I_{pd} = I_0 \exp\left(\frac{(V_g + \Delta V_g - a) - (V_{out} + \Delta V_{out})}{m} \frac{q}{kT}\right) \quad (9)$$

ここで、 ΔV_{out} は V_{out} の変化量を示し、 ΔV_g は V_g の変化量を示す。

【0033】

ここで、ゲート電極 103 のカップリング容量成分を α とする。 $\alpha = C_{gs} / (C_{gd} + C_{gs} + C_{gb})$ 、 $0 < \alpha < 1$ とすると、 $\Delta V_g = \Delta V_{out} \times \alpha$ であるので、式 (8) および式 (9) より下記式 (10) が得られる。

$$\Delta V_{out} = -\frac{(kT/q) \ln(\alpha)}{(1 - \alpha/m)} \quad (10)$$

上述した式 (7) に比べ、式 (10) には $1 / (1 - \alpha/m)$ の項が乗されている。通常、サブスレッシド領域では $C_{gd} = C_{gs}$ 、 $C_{gb} \ll C_{gs}$ であるから $\alpha \sim 0.5$ 、 $m = 1.1$ となる。このとき、 ΔV_{out} は下記式 (11) で表される。

$$\Delta V_{out} = -\frac{(kT/q) \ln(\alpha)}{1.8} \times 1.8 \quad (11)$$

式 (11) より、光検出装置 100 は、出力信号の電圧変化量を 1.8 倍にすることができる。従って、光量の変化範囲が、160 dB (= 10 の 8 乗) の場合、出力信号の電圧変化量は $60 \text{ mV} \times 1.8 \times 8 = 860 \text{ mV}$ 程度になり、従来の線形変換型イメージセンサの出力信号の電圧変化量 (約 1 V) とほぼ同等の値が得ることができる。同時に光の変化量に対する出力信号の電圧変化量が 1.8 倍になっているため、感度も 1.8 倍に向上する。

【0034】

このように、本実施の形態の光検出装置 100 は、フォトダイオードから発生した電気信号の電圧値のダイナミックレンジを大きくすることができ、且つ入射光量の変化に伴う電気信号の電圧値の変化量を大きくすることができるので、高感度に光を検出することが出来る。

【0035】

なお、出力電圧変化量を更に上げるために、カップリング容量 C_{gs} を、カップリング容量 C_{gd} よりも大きくしてもよい。ゲート電極 103、ソース電極 105、ドレイン電極 104 それぞれのレイアウトを変えることで、カップリング容量 C_{gs} とカップリング容量 C_{gd} との間の大小比を変えることができる。

【0036】

図 2 に、対数変換用トランジスタ 102 の上面図を示す。図 2 に示す例では、対数変換用トランジスタ 102 のゲート幅 $2W_{um}$ (すなわちゲート電極 103 とソース電極 105 とが重複している幅) は、対数変換用トランジスタ 102 のゲート幅 W_{um} (すなわちゲート電極 103 とドレイン電極 104 とが重複している幅) よりも約 2 倍大きい。また、ソース電極 105 のゲート電極 103 下に拡散している面積は、ドレイン電極 104 のゲート電極 103 下に拡散している面積よりも広い。

【0037】

図 2 に示す例では、 α および ΔV_{out} は以下の式 (12)、(13) で表される。

$$\alpha = C_{gs} / (C_{gd} + C_{gs}) = 0.67 \quad (12)$$

$$\Delta V_{out} = -\frac{(kT/q) \ln(\alpha)}{2.5} \times 2.5 \quad (13)$$

式 (13) より、光の変化範囲が 160 dB (= 10 の 8 乗) の場合における出力信号の電圧変化量を、 $60 \text{ mV} \times 2.5 \times 8 = 1200 \text{ mV}$ と更に大きくできるとともに、感度は 2.5 倍に向上する。

【0038】

図 3 に、対数変換用トランジスタ 102 の断面図を示す。図 3 に示す例では、ソース電極 105 として機能する高濃度拡散領域 105a とゲート電極 103 とが重複する長さ $3L_{um}$ は、ドレイン電極 104 として機能する高濃度拡散領域 104a とゲート電極 10

