

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第5956840号
(P5956840)

(45) 発行日 平成28年7月27日 (2016. 7. 27)

(24) 登録日 平成28年6月24日 (2016. 6. 24)

(51) Int. Cl.	F I
HO 1 L 27/146 (2006. 01)	HO 1 L 27/14 A
HO 1 L 31/10 (2006. 01)	HO 1 L 31/10 A
HO 4 N 5/355 (2011. 01)	HO 4 N 5/335 5 5 O
HO 4 N 5/374 (2011. 01)	HO 4 N 5/335 7 4 O

請求項の数 10 (全 11 頁)

(21) 出願番号	特願2012-139162 (P2012-139162)	(73) 特許権者	000001007
(22) 出願日	平成24年6月20日 (2012. 6. 20)		キヤノン株式会社
(65) 公開番号	特開2014-3243 (P2014-3243A)		東京都大田区下丸子3丁目30番2号
(43) 公開日	平成26年1月9日 (2014. 1. 9)	(74) 代理人	100076428
審査請求日	平成27年3月19日 (2015. 3. 19)		弁理士 大塚 康德
		(74) 代理人	100112508
			弁理士 高柳 司郎
		(74) 代理人	100115071
			弁理士 大塚 康弘
		(74) 代理人	100116894
			弁理士 木村 秀二
		(74) 代理人	100130409
			弁理士 下山 治
		(74) 代理人	100134175
			弁理士 永川 行光

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 固体撮像装置及びカメラ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

電荷蓄積領域を有し、入射光に応じて発生した電荷を前記電荷蓄積領域に蓄積する光電変換部と、

前記電荷蓄積領域に蓄積された電荷を前記電荷蓄積領域から転送する転送部とを有する固体撮像装置であって、

前記電荷蓄積領域には複数の段差を有するポテンシャル分布が形成され、

前記光電変換部は、前記電荷蓄積領域の上に前記電荷蓄積領域とは逆の導電型の半導体領域を更に有し、

前記半導体領域の不純物濃度分布は複数の段差を有し、前記不純物濃度分布の複数の段差の大きさが前記転送部から遠くにある段差ほど大きいことによって前記電荷蓄積領域に前記ポテンシャル分布が形成されることを特徴とする固体撮像装置。

【請求項 2】

前記複数の段差によって分割されたポテンシャル分布の複数の部分に対応する前記電荷蓄積領域の複数の部分領域の面積は、前記転送部から遠くにある部分領域ほど大きいことを特徴とする請求項 1 に記載の固体撮像装置。

【請求項 3】

前記転送部は転送電極で覆われたチャネル領域を含み、

前記複数の段差によって分割されたポテンシャル分布の複数の部分に対応する前記電荷蓄積領域の複数の部分領域の少なくとも1つにおいて、チャネル領域の幅方向における当

10

20

該部分領域の幅は、前記転送部から遠ざかるほど狭くなることを特徴とする請求項 1 又は 2 に記載の固体撮像装置。

【請求項 4】

前記ポテンシャル分布の前記複数の段差の大きさは前記転送部から遠くにある段差ほど大きいことを特徴とする請求項 1 乃至 3 の何れか 1 項に記載の固体撮像装置。

【請求項 5】

前記電荷蓄積領域の前記ポテンシャル分布は平坦な部分を含むことを特徴とする請求項 1 乃至 4 の何れか 1 項に記載の固体撮像装置。

【請求項 6】

前記半導体領域のうち前記複数の段差によって分割されたそれぞれの部分が前記電荷蓄積領域と P N 接合を形成することを特徴とする請求項 1 乃至 5 の何れか 1 項に記載の固体撮像装置。

10

【請求項 7】

電荷蓄積領域と、前記電荷蓄積領域の上であり、前記電荷蓄積領域とは逆の導電型の半導体領域とを有し、入射光に応じて発生した電荷を前記電荷蓄積領域に蓄積する光電変換部と、

前記電荷蓄積領域に蓄積された電荷を前記電荷蓄積領域から転送する転送部とを有する固体撮像装置であって、

前記半導体領域は、第 1 部分と、前記第 1 部分よりも前記転送部の近くにあり、前記第 1 部分に隣接する第 2 部分と、前記第 1 部分よりも前記転送部から遠くにある前記第 1 部分に隣接する第 3 部分とを含み、

