

(19)日本国特許庁(JP)

**(12)特許公報(B2)**

(11)特許番号  
**特許第7558232号**  
**(P7558232)**

(45)発行日 令和6年9月30日(2024.9.30)

(24)登録日 令和6年9月19日(2024.9.19)

(51)国際特許分類	F I
H 01 L 27/146 (2006.01)	H 01 L 27/146
H 04 N 25/70 (2023.01)	H 04 N 25/70
H 04 N 25/705 (2023.01)	H 04 N 25/705
G 01 S 7/4863(2020.01)	G 01 S 7/4863
G 01 S 17/894 (2020.01)	G 01 S 17/894

請求項の数 3 (全61頁)

(21)出願番号	特願2022-157402(P2022-157402)	(73)特許権者	000153878
(22)出願日	令和4年9月30日(2022.9.30)		株式会社半導体エネルギー研究所
(62)分割の表示	特願2021-64018(P2021-64018)の分割		神奈川県厚木市長谷398番地
原出願日	平成25年3月19日(2013.3.19)	(72)発明者	黒川 義元
(65)公開番号	特開2022-186736(P2022-186736 A)		神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社半導体エネルギー研究所内
(43)公開日	令和4年12月15日(2022.12.15)	審査官	小山 満
審査請求日	令和4年10月7日(2022.10.7)		
(31)優先権主張番号	特願2012-63338(P2012-63338)		
(32)優先日	平成24年3月21日(2012.3.21)		
(33)優先権主張国・地域又は機関	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54)【発明の名称】 装置

**(57)【特許請求の範囲】****【請求項1】**

同一列に、第1のフォトダイオードと、第2のフォトダイオードと、第1乃至第7のトランジスタと、第1の配線と、第1の出力線と、第2の出力線と、を有する装置であって、前記第1のフォトダイオードのアノードは、第1の導電層を介して前記第1の配線と電気的に接続され、

前記第1のフォトダイオードのカソードは、前記第1のトランジスタのソースまたはドレインの一方と電気的に接続され、

前記第1のトランジスタのゲートは、第2の導電層を介して第1の信号線と電気的に接続され、

前記第1のトランジスタのソースまたはドレインの他方は、第3の導電層を介して前記第2のトランジスタのゲートと電気的に接続され、

前記第2のトランジスタのソースまたはドレインの一方は、前記第3のトランジスタのソースまたはドレインの一方と電気的に接続され、

前記第2のトランジスタのソースまたはドレインの他方は、第1の電源供給配線と電気的に接続され、

前記第3のトランジスタのゲートは、第4の導電層を介して第1の選択線と電気的に接続され、

前記第3のトランジスタのソースまたはドレインの他方は、前記第1の出力線と電気的に接続され、

10

20

前記第2のフォトダイオードのカソードは、前記第4のトランジスタのソースまたはドレインの一方と電気的に接続され、

前記第4のトランジスタのゲートは、第5の導電層を介して第2の信号線と電気的に接続され、

前記第4のトランジスタのソースまたはドレインの他方は、第6の導電層を介して前記第5のトランジスタのゲートと電気的に接続され、且つ前記第6の導電層を介して前記第7のトランジスタのゲートと電気的に接続され、

前記第5のトランジスタのソースまたはドレインの一方は、前記第6のトランジスタのソースまたはドレインの一方と電気的に接続され、

前記第5のトランジスタのソースまたはドレインの他方は、前記第1の電源供給配線と電気的に接続され、

前記第6のトランジスタのゲートは、第7の導電層を介して第2の選択線と電気的に接続され、

前記第6のトランジスタのソースまたはドレインの他方は、前記第2の出力線と電気的に接続され、

前記第7のトランジスタのソースまたはドレインの一方は、前記第4のトランジスタのソースまたはドレインの一方と電気的に接続され、

前記第7のトランジスタのソースまたはドレインの他方は、第2の電源供給配線と電気的に接続され、

前記第7のトランジスタのゲートと前記第7のトランジスタのソースまたはドレインとの電位差は、前記第7のトランジスタの閾値電圧よりも小さい値に保たれ、

前記第1の出力線と前記第2の出力線と前記第1の配線は、同層に設けられ、平面視において列の方向に延伸され、

前記第1の信号線、前記第2の信号線、前記第1の電源供給配線、前記第2の電源供給配線、前記第1の選択線および前記第2の選択線は、同層に設けられ、平面視において行の方向に延伸され、

平面視において、前記第1の信号線、前記第2の信号線、前記第1の電源供給配線、前記第2の電源供給配線、前記第1の選択線および前記第2の選択線は、前記第1の配線、前記第1の出力線および前記第2の出力線と交差するように配置され、

前記第1の信号線、前記第2の信号線、前記第1の電源供給配線、前記第2の電源供給配線、前記第1の選択線および前記第2の選択線は、第1の絶縁層に接し、かつ前記第1の絶縁層よりも受光面側に配置され、

前記第1の導電層、前記第2の導電層、前記第3の導電層、前記第4の導電層、前記第5の導電層、前記第6の導電層および前記第7の導電層は、第2の絶縁層に接し、かつ前記第2の絶縁層よりも受光面側に配置され、

前記第2の絶縁層は前記第1の絶縁層よりも受光面側に配置され、

前記第1のフォトダイオードの側面は第3の絶縁層と接する領域を有する、装置。

## 【請求項2】

請求項1において、

前記第1の出力線、前記第2の出力線、前記第1の配線、前記第1の導電層、前記第2の導電層、前記第3の導電層、前記第4の導電層、前記第5の導電層、前記第6の導電層、前記第7の導電層、前記第1の信号線、前記第2の信号線、前記第1の電源供給配線、前記第2の電源供給配線、前記第1の選択線および前記第2の選択線は、銅を有する、装置。

## 【請求項3】

請求項1又は請求項2において、

前記第2のトランジスタのゲートは、第1の保持容量と電気的に接続され、

前記第5のトランジスタのゲートは、第2の保持容量と電気的に接続されている、装置。

## 【発明の詳細な説明】

### 【技術分野】

10

20

30

40

50

**【0001】**

フォトセンサを有する距離測定装置、距離測定システムに関する。特に、Time - Of - Flight (TOF) 方式を適用した距離測定装置、距離測定システムに関する。

**【背景技術】****【0002】**

光飛行時間の遅延に依存した検出信号により、光源から被検出物までの距離を把握できる3次元距離測定システムが注目されている。3次元距離測定システムは、バーチャルキーボード、ジェスチャ認識等の機能を有する情報入力デバイス、各種ロボットの視覚センサ、セキュリティシステム、スマートエアバッグ用センサ、車載用センサ等、広範囲な用途への応用が期待されている。

10

**【0003】**

距離を測定する方法の一つとして、TOF方式が知られている。TOF方式を用いた距離測定システムは、光源から被検出物に対して光を照射し、被検出物で反射された光がセンサに届く際、照射光と反射光との間に生じる光飛行時間の遅延を検出して、光源（距離測定システム）と被検出物との間の距離を計算によって取得することができる。具体的には、光源から被検出物までの距離  $x$  を、光速  $c$  及び遅延時間  $t$  を用いた以下の式で表すことができる。

**【0004】****【数1】**

$$x = \frac{c \times \Delta t}{2}$$

20

**【0005】**

非特許文献1には、3次元空間での距離測定を行うために、反射赤外光の検出期間を2回に分けて異なる検出信号を取得し、TOF方式を用いて3次元撮像を行う3次元イメージセンサが開示されている。

**【0006】**

また、非特許文献2では、非特許文献1におけるセンサの構成を応用して、2次元撮像と、3次元撮像とを、フレーム期間毎に交互に行っている。

30

**【先行技術文献】****【非特許文献】****【0007】**

**【文献】**S. J. Kim et al., "A Three-Dimensional Time-of-Flight CMOS Image Sensor With Pinned-Photodiode Pixel Structure", IEEE Electron Device Letters, Nov. 2010, Vol. 31, No. 11, pp. 1272 - 1274

**【文献】**S. J. Kim et al., "A  $640 \times 480$  Image Sensor with Unified Pixel Architecture for 2D / 3D Imaging in 0.11um CMOS", 2011 Symposium on VLSI Circuits Digest of Technical Papers, pp. 92 - 93

40

**【発明の概要】****【発明が解決しようとする課題】****【0008】**

本発明の一態様は、検出精度が高い距離測定装置を提供することを課題の一とする。本発明の一態様は、検出精度が高い距離測定システムを提供することを課題の一とする。

**【課題を解決するための手段】****【0009】**

50

本発明の一態様の距離測定装置は、フォトセンサを有し、該フォトセンサは、光源により被検出物に対する複数回の光照射が行われる期間、又は該光照射終了後の期間における反射光（具体的には、該光源から照射された光が該被検出物で反射されることで生じる光）の検出を、複数回行う。該期間の反射光の検出を複数回行うことで、検出精度が高い距離測定を行うことができる。

#### 【0010】

本発明の一態様の距離測定装置が備えるフォトセンサは、受光素子において反射光を検出する。受光素子には、該光照射が行われる期間及び該光照射終了後の期間の双方において、該反射光が照射される。検出を行わない期間に照射された反射光によって受光素子の電極の電位に変化が生じると、反射光の検出精度が低下する場合がある。そこで、本発明の一態様では、反射光の検出を行わない期間における受光素子の電極の電位変化を抑制するトランジスタを、フォトセンサが備える。これにより、距離測定装置や、該距離測定装置を用いた距離測定システムにおける、光の検出精度の低下を抑制することができる。

10

#### 【0011】

本発明の一態様は、受光素子、第1のトランジスタ、及び第2のトランジスタを有するフォトセンサと、配線と、信号線と、電源線とを備え、配線は、受光素子の一方の電極と電気的に接続し、信号線は、第1のトランジスタのゲート電極と電気的に接続し、電源線は、第2のトランジスタのソース電極又はドレイン電極の一方と電気的に接続し、第1のトランジスタでは、ソース電極又はドレイン電極の一方が第2のトランジスタのゲート電極と電気的に接続し、ソース電極又はドレイン電極の他方が受光素子の他方の電極、及び第2のトランジスタのソース電極又はドレイン電極の他方と電気的に接続する距離測定装置である。

20

#### 【0012】

また、本発明の一態様は、受光素子、第1のトランジスタ、及び第2のトランジスタを有するフォトセンサと、配線と、信号線と、電源線と、光源とを備え、配線は、受光素子の一方の電極と電気的に接続し、信号線は、第1のトランジスタのゲート電極と電気的に接続し、電源線は、第2のトランジスタのソース電極又はドレイン電極の一方と電気的に接続し、第1のトランジスタでは、ソース電極又はドレイン電極の一方が第2のトランジスタのゲート電極と電気的に接続し、ソース電極又はドレイン電極の他方が受光素子の他方の電極、及び第2のトランジスタのソース電極又はドレイン電極の他方と電気的に接続し、光源は、被検出物に対して一定時間Tの光照射をn回（本明細書中において、n回と記載した場合、nは2以上の自然数とする）行い、受光素子は、光源から照射された光が被検出物で反射されることで生じる反射光を検出し、第1のトランジスタは、光照射1回につき、一定時間T以上、導通状態となり、かつ、光照射の終了と同時に導通状態が終了し、フォトセンサが、光源と被検出物との間の距離xに応じた信号を出力する距離測定装置である。

30

#### 【0013】

また、該距離測定装置と、該距離xを、数式(1)を用いて算出する処理部と、を有する距離測定システムも本発明の一態様である。

#### 【0014】

40

#### 【数2】

$$x = \frac{c}{2} \times \left( T - \frac{S1}{n \times k} \right) \cdots (1)$$

#### 【0015】

ただし、数式(1)において、S1は、一定時間Tの光照射がn回行われた後の第1のトランジスタのソース電極又はドレイン電極の一方の電位の変化量に応じた検出信号の電圧を表し、nは、2以上の自然数を表し、cは、光速を表し、kは、定数を表す。

#### 【0016】

50

また、本発明の一態様は、受光素子、第1のトランジスタ、及び第2のトランジスタを有するフォトセンサと、配線と、信号線と、電源線と、光源とを備え、配線は、受光素子の一方の電極と電気的に接続し、信号線は、第1のトランジスタのゲート電極と電気的に接続し、電源線は、第2のトランジスタのソース電極又はドレイン電極の一方と電気的に接続し、第1のトランジスタでは、ソース電極又はドレイン電極の一方が第2のトランジスタのゲート電極と電気的に接続し、ソース電極又はドレイン電極の他方が受光素子の他方の電極、及び第2のトランジスタのソース電極又はドレイン電極の他方と電気的に接続し、光源は、被検出物に対して一定時間の光照射をn回行い、受光素子は、光源から照射された光が被検出物で反射されることで生じる反射光を検出し、第1のトランジスタは、光照射1回につき1回、導通状態となり、導通状態は、光照射の終了と同時に開始し、受光素子における反射光の検出の終了より後に終了し、フォトセンサが、光源と被検出物との間の距離xに応じた信号を出力する距離測定装置である。

#### 【0017】

また、該距離測定装置と、該距離xを、数式(2)を用いて算出する処理部と、を有する距離測定システムも本発明の一態様である。

#### 【0018】

#### 【数3】

$$x = \frac{c \times S_2}{2 \times n \times k} \dots (2)$$

10

20

#### 【0019】

ただし、数式(2)において、S2は、一定時間の光照射がn回行われた後の第1のトランジスタのソース電極又はドレイン電極の一方の電位の変化量に応じた検出信号の電圧を表し、nは、2以上の自然数を表し、cは、光速を表し、kは、定数を表す。

#### 【0020】

また、本発明の一態様は、第1の受光素子、第1のトランジスタ、及び第2のトランジスタを有する第1のフォトセンサと、配線と、信号線と、電源線と、光源とを備え、配線は、第1の受光素子の一方の電極と電気的に接続し、信号線は、第1のトランジスタのゲート電極と電気的に接続し、電源線は、第2のトランジスタのソース電極又はドレイン電極の一方と電気的に接続し、第1のトランジスタでは、ソース電極又はドレイン電極の一方が第2のトランジスタのゲート電極と電気的に接続し、ソース電極又はドレイン電極の他方が第1の受光素子の他方の電極、及び第2のトランジスタのソース電極又はドレイン電極の他方と電気的に接続し、光源は、被検出物に対して一定時間Tの第1の光照射を連続してn回行い、かつ、一定時間Tの第2の光照射を連続してn回行い、第1の受光素子は、光源から照射された光が被検出物で反射されることで生じる反射光を検出し、第1のトランジスタは、第1の光照射1回につき、一定時間T以上、第1の導通状態となり、かつ、第1の光照射の終了と同時に第1の導通状態が終了し、第2の光照射1回につき1回、第2の導通状態となり、第2の導通状態は、第2の光照射の終了と同時に開始し、第1の受光素子における反射光の検出の終了より後に終了し、フォトセンサが、光源と被検出物との間の距離xに応じた信号を出力する距離測定装置である。

30

40

#### 【0021】

また、該距離測定装置と、該距離xを、数式(3)を用いて算出する処理部と、を有する距離測定システムも本発明の一態様である。

#### 【0022】

#### 【数4】

$$x = \frac{c \times T \times S_2}{2 \times (S_1 + S_2)} \dots (3)$$

50

**【 0 0 2 3 】**

ただし、数式(3)において、S1は、一定時間Tの第1の光照射がn回行われた後の、第1のトランジスタのソース電極又はドレイン電極の一方の電位の変化量に応じた検出信号の電圧を表し、S2は、一定時間Tの第2の光照射がn回行われた後の、第1のトランジスタのソース電極又はドレイン電極の一方の電位の変化量に応じた検出信号の電圧を表し、nは、2以上の自然数を表し、cは光速を表す。

**【 0 0 2 4 】**

また、数式(3)を用いて光源と被検出物との間の距離を算出する上記の距離測定装置(又は距離測定システム)において、第2の受光素子を有する第2のフォトセンサを、第1のフォトセンサと重畳して備えることが好ましい。複数のフォトセンサを重畳して備えることで、フォトセンサが占める面積の縮小を図ることができる。10

**【 0 0 2 5 】**

特に、第1の受光素子と第2の受光素子とが重畳し、第1の受光素子が、第1の波長域の光を吸収し、第2の受光素子が、第2の波長域の光を吸収し、第1の受光素子及び第2の受光素子のうち被検出物からの距離が短い一方は、他方が吸収する波長域の光の少なくとも一部を透過することが好ましい。

**【 0 0 2 6 】**

例えば、第1の受光素子より第2の受光素子が被検出物に近く、第1の受光素子が、反射光に含まれる赤外光を検出(吸収)し、第2の受光素子が、該反射光に含まれる可視光を検出(吸収)し、赤外光を透過する様が挙げられる。この様では、例えば、第1のフォトセンサで距離測定を行うと同時に、第2のフォトセンサが2次元情報の取得を行うことができる。また、第2の受光素子が可視光を吸収することで、第1の受光素子に照射される赤外光以外の光(ノイズとなる光)が低減するため、第1のフォトセンサの検出精度を高めることができる。20

**【 0 0 2 7 】**

上記に挙げた距離測定装置(又は距離測定システム)において、該配線が、リセット信号線であることが好ましい。

**【 0 0 2 8 】**

または、上記に挙げた距離測定装置(もしくは距離測定システム)において、ゲート電極が、リセット信号線と電気的に接続し、ソース電極又はドレイン電極の一方が、第1のトランジスタのソース電極又はドレイン電極の一方、及び第2のトランジスタのゲート電極と電気的に接続し、ソース電極又はドレイン電極の他方が、リセット電源線と電気的に接続する第3のトランジスタを有し、かつ、配線が固定電源線であることが好ましい。30

**【 0 0 2 9 】**

上記に挙げた距離測定装置(又は距離測定システム)において、第1のトランジスタの半導体層は、酸化物半導体を含むことが好ましい。また、第2のトランジスタの半導体層は、酸化物半導体を含むことが好ましい。また、第3のトランジスタの半導体層は、酸化物半導体を含むことが好ましい。

**【 0 0 3 0 】**

また、本発明の一態様は、第1の受光素子、第1のトランジスタ、及び第2のトランジスタを有する第1のフォトセンサと、第2の受光素子、第3のトランジスタ、及び第4のトランジスタを有し、第1のフォトセンサと隣接する第2のフォトセンサと、第1の配線及び第2の配線と、第1の信号線及び第2の信号線と、第1の電源線及び第2の電源線と、光源とを備え、第1の配線は、第1の受光素子の一方の電極と電気的に接続し、第1の信号線は、第1のトランジスタのゲート電極と電気的に接続し、第1の電源線は、第2のトランジスタのソース電極又はドレイン電極の一方と電気的に接続し、第1のトランジスタでは、ソース電極又はドレイン電極の一方が第2のトランジスタのゲート電極と電気的に接続し、ソース電極又はドレイン電極の他方が第1の受光素子の他方の電極、及び第2のトランジスタのソース電極又はドレイン電極の他方と電気的に接続し、第2の配線は、第2の受光素子の一方の電極と電気的に接続し、第2の信号線は、第3のトランジスタのゲ40

ート電極と電気的に接続し、第2の電源線は、第4のトランジスタのソース電極又はドレイン電極の一方と電気的に接続し、第3のトランジスタでは、ソース電極又はドレイン電極の一方が第4のトランジスタのゲート電極と電気的に接続し、ソース電極又はドレイン電極の他方が第2の受光素子の他方の電極、及び第4のトランジスタのソース電極又はドレイン電極の他方と電気的に接続し、光源は、被検出物に対して一定時間Tの光照射をn回行い、第1の受光素子及び第2の受光素子は、光源から照射された光が被検出物で反射されることで生じる反射光を検出し、第1のトランジスタは、光照射1回につき、一定時間T以上、導通状態となり、かつ、光照射の終了と同時に導通状態が終了し、第3のトランジスタは、光照射1回につき1回、導通状態となり、導通状態は、光照射の終了と同時に開始し、第2の受光素子における反射光の検出の終了より後に終了し、フォトセンサが、光源と被検出物との間の距離xに応じた信号を出力する距離測定装置である。

10

#### 【0031】

また、該距離測定装置と、該距離xを、数式(3)を用いて算出する処理部と、を有する距離測定システムも本発明の一態様である。

#### 【0032】

#### 【数5】

$$x = \frac{c \times T \times S_2}{2 \times (S_1 + S_2)} \dots (3)$$

20

#### 【0033】

ただし、数式(3)において、S1は、一定時間Tの光照射がn回行われた後の、第1のトランジスタのソース電極又はドレイン電極の一方の電位の変化量に応じた検出信号の電圧を表し、S2は、一定時間Tの光照射がn回行われた後の、第3のトランジスタのソース電極又はドレイン電極の一方の電位の変化量に応じた検出信号の電圧を表し、nは、2以上の自然数を表し、cは光速を表す。