10

20

30

40

50

3 とが重複する長さ L_{um} よりも約 3 倍長い。重複する長さを変えることでも、ソース電極 105 のゲート電極 103 下に拡散している面積を、ドレイン電極 104 のゲート電極 103 下に拡散している面積よりも広くすることができ、カップリング容量 C_{gs} をカップリング容量 C_{gd} よりも大きくすることができる。図 3 の例（ここでは、ゲート幅はドレイン側とゲート側とで同じ長さとする）では、および V_{out} は以下の式（14）、（15）で表される。

$$\sim C_{gs} / (C_{gd} + C_{gs}) = 0.75 \quad (14)$$

$$V_{out} = - (kT/q) \ln(\quad) \times 3.1 \quad (15)$$

式（15）より、光の変化範囲が 160 dB（= 10 の 8 乗）の場合の出力信号の電圧変化量を $60 \text{ mV} \times 3.1 \times 8 = 1490 \text{ mV}$ とかなり大きくすることができる。この時の感度向上率は 3.1 倍である。

10

【0039】

なお、ゲート電極 103 とソース電極 105 との間、およびゲート電極 103 とドレイン電極 104 との間のそれぞれにコンデンサ素子を設けても、出力信号の電圧変化量を大きくするという上記と同様の効果が得られる。

【0040】

（実施の形態 2）

図 4 に、本発明の実施の形態 2 における固体撮像装置 200 を示す。固体撮像装置 200 は、2 次元に配列された複数の光検出装置 400 と、垂直走査回路部 201 と、水平走査回路部 202 とを備える。図 4 では、説明を簡単にするために 4 つの光検出装置 400 を示しているが、光検出装置 400 の個数は任意である。例えば、固体撮像装置 200 の画素数が 500 万画素である場合には、固体撮像装置 200 は光検出装置 400 を約 500 万個備える。

20

【0041】

光検出装置 400 は、光検出装置 100 が備える構成要素に加えて、対数変換された電気信号の電圧である出力電圧 V_{out} を増幅するための増幅部 411 と、行選択スイッチ部 412 と、定電流を発生する定電流電源 414 と、定電流電源 414 と対数変換用トランジスタ 102 とに接続されたスイッチ部 415 と、ゲート電極 103 と電源ライン V_{dd} とに接続されたスイッチ部 416 とを備える。

【0042】

垂直走査回路部 201 は光検出装置 400 を行単位で選択し、水平走査回路部 202 は光検出装置 400 を列単位で選択する。垂直走査回路部 201 および水平走査回路部 202 は光検出装置 400 の動作を制御する制御部として機能する。垂直走査回路部 201 は、複数のライン SEL のうちの所定のライン SEL の電圧値を制御することにより、所定のライン SEL に接続された行選択スイッチ部 412 の ON 状態と OFF 状態とを切り替える。行選択スイッチ部 412 が ON 状態のときに列出力ライン 213 に出力された出力信号が水平走査回路部 202 に入力される。垂直走査回路部 201 は、複数のライン SW のうちの所定のライン SW の電圧値を制御することにより、所定のライン SW に接続されたスイッチ部 415、416 の ON 状態と OFF 状態とを切り替える。スイッチ部 415 が OFF 状態のとき、ソース電極 105 には、フォトダイオード 101 から出力された電気信号は入力されるが、定電流電源部 414 から出力された定電流は入力されないため、この状態では、対数変換用 MOS トランジスタ 102 は、フォトダイオード 101 から出力された電気信号を対数変換する。また、スイッチ部 415 が OFF 状態のときは同時にスイッチ部 416 も OFF 状態になり、電源ライン V_{dd} とゲート電極 103 とが電氣的に切断されることにより、ゲート電極 103 の電圧はフローティング状態にされる。このように、スイッチ部 416 は、フォトダイオード 101 から出力された電気信号の電圧値を対数変換用トランジスタ 102 が対数変換するときに、ゲート電極 103 の電圧をフローティング状態にする手段として機能する。

30

40

【0043】

図 5 は固体撮像装置 200 の駆動パルスタイミングを示している。図 4 および図 5 を参

50

照して固体撮像装置 200 の動作について説明する。

【0044】

対数変換用トランジスタ 102 のゲート電極 103 をフローティング状態にするためには、一定期間毎にゲート電極 103 を一定電位に固定する必要がある。出力信号読み出しタイミング t_1 には、対数変換用トランジスタ 102 のゲート電極 103 がフローティング状態となっている状態で行選択スイッチ部 412 を ON 状態にして出力信号を出力する。この時、 V_{out} の波形は、図 13 と同様、暗時の場合は電位が高く、明時の場合は電位が低い波形となる。

