

(19) 日本国特許庁(JP)

再公表特許(A1)

(11) 国際公開番号

W02008/069141

発行日 平成22年3月18日 (2010.3.18)

(43) 国際公開日 平成20年6月12日 (2008.6.12)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
HO4N 5/335 (2006.01)	HO4N 5/335	Z 4M118
GO1S 17/89 (2006.01)	GO1S 17/89	5C024
HO1L 27/146 (2006.01)	HO1L 27/14	A 5J084
	HO4N 5/335	E

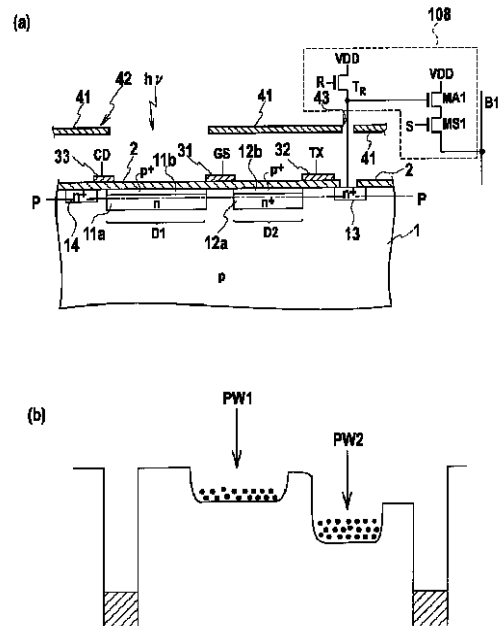
審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 30 頁)

出願番号 特願2008-548264 (P2008-548264)	(71) 出願人 304023318 国立大学法人静岡大学 静岡県静岡市駿河区大谷836
(21) 国際出願番号 PCT/JP2007/073215	(74) 代理人 100083806 弁理士 三好 秀和
(22) 国際出願日 平成19年11月30日 (2007.11.30)	(74) 代理人 100108914 弁理士 鈴木 壯兵衛
(31) 優先権主張番号 特願2006-324501 (P2006-324501)	(72) 発明者 川人 祥二 静岡県浜松市中区城北3丁目5-1 国立 大学法人静岡大学 電子工学研究所内
(32) 優先日 平成18年11月30日 (2006.11.30)	Fターム(参考) 4M118 AB01 AB03 BA14 CA04 CA32 FA06 FA28 FA33 GB03 GB07 5C024 AX01 BX01 CX37 EX12 GX03 GX16 GX18 GY31
(33) 優先権主張国 日本国 (JP)	最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 半導体測距素子及び固体撮像装置

(57) 【要約】

半導体領域(1)、受光用表面埋込領域(11a)、第1の電荷蓄積領域(12a)と、第1の電荷読み出し領域(13)、第1の電位制御手段(31)、第2の電位制御手段(32)、第1の排出ドレイン領域(14)と、及び第3の電位制御手段(33)とを備え、第1繰り返し周期において反射光の遅れ時間に依存する信号電荷を、受光用表面埋込領域(11a)から繰り返し転送して第1の電荷蓄積領域(12a)に第1信号電荷として蓄積し、第2繰り返し周期において反射光により発生した信号電荷のすべてを受光用表面埋込領域(11a)から繰り返し転送して第1の電荷蓄積領域(12a)に第2信号電荷として蓄積し、蓄積された第1及び第2信号電荷の総量の比を求めて、対象物までの距離を測定する半導体測距素子である。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】

第 1 導電型の半導体領域と、

前記半導体領域の上部の一部に埋め込まれ、対象物が反射した光を入射する第 2 導電型の受光用表面埋込領域と、

前記半導体領域の上部の一部に埋め込まれ、前記受光用表面埋込領域よりもポテンシャル井戸の深さが深く、前記受光用表面埋込領域から前記光により生成された信号電荷が転送される第 2 導電型の第 1 の電荷蓄積領域と、

前記第 1 の電荷蓄積領域から前記信号電荷を受け入れる第 1 の電荷読み出し領域と、

前記受光用表面埋込領域と前記第 1 の電荷蓄積領域との間の前記半導体領域の上部に形成されるチャンネルの電位を制御して、前記受光用表面埋込領域から前記第 1 の電荷蓄積領域へ前記信号電荷を転送する第 1 の電位制御手段と、

前記第 1 の電荷蓄積領域と前記第 1 の電荷読み出し領域との間の前記半導体領域の上部に形成されるチャンネルの電位を制御して、前記第 1 の電荷蓄積領域から前記第 1 の電荷読み出し領域へ前記信号電荷を転送する第 2 の電位制御手段と、

前記受光用表面埋込領域から電荷を排出する第 1 の排出ドレイン領域と、

前記受光用表面埋込領域と前記第 1 の排出ドレイン領域との間の前記半導体領域の上部に形成されるチャンネルの電位を制御して、前記受光用表面埋込領域から前記第 1 の排出ドレイン領域へ前記信号電荷を転送する第 3 の電位制御手段

とを備え、第 1 繰り返し周期において前記反射光の遅れ時間に依存する前記信号電荷を、前記受光用表面埋込領域から繰り返し転送して前記第 1 の電荷蓄積領域に第 1 信号電荷として蓄積し、

第 2 繰り返し周期において前記反射光により発生した前記信号電荷のすべてを前記受光用表面埋込領域から繰り返し転送して前記第 1 の電荷蓄積領域に第 2 信号電荷として蓄積し、

蓄積された前記第 1 及び第 2 信号電荷の総量の比を求めて、前記対象物までの距離を測定することを特徴とする半導体測距素子。

【請求項 2】

前記受光用表面埋込領域が互いに前記半導体領域の上部に埋め込まれた複数のストライプ状のパターンからなることを特徴とする請求項 1 に記載の半導体測距素子。

【請求項 3】

前記第 1 の電荷蓄積領域が前記受光用表面埋込領域よりも高不純物密度であることを特徴とする請求項 1 に記載の半導体測距素子。

【請求項 4】

前記第 1 の電荷蓄積領域が前記受光用表面埋込領域よりも深いことを特徴とする請求項 1 に記載の半導体測距素子。

【請求項 5】

前記受光用表面埋込領域から前記第 1 の電荷蓄積領域へ前記信号電荷を転送しないときに、前記受光用表面埋込領域から前記第 1 の排出ドレイン領域へ前記電荷を排出することを特徴とする請求項 1 に記載の半導体測距素子。

【請求項 6】

前記半導体領域の上部の一部に前記第 1 の電荷蓄積領域と離間して埋め込まれ、前記受光用表面埋込領域よりもポテンシャル井戸の深さが深く、前記受光用表面埋込領域から前記光により生成された信号電荷が転送される第 2 導電型の第 2 の電荷蓄積領域と、

前記第 2 の電荷蓄積領域から前記信号電荷を受け入れる第 2 の電荷読み出し領域と、

前記受光用表面埋込領域と前記第 2 の電荷蓄積領域との間の前記半導体領域の上部に形成されるチャンネルの電位を制御して、前記受光用表面埋込領域から前記第 2 の電荷蓄積領域へ前記信号電荷を転送する第 4 の電位制御手段と、

前記第 2 の電荷蓄積領域と前記第 2 の電荷読み出し領域との間の前記半導体領域の上部に形成されるチャンネルの電位を制御して、前記第 2 の電荷蓄積領域から前記第 2 の電荷読

10

20

30

40

50

み出し領域へ前記信号電荷を転送する第 5 の電位制御手段

とを更に備えることを特徴とする請求項 1 に記載の半導体測距素子。

【請求項 7】

前記第 2 の電荷蓄積領域が前記受光用表面埋込領域よりも高不純物密度であるか、又は前記第 2 の電荷蓄積領域が前記受光用表面埋込領域よりも深いことを特徴とする請求項 6 に記載の固体撮像装置。

【請求項 8】

前記受光用表面埋込領域から電荷を排出する第 2 の排出ドレイン領域と、

前記受光用表面埋込領域と前記第 2 の排出ドレイン領域との間の前記半導体領域の上部に形成されるチャンネルの電位を制御して、前記受光用表面埋込領域から前記第 2 の排出ドレイン領域へ前記信号電荷を転送する第 6 の電位制御手段

とを更に備えることを特徴とする請求項 6 に記載の半導体測距素子。

【請求項 9】

第 1 導電型の半導体領域と、

前記半導体領域の上部の一部に埋め込まれ、対象物が反射した光を入射する第 2 導電型の受光用表面埋込領域と、

前記半導体領域の上部の一部に埋め込まれ、前記受光用表面埋込領域よりもポテンシャル井戸の深さが深く、前記受光用表面埋込領域から前記光により生成された信号電荷が転送される第 2 導電型の第 1 の電荷蓄積領域と、

前記第 1 の電荷蓄積領域から前記信号電荷を受け入れる第 1 の電荷読み出し領域と、

前記受光用表面埋込領域と前記第 1 の電荷蓄積領域との間の前記半導体領域の上部に形成されるチャンネルの電位を制御して、前記受光用表面埋込領域から前記第 1 の電荷蓄積領域へ前記信号電荷を転送する第 1 の電位制御手段と、

前記第 1 の電荷蓄積領域と前記第 1 の電荷読み出し領域との間の前記半導体領域の上部に形成されるチャンネルの電位を制御して、前記第 1 の電荷蓄積領域から前記第 1 の電荷読み出し領域へ前記信号電荷を転送する第 2 の電位制御手段と、

前記受光用表面埋込領域から電荷を排出する第 1 の排出ドレイン領域と、

前記受光用表面埋込領域と前記第 1 の排出ドレイン領域との間の前記半導体領域の上部に形成されるチャンネルの電位を制御して、前記受光用表面埋込領域から前記第 1 の排出ドレイン領域へ前記信号電荷を転送する第 3 の電位制御手段

とを備える画素を複数個配列し、第 1 繰り返し周期において前記反射光の遅れ時間に依存する前記信号電荷を、前記受光用表面埋込領域から繰り返し転送して前記第 1 の電荷蓄積領域に第 1 信号電荷として蓄積し、

第 2 繰り返し周期において前記反射光により発生した前記信号電荷のすべてを前記受光用表面埋込領域から繰り返し転送して前記第 1 の電荷蓄積領域に第 2 信号電荷として蓄積し、

蓄積された前記第 1 及び第 2 信号電荷の総量の比を求めて、前記対象物までの距離を測定することを特徴とする固体撮像装置。

【請求項 10】

前記受光用表面埋込領域が互いに前記半導体領域の表面に埋め込まれた複数のストライプ状のパターンからなることを特徴とする請求項 9 に記載の固体撮像装置。

【請求項 11】

前記第 1 の電荷蓄積領域が前記受光用表面埋込領域よりも高不純物密度であることを特徴とする請求項 9 に記載の固体撮像装置。

【請求項 12】

前記第 1 の電荷蓄積領域が前記受光用表面埋込領域よりも深いことを特徴とする請求項 9 に記載の固体撮像装置。

【請求項 13】

前記受光用表面埋込領域から前記第 1 の電荷蓄積領域へ前記信号電荷を転送しないときに、前記受光用表面埋込領域から前記第 1 の排出ドレイン領域へ前記電荷を排出すること

10

20

30

40

50

を特徴とする請求項 9 に記載の固体撮像装置。

【請求項 14】

前記画素が、前記第 1 の電荷読み出し領域に転送された前記信号電荷に依存した電圧を読み出す電圧読み出し用バッファアンプを更に備えることを特徴とする請求項 9 に記載の固体撮像装置。

【請求項 15】

前記受光用表面埋込領域から前記第 1 の電荷蓄積領域への前記信号電荷を前記すべての画素で一斉に転送することを特徴とする請求項 9 に記載の固体撮像装置。

【請求項 16】

前記半導体領域の上部の一部に前記第 1 の電荷蓄積領域と離間して埋め込まれ、前記受光用表面埋込領域よりもポテンシャル井戸の深さが深く、前記受光用表面埋込領域から前記光により生成された信号電荷が転送される第 2 導電型の第 2 の電荷蓄積領域と、

前記第 2 の電荷蓄積領域から前記信号電荷を受け入れる第 2 の電荷読み出し領域と、

前記受光用表面埋込領域と前記第 2 の電荷蓄積領域との間の前記半導体領域の上部に形成されるチャンネルの電位を制御して、前記受光用表面埋込領域から前記第 2 の電荷蓄積領域へ前記信号電荷を転送する第 4 の電位制御手段と、

前記第 2 の電荷蓄積領域と前記第 2 の電荷読み出し領域との間の前記半導体領域の上部に形成されるチャンネルの電位を制御して、前記第 2 の電荷蓄積領域から前記第 2 の電荷読み出し領域へ前記信号電荷を転送する第 5 の電位制御手段

とを更に備えることを特徴とする請求項 9 に記載の半導体測距素子。

【請求項 17】

前記第 2 の電荷蓄積領域が前記受光用表面埋込領域よりも高不純物密度であるか、又は前記第 2 の電荷蓄積領域が前記受光用表面埋込領域よりも深いことを特徴とする請求項 16 に記載の固体撮像装置。

【請求項 18】

前記受光用表面埋込領域から電荷を排出する第 2 の排出ドレイン領域と、

前記受光用表面埋込領域と前記第 2 の排出ドレイン領域との間の前記半導体領域の上部に形成されるチャンネルの電位を制御して、前記受光用表面埋込領域から前記第 2 の排出ドレイン領域へ前記信号電荷を転送する第 6 の電位制御手段

とを更に備えることを特徴とする請求項 16 に記載の半導体測距素子。

【請求項 19】

前記画素が、前記第 1 及び第 2 の電荷読み出し領域にそれぞれ転送された前記信号電荷に依存した電圧を読み出す共通の電圧読み出し用バッファアンプを更に備えることを特徴とする 16 に記載の固体撮像装置。

【請求項 20】

前記画素が、前記第 1 及び第 2 の電荷読み出し領域に転送された前記信号電荷に依存した電圧をそれぞれ読み出す第 1 及び第 2 の電圧読み出し用バッファアンプを更に備えることを特徴とする請求項 16 に記載の固体撮像装置。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、半導体測距素子に係り、更には半導体測距素子を複数個配列した固体撮像装置に関する。