#### 【0034】

上記の距離測定装置(又は距離測定システム)において、第1の配線が、第1のリセット信号線であり、第2の配線が、第2のリセット信号線であることが好ましい。

#### 【0035】

または、上記の距離測定装置(もしくは距離測定システム)において、第5のトランジスタ及び第6のトランジスタを有し、第5のトランジスタでは、ゲート電極が、第1のリセット信号線と電気的に接続し、ソース電極又はドレイン電極の一方が、第1のトランジスタのソース電極又はドレイン電極の一方、及び第2のトランジスタのゲート電極と電気的に接続し、ソース電極又はドレイン電極の他方が、第1のリセット電源線と電気的に接続し、第6のトランジスタでは、ゲート電極が、第2のリセット信号線と電気的に接続し、ソース電極又はドレイン電極の一方が、第3のトランジスタのソース電極又はドレイン電極の一方、及び第4のトランジスタのゲート電極と電気的に接続し、ソース電極又はドレイン電極の他方が、第2のリセット電源線と電気的に接続し、第1の配線が、第1の固定電源線であり、第2の配線が、第2の固定電源線であることが好ましい。

30

#### 【0036】

上記に挙げた距離測定装置(又は距離測定システム)において、第1のトランジスタの半導体層は、酸化物半導体を含むことが好ましい。また、第2のトランジスタの半導体層は、酸化物半導体を含むことが好ましい。また、第3のトランジスタの半導体層は、酸化物半導体を含むことが好ましい。また、第4のトランジスタの半導体層は、酸化物半導体を含むことが好ましい。

40

#### 【発明の効果】

#### 【0037】

本発明の一態様では、検出精度が高い距離測定装置を提供することができる。また、本発明の一態様では、検出精度が高い距離測定システムを提供することができる。

50

**【図面の簡単な説明】****【0038】**

【図1】距離測定システム及びフォトセンサの一例を示す図。

【図2】フォトセンサ及び読み出し回路の一例を示す図。

【図3】フォトセンサのタイミングチャートの一例を示す図。

【図4】フォトセンサのタイミングチャートの一例を示す図。

【図5】フォトセンサのタイミングチャートの一例を示す図。

【図6】フォトセンサの一例を示す図。

【図7】フォトセンサのタイミングチャートの一例を示す図。

【図8】フォトセンサの一例を示す図。

【図9】フォトセンサのタイミングチャートの一例を示す図。

【図10】フォトセンサの一例を示す図。

【図11】フォトセンサの上面図及び断面図。

【図12】フォトセンサの一例を示す図。

【図13】フォトセンサの上面図。

【図14】フォトセンサの断面図。

【図15】フォトセンサの作製方法の一例を示す図。

【図16】フォトセンサの断面図。

**【発明を実施するための形態】****【0039】**

実施の形態について、図面を用いて詳細に説明する。但し、本発明は以下の説明に限定されず、本発明の趣旨及びその範囲から逸脱することなくその形態及び詳細を様々に変更しえることは当業者であれば容易に理解される。従って、本発明は以下に示す実施の形態の記載内容に限定して解釈されるものではない。なお、以下に説明する発明の構成において、同一部分又は同様な機能を有する部分には同一の符号を異なる図面間で共通して用い、その繰り返しの説明は省略する。

**【0040】****(実施の形態1)**

まず、本発明の一態様の距離測定システムを図1(A)に示す。図1(A)に示す距離測定システム10は、1以上のフォトセンサ30及び1以上の読み出し回路40を有する距離測定装置20と、処理部50とを有する。距離測定システム10では、フォトセンサ30から出力された信号が、読み出し回路40を介して処理部50に入力される。処理部50では、該フォトセンサ30と被検出物との間の距離を、該信号に基づき算出する。

**【0041】**

処理部50には、演算処理を行うCPU(Central Processing Unit)やDSP(Digital Signal Processor)等のプロセッサー、及び演算プログラムを保存するメモリ等が含まれる。

**【0042】**

本実施の形態では、本発明の一態様の距離測定装置(又は距離測定システム)と、該距離測定装置(又は距離測定システム)を用いた距離測定方法について、図1(B)、図2乃至図4を用いて説明する。本発明の一態様の距離測定装置(又は距離測定システム)はTOF方式を用いて距離を測定することができる。

**【0043】**

本発明の一態様の距離測定装置は、受光素子、第1のトランジスタ、及び第2のトランジスタを有するフォトセンサと、配線と、信号線と、電源線とを備える。該距離測定装置において、配線は、受光素子の一方の電極と電気的に接続し、信号線は、第1のトランジスタのゲート電極と電気的に接続し、電源線は、第2のトランジスタのソース電極又はドレイン電極の一方と電気的に接続し、第1のトランジスタでは、ソース電極又はドレイン電極の一方が第2のトランジスタのゲート電極と電気的に接続し、他方が受光素子の他方の電極、及び第2のトランジスタのソース電極又はドレイン電極の他方と電気的に接続する

10

20

30

40

50

。

#### 【0044】

本発明の一態様では、光源が、被検出物に対して一定時間の光照射を複数回（n回、nは2以上の自然数）行い、フォトセンサが、該光照射が行われる期間又は該光照射終了後の期間における反射光（具体的には、該光源から照射された光が該被検出物で反射されることで生じる光）の検出と同じ回数行う。光照射及び反射光の検出を複数回行うことで、距離に応じた検出信号を高精度で得られるため、より正確な距離を算出することができる。なお、光源は、本発明の一態様の距離測定装置に含まれていてもよいし、別途設けられていてもよい。

#### 【0045】

また、本発明の一態様の距離測定装置が備えるフォトセンサは、受光素子において反射光を検出する。受光素子には、光源により光照射が行われる期間及び該光照射終了後の期間の双方において、該反射光が照射される。検出を行わない期間に照射された反射光によって受光素子の他方の電極の電位に変化が生じると、反射光の検出の精度が低下する場合がある。しかし、該フォトセンサは、反射光の検出を行わない期間における受光素子の他方の電極の電位変化を抑制する第2のトランジスタを備える。これにより、高精度の距離測定が可能な距離測定装置（さらには高精度の距離測定が可能な距離測定システム）を提供することができる。

#### 【0046】

##### <フォトセンサの構成>

図1(B)に、本発明の一態様の距離測定装置が備えるフォトセンサ100の回路図を示す。

#### 【0047】

図1(B)に示すフォトセンサ100は、フォトダイオード102、トランジスタ103、トランジスタ104、トランジスタ105、及びトランジスタ109を有する。

#### 【0048】

フォトダイオード102では、一方の電極がリセット信号線PRと電気的に接続し、他方の電極がトランジスタ103のソース電極又はドレイン電極の他方、及びトランジスタ109のソース電極又はドレイン電極の他方と電気的に接続している。本明細書等では、フォトダイオード102の他方の電極、トランジスタ103のソース電極又はドレイン電極の他方、及びトランジスタ109のソース電極又はドレイン電極の他方が構成するノードをノード107と記す。

#### 【0049】

トランジスタ103では、ゲート電極が蓄積信号線TXと電気的に接続し、ソース電極又はドレイン電極の一方がトランジスタ104のゲート電極、及びトランジスタ109のゲート電極と電気的に接続している。本明細書等では、トランジスタ103のソース電極又はドレイン電極の一方、トランジスタ104のゲート電極、及びトランジスタ109のゲート電極が構成するノードを、電荷保持ノードFDと記す。

#### 【0050】

トランジスタ104では、ソース電極又はドレイン電極の一方がフォトセンサ基準信号線VSと電気的に接続し、ソース電極又はドレイン電極の他方がトランジスタ105のソース電極又はドレイン電極の一方と電気的に接続している。

#### 【0051】

トランジスタ105では、ゲート電極が選択信号線SEと電気的に接続し、ソース電極又はドレイン電極の他方がフォトセンサ出力信号線ROと電気的に接続している。

#### 【0052】

トランジスタ109では、ソース電極又はドレイン電極の一方が電源線VHと電気的に接続している。

#### 【0053】

なお、図1(B)に示すフォトダイオード102では、陽極がリセット信号線PRと電気

10

20

30

40

50

的に接続し、陰極がトランジスタ 103 のソース電極又はドレイン電極と電気的に接続しているが、これに限定されない。フォトダイオード 102 において、陰極がリセット信号線 PR と電気的に接続し、陽極がトランジスタ 103 のソース電極又はドレイン電極と電気的に接続していてもよい。

#### 【0054】

受光素子であるフォトダイオード 102 は、逆方向バイアスが印加される、すなわち陽極の電位より高い電位が陰極に印加されると、受けた光の量に応じた電流を生成する。したがって、反射光を検出することで、フォトダイオード 102 には、光電流が流れる。フォトセンサ 100 に用いるフォトダイオードに限定は無く、pin 接合フォトダイオード、pn 接合フォトダイオードなどを適用することができる。

10

#### 【0055】

電荷保持ノード FD は、フォトダイオード 102 が受ける光の量に応じて生成した電流により変化する電荷を保持する。また、電荷保持ノード FD において電荷をより確実に保持するために、電荷保持ノード FD が保持容量と電気的に接続していてもよい。

#### 【0056】

スイッチング素子であるトランジスタ 103 は、フォトダイオード 102 による電荷保持ノード FD への電荷蓄積と、電荷保持ノード FD の電荷の保持との切り替えを制御する。

#### 【0057】

電荷保持ノード FD が、フォトダイオード 102 に光が照射されることにより生成された電荷を長時間保持するためには、トランジスタ 103 のオフ電流が小さいことが好ましい。例えば、半導体層にアモルファスシリコン、微結晶シリコン、酸化物半導体等を用いることで、トランジスタ 103 のオフ電流を小さくすることができる。特に、半導体層に酸化物半導体を用いることで、トランジスタ 103 のオフ電流を極めて小さくすることができる。

20

#### 【0058】

また、電荷保持ノード FD が、フォトダイオード 102 に光が照射されることにより生成された電荷を短時間で蓄積するためには、トランジスタ 103 の移動度が高いことが好ましい。例えば、半導体層に、酸化物半導体、多結晶シリコン、単結晶シリコン等を用いることで、トランジスタ 103 の移動度を高くすることができる。

30

#### 【0059】

上記より、トランジスタ 103 の半導体層に酸化物半導体を用いると、トランジスタ 103 のオフ電流を極めて小さくすることができ、かつ、移動度を高くすることができるため、特に好ましい。

#### 【0060】

增幅素子であるトランジスタ 104 は、電荷保持ノード FD の電位に応じて、電荷保持ノード FD の電圧をフォトセンサ基準信号線 VS とフォトセンサ出力信号線 RO 間の電流値に変換する動作を行う。トランジスタ 104 は、オン電流が大きいことや移動度が高いことが好ましく、半導体層に酸化物半導体やシリコン材料等を用いることができ、特に、多結晶シリコンや単結晶シリコン等のシリコン材料を用いることが好ましい。トランジスタ 104 のオン電流が大きい又は移動度が高いと、増幅率を高くできるので、電荷保持ノード FD の微小な電位差、すなわち、フォトダイオード 102 に照射された光の微小な差も検出することが可能となる。

40

#### 【0061】

トランジスタ 105 は、フォトセンサ 100 の出力を制御する。トランジスタ 105 は、オン電流が大きいことや移動度が高いことが好ましく、半導体層に酸化物半導体やシリコン材料等を用いることができ、特に、多結晶シリコンや単結晶シリコン等のシリコン材料を用いることが好ましい。トランジスタ 105 のオン電流が大きい又は移動度が高いと、フォトセンサ出力信号線 RO の駆動能力が高いので、フォトセンサ出力の読み出し速度を向上することができる。

#### 【0062】

50

トランジスタ 109 は、トランジスタ 103 が非導通状態のときに、ゲート電極と、ソース電極又はドレイン電極の他方との電位差を閾値電圧より小さい値に保つ。トランジスタ 109 のゲート電極の電位は電荷保持ノード FD の電位と等しく、ソース電極又はドレイン電極の他方の電位は、ノード 107 の電位と等しい。トランジスタ 103 が非導通状態のときに該電位差が閾値電圧より小さい値に保たれることで、電荷保持ノード FD の電位とノード 107 の電位とが概ね等しく保持される。したがって、後に説明する反射光検出を複数回繰り返す際に、反射光検出期間以外における光の影響を抑制することができるため、位置検出精度を低下させることなく、光源（距離測定装置、距離測定システム）から被検出物までの距離を測定することができる。トランジスタ 109 は、電源線 VH とノード 107 の間の不要な電流注入を防ぐため、オフ電流が小さいことが好ましい。したがって、トランジスタ 109 の半導体層にアモルファスシリコン、微結晶シリコン、酸化物半導体等を用いることが好ましい。

#### 【 0063 】

なお、オフ電流が小さいことが好ましいトランジスタ 103 及びトランジスタ 109 は、同一の材料で形成されることが好ましい。例えば、トランジスタ 103 及びトランジスタ 109 の半導体層を酸化物半導体とし、同一の工程、材料で作製することで、作製工程の簡略化を実現できる。また、同様の理由から、オン電流が大きいことや移動度が高いことが好ましいトランジスタ 104 及びトランジスタ 105 を、同一の材料、同一の構成で形成することが好ましい。

#### 【 0064 】

リセット信号線 PR は、電荷保持ノード FD の電位の初期化を制御する信号線である。蓄積信号線 TX は、トランジスタ 103 を制御する信号線である。フォトセンサ基準信号線 VS は、電源供給配線である。選択信号線 SE は、トランジスタ 105 を制御する信号線である。電源線 VH は、電源供給配線である。フォトセンサ出力信号線 RO は、フォトダイオード 102 の電荷蓄積に応じた信号を出力する出力配線である。

#### 【 0065 】

また、本発明の一態様に適用することができるフォトセンサ 130 の回路図を図 2 (A) に示す。

#### 【 0066 】

図 2 (A) に示すフォトセンサ 130 は、フォトダイオード 102、トランジスタ 103、トランジスタ 104、トランジスタ 105、トランジスタ 106 及びトランジスタ 109 を有する。

#### 【 0067 】

フォトダイオード 102 では、一方の電極が固定電源線 RD と電気的に接続し、他方の電極がトランジスタ 103 のソース電極又はドレイン電極の他方、及びトランジスタ 109 のソース電極又はドレイン電極の他方と電気的に接続している。

#### 【 0068 】

トランジスタ 106 では、ゲート電極がリセット信号線 PR と電気的に接続し、ソース電極又はドレイン電極の一方が、トランジスタ 103 のソース電極又はドレイン電極の一方、トランジスタ 104 のゲート電極、及びトランジスタ 109 のゲート電極と電気的に接続し、ソース電極又はドレイン電極の他方が、リセット電源線 VR と電気的に接続している。トランジスタ 106 では、電荷保持ノード FD の電位の初期化を制御する。トランジスタ 106 は、リセット電源線 VR から電荷保持ノード FD への不要な電流注入を防ぐため、オフ電流が小さいことが好ましい。したがって、トランジスタ 106 は、半導体層にアモルファスシリコン、微結晶シリコン、酸化物半導体等を用いることが好ましい。

#### 【 0069 】

なお、図 2 (A) に示すフォトダイオード 102 では、陽極が固定電源線 RD と電気的に接続し、陰極がトランジスタ 103 のソース電極又はドレイン電極と電気的に接続しているが、これに限定されない。フォトダイオード 102 において、陰極が固定電源線 RD と電気的に接続し、陽極がトランジスタ 103 のソース電極又はドレイン電極と電気的に接

10

20

30

40

50

続してもよい。

**【 0 0 7 0 】**

< 読み出し回路の構成 >

図 2 ( B ) に、本発明の一態様の距離測定装置が備える読み出し回路 120 の回路図を示す。本発明の一態様の距離測定装置が備える読み出し回路の構成は特に限定されない。図 2 では、読み出し回路を 1 個の p チャネル型トランジスタで構成する例を示す。

**【 0 0 7 1 】**

具体的には、読み出し回路 120 は、トランジスタ 122 を有する。トランジスタ 122 では、ゲート電極がプリチャージ信号線 P C と電気的に接続し、ソース電極又はドレイン電極の一方が電源供給配線 124 と電気的に接続し、他方がフォトセンサ出力信号線 R O と電気的に接続している。

10

**【 0 0 7 2 】**

なお、1つのフォトセンサ 100 につき、1つの読み出し回路 120 を設ける構成や、1つのフォトセンサ出力信号線 R O につき、1つの読み出し回路 120 を設ける構成（フォトセンサ出力信号線 R O を共有する複数のフォトセンサに対して、1つの読み出し回路を設ける構成）等を適用することができる。

**【 0 0 7 3 】**

< 距離測定方法 >

本発明の一態様の距離測定装置（又は距離測定システム）を用いた距離測定方法について説明する。以下では、光源及びフォトセンサ 100（図 1 ( B ) 参照）を有する距離測定装置（又は距離測定システム）を用いた距離測定方法について説明する。

20

**【 0 0 7 4 】**

なお、タイミングチャートでは、フォトセンサ 100 の動作をわかりやすく説明するため、リセット信号線 P R 、蓄積信号線 T X 、選択信号線 S E 、及びフォトセンサ出力信号線 R O には、ハイレベルかローレベルの電位が与えられるものとする。具体的に、リセット信号線 P R には、ハイレベルの電位 H P R と、ローレベルの電位 L P R が与えられるものとし、蓄積信号線 T X には、ハイレベルの電位 H T X と、ローレベルの電位 L T X が与えられるものとし、選択信号線 S E には、ハイレベルの電位 H S E と、ローレベルの電位 L S E が与えられるものとし、フォトセンサ出力信号線 R O には、ハイレベルの電位 H R O と、ローレベルの電位 L R O が与えられるものとする。

30

**【 0 0 7 5 】**

なお、照射光 151 のパルスでは、光源から光が照射される期間をハイレベルで表し、照射されない期間をローレベルで表す。また、反射光 152 のパルスでは、反射光がフォトダイオード 102 に照射される期間をハイレベルで表し、反射光が照射されない期間をローレベルで表す。なお、光源から照射される光の強度は一定とする。

**【 0 0 7 6 】**

[ 距離測定方法 1 ]

図 3 に、光源から照射された光である照射光 151 、照射光 151 が被検出物で反射されることで生じた反射光 152 、及びフォトセンサ 100 のタイミングチャートの一例を示す。

40

**【 0 0 7 7 】**

距離測定方法 1 において、本発明の一態様の距離測定装置は、光源から被検出物に対して一定時間 T の光照射を 2 回 ( $n = 2$ ) 行い、光照射が行われている期間の反射光を検出し、光の遅延時間に依存する検出信号の電圧 S 1 を取得する。具体的には、時刻 T 2 ~ 時刻 T 4 (一定時間 T) の間に、1 回目の光照射 (A) 及び 1 回目の反射光検出 (A) を行い、時刻 T 6 ~ 時刻 T 8 (一定時間 T) の間に、2 回目の光照射 (A) 及び 2 回目の反射光検出 (A) を行い、時刻 T 10 ~ 時刻 T 11 の間に、検出信号の電圧 S 1 を取得する。ただし、光照射 (A) 及び反射光検出 (A) の回数は 2 回に限られず、3 回以上行ってよい。

**【 0 0 7 8 】**

50

複数回の光照射（A）において、照射期間の長さは等しい（一定時間Tである）。また、該1回の照射光の照射期間と1回の反射光の照射期間の長さは等しい（一定時間Tである）。

#### 【0079】

複数回の光照射（A）において、光源と被検出物との距離は変わらないものとする。つまり、照射光が光源から発せられた時刻から、該照射光が被検出物で反射された後、フォトセンサに反射光が入射する時刻までの期間である、時刻T<sub>2</sub>から時刻T<sub>3</sub>までの期間と、時刻T<sub>6</sub>から時刻T<sub>7</sub>までの期間は、長さが等しい（遅延時間tとする）。

#### 【0080】

なお、反射光検出（A）は、フォトセンサに反射光が入射する前に開始する。また、反射光検出（A）は、光照射（A）の終了と同時に終了する。このように反射光検出（A）のタイミングが決定されるように、リセット信号線PR及び蓄積信号線TXの電位を制御する。

10

#### 【0081】

（時刻T<sub>1</sub>～時刻T<sub>2</sub>：リセット動作）

時刻T<sub>1</sub>において、リセット信号線PRの電位を、電位L<sub>PR</sub>から電位H<sub>PR</sub>に変化させ、かつ蓄積信号線TXの電位を、電位L<sub>TX</sub>から電位H<sub>TX</sub>に変化させることで、フォトダイオード102及びトランジスタ103が導通する。電荷保持ノードFDには、リセット信号線PRの電位H<sub>PR</sub>が与えられるため、電荷保持ノードFDに保持されている電荷はリセットされ、初期状態となる電荷量が保持される。なお、時刻T<sub>1</sub>において、選択信号線SEには電位L<sub>SE</sub>が与えられている。