【0045】

次に、タイミング t_2 にて、スイッチ部 415、416 を ON 状態にして、出力信号と比較して十分大きい定電流を発生する定電流電源 414 とソース電極 105 とを導通させることで、ソースフォロワ回路が形成される。同時に、対数変換用トランジスタ 102 のゲート電極 103 が、電源ライン V_{dd} の電圧に固定される。この状態は、フォトダイオード 101 に過剰な光が入射している状態と同等であり、 V_{out} の電位は明時暗時に関わらず十分に下がる。

【0046】

その後、タイミング t_3 にて、行選択スイッチ部 412 を ON 状態にして、電圧 V_{out} の値が十分に下がった時点で対数変換用トランジスタ 102 から発生する出力信号をリセット信号として、列出力ライン 213 に出力する。

【0047】

リセット信号には、対数変換用トランジスタ 102 の特性バラツキが含まれる（より正確には画素アンプの特性バラツキも含まれる）ため、後段の CDS 回路（図示せず）によって、各画素の対数変換用トランジスタ 102 の特性バラツキが相殺され、結果として固定パターンノイズが低減される。タイミング t_4 以降はスイッチ部 415、416 を OFF 状態にすることによりゲート電極 103 をフローティング状態にして、通常の光検出動作を次の読み出し時（1 フレーム期間後）まで続ける。

【0048】

（実施の形態 3）

図 6 に、本発明の実施の形態 3 における固体撮像装置 300 を示す。固体撮像装置 300 は、2 次元に配列された複数の光検出装置 600 と、垂直走査回路部 201a と、水平走査回路部 202 とを備える。図 6 では、説明を簡単にするために 4 つの光検出装置 600 を示しているが、光検出装置 600 の個数は任意である。例えば、固体撮像装置 300 の画素数が 500 万画素である場合には、固体撮像装置 300 は、光検出装置 600 を約 500 万個備える。

【0049】

光検出装置 600 では、光検出装置 400 の構成要素から定電流電源 414 と、スイッチ部 415 とが省略されている。光検出装置 600 は、フォトダイオード 101 とソース電極 105 とに接続されたスイッチ部 815 を備える。本実施の形態では、ドレイン電極 104 は、垂直走査回路部 201a から伸びる電源ライン V_d に接続されている。スイッチ部 815 のゲート電極はライン / SW（/ はバーを表す）に接続されている。

【0050】

垂直走査回路部 201a は、複数のライン SW のうちの所定のライン SW の電圧値を制御することにより、所定のライン SW に接続されたスイッチ部 416 の ON 状態と OFF 状態とを切り替える。垂直走査回路部 201a は、複数のライン / SW のうちの所定のライン / SW の電圧値を制御することにより、所定のライン / SW に接続されたスイッチ部 815 の ON 状態と OFF 状態とを切り替える。垂直走査回路部 201a は、複数のライン SEL のうちの所定のライン SEL の電圧値を制御することにより、所定のライン SEL に接続された行選択スイッチ部 412 の ON 状態と OFF 状態とを切り替える。行選択スイッチ部 412 が ON 状態のときに列出力ライン 213 に出力された出力信号が水平走査回路部 202 に入力される。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 1 】

行選択スイッチ部 4 1 2 を ON 状態にしてリセット信号を出力するとき、リセット信号は、厳密にはフォトダイオード 1 0 1 に流れている明時の光電流や暗時の光電流の影響を受けることになる。その影響を受けないようにするため、光検出装置 6 0 0 は、フォトダイオード 1 0 1 と対数変換型トランジスタのソース電極 1 0 5 との間に接続されたスイッチ部 8 1 5 を備えている。スイッチ部 8 1 5 の ON 状態と OFF 状態とは、ライン SW に出力される信号の反転信号がライン / SW に出力されることによって切り替えられる。このため、スイッチ部 4 1 6 が ON 状態のとき（すなわちリセット信号出力時）にスイッチ部 8 1 5 は OFF 状態となり、フォトダイオード 1 0 1 とソース電極 1 0 5 とが切り離される。対数変換用トランジスタ 1 0 2 は、フォトダイオード 1 0 1 とソース電極 1 0 5 とが切り離された状態でリセット信号を出力する。フォトダイオード 1 0 1 とソース電極 1 0 5 とが切り離された状態でリセット信号を出力することにより、フォトダイオード 1 0 1 に流れている光電流の影響をリセット信号が受けなくなり、より正しい電圧値のリセット信号を得ることが出来る。