20

前記第 1 部分の不純物濃度と前記第 3 部分の不純物濃度との差が、前記第 1 部分の不純物濃度と前記第 2 部分の不純物濃度との差よりも大きく、

前記第 1 部分と、前記第 2 部分と、前記第 3 部分とのそれぞれが、前記電荷蓄積領域と P N 接合を形成することを特徴とする固体撮像装置。

【請求項 8】

前記半導体領域は、高濃度の部分ほど基板の深い位置まで広がることを特徴とする請求項 1 乃至 7 の何れか 1 項に記載の固体撮像装置。

【請求項 9】

電荷を電気信号に変換する信号変換部を更に有し、

30

前記転送部は、前記電荷蓄積領域に蓄積された前記電荷を前記信号変換部へ転送することを特徴とする請求項 1 乃至 8 の何れか 1 項に記載の固体撮像装置。

【請求項 10】

請求項 1 乃至 9 の何れか 1 項に記載の固体撮像装置と、

前記固体撮像装置によって得られた信号を処理する信号処理部とを備えることを特徴とするカメラ。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は固体撮像装置及びカメラに関する。

40

【背景技術】

【0002】

固体撮像装置は様々な用途に用いられており、一眼レフカメラや天体望遠鏡では光電変換部の面積が大きな固体撮像装置が用いられる。光電変換部の面積が大きい場合に、光電変換部で発生した信号電荷（電子又はホール）を完全に転送する技術が求められる。このような技術は電荷の読み出しを短時間で完了するためにも有用である。このような要望に対して、特許文献 1 は、光電変換部で発生した電荷を電界ドリフトによって転送電極へ高速且つ完全に転送するように、光電変換部の電荷蓄積領域の各点においてポテンシャル勾配を形成する技術を提案する。

【先行技術文献】

50

【特許文献】

【0003】

【特許文献1】特開2000-236081号公報

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

一般に、固体撮像装置では効率的な電荷転送だけでなく、高感度であり、高飽和電荷量（すなわち高ダイナミックレンジ）であることも求められる。以下に詳細に説明するように、特許文献1の技術は転送効率の向上を実現するものの、感度及び飽和電荷量については十分な性能が得られない。そこで、本発明は、転送効率を維持しつつ、感度及び飽和電荷量を向上するための技術を提供することを目的とする。

10

【課題を解決するための手段】

【0005】

上記課題に鑑みて、本発明の1つの実施形態では、電荷蓄積領域を有し、入射光に応じて発生した電荷を前記電荷蓄積領域に蓄積する光電変換部と、前記電荷蓄積領域に蓄積された電荷を前記電荷蓄積領域から転送する転送部とを有する固体撮像装置であって、前記電荷蓄積領域には複数の段差を有するポテンシャル分布が形成され、前記光電変換部は、前記電荷蓄積領域の上に前記電荷蓄積領域とは逆の導電型の半導体領域を更に有し、前記半導体領域の不純物濃度分布は複数の段差を有し、前記不純物濃度分布の複数の段差の大きさが前記転送部から遠くにある段差ほど大きいことによって前記電荷蓄積領域に前記ポテンシャル分布が形成されることを特徴とする固体撮像装置が提供される。

20

【発明の効果】

【0006】

上記手段により、転送効率を維持しつつ、感度及び飽和電荷量を向上するための技術が提供される。

【図面の簡単な説明】

【0007】

【図1】本発明の実施形態による固体撮像装置の画素の回路構成例を説明する図。

【図2】本発明の実施形態による固体撮像装置の画素の構造例を説明する図。

【図3】本発明の実施形態による固体撮像装置の画素の製造方法例を説明する図。

30

【図4】本発明の実施形態による固体撮像装置の画素の変形例を説明する図。

【発明を実施するための形態】

【0008】

添付の図面を参照しつつ本発明の実施形態について以下に説明する。図面を通じて同様の要素には同一の参照符号を付して重複する説明を省略する。また、各実施形態は適宜変更、組み合わせが可能である。本発明の一部の実施形態は固体撮像装置に係り、特に大面積の画素を有する固体撮像装置に係る。

【0009】

図1は本発明の一部の実施形態に係る固体撮像装置の有する画素10の回路構成例を説明する。画素10を構成する素子は半導体基板に配されうる。例えば、半導体基板に配された画素10の面積は $50 \sim 100000 \mu\text{m}^2$ であってもよく、更に $100 \sim 1000 \mu\text{m}^2$ であってもよい。以下の例において画素10の1辺の長さは約 $20 \mu\text{m}$ である。本明細書において、ある領域の面積は半導体基板を光の入射方向からみた平面での当該領域の面積である。言い換えると、ある領域の面積は、当該領域が半導体基板の主面に平行な平面に正射影された領域の面積である。固体撮像装置は複数の画素10がアレイ上に配置された画素アレイを有しうる。画素10は、フォトダイオードPD及び複数のMOSトランジスタM1～M4を備えうる。フォトダイオードPDは入射光に応じた電荷を発生する光電変換部として機能する。フォトダイオードPDはMOSトランジスタM1を介してフローティングディフュージョンFDに接続される。MOSトランジスタM1は信号PTXによって導通状態又は非導通状態に制御され、導通状態である場合に、フォトダイオード