【背景技術】

【0002】

1995 年頃に発表された CCD を用いた 1 次元の距離画像センサを発端とし、光の飛行時間を用いて距離画像を取得する光飛行時間型 (TOF) 型距離センサの開発が多方面で進んでいる。

【0003】

しかしながら、現在実現されている TOF 型距離センサの解像度は、2 万画素以内程度

10

20

30

40

50

に留まっている。又、CCDを用いた方式の場合、画素数が大きくなると画素の駆動が難しくなり、CMOSとCCDの混在プロセスを用いた方式では、製作コストが高くなる。

【0004】

一方、本発明者の一人は、高感度化に有効で且つ電荷転送を高速に行うCMOS技術に基づく手法を既に提案している。

【0005】

しかし、従来のTOF型距離画像センサは、距離分解能や空間解像度の点で改善すべき点もある。したがって、低コストで、且つ高い距離分解能と空間解像度を有するTOF型距離画像センサが待望されている。

【発明の開示】

【0006】

本発明は、高速電荷転送を行える半導体測距素子を提供し、更にはこの半導体測距素子を画素として複数個配列して、低コストで、且つ高い距離分解能と空間解像度を有する固体撮像装置を提供することを目的とする。

【0007】

本発明の第1の態様は、(イ)第1導電型の半導体領域と、(ロ)半導体領域の上部の一部に埋め込まれ、対象物が反射した光を入射する第2導電型の受光用表面埋込領域と、(ハ)半導体領域の上部の一部に受光用表面埋込領域と離間して埋め込まれ、受光用表面埋込領域よりもポテンシャル井戸の深さが深く、受光用表面埋込領域から光による信号電荷が転送される第2導電型の電荷蓄積領域と、(ニ)電荷蓄積領域により蓄積した信号電荷を受け入れる電荷読み出し領域と、(ホ)受光用表面埋込領域と電荷蓄積領域との間の半導体領域の上部に形成されるチャンネルの電位を制御して、受光用表面埋込領域から電荷蓄積領域へ信号電荷を転送する第1の電位制御手段と、(ヘ)電荷蓄積領域と電荷読み出し領域との間の半導体領域の上部に形成されるチャンネルの電位を制御して、電荷蓄積領域から電荷読み出し領域へ信号電荷を転送する第2の電位制御手段と、(ト)受光用表面埋込領域から電荷を排出する排出ドレイン領域と、(チ)受光用表面埋込領域と排出ドレイン領域との間の半導体領域の上部に形成されるチャンネルの電位を制御して、受光用表面埋込領域から排出ドレイン領域へ信号電荷を転送する第3の電位制御手段とを備え、第1繰り返し周期において反射光の遅れ時間に依存する信号電荷を、受光用表面埋込領域から繰り返し転送して電荷蓄積領域に第1信号電荷として蓄積し、第1繰り返し周期とは異なる第2繰り返し周期において反射光により発生した信号電荷のすべてを受光用表面埋込領域から繰り返し転送して電荷蓄積領域に第2信号電荷として蓄積し、蓄積された第1及び第2信号電荷の総量の比を求めて、対象物までの距離を測定する半導体測距素子であることを要旨とする。ここで、「第1繰り返し周期」とは、例えば奇数フレームの周期、「第2繰り返し周期」とは、偶数フレームの周期のように選択可能であるが、数フレーム毎飛びに選択しても構わない。又、第1導電型と第2導電型とは互いに反対導電型である。即ち、第1導電型がn型であれば、第2導電型はp型であり、第1導電型がp型であれば、第2導電型はn型である。

【0008】

本発明の第2の態様は、(イ)第1導電型の半導体領域と、(ロ)半導体領域の上部の一部に埋め込まれ、対象物が反射した光を入射する第2導電型の受光用表面埋込領域と、(ハ)半導体領域の上部の一部に受光用表面埋込領域と離間して埋め込まれ、受光用表面埋込領域よりもポテンシャル井戸の深さが深く、受光用表面埋込領域から光による信号電荷が転送される第2導電型の電荷蓄積領域と、(ニ)電荷蓄積領域により蓄積した信号電荷を受け入れる電荷読み出し領域と、(ホ)受光用表面埋込領域と電荷蓄積領域との間の半導体領域の上部に形成されるチャンネルの電位を制御して、受光用表面埋込領域から電荷蓄積領域へ信号電荷を転送する第1の電位制御手段と、(ヘ)電荷蓄積領域と電荷読み出し領域との間の半導体領域の上部に形成されるチャンネルの電位を制御して、電荷蓄積領域から電荷読み出し領域へ信号電荷を転送する第2の電位制御手段と、(ト)受光用表面埋込領域から電荷を排出する排出ドレイン領域と、(チ)受光用表面埋込領域と排出ドレイン領域との間の半導体領域の上部に形成されるチャンネルの電位を制御して、受光用表面埋込領域から排出ドレイン領域へ信号電荷を転送する第3の電位制御手段とを備え、第1繰り返し周期において反射光の遅れ時間に依存する信号電荷を、受光用表面埋込領域から繰り返し転送して電荷蓄積領域に第1信号電荷として蓄積し、第1繰り返し周期とは異なる第2繰り返し周期において反射光により発生した信号電荷のすべてを受光用表面埋込領域から繰り返し転送して電荷蓄積領域に第2信号電荷として蓄積し、蓄積された第1及び第2信号電荷の総量の比を求めて、対象物までの距離を測定する半導体測距素子であることを要旨とする。ここで、「第1繰り返し周期」とは、例えば奇数フレームの周期、「第2繰り返し周期」とは、偶数フレームの周期のように選択可能であるが、数フレーム毎飛びに選択しても構わない。又、第1導電型と第2導電型とは互いに反対導電型である。即ち、第1導電型がn型であれば、第2導電型はp型であり、第1導電型がp型であれば、第2導電型はn型である。

10

20

30

40

50

ン領域との間の半導体領域の上部に形成されるチャネルの電位を制御して、受光用表面埋込領域から排出ドレイン領域へ信号電荷を転送する第3の電位制御手段とを備える画素を複数個配列し、第1繰り返し周期において反射光の遅れ時間に依存する信号電荷を、受光用表面埋込領域から繰り返し転送して電荷蓄積領域に第1信号電荷として蓄積し、第2繰り返し周期において反射光により発生した信号電荷のすべてを受光用表面埋込領域から繰り返し転送して電荷蓄積領域に第2信号電荷として蓄積し、蓄積された第1及び第2信号電荷の総量の比を求めて、対象物までの距離を測定する固体撮像装置であることを要旨とする。

【図面の簡単な説明】

【0009】

10

【図1】図1は、本発明の第1の実施の形態に係る固体撮像装置（2次元イメージセンサ）の半導体チップ上のレイアウトを説明する模式的平面図である。

【図2】図2は、本発明の第1の実施の形態に係る固体撮像装置の画素の一部となる半導体測距素子の構成を説明する概略的な平面図である。

【図3】図3（a）は、図2のA-A面から見た模式的な断面図である。図3（b）は、信号電荷の転送の様子を説明するポテンシャル図である。

【図4】図4（a）は、信号電荷の転送の様子を説明するポテンシャル図である。図4（b）は、信号電荷の転送の様子を説明するポテンシャル図である。図4（c）は、信号電荷の転送の様子を説明するポテンシャル図である。

【図5】図5は、本発明の第1の実施の形態に係る固体撮像装置の動作を説明するタイミングチャートである。

20

【図6】図6は、発明の第1の実施の形態に係るTOF測定方法を説明するタイミングチャートである。

【図7】図7（a）、図7（b）、図7（c）は、本発明の第1の実施の形態に係る半導体測距素子及び固体撮像装置の製造方法を説明する工程断面図である。

【図8】図8（a）、図8（b）、図8（c）は、本発明の第1の実施の形態に係る半導体測距素子及び固体撮像装置の製造方法を説明する工程断面図である。

【図9】図9は、本発明の第1の実施の形態の変形例に係る固体撮像装置の画素の一部となる半導体測距素子の構成を説明する概略的な平面図である。

【図10】図10（a）は、本発明の第1の実施の形態の変形例に係る固体撮像装置の画素の一部となる半導体測距素子の構成を説明する模式的な断面図である。図10（b）は、図10（a）のB-B面から見た模式的な断面図である。

30

【図11】図11は、本発明の第2の実施の形態に係る固体撮像装置の画素の一部となる半導体測距素子の構成を説明する概略的な平面図である。

【図12】図12（a）は、図11のC-C面から見た模式的な断面図である。図12（b）は、信号電荷の転送の様子を説明するポテンシャル図である。図12（c）は、信号電荷の転送の様子を説明するポテンシャル図である。

【図13】図13（a）は、信号電荷の転送の様子を説明するポテンシャル図である。図13（b）は、信号電荷の転送の様子を説明するポテンシャル図である。

【図14】図14（a）は、図11のD-D面から見た模式的な断面図である。図14（b）は、信号電荷の転送の様子を説明するポテンシャル図である。図14（c）は、信号電荷の転送の様子を説明するポテンシャル図である。

40

【図15】図15（a）は、図11のC-C面から見た模式的な他の断面図である。図15（b）は、信号電荷の転送の様子を説明するポテンシャル図である。

【図16】図16は、信号電荷の転送の様子を説明するポテンシャル図である。

【図17】図17は、本発明の他の実施の形態に係る固体撮像装置に係る半導体測距素子の構成を説明する概略的な平面図である。

【発明を実施するための最良の形態】

【0010】

次に、図面を参照して、本発明の第1及び第2の実施の形態を説明する。以下の図面の

50

記載において、同一又は類似の部分には同一又は類似の符号を付している。但し、図面は模式的なものであり、厚みと平面寸法との関係、各層の厚みの比率等は現実のものとは異なることに留意すべきである。したがって、具体的な厚みや寸法は以下の説明を参酌して判断すべきものである。又、図面相互間においても互いの寸法の関係や比率が異なる部分が含まれていることは勿論である。

【0011】

又、以下に示す第1及び第2の実施の形態は、本発明の技術的思想を具体化するための装置や方法を例示するものであって、本発明の技術的思想は、構成部品の材質、形状、構造、配置等下記のものに特定するものでない。本発明の技術的思想は、特許請求の範囲に記載された技術的範囲内において、種々の変更を加えることができる。

10

【0012】

(第1の実施の形態)

本発明の第1の実施の形態に係る固体撮像装置(2次元イメージセンサ)は、図1に示すように、画素アレイ部($X_{11} \sim X_{1m}; X_{21} \sim X_{2m}; \dots; X_{n1} \sim X_{nm}$)と周辺回路部(104, 105, 106, $NC_1 \sim NC_m$)とを同一の半導体チップ上に集積化している。画素アレイ部には、2次元マトリクス状に多数の画素 X_{ij} ($i = 1 \sim m; j = 1 \sim n; m, n$ はそれぞれ整数である。)が配列されており、方形状の撮像領域を構成している。そして、この画素アレイ部の下辺部には、画素行 $X_{11} \sim X_{1m}; X_{21} \sim X_{2m}; \dots; X_{n1} \sim X_{nm}$ 方向に沿って水平シフトレジスタ106が設けられ、画素アレイ部の左辺部には画素列 $X_{11} \sim X_{n1}; X_{12} \sim X_{n2}; \dots; X_{1j} \sim X_{nj}; \dots; X_{1m} \sim X_{nm}$ 方向に沿って垂直シフトレジスタ105が設けられている。垂直シフトレジスタ105及び水平シフトレジスタ106には、タイミング発生回路104が接続されている。

20

【0013】

タイミング発生回路104、水平シフトレジスタ106及び垂直シフトレジスタ105によって画素アレイ部内の画素 X_{ij} が順次走査され、画素信号の読み出しや電子シャッタ動作が実行される。即ち、本発明の第1の実施の形態に係る固体撮像装置では、画素アレイ部を各画素行 $X_{11} \sim X_{1m}; X_{21} \sim X_{2m}; \dots; X_{n1} \sim X_{nm}$ 単位で垂直方向に走査することにより、各画素行 $X_{11} \sim X_{1m}; X_{21} \sim X_{2m}; \dots; X_{n1} \sim X_{nm}$ の画素信号を各画素列 $X_{11} \sim X_{n1}; X_{12} \sim X_{n2}; \dots; X_{1j} \sim X_{nj}; \dots; X_{1m} \sim X_{nm}$ 毎に設けられた垂直信号線によって画素信号を読み出す構成となっている。

30

【0014】

第1の実施の形態に係る固体撮像装置のそれぞれの画素 $X_{11} \sim X_{1m}; X_{21} \sim X_{2m}; \dots; X_{n1} \sim X_{nm}$ 内のTOF画素回路として機能する半導体測距素子の平面構造の一例を、図2に、対応する断面図を図3(a)に示す。

【0015】

図3(a)は、図2に示した半導体測距素子のA-A面から見た断面構造であり、先に図3(a)を説明する。図3(a)に示すように、半導体測距素子は、第1導電型(p型)の半導体領域(半導体基板)1と、半導体領域1の上部の一部に埋め込まれ、対象物からの反射光を光信号として受光し信号電荷に変換する第2導電型(n型)の受光用表面埋め込み領域(受光カソード領域)11aと、半導体領域1の上部の一部に受光カソード領域11aと離間して埋め込まれ、受光カソード領域11aよりも高不純物密度であり、受光カソード領域11aにより生成した信号電荷を蓄積する第2導電型(n⁺型)の電荷蓄積領域12aと、電荷蓄積領域12aにより蓄積した信号電荷を受け入れる電荷読み出し領域13と、受光カソード領域11aにより生成した信号電荷を排出する排出ドレイン領域14を備える。図3(a)では「第1導電型の半導体領域」として、第1導電型の半導体基板を例示しているが、半導体基板の代わりに、第1導電型の半導体基板上に形成したこの半導体基板よりも低不純物密度の第1導電型のシリコンエピタキシャル成長層を採用しても良い。