20

#### 【0082】

（時刻T<sub>2</sub>～時刻T<sub>4</sub>：1回目の光照射（A）及び1回目の反射光検出（A））

時刻T<sub>2</sub>において、光源から被検出物に対して光の照射を開始し、かつリセット信号線PRの電位を、電位H<sub>PR</sub>から電位L<sub>PR</sub>に変化させる。ここで、蓄積信号線TXの電位は、電位H<sub>TX</sub>のまま維持するため、リセット信号線PRの電位が電位L<sub>PR</sub>になると、フォトダイオード102に逆方向バイアスの電圧が印加される。

#### 【0083】

時刻T<sub>3</sub>において、光源からの照射光が被検出物で反射され、反射光が本発明の一態様の距離測定装置に入射し始める。逆方向バイアスの電圧が印加された状態のフォトダイオード102に反射光が照射されることで、フォトダイオード102の陰極から陽極に向かって電流が流れ、電荷保持ノードFDの電位が低下する。一定時間において、反射光の強度が大きいほど電荷保持ノードFDからの電荷の流出も大きくなる（電荷保持ノードFDの電位の低下が大きくなる）。また、一定強度において、反射光の照射時間が長いほど電荷保持ノードFDからの電荷の流出も大きくなる（電荷保持ノードFDの電位の低下が大きくなる）。

30

#### 【0084】

時刻T<sub>4</sub>において、光の照射を終了し、かつ、蓄積信号線TXの電位を、電位H<sub>TX</sub>から電位L<sub>TX</sub>に変化させる。蓄積信号線TXの電位が電位L<sub>TX</sub>になることで、トランジスタ103は非導通状態になる。よって、電荷保持ノードFDからフォトダイオード102への電荷の移動が止まるため、電荷保持ノードFDの電位が定まる。

40

#### 【0085】

なお、蓄積信号線TXの電位を、電位H<sub>TX</sub>から電位L<sub>TX</sub>に変化させる際、蓄積信号線TXと電荷保持ノードFDとの間ににおける寄生容量により、電荷保持ノードFDの電位変化が生じる場合がある。電位変化が大きいと、フォトダイオード102で生成した光電流に対応した電位を電荷保持ノードFDが正確に保持できることになる。したがって、寄生容量の影響を低減するための対策（例えば、トランジスタ103のゲート電極と、ソース電極もしくはドレイン電極との間の容量を小さくする、又は、電荷保持ノードFDに保持容量を接続する等）を施すことが好ましい。本発明の一態様に係るフォトセンサ100では、該対策を施し、寄生容量に起因する電荷保持ノードFDの電位変化は無視できるも

50

のとする。

#### 【 0 0 8 6 】

時刻 T 5において、フォトダイオード 1 0 2への反射光の入射が終了する。

#### 【 0 0 8 7 】

ここで、時刻 T 4～時刻 T 5の間、トランジスタ 1 0 3が非導通状態であるため、電荷保持ノード F Dの電位は一定であるが、フォトダイオード 1 0 2には反射光が照射されているため、ノード 1 0 7の電位は低下してしまう（図 3に示すノード 1 0 7のパルスの点線参照）。ノード 1 0 7と電荷保持ノード F Dに電位差が生じると、次にトランジスタ 1 0 3が導通状態になる時刻 T 6において、ノード 1 0 7と電荷保持ノード F Dの電位が等しくなるよう、電荷保持ノード F Dの電位が低下し、ノード 1 0 7の電位が上昇する（図 3に示すノード 1 0 7及び電荷保持ノード F Dのパルスの点線参照）。電位変化が大きいと、1回目の反射光検出（A）の間にフォトダイオード 1 0 2で生成した光電流に対応した電位を、電荷保持ノード F Dが正確に保持できることになる。これにより、距離測定装置、又は該距離測定装置を用いた距離測定システムにおいて正確な距離測定が困難となる（位置検出精度が低下してしまう）。

10

#### 【 0 0 8 8 】

しかし、本発明の一態様の距離測定装置は、トランジスタ 1 0 9を備える。トランジスタ 1 0 9は、トランジスタ 1 0 3が非導通状態のときに、ゲート電極と、ソース電極又はドレイン電極の他方との電位差を閾値電圧より小さい値に保つ。トランジスタ 1 0 9のゲート電極の電位は、電荷保持ノード F Dの電位と等しく、トランジスタ 1 0 9のソース電極又はドレイン電極の他方の電位は、ノード 1 0 7の電位と等しい。したがって、ノード 1 0 7の電位が低下し、ノード 1 0 7と電荷保持ノード F Dとの電位差が大きくなることを抑制することができる。これにより、本発明の一態様の距離測定装置（又は距離測定システム）は、位置検出精度が低下することを抑制でき、高精度の距離測定が可能となる。

20

#### 【 0 0 8 9 】

なお、時刻 T 4～時刻 T 5の間におけるノード 1 0 7の電位変化は、トランジスタ 1 0 9の閾値電圧より小さくなるため、トランジスタ 1 0 9の閾値電圧は 0 に近いほど好ましく、0 が最も好ましい。また、トランジスタ 1 0 9のサブスレッショルド特性が良好なほど、時刻 T 4～時刻 T 5の間におけるノード 1 0 7の電位変化を抑制することができる。ただし、トランジスタ 1 0 9の閾値電圧及びサブスレッショルド特性の許容値は、電荷保持ノード F Dの容量、反射光の強度、フォトダイオード 1 0 2の検出精度等によって決まるため、実施者が適宜決定すればよい。

30

#### 【 0 0 9 0 】

本明細書等において、フォトダイオード 1 0 2に照射される光とは、実質的に、光源からの照射光が被検出物で反射されることで生じる反射光を指すものとする。例えば、反射光は外光等に比べて極めて強度が高いものとする。ただし、時刻 T 4～時刻 T 6において、反射光と同程度かそれ以上に強度が高い外光が一時的にフォトダイオード 1 0 2に照射されたとしても、本発明の一態様の距離測定装置はトランジスタ 1 0 9を備えるため、該外光の影響でノード 1 0 7の電位が変化すること、さらには電荷保持ノード F Dの電位が変化することを抑制することができる。

40

#### 【 0 0 9 1 】

（時刻 T 6～時刻 T 8：2回目の光照射（A）及び2回目の反射光検出（A））

時刻 T 6において、光源から被検出物に対して光の照射を開始し、かつ蓄積信号線 T Xの電位を、電位 L T Xから電位 H T Xに変化させる。

#### 【 0 0 9 2 】

時刻 T 7において、光源からの照射光が被検出物で反射され、反射光が本発明の一態様の距離測定装置に入射し始める。フォトダイオード 1 0 2に反射光が照射されることで、フォトダイオード 1 0 2の陰極から陽極に向かって電流が流れ、電荷保持ノード F Dの電位が低下する。

#### 【 0 0 9 3 】

50

時刻 T 8において、光の照射を終了し、かつ、蓄積信号線 TX の電位を、電位 HTX から電位 LTX に変化させる。蓄積信号線 TX の電位が電位 LTX になることで、トランジスタ 103 は非導通状態になる。よって、電荷保持ノード FD からフォトダイオード 102 への電荷の移動が止まるため、電荷保持ノード FD の電位が定まる。

#### 【0094】

なお、電荷保持ノード FD の電位は、時刻 T 8 以降は一定となる。時刻 T 8 での電荷保持ノード FD の電位は、1 回目及び 2 回目の反射光検出 (A) (時刻 T 2 ~ 時刻 T 4 及び時刻 T 6 ~ 時刻 T 8 を指し、以下ではまとめて、反射光検出期間 (A) と記す) で、フォトダイオード 102 が生成した光電流に依存する。また、時刻 T 8 での電荷保持ノード FD の電位に応じて、フォトセンサ 100 の出力信号が決定する。

10

#### 【0095】

時刻 T 9において、フォトダイオード 102 への反射光の入射が終了する。

#### 【0096】

(時刻 T 10 ~ 時刻 T 11 : 読み出し動作)

時刻 T 10において、選択信号線 SE の電位を電位 LSE から電位 HSE に変化させ、トランジスタ 105 を導通させる。これにより、フォトセンサ基準信号線 VS とフォトセンサ出力信号線 RO が、トランジスタ 104 及びトランジスタ 105 を介して導通する。すると、電荷保持ノード FD の電位に応じた速度で、フォトセンサ出力信号線 RO の電位がフォトセンサ基準信号線 VS の電位に近づく。なお、予め、時刻 T 10 以前に、フォトセンサ出力信号線 RO の電位をハイレベルの電位 HRO としておく。

20

#### 【0097】

時刻 T 11において、選択信号線 SE の電位を電位 HSE から電位 LSE に変化させると、トランジスタ 105 が非導通状態となり、フォトセンサ出力信号線 RO の電位が決定する。

#### 【0098】

時刻 T 11におけるフォトセンサ出力信号線 RO の電位は、時刻 T 10 ~ 時刻 T 11におけるフォトセンサ出力信号線 RO の電位変化の速度に依存する。フォトセンサ出力信号線 RO の電位変化の速度は、トランジスタ 104 のソース電極及びドレイン電極の間の電流に依存する。即ち、反射光検出期間 (A) にフォトダイオード 102 に照射される反射光の強度及び照射時間に依存する。一定時間において反射光の強度が大きいほど、フォトセンサ出力信号線 RO の電位変化の速度は遅くなる。また、一定強度において反射光の照射時間が長いほど、フォトセンサ出力信号線 RO の電位変化の速度は遅くなる。フォトセンサ出力信号線 RO の電位変化の速度が遅いほど、時刻 T 11におけるフォトセンサ出力信号線 RO の電位は高くなる。

30

#### 【0099】

ここで、電荷保持ノード FD の電位変化とフォトセンサ出力信号線 RO の電位変化の関係について説明する。反射光検出期間 (A) において、フォトダイオード 102 に照射される反射光の強度が高いと、電荷保持ノード FD の電位変化は大きくなる（時刻 T 8 における電荷保持ノード FD の電位の値は低くなる）。このとき、トランジスタ 104 のチャネル抵抗が高くなるため、フォトセンサ出力信号線 RO の電位変化の速度は遅くなる。したがって、フォトセンサ出力信号線 RO の電位変化は小さくなる（時刻 T 11におけるフォトセンサ出力信号線 RO の電位の値は高くなる）。

40

#### 【0100】

時刻 T 11におけるフォトセンサ出力信号線 RO の電位を取得することで、反射光検出期間 (A) にフォトダイオード 102 に照射された反射光の量（反射光の強度の時間積）を検出信号の電圧 S1 として得ることができる。ここで、前述の通り、光源から照射される光の強度は一定であり、反射光検出時にフォトダイオード 102 に照射される光は、全て光源からの照射光が被検出物で反射されることで生じる反射光を指すから、時刻 T 11におけるフォトセンサ出力信号線 RO の電位は、反射光検出期間 (A) の長さに概ね比例する。

50

**【 0 1 0 1 】**

次に、本発明の一態様の距離測定システムにおける、T O F方式を適用した距離測定方法について説明する。反射光検出期間（A）から取得した光の遅延時間に依存する検出信号の電圧S 1を用いて、本発明の一態様の距離測定装置（又は距離測定システム）から被検出物までの距離を測定する方法について示す。

**【 0 1 0 2 】**

検出信号の電圧S 1は、光照射及び反射光検出を行った回数n、定数k、一定時間T、及び遅延時間tを用いて、式（1-1）で表すことができる。また、光源（距離測定装置、距離測定システム）から被検出物までの距離xは、光速c及び遅延時間tを用いて、式（1-2）で表すことができる。この2式より、該距離xは、検出信号の電圧S 1を用いた式（1-3）で表すことができる。10

**【 0 1 0 3 】****【 数 6 】**

$$S1 = n \times k \times (T - \Delta t) \cdots (1-1)$$

$$x = \frac{c \times \Delta t}{2} \cdots (1-2)$$

$$x = \frac{c}{2} \times \left( T - \frac{S1}{n \times k} \right) \cdots (1-3)$$

10

20

**【 0 1 0 4 】**

なお、光照射及び反射光検出を行った回数nは、2以上の自然数であり、本実施の形態では一例としてn=2とした。また、定数kには、光源が照射する光の強度や波長、フォトダイオード102の感度（光電流特性や分光感度）、フォトセンサ100の透過率（センサ内でフォトダイオード102に光が達するまでの減衰率）や増幅率、被検出物の反射率、空気中での光の減衰率等の情報が含まれ、本実施の形態では、被検出物の距離測定前に予め求められているものとする。

**【 0 1 0 5 】**

例えば、被検出物と距離測定装置（又は距離測定システム）との距離がわかっている状態で、被検出物の距離測定を行い、検出信号の電圧S 1を取得することで、式（1-3）を用いて定数kを求めることができる。30

**【 0 1 0 6 】**

また、時刻T 1より前、又は時刻T 1 1より後の、光照射が行われず、かつ反射光が照射されていない期間に、フォトセンサ100によって光の検出を行い、検出信号の電圧S 0を得てもよい。式（1-3）において、検出信号の電圧S 1から検出信号の電圧S 0を差し引いた値である検出信号の電圧S 1'を検出信号の電圧S 1の代わりに用いることで、外光の影響を取り除き、高い精度の距離測定を行うことができる。

**【 0 1 0 7 】**

以上のように、本発明の一態様の距離測定装置を用いることで、高精度の距離測定を行うことができる。また、高精度の距離測定を行う距離測定システムを実現することができる。40

**【 0 1 0 8 】****[ 距離測定方法 2 ]**

図4に、照射光151、反射光152、フォトセンサ100のタイミングチャートの別の例を示す。

**【 0 1 0 9 】**

距離測定方法2において、本発明の一態様の距離測定装置は、光源から被検出物に対して一定時間Tの光照射（B）を2回行い、光照射（B）終了後の期間の反射光を検出し、光の遅延時間に依存する検出信号の電圧S 2を取得する。具体的には、時刻T 1～時刻T 450

(一定時間 T ) の間に 1 回目の光照射 ( B ) を行い、時刻 T 4 ~ 時刻 T 6 の間に 1 回目の反射光検出 ( B ) を行い、時刻 T 7 ~ 時刻 T 9 (一定時間 T ) の間に 2 回目の光照射 ( B ) を行い、時刻 T 9 ~ 時刻 T 11 の間に 2 回目の反射光検出 ( B ) を行い、時刻 T 12 ~ 時刻 T 13 の間に検出信号の電圧 S 2 を取得する。ただし、光照射 ( B ) 及び反射光検出 ( B ) の回数は 2 回に限られず、3 回以上行ってもよい。

#### 【 0 1 1 0 】

複数回の光照射 ( B ) において、照射期間の長さは等しい (一定時間 T である)。また、1 回の照射光の照射期間と 1 回の反射光の照射期間の長さは等しい (一定時間 T である)。

#### 【 0 1 1 1 】

複数回の光照射 ( B ) において、光源と被検出物との距離は変わらないものとする。つまり、照射光が光源から発せられた時刻から、該照射光が被検出物で反射された後に、フォトセンサに反射光が入射する時刻までの期間である、時刻 T 1 から時刻 T 2 までの期間と、時刻 T 7 から時刻 T 8 までの期間は、長さが等しい (遅延時間 t とする)。

#### 【 0 1 1 2 】

なお、反射光検出 ( B ) は、光照射 ( B ) の終了と同時に開始する。また、反射光検出 ( B ) は、フォトセンサへの反射光の照射の終了より後に終了する。このように反射光検出 ( B ) のタイミングが決定されるように、リセット信号線 P R 及び蓄積信号線 T X の電位を制御する。

#### 【 0 1 1 3 】

##### ( 時刻 T 1 ~ 時刻 T 4 : 1 回目の光照射 ( B ) )

時刻 T 1 において、光源から被検出物に対して光の照射を開始する。ここで、リセット信号線 P R には電位 L P R が与えられており、蓄積信号線 T X には、電位 L T X が与えられており、選択信号線 S E には電位 L S E が与えられている。

#### 【 0 1 1 4 】

時刻 T 2 において、光源からの照射光が被検出物で反射され、反射光が本発明の一態様の距離測定装置に入射し始める。

#### 【 0 1 1 5 】

##### ( 時刻 T 3 ~ 時刻 T 4 : リセット動作 )

時刻 T 3 において、リセット信号線 P R の電位を、電位 L P R から電位 H P R に変化させ、かつ蓄積信号線 T X の電位を、電位 L T X から電位 H T X に変化させることで、フォトダイオード 1 0 2 及びトランジスタ 1 0 3 が導通する。電荷保持ノード F D には、リセット信号線 P R の電位 H P R が与えられるため、電荷保持ノード F D に保持されている電荷はリセットされ、初期状態となる電荷量が保持される。

#### 【 0 1 1 6 】

##### ( 時刻 T 4 ~ 時刻 T 6 : 1 回目の反射光検出 ( B ) )

時刻 T 4 において、光の照射を終了し、かつ、リセット信号線 P R の電位を、電位 H P R から電位 L P R に変化させる。ここで、蓄積信号線 T X の電位は、電位 H T X のまま維持するため、リセット信号線 P R の電位が電位 L P R になると、フォトダイオード 1 0 2 に逆方向バイアスの電圧が印加される。逆方向バイアスの電圧が印加された状態のフォトダイオード 1 0 2 に反射光が照射されることで、フォトダイオード 1 0 2 の陰極から陽極に向かって電流が流れ、電荷保持ノード F D の電位が低下する。

#### 【 0 1 1 7 】

時刻 T 5 において、フォトダイオード 1 0 2 への反射光の入射が終了し、電荷保持ノード F D からフォトダイオード 1 0 2 への電荷の移動が止まり、電荷保持ノード F D の電位が定まる。

#### 【 0 1 1 8 】

時刻 T 6 において、蓄積信号線 T X の電位を、電位 H T X から電位 L T X に変化させる。蓄積信号線 T X の電位が電位 L T X になることで、トランジスタ 1 0 3 は非導通状態になる。

10

20

30

40

50

**【 0 1 1 9 】**

( 時刻 T 7 ~ 時刻 T 9 : 2 回目の光照射 ( B ) )

時刻 T 7 において、光源から被検出物に対して光の照射を開始する。

**【 0 1 2 0 】**

時刻 T 8 において、光源からの照射光が被検出物で反射され、反射光が本発明の一態様の距離測定装置に入射し始める。

**【 0 1 2 1 】**

ここで、時刻 T 8 ~ 時刻 T 9 の間、トランジスタ 103 が非導通状態であるため、電荷保持ノード FD の電位は一定であるが、フォトダイオード 102 には反射光が照射されているため、ノード 107 の電位は低下してしまう（図 4 に示すノード 107 のパルスの点線参照）。ノード 107 と電荷保持ノード FD に電位差が生じると、次にトランジスタ 103 が導通状態になる時刻 T 9 において、ノード 107 と電荷保持ノード FD の電位が等しくなるよう、電荷保持ノード FD の電位が低下し、ノード 107 の電位が上昇する（図 4 に示すノード 107 及び電荷保持ノード FD のパルスの点線参照）。電位変化が大きいと、1 回目の反射光検出 ( B ) の間にフォトダイオード 102 で生成した光電流に対応した電位を、電荷保持ノード FD が正確に保持できることになる。これにより、距離測定装置や、該距離測定装置を用いた距離測定システムにおいて正確な距離測定が困難となる（位置検出精度が低下してしまう）。

10

**【 0 1 2 2 】**

しかし、本発明の一態様の距離測定装置は、トランジスタ 109 を備える。トランジスタ 109 は、トランジスタ 103 が非導通状態のときに、ゲート電極と、ソース電極又はドレイン電極の他方との電位差を閾値電圧より小さい値に保つ。トランジスタ 109 のゲート電極の電位は、電荷保持ノード FD の電位と等しく、トランジスタ 109 のソース電極又はドレイン電極の他方の電位は、ノード 107 の電位と等しい。したがって、ノード 107 の電位が低下し、ノード 107 と電荷保持ノード FD との電位差が大きくなることを抑制することができる。これにより、本発明の一態様の距離測定装置は、反射光検出期間以外における光の影響を除去することができるので、位置検出精度が低下することを抑制でき、高精度の距離測定が可能となる。