10

【 0 0 5 2 】

図 7 は、光検出装置 6 0 0 の改変例である光検出装置 6 0 0 a を示す。光検出装置 6 0 0 a では、光検出装置 6 0 0 の構成要素からスイッチ部 8 1 5 が省略されている。固体撮像装置 3 0 0 が光検出装置 6 0 0 の代わりに光検出装置 6 0 0 a を備えるときは、固体撮像装置 3 0 0 からライン / SW が省略される。

【 0 0 5 3 】

図 8 は、光検出装置 6 0 0 a を備える固体撮像装置 3 0 0 の駆動パルスタイミングを示している。対数変換用トランジスタ 1 0 2 のゲート電極 1 0 3 をフローティング状態にするためには、一定期間毎にゲート電極 1 0 3 を一定電位に固定する必要がある。出力信号読み出しタイミング t_1 には、対数変換用トランジスタ 1 0 2 のゲート電極 1 0 3 がフローティング状態になっている状態で、行選択スイッチ部 4 1 2 を ON 状態にして出力信号を出力する。この時、 V_{out} の波形は図 5 と同様、暗時の場合は電位が高く、明時の場合は電位が低い波形となる。

20

【 0 0 5 4 】

次に、タイミング t_2 にて、垂直走査回路部 2 0 1 a は、スイッチ部 4 1 6 を ON 状態にして、対数変換用トランジスタ 1 0 2 のゲート電極 1 0 3 を電源ライン V_{dd} の電圧に固定するとともに、電源ライン V_d の電圧をローレベルに下げることによって V_{out} の電圧を明時暗時に関わらず強制的にローレベルの電圧に固定する。その後、電源ライン V_d の電圧をハイレベルに戻すと、サブスレッシュド電流が電源ライン V_d とソース電極 1 0 5 間で流れる。タイミング t_3 にて行選択スイッチ部 4 1 2 を ON 状態にしたときに対数変換用トランジスタ 1 0 2 から発生する出力信号をリセット信号として、列出力ライン 2 1 3 に出力する。

30

【 0 0 5 5 】

リセット信号には、対数変換用トランジスタ 1 0 2 の特性バラツキが含まれる（より正確には画素アンプの特性バラツキも含まれる）ため、後段の CDS 回路（図示せず）によって、各画素の対数変換用トランジスタ 1 0 2 の特性バラツキが相殺され、結果として固定パターンノイズが低減される。タイミング t_4 以降はスイッチ部 4 1 6 を OFF 状態にすることによりゲート電極 1 0 3 をフローティング状態にして、通常の光検出動作を次の読み出し時（1 フレーム期間後）まで続ける。

40

【 0 0 5 6 】

光検出装置 6 0 0 においては、図 8 に示すタイミング t_3 にて、行選択スイッチ部 4 1 2 を ON 状態にしてリセット信号を出力するとき、フォトダイオード 1 0 1 とソース電極 1 0 5 とが切り離されるので、リセット信号が光電流の影響を受けなくなり、より正しい電圧値のリセット信号を得ることが出来る。その他の光検出装置 6 0 0 の動作は光検出装置 6 0 0 a と同じである。

【 0 0 5 7 】

50

(実施の形態4)

図9に、本発明の実施の形態4におけるカメラシステム700を示す。カメラシステム700は、例えば、ビデオカメラ、デジタルカメラ、携帯端末装置、スキャナ、ファクシミリ等であり得る。

【0058】

カメラシステム700は、光学レンズ部701と、固体撮像装置702と、メモリ部703と、入力インターフェース部704と、制御部705と、バス706とを備える。バス706は、各構成要素同士を接続する。

【0059】

光学レンズ部701は外部からの入射光を集光する。固体撮像装置702は、光学レンズ部701によって集光された光を受け取り、受け取った光を画像信号に変換する。メモリ部703は、画像信号が示す画像情報を記憶する。入力インターフェース部704はユーザから入力された命令を制御部705に出力する。制御部705はユーザからの命令に応じて、光学レンズ部701、固体撮像装置702、メモリ部703、入力インターフェース部704の動作を制御する。固体撮像装置702は例えば実施の形態2および3で説明した固体撮像装置200または300である。カメラシステム700では、上述した高感度の固体撮像装置200または300を備えるので、高画質の画像を得ることが出来る。