40

【0016】

受光カソード領域11aと、受光カソード領域11aの直下の半導体基板(アノード領

50

域) 1とでフォトダイオードD 1を構成している。電荷蓄積領域(カソード領域) 1 2 aと、電荷蓄積領域1 2 a直下の半導体基板1(アノード領域)とで電荷蓄積ダイオードD 2を構成している。

【0017】

受光カソード領域1 1 aの上には、p⁺型ピニング層1 1 bが配置されている。電荷蓄積領域1 2 aの上には、p⁺型ピニング層1 2 bが配置されている。p⁺型ピニング層1 1 b及びp⁺型ピニング層1 2 bは、ダーク時の表面でのキャリアの生成を抑制する層であり、ダーク電流削減のために好ましい層として用いている。ダーク電流が問題とならない用途(応用)等では、構造上、p⁺型ピニング層1 1 b及びp⁺型ピニング層1 2 bを省略しても構わない。

10

【0018】

p⁺型ピニング層1 1 b及びp⁺型ピニング層1 2 b上、更にはp⁺型ピニング層1 1 bとp⁺型ピニング層1 2 bとの間の半導体基板1上、受光カソード領域1 1 aと電荷読み出し領域1 3との間の半導体基板1上、及び受光カソード領域1 1 aと排出ドレイン領域1 4上には絶縁膜2が形成されている。絶縁膜2としては、シリコン酸化膜(SiO₂膜)が好適であるが、シリコン酸化膜(SiO₂膜)以外の種々の絶縁膜を用いた絶縁ゲート型トランジスタ(MISトランジスタ)の絶縁ゲート構造をなしても良い。例えば、シリコン酸化膜(SiO₂膜)/シリコン窒化膜(Si₃N₄膜)/シリコン酸化膜(SiO₂膜)の3層積層膜からなるONO膜でもよい。更には、ストロンチウム(Sr)、アルミニウム(Al)、マグネシウム(Mg)、イットリウム(Y)、ハフニウム(Hf)、ジルコニウム(Zr)、タンタル(Ta)、ビスマス(Bi)のいずれか一つの元素を少なくとも含む酸化物、又はこれらの元素を含むシリコン窒化物等が絶縁膜2として使用可能である。

20

【0019】

絶縁膜2上には、受光カソード領域1 1 aと電荷蓄積領域1 2 aとの間の半導体基板1の表面(上部)に定義される第1転送チャネルの電位を制御して、受光カソード領域1 1 aから電荷蓄積領域1 2 aへ信号電荷を転送する転送ゲート電極3 1が配置され、第1の電位制御手段を構成している。更に、絶縁膜2上には、電荷蓄積領域1 2 aと電荷読み出し領域1 3との間の半導体基板1の表面(上部)に定義される第2転送チャネルの電位を制御して、電荷蓄積領域1 2 aから電荷読み出し領域1 3へ信号電荷を転送する読み出しゲート電極3 2が配置され、第2の電位制御手段を構成している。更に、絶縁膜2上には、受光カソード領域1 1 aと排出ドレイン領域1 4との間の半導体基板1の表面(上部)に定義される第3転送チャネルの電位を制御して、受光カソード領域1 1 aから排出ドレイン領域1 4へ信号電荷を吐き出す排出ゲート電極3 3が配置され、第3の電位制御手段を構成している。

30

【0020】

図2の平面図では、図3(a)から分かるように、受光カソード領域1 1 aの上に配置された矩形のp⁺型ピニング層1 1 bを図示しているが、受光カソード領域1 1 aも平面パターンとしては矩形である。この受光カソード領域1 1 aと電荷蓄積領域1 2 aの上に配置されたp⁺型ピニング層1 2 bとの間に転送ゲート電極3 1が延伸している。p⁺型ピニング層1 2 bの下方には、p⁺型ピニング層1 2 bとほぼ同様な平面パターンで電荷蓄積領域1 2 aが存在している。更に、p⁺型ピニング層1 2 bとn⁺型電荷読み出し領域1 3との間には読み出しゲート電極3 2が延伸している。更に、p⁺型ピニング層1 1 bと排出ドレイン領域1 4との間には排出ゲート電極3 3が延伸している。

40

【0021】

図1に示した光源1 0 1から繰り返しパルス信号として照射された光は、対象物1 0 2で反射され、レンズ1 0 3を介して、それぞれの画素X₁₁~X_{1m}; X₂₁~X_{2m}; ……; X_{n1}~X_{nm}に入射する。即ち、図2に示したように、それぞれの画素X₁₁~X_{1m}; X₂₁~X_{2m}; ……; X_{n1}~X_{nm}の遮光膜4 1の開口部4 2を介して、それぞれの画素X₁₁~X_{1m}; X₂₁~X_{2m}; ……; X_{n1}~X_{nm}のフォトダイオードD 1に入射する。

50

フォトダイオード D 1 は、遮光膜の開口部 4 2 を介して入射したパルス光を光信号として受光し、この光信号を信号電荷に変換する。

【 0 0 2 2 】

図 3 (b) は、図 3 (a) において一点鎖線で示した P - P 面で、受光カソード領域 1 1 a、電荷蓄積領域 1 2 a、電荷読み出し領域 1 3 を切る断面におけるポテンシャル図であり、電荷 (電子) を黒丸で示している。図 3 (a) の左側に受光カソード領域 1 1 a の伝導帯端のポテンシャル井戸 (第 1 のポテンシャル井戸) P W 1 を示す。更に、第 1 のポテンシャル井戸 P W 1 の右側に、電荷蓄積領域 1 2 a の伝導帯端のポテンシャル井戸 (第 2 のポテンシャル井戸) P W 2 を示す。第 1 のポテンシャル井戸 P W 1 と、第 2 のポテンシャル井戸 P W 2 との間の電位障壁は、転送ゲート電極 3 1 直下の半導体基板 1 の伝導帯端のポテンシャル分布に相当する。更に、第 2 のポテンシャル井戸 P W 2 の右側に、電荷読み出し領域 1 3 のポテンシャル井戸を右上がりのハッチングで示す。第 2 のポテンシャル井戸 P W 2 と、電荷読み出し領域 1 3 のポテンシャル井戸との間の電位障壁は、読み出しゲート電極 3 2 直下の半導体基板 1 の伝導帯端のポテンシャル分布に相当する。ここで、電荷蓄積領域 1 2 a の不純物密度が、受光カソード領域 1 1 a の不純物密度よりも高いので、第 2 のポテンシャル井戸 P W 2 の深さが、第 1 のポテンシャル井戸 P W 1 の深さよりも深い。

10

【 0 0 2 3 】

図 3 (b) に示すように、転送ゲート電極 3 1 に制御信号 G S として低い電圧 (0 V、又は負電圧) を与えると、第 1 ポテンシャル井戸 P W 1 と第 2 ポテンシャル井戸 P W 2 との間に電子に対する電位障壁が形成され、受光カソード領域 1 1 a から電荷蓄積領域 1 2 a には信号電荷は転送されない。

20

【 0 0 2 4 】

図 4 (a) に示すように、転送ゲート電極 3 1 に制御信号 G S として高い電圧 (正の電圧) を与えると、受光カソード領域 1 1 a と電荷蓄積領域 1 2 a との間の電位障壁の高さが減少、もしくは消滅し、受光カソード領域 1 1 a から電荷蓄積領域 1 2 a へ信号電荷が転送される。既に説明したように、第 2 のポテンシャル井戸 P W 2 の深さが、第 1 のポテンシャル井戸 P W 1 の深さよりも深くなるように設定されているので、受光カソード領域 1 1 a から電荷蓄積領域 1 2 a にすべての信号電荷を転送する完全転送が実現できる。この完全転送により、残像を防止でき、残電荷によるランダムノイズの発生を防止できる。

30

【 0 0 2 5 】

図 4 (b) に示すように、排出ゲート電極 3 3 に制御信号 C D として高い電圧 (正の電圧) を印加したとき、受光カソード領域 1 1 a から排出ドレイン領域 1 4 との間に電子に対する電位障壁の高さが減少、もしくは消滅し、受光カソード領域 1 1 a から排出ドレイン領域 1 4 に信号電荷を排出する。

【 0 0 2 6 】

図 4 (c) に示すように、読み出しゲート電極 3 2 に制御信号 T X として高い電圧 (正の電圧) を与えると、電荷蓄積領域 1 2 a と電荷読み出し領域 1 3 との間の電位障壁の高さが減少、もしくは消滅し、電荷蓄積領域 1 2 a から電荷読み出し領域 1 3 へ信号電荷が転送される。

40

【 0 0 2 7 】

このように、受光カソード領域 1 1 a 及び電荷蓄積領域 1 2 a において信号電荷を蓄積することなく、信号電荷の流れの方向を排出ゲート電極 3 5 と転送ゲート電極 3 1 で制御することができる。したがって、受光カソード領域 1 1 a 及び電荷蓄積領域 1 2 a で信号電荷をためる必要がないため、受光カソード領域 1 1 a 及び電荷蓄積領域 1 2 a の電位の深さを浅くしてもよく、信号電荷を高速に移動させる構造を作りやすい。

【 0 0 2 8 】

図 3 (a) に示すように、電荷読み出し領域 1 3 には、読み出し用バッファアンプ 1 0 8 を構成する信号読み出しトランジスタ (増幅トランジスタ) M A₁ のゲート電極が接続されている。信号読み出しトランジスタ (増幅トランジスタ) M A₁ のドレイン電極は電

50

源VDDに接続され、ソース電極は画素選択用のスイッチングトランジスタ M_{S1} のドレイン電極に接続されている。画素選択用のスイッチングトランジスタ M_{S1} のソース電極は、垂直信号線 B_1 に接続され、ゲート電極には水平ラインの選択用制御信号 S が垂直シフトレジスタ105から与えられる。選択用制御信号 S をハイ(H)レベルにすることにより、スイッチングトランジスタ M_{S1} が導通し、信号読み出しトランジスタ(増幅トランジスタ) M_{A1} で増幅された電荷読み出し領域13の電位に対応する電流が垂直信号線 B_1 に流れる。更に、電荷読み出し領域13には、読み出し用バッファアンプ108を構成するリセットトランジスタ T_R のソース電極が接続されている。リセットトランジスタ T_R のドレイン電極は電源VDDに接続され、ゲート電極にはリセット信号 R が与えられる。リセット信号をハイ(H)レベルにして、受光カソード領域11a及び電荷蓄積領域12aに蓄積された信号電荷を吐き出し、受光カソード領域11a及び電荷蓄積領域12aをリセットする。

【0029】

半導体基板1は、不純物密度 $5 \times 10^{12} \text{ cm}^{-3}$ 程度以上、 $5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 程度以下程度が好ましい。特に、半導体基板1を不純物密度 $4 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 程度以上、 $3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 程度以下のシリコン基板とすれば、通常のCMOSプロセスが採用でき、絶縁膜2としては、素子分離に用いられるLOCOS(Local oxidation of silicon)法と称される選択酸化法により形成された絶縁膜(フィールド酸化膜)が利用可能である。

【0030】

受光カソード領域11aの不純物密度は、 $1 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 程度以上、 $8 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 程度以下、好ましくは $2 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 程度以上、 $1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ 程度以下、代表的には、例えば $8 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 程度の比較的空乏化が容易な値が採用可能であり、その厚さは $0.1 \sim 3 \mu\text{m}$ 程度、好ましくは $0.5 \sim 1.5 \mu\text{m}$ 程度とすることが可能である。一方、電荷蓄積領域12aの不純物密度は、 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 程度以上、 $1 \times 10^{21} \text{ cm}^{-3}$ 程度以下、好ましくは $2 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 程度以上、 $5 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$ 程度以下、代表的には、例えば $3 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 程度の値が採用可能であり、その厚さは $0.1 \sim 3 \mu\text{m}$ 程度、好ましくは $0.5 \sim 1.5 \mu\text{m}$ 程度とすることが可能である。電荷蓄積領域12aの不純物密度は、受光カソード領域11aの不純物密度の $5 \sim 1000$ 倍、好ましくは $10 \sim 300$ 倍程度に設定しておけば良い。

【0031】

絶縁膜2を熱酸化膜で形成する場合は、熱酸化膜の厚さは、 150 nm 程度以上、 1000 nm 程度以下、好ましくは 200 nm 程度以上、 400 nm 程度以下とすれば良い。絶縁膜2を熱酸化膜以外の誘電体膜とする場合は、熱酸化膜の比誘電率 ϵ_r (1 MHz で $\epsilon_r = 3.8$)で換算した等価な厚さとすれば良い。例えば、比誘電率 $\epsilon_r = 4.4$ であるCVD酸化膜を用いるのであれば上記厚さを $4.4 / 3.8 = 1.16$ 倍した厚さを、比誘電率 $\epsilon_r = 7$ であるシリコン窒化物(Si_3N_4)膜を用いるのであれば上記厚さを $7 / 3.8 = 1.84$ 倍した厚さを採用すれば良い。但し、標準的なCMOS技術で形成される酸化膜(SiO_2 膜)を用いるのが好ましく、CMOS技術におけるフィールド酸化膜を用いるのが製造工程の簡略化に適している。

【0032】

図3(a)に示すように、遮光膜41の開口部42は、光電荷の発生が、フォトダイオードD1を構成している受光カソード領域11aの直下の半導体基板1で生じるように選択的に設けられている。図3(a)では、絶縁膜2のみを示しているが、遮光膜41は、図示を省略した多層配線構造をなす複数の層間絶縁膜のうちのいずれかの上部に設けられたアルミニウム(Al)等の金属薄膜で構成すれば良い。

【0033】

< 固体撮像装置の動作 >

図1に概略構成を示した本発明の第1の実施の形態に係る固体撮像装置(2次元イメージセンサ)の動作を図5に示したタイミングチャートを用いて説明する。

【0034】

10

20

30

40

50

(イ) 先ず、電子シャッタ時間 T_{SH} の前に、図 1 に示した画素 $X_{11} \sim X_{1m}; X_{21} \sim X_{2m}; \dots; X_{n1} \sim X_{nm}$ のそれぞれに制御信号 GS 、制御信号 $TX(1) \sim TX(N)$ 、及びリセット信号 $R(1) \sim R(N)$ のパルスを投入して、受光カソード領域 11a 及び電荷蓄積領域 12a の信号電荷を同時に排出してリセットしておく。