40

50

P Dで発生した電荷をフローティングディフュージョンF Dへ転送する。すなわち、M O SトランジスタM 1はフォトダイオードP Dから電荷を転送する転送部として機能する。フローティングディフュージョンF Dは転送された電荷を電圧信号に変換する。すなわち、フローティングディフュージョンF Dは電荷を電気信号に変換する信号変換部として機能する。変換された電圧信号はソースフォロアとして動作するM O SトランジスタM 2によって増幅され、信号P S E Lによって導通状態が制御されるM O SトランジスタM O S 4を介して垂直信号線V Lへ読み出される。フローティングディフュージョンF Dの電位は信号P R E Sによって導通状態が制御されるM O SトランジスタM 2によって所定の電位にリセットされる。すなわちM O SトランジスタM 2はフローティングディフュージョンF D及びフォトダイオードP Dをリセットするリセット部として機能する。

10

【0010】

次に、図2のレイアウト図及び断面図を参照しつつ画素10の構成例を説明する。図2(a)は画素10を入射方向からみた平面図であり、図2(b)は図2(a)のA-A'線断面図であり、図2(c)は図2(b)のB-B'線に沿ったポテンシャル分布を示す。このポテンシャル分布はM O SトランジスタM 1を導通状態とし、フローティングディフュージョンF Dをリセット電圧V r e sにリセットした場合に形成される状態を示す。

【0011】

図2に示す例では、フォトダイオードP DはP型の半導体基板20に形成された埋め込みフォトダイオードである。これに代えて、フォトダイオードP DはN型の半導体基板に形成されたP型のウェル領域に形成されてもよい。フォトダイオードP DはN+型の電荷蓄積領域22と、その上に形成されたP+型の表面領域23とを含む。フォトダイオードP Dで発生した電荷は電荷蓄積領域22に蓄積される。図2の例において、フォトダイオードP Dの1辺の長さは約16 μ mである。画素10は素子分離領域24(図2(a)では不図示)によって囲まれており、隣接する他の画素から電氣的に分離される。フォトダイオードP Dの外周は素子分離領域24により規定されうる。また、素子分離領域24の下にはP+型のチャネルストップ領域25(図2(a)では不図示)が形成されうる。フォトダイオードP DとN+型のフローティングディフュージョンF Dとの間の領域はM O SトランジスタM 1のチャネル領域として機能し、M O SトランジスタM 1の転送電極26で覆われる。M O SトランジスタM 1が導通状態にされた場合に、チャネル領域に電荷の転送路であるチャネルが形成される。そのため、転送電極26の電圧を制御することで、電荷蓄積領域22に蓄積された電荷が電荷蓄積領域22からフローティングディフュージョンF Dへ転送される。

20

30

【0012】

表面領域23は互いの異なる不純物濃度を有する3つの半導体領域を含んでおり、転送電極26に近い方から順に表面領域23c、表面領域23b、表面領域23aと表す。この表面領域23の形状に合わせてフォトダイオードP Dも3つの領域21a~21cに分割され、電荷蓄積領域22も3つの部分領域に分割される。表面領域23の不純物濃度の相違によって、各領域21a~21cにおいて電荷蓄積領域22は異なるポテンシャルを有する。電荷蓄積領域22のポテンシャルは転送電極26から遠い位置にあるほど小さな値を有する。そして、ポテンシャル分布は、領域21a~23cの境界に対応する位置において段差を有する。この段差は転送電極26に近い側が大きな値となる勾配を有する。そのため、ポテンシャルが勾配を有する位置にある電子は電界ドリフトによって、転送電極26に近づく方向に移動する。ポテンシャルは正電荷にとつてのポテンシャルである。ある領域のポテンシャルが小さいとは、その領域に配された正電荷のポテンシャルエネルギーが小さいことである。本実施形態では、電気信号に変換するための電荷として、負電荷である電子を扱っている。そのため、図2では、電子にとつてのポテンシャルの大きさを直感的に理解しやすいように、縦軸に沿って上に行くほどポテンシャルが小さくなることを示している。

40

【0013】

本実施形態では、電荷蓄積領域22の各領域はポテンシャルが平坦な部分を含んでおり

50

、この平坦な部分のポテンシャルの値を各領域におけるポテンシャルの値とする。他の実施形態では、フォトダイオードPDの各領域における中央部分のポテンシャルの値や当該領域のポテンシャルの平均値を各領域におけるポテンシャルの値としてもよい。図2(c)に示すように、電荷蓄積領域22のポテンシャルは、領域21aに含まれる部分において V_a であり、領域21bに含まれる部分において V_b であり、領域21cに含まれる部分において V_c である。