20

**【 0 1 2 3 】**

なお、時刻 T 8 ~ 時刻 T 9 の間におけるノード 107 の電位変化は、トランジスタ 109 の閾値電圧より小さくなるため、トランジスタ 109 の閾値電圧は 0 に近いほど好ましく、0 が最も好ましい。また、トランジスタ 109 のサブスレッショルド特性が良好な程、時刻 T 8 ~ 時刻 T 9 の間におけるノード 107 の電位変化を抑制することができる。ただし、トランジスタ 109 の閾値電圧及びサブスレッショルド特性の許容値は、電荷保持ノード FD の容量、反射光の強度、フォトダイオード 102 の検出精度等によって決まるため、実施者が適宜決定すればよい。

30

**【 0 1 2 4 】**

前述の通り、本明細書等において、フォトダイオード 102 に照射される光とは、実質的に、光源からの照射光が被検出物で反射されることで生じる反射光を指すものとする。ただし、時刻 T 6 ~ 時刻 T 9 において、反射光と同程度かそれ以上に強度が高い外光が一時的にフォトダイオード 102 に照射されたとしても、本発明の一態様の距離測定装置はトランジスタ 109 を備えるため、該外光の影響でノード 107 の電位が変化すること、さらには電荷保持ノード FD の電位が変化することを抑制することができる。

40

**【 0 1 2 5 】**

( 時刻 T 9 ~ 時刻 T 11 : 2 回目の反射光検出 ( B ) )

時刻 T 9 において、光の照射を終了し、かつ、蓄積信号線 TX の電位を、電位 LT<sub>X</sub> から電位 HT<sub>X</sub> に変化させる。逆方向バイアスの電圧が印加された状態のフォトダイオード 102 に反射光が照射されることで、フォトダイオード 102 の陰極から陽極に向かって電流が流れ、電荷保持ノード FD の電位が低下する。

**【 0 1 2 6 】**

50

時刻 T 1 0において、フォトダイオード 1 0 2への反射光の入射が終了し、電荷保持ノード F D からフォトダイオード 1 0 2への電荷の移動が止まり、電荷保持ノード F D の電位が定まる。

#### 【 0 1 2 7 】

時刻 T 1 1において、蓄積信号線 T X の電位を、電位 H T X から電位 L T X に変化させる。蓄積信号線 T X の電位が電位 L T X になることで、トランジスタ 1 0 3 は非導通状態になる。

#### 【 0 1 2 8 】

なお、電荷保持ノード F D の電位は、時刻 T 1 1以降は一定となる。時刻 T 1 1での電荷保持ノード F D の電位は、1回目及び2回目の反射光検出 ( B ) ( 時刻 T 4 ~ 時刻 T 6 及び時刻 T 9 ~ 時刻 T 1 1 を指し、以下ではまとめて、反射光検出期間 ( B ) と記す ) で、フォトダイオード 1 0 2 が生成した光電流に依存する。また、時刻 T 1 1での電荷保持ノード F D の電位に応じて、フォトセンサ 1 0 0 の出力信号が決定する。ただし、本実施の形態では、フォトダイオード 1 0 2への反射光の入射が時刻 T 1 0 で終了しているため、「電荷保持ノード F D の電位は、時刻 T 1 0 以降は一定となる。」ともいえる。

10

#### 【 0 1 2 9 】

( 時刻 T 1 2 ~ 時刻 T 1 3 : 読み出し動作 )

時刻 T 1 2において、選択信号線 S E の電位を電位 L S E から電位 H S E に変化させ、トランジスタ 1 0 5 を導通させる。これにより、フォトセンサ基準信号線 V S とフォトセンサ出力信号線 R O が、トランジスタ 1 0 4 及びトランジスタ 1 0 5 を介して導通する。すると、電荷保持ノード F D の電位に応じて、フォトセンサ基準信号線 V S からフォトセンサ出力信号線 R O に信号が出力される。なお、予め、時刻 T 1 2 以前に、フォトセンサ出力信号線 R O の電位をハイレベルの電位 H R O としておく。

20

#### 【 0 1 3 0 】

時刻 T 1 3において、選択信号線 S E の電位を電位 H S E から電位 L S E に変化させると、トランジスタ 1 0 5 が非導通状態となり、フォトセンサ基準信号線 V S からフォトセンサ出力信号線 R O への電荷の移動が停止し、フォトセンサ出力信号線 R O の電位が決定する。

#### 【 0 1 3 1 】

時刻 T 1 3におけるフォトセンサ出力信号線 R O の電位は、時刻 T 1 2 ~ 時刻 T 1 3におけるフォトセンサ出力信号線 R O の電位変化の速度に依存する。フォトセンサ出力信号線 R O の電位変化の速度は、トランジスタ 1 0 4 のソース電極及びドレイン電極の間の電流に依存する。即ち、反射光検出期間 ( B ) にフォトダイオード 1 0 2 に照射される反射光の強度及び照射時間に依存する。

30

#### 【 0 1 3 2 】

したがって、時刻 T 1 3におけるフォトセンサ出力信号線 R O の電位を取得することで、反射光検出期間 ( B ) にフォトダイオード 1 0 2 に照射された反射光の量 ( 反射光の強度の時間積 ) を検出信号の電圧 S 2 として得ることができる。ここで、前述の通り、光源から照射される光の強度は一定であり、反射光検出時にフォトダイオード 1 0 2 に照射される光は、全て光源からの照射光が被検出物で反射されることで生じる反射光を指すから、時刻 T 1 3におけるフォトセンサ出力信号線 R O の電位は、反射光検出期間 ( B ) の長さに概ね比例する。

40

#### 【 0 1 3 3 】

次に、本発明の一態様の距離測定システムにおける、T O F 方式を適用した距離測定方法について説明する。反射光検出期間 ( B ) から取得した光の遅延時間に依存する検出信号の電圧 S 2 を用いて、本発明の一態様の距離測定装置 ( 又は距離測定システム ) から被検出物までの距離を測定する方法について示す。

#### 【 0 1 3 4 】

検出信号の電圧 S 2 は、光照射及び反射光検出を行った回数 n 、定数 k 、及び遅延時間 t を用いて、数式 ( 2 - 1 ) で表すことができる。また、光源 ( 距離測定装置、距離測定

50

システム)から被検出物までの距離 $x$ は、光速 $c$ 及び遅延時間 $t$ を用いて式(2-2)で表すことができる。この2式より、該距離 $x$ は、検出信号の電圧 $S_2$ を用いた式(2-3)で表すことができる。

#### 【0135】

##### 【数7】

$$S_2 = n \times k \times \Delta t \cdots (2-1)$$

$$x = \frac{c \times \Delta t}{2} \cdots (2-2)$$

$$x = \frac{c \times S_2}{2 \times n \times k} \cdots (2-3)$$

10

#### 【0136】

なお、光照射及び反射光検出を行った回数 $n$ は、2以上の自然数であり、本実施の形態では一例として $n=2$ とした。また、定数 $k$ は、式(1-1)の説明の際に挙げた情報と同様の情報が含まれ、本実施の形態では、被検出物の距離測定前に予め求められているものとする。

#### 【0137】

また、時刻 $T_1$ より前、又は時刻 $T_13$ より後の、光照射が行われず、かつ反射光が照射されていない期間に、フォトセンサ100によって光の検出を行い、検出信号の電圧 $S_0$ を得てもよい。式(2-3)において、検出信号の電圧 $S_2$ から検出信号の電圧 $S_0$ を差し引いた値である検出信号の電圧 $S_2'$ を検出信号の電圧 $S_2$ の代わりに用いることで、外光の影響を取り除き、高い精度の距離測定を行うことができる。

20

#### 【0138】

以上のように、本発明の一態様の距離測定装置を用いることで、高精度の距離測定を行うことができる。また、高精度の距離測定を行う距離測定システムを実現することができる。

#### 【0139】

本実施の形態に示す構成は、他の実施の形態に示す構成と適宜組み合わせて用いることができる。

30

#### 【0140】

##### (実施の形態2)

本実施の形態では、本発明の一態様の距離測定システムを用いた距離測定方法について図5を用いて説明する。以下では、光源及びフォトセンサ100(図1(B)参照)を有する距離測定装置を用いた距離測定方法について説明する。

#### 【0141】

実施の形態1で説明した距離測定方法を用いて、光源(距離測定装置、距離測定システム)から被検出物までの距離を知るために、予め定数 $k$ を求めておく必要があった。一方、本実施の形態で示す距離測定方法によれば、定数 $k$ がわからない場合でも、距離を求めることができる。

40

#### 【0142】

##### [距離測定方法3]

図5に、照射光151、反射光152、及びフォトセンサ100のタイミングチャートの一例を示す。

#### 【0143】

距離測定方法3において、本発明の一態様の距離測定装置は、光源から被検出物に対して一定時間 $T$ の光照射(A)を2回行い、光照射(A)が行われている期間の反射光を検出し、光の遅延時間に依存する検出信号の電圧 $S_1$ を取得した後、光源から被検出物に対して一定時間 $T$ の光照射(B)を2回行い、光照射(B)終了後の期間の反射光を検出し、

50

光の遅延時間に依存する検出信号の電圧 S 2 を取得する。

**【 0 1 4 4 】**

具体的には、時刻 T 2 ~ 時刻 T 4 (一定時間 T ) の間に、1回目の光照射 (A) 及び1回目の反射光検出 (A) を行い、時刻 T 6 ~ 時刻 T 8 (一定時間 T ) の間に、2回目の光照射 (A) 及び2回目の反射光検出 (A) を行い、時刻 T 10 ~ 時刻 T 11 の間に、検出信号の電圧 S 1 を取得し、時刻 T 12 ~ 時刻 T 15 (一定時間 T ) の間に1回目の光照射 (B) を行い、時刻 T 15 ~ 時刻 T 17 の間に1回目の反射光検出 (B) を行い、時刻 T 18 ~ 時刻 T 20 (一定時間 T ) の間に2回目の光照射 (B) を行い、時刻 T 20 ~ 時刻 T 22 の間に2回目の反射光検出 (B) を行い、時刻 T 23 ~ 時刻 T 24 の間に、検出信号の電圧 S 2 を取得する。ただし、光照射 (A) (B) 及び反射光検出 (A) (B) の回数は2回に限られず、3回以上行ってもよい。

10

**【 0 1 4 5 】**

複数回の光照射 (A) (B) において、照射期間の長さは等しい (一定時間 T である)。また、1回の照射光の照射期間と1回の反射光の照射期間の長さは等しい (一定時間 T である)。

**【 0 1 4 6 】**

複数回の光照射 (A) (B) において、光源と被検出物との距離は変わらないものとする。つまり、照射光が光源から発せられた時刻から、該照射光が被検出物で反射された後に、フォトセンサに反射光が入射する時刻までの期間である、時刻 T 2 から時刻 T 3 までの期間、時刻 T 6 から時刻 T 7 までの期間、時刻 T 12 から時刻 T 13 までの期間、及び時刻 T 18 から時刻 T 19 までの期間は、長さが等しい (遅延時間 t とする)。

20

**【 0 1 4 7 】**

なお、反射光検出 (A) は、フォトセンサに反射光が入射する前に開始する。また、反射光検出 (A) は、光照射 (A) の終了と同時に終了する。そして、反射光検出 (B) は、光照射 (B) の終了と同時に開始する。また、反射光検出 (B) は、フォトダイオード 102への反射光の照射の終了より後に終了する。このように、反射光検出 (A) 及び反射光検出 (B) のタイミングが決定されるように、リセット信号線 P R 及び蓄積信号線 T X の電位を制御する。

**【 0 1 4 8 】**

(時刻 T 1 ~ 時刻 T 11 : 検出信号の電圧 S 1 の取得 )

30

時刻 T 1 ~ 時刻 T 11 において、実施の形態 1 における距離測定方法 1 (時刻 T 1 ~ 時刻 T 11 ) と同様の方法で検出信号の電圧 S 1 を取得する。詳細は、実施の形態 1 を参照できる。

**【 0 1 4 9 】**

(時刻 T 12 ~ 時刻 T 24 : 検出信号の電圧 S 2 の取得 )

時刻 T 12 ~ 時刻 T 24 において、実施の形態 1 における距離測定方法 2 (時刻 T 1 ~ 時刻 T 13 ) と同様の方法で検出信号の電圧 S 2 を取得する。詳細は、実施の形態 1 を参照できる。

**【 0 1 5 0 】**

ここで、距離測定方法 3 において、検出信号の電圧 S 1 及び検出信号の電圧 S 2 を取得する順に限定は無く、時刻 T 1 ~ 時刻 T 13 において、距離測定方法 2 と同様の方法で検出信号の電圧 S 2 を取得した後、時刻 T 14 ~ 時刻 T 24 において、距離測定方法 1 と同様の方法で検出信号の電圧 S 1 を取得してもよい。

40

**【 0 1 5 1 】**

なお、本実施の形態においては、一例として、光照射 (A) が行われ、かつ、フォトダイオード 102 に反射光が照射されている期間 (時刻 T 3 ~ 時刻 T 4 や、時刻 T 7 ~ 時刻 T 8 、言い換えると、時間 (T - t ) ) に比べて、光照射 (B) の終了以後、かつ、フォトダイオード 102 に反射光が照射されている期間 (時刻 T 15 ~ 時刻 T 16 や、時刻 T 20 ~ 時刻 T 21 、言い換えると、時間 t ) が短い場合を示している。そのため、時間 (T - t ) の間の電荷保持ノード F D の電位変化に比べて、時間 t の間の電荷保持ノ

50

ード F D の電位変化は小さい。また、時刻 T 2 4 におけるフォトセンサ出力信号線 R O の電位は、時刻 T 1 1 におけるフォトセンサ出力信号線 R O の電位に比べて低い。

#### 【 0 1 5 2 】

次に、本発明の一態様の距離測定システムにおける、T O F 方式を適用した距離測定方法について説明する。反射光検出期間 ( A ) ( B ) から取得した光の遅延時間に依存する検出信号の電圧 S 1 及び検出信号の電圧 S 2 を用いて、本発明の一態様の距離測定装置（又は距離測定システム）から被検出物までの距離を測定する方法について示す。

#### 【 0 1 5 3 】

実施の形態 1 に示した通り、検出信号の電圧 S 1 は、光照射及び反射光検出を行った回数 n 、定数 k 、一定時間 T 、及び遅延時間 t を用いて、数式 ( 3 - 1 ) で表すことができ、検出信号の電圧 S 2 は、光照射及び反射光検出を行った回数 n 、定数 k 、及び遅延時間 t を用いて、数式 ( 3 - 2 ) で表すことができる。また、光源（距離測定装置、距離測定システム）から被検出物までの距離 x は、光速 c 及び遅延時間 t を用いて、数式 ( 3 - 3 ) で表すことができる。この 3 式より、該距離 x は、検出信号の電圧 S 1 及び検出信号の電圧 S 2 を用いた数式 ( 3 - 4 ) で表すことができる。

#### 【 0 1 5 4 】

##### 【 数 8 】

$$S1 = n \times k \times (T - \Delta t) \cdots (3-1)$$

$$S2 = n \times k \times \Delta t \cdots (3-2)$$

$$x = \frac{c \times \Delta t}{2} \cdots (3-3)$$

$$x = \frac{c \times T \times S2}{2 \times (S1 + S2)} \cdots (3-4)$$

#### 【 0 1 5 5 】

なお、光照射及び反射光検出を行った回数 n は、2 以上の自然数であり、本実施の形態では一例として n = 2 とした。また、定数 k には、数式 ( 1 - 1 ) の説明の際に挙げた情報と同様の情報が含まれる。本実施の形態の距離測定方法では、数式 ( 3 - 4 ) に示す通り、定数 k の値がわからなくても、距離 x を求めることができる。

#### 【 0 1 5 6 】

また、時刻 T 1 より前、又は時刻 T 2 4 より後の、光照射が行われず、かつ反射光が照射されていない期間に、フォトセンサ 1 0 0 によって光の検出を行い、検出信号の電圧 S 0 を得てもよい。検出信号の電圧 S 1 及び検出信号の電圧 S 2 のそれぞれから検出信号の電圧 S 0 を差し引いた値である検出信号の電圧 S 1 ' 及び検出信号の電圧 S 2 ' を、数式 ( 3 - 4 ) において検出信号の電圧 S 1 及び検出信号の電圧 S 2 の代わりに用いることで、外光の影響を取り除き、高い精度の距離測定を行うことができる。

#### 【 0 1 5 7 】

以上のように、本発明の一態様の距離測定装置を用いることで、高精度の距離測定を行うことができる。また、高精度の距離測定を行う距離測定システムを実現することができる。

#### 【 0 1 5 8 】

##### （実施の形態 3 ）

本実施の形態では、本発明の一態様の距離測定装置（又は距離測定システム）と、該距離測定装置（又は距離測定システム）を用いた距離測定方法について、図 6 及び図 7 を用いて説明する。本発明の一態様の距離測定装置（又は距離測定システム）は T O F 方式を用いて距離を測定することができる。

#### 【 0 1 5 9 】

10

20

30

40

50

本発明の一態様の距離測定装置は、第1の受光素子、第1のトランジスタ、及び第2のトランジスタを有する第1のフォトセンサと、第2の受光素子、第3のトランジスタ、及び第4のトランジスタを有し、第1のフォトセンサと隣接する第2のフォトセンサと、第1の配線及び第2の配線と、第1の信号線及び第2の信号線と、第1の電源線及び第2の電源線とを備える。特に、第1の受光素子と第2の受光素子とが隣接することが好ましい。

#### 【 0 1 6 0 】

第1の配線は、第1の受光素子の一方の電極と電気的に接続し、第1の信号線は、第1のトランジスタのゲート電極と電気的に接続し、第1の電源線は、第2のトランジスタのソース電極又はドレイン電極の一方と電気的に接続し、第1のトランジスタでは、ソース電極又はドレイン電極の一方が第2のトランジスタのゲート電極と電気的に接続し、他方が第1の受光素子の他方の電極、及び第2のトランジスタのソース電極又はドレイン電極の他方と電気的に接続し、第2の配線は、第2の受光素子の一方の電極と電気的に接続し、第2の信号線は、第3のトランジスタのゲート電極と電気的に接続し、第2の電源線は、第4のトランジスタのソース電極又はドレイン電極の一方と電気的に接続し、第3のトランジスタでは、ソース電極又はドレイン電極の一方が第4のトランジスタのゲート電極と電気的に接続し、他方が第2の受光素子の他方の電極、及び第4のトランジスタのソース電極又はドレイン電極の他方と電気的に接続する。

#### 【 0 1 6 1 】

本発明の一態様では、光源が、被検出物に対して一定時間の光照射を複数回（n回、nは2以上の自然数）行い、第1のフォトセンサが、該光照射が行われる期間における反射光（具体的には、該光源から照射された光が該被検出物で反射されることで生じる光）の検出を同じ回数行い、第1のフォトセンサと隣接する第2のフォトセンサが、該光照射終了後の期間における反射光の検出を同じ回数行う。このとき、第1のフォトセンサと第2のフォトセンサは、実質的に被検出物の同一点における反射光を検出する。光照射及び反射光の検出を複数回行うことで、距離に応じた検出信号を高精度で得られるため、より正確な距離を算出することができる。

#### 【 0 1 6 2 】

実施の形態1で説明した距離測定方法を用いて、光源（距離測定装置、距離測定システム）から被検出物までの距離を知るために、予め定数kを求めておく必要があった。一方、本実施の形態で示す距離測定方法によれば、定数kがわからない場合でも、距離を求めることができる。

#### 【 0 1 6 3 】

実施の形態2で説明した距離測定方法では、1回の光照射を利用して、該光照射が行われる期間又は該光照射終了後の期間のどちらか一方における反射光の検出を行った。また、光照射（A）（B）において、光源と被検出物との距離は変わらないものとする必要があった。一方、本実施の形態で示す距離測定方法は、隣接する2つのフォトセンサを用いることで、1回の光照射を利用して、該光照射が行われる期間及び該光照射終了後の期間の双方における反射光の検出を行うことができる。したがって、実施の形態2で説明した距離測定方法に比べて短時間で被検出物の距離を測定することができる。したがって、例えば、被検出物が移動体の場合であっても、位置検出精度の低下を抑制することができる。

#### 【 0 1 6 4 】

また、本発明の一態様の距離測定装置が備えるフォトセンサは、受光素子において反射光を検出する。受光素子には、光源により光照射が行われる期間及び該光照射終了後の期間の双方において、該反射光が照射されている。検出を行わない期間に照射された反射光によって受光素子の他方の電極の電位に変化が生じると、反射光の検出の精度が低下する場合がある。しかし、該フォトセンサは、反射光の検出を行わない期間における受光素子の他方の電極の電位変化を抑制するトランジスタを備える。これにより、高精度の距離測定が可能な距離測定装置（又は距離測定システム）を提供することができる。

#### 【 0 1 6 5 】

< フォトセンサの構成 >

10

20

30

40

50

図6に本発明の一態様の距離測定装置が備える第1のフォトセンサ100\_1及び第2のフォトセンサ100\_2の回路図を示す。

【0166】

図6に示す第1のフォトセンサ100\_1は、フォトダイオード102\_1、トランジスタ103\_1、トランジスタ104\_1、トランジスタ105\_1、及びトランジスタ109\_1を有する。