【0035】

(ロ) その後、電子シャッタ時間 T_{SH} において光源 101 からパルス光を出射し、対象物 102 で反射されたパルス光は、それぞれの画素 $X_{11} \sim X_{1m}; X_{21} \sim X_{2m}; \dots; X_{n1} \sim X_{nm}$ の遮光膜 41 の開口部 42 を介して、それぞれの受光カソード領域 11a に入射する。受光カソード領域 11a は、入射したパルス光により生成された信号電荷を蓄積する。なお、電子シャッタ時間 T_{SH} は任意に設定することができる。

10

【0036】

(ハ) 電子シャッタ時間 T_{SH} が終了するときに、すべての画素 $X_{11} \sim X_{1m}; X_{21} \sim X_{2m}; \dots; X_{n1} \sim X_{nm}$ のそれぞれに制御信号 $TX(1) \sim TX(N)$ 及びリセット信号のパルスを、図 5 に示すようなタイミングで一斉に与え、電荷蓄積領域 12a に漏れこんだ光等により発生する電荷等、不要な電荷をすべての画素において排出する。なお、この漏れこみ光等による電子の排出は、省略することも可能である。

【0037】

(ニ) 電子シャッタ時間 T_{SH} の終了後、すべての画素 $X_{11} \sim X_{1m}; X_{21} \sim X_{2m}; \dots; X_{n1} \sim X_{nm}$ において、制御信号 GS を与えて受光カソード領域 11a から電荷蓄積領域 12a へ信号電荷を転送する。

20

【0038】

(ホ) その後、信号読み出し時間 $T_{H(1)}, T_{H(2)}, \dots, T_{H(N)}$ では、垂直シフトレジスタの出力によって選択されたある 1 行分の画素信号に対して、画素内での電荷転送と同期して、読み出し動作が行われる。即ち、1 水平ライン毎に、対応するカラムのノイズキャンセル回路 $NC_1 \sim NC_m$ に電荷読み出し領域 13 の蓄積した信号電荷に依存したレベルを読み出し、それぞれのノイズキャンセル回路 $NC_1 \sim NC_m$ においてノイズキャンセルを行った後、水平走査を行う。先ず、リセット信号 $R(1)$ のパルスを与えて、電荷読み出し領域 13 をリセットしたときのリセットレベルを R パルスによってノイズキャンセル回路 NC_1 内のキャパシタ C_1 にサンプルし、記憶する。次いで、制御信号 $TX(1)$ を与え、受光カソード領域 11a から電荷蓄積領域 12a を経て電荷読み出し領域 13 に信号電荷の転送を行う。そのときの信号レベルを、 S パルスによってノイズキャンセル回路 NC_1 の別のキャパシタ C_2 にサンプルし、記憶する。この動作は、1 行分の画素に対して同時に行われ、ノイズキャンセル回路 $NC_1 \sim NC_m$ の 1 行分の信号が記憶される。ノイズキャンセル回路 $NC_1 \sim NC_m$ に記憶された信号を、水平選択制御信号 $SH(1) \sim SH(M)$ を与えることで、順次読み出し、差動アンプ 107 に入力する。差動アンプ 107 が、ノイズキャンセル回路 $NC_1 \sim NC_m$ に記憶されたリセットレベルと信号レベルとの差分を求めることにより、増幅トランジスタ等が発生する固定パターンノイズと、浮遊拡散層で発生するリセットノイズをキャンセルする。差動アンプ 107 からの画像信号を順次水平走査により外部に読み出す。このような処理を、1 行目から、最終行まで行うことで、すべての画像信号が読み出される。1 水平ラインの選択は、制御信号 S を画素 $X_{11} \sim X_{1m}; X_{21} \sim X_{2m}; \dots; X_{n1} \sim X_{nm}$ 内の電圧読み出し用バッファアンプ 108 の画素選択用のスイッチングトランジスタ M_{S1} に与えることで行い、垂直信号に対応する水平ラインの信号が現れる。

30

40

【0039】

<光飛行時間を用いた距離画像の取得方法>

次に、本発明の第 1 の実施の形態に係る固体撮像装置 (2 次元イメージセンサ) の応用例として、光飛行時間を用いた距離画像の取得方法を図 6 のタイミングチャートを用いて説明する。図 6 に示すように、繰り返しパルス光源を用いて対象部にパルス光 (送信光) を照射し、その反射光 (受信光) を各画素で捕らえたとき、対象物までの距離によって光の遅れ時間 T_d が変化する。

50

【 0 0 4 0 】

(イ)ここでは、第1繰り返し周期と第2繰り返し周期とに分けて距離画像を取得する。

【 0 0 4 1 】

例えば、「第1繰り返し周期」を奇数フレームの周期、「第2繰り返し周期」を偶数フレームの周期とすれば良い。第1繰り返し周期(奇数フレーム)では、送信光のパルスの直後に転送ゲート電極(第1の電位制御手段)31に制御信号GS(A)のパルスを与え、受光カソード領域11aから電荷蓄積領域12aへ信号電荷を転送する。このため、遅れ時間 T_d の範囲の受信光の一部により構成される信号電荷が転送ゲート電極(第1の電位制御手段)31により繰り返し転送される。その後、読み出しゲート電極(第2の電位制御手段)32に制御信号TXを印加して、電荷蓄積領域12aに蓄積された信号電荷が読み出しゲート電極(第2の電位制御手段)32により読み出される。

10

【 0 0 4 2 】

(ロ)更に、第1繰り返し周期(奇数フレーム)では、制御信号GS(A)と逆位相で制御信号CD(A)のパルスを排出ゲート電極(第3の電位制御手段)33に与え、受光カソード領域11aから電荷蓄積領域12aへ転送しないときの信号電荷を、受光カソード領域11aから排出ドレイン領域14へ排出ゲート電極(第3の電位制御手段)33により吐き出す。

【 0 0 4 3 】

(ハ)第2繰り返し周期(偶数フレーム)では、光(送信光)のパルスの立ち上がりと同時に制御信号GS(B)のパルスを立ち上げ転送ゲート電極(第1の電位制御手段)31に印加し、光(送信光)のパルス幅 T_0 よりも長い一定期間にわたって受光カソード領域11aから電荷蓄積領域12aへ信号電荷を繰り返し転送する。このため、常に受信光の全体による信号電荷が、電荷蓄積領域12aに蓄積される。その後、読み出しゲート電極(第2の電位制御手段)32に制御信号TXを印加して、電荷蓄積領域12aに蓄積された信号電荷が読み出しゲート電極(第2の電位制御手段)32により読み出される。

20

【 0 0 4 4 】

(ニ)又、図示を省略するが、第2繰り返し周期(偶数フレーム)では、制御信号GS(B)と逆位相の制御信号CD(B)を与え、受光カソード領域11aから電荷蓄積領域12aへ転送しないときの信号電荷が、受光カソード領域11aから排出ドレイン領域14へ吐き出されるようにしてもよい。

30

【 0 0 4 5 】

第1繰り返し周期(奇数フレーム)において、受光カソード領域11aから電荷蓄積領域12aへ転送される信号電荷(第1の信号電荷) Q_{s1} は、第1繰り返し周期(奇数フレーム)の光パルスの繰り返し数をN、光電流を I_{ph} として、式(1)のように表される。

【 0 0 4 6 】

$$Q_{s1} = I_{ph} \times T_d \times N \quad \dots (1)$$

第2繰り返し周期(偶数フレーム)において、受光カソード領域11aから電荷蓄積領域12aへ転送される信号電荷(第2の信号電荷) Q_{s2} は、第2繰り返し周期(偶数フレーム)の光パルスの繰り返し数をN、光電流を I_{ph} として、式(2)のように表される。

40

【 0 0 4 7 】

$$Q_{s2} = I_{ph} \times T_0 \times N \quad \dots (2)$$

式(1)及び式(2)により、遅れ時間 T_d は、式(3)のように求めることができる。

【 0 0 4 8 】

$$T_d = T_0 \times (Q_{s1} / Q_{s2}) \quad \dots (3)$$

50

対象物までの距離 D は、光速を c として、式 (4) のように求められる。

【0049】

$$D = (c/2) \times T_d = (c/2) \times T_0 \times (Q_{s1}/Q_{s2}) \cdots (4)$$

したがって、第1繰り返し周期(奇数フレーム)で電荷蓄積領域12aに蓄積した信号電荷 Q_{s1} 及び第2繰り返し周期(偶数フレーム)で電荷蓄積領域12aに蓄積した信号電荷 Q_{s2} の総量の比を求めることにより、対象物までの距離 D を測定することが可能となる。

10

【0050】

本発明の第1の実施の形態に係る半導体測距素子及び固体撮像装置(2次元イメージセンサ)によれば、低コスト且つ高い距離分解能が得られ、構造も単純であるため、多数の画素を配置した空間解像度の高いTOF型距離画像センサが実現できる。

【0051】

<半導体測距素子及び固体撮像装置の製造方法>

次に、本発明の第1の実施の形態に係る半導体測距素子及び固体撮像装置の製造方法を図7(a)~図9を用いて説明する。尚、以下に述べる半導体測距素子及び固体撮像装置の製造方法は、一例であり、この変形例を含めて、これ以外の種々の製造方法により、実現可能であることは勿論である。

20

【0052】

(イ) 先ず、図示を省略するが、 $30 \sim 0.65 \text{ cm}$ 程度(不純物密度 $4 \times 10^{14} \text{ cm}^{-3}$ 程度以上、 $3 \times 10^{16} \text{ cm}^{-3}$ 程度以下)の(100)面を主表面とするp型半導体基板を用意する。このp型半導体基板の主表面に 150 nm 程度の熱酸化膜(SiO_2 膜)を形成後、フォトレジスト膜を塗布し、これをフォトリソグラフィ技術によりパターンングしてpウェル形成領域を開口する。次に、pウェル形成領域に熱酸化膜を通して $10^{12} \sim 10^{13} \text{ cm}^{-2}$ 程度のドーズ量でボロン($^{11}\text{B}^+$)をイオン注入する。次に、熱酸化膜のウェル形成領域の部分をエッチング除去する。又、フォトレジスト膜も除去し、所定の清浄化工程を終えてから、約 1200 でイオン注入されたボロンを熱拡散してpウェルを形成する。このとき周辺回路部及びそれぞれの画素 X_{ij} の内部に配置される読み出し用バッファアンプ108にも、同時にpウェルが形成される。又、周辺回路部には、同様にしてnウェルも形成される。更に、p型半導体基板の主表面の熱酸化膜をすべて除去して剥離してから、再び膜厚 100 nm 程度のパッド酸化膜(SiO_2 膜)を半導体基板の主表面に熱酸化法で形成する。その後、CVD法を用いて膜厚 200 nm 程度の窒化膜(Si_3N_4 膜)を成長させる。この窒化膜の上にフォトリソグラフィ技術によりパターンングされたフォトレジスト膜を形成し、これをマスクに反応性イオンエッチング(RIE)を行って、選択酸化(LOCOS)用の窒化膜のマスクを形成する。そして、LOCOS法を用いて窒化膜の開口部42に、厚さ 150 nm 程度以上、 1000 nm 程度以下、 200 nm 程度以上、 400 nm 程度以下のフィールド酸化膜を形成する。素子形成領域を覆う窒化膜は、シリコンに比較して酸化速度が著しく遅いので酸化防止膜として用いられる。

30

40

【0053】

(ロ) 次に、図示を省略するが、窒化膜を除去してから、素子形成領域に膜厚が数 10 nm のダミー酸化膜を形成する。次に、ゲートしきい値電圧制御(V_{th} 制御)イオン注入を行う。先ずフォトリソグラフィ技術により、周辺回路のpウェルをフォトレジスト膜で被覆してからpMOSのゲートしきい値電圧制御用の不純物をイオン注入する。次に、フォトレジスト膜を除去してからpウェル以外の領域上に、フォトリソグラフィ技術により、フォトレジスト膜のパターンを形成し、続いて周辺回路及び読み出し用バッファアンプ108のpウェルと同時に、pウェルにnMOSのゲートしきい値電圧制御用の不純物をイオン注入する。その後、フォトレジスト膜を除去する。更に、 V_{th} 制御イオン注入イオン注入時の保護膜として使用されたダミー酸化膜を剥離する。

50

【 0 0 5 4 】

(ハ)次に、半導体基板 1 の表面を熱酸化し、図 7 (a) に示すようにゲート酸化膜 2 を形成する。更に、ゲート酸化膜 2 の上の全面に C V D 法によりポリシリコン膜 3 を 2 0 0 ~ 4 0 0 n m 程度堆積する。そして、フォトリソグラフィ技術によりパターンニングされたフォトレジスト膜 5 1 をポリシリコン膜 3 上に、図 7 (b) に示すように形成する。そして、このフォトレジスト膜 5 1 をマスクとして、R I E 等によりポリシリコン膜 3 をエッチングする。その後、フォトレジスト膜 5 1 を除去すれば、図 7 (c) に示すように、転送ゲート電極 3 1、読み出しゲート電極 3 2 及び排出ゲート電極 3 3 のパターンが形成される。

【 0 0 5 5 】

(ニ)次に、フォトリソグラフィ技術を用いて、半導体基板 1 上にフォトレジスト膜 5 2 を被覆する。そして、図 8 (a) に示すように転送ゲート電極 3 1、読み出しゲート電極 3 2 及び排出ゲート電極 3 3 をマスクとして、自己整合的に、半導体基板 1 に燐 ($^{31}P^+$) を $1.0 \times 10^{15} \text{ cm}^{-2}$ のオーダーでイオン注入する。同時に、周辺回路及び読み出し用バッファンプ 1 0 8 の p ウェルにも同様に、ポリシリコンゲート電極をマスクとして、自己整合的にイオン注入する。このとき、ポリシリコンからなる転送ゲート電極 3 1、読み出しゲート電極 3 2 及び排出ゲート電極 3 3 や図示を省略した周辺回路の p ウェル等の上のポリシリコンゲート電極にも燐 ($^{31}P^+$) がイオン注入される。その後、フォトレジスト膜 5 2 を除去する。