【0014】

図2に示す例では、領域21aと領域21bとの境界は台形の上底及び2つの斜辺をなす。この台形の下底(MOSトランジスタM1のチャネル幅に平行な方向の幅)は例えば $14\mu\text{m}$ であり、高さ(MOSトランジスタM1のチャネル幅に直交する方向の幅)は例えば $12\mu\text{m}$ である。同様に、領域21bと領域21cとの境界は台形の上底及び2つの斜辺をなす。この台形の下底(MOSトランジスタM1のチャネル幅に平行な方向の幅)は例えば $6\mu\text{m}$ であり、高さ(MOSトランジスタM1のチャネル幅に直交する方向の幅)は例えば $4\mu\text{m}$ である。

【0015】

ポテンシャル分布の段差は、ポテンシャル分布が平坦な2つの部分のポテンシャル値の差である。領域21aと領域21bとの間に形成されるポテンシャル分布の段差の大きさを V_{ab} とすると、 $V_{ab} = V_b - V_a$ となる。領域21bと領域21cとの間に形成されるポテンシャル分布の段差の大きさを V_{bc} とすると、 $V_{bc} = V_c - V_b$ となる。本実施形態の固体撮像装置では、 $V_{ab} > V_{bc}$ を満たすポテンシャル分布が形成されるように、フォトダイオードPDが形成される。例えば、リセット電圧 V_{res} が約5Vである場合に、 V_{ab} が $1.0 \sim 3.0\text{V}$ となり、 V_{bc} が $0.05 \sim 1.0\text{V}$ となるようなポテンシャル分布が形成される。また、転送電極26から最も遠い位置にある領域21aにおける電荷蓄積領域22のポテンシャル V_a は、約0Vとしてもよく、更には $-0.1 \sim -0.3\text{V}$ としてもよい。 V_a の値を小さくすることにより、この領域21aにおける感度を維持するとともに、 V_{ab} を大きくできる。本実施形態に係る固体撮像装置では、 $V_{ab} > V_{bc}$ を満たすことによって、後述するように飽和電荷量及び感度を向上しつつ、転送効率を向上することが可能になる。

【0016】

続いて、図3を用いて、画素10を有する固体撮像装置の製造方法例を説明する。まず、図3(a)に示すように、フローティングディフュージョンFD、素子分離領域24、チャネルストップ領域25及び転送電極26が形成された半導体基板20を準備する。この工程は既存の手法を用いて実現できるので、その説明を省略する。

【0017】

次に、図3(b)に示すように、フォトダイオードPDが形成される領域と転送電極26の一部とを露出し、他の部分を覆うレジストパターン31を形成する。そして、このレジストパターン31の開口を通じて半導体基板20にヒ素イオンを注入して、不純物濃度が $1 \times 10^{17} [\text{cm}^{-3}]$ であるN+型の半導体領域32を形成する。

【0018】

次に、図3(c)に示すように、レジストパターン31を除去した後に、フォトダイオードPDが形成される領域と転送電極26の一部とを露出し、他の部分を覆うレジストパターン33を形成する。そして、このレジストパターン33の開口を通じて半導体基板20にボロンイオンを加速エネルギー 15keV 、注入角度 25° で注入して、不純物濃度が $3 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ であるP+型の半導体領域34を形成する。注入角度は半導体基板20に注入されたボロンイオンが転送電極26から離れる方向に進む向きに設定される。これにより、MOSトランジスタM1のチャネルと半導体領域34との間にオフセットが設けられ、電荷の転送経路にポテンシャルポケットが形成されることを防ぐことができる。

【0019】

次に、図3(d)に示すように、レジストパターン33を除去した後に、フォトダイオードPDの領域21a、21bが形成される領域を露出し、フォトダイオードPDの領域

10

20

30

40

50

21cが形成される領域を含む他の部分を覆うレジストパターン35を形成する。そして、このレジストパターン35の開口を通じて半導体基板20にボロニオンを加速エネルギー15keV、注入角度0°で注入して、不純物濃度が $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ であるP+型の半導体領域36を形成する。このとき、半導体領域34のうち、ボロニオンが注入されなかった部分がフォトダイオードPDの表面領域23cとなる。