【0167】

フォトダイオード102\_1では、一方の電極がリセット信号線PR\_1と電気的に接続し、他方の電極がトランジスタ103\_1のソース電極又はドレイン電極の他方、及びトランジスタ109\_1のソース電極又はドレイン電極の他方と電気的に接続している。本明細書等では、フォトダイオード102\_1の他方の電極、トランジスタ103\_1のソース電極又はドレイン電極の他方、及びトランジスタ109\_1のソース電極又はドレイン電極の他方が構成するノードをノード107\_1と記す。

10

【0168】

トランジスタ103\_1では、ゲート電極が蓄積信号線TX\_1と電気的に接続し、ソース電極又はドレイン電極の一方がトランジスタ104\_1のゲート電極、及びトランジスタ109\_1のゲート電極と電気的に接続している。本明細書等では、トランジスタ103\_1のソース電極又はドレイン電極の一方、トランジスタ104\_1のゲート電極、及びトランジスタ109\_1のゲート電極が構成するノードを、電荷保持ノードFD\_1と記す。

20

【0169】

トランジスタ104\_1では、ソース電極又はドレイン電極の一方がフォトセンサ基準信号線VSと電気的に接続し、他方がトランジスタ105\_1のソース電極又はドレイン電極の一方と電気的に接続している。

【0170】

トランジスタ105\_1では、ゲート電極が選択信号線SE\_1と電気的に接続し、ソース電極又はドレイン電極の他方がフォトセンサ出力信号線RO\_1と電気的に接続している。

30

【0171】

トランジスタ109\_1では、ソース電極又はドレイン電極の一方が電源線VHと電気的に接続している。

【0172】

図6に示す第2のフォトセンサ100\_2は、フォトダイオード102\_2、トランジスタ103\_2、トランジスタ104\_2、トランジスタ105\_2、及びトランジスタ109\_2を有する。

40

【0173】

フォトダイオード102\_2では、一方の電極がリセット信号線PR\_2と電気的に接続し、他方の電極がトランジスタ103\_2のソース電極又はドレイン電極の他方、及びトランジスタ109\_2のソース電極又はドレイン電極の他方と電気的に接続している。本明細書等では、フォトダイオード102\_2の他方の電極、トランジスタ103\_2のソース電極又はドレイン電極の他方、及びトランジスタ109\_2のソース電極又はドレイン電極の他方が構成するノードをノード107\_2と記す。

【0174】

トランジスタ103\_2では、ゲート電極が蓄積信号線TX\_2と電気的に接続し、ソース電極又はドレイン電極の一方がトランジスタ104\_2のゲート電極、及びトランジスタ109\_2のゲート電極と電気的に接続している。本明細書等では、トランジスタ103\_2のソース電極又はドレイン電極の一方、トランジスタ104\_2のゲート電極、及びトランジスタ109\_2のゲート電極が構成するノードを、電荷保持ノードFD\_2と記す。

【0175】

50

トランジスタ 104\_2 では、ソース電極又はドレイン電極の一方がフォトセンサ基準信号線 V\_S と電気的に接続し、他方がトランジスタ 105\_2 のソース電極又はドレイン電極の一方と電気的に接続している。

#### 【0176】

トランジスタ 105\_2 では、ゲート電極が選択信号線 S\_E\_2 と電気的に接続し、ソース電極又はドレイン電極の他方がフォトセンサ出力信号線 R\_O\_2 と電気的に接続している。

#### 【0177】

トランジスタ 109\_2 では、ソース電極又はドレイン電極の一方が電源線 V\_H と電気的に接続している。

10

#### 【0178】

なお、図 6 に示す第 1 のフォトセンサ 100\_1、及び第 2 のフォトセンサ 100\_2 は、図 1 (B) に示すフォトセンサ 100 と同様の構成としたが、この構成に限られず、例えば、図 2 (A) に示すフォトセンサ 130 と同様の構成とすることができます。

#### 【0179】

##### <距離測定方法>

本発明の一態様の距離測定システムを用いた距離測定方法について説明する。以下では、隣接する第 1 のフォトセンサ 100\_1 及び第 2 のフォトセンサ 100\_2 (図 6 参照) と、光源とを有する距離測定装置を用いた距離測定方法について説明する。

20

#### 【0180】

##### [距離測定方法 4]

図 7 に、照射光 151、反射光 152、第 1 のフォトセンサ 100\_1、及び第 2 のフォトセンサ 100\_2 のタイミングチャートの一例を示す。

#### 【0181】

距離測定方法 4 において、本発明の一態様の距離測定装置では、光源から被検出物に対して一定時間 T の光照射を 2 回行い、第 1 のフォトセンサ 100\_1 が、該光照射が行われている期間の反射光を検出し、光の遅延時間に依存する検出信号の電圧 S\_1 を取得し、かつ、第 2 のフォトセンサ 100\_2 が、該光照射終了後の期間の反射光を検出し、光の遅延時間に依存する検出信号の電圧 S\_2 を取得する。

30

#### 【0182】

具体的には、時刻 T\_2 ~ 時刻 T\_5 (一定時間 T) の間に、1 回目の光照射及び第 1 のフォトセンサ 100\_1 による 1 回目の反射光検出 (A) を行い、時刻 T\_5 ~ 時刻 T\_7 の間に、第 2 のフォトセンサ 100\_2 による 1 回目の反射光検出 (B) を行い、時刻 T\_8 ~ 時刻 T\_10 (一定時間 T) の間に、2 回目の光照射及び第 1 のフォトセンサ 100\_1 による 2 回目の反射光検出 (A) を行い、時刻 T\_10 ~ 時刻 T\_12 の間に第 2 のフォトセンサ 100\_2 による 2 回目の反射光検出 (B) を行い、時刻 T\_13 ~ 時刻 T\_14 の間に、検出信号の電圧 S\_1 を取得し、時刻 T\_14 ~ 時刻 T\_15 の間に、検出信号の電圧 S\_2 を取得する。ただし、光照射及び反射光検出 (A) (B) の回数は 2 回に限られず、3 回以上行ってもよい。

30

#### 【0183】

複数回の光照射において、照射期間の長さは等しい (一定時間 T である)。また、1 回の照射光の照射期間と 1 回の反射光の照射期間の長さは等しい (一定時間 T である)。

40

#### 【0184】

本実施の形態では、複数回の光照射において、光源と被検出物との距離は変わらないものとする。つまり、照射光が光源から発せられた時刻から、該照射光が被検出物で反射された後、フォトセンサに反射光が入射する時刻までの期間である、時刻 T\_2 から時刻 T\_3 までの期間、及び時刻 T\_8 から時刻 T\_9 までの期間は、長さが等しい (遅延時間 t とする)。ただし、本実施の形態で説明する距離測定方法 4 を適用することで、本発明の一態様の距離測定装置は、短時間で被検出物の距離を測定することができるため、複数回の光照射において、光源と被検出物との距離が変化する場合 (例えば、被検出物が移動体である

50

場合)でも、位置検出精度の低下が抑制できる。

#### 【0185】

なお、反射光検出(A)は、少なくとも、フォトセンサに反射光が入射する前に開始する。また、反射光検出(A)は、光照射の終了と同時に終了する。そして、反射光検出(B)は、光照射の終了と同時に開始する。また、反射光検出(B)は、フォトセンサへの反射光の照射の終了より後に終了する。このように、反射光検出(A)及び反射光検出(B)のタイミングが決定されるように、リセット信号線PR\_1、リセット信号線PR\_2、蓄積信号線TX\_1、及び蓄積信号線TX\_2の電位を制御する。

#### 【0186】

(時刻T1～時刻T2：第1のフォトセンサ100\_1のリセット動作)

10

時刻T1において、リセット信号線PR\_1の電位を、電位LPRから電位HPRに変化させ、かつ蓄積信号線TX\_1の電位を、電位LTXから電位HTXに変化させることで、フォトダイオード102\_1及びトランジスタ103\_1が導通する。電荷保持ノードFD\_1には、リセット信号線PR\_1の電位HPRが与えられるため、電荷保持ノードFD\_1に保持されている電荷はリセットされ、初期状態となる電荷量が保持される。なお、時刻T1において、選択信号線SE\_1には電位LSEが与えられており、リセット信号線PR\_2には電位LPRが与えられており、蓄積信号線TX\_2には、電位LTXが与えられており、選択信号線SE\_2には電位LSEが与えられている。

#### 【0187】

(時刻T2～時刻T5：1回目の光照射及び1回目の反射光検出(A))

20

時刻T2において、光源から被検出物に対して光の照射を開始し、かつリセット信号線PR\_1の電位を、電位HPRから電位LPRに変化させる。ここで、蓄積信号線TX\_1の電位は、電位HTXのまま維持するため、リセット信号線PR\_1の電位が電位LPRになると、フォトダイオード102\_1に逆方向バイアスの電圧が印加される。

#### 【0188】

時刻T3において、光源からの照射光が被検出物で反射され、反射光が本発明の一態様の距離測定装置に入射し始める。逆方向バイアスの電圧が印加された状態のフォトダイオード102\_1に反射光が照射されることで、フォトダイオード102\_1の陰極から陽極に向かって電流が流れ、電荷保持ノードFD\_1の電位が低下する。

#### 【0189】

30

(時刻T4～時刻T5：第2のフォトセンサ100\_2のリセット動作)

時刻T4において、リセット信号線PR\_2の電位を、電位LPRから電位HPRに変化させ、かつ蓄積信号線TX\_2の電位を、電位LTXから電位HTXに変化させることで、フォトダイオード102\_2及びトランジスタ103\_2が導通する。電荷保持ノードFD\_2には、リセット信号線PR\_2の電位HPRが与えられるため、電荷保持ノードFD\_2に保持されている電荷はリセットされ、初期状態となる電荷量が保持される。

#### 【0190】

(時刻T5～時刻T7：1回目の反射光検出(B))

時刻T5において、光の照射を終了する。第1のフォトセンサ100\_1においては、蓄積信号線TX\_1の電位を、電位HTXから電位LTXに変化させる。蓄積信号線TX\_1の電位が電位LTXになることで、トランジスタ103\_1は非導通状態になる。よって、電荷保持ノードFD\_1からフォトダイオード102\_1への電荷の移動が止まるため、電荷保持ノードFD\_1の電位が定まる。また、第2のフォトセンサ100\_2においては、リセット信号線PR\_2の電位を、電位HPRから電位LPRに変化させる。ここで、蓄積信号線TX\_2の電位は、電位HTXのまま維持するため、リセット信号線PR\_2の電位が電位LPRになると、フォトダイオード102\_2に逆方向バイアスの電圧が印加される。逆方向バイアスの電圧が印加された状態のフォトダイオード102\_2に反射光が照射されることで、フォトダイオード102\_2の陰極から陽極に向かって電流が流れ、電荷保持ノードFDの電位が低下する。

#### 【0191】

40

50

時刻 T 6において、フォトダイオード 102\_2への反射光の入射が終了し、電荷保持ノード FD\_2からフォトダイオード 102\_2への電荷の移動が止まり、電荷保持ノード FD\_2の電位が定まる。

#### 【0192】

ここで、時刻 T 5～時刻 T 6の間、トランジスタ 103\_1が非導通状態であるため、電荷保持ノード FD\_1の電位は一定であるが、フォトダイオード 102\_1には反射光が照射されているため、ノード 107\_1の電位は低下してしまう（図 7に示すノード 107\_1のパルスの点線参照）。ノード 107\_1と電荷保持ノード FD\_1に電位差が生じると、次にトランジスタ 103\_1が導通状態になる時刻 T 8において、ノード 107\_1と電荷保持ノード FD\_1の電位が等しくなるよう、電荷保持ノード FD\_1の電位が低下し、ノード 107\_1の電位が上昇する（図 7に示すノード 107\_1及び電荷保持ノード FD\_1のパルスの点線参照）。電位変化が大きいと、1回目の反射光検出（A）の間にフォトダイオード 102\_1で生成した光電流に対応した電位を、電荷保持ノード FD\_1が正確に保持できることになる。これにより、距離測定装置や、該距離測定装置を用いた距離測定システムにおいて正確な距離測定が困難となる（位置検出精度が低下してしまう）。

10

#### 【0193】

しかし、本発明の一態様の距離測定装置は、トランジスタ 109\_1を備える。トランジスタ 109\_1は、トランジスタ 103\_1が非導通状態のときに、ゲート電極と、ソース電極又はドレイン電極の他方との電位差を閾値電圧より小さい値に保つ。トランジスタ 109\_1のゲート電極の電位は、電荷保持ノード FD\_1の電位と等しく、トランジスタ 109\_1のソース電極又はドレイン電極の他方の電位は、ノード 107\_1の電位と等しい。したがって、ノード 107\_1の電位が低下し、ノード 107\_1と電荷保持ノード FD\_1との電位差が大きくなることを抑制することができる。これにより、本発明の一態様の距離測定装置は、位置検出精度が低下することを抑制でき、高精度の距離測定が可能となる。

20

#### 【0194】

時刻 T 7において、蓄積信号線 TX\_2の電位を、電位 HTX から電位 LTX に変化させる。蓄積信号線 TX\_2の電位が電位 LTX になることで、トランジスタ 103\_2は非導通状態になる。

30

#### 【0195】

（時刻 T 8～時刻 T 10：2回目の光照射及び2回目の反射光検出（A））

時刻 T 8において、光源から被検出物に対して光の照射を開始し、かつ蓄積信号線 TX\_1の電位を、電位 LTX から電位 HTX に変化させる。

#### 【0196】

時刻 T 9において、光源からの照射光が被検出物で反射され、反射光が本発明の一態様の距離測定装置に入射し始める。フォトダイオード 102\_1に反射光が照射されることで、フォトダイオード 102\_1の陰極から陽極に向かって電流が流れ、電荷保持ノード FD\_1の電位が低下する。

40

#### 【0197】

ここで、時刻 T 9～時刻 T 10の間、トランジスタ 103\_2が非導通状態であるため、電荷保持ノード FD\_2の電位は一定であるが、フォトダイオード 102\_2には反射光が照射されているため、ノード 107\_2の電位は低下してしまう（図 7に示すノード 107\_2のパルスの点線参照）。ノード 107\_2と電荷保持ノード FD\_2に電位差が生じると、次にトランジスタ 103\_2が導通状態になる時刻 T 10において、ノード 107\_2と電荷保持ノード FD\_2の電位が等しくなるよう、電荷保持ノード FD\_2の電位が低下し、ノード 107\_2の電位が上昇する（図 7に示すノード 107\_2及び電荷保持ノード FD\_2のパルスの点線参照）。電位変化が大きいと、1回目の反射光検出（B）の間にフォトダイオード 102\_2で生成した光電流に対応した電位を、電荷保持ノード FD\_2が正確に保持できることになる。これにより、距離測定装置や、該距離

50

測定装置を用いた距離測定システムにおいて正確な距離測定が困難となる（位置検出精度が低下してしまう）。

#### 【0198】

しかし、本発明の一態様の距離測定装置は、トランジスタ109\_2を備える。トランジスタ109\_2は、トランジスタ103\_2が非導通状態のときに、ゲート電極と、ソース電極又はドレイン電極の他方との電位差を閾値電圧より小さい値に保つ。トランジスタ109\_2のゲート電極の電位は、電荷保持ノードFD\_2の電位と等しく、トランジスタ109\_2のソース電極又はドレイン電極の他方の電位は、ノード107\_2の電位と等しい。したがって、ノード107\_2の電位が低下し、ノード107\_2と電荷保持ノードFD\_2との電位差が大きくなることを抑制することができる。これにより、本発明の一態様の距離測定装置は、反射光検出期間以外における光の影響を除去することができる、位置検出精度が低下することを抑制でき、高精度の距離測定が可能となる。10

#### 【0199】

（時刻T10～時刻T12：2回目の反射光検出（B））

時刻T10において、光の照射を終了する。第1のフォトセンサ100\_1においては、蓄積信号線TX\_1の電位を、電位HTXから電位LTXに変化させる。蓄積信号線TX\_1の電位が電位LTXになることで、トランジスタ103\_1は非導通状態になる。よって、電荷保持ノードFD\_1からフォトダイオード102\_1への電荷の移動が止まるため、電荷保持ノードFD\_1の電位が定まる。第2のフォトセンサ100\_2においては、蓄積信号線TX\_2の電位を、電位LTXから電位HTXに変化させる。逆方向バイアスの電圧が印加された状態のフォトダイオード102\_2に反射光が照射されることで、フォトダイオード102\_2の陰極から陽極に向かって電流が流れ、電荷保持ノードFD\_2の電位が低下する。20

#### 【0200】

なお、電荷保持ノードFD\_1の電位は、時刻T10以降は一定となる。時刻T10での電荷保持ノードFD\_1の電位は、1回目及び2回目の反射光検出（A）（時刻T2～時刻T5及び時刻T8～時刻T10を指し、以下、反射光検出期間（A）と記す）で、フォトダイオード102\_1が生成した光電流に依存する。また、時刻T10での電荷保持ノードFD\_1の電位に応じて、第1のフォトセンサ100\_1の出力信号が決定する。

#### 【0201】

時刻T11において、フォトダイオード102\_2への反射光の入射が終了し、電荷保持ノードFD\_2からフォトダイオード102\_2への電荷の移動が止まり、電荷保持ノードFD\_2の電位が定まる。30

#### 【0202】

時刻T12において、蓄積信号線TX\_2の電位を、電位HTXから電位LTXに変化させる。蓄積信号線TX\_2の電位が電位LTXになることで、トランジスタ103\_2は非導通状態になる。

#### 【0203】

なお、電荷保持ノードFD\_2の電位は、時刻T12以降は一定となる。時刻T12での電荷保持ノードFD\_2の電位は、1回目及び2回目の反射光検出（B）（時刻T5～時刻T7及び時刻T10～時刻T12を指し、以下、反射光検出期間（B）と記す）に、フォトダイオード102\_2が生成した光電流に依存する。また、時刻T12での電荷保持ノードFD\_2の電位に応じて、第2のフォトセンサ100\_2の出力信号が決定する。40

#### 【0204】

（時刻T13～時刻T14：第1のフォトセンサ100\_1における読み出し動作）

時刻T13において、選択信号線SE\_1の電位を電位LSEから電位HSEに変化させ、トランジスタ105\_1を導通させる。これにより、フォトセンサ基準信号線VSとフォトセンサ出力信号線RO\_1が、トランジスタ104\_1及びトランジスタ105\_1を介して導通する。すると、電荷保持ノードFD\_1の電位に応じた速度で、フォトセンサ出力信号線RO\_1の電位がフォトセンサ基準信号線VSの電位に近づく。なお、予め

10

20

30

40

50

、時刻 T 1 3 以前に、フォトセンサ出力信号線 R O \_ 1 の電位をハイレベルの電位 H R O としておく。

**【 0 2 0 5 】**

時刻 T 1 4 において、選択信号線 S E \_ 1 の電位を電位 H S E から電位 L S E に変化させると、トランジスタ 1 0 5 \_ 1 が非導通状態となり、フォトセンサ出力信号線 R O \_ 1 の電位が決定する。

**【 0 2 0 6 】**

時刻 T 1 4 におけるフォトセンサ出力信号線 R O \_ 1 の電位は、時刻 T 1 3 ~ 時刻 T 1 4 におけるフォトセンサ出力信号線 R O \_ 1 の電位変化の速度に依存する。フォトセンサ出力信号線 R O \_ 1 の電位変化の速度は、トランジスタ 1 0 4 \_ 1 のソース電極及びドレン電極の間の電流に依存する。即ち、反射光検出期間 ( A ) にフォトダイオード 1 0 2 \_ 1 に照射される反射光の強度及び照射時間に依存する。10

**【 0 2 0 7 】**

したがって、時刻 T 1 4 におけるフォトセンサ出力信号線 R O \_ 1 の電位を取得することで、反射光検出期間 ( A ) にフォトダイオード 1 0 2 \_ 1 に照射された反射光の量 ( 反射光の強度の時間積 ) を検出信号の電圧 S 1 として得ることができる。

**【 0 2 0 8 】**

( 時刻 T 1 4 ~ 時刻 T 1 5 : 第 2 のフォトセンサ 1 0 0 \_ 2 における読み出し動作 )