【産業上の利用可能性】

【0060】

本発明によれば、フォトダイオードから発生した電気信号の電圧値を対数変換用トランジスタが対数変換するとき、対数変換用トランジスタのゲート電極の電圧はフローティング状態にされる。このことにより、フォトダイオードから発生した電気信号の電圧値のダイナミックレンジを大きくすることができ、且つ入射光量の変化に伴う電気信号の電圧値の変化量を大きくすることができるので、高感度の光検出装置が実現でき、高画質の画像を得ることが出来る。

【0061】

このように本発明は、光検出装置、固体撮像装置およびカメラシステムの分野において得に有用である。

【図面の簡単な説明】

【0062】

【図1】本発明の実施の形態1における光検出装置を示す図

【図2】本発明の実施の形態1における対数変換用トランジスタの上面図

【図3】本発明の実施の形態1における対数変換用トランジスタの断面図

【図4】本発明の実施の形態2における固体撮像装置を示す図

【図5】本発明の実施の形態2における固体撮像装置の駆動パルスタイミングを示す図

【図6】本発明の実施の形態3における固体撮像装置を示す図

【図7】本発明の実施の形態3における光検出装置を示す図

【図8】本発明の実施の形態3における固体撮像装置の駆動パルスタイミングを示す図

【図9】本発明の実施の形態4におけるカメラシステムを示す図

【図10】従来光検出装置を示す図

【図11】従来光検出装置の他の例を示す図

【図12】従来光検出装置のさらに他の例を示す図

【図13】図12の光検出装置の駆動パルスタイミングを示す図

【符号の説明】

【0063】

101 フォトダイオード

102 対数変換用トランジスタ

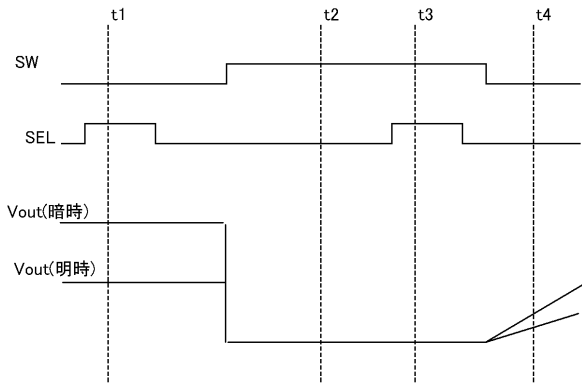
10

20

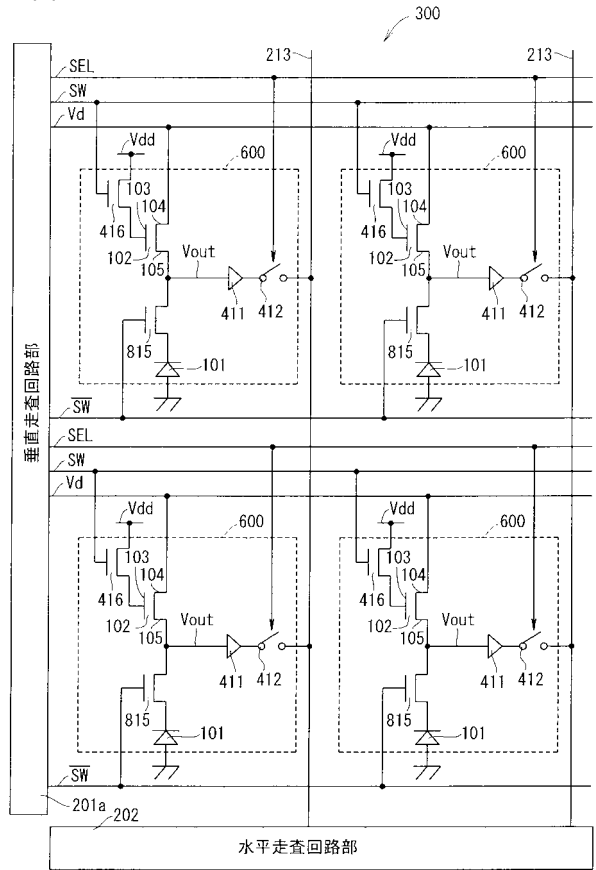
30

40

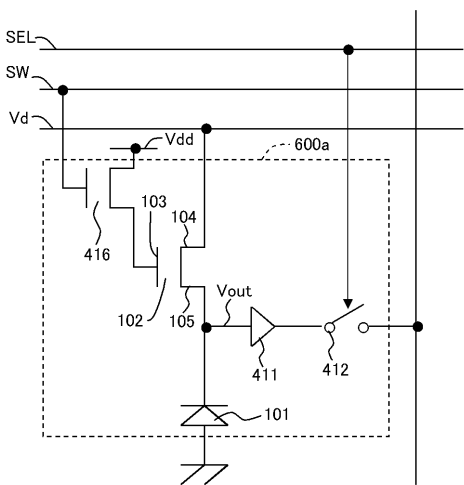
【図5】



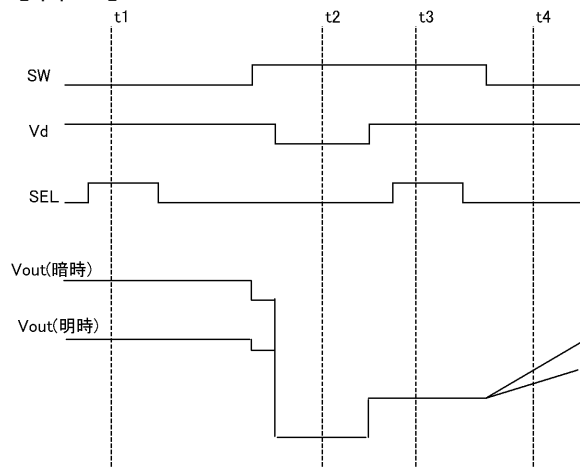
【図6】



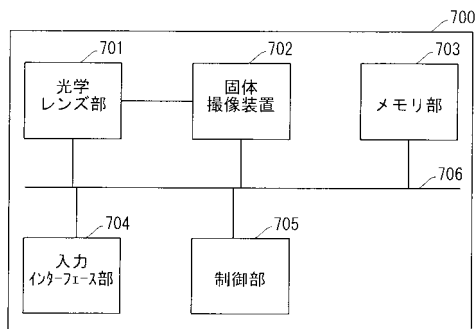
【図7】



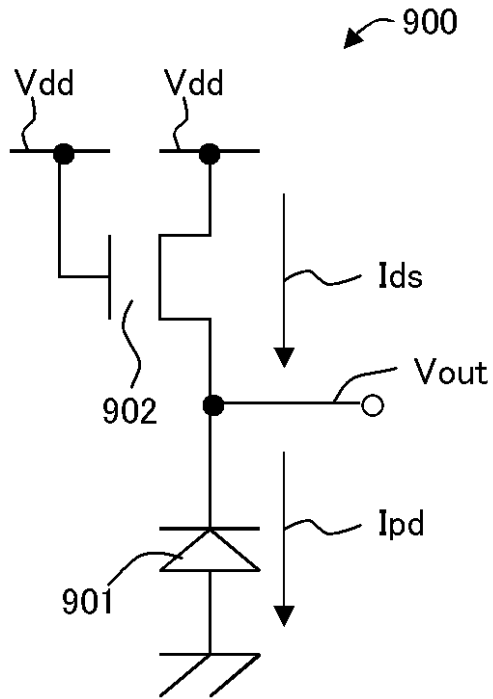
【図8】



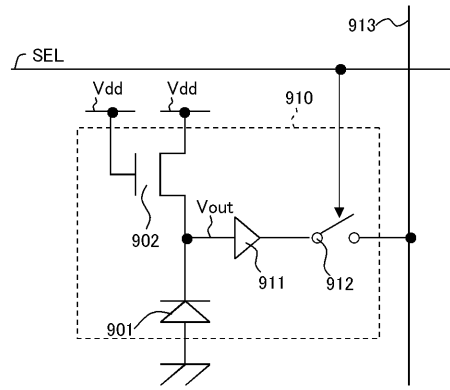
【図9】



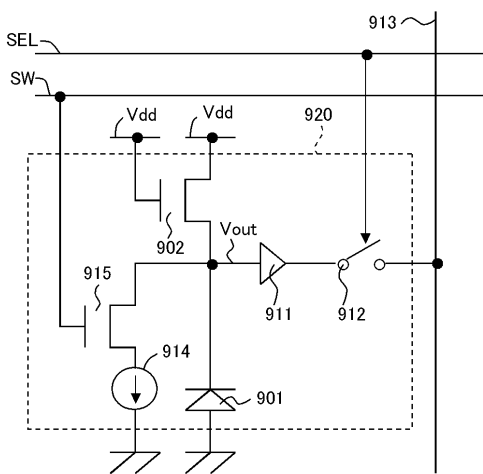
【 図 1 0 】



【 図 1 1 】



【 図 1 2 】



【 図 1 3 】