【0020】

最後に、図3(e)に示すように、レジストパターン35を除去した後に、フォトダイオードPDの領域21aが形成される領域を露出し、フォトダイオードPDの領域21b、21cが形成される領域を含む他の部分を覆うレジストパターン37を形成する。そして、このレジストパターン37の開口を通じて半導体基板20にボロニオンを加速エネルギー25keV、注入角度0°で注入して、不純物濃度が $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ であるP+型の表面領域23aを形成する。このとき、半導体領域36のうち、イオンが注入されなかった部分がフォトダイオードPDの表面領域23bとなる。また、半導体領域32のうち、表面領域23a~23c以外の領域が電荷蓄積領域22となる。これにより、表面領域23aと表面領域23bとの不純物濃度の差が、表面領域23bと表面領域23cとの不純物濃度の差よりも大きくなるので、 $V_{ab} > V_{bc}$ を満たすポテンシャル分布が形成される。

【0021】

表面領域23a、23bは注入角度0°、すなわち半導体基板20の表面に対して直角にイオンが注入されるので、半導体領域32の深い位置までP+型の半導体領域を形成できる。また、半導体領域32及び半導体領域34は転送電極26をマスクの一部として用いて形成されるので、転送電極26と電荷蓄積領域22との位置合わせ及び転送電極26と表面領域23cとの位置合わせの精度が向上する。また、表面領域23cを形成するためのボロニオンを表面領域23bが形成される領域にも注入しているので、表面領域23bと表面領域23cとを途切れることなく形成できる。表面領域23aと表面領域23bとについても同様である。以上のように製造した結果として、画素間での転送特性のばらつきが低減される。

【0022】

上述のように注入時の加速エネルギーや角度を調整することで、 $V_{ab} > V_{bc}$ を満たすポテンシャル分布が形成されるようにフォトダイオードPDを形成できる。以下に、このようにフォトダイオードPDを形成することによる効果を説明する。

【0023】

固体撮像装置では、蓄積動作を始める前に、リセット動作を行ってフォトダイオードPDの電荷蓄積領域22を完全空乏化する。フォトダイオードPDで発生した電荷をフローティングディフュージョンFDに転送するためには、以下に定義されるVが正の値となる必要がある。

$$V = (V_{res} - Q_{sat} / C_{fd}) - V_{dep}$$

ここで、 V_{res} はリセット電圧であり、 Q_{sat} はフォトダイオードPDの飽和電荷量であり、 C_{fd} はフローティングディフュージョンFDの容量であり、 V_{dep} は電荷蓄積領域22の空乏化電圧である。また、電荷がポテンシャルポケットに捕獲されず、高速且つ完全に転送されるためには、Vの値をできるだけ大きくして電荷の転送効率を上げる必要がある。

【0024】

上述の式において、リセット電圧 V_{res} 及び容量 C_{fd} は製品の仕様によって決まる場合が多い。そのため、Vを大きくするためには、空乏化電圧 V_{dep} を小さくするか、飽和電荷量 Q_{sat} を小さくすることになる。空乏化電圧 V_{dep} は、電荷蓄積領域22内の不純物濃度と空乏層の幅とによって決まる。電荷蓄積領域22の不純物濃度が低いと、空乏層が広がりやすいため、結果として空乏化電圧 V_{dep} は小さくなる。また、所定のバイアス条件における、電荷蓄積領域22内の空乏層の幅は、電荷蓄積領域22とPN接合を形成する逆の導電型の半導体領域の不純物濃度によって決まる。逆の導電型の半

10

20

30

40

50

導体領域の不純物濃度が高いほど、電荷蓄積領域 22 内の空乏層の幅は広がる。一方で、飽和電荷量 Q_{sat} は空乏層内の不純物濃度によって決まる。空乏層内の不純物濃度が高いほど飽和電荷量 Q_{sat} は大きくなる。そのため、電荷蓄積領域 22 の不純物濃度を低くすれば空乏化電圧 V_{dep} は小さくなるが、飽和電荷量 Q_{sat} も小さくなる。または、飽和電荷量 Q_{sat} を大きくするために電荷蓄積領域 22 の不純物濃度を高くし、それに伴って、電荷蓄積領域 22 内の空乏層が広がりにくくなることを補うように、電荷蓄積領域 22 と P N 接合を形成する逆の導電型の半導体領域の不純物濃度を高くする。これにより、大きな飽和電荷量 Q_{sat} と小さな空乏化電圧 V_{dep} を両立できる。例えば、電荷蓄積領域 22 の導電型とは逆の導電型のイオンを電荷蓄積領域 22 の下部に注入することで、空乏層の幅の広がりを抑えつつ、電荷蓄積領域 22 の導電型の不純物濃度を増加できる。しかし、このように注入されたイオンは深い位置における電荷収集の障壁を引き起こし、感度が低下する。また、電荷蓄積領域 22 の導電型とは逆の導電型のイオンを注入すると、飽和電荷量は減少する。このように、電荷の転送効率の向上と飽和電荷量の向上とはトレードオフの関係にある。