時刻 T 1 4 において、選択信号線 S E \_ 2 の電位を電位 L S E から電位 H S E に変化させ、トランジスタ 1 0 5 \_ 2 を導通させる。これにより、フォトセンサ基準信号線 V S とフォトセンサ出力信号線 R O \_ 2 が、トランジスタ 1 0 4 \_ 2 及びトランジスタ 1 0 5 \_ 2 を介して導通する。すると、電荷保持ノード F D \_ 2 の電位に応じて、フォトセンサ基準信号線 V S からフォトセンサ出力信号線 R O \_ 2 に信号が出力される。なお、予め、時刻 T 1 4 以前に、フォトセンサ出力信号線 R O \_ 2 の電位をハイレベルの電位 H R O としておく。20

**【 0 2 0 9 】**

時刻 T 1 5 において、選択信号線 S E \_ 2 の電位を電位 H S E から電位 L S E に変化させると、トランジスタ 1 0 5 \_ 2 が非導通状態となり、フォトセンサ基準信号線 V S からフォトセンサ出力信号線 R O \_ 2 への電荷の移動が停止し、フォトセンサ出力信号線 R O \_ 2 の電位が決定する。30

**【 0 2 1 0 】**

時刻 T 1 5 におけるフォトセンサ出力信号線 R O \_ 2 の電位は、時刻 T 1 4 ~ 時刻 T 1 5 におけるフォトセンサ出力信号線 R O \_ 2 の電位変化の速度に依存する。フォトセンサ出力信号線 R O \_ 2 の電位変化の速度は、トランジスタ 1 0 4 \_ 2 のソース電極及びドレン電極の間の電流に依存する。即ち、反射光検出期間 ( B ) にフォトダイオード 1 0 2 \_ 2 に照射される反射光の強度及び照射時間に依存する。

**【 0 2 1 1 】**

したがって、時刻 T 1 5 におけるフォトセンサ出力信号線 R O \_ 2 の電位を取得することで、反射光検出期間 ( B ) にフォトダイオード 1 0 2 \_ 2 に照射された反射光の量 ( 反射光の強度の時間積 ) を検出信号の電圧 S 2 として得ることができる。40

**【 0 2 1 2 】**

なお、本実施の形態においては、一例として、光照射が行われ、かつ、フォトダイオード 1 0 2 \_ 1 に反射光が照射されている期間 ( 時刻 T 3 ~ 時刻 T 5 や、時刻 T 9 ~ 時刻 T 1 0 、言い換えると、時間 ( T - t ) ) に比べて、光照射の終了以後、かつ、フォトダイオード 1 0 2 \_ 2 に反射光が照射されている期間 ( 時刻 T 5 ~ 時刻 T 6 や、時刻 T 1 0 ~ 時刻 T 1 1 、言い換えると、時間 t ) が短い場合を示している。そのため、時間 ( T - t ) の間の電荷保持ノード F D \_ 1 の電位変化に比べて、時間 t の間の電荷保持ノード F D \_ 2 の電位変化は小さい。また、時刻 T 1 5 におけるフォトセンサ出力信号線 R O \_ 2 の電位は、時刻 T 1 4 におけるフォトセンサ出力信号線 R O \_ 1 の電位に比べて低い。50

**【 0 2 1 3 】**

次に、反射光検出期間（A）（B）から取得した光の遅延時間に依存する検出信号の電圧S1及び検出信号の電圧S2を用いて、本発明の一態様の距離測定装置（又は距離測定システム）から被検出物までの距離を求める。距離を求める方法としては、実施の形態2と同様の方法を用いることができる。

**【 0 2 1 4 】**

以上のように、本発明の一態様の距離測定装置を用いることで、高精度の距離測定を行うことができる。また、高精度の距離測定を行う距離測定システムを実現することができる。

**【 0 2 1 5 】****（実施の形態4）**

本実施の形態では、本発明の一態様の距離測定装置（又は距離測定システム）と、該距離測定装置（又は距離測定システム）を用いた距離測定方法について、図8及び図9を用いて説明する。本発明の一態様の距離測定装置（又は距離測定システム）は、TOF方式を用いて距離を測定することができる。

**【 0 2 1 6 】**

本発明の一態様は、実施の形態1に示したフォトセンサ（第1の受光素子を有する第1のフォトセンサとも記す）と重畠する、受光素子を有するフォトセンサ（第2の受光素子を有する第2のフォトセンサとも記す）を備える距離測定装置である。2以上のフォトセンサを重畠して備えることで、フォトセンサが占める面積の縮小を図ることができる。

10

**【 0 2 1 7 】**

特に、第1の受光素子と第2の受光素子とが重畠し、第1の受光素子が、第1の波長域の光を吸収し、第2の受光素子が、第2の波長域の光を吸収し、第1の受光素子及び第2の受光素子のうち被検出物からの距離が短い一方の受光素子は、他方の受光素子が吸収する波長域の光の少なくとも一部を透過することが好ましい。

20

**【 0 2 1 8 】**

例えば、第1の受光素子より第2の受光素子が被検出物に近く、第1の受光素子が、反射光に含まれる赤外光を検出（吸収）し、第2の受光素子が、該反射光に含まれる可視光を検出（吸収）し、赤外光を透過する態様が挙げられる。第2の受光素子が可視光を吸収することで、第1の受光素子に照射される赤外光以外の光（ノイズとなる光）が低減するため、第1のフォトセンサの検出精度を高めることができる。

30

**【 0 2 1 9 】**

本実施の形態では、第1の波長域の光を吸収する半導体層を含む第1の受光素子、第1のトランジスタ、及び第2のトランジスタを有する第1のフォトセンサと、第2の波長域の光を吸収する半導体層を含む第2の受光素子、及び第3のトランジスタを有する第2のフォトセンサと、第1の配線及び第2の配線と、第1の信号線及び第2の信号線と、電源線とを備える距離測定装置を例に挙げて説明する。

**【 0 2 2 0 】**

本実施の形態の距離測定装置において、少なくとも、第1のフォトセンサと第2のフォトセンサは重畠して設けられる。本実施の形態では、第1の受光素子と第2の受光素子は、重畠して設けられる。例えば、可視光を透過し、特定の波長域の光を吸収する半導体層を含む第1の受光素子が、可視光を吸収する半導体層を含む第2の受光素子と被検出物との間に設けられる構成や、特定の波長域の光を透過し、可視光を吸収する半導体層を含む第2の受光素子が、該特定の波長域の光を吸収する第1の受光素子と被検出物との間に設けられる構成とすればよい。このような構成とすることで、反射光（光源から照射された光が被検出物で反射されることで生じる光）に含まれる特定の波長域の光を第1の受光素子が検出すると同時に、該反射光に含まれる該特定の波長域以外の光を第2の受光素子が検出する。第1のフォトセンサを、距離測定と2次元情報取得の一方に用い、第2のフォトセンサを、距離測定と2次元情報取得の他方に用いることで、本発明の一態様の距離測定装置は、被検出物の距離測定と2次元情報の取得とを同時に行うことができる。

40

50

**【 0 2 2 1 】**

また、第1の配線は、第1の受光素子の一方の電極と電気的に接続し、第2の配線は、第2の受光素子の一方の電極と電気的に接続し、第1の信号線は、第1のトランジスタのゲート電極と電気的に接続し、第2の信号線は、第3のトランジスタのゲート電極と電気的に接続し、電源線は、第2のトランジスタのソース電極又はドレイン電極の一方と電気的に接続し、第1のトランジスタでは、ソース電極又はドレイン電極の一方が第2のトランジスタのゲート電極と電気的に接続し、他方が第1の受光素子の他方の電極、及び第2のトランジスタのソース電極又はドレイン電極の他方と電気的に接続し、第3のトランジスタでは、ソース電極又はドレイン電極の一方が第2の受光素子の他方の電極と電気的に接続する。

10

**【 0 2 2 2 】**

本発明の一態様では、光源が、被検出物に対して一定時間Tの光照射(A)を複数回(n回、nは2以上の自然数)行い、かつ、一定時間Tの光照射(B)を同じ回数行う。第1のフォトセンサは、光照射(A)が行われている期間の反射光を検出することで、光の遅延時間に依存する検出信号の電圧S1を取得し、かつ、光照射(B)終了後の期間の反射光を検出することで、光の遅延時間に依存する検出信号の電圧S2を取得する。光照射及び反射光の検出を複数回行うことで、距離に応じた検出信号を高精度で得られるため、より正確な距離を算出することができる。

**【 0 2 2 3 】**

本発明の一態様の距離測定装置において、第2のフォトセンサは、光照射(A)開始以後及び光照射(B)開始以後の期間における反射光の少なくとも一部、好ましくは全部を検出することで、被検出物の明るさ、色彩等、2次元の情報に応じた検出信号の電圧S3を取得する。

20

**【 0 2 2 4 】**

また、本発明の一態様の距離測定装置が備える第1のフォトセンサは、第1の受光素子において反射光を検出する。第1の受光素子には、光源により光照射が行われる期間及び該光照射終了後の期間の双方において、該反射光が照射されている。検出を行わない期間に照射された反射光によって第1の受光素子の他方の電極の電位に変化が生じると、反射光の検出の精度が低下する場合がある。しかし、第1のフォトセンサは、反射光の検出を行わない期間における第1の受光素子の他方の電極の電位変化を抑制する第2のトランジスタを備える。これにより、高精度の距離測定が可能な距離測定装置を提供することができる。

30

**【 0 2 2 5 】**

## &lt;フォトセンサの構成&gt;

図8(A)に本発明の一態様の距離測定装置が備える第1のフォトセンサ100A及び第2のフォトセンサ100Bの回路図を示す。第1のフォトセンサ100A及び第2のフォトセンサ100Bは少なくとも一部を重ねて設けられる。

**【 0 2 2 6 】**

また、図8(B)に示すように、フォトダイオード102A及びフォトダイオード102Bは、重ねて設けられる。具体的には、反射光が、フォトダイオード102Bに先に入射するように、被検出物とフォトダイオード102Aとの間に、フォトダイオード102Bが設けられている。2つのフォトダイオードを重ねて設けることで、装置におけるフォトセンサが占める面積を縮小することができる。したがって、装置の小型化や、画素の微細化等を図ることができる。

40

**【 0 2 2 7 】**

本実施の形態で示すフォトダイオード102Aは、赤外光を吸収する特性を有する。例えば、フォトダイオード102Aの半導体層は、多結晶シリコンや単結晶シリコン等を用いて形成することができる。つまり、第1のフォトセンサ100Aは、反射光に含まれる赤外光を利用して、被検出物の距離に応じた検出信号を取得する。

**【 0 2 2 8 】**

50

また、フォトダイオード 102B は、赤外光を透過し、可視光を吸収する特性を有する。例えば、フォトダイオード 102B の半導体層は、アモルファスシリコンや微結晶シリコン等を用いて形成することができる。つまり、第 2 のフォトセンサ 100B は、反射光に含まれる可視光を利用して、被検出物の 2 次元情報に応じた検出信号を取得する。

#### 【0229】

なお、2つのフォトダイオードの特性はこの組み合わせに限られない。双方を重ねて設けたときに、一方のフォトダイオードが反射光に含まれる第 1 の波長域の光を吸収し、他方のフォトダイオードが反射光に含まれる第 1 の波長域以外の特定の波長域の光を吸収する組み合わせであればよい。

#### 【0230】

図 8 (A) に示す第 1 のフォトセンサ 100A は、フォトダイオード 102A、トランジスタ 103A、トランジスタ 104A、トランジスタ 105A、及びトランジスタ 109A を有する。

#### 【0231】

フォトダイオード 102A では、一方の電極がリセット信号線 PR\_A と電気的に接続し、他方の電極がトランジスタ 103A のソース電極又はドレイン電極の他方、及びトランジスタ 109A のソース電極又はドレイン電極の他方と電気的に接続している。本明細書等では、フォトダイオード 102A の他方の電極、トランジスタ 103A のソース電極又はドレイン電極の他方、及びトランジスタ 109A のソース電極又はドレイン電極の他方が構成するノードをノード 107A と記す。

#### 【0232】

トランジスタ 103A では、ゲート電極が蓄積信号線 TX\_A と電気的に接続し、ソース電極又はドレイン電極の一方がトランジスタ 104A のゲート電極、及びトランジスタ 109A のゲート電極と電気的に接続している。本明細書等では、トランジスタ 103A のソース電極又はドレイン電極の一方、トランジスタ 104A のゲート電極、及びトランジスタ 109A のゲート電極が構成するノードを、電荷保持ノード FD\_A と記す。

#### 【0233】

トランジスタ 104A では、ソース電極又はドレイン電極の一方がフォトセンサ基準信号線 VS と電気的に接続し、他方がトランジスタ 105A のソース電極又はドレイン電極の一方と電気的に接続している。

#### 【0234】

トランジスタ 105A では、ゲート電極が選択信号線 SE\_A と電気的に接続し、ソース電極又はドレイン電極の他方がフォトセンサ出力信号線 RO\_A と電気的に接続している。

#### 【0235】

トランジスタ 109A では、ソース電極又はドレイン電極の一方が電源線 VH と電気的に接続している。

#### 【0236】

図 8 (A) に示す第 2 のフォトセンサ 100B は、フォトダイオード 102B、トランジスタ 103B、トランジスタ 104B、及びトランジスタ 105B を有する。

#### 【0237】

フォトダイオード 102B では、一方の電極がリセット信号線 PR\_B と電気的に接続し、他方の電極がトランジスタ 103B のソース電極又はドレイン電極の他方と電気的に接続している。

#### 【0238】

トランジスタ 103B では、ゲート電極が蓄積信号線 TX\_B と電気的に接続し、ソース電極又はドレイン電極の一方がトランジスタ 104B のゲート電極と電気的に接続している。

#### 【0239】

トランジスタ 104B では、ソース電極又はドレイン電極の一方がフォトセンサ基準信号

10

20

30

40

50

線 V S と電気的に接続し、他方がトランジスタ 105B のソース電極又はドレイン電極の一方と電気的に接続している。

#### 【 0 2 4 0 】

トランジスタ 105B では、ゲート電極が選択信号線 S E \_ B と電気的に接続し、ソース電極又はドレイン電極の他方がフォトセンサ出力信号線 R O \_ B と電気的に接続している。

#### 【 0 2 4 1 】

なお、図 8 に示す第 1 のフォトセンサ 100A は、図 1 ( B ) に示すフォトセンサ 100 と同様の構成としたが、この構成に限られず、例えば、図 2 ( A ) に示すフォトセンサ 130 と同様の構成とすることができる。また、第 2 のフォトセンサ 100B も、図 8 ( A ) に示す構成に限られず、2 次元情報の取得が可能な公知のフォトセンサの構成を適用することができる。

#### 【 0 2 4 2 】

##### < 距離測定方法 >

本発明の一態様の距離測定システムを用いた距離測定方法について説明する。以下では、第 1 のフォトセンサ 100A 及び第 2 のフォトセンサ 100B ( 図 8 参照 ) と、光源とを有する距離測定装置を用いた、2 次元情報の取得を同時に行う距離測定方法について説明する。

#### 【 0 2 4 3 】

##### [ 距離測定方法 5 : 2 次元情報の取得と同時に距離測定を行う方法 ]

図 9 に、照射光 151 、反射光 152 、第 1 のフォトセンサ 100A 、及び第 2 のフォトセンサ 100B のタイミングチャートの一例を示す。

#### 【 0 2 4 4 】

照射光 151 、反射光 152 、及び第 1 のフォトセンサ 100A のタイミングチャートは、距離測定方法 3 にて説明したタイミングチャートと等しい ( 図 5 参照 ) 。具体的には、照射光 151 、反射光 152 、リセット信号線 P R \_ A 、蓄積信号線 T X \_ A 、選択信号線 S E \_ A 、電荷保持ノード F D \_ A 、ノード 107A 、フォトセンサ出力信号線 R O \_ A のパルスは、それぞれ、図 5 における照射光 151 、反射光 152 、リセット信号線 P R 、蓄積信号線 T X 、選択信号線 S E 、電荷保持ノード F D 、ノード 107 、フォトセンサ出力信号線 R O のパルスと等しい。つまり、本実施の形態で示す第 1 のフォトセンサ 100A における距離測定方法は、実施の形態 2 にて説明した距離測定方法 3 を参照することができる。

#### 【 0 2 4 5 】

以下では、第 2 のフォトセンサ 100B による 2 次元情報の取得方法について主に説明し、同時に行われる第 1 のフォトセンサ 100A による距離測定方法について、実施の形態 2 を参照できる部分は説明を省略する。

#### 【 0 2 4 6 】

##### ( 時刻 T 1 ~ 時刻 T 2 : 第 2 のフォトセンサ 100B のリセット動作 )

時刻 T 1 において、リセット信号線 P R \_ B の電位を、電位 L P R から電位 H P R に変化させ、かつ蓄積信号線 T X \_ B の電位を、電位 L T X から電位 H T X に変化させることで、フォトダイオード 102B 及びトランジスタ 103B が導通する。電荷保持ノード F D \_ B には、リセット信号線 P R \_ B の電位 H P R が与えられるため、電荷保持ノード F D \_ B に保持されている電荷はリセットされ、初期状態となる電荷量が保持される。なお、時刻 T 1 において、選択信号線 S E \_ B には電位 L S E が与えられている。

#### 【 0 2 4 7 】

##### ( 時刻 T 2 ~ 時刻 T 25 : 反射光検出 ( C ) )

時刻 T 2 において、リセット信号線 P R \_ B の電位を、電位 H P R から電位 L P R に変化させる。ここで、蓄積信号線 T X \_ B の電位は、電位 H T X のまま維持するため、リセット信号線 P R \_ B の電位が電位 L P R になると、第 2 のフォトダイオード 102B に逆方向バイアスの電圧が印加される。

10

20

30

40

50

**【0248】**

また、時刻 T<sub>2</sub>において、光源から被検出物に対して光照射（A）が開始され、時刻 T<sub>3</sub>において、光源からの照射光が被検出物で反射され、反射光が本発明の一態様の距離測定装置に入射し始める。逆方向バイアスの電圧が印加された状態の第2のフォトダイオード 102B に反射光が照射されることで、第2のフォトダイオード 102B の陰極から陽極に向かって電流が流れ、電荷保持ノード FD\_B の電位が低下する。

**【0249】**

1回目の光照射（A）は時刻 T<sub>4</sub>まで行われ、その後、時刻 T<sub>6</sub>～時刻 T<sub>8</sub>の間に2回目の光照射（A）が、時刻 T<sub>12</sub>～時刻 T<sub>14</sub>の間に1回目の光照射（B）が、時刻 T<sub>18</sub>～時刻 T<sub>20</sub>の間に2回目の光照射（B）が行われる。それにより、時刻 T<sub>3</sub>～時刻 T<sub>5</sub>の間、時刻 T<sub>7</sub>～時刻 T<sub>9</sub>の間、時刻 T<sub>13</sub>～時刻 T<sub>16</sub>の間、及び時刻 T<sub>19</sub>～時刻 T<sub>21</sub>の間（以下ではまとめて、反射光検出期間（C）と記す）には、第2のフォトダイオード 102B に反射光が入射する。

10

**【0250】**

時刻 T<sub>25</sub>において、蓄積信号線 TX\_B の電位を、電位 HTX から電位 LTX に変化させる。蓄積信号線 TX\_B の電位が電位 LTX になることで、トランジスタ 103B は非導通状態になる。よって、電荷保持ノード FD\_B から第2のフォトダイオード 102B への電荷の移動が止まるため、電荷保持ノード FD\_B の電位が定まる。

**【0251】**

なお、電荷保持ノード FD\_B の電位は、時刻 T<sub>25</sub>以降は一定となる。時刻 T<sub>25</sub>での電荷保持ノード FD\_B の電位は、反射光検出期間（C）に、第2のフォトダイオード 102B が生成した光電流に依存する。また、時刻 T<sub>25</sub>での電荷保持ノード FD\_B の電位に応じて、第2のフォトセンサ 100B の出力信号が決定する。ただし、本実施の形態では、第2のフォトダイオード 102B への反射光の入射が時刻 T<sub>21</sub>で終了しているため、「電荷保持ノード FD\_B の電位は、時刻 T<sub>21</sub>以降は一定となる。」ともいえる。

20

**【0252】**

（時刻 T<sub>26</sub>～時刻 T<sub>27</sub>：読み出し動作）

時刻 T<sub>26</sub>において、選択信号線 SE\_B の電位を電位 LSE から電位 HSE に変化させ、トランジスタ 105B を導通させる。これにより、フォトセンサ基準信号線 VS とフォトセンサ出力信号線 RO\_B が、トランジスタ 104B 及びトランジスタ 105B を介して導通する。すると、電荷保持ノード FD\_B の電位に応じて、フォトセンサ基準信号線 VS からフォトセンサ出力信号線 RO\_B に信号が出力される。なお、予め、時刻 T<sub>26</sub>以前に、フォトセンサ出力信号線 RO\_B の電位をハイレベルの電位 HRO としておく。