【 0 0 5 6 】

(ホ)次に、フォトリソグラフィ技術を用いて、半導体基板 1 上にフォトレジスト膜 5 3 を被覆する。そして、図 8 (b) に示すように転送ゲート電極 3 1、読み出しゲート電極 3 2 及び排出ゲート電極 3 3 をマスクとして、自己整合的に、半導体基板 1 に砒素 ($^{75}As^+$) を $8 \times 10^{15} \sim 5 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ のオーダーでイオン注入する。同時に、必要に応じて、周辺回路及び電圧読み出し用バッファンプ 1 0 8 の p ウェルにも同様に、ポリシリコンゲート電極をマスクとして、自己整合的にイオン注入する。このとき、ポリシリコンからなる転送ゲート電極 3 1、読み出しゲート電極 3 2 及び排出ゲート電極 3 3 や図示を省略した周辺回路の p ウェル等の上のポリシリコンゲート電極にも砒素 ($^{75}As^+$) がイオン注入される。その後、フォトレジスト膜 5 3 を除去する。

【 0 0 5 7 】

(ヘ)次に、フォトリソグラフィ技術を用いて、半導体基板 1 上に他のフォトレジスト膜 5 4 を被覆する。そして、図 8 (c) に示すように転送ゲート電極 3 1、読み出しゲート電極 3 2 及び排出ゲート電極 3 3 をマスクとして、自己整合的に、半導体基板 1 にホウ素 ($^{11}B^+$) を $3 \times 10^{15} \sim 1 \times 10^{16} \text{ cm}^{-2}$ のオーダーでイオン注入する。同時に、必要に応じて、周辺回路及び電圧読み出し用バッファンプ 1 0 8 の n ウェルにも同様に、ポリシリコンゲート電極をマスクとして、自己整合的にイオン注入する。このとき、ポリシリコンからなる転送ゲート電極 3 1、読み出しゲート電極 3 2 及び排出ゲート電極 3 3 や図示を省略した周辺回路の p ウェル等の上のポリシリコンゲート電極にもホウ素 ($^{11}B^+$) がイオン注入される。その後、フォトレジスト膜 5 4 を除去して、半導体基板 1 を活性化熱処理すれば、半導体基板 1 には、図 9 に示すように、n 型の受光カソード領域 1 1 a、 p^+ 型ピニング層 1 1 b、受光カソード領域 1 1 a より不純物密度が高い n^+ 型の電荷蓄積領域 1 2 a、 p^+ 型半導体領域 1 2 b、 n^+ 型の電荷読み出し領域 1 3、排出ドレイン領域 1 4 が形成される。同様に、図示を省略した周辺回路の p ウェル等に n 型ソース/ドレイン領域が形成される。このとき、転送ゲート電極 3 1、読み出しゲート電極 3 2 及び排出ゲート電極 3 3 に注入された燐 ($^{31}P^+$)、砒素 ($^{75}As^+$) 及びホウ素 ($^{11}B^+$) も活性化されるので、転送ゲート電極 3 1、読み出しゲート電極 3 2 及び排出ゲート電極 3 3 が低抵抗化する。

【 0 0 5 8 】

(ト)次に、図示を省略するが、各画素を接続する垂直信号線や水平走査線、或いは周辺回路の各トランジスタ間を接続する金属配線層やゲート電極を形成するポリシリコン膜

10

20

30

40

50

間の絶縁のため、層間絶縁膜を堆積させる。この層間絶縁膜は、CVD法により堆積された膜厚 $0.5\mu\text{m}$ 程度の酸化膜(CVD-SiO₂)と、この酸化膜(CVD-SiO₂)の上に、CVD法により堆積された膜厚 $0.5\mu\text{m}$ 程度のPSG膜又はBPSG膜の2層構造から構成された複合膜等種々の誘電体膜が使用可能である。CVD法で堆積後、熱処理することにより、この複合膜の上層のBPSG膜は、リフローされて層間絶縁膜の表面が平坦化される。この表面に、フォトリソグラフィ技術を用いてパターンングされたフォトレジスト膜をマスクにして、RIE若しくはECRイオンエッチング等により層間絶縁膜をエッチングし、金属配線層とトランジスタを接続するコンタクト孔を形成する。その後、このコンタクト孔を形成に用いたフォトレジスト膜を除去する。次に、スパッタリング法又は電子ビーム真空蒸着法等によりシリコン等を含有するアルミニウム合金膜(Al-Si, Al-Cu-Si)を形成する。この上に、フォトリソグラフィ技術を用いて、フォトレジスト膜のマスクを形成し、このマスクを用いて、RIEにより、アルミニウム合金膜をパターンングするという一連の処理を順次繰り返し、各画素を接続する垂直信号線や水平走査線、或いは周辺回路の各トランジスタ間を接続する金属配線層を形成する。更に、金属配線層の上に他の層間絶縁膜を堆積させ、フォトリソグラフィ技術を用いて、各画素の半導体領域の直上に開口部42を有する金属膜を形成し、遮光膜41とする。そして、機械的損傷防止と、水分や不純物の浸入の防止を目的とした膜厚 $1\mu\text{m}$ 程度のパッシベーション膜を遮光膜の上にCVD法により積層すれば、本発明の第1の実施の形態に係る固体撮像装置が完成する。パッシベーション膜にはPSG膜や窒化膜等が利用される。

10

20

【0059】

以上説明したように、本発明の第1の実施の形態に係る半導体測距素子及び固体撮像装置の製造方法によれば、受光カソード領域11a、p⁺型ピニング層11b、電荷蓄積領域12a、p⁺型半導体領域12b及び電荷読み出し領域13の形成は、標準的なCMOSイメージセンサの製造工程に、図8(b)に示した追加工程として、イオン注入等の簡単な工程を追加するだけで実現できる。したがって、標準CMOSプロセスを基本としながら、CCDと同様に高速信号転送が可能なTOF型距離画像センサを標準的なCMOSプロセスで実現可能となる。

【0060】

<第1の実施の形態の変形例>

30

第1の実施の形態の変形例に係る固体撮像装置では、それぞれの画素 $X_{11} \sim X_{1m}; X_{21} \sim X_{2m}; \dots; X_{n1} \sim X_{nm}$ 内の半導体測距素子の平面構造として、図10(a)に示すように、縞状(ストライプ状)にn⁺型受光カソード領域11aのパターンが複数形成されていても良い。図10(a)のB-B面から見た断面構造を図10(b)に示す。p⁺型ピニング層11bは、受光カソード領域11aと同様にストライプ状の複数のパターンとなっていて、連続したパターンとなっていて構わない。

【0061】

電荷蓄積領域12aと受光カソード領域11aとを異なる不純物密度にする代わりに、受光カソード領域11aの平面パターンを細くすることにより、受光カソード領域11a側のみが容易に空乏化する。即ち、第1のポテンシャル井戸PW1の底(空乏化したときの電位)を実効的に第2のポテンシャル井戸PW2の底よりも高くすることができ、信号電荷の完全転送を行うことができる。

40

【0062】

この場合は、受光カソード領域11aと電荷蓄積領域12aとの不純物密度は同一でよいので、図8(b)に示したような追加の工程が不要で、工程が簡略化できる。

【0063】

(第2の実施の形態)

本発明の第2の実施の形態に係る固体撮像装置(2次元イメージセンサ)の全体構成は、図1にしたブロック図と同一であるため、重複した説明を省略する。第2の実施の形態に係る固体撮像装置のそれぞれの画素 $X_{11} \sim X_{1m}; X_{21} \sim X_{2m}; \dots; X_{n1} \sim X_{nm}$

50

内のTOF画素回路として機能する半導体測距素子の平面構造の一例を図11に、対応する断面を図12(a)に示す。

【0064】

図12(a)は、図11に示した半導体測距素子のC-C面から見た断面構造であり、先に説明する。図12(a)に示すように、半導体測距素子は、第1導電型(p型)の半導体基板(半導体領域)1と、半導体基板1の上部の一部に埋め込まれ、対象物からの反射光を光信号として受光し信号電荷に変換する第2導電型(n型)の受光用表面埋め込み領域(受光カソード領域)11aと、半導体基板1の上部の一部に受光カソード領域11aと離間して互いに対向するように埋め込まれ、受光カソード領域11aにより生成した信号電荷をそれぞれ蓄積する第2導電型(n⁺型)の第1電荷蓄積領域12a及び第2電荷蓄積領域14aと、第1電荷蓄積領域12aにより蓄積した信号電荷を受け入れる第1電荷読み出し領域13と、第2電荷蓄積領域14aにより蓄積した信号電荷を受け入れる第2電荷読み出し領域15とを備える。

10

【0065】

受光カソード領域11aと、受光カソード領域11aの直下の半導体基板(アノード領域)1とでフォトダイオードD1を構成している。第1電荷蓄積領域(カソード領域)12aと、第1電荷蓄積領域12a直下の半導体基板1(アノード領域)とで第1電荷蓄積ダイオードD2を構成している。第2電荷蓄積領域(カソード領域)14aと、第2電荷蓄積領域14a直下の半導体基板1(アノード領域)とで第2電荷蓄積ダイオードD3を構成している。

20

【0066】

受光カソード領域11aの上には、p⁺型ピニング層11bが配置されている。第1電荷蓄積領域12aの上には、p⁺型ピニング層12bが配置されている。第2電荷蓄積領域14aの上には、p⁺型ピニング層14bが配置されている。ダーク電流が問題とならない用途(応用)等では、構造上、p⁺型ピニング層11b、12b、14bを省略しても構わない。

【0067】

p⁺型ピニング層11b、12b、14b上には絶縁膜2が形成されている。絶縁膜2上には、受光カソード領域11aと第1電荷蓄積領域12aとの間の半導体基板1の表面(上部)に形成される転送チャネルの電位を制御して、受光カソード領域11aから第1電荷蓄積領域12aへ信号電荷を転送する第1転送ゲート電極31が配置され、第1の電荷蓄積領域用電位制御手段を構成している。更に、絶縁膜2上には、第1電荷蓄積領域12aと第1電荷読み出し領域13との間の半導体基板1の表面(上部)に形成される転送チャネルの電位を制御して、第1電荷蓄積領域12aから第1電荷読み出し領域13へ信号電荷を転送する第1読み出しゲート電極32が配置され、第1の電荷読み出し領域用電位制御手段を構成している。更に、絶縁膜2上には、受光カソード領域11aと第2電荷蓄積領域14aとの間の半導体基板1の表面(上部)に形成される転送チャネルの電位を制御して、受光カソード領域11aから第2電荷蓄積領域14aへ信号電荷を転送する第2転送ゲート電極33が配置され、第2の電荷蓄積領域用電位制御手段を構成している。更に、絶縁膜2上には、第2電荷蓄積領域14aと第2電荷読み出し領域15との間の半導体基板1の表面(上部)に形成される転送チャネルの電位を制御して、第2電荷蓄積領域14aから第2電荷読み出し領域15へ信号電荷を転送する第2読み出しゲート電極34が配置され、第2の電荷読み出し領域用電位制御手段を構成している。

30

40

【0068】

図11に示したD-D方向から見た断面構造を図14(a)に示す。図14(a)に示すように、半導体基板1の上部の一部に、受光カソード領域11aと離間して、第1排出ドレイン領域16a及び第2排出ドレイン領域16bがそれぞれ配置されている。図11の平面構造に示すように、図12(a)から分かるように、受光カソード領域11aと第1排出ドレイン領域16aとの間を第1排出ゲート電極33aが延伸している。また、受光カソード領域11aと第2排出ドレイン領域16bの間を第2排出ゲート電極33bが

50

延伸している。

【 0 0 6 9 】

図 1 2 (a) に示すように、第 2 電荷読み出し領域 1 5 は第 1 電荷読み出し領域 1 3 と表面配線で短絡し、第 1 電荷読み出し領域 1 3 と第 2 電荷読み出し領域 1 5 とを共通の信号読み出しトランジスタ (増幅トランジスタ) MA_1 のゲート電極に接続している。第 1 電荷読み出し領域 1 3 と第 2 電荷読み出し領域 1 5 の電位を共通の信号読み出しトランジスタ (増幅トランジスタ) で読み出す構成である。

【 0 0 7 0 】

図 1 1 の平面構造に示すように、図 1 2 (a) から分かるように、受光カソード領域 1 1 a 上に配置された矩形の p^+ 型ピニング層 1 1 b と、第 1 電荷蓄積領域 1 2 a 上に配置された p^+ 型ピニング層 1 1 b との間に第 1 転送ゲート電極 3 1 が延伸している。第 1 電荷蓄積領域 1 2 a 上に配置された p^+ 型ピニング層 1 2 b と、第 1 電荷読み出し領域 1 3 との間に第 1 読み出しゲート電極 3 2 が延伸している。更に、受光カソード領域 1 1 a 上に配置された矩形の p^+ 型ピニング層 1 1 b と、第 2 電荷蓄積領域 1 4 a 上に配置された p^+ 型ピニング層 1 4 b との間に第 2 転送ゲート電極 3 3 が延伸している。第 2 電荷蓄積領域 1 4 a 上に配置された p^+ 型ピニング層 1 4 b と、第 2 電荷読み出し領域 1 5 との間に第 2 読み出しゲート電極 3 4 が延伸している。

10

【 0 0 7 1 】

図 1 2 (b) は、図 1 2 (a) において一点鎖線で示した P - P 面で、第 2 電荷読み出し領域 1 5、第 2 電荷蓄積領域 1 4 a、受光カソード領域 1 1 a、第 1 電荷蓄積領域 1 2 a 及び第 1 電荷読み出し領域 1 3 を切る断面におけるポテンシャル図であり、電荷 (電子) を黒丸で示している。図 1 2 (b) の左側に受光カソード領域 1 1 a の伝導帯端のポテンシャル井戸 (第 1 のポテンシャル井戸) PW_1 を示す。更に、第 1 のポテンシャル井戸 PW_1 の右側に、第 1 電荷蓄積領域 1 2 a の伝導帯端のポテンシャル井戸 (第 2 のポテンシャル井戸) PW_2 を示す。第 1 のポテンシャル井戸 PW_1 と、第 2 のポテンシャル井戸 PW_2 との間の電位障壁は、第 1 転送ゲート電極 3 1 直下の半導体基板 1 の伝導帯端のポテンシャル分布に相当する。更に、第 2 のポテンシャル井戸 PW_2 の右側に、第 1 電荷読み出し領域 1 3 のポテンシャル井戸を右上がりのハッチングで示す。第 2 のポテンシャル井戸 PW_2 と、第 1 電荷読み出し領域 1 3 のポテンシャル井戸との間の電位障壁は、第 1 読み出しゲート電極 3 2 直下の半導体基板 1 の伝導帯端のポテンシャル分布に相当する。