【0025】

フォトダイオード P D のうち、転送電極 26 の近くにある領域で発生した電荷は、電荷転送時にフローティングディフュージョン F D の高いリセット電圧 V_{res} による高電界の影響を受けて転送されやすい。従って、この領域のポテンシャルが大きくても転送効率への影響は少ない。フォトダイオード P D のうち、転送電極 26 から遠くにある領域で発生した電荷は、電荷転送時にフローティングディフュージョン F D の高いリセット電圧 V_{res} による高電界の影響を受けにくい。一般に、転送特性は転送電極 26 からの距離に対して指数関数的に悪化する。そのため、この領域で発生した電荷を転送電極 26 へ向けて効率的に移動するためには、飽和電荷量を犠牲にしてもポテンシャルを小さくする。

【0026】

発明者らは、電荷蓄積領域 22 のポテンシャルの段差の大きさが $V_{ab} > V_{bc}$ を満たすようにフォトダイオード P D を形成することによって、フォトダイオード P D の飽和電荷量の向上と転送効率の向上とのバランスが良好になることを見出した。具体的には、転送電極 26 に近い領域 21 b、21 c ではポテンシャルを大きくして飽和電荷量を向上させるとともに、転送電極 26 から遠い領域 21 a ではポテンシャルを小さくして転送効率を向上させ、感度を向上させる。

【0027】

上述の実施形態の構成とは異なり、特許文献 1 の構成では、表面領域の不純物濃度が異なる領域間のポテンシャルの段差の大きさは一定である。すなわち、図 2 の例では、 $V_{ab} = V_{bc}$ となるようにポテンシャル分布が形成される。そのため、転送電極に近い領域において、十分に飽和電荷量を向上できないので、固体撮像装置全体の飽和電荷量も本発明の実施形態に比べて劣る。図 2 の構成において、領域 21 b における電荷蓄積領域 22 のポテンシャルを $(V_a + V_c) / 2$ とした場合を比較例として、本願発明の上述の実施形態との性能を比較した実験結果を以下に示す。

	本実施形態	比較例
飽和電子数	35万個	15万個
転送効率	100%	100%
感度	53万電子/lx・sec	30万電子/lx・sec

この表から読み取れるように、どちらの構成も転送効率は 100% であるが、本実施形態の方が比較例よりも飽和電子量及び感度の両面で優れている。

【0028】

また、特許文献 1 の構成では、電荷蓄積領域のすべての点においてポテンシャルが勾配

を有するようにフォトダイオードが形成される。そのため、表面領域の不純物濃度が異なる領域の面積を大きくできない。面積を大きくした場合には、ポテンシャルが平坦な部分が生じてしまう。しかしながら、本実施形態の構成によれば、電荷蓄積領域 22 にポテンシャルが平坦な部分が生じたとしても、十分な効率で電荷を転送できる。

【0029】

上述のように、転送電極 26 の近くにある領域 21b、21c において発生した電荷は、リセット電圧 V_{res} による高電界の影響を受けて転送されやすいので、電荷蓄積領域 22 のポテンシャルが平坦であっても十分な効率で電荷を転送できる。また、転送電極 26 から遠くにある領域 21a において発生した電荷は、ポテンシャルが平坦な部分において主に拡散によって移動し、領域 21a と領域 21b との境界において主に電位差 V_{ab} による電界ドリフトによって移動する。そのため、領域 21a で発生した電荷が領域 21b まで移動するまでにかかる時間 T_m は以下の式で表される。

【0030】

$$T_m = (X_1^2 / \mu_e) \times q / kT + X_2^2 / (\mu_e \times V_{ab})$$

ここで、図 2(c) に示すように、 X_1 は電荷が発生した場所から平坦なポテンシャルが傾斜し始める部分までの距離であり、 X_2 は領域 21a と領域 21b との境界のポテンシャルが傾斜した部分の幅である。 μ_e は電子の移動度である。この式に従う電荷の移動は、電荷の MOS トランジスタ M1 が非導通状態にある蓄積期間においても発生する。そのため、 V_{ab} の値を十分に大きくすれば、領域 21a で発生した電荷を、蓄積期間の後の読出し期間の開始前に、領域 21b まで移動することができ、電荷の転送効率を向上でき、読出し期間における電荷の完全転送を実現できる。