30

**【0253】**

時刻 T<sub>27</sub>において、選択信号線 SE\_B の電位を電位 HSE から電位 LSE に変化させると、トランジスタ 105B が非導通状態となり、フォトセンサ基準信号線 VS からフォトセンサ出力信号線 RO\_B への電荷の移動が停止し、フォトセンサ出力信号線 RO\_B の電位が決定する。

**【0254】**

時刻 T<sub>27</sub>におけるフォトセンサ出力信号線 RO\_B の電位を取得することで、反射光検出期間（C）に第2のフォトダイオード 102B に照射された反射光の量（反射光の強度の時間積）を検出信号の電圧 S<sub>3</sub>として得ることができる。

40

**【0255】**

なお、本実施の形態では、時刻 T<sub>2</sub>～時刻 T<sub>25</sub>において、反射光検出（C）を行い、2回の光照射（A）及び2回の光照射（B）による反射光全てを検出する場合を示したが、これに限られない。反射光検出（C）では、第1のフォトセンサ 100A が距離測定を行う間の反射光の一部を検出すれば良く、例えば、時刻 T<sub>3</sub>～時刻 T<sub>5</sub>のみとしてもよい。ただし、反射光検出（C）において、2回の光照射（A）及び2回の光照射（B）による反射光全てを検出することで、第2のフォトセンサで、反射光から可視光を吸収した残り、すなわち赤外光を第1のフォトセンサで検出することができるため、距離測定の精度を

50

高めることができる（ノイズとなる可視光等が第1のフォトセンサに照射されることを防止することで、赤外光の検出精度の低下を抑制することができる）。

#### 【0256】

以上に示したように、本発明の一態様の距離測定装置を用いて、被検出物の2次元情報の取得と距離測定とを同時にを行うことができる。また、2つのフォトダイオードを重ねて設けることで、装置におけるフォトセンサが占める面積を縮小することができる。したがって、装置の小型化や、画素の微細化等を図ることができる。

#### 【0257】

なお、本実施の形態では、距離測定方法3を用いて距離測定を行ったが、距離測定方法はこれに限られない。例えば、本実施の形態に示す距離測定装置が、第1のフォトセンサと隣接するフォトセンサを有する場合は、実施の形態3にて説明した距離測定方法4を用いて距離測定を行うこともできる。

10

#### 【0258】

本実施の形態に示す構成は、他の実施の形態に示す構成と適宜組み合わせて用いることができる。

#### 【0259】

##### （実施の形態5）

本実施の形態では、本発明の一態様の距離測定装置について、図10及び図11を用いて説明する。具体的には、実施の形態1で示したフォトセンサ100をa行b列のマトリクス状に配置した距離測定装置について説明する（a、bはそれぞれ独立に2以上の自然数）。なお、フォトセンサの構成や駆動方法は、実施の形態1及び実施の形態2を参照できる。

20

#### 【0260】

##### <構成例1>

図10（A）に示す距離測定装置では、複数のフォトセンサ100がa行b列のマトリクス状に配置されている。i行のフォトセンサ100は、リセット信号線PR\_i、蓄積信号線TX\_i、及び選択信号線SE\_iと電気的に接続している（iは1以上a以下の自然数）。j列のフォトセンサ100は、フォトセンサ出力信号線RO\_j、電源線VH\_j、及びフォトセンサ基準信号線VS\_jと電気的に接続している（jは1以上b以下の自然数）。

30

#### 【0261】

図10（A）に示す距離測定装置では、i行のフォトセンサ100が、リセット信号線PR\_i、蓄積信号線TX\_i、及び選択信号線SE\_iを共有し、j列のフォトセンサ100が、フォトセンサ出力信号線RO\_j、電源線VH\_j、及びフォトセンサ基準信号線VS\_jを共有している。本発明はこの構成に限定されず、リセット信号線、蓄積信号線、及び選択信号線は、i行にそれぞれ複数本設けても良く、フォトセンサ出力信号線、電源線、及びフォトセンサ基準信号線は、j列にそれぞれ複数本設けてもよい。

#### 【0262】

##### <構成例2>

図10（B）に示す距離測定装置では、複数のフォトセンサ100がa行b列のマトリクス状に配置されている。i行のフォトセンサ100は、選択信号線SE\_iと電気的に接続している。j列のフォトセンサ100は、リセット信号線PR\_j、蓄積信号線TX\_j、フォトセンサ出力信号線RO\_j、電源線VH\_j、及びフォトセンサ基準信号線VS\_jと、電気的に接続している。

40

#### 【0263】

図10（B）に示す距離測定装置では、i行のフォトセンサ100が、選択信号線SE\_iを共有し、j列のフォトセンサ100が、リセット信号線PR\_j、蓄積信号線TX\_j、フォトセンサ出力信号線RO\_j、電源線VH\_j、及びフォトセンサ基準信号線VS\_jを共有しているが、本発明はこの構成に限定されない。

#### 【0264】

50

構成例 1 や構成例 2 では、a 行 b 列のマトリクス状に配置されたフォトセンサのうち、リセット動作及び反射光検出を行うタイミングが同じである複数のフォトセンサは、蓄積信号線やリセット信号線を共有することができる。複数のフォトセンサが配線を共有することで、配線数が減り、駆動回路を簡略化することができる。

#### 【0265】

ここで、図 11 (A) にフォトセンサ 100 の上面図の一例を示し、図 11 (B) に、図 11 (A) の破線 A1 - A2 における断面図を示す。

#### 【0266】

フォトセンサ 100 は、リセット信号線 PR として機能する導電膜 210 と、蓄積信号線 TX として機能する導電膜 211 と、選択信号線 SE として機能する導電膜 212 と、フォトセンサ基準信号線 VS として機能する導電膜 213 と、フォトセンサ出力信号線 RO として機能する導電膜 214 と、電源線 VH として機能する導電膜 229 を有する。

10

#### 【0267】

フォトダイオード 102 は、順に積層された p 型の半導体膜 215 と、i 型の半導体膜 216 と、n 型の半導体膜 217 を有する。導電膜 210 は、フォトダイオード 102 の陽極として機能する p 型の半導体膜 215 と電気的に接続している。

#### 【0268】

導電膜 218 は、トランジスタ 103 のゲート電極として機能し、導電膜 211 と電気的に接続している。導電膜 219 は、トランジスタ 103 のソース電極又はドレイン電極の一方として機能する。導電膜 220 は、トランジスタ 103 のソース電極又はドレイン電極の他方として機能する。導電膜 221 は、n 型の半導体膜 217 及び導電膜 219 と電気的に接続している。

20

#### 【0269】

導電膜 222 は、トランジスタ 104 及びトランジスタ 109 のゲート電極として機能し、導電膜 220 と電気的に接続している。導電膜 223 は、トランジスタ 104 のソース電極又はドレイン電極の一方として機能する。導電膜 224 は、トランジスタ 104 のソース電極又はドレイン電極の他方として機能する。また、導電膜 214 は、トランジスタ 105 のソース電極又はドレイン電極の一方として機能する。導電膜 212 は、トランジスタ 105 のゲート電極として機能する。導電膜 225 は、導電膜 223 及び導電膜 213 に電気的に接続している。導電膜 237 は、トランジスタ 109 のソース電極又はドレイン電極の一方として機能する。導電膜 238 は、トランジスタ 109 のソース電極又はドレイン電極の他方として機能する。導電膜 239 は、導電膜 229 及び導電膜 238 に電気的に接続している。導電膜 226 は、導電膜 210 に電気的に接続している。導電膜 227 は、導電膜 211 に電気的に接続している。

30

#### 【0270】

導電膜 212、導電膜 218、導電膜 222、導電膜 225、導電膜 226、導電膜 227、導電膜 239 は、絶縁表面上に形成された一の導電膜を所望の形状に加工することで形成することができる。導電膜 212、導電膜 218、導電膜 222、導電膜 225、導電膜 226、導電膜 227、導電膜 239 上にはゲート絶縁膜 228 が形成されている。

40

#### 【0271】

また、導電膜 210、導電膜 211、導電膜 213、導電膜 214、導電膜 219、導電膜 220、導電膜 223、導電膜 224、導電膜 229、導電膜 237、導電膜 238 は、ゲート絶縁膜 228 上に形成された一の導電膜を所望の形状に加工することで形成することができる。導電膜 210、導電膜 211、導電膜 213、導電膜 214、導電膜 219、導電膜 220、導電膜 223、導電膜 224、導電膜 229、導電膜 237、導電膜 238 の上には、絶縁膜 281 及び絶縁膜 282 が形成されている。絶縁膜 281 及び絶縁膜 282 の上には、導電膜 221 が形成されている。

#### 【0272】

トランジスタ 103 の活性層 250 には、酸化物半導体を用いることが好ましい。基板 2

50

51側から光が照射されることにより生成された電荷を、長時間保持するためには、フォトダイオード102と電気的に接続するトランジスタ103を、オフ電流が極めて小さいトランジスタで構成する必要がある。そのため、活性層250に酸化物半導体を用いることでフォトセンサ100の性能を高めることができる。

#### 【0273】

なお、トランジスタ103がボトムゲート型である場合、図11(A)(B)に示すように、ゲート電極として機能する導電膜218に活性層250が完全に重なる構成とすることが望ましい。上記構成を採用することで、基板251側から入射した光により活性層250中の酸化物半導体が劣化することを抑制できる。したがって、トランジスタ103の閾値電圧がシフトするなどの特性の劣化が引き起こされることを抑制できる。なお、トランジスタ104、トランジスタ105、及びトランジスタ109についても、上記構成を採用することで、同様の効果が得られる。10

#### 【0274】

ここで、図10(A)に示した、蓄積信号線TXが行方向に延びて配置される構成の場合、同じく行方向に延びて配置された、蓄積信号線TXと平行な選択信号線SEが存在する。選択信号線SEはトランジスタ105のゲート電極と電気的に接続するため、選択信号線SEの一部をトランジスタ105のゲート電極として用いることができる。このとき、選択信号線SEと平行な蓄積信号線TXも、トランジスタ105のゲート電極と同一材料、及び同一工程で形成することができる。しかし、トランジスタのゲート電極に用いる材料は、ソース電極やドレイン電極に用いる材料と比べて抵抗が高い材料であることが多いため、蓄積信号線TXの抵抗は高くなる場合がある。20

#### 【0275】

これに対して、図10(B)に示した構成では、蓄積信号線TXが列方向に延びて配置される構成である。そのため、行方向に延びて配置される、選択信号線SEとは別の層に形成された導電膜を用いて、蓄積信号線TXを形成することができる。例えば、図11(A)に示したように、フォトセンサ100を構成するトランジスタ(トランジスタ103、トランジスタ104、トランジスタ105、トランジスタ109等)のゲート電極を構成する導電膜(導電膜212、導電膜218、導電膜222)とは異なる層に形成された導電膜211によって蓄積信号線TXを形成することができる。導電膜211は、導電膜214、導電膜219、導電膜220、導電膜224、導電膜237、導電膜238等、フォトセンサ100を構成するトランジスタのソース電極やドレイン電極と、同一材料、及び同一工程で形成することができる。そのため、図10(A)で示した構成に比べて蓄積信号線TXの抵抗が高くなることを抑制することができる。30

#### 【0276】

なお、本実施の形態は、本明細書で示す他の実施の形態と適宜組み合わせることができる。。

#### 【0277】

##### (実施の形態6)

本実施の形態では、本発明の一態様の距離測定装置について、図12を用いて説明する。具体的には、実施の形態4で示した第1のフォトセンサ100A及び第2のフォトセンサ100B(まとめてフォトセンサ1001と記す)をa行b列のマトリクス状に配置した距離測定装置について説明する(a、bはそれぞれ独立に2以上の自然数)。なお、フォトセンサの構成や駆動方法は、実施の形態4を参照できる。40

#### 【0278】

図12に示す距離測定装置では、複数のフォトセンサ1001がa行b列のマトリクス状に配置されている。i行のフォトセンサ1001は、リセット信号線PR\_A(i)、リセット信号線PR\_B(i)、蓄積信号線TX\_A(i)、蓄積信号線TX\_B(i)、選択信号線SE\_A(i)、選択信号線SE\_B(i)、電源線VH(i)、及びフォトセンサ基準信号線VS(i)と電気的に接続している(iは1以上a以下の自然数)。j列のフォトセンサ1001は、フォトセンサ出力信号線RO\_A(j)及びフォトセンサ

10

20

30

40

50

出力信号線 R O \_ B ( j ) と電気的に接続している ( j は 1 以上 b 以下の自然数 )。

**【 0 2 7 9 】**

図 1 2 に示す距離測定装置では、 i 行のフォトセンサ 1 0 0 1 が、リセット信号線 P R \_ A ( i )、リセット信号線 P R \_ B ( i )、蓄積信号線 T X \_ A ( i )、蓄積信号線 T X \_ B ( i )、選択信号線 S E \_ A ( i )、選択信号線 S E \_ B ( i )、電源線 V H ( i )、及びフォトセンサ基準信号線 V S ( i ) を共有している。また、 j 列のフォトセンサ 1 0 0 1 が、フォトセンサ出力信号線 R O \_ A ( j ) 及びフォトセンサ出力信号線 R O \_ B ( j ) を共有している。本発明はこの構成に限定されず、2 種類のリセット信号線、2 種類の蓄積信号線、及び 2 種類の選択信号線は、 i 行にそれぞれ複数本設けても良く、2 種類のフォトセンサ出力信号線、電源線、及びフォトセンサ基準信号線は、 j 列にそれぞれ複数本設けてもよい。

10

**【 0 2 8 0 】**

また、図 1 2 に示す距離測定装置では、フォトセンサ基準信号線を各行のフォトセンサ 1 0 0 1 において共有する構成を示したがフォトセンサ基準信号線を各列のフォトセンサ 1 0 0 1 において共有する構成としてもよい。

**【 0 2 8 1 】**

また、図 1 2 に示す距離測定装置が有する各行各列のフォトセンサ 1 0 0 1 において、フォトダイオード 1 0 2 A 及びフォトダイオード 1 0 2 B は重畠して設けられている。反射光（光源から照射された光が被検出物で反射されることで生じる光）は、まずフォトダイオード 1 0 2 B に入射し、その後、フォトダイオード 1 0 2 A に入射する（図 8 ( B ) 参照）。

20

**【 0 2 8 2 】**

本実施の形態では、フォトダイオード 1 0 2 A が、赤外光を吸収し、フォトダイオード 1 0 2 B が、可視光を吸収し、かつ、赤外光を透過する構成とする。したがって、フォトセンサ 1 0 0 1 に照射された反射光に含まれる可視光が、フォトダイオード 1 0 2 B に吸収され、赤外光が、フォトダイオード 1 0 2 A に吸収される。これにより、第 2 のフォトセンサ 1 0 0 B を可視光による 2 次元の撮像に用い、第 1 のフォトセンサ 1 0 0 A を赤外光による距離測定に用いることができる。

**【 0 2 8 3 】**

以上に説明したように本実施の形態の構成では、赤外光センサである第 1 のフォトセンサ 1 0 0 A 及び可視光センサである第 2 のフォトセンサ 1 0 0 B を重畠して設けているため、距離測定装置において、フォトセンサ 1 0 0 1 が占める面積を縮小することができる。その結果、画素の微細化を達成しつつ、2 次元の撮像と、T O F 方式を適用した距離測定とを同時に用うことができる。

30

**【 0 2 8 4 】**

なお、本実施の形態は、本明細書で示す他の実施の形態と適宜組み合わせができる。

**【 0 2 8 5 】**

**( 実施の形態 7 )**

本実施の形態では、本発明の一態様の距離測定装置について、図 1 3 及び図 1 4 を用いて説明する。図 1 3 は、図 1 2 に示すフォトセンサ 1 0 0 1 の回路図と同様の構成のフォトセンサの上面図を示す。また、図 1 3 の一点鎖線 B 1 - B 2 、 B 3 - B 4 に対応する断面図を、図 1 4 ( A ) に、図 1 3 の一点鎖線 C 1 - C 2 に対応する断面図を、図 1 4 ( B ) に示す。

40

**【 0 2 8 6 】**

図 1 4 ( A ) ( B ) では、透光性基板 3 0 0 上に、遮光層 3 3 1 と、下地膜 3 3 2 とが設けられる。

**【 0 2 8 7 】**

透光性基板 3 0 0 は、可視光及び赤外光に対する透光性を有することが好ましい。例えば、可視光及び赤外光に対する透光性を有するプラスチック基板や、可視光及び赤外光に対

50

する透光性を有するガラス基板を用いることができる。

【0288】

遮光層331は、バックライトからの赤外光及び可視光がフォトダイオード102A及びフォトダイオード102Bに入射することを防止するためのものである。遮光層331は赤外光及び可視光が遮光可能なアルミニウム又はクロム等の金属材料を用いて、スパッタリング法、CVD法又は塗布法等により成膜し、次いでフォトリソグラフィ法、又はエッチング法等を用いて加工して形成することができる。なお、遮光層331は、フォトダイオードと重なる領域のみならず、各トランジスタの半導体層と積層する領域にも設けることが望ましい。遮光層により各トランジスタの半導体層が遮光されることで、バックライトからの赤外光及び可視光の入射による、トランジスタの閾値電圧がシフトする等の特性の劣化を抑制できる。

10

【0289】

また、バックライトは、透光性基板300側から、赤外光と可視光を発光することができる光源を用いる構成であればよい。具体的には、例えば、赤外光を発光する発光ダイオード及び可視光を発光する発光ダイオードを並べて配置する構成等とすればよい。なお、赤外光を発光する光源は、別途対向基板側に設けられる構成としてもよい。

【0290】

下地膜332は、透光性基板300に含まれるNaなどのアルカリ金属やアルカリ土類金属がフォトダイオード102Aに拡散し、特性に悪影響を及ぼすことを抑制できる。下地膜332は、CVD法やスパッタリング法等を用いて、酸化シリコン膜、窒化シリコン膜、酸化窒化シリコン膜、窒化酸化シリコン膜等の透光性及び絶縁性を有する膜を、単層で又は積層して形成することができる。フォトダイオード102Aの半導体層を形成する際の形成不良を抑制するため、下地膜332の表面は平坦性が高いことが好ましい。

20

【0291】

また、図14(A)(B)では、下地膜332を介した遮光層331上に、フォトダイオード102Aにおけるp型半導体領域303、i型半導体領域304及びn型半導体領域323が設けられている。図14(A)において、p型半導体領域303、i型半導体領域304及びn型半導体領域323を構成する半導体層と同じ層には、トランジスタ104Aの半導体層を構成するn型半導体領域305及びi型半導体領域306と、トランジスタ105Aの半導体層を構成するn型半導体領域307及びi型半導体領域308と、トランジスタ103Bの半導体層を構成するn型半導体領域309と、が設けられている。

30

【0292】

フォトダイオード102Aの半導体層(と同じ層で作製される上記各トランジスタの半導体領域)は、多結晶シリコン等の結晶性シリコンを用いることができる。結晶性シリコンを有する半導体層で構成されるフォトダイオード102Aは、p型半導体領域303、i型半導体領域304及びn型半導体領域323が透光性基板300に水平方向に設けられる。例えば、成膜された結晶性シリコンを、フォトリソグラフィ法、又はエッチング法等を用いて加工し、次いで、フォトリソグラフィ法によるマスクを形成した上でイオン注入法又はイオンドーピング法によりp型又はn型の不純物領域を形成すればよい。

40

【0293】

また、フォトダイオード102Aの半導体層(と同じ層で作製される上記各トランジスタの半導体領域)は接合、剥離方法により单結晶シリコン等の結晶性シリコンを用いることができる。まずシリコンウェハなどの半導体ウェハ中に、水素イオン(H<sup>+</sup>、H<sub>2</sub><sup>+</sup>、H<sub>3</sub><sup>+</sup>など)、又は水素イオン及びヘリウムイオンを添加して、該半導体ウェハ中に脆化層を形成する。該半導体ウェハを下地膜332上に接合させ、加熱処理により脆化層で剥離して、下地膜332上に半導体層を形成する。半導体ウェハの表面から脆化層までの深さが半導体層の厚さに相当するので、水素イオン等の添加条件を制御して、半導体層の厚さを調整できる。

【0294】

50

また、図14(A)(B)では、フォトダイオード102Aの半導体層、トランジスタ104A、トランジスタ105A、及びトランジスタ103Bの各半導体層上に、絶縁層310が設けられている。絶縁層310上には、フォトセンサ基準信号線VSが設けられている。図14(A)において、フォトセンサ基準信号線VSと同じ層には、i型半導体領域306上に形成されたゲート電極311と、i型半導体領域308上に形成されたゲート電極312とが、それぞれ絶縁層310を介して設けられている。