20

30

【 0 0 7 2 】

更に、第 1 のポテンシャル井戸 PW_1 の左側に、第 2 電荷蓄積領域 1 4 a の伝導帯端のポテンシャル井戸 (第 3 のポテンシャル井戸) PW_3 を示す。第 1 のポテンシャル井戸 PW_1 と、第 3 のポテンシャル井戸 PW_3 との間の電位障壁は、第 2 転送ゲート電極 3 3 直下の半導体基板 1 の伝導帯端のポテンシャル分布に相当する。更に、第 3 のポテンシャル井戸 PW_3 の右側に、第 2 電荷読み出し領域 1 5 のポテンシャル井戸を右上がりのハッチングで示す。第 3 のポテンシャル井戸 PW_3 と、第 2 電荷読み出し領域 1 5 のポテンシャル井戸との間の電位障壁は、第 2 読み出しゲート電極 3 5 直下の半導体基板 1 の伝導帯端のポテンシャル分布に相当する。受光カソード領域 1 1 a の不純物密度が、第 1 電荷蓄積領域 1 2 a 及び第 2 電荷蓄積領域 1 4 a の不純物密度よりも高いので、第 2 のポテンシャル井戸 PW_2 及び第 3 のポテンシャル井戸 PW_3 の深さが、第 1 のポテンシャル井戸 PW_1 の深さよりも深い。

40

【 0 0 7 3 】

図 1 2 (b) に示すように、第 1 転送ゲート電極 3 1 及び第 2 転送ゲート電極 3 3 のそれぞれに制御信号 GS として低い電圧 (0 V、又は負電位) を与えた場合、信号電荷は転送されない。又、図 1 2 (c) に示すように、第 1 転送ゲート電極 3 1 及び第 2 転送ゲート電極 3 3 のそれぞれに制御信号 GS として高い電圧 (正の電圧) を与えた場合、受光カソード領域 1 1 a の信号電荷を第 1 電荷蓄積領域 1 2 a 及び第 2 電荷蓄積領域 1 4 a にそれぞれ転送することができる。

【 0 0 7 4 】

50

又、図 13 (a) に示すように、第 1 読み出しゲート電極 32 及び第 2 読み出しゲート電極 34 のそれぞれに制御信号 TX として低い電圧 (0 V、又は負電位) を印加することにより、信号電荷は転送されない。一方、図 13 (b) に示すように、第 1 読み出しゲート電極 32 及び第 2 読み出しゲート電極 34 のそれぞれに制御信号 TX として高い電圧 (正の電圧) を印加することにより、第 1 電荷蓄積領域 12a 及び第 2 電荷蓄積領域 14a に蓄積された信号電荷を第 1 電荷読み出し領域 13 及び第 2 電荷読み出し領域 15 のそれぞれに転送することができる。

【0075】

本発明の第 2 の実施の形態において、例えば、制御パルス信号 TX が第 1 転送ゲート電極 31 及び第 2 転送ゲート電極 33 に与えられて、左右に信号電荷の転送を行っているときは、第 1 排出ゲート電極 33a 及び第 2 排出ゲート電極 33b に負の電圧を与えて、図 14 (b) に示すように電位障壁を形成し、第 1 排出ドレイン領域 16a 及び第 2 排出ドレイン領域 16b に電荷が転送されないようにしておく。

10

【0076】

一方、信号電荷を吐き出すときには、図 14 (c) に示すように、第 1 排出ゲート電極 33a 及び第 2 排出ゲート電極 33b に高い電位を与えて、第 1 排出ドレイン領域 16a 及び第 2 排出ドレイン領域 16b に信号電荷を吐き出す。

【0077】

尚、図 14 (c) に示した電圧の印加方法は例示であり、図 14 (c) の左右の第 1 排出ゲート電極 33a 及び第 2 排出ゲート電極 33b に印加する電圧 CD は、特に同じ電圧である必要はなく、互いに ± の電圧を加えても排出できる。又、図 14 (c) のとおり同じプラスの電圧を加えても信号電荷を排出できる。即ち、図 14 (c) の左右の第 1 排出ゲート電極 33a 及び第 2 排出ゲート電極 33b に印加する電圧 CD には、柔軟性を持った種々の電圧の与え方が可能であり、種々の電圧を印加することにより、効果的に信号電荷の影響を除去できる。

20

【0078】

本発明の第 2 の実施の形態に係る固体撮像装置の動作は、本発明の第 1 の実施の形態に係る固体撮像装置の動作と基本的に同様であるので、重複した説明を省略する。

【0079】

以上説明したように、第 2 の実施の形態に係る半導体測距素子及び固体撮像装置によれば、第 1 の実施の形態と同様に、低コスト且つ高い距離分解能が得られ、構造も単純であるため、多数の画素を配置した空間解像度の高い TOF 型距離画像センサが実現できる。

30

【0080】

<第 2 の実施の形態の第 1 変形例>

本発明の第 2 の実施の形態の変形例に係る固体撮像装置のそれぞれの画素 $X_{11} \sim X_{1m}$; $X_{21} \sim X_{2m}$; \dots ; $X_{n1} \sim X_{nm}$ 内の半導体測距素子の制御信号の設定方法として、図 12 に示す構成において、第 1 転送ゲート電極 31 を第 1 繰り返し周期 (奇数フレーム) 用とし、第 2 転送ゲート電極 33 を第 2 繰り返し周期 (偶数フレーム) 用として、互いに独立した制御信号 $GS1 = GS(A)$, $GS2 = GS(B)$ を与えても良い。 $GS(A)$ 及び $GS(B)$ は、図 6 に示した制御信号である。第 1 転送ゲート電極 31 及び第 2 転送ゲート電極 33 のそれぞれに制御信号 $GS1$, $GS2$ を異なる値にして印加すれば、第 1 繰り返し周期 (奇数フレーム) では第 1 電荷蓄積領域 12a に、第 2 繰り返し周期 (偶数フレーム) では第 2 電荷蓄積領域 14a にそれぞれ独立して信号電荷を転送することができる。例えば、第 2 転送ゲート電極 33 に制御信号 $GS2$ として低い電圧 (0 V、又は負電位) を印加した状態で、第 1 転送ゲート電極 31 に制御信号 $GS1 = GS(A)$ として高い電圧 (正の電圧) を印加することにより、受光カソード領域 11a の信号電荷を第 1 電荷蓄積領域 12a にのみ転送することができる。

40

【0081】

第 1 電荷読み出し領域 13 と第 2 電荷読み出し領域 15 とを表面配線で短絡し、第 1 電荷読み出し領域 13 と第 2 電荷読み出し領域 15 とを共通の信号読み出しトランジスタ (

50

増幅トランジスタ) MA_1 のゲート電極に接続すれば、1画素内のトランジスタ数を少なくできるとともに、電位の共通した拡散層で電荷検出を行うことで、変換利得などの特性を等しくすることができ、精度が向上する。このため、図12(a)では、第1電荷読み出し領域13と第2電荷読み出し領域15の電位を共通の信号読み出しトランジスタ(増幅トランジスタ)で読み出す構成を示している。

【0082】

<第2の実施の形態の第2変形例>

画素の構造が複雑になる欠点はあるが、図15(a)に示すように、第1電荷読み出し領域13及び第2電荷読み出し領域15のそれぞれに、互いに独立した第1電圧読み出し用バッファアンプ108a及び第2電圧読み出し用バッファアンプ108bが接続されていても良い。第1電荷読み出し領域13には、電圧読み出し用バッファアンプ108を構成する信号読み出しトランジスタ(増幅トランジスタ) MA_1 のゲート電極が接続される。信号読み出しトランジスタ(増幅トランジスタ) MA_1 のドレイン電極は電源VDDに接続され、ソース電極は画素選択用のスイッチングトランジスタ MS_1 のドレイン電極に接続されている。画素選択用のスイッチングトランジスタ MS_1 のソース電極は、垂直信号線 B_1 に接続され、ゲート電極には水平ラインの選択用制御信号Sが垂直シフトレジスタ105から与えられる。

10

【0083】

一方、第2電荷読み出し領域15には、電圧読み出し用バッファアンプ108の信号読み出しトランジスタ(増幅トランジスタ) MA_2 のゲート電極が接続されている。信号読み出しトランジスタ(増幅トランジスタ) MA_2 のドレイン電極は電源VDDに接続され、ソース電極は画素選択用のスイッチングトランジスタ MS_2 のドレイン電極に接続されている。画素選択用のスイッチングトランジスタ MS_2 のソース電極は、垂直信号線 B_2 に接続され、ゲート電極には水平ラインの選択用制御信号Sが垂直シフトレジスタ105から与えられる。

20

【0084】

第2変形例では、第1変形例と同様に、第1転送ゲート電極31を第1繰り返し周期(奇数フレーム)用とし、第2転送ゲート電極33を第2繰り返し周期(偶数フレーム)用として、互いに独立した制御信号 $GS_1 = GS$, GS_2 を与え、更に第1繰り返し周期(奇数フレーム)では第1読み出しゲート電極32に、第2繰り返し周期(偶数フレーム)では第2読み出しゲート電極34に互いに独立した制御信号 TX_1 , TX_2 を与える。

30

【0085】

例えば、図15(b)に示すように、第1繰り返し周期(奇数フレーム)では第2転送ゲート電極33に制御信号 GS_2 として低い電圧(0V、又は負電位)を印加した状態で、第1転送ゲート電極31に制御信号 $GS_1 = GS(A)$ として高い電圧(正の電圧)を印加することにより、受光カソード領域11aの信号電荷を第1電荷蓄積領域12aにのみ転送することができる。

【0086】

例えば、図16に示すように、第1繰り返し周期(奇数フレーム)では第2読み出しゲート電極34に制御信号 TX_2 として低い電圧(0V、又は負電位)を印加した状態で、第1読み出しゲート電極32に制御信号 TX_1 として高い電圧(正の電圧)を印加することにより、第1電荷蓄積領域12aの信号電荷を第1電荷読み出し領域15にのみ転送することができる。

40

【0087】

選択用制御信号Sをハイレベルにすることにより、スイッチングトランジスタ MS_1 , MS_2 が導通し、信号読み出しトランジスタ(増幅トランジスタ) MA_1 , MA_2 で増幅された第1電荷読み出し領域13、第2電荷読み出し領域15の電位に対応する電流が垂直信号線 B_1 , B_2 に流れる。

【0088】

(その他の実施の形態)

50

上記のように、本発明は第1及び第2の実施の形態によって記載したが、この開示の一部をなす論述及び図面はこの発明を限定するものであると理解すべきではない。この開示から当業者には様々な代替実施の形態、実施例及び運用技術が明らかとなろう。

【0089】

例えば、既に述べた第1及び第2の実施の形態の説明では、「第1繰り返し周期」を奇数フレームの周期、「第2繰り返し周期」を偶数フレームの周期として説明したが、これに限定されず、数フレーム毎に、飛び飛びに選択して、「第1繰り返し周期」と「第2繰り返し周期」とを定義しても構わない。又、第1導電型をp型、第2導電型をn型として説明したが、例示に過ぎず、第1導電型がn型、第2導電型をp型としても、電気的な極性を反対にすれば同様な効果が得られることは容易に理解できるであろう。

10

【0090】

又、第1及び第2の実施の形態の説明においては、2次元固体撮像装置（エリアセンサ）としてのTOF型距離画像センサを例示的に説明したが、本発明の半導体測距素子は2次元固体撮像装置の画素のみに用いられるように限定して解釈すべきではない。例えば、図1に示した2次元マトリクスにおいて、 $j = m = 1$ とした1次元固体撮像装置（ラインセンサ）の画素として複数の半導体測距素子を1次元に配列しても良いことは、上記開示の内容から、容易に理解できるはずである。

【0091】

又、第1及び第2の実施の形態の説明においては、転送ゲート電極（第1の電位制御手段）31に制御信号GSとして正のバイアスを印加し、受光カソード領域11aと電荷蓄積領域12aとの間に反転層を形成して信号電荷を転送するノーマリ・オフ形（エンハンスメント形）のnMOSFETで転送手段を実現する場合を説明したが、図17に示すように、転送ゲート電極31の直下のn型（第2導電型）の受光カソード領域11aとn型（第2導電型）の電荷蓄積領域12aとの間にn型（第2導電型）の表面埋込領域17をn型チャンネル領域として形成したノーマリ・オン形（ディプリーション形）のnMOSFETで転送手段を実現するようにしても良い。図17に示す構造の場合、転送ゲート電極31に制御信号GSとして0V（接地電位）を印加した状態が、第1の実施の形態で説明した図4（a）に示すポテンシャル図になり、受光カソード領域11aから電荷蓄積領域12aへ信号電荷が転送される。図3（b）に示すように、第1ポテンシャル井戸PW1と第2ポテンシャル井戸PW2との間に電子に対する電位障壁が形成され、受光カソード領域11aから電荷蓄積領域12aに信号電荷は転送されないようにするためには、転送ゲート電極31に制御信号GSとして負の電圧を印加すれば良い。即ち、図17に示す構造の場合、ゲート電極31に印加する制御信号GSには、第1及び第2の実施の形態で説明した構造の場合と逆の極性のパルスを用いることとなる。