【0031】

続いて、図 4 を用いてフォトダイオード PD の領域 21a、21b、21c の形状の変形例を説明する。図 4(a) ~ 図 4(c) に示すように、領域 21a、21b、21c の境界の形状は三角形であってもよいし、四角形であってもよいし、それ以上の多角形であってもよい。また、図 4(d) に示すように、各領域の境界が曲線であってもよいし、図 4(e) に示すように、領域 21a と領域 21b との境界と、領域 21b と領域 21c との境界とが異なる形状であってもよい。特に、図 4(a)、(c)、(d)、(e) に示すように、フォトダイオード PD の何れかの領域において、チャネル領域の幅方向における領域の幅が、転送電極 26 から遠ざかるほど狭くなるような形状とすることで、電荷の転送効率を一層向上できる。例えば、図 4(a) において、ある位置における領域 21b のチャネル幅方向 41 に平行な幅 42 は、転送電極 26 から遠ざかるほど狭くなる。

【0032】

上述の例ではフォトダイオード PD が 3 つの領域に分かれていたが、図 4(f) に示すように、フォトダイオード PD は 4 つの領域 21a ~ 21d に分かれていてもよいし、それより多く分かれていてもよい。図 4(f) において、領域 21c における電荷蓄積領域 22 のポテンシャルと領域 21d における電荷蓄積領域 22 のポテンシャルとの差を V_{cd} とおくと、 $V_{cd} < V_{bc} < V_{ab}$ が成り立つ。

【0033】

フォトダイオード PD の領域 21a ~ 21c の面積を、転送電極 26 から遠くにあるほど大きくなるように構成してもよい。すなわち、(領域 21a の面積) > (領域 21b の面積) > (領域 21c の面積) となるようにフォトダイオード PD を形成してもよい。本実施形態では転送電極 26 から遠くにあるほど電荷蓄積領域 22 のポテンシャルの段差が大きくなるので、転送電極 26 から遠くにある領域ほど面積を大きくすることによって、この領域における電荷の転送効率が向上する。

【0034】

上述の例では、ドーズ量を調整することによって、フォトダイオード PD の各領域 21a ~ 21c における表面領域 23 の不純物濃度を設定したが、イオン注入の加速電圧やイオン注入回数を調整することで不純物濃度を異ならせてもよい。また、表面領域 23 の不純物濃度を調整する代わりに、電荷蓄積領域 22 の不純物濃度分布を調整して、図 2(c)

10

20

30

40

50

）に示すポテンシャル分布を実現してもよい。この場合には、領域 21a と領域 21b との電荷蓄積領域 22 の不純物濃度の差が、領域 21b と領域 21c との電荷蓄積領域 22 の不純物濃度の差よりも大きくなるように設定する。さらに、チャネルストップ領域 25 をフォトダイオード PD へ部分的に延在させることによって、図 2 (c) に示すポテンシャル分布を実現してもよい。また、転送電極 26 の直近で飽和電荷を確保するために、表面領域 23b、23c で飽和を確保すべく、表面領域 23b、23c をシリコン表面深くに形成し、表面領域 23a を浅くに形成してもよい。上記の実施形態ではフォトダイオード PD として埋め込みフォトダイオードを用いたが、光電変換部として機能する他のフォトダイオードやフォトトランジスタを用いてもよい。また、半導体領域の導電型を入れ替えても本発明を同様に実施できる。上述の実施形態では領域 21a、21b、21c の何れの領域においてもポテンシャル分布に平坦な部分を有するが、これらの領域の一部又は全部において、平坦な部分を含まなくてもよい。また、電荷蓄積領域の電荷が転送される先は、信号変換部に限られず、電荷排出部や電荷保持部などであってもよい。

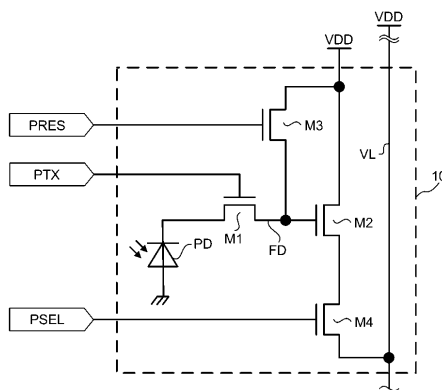
10

【0035】

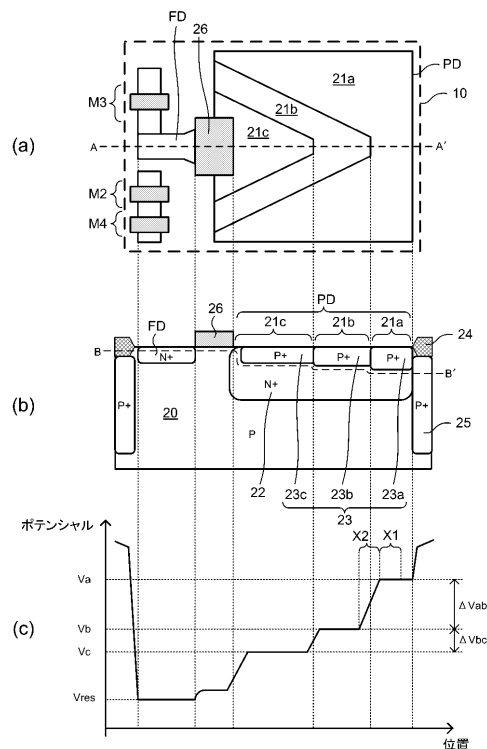
以下、上記の各実施形態に係る固体撮像装置の応用例として、この固体撮像装置が組み込まれたカメラについて例示的に説明する。カメラの概念には、撮影を主目的とする装置のみならず、撮影機能を補助的に備える装置（例えば、パーソナルコンピュータ、携帯端末等）も含まれる。カメラは、上記の実施形態として例示された本発明に係る固体撮像装置と、この固体撮像装置から出力される信号を処理する信号処理部とを含む。この信号処理部は、例えば、A/D変換器と、このA/D変換器から出力されるデジタルデータを処理するプロセッサとを含みうる。

20

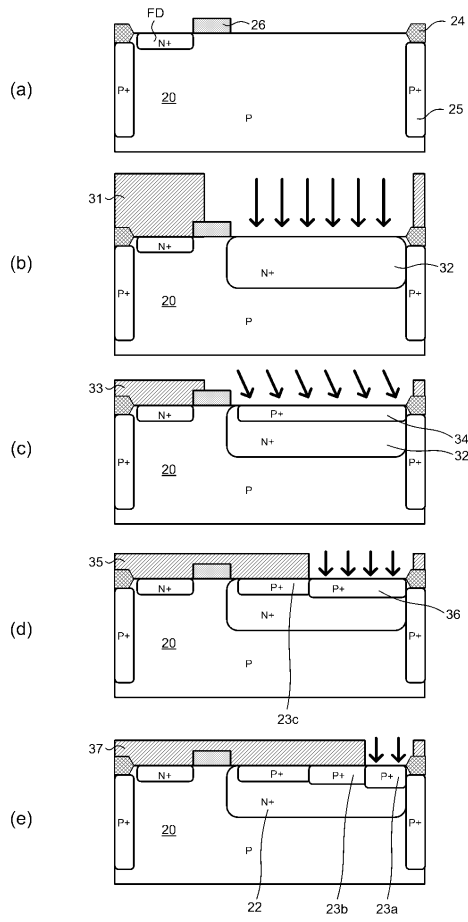
【図 1】



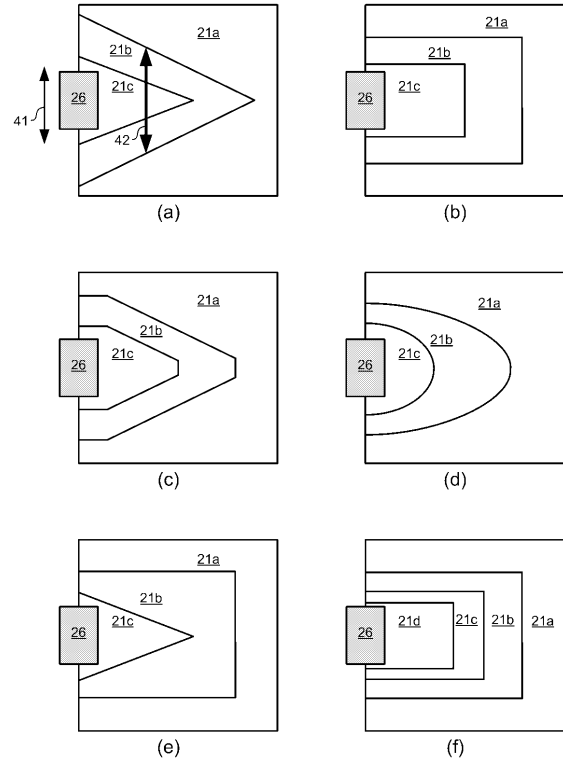
【図 2】



【図 3】



【図 4】



フロントページの続き

- (72)発明者 飯田 聡子
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
- (72)発明者 豊口 銀二郎
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
- (72)発明者 菊池 伸
東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤノン株式会社内

審査官 西出 隆二

- (56)参考文献 特開2011-035382(JP,A)
特開2002-231926(JP,A)
特開2011-146516(JP,A)
特開2007-258423(JP,A)
特開平09-051090(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

H01L 27/146
H01L 31/10
H04N 5/355
H04N 5/374