20

30

【0092】

転送ゲート電極31の直下に第2導電型の表面埋込領域を設けて、ノーマリ・オン形（ディプリーション形）のMOSFETを構成することにより、絶縁膜2と半導体領域（半導体基板）1との界面順位、若しくは表面ポテンシャルの影響を抑制できるので、より高速に信号電荷を移動させることができる。このより高速な電荷の転送により、残像を防止でき、残電荷によるランダムノイズの発生をより有効に防止できる。なお、図17では図3（b）及び図4（a）等のポテンシャル図を示すP-P面を一点鎖線で示す都合上、表面埋込領域17の深さを誇張して深く記載しているが、現実には、表面埋込領域17の深さは、p⁺型ピニング層11b及びp⁺型ピニング層12bの深さと同程度に浅く形成すれば良い。

40

【0093】

図17に示すn型の表面埋込領域17は、工程数が増大するが、受光カソード領域11a及び電荷蓄積領域12aを形成する場合と同様に、半導体基板1にn型不純物をイオン注入した後、熱処理することで形成可能である。

【0094】

又、電荷蓄積領域12aと電荷読み出し領域13との間及び受光カソード領域11aと

50

排出ドレイン領域 1 4 との間にそれぞれ n 型のチャンネル領域を形成しても良い。

【 0 0 9 5 】

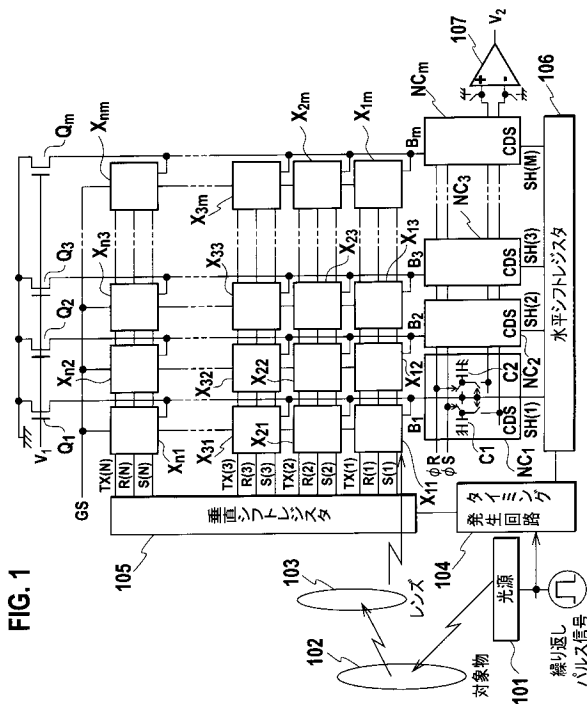
このように、本発明はここでは記載していない様々な実施の形態等を含むことは勿論である。したがって、本発明の技術的範囲は上記の説明から妥当な特許請求の範囲に係る発明特定事項によってのみ定められるものである。

【 産業上の利用の可能性 】

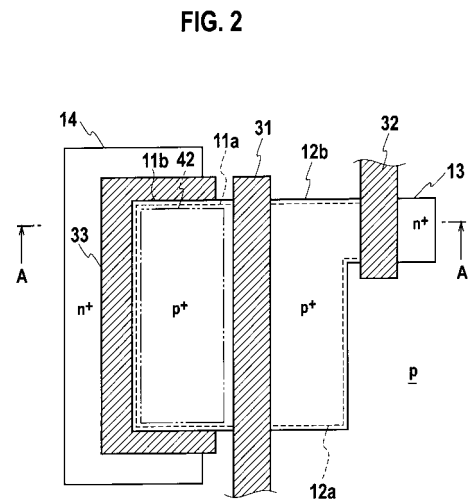
【 0 0 9 6 】

本発明によれば、高速電荷転送を行える半導体測距素子を提供でき、更にはこの半導体測距素子を画素として複数個配列して、低コストで、且つ高い距離分解能と空間解像度を有する固体撮像装置を提供できるので、自動車用の距離センサの分野や 3 次元画像の取得や生成の分野に応用可能である。更に 3 次元画像を利用した運動競技選手の動作解析やゲーム機の分野にも利用可能である。

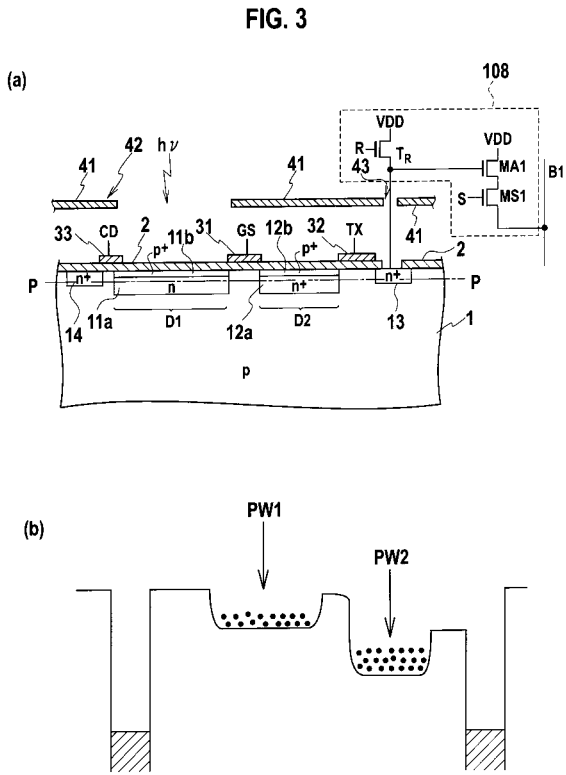
【 図 1 】



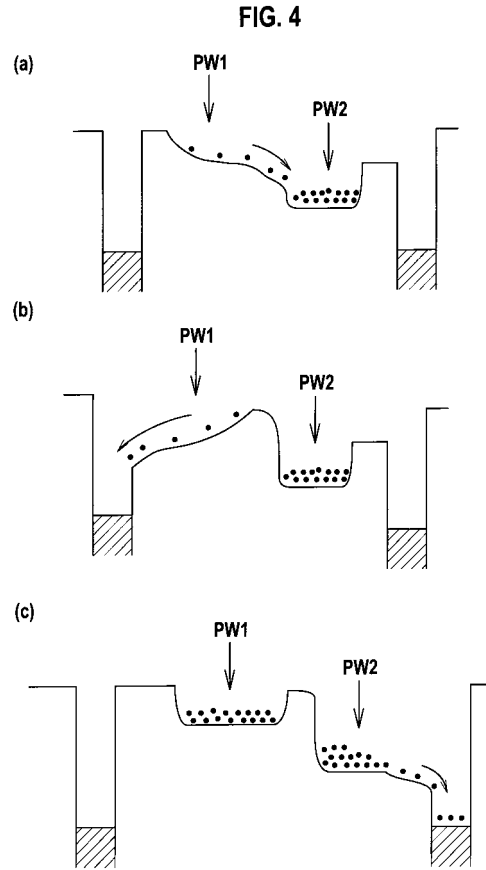
【 図 2 】



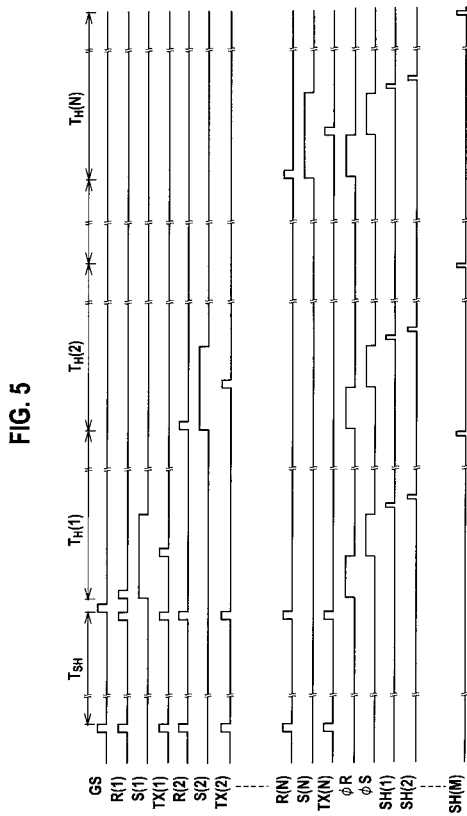
【 図 3 】



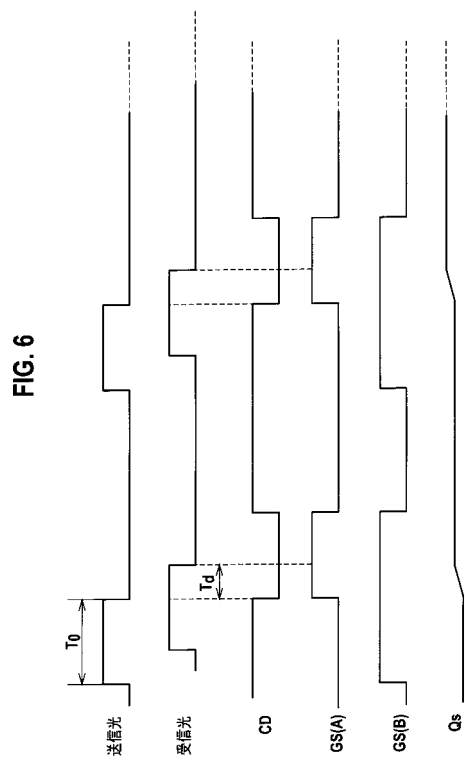
【 図 4 】



【 図 5 】

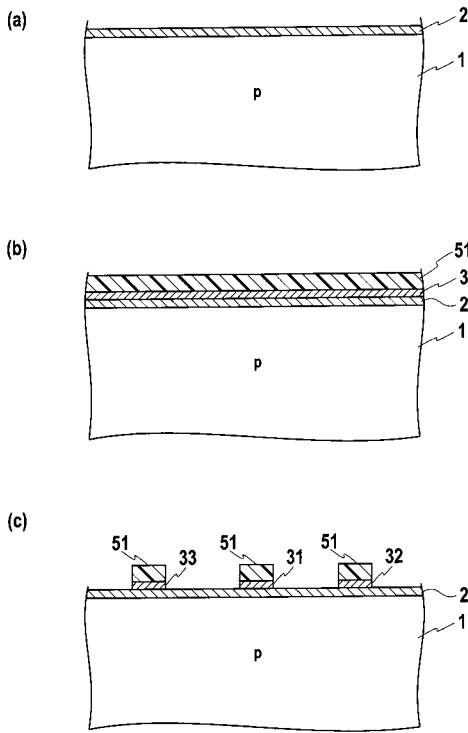


【 図 6 】



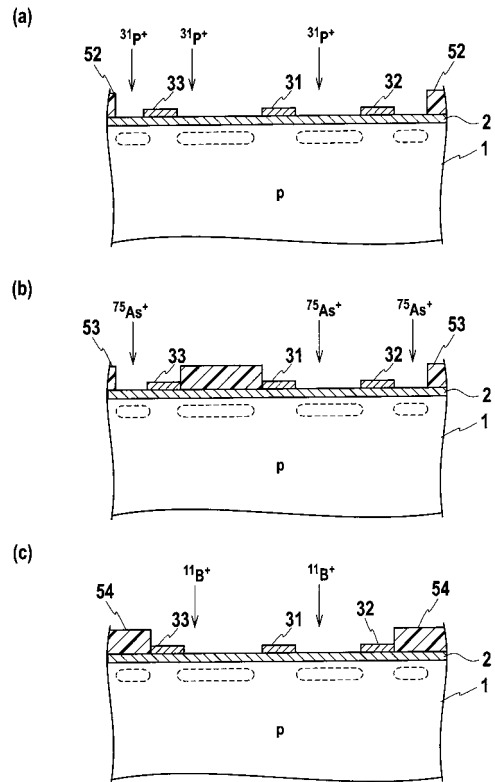
【 図 7 】

FIG. 7



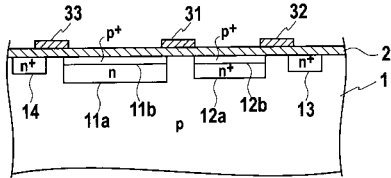
【 図 8 】

FIG. 8



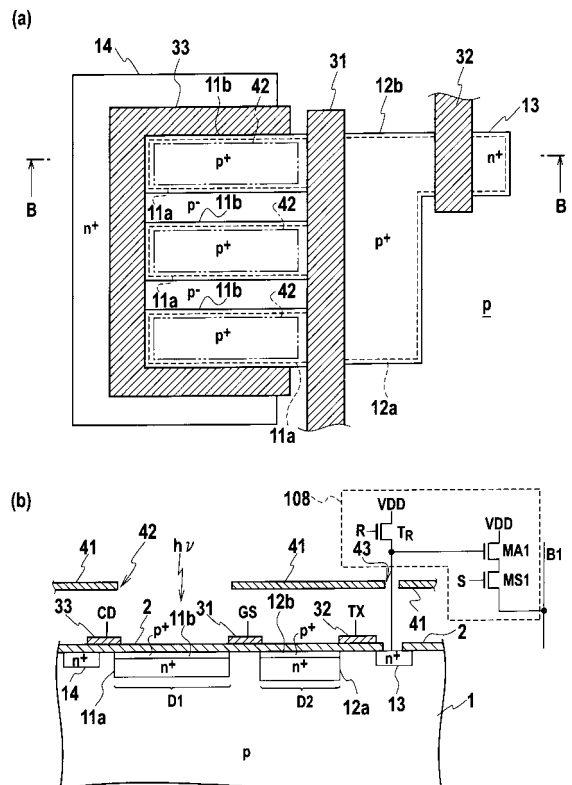
【 図 9 】

FIG. 9

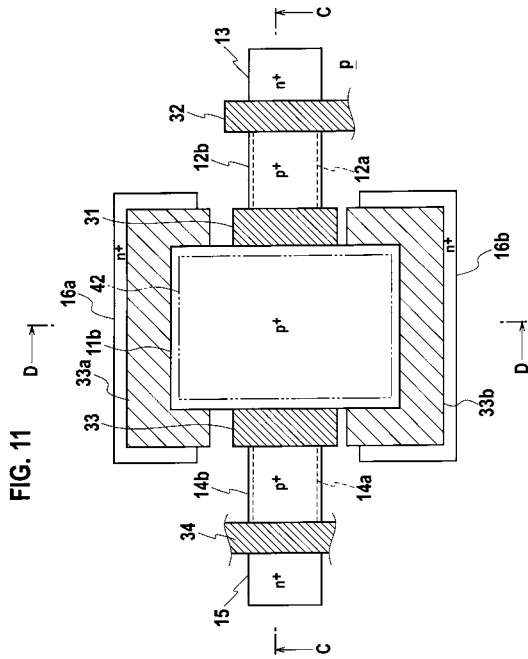


【 図 10 】

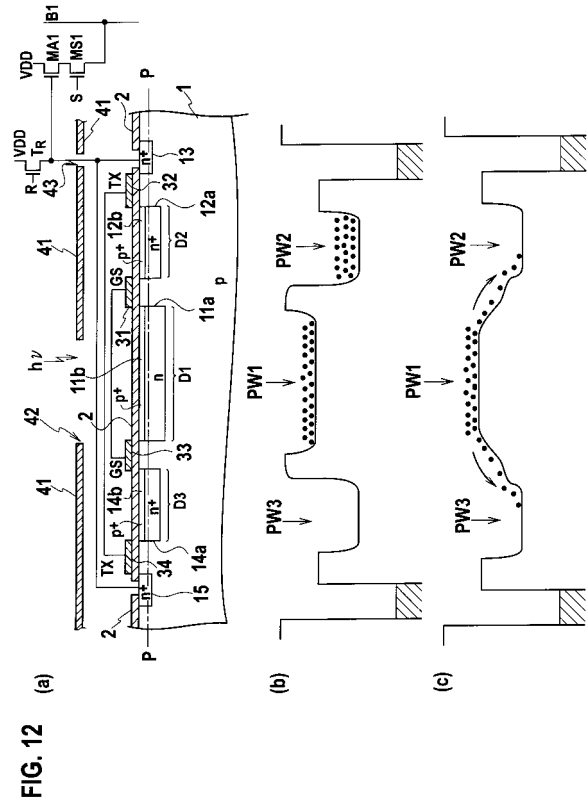
FIG. 10



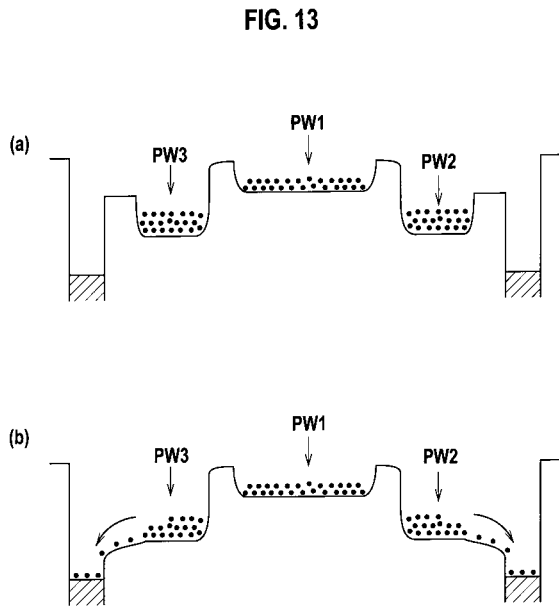
【 図 1 1 】



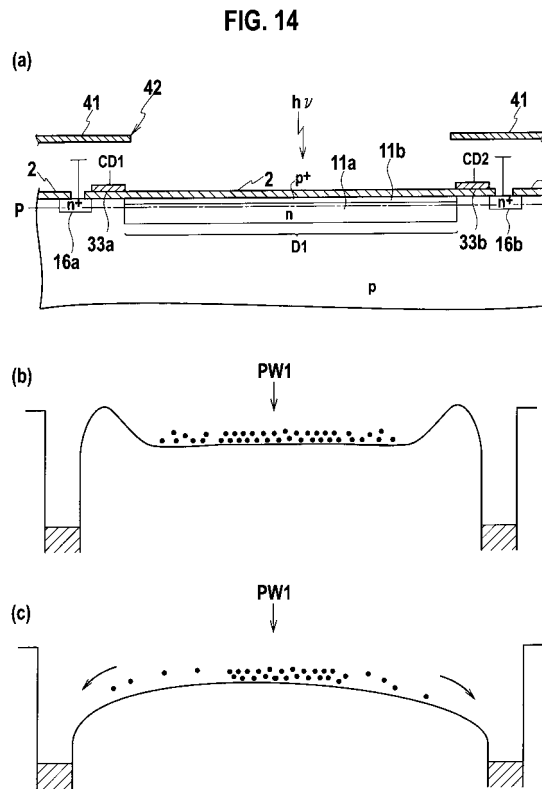
【 図 1 2 】



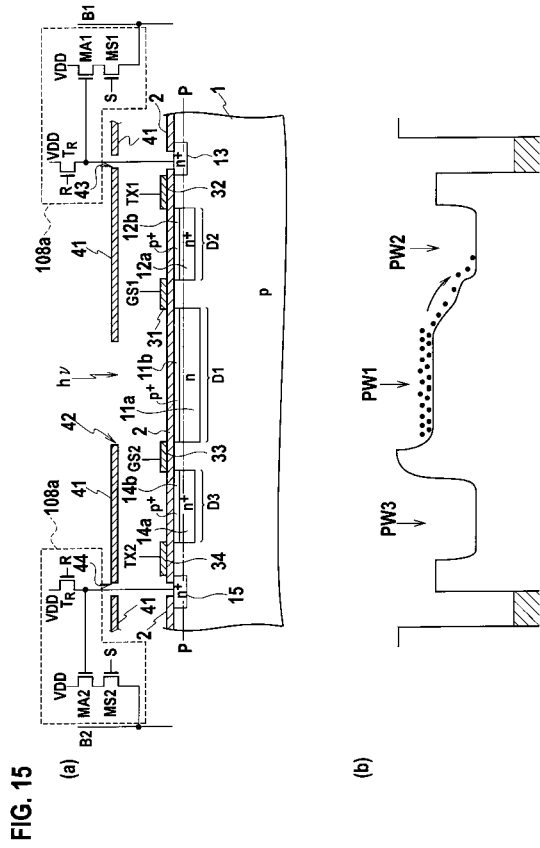
【 図 1 3 】



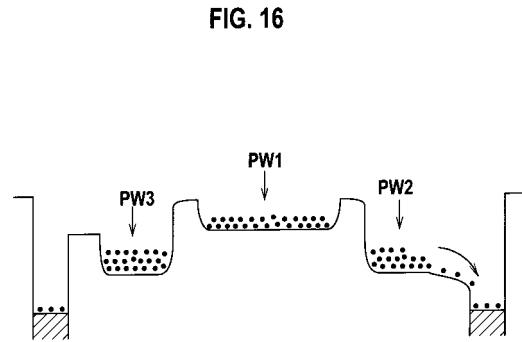
【 図 1 4 】



【 図 1 5 】

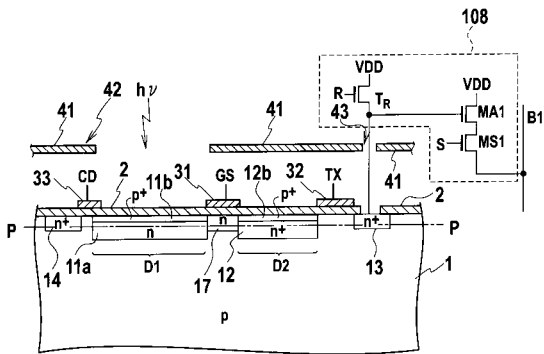


【 図 1 6 】



【 図 1 7 】

FIG. 17



【 国際調査報告 】

INTERNATIONAL SEARCH REPORT		International application No. PCT/JP2007/073215
A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER G01S17/10(2006.01)i, G01S17/89(2006.01)i, H01L27/14(2006.01)i According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC		
B. FIELDS SEARCHED Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols) G01S7/48-7/51, G01S17/00-17/95, G01C3/00-3/32, G01B11/00-11/30, H01L21/339, H01L27/14-27/148, H01L29/762, H04N5/30-5/335 Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2008 Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2008 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2008 Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)		
C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT		
Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	Tomonari SAWADA et al., "Kyori Gazo CMOS Sensor", ITE Technical Report, 18 October, 2006 (18.10.06), Vol.30, No.52, pages 21 to 24	1-20
Y	JP 4-268764 A (Sony Corp.), 24 September, 1992 (24.09.92), Par. Nos. [0008] to [0014]; Figs. 2 to 3 (Family: none)	1-20
P, X	WO 2007/119626 A1 (National University Corporation Shizuoka University), 25 October, 2007 (25.10.07), Full text; all drawings (Family: none)	1-20
<input checked="" type="checkbox"/> Further documents are listed in the continuation of Box C. <input type="checkbox"/> See patent family annex.		
* Special categories of cited documents: "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance "E" earlier application or patent but published on or after the international filing date "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified) "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art "&" document member of the same patent family		
Date of the actual completion of the international search 26 February, 2008 (26.02.08)		Date of mailing of the international search report 11 March, 2008 (11.03.08)
Name and mailing address of the ISA/ Japanese Patent Office		Authorized officer
Facsimile No.		Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2007/073215

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	JP 2005-235893 A (National University Corporation Shizuoka University), 02 September, 2005 (02.09.05), Full text; all drawings & WO 2005/078386 A1 & US 2007/0158770 A1 & DE 112005000411 T1 & KR 10-2007-0009591 A	1-20
A	JP 2004-294420 A (Shoji KAWAHITO), 21 October, 2004 (21.10.04), Par. Nos. [0016] to [0021]; Figs. 1 to 5 & WO 2004/070313 A1 & US 2006/0192938 A1	1-20
A	JP 2002-368205 A (Olympus Optical Co., Ltd.), 20 December, 2002 (20.12.02), Full text; all drawings (Family: none)	1-20
A	JP 2001-268445 A (Fuji Xerox Co., Ltd.), 28 September, 2001 (28.09.01), Full text; all drawings (Family: none)	1-20
A	JP 1-189158 A (Fujitsu Ltd.), 28 July, 1989 (28.07.89), Full text; all drawings (Family: none)	1-20

国際調査報告		国際出願番号 PCT/J P 2007/073215									
A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G01S17/10(2006.01)i, G01S17/89(2006.01)i, H01L27/14(2006.01)i											
B. 調査を行った分野 調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC)) Int.Cl. G01S7/48-7/51, G01S17/00-17/95, G01C3/00-3/32, G01B11/00-11/30, H01L21/339, H01L27/14-27/148, H01L29/762, H04N5/30-5/335											
最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの <table border="0"> <tr> <td>日本国実用新案公報</td> <td>1922-1996年</td> </tr> <tr> <td>日本国公開実用新案公報</td> <td>1971-2008年</td> </tr> <tr> <td>日本国実用新案登録公報</td> <td>1996-2008年</td> </tr> <tr> <td>日本国登録実用新案公報</td> <td>1994-2008年</td> </tr> </table>				日本国実用新案公報	1922-1996年	日本国公開実用新案公報	1971-2008年	日本国実用新案登録公報	1996-2008年	日本国登録実用新案公報	1994-2008年
日本国実用新案公報	1922-1996年										
日本国公開実用新案公報	1971-2008年										
日本国実用新案登録公報	1996-2008年										
日本国登録実用新案公報	1994-2008年										
国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)											
C. 関連すると認められる文献											
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号									
Y	澤田友成他, “距離画像CMOSセンサ”, 社団法人映像情報メディア学会技術報告, 2006. 10. 18, Vol. 30, No. 52, p. 21-24	1-20									
Y	JP 4-268764 A (ソニー株式会社) 1992. 09. 24, 段落【0008】 - 【0014】, 図2-3 (ファミリーなし)	1-20									
P, X	WO 2007/119626 A1 (国立大学法人静岡大学) 2007. 10. 25, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-20									
<input checked="" type="checkbox"/> C欄の続きにも文献が列挙されている。		<input type="checkbox"/> パテントファミリーに関する別紙を参照。									
* 引用文献のカテゴリー 「A」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの 「E」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの 「L」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す) 「O」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献 「P」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願		の日後に公表された文献 「T」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの 「X」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの 「Y」特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの 「&」同一パテントファミリー文献									
国際調査を完了した日 26. 02. 2008		国際調査報告の発送日 11. 03. 2008									
国際調査機関の名称及びあて先 日本国特許庁 (ISA/J P) 郵便番号100-8915 東京都千代田区霞が関三丁目4番3号		特許庁審査官 (権限のある職員) 大和田 有軌	25 3004								
		電話番号 03-3581-1101 内線 3258									

国際調査報告

国際出願番号 PCT/JP2007/073215

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
A	JP 2005-235893 A (国立大学法人静岡大学) 2005.09.02, 全文, 全図 & WO 2005/078386 A1 & US 2007/0158770 A1 & DE 112005000411 T1 & KR 10-2007-0009591 A	1-20
A	JP 2004-294420 A (川人祥二) 2004.10.21, 段落【0016】-【0021】, 図1-5 & WO 2004/070313 A1 & US 2006/0192938 A1	1-20
A	JP 2002-368205 A (オリンパス光学工業株式会社) 2002.12.20, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-20
A	JP 2001-268445 A (富士ゼロックス株式会社) 2001.09.28, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-20
A	JP 1-189158 A (富士通株式会社) 1989.07.28, 全文, 全図 (ファミリーなし)	1-20

フロントページの続き

(81)指定国 AP(BW, GH, GM, KE, LS, MW, MZ, NA, SD, SL, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, MD, RU, TJ, TM), EP(AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MT, NL, PL, PT, RO, SE, SI, SK, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IS, JP, KE, KG, KM, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LT, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PG, PH, PL, PT, RO, RS, RU, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, SV, SY, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW

Fターム(参考) 5J084 AA05 AD05 BA34 BA40 CA03 CA19 CA23 CA67 EA04

(注)この公表は、国際事務局(WIPO)により国際公開された公報を基に作成したものである。なおこの公表に係る日本語特許出願(日本語実用新案登録出願)の国際公開の効果は、特許法第184条の10第1項(実用新案法第48条の13第2項)により生ずるものであり、本掲載とは関係ありません。