#### 【0295】

さらに、図14(A)(B)では、絶縁層310、ゲート電極311、ゲート電極312及びフォトセンサ基準信号線VS上に、絶縁層313が設けられている。絶縁層310及び絶縁層313を介したp型半導体領域303上には、導電層316が設けられている。  
導電層316と同じ層には、n型半導体領域305及びn型半導体領域307との間に形成された導電層314と、n型半導体領域307上に形成されたフォトセンサ出力信号線RO\_Aと、n型半導体領域305及びフォトセンサ基準信号線VSとの間に形成された導電層315と、n型半導体領域309上に形成された導電層317と、n型半導体領域323上に形成された導電層324とが、絶縁層310及び絶縁層313を介して設けられている。

10

#### 【0296】

絶縁層310は、外部よりNaなどのアルカリ金属やアルカリ土類金属がフォトダイオード102A中に拡散し、特性に悪影響を及ぼすことを抑制できる。絶縁層310は、プラズマCVD法やスパッタリング法等を用いて、酸化シリコン膜、酸化窒化シリコン膜、窒化酸化シリコン膜、又は有機樹脂膜等の透光性及び絶縁性を有する膜を、単層で又は積層して形成することができる。

20

#### 【0297】

ゲート電極311及びゲート電極312と同層に形成される各種配線は、スパッタリング法又は真空蒸着法等を用いて、導電性を有する金属材料膜を、単層で又は積層して形成すればよい。導電性を有する金属材料膜としては、モリブデン、チタン、クロム、タンタル、タンゲステン、アルミニウム、銅、ネオジム、スカンジウム等の金属膜、又はこれらを主成分とする合金材料膜等が挙げられる。

#### 【0298】

絶縁層313は、プラズマCVD法やスパッタリング法等を用いて、酸化シリコン膜、酸化窒化シリコン膜、窒化酸化シリコン膜、又は有機樹脂膜等の透光性及び絶縁性を有する膜を、単層で又は積層して形成する。

30

#### 【0299】

導電層314、導電層315、導電層316、及び導電層317は、スパッタリング法又は真空蒸着法等を用いて、モリブデン、チタン、クロム、タンタル、タンゲステン、アルミニウム、銅、イットリウムなどの金属膜、これらを主成分とする合金材料膜、又は酸化インジウム等の導電性を有する金属酸化物膜等を、単層で又は積層して形成する。

#### 【0300】

さらに、図14(A)(B)では、絶縁層313及び導電層316上に、フォトダイオード102Bにおけるp型半導体領域318、i型半導体領域319及びn型半導体領域320が設けられている。p型半導体領域318は、端部が、導電層316と重なるように設けられる。

40

#### 【0301】

フォトダイオード102Bの半導体層には、非晶質シリコンを用いることができる。非晶質シリコンを有する半導体層で構成されるフォトダイオード102Bは、p型半導体領域318、i型半導体領域319及びn型半導体領域320が透光性基板300に垂直方向に積層して設けられる。

#### 【0302】

p型半導体領域318は、p型を付与する不純物元素を含む非晶質シリコンにより形成される。p型半導体領域318は、13族の不純物元素（例えばボロン(B)）を含む半導

50

体材料ガスを用いて、プラズマCVD法により形成する。半導体材料ガスとしては、シラン( $\text{SiH}_4$ )、 $\text{Si}_2\text{H}_6$ 、 $\text{SiH}_2\text{Cl}_2$ 、 $\text{SiHC1}_3$ 、 $\text{SiCl}_4$ 、 $\text{SiF}_4$ 等を用いることができる。 $p$ 型半導体領域318の膜厚は10nm以上50nm以下が好ましい。

#### 【0303】

$i$ 型半導体領域319は、非晶質シリコンにより形成される。 $i$ 型半導体領域319は、半導体材料ガスを用いて、非晶質シリコンをプラズマCVD法により形成する。半導体材料ガスとしては、シラン、 $\text{Si}_2\text{H}_6$ 、 $\text{SiH}_2\text{Cl}_2$ 、 $\text{SiHC1}_3$ 、 $\text{SiCl}_4$ 、 $\text{SiF}_4$ 等を用いることができる。 $i$ 型半導体領域319の膜厚は300nm以上1000nm以下が好ましい。

10

#### 【0304】

$n$ 型半導体領域320は、 $n$ 型を付与する不純物元素を含む非晶質シリコンにより形成する。 $n$ 型半導体領域320は、15族の不純物元素(例えはリン( $P$ ))を含む半導体材料ガスを用いて、プラズマCVD法により形成する。半導体材料ガスとしては、シラン、 $\text{Si}_2\text{H}_6$ 、 $\text{SiH}_2\text{Cl}_2$ 、 $\text{SiHC1}_3$ 、 $\text{SiCl}_4$ 、 $\text{SiF}_4$ 等を用いることができる。 $n$ 型半導体領域320の膜厚は20nm以上300nm以下が好ましい。

#### 【0305】

そして、図14(A)(B)では、フォトダイオード102B、フォトセンサ出力信号線RO\_A、導電層314、導電層315、導電層316及び導電層317上に、絶縁層321が設けられている。絶縁層321を介した $n$ 型半導体領域320及び導電層317との間には、導電層322が設けられている。

20

#### 【0306】

絶縁層321は、プラズマCVD法やスパッタリング法等を用いて、酸化シリコン膜、酸化窒化シリコン膜、窒化酸化シリコン膜、有機樹脂膜等の透光性及び絶縁性を有する膜を、単層で又は積層して形成する。絶縁層321は、表面に平坦性を有する絶縁層とすることが好ましい。

#### 【0307】

導電層322は、透光性を有する導電層であればよく、例えば、インジウム錫酸化物( $\text{ITO}$ 、 $\text{Indium Tin Oxide}$ )、酸化シリコンを含むインジウム錫酸化物( $\text{ITSO}$ )、酸化インジウム酸化亜鉛( $\text{Indium Zinc Oxide}$ )等を用いて形成することができる。

30

#### 【0308】

なお、本実施の形態は、本明細書で示す他の実施の形態と適宜組み合わせができる。

#### 【0309】

##### (実施の形態8)

本実施の形態では、単結晶シリコン等の半導体膜にチャネルが形成されるトランジスタと、酸化物半導体層にチャネルが形成されるトランジスタとを有するフォトセンサの作製方法について図15を用いて説明する。

#### 【0310】

本実施の形態で説明するフォトダイオード704は、図1(B)等で示したフォトダイオード102として用いることができ、 $n$ チャネル型トランジスタ705は、図1(B)等で示したトランジスタ104、又はトランジスタ105として用いることができ、トランジスタ724は、図1(B)等で示したトランジスタ103、トランジスタ106、又はトランジスタ109として用いることができる。また、トランジスタ724は、図1(B)等で示したトランジスタ104、トランジスタ105として用いてもよい。

40

#### 【0311】

まず、公知のCMOSの作製方法を用いて、基板700の絶縁表面上に、フォトダイオード704及び $n$ チャネル型トランジスタ705を作製する(図15(A))。本実施の形態では、一例として、単結晶の半導体基板から分離された単結晶半導体膜を用いて、フォ

50

トダイオード 704 及び n チャネル型トランジスタ 705 を作製する。単結晶の半導体基板としては、例えば、シリコン基板を用いることができる。

#### 【0312】

具体的な単結晶半導体膜の作製方法の一例について、簡単に説明する。まず、単結晶の半導体基板に、電界で加速されたイオンでなるイオンビームを注入し、半導体基板の表面から一定の深さの領域に、結晶構造が乱されることで局所的に脆弱化された脆化層を形成する。脆化層が形成される領域の深さは、イオンビームの加速エネルギーとイオンビームの入射角によって調節することができる。そして、半導体基板と、絶縁膜 701 が形成された基板 700 とを、間に当該絶縁膜 701 が挟まるように貼り合わせる。貼り合わせでは、半導体基板と基板 700 とを重ね合わせた後、半導体基板と基板 700 の一部に、1 N / cm<sup>2</sup> 以上 500 N / cm<sup>2</sup> 以下、好ましくは 11 N / cm<sup>2</sup> 以上 20 N / cm<sup>2</sup> 以下程度の圧力を加える。圧力を加えると、その部分から半導体基板と絶縁膜 701 とが接合を開始し、最終的には密着した面全体に接合が及ぶ。次いで、加熱処理を行うことで、脆化層に存在する微小ボイドどうしが結合して、微小ボイドの体積が増大する。その結果、脆化層において半導体基板の一部である単結晶半導体膜が、半導体基板から分離する。上記加熱処理の温度は、基板 700 の歪み点を越えない温度とする。そして、上記単結晶半導体膜をエッティング等により所望の形状に加工することで、島状の半導体膜 702、島状の半導体膜 703 を形成することができる。

10

#### 【0313】

フォトダイオード 704 は、絶縁膜 701 上の島状の半導体膜 702 を用いて形成されており、n チャネル型トランジスタ 705 は、絶縁膜 701 上の島状の半導体膜 703 を用いて形成されている。また、フォトダイオード 704 は、島状の半導体膜 702 内に p 型の導電性を有する領域 727 と、i 型の導電性を有する領域 728 と、n 型の導電性を有する領域 729 とが形成された横型接合タイプである。また、n チャネル型トランジスタ 705 は、ゲート電極 707 を有している。n チャネル型トランジスタ 705 は、島状の半導体膜 703 内に、ゲート電極 707 と重なる領域を挟むように設けられた一対の n 型の導電性を有する領域を含む。そして、n チャネル型トランジスタ 705 は、島状の半導体膜 703 とゲート電極 707 の間に、絶縁膜 708 を有する。n チャネル型トランジスタ 705 において、絶縁膜 708 はゲート絶縁膜として機能する。

20

#### 【0314】

なお、i 型の導電性を有する領域 728 は、半導体膜のうち、含まれる p 型若しくは n 型を付与する不純物が  $1 \times 10^{20} \text{ cm}^{-3}$  以下の濃度であり、暗伝導度に対して光伝導度が 100 倍以上である領域を指す。i 型の導電性を有する領域 728 には、周期表第 13 族若しくは第 15 族の不純物元素を有するものもその範疇に含む。すなわち、i 型の半導体は、価電子制御を目的とした不純物元素を意図的に添加しないときに弱い n 型の電気伝導性を示すので、i 型の導電性を有する領域 728 は、p 型を付与する不純物元素を、成膜時或いは成膜後に、意図的若しくは非意図的に添加されたものをその範疇に含む。

30

#### 【0315】

基板 700 として使用することができる素材に大きな制限はないが、少なくとも、後の加熱処理に耐えうる程度の耐熱性を有していることが必要となる。例えば、基板 700 には、フュージョン法やフロート法で作製されるガラス基板、石英基板、セラミック基板等を用いることができる。ガラス基板としては、後の加熱処理の温度が高い場合には、歪み点が 730 以上のものを用いるとよい。プラスチック等の可撓性を有する合成樹脂からなる基板は、一般的に上記基板と比較して耐熱温度が低い傾向にあるが、作製工程における処理温度に耐え得るのであれば用いることが可能である。

40

#### 【0316】

なお、本実施の形態では、単結晶の半導体膜を用いてフォトダイオード 704 と n チャネル型トランジスタ 705 を作製する例について説明しているが、本発明はこの構成に限定されない。例えば、絶縁膜 701 上に気相成長法を用いて形成された多結晶、微結晶の半導体膜を用いてもよいし、上記半導体膜を公知の技術により結晶化してもよい。公知の結

50

晶化方法としては、レーザ光を用いたレーザ結晶化法、触媒元素を用いる結晶化法がある。或いは、触媒元素を用いる結晶化法とレーザ結晶化法とを組み合わせて用いることもできる。また、石英のような耐熱性に優れている基板を用いる場合、電熱炉を使用した熱結晶化法、赤外光を用いたランプアニール結晶化法、触媒元素を用いる結晶化法、950程度の高温アニール法を組み合わせた結晶化法を用いてもよい。

#### 【0317】

また、図15(A)では、絶縁膜708上に導電膜を形成した後、上記導電膜をエッチング等により所望の形状に加工することで、ゲート電極707と共に、配線711を形成する。

#### 【0318】

次いで、フォトダイオード704、nチャネル型トランジスタ705、配線711を覆うように、絶縁膜712を形成する。

#### 【0319】

絶縁膜712は、単層構造でもよいし、積層構造でもよい。絶縁膜712は、その表面をCMP法などにより平坦化させてもよい。絶縁膜712は、後の作製工程における加熱処理の温度に耐えうる材料を用いる。例えば、絶縁膜712の材料としては、酸化シリコン、窒化シリコン、窒化酸化シリコン、酸化窒化シリコン、窒化アルミニウム、酸化アルミニウムなどを用いることが望ましい。

#### 【0320】

なお、本明細書において酸化窒化物とは、その組成として、窒素よりも酸素の含有量が多い物質を指し、また、窒化酸化物とは、その組成として、酸素よりも窒素の含有量が多い物質を指す。

#### 【0321】

次いで、絶縁膜712上に、ゲート電極713を形成する。ゲート電極713は、単層構造としてもよいし、積層構造としてもよい。

#### 【0322】

ゲート電極713は、モリブデン、チタン、タンタル、タングステン、アルミニウム、銅、クロム、ネオジム、スカンジウムから選ばれた元素を含む金属材料、又は上述した元素を成分とする金属窒化物（窒化チタン、窒化モリブデン、窒化タングステン）等を用いて形成することができる。

#### 【0323】

また、ゲート電極713は、インジウム錫酸化物、酸化タングステンを含むインジウム酸化物、酸化タングステンを含むインジウム亜鉛酸化物、酸化チタンを含むインジウム酸化物、酸化チタンを含むインジウム錫酸化物、インジウム亜鉛酸化物、酸化シリコンを添加したインジウム錫酸化物などの導電性材料を適用することもできる。また、上記導電性材料と、上記金属材料の積層構造とすることもできる。

#### 【0324】

また、ゲート絶縁膜714と接するゲート電極713の一層として、窒素を含む金属酸化物膜、具体的には、窒素を含むIn-Ga-Zn-O膜や、窒素を含むIn-Sn-O膜や、窒素を含むIn-Ga-O膜や、窒素を含むIn-Zn-O膜や、窒素を含むSn-O膜や、窒素を含むIn-O膜や、金属窒化膜（InN、SnNなど）を用いることができる。これらの膜は5eV（電子ボルト）以上、好ましくは5.5eV（電子ボルト）以上の仕事関数を有し、ゲート電極として用いた場合、トランジスタのしきい値電圧をプラスにすることができる、所謂ノーマリーオフのスイッチング素子を実現できる。

#### 【0325】

次いで、ゲート電極713上に、ゲート絶縁膜714を形成した後、ゲート絶縁膜714上においてゲート電極713と重なる位置に、酸化物半導体層715を形成する（図15(B)）。

#### 【0326】

ゲート絶縁膜714の膜厚は、1nm以上20nm以下とし、スパッタリング法、MBE

10

20

30

40

50

法、CVD法、パルスレーザ堆積法、ALD法等を適宜用いることができる。また、ゲート絶縁膜714は、スパッタリングターゲット表面に対し、概略垂直に複数の基板表面がセットされた状態で成膜を行うスパッタ装置を用いて成膜してもよい。

#### 【0327】

ゲート絶縁膜714の材料としては、酸化シリコン、酸化ガリウム、酸化アルミニウム、窒化シリコン、酸化窒化シリコン、酸化窒化アルミニウム、窒化酸化シリコン等を用いることができる。ゲート絶縁膜714は、酸化物半導体層715と接する部分において酸素を含むことが好ましい。特に、ゲート絶縁膜714は、膜中(バルク中)に少なくとも化学量論的組成を超える量の酸素が存在することが好ましく、例えば、ゲート絶縁膜714として、酸化シリコン膜を用いる場合には、 $\text{SiO}_{2+}$ (ただし、 $x > 0$ )とするのが好ましい。本実施の形態では、ゲート絶縁膜714として、 $\text{SiO}_{2+}$ (ただし、 $x > 0$ )である酸化シリコン膜を用いる。この酸化シリコン膜をゲート絶縁膜714として用いることで、酸化物半導体層715に酸素を供給することができ、特性を良好にすることができます。さらに、ゲート絶縁膜714は、作製するトランジスタのサイズやゲート絶縁膜714の段差被覆性を考慮して形成することが好ましい。

10

#### 【0328】

また、ゲート絶縁膜714の材料として酸化ハフニウム、酸化イットリウム、ハフニウムシリケート( $\text{HfSi}_{x+y}$  ( $x > 0, y > 0$ ))、窒素が添加されたハフニウムシリケート( $\text{HfSiO}_x\text{N}_y$  ( $x > 0, y > 0$ ))、ハフニウムアルミネート( $\text{HfAl}_x\text{O}_y$  ( $x > 0, y > 0$ ))、酸化ランタンなどのhigh-k材料を用いることでゲートリーケ電流を低減できる。さらに、ゲート絶縁膜714は、単層構造としてもよいし、積層構造としてもよい。

20

#### 【0329】

酸化物半導体層715は、単層構造としてもよいし、積層構造としてもよい。また、非晶質構造としてもよいし、結晶性酸化物半導体としてもよい。酸化物半導体層715を非晶質構造とする場合には、後の作製工程において、酸化物半導体層に熱処理を行うことによって、結晶性酸化物半導体層としてもよい。非晶質酸化物半導体層を結晶化させる熱処理の温度は、250以上700以下、好ましくは、400以上、より好ましくは500以上、さらに好ましくは550以上とする。なお、当該熱処理は、作製工程における他の熱処理を兼ねることも可能である。

30

#### 【0330】

酸化物半導体は、単結晶、多結晶(ポリクリスタル)、又は非晶質(アモルファス)等の状態をとる。

#### 【0331】

アモルファス状態の酸化物半導体は、平坦な表面を得ることが比較的容易であるため、該アモルファス状態の酸化物半導体を用いたトランジスタは、動作させた際のキャリア(電子)の界面散乱を低減でき、高い電界効果移動度を得ることが比較的容易である。

#### 【0332】

また、結晶性を有する酸化物半導体は、バルク内欠陥をより低減することができる。該結晶性を有する酸化物半導体は、表面の平坦性を高めれば、アモルファス状態の酸化物半導体を用いたトランジスタに比べて高い電界効果移動度を得ることができる。表面の平坦性を高めるためには、平坦な表面上に酸化物半導体を形成することが好ましい。

40

#### 【0333】

酸化物半導体膜は、例えば非単結晶を有してもよい。非単結晶は、例えば、CAAC(C Axis Aligned Crystal)、多結晶、微結晶、非晶質部を有する。非晶質部は、微結晶、CAACよりも欠陥準位密度が高い。また、微結晶は、CAACよりも欠陥準位密度が高い。なお、CAACを有する酸化物半導体を、CAAC-OSS(C Axis Aligned Crystalline Oxide Semiconductor)と呼ぶ。

#### 【0334】

50

酸化物半導体膜は、例えば C A A C - O S を有してもよい。C A A C - O S は、例えば、c 軸配向し、a 軸または / および b 軸はマクロに揃っていない。

#### 【 0 3 3 5 】

酸化物半導体膜は、例えば微結晶を有してもよい。なお、微結晶を有する酸化物半導体を、微結晶酸化物半導体と呼ぶ。微結晶酸化物半導体膜は、例えば、1 nm 以上 10 nm 未満のサイズの微結晶（ナノ結晶ともいう。）を膜中に含む。

#### 【 0 3 3 6 】

酸化物半導体膜は、例えば非晶質部を有してもよい。なお、非晶質部を有する酸化物半導体を、非晶質酸化物半導体と呼ぶ。非晶質酸化物半導体膜は、例えば、原子配列が無秩序であり、結晶成分を有さない。または、非晶質酸化物半導体膜は、例えば、完全な非晶質であり、結晶部を有さない。

10

#### 【 0 3 3 7 】

なお、酸化物半導体膜が、C A A C - O S 、微結晶酸化物半導体、非晶質酸化物半導体の混合膜であってもよい。混合膜は、例えば、非晶質酸化物半導体の領域と、微結晶酸化物半導体の領域と、C A A C - O S の領域と、を有する。また、混合膜は、例えば、非晶質酸化物半導体の領域と、微結晶酸化物半導体の領域と、C A A C - O S の領域と、の積層構造を有してもよい。

#### 【 0 3 3 8 】

なお、酸化物半導体膜は、例えば、単結晶を有してもよい。

20

#### 【 0 3 3 9 】

酸化物半導体膜は、複数の結晶部を有し、当該結晶部の c 軸が被形成面の法線ベクトルまたは表面の法線ベクトルに平行な方向に揃っていることが好ましい。なお、異なる結晶部間で、それぞれ a 軸および b 軸の向きが異なっていてもよい。そのような酸化物半導体膜の一例としては、C A A C - O S 膜がある。

#### 【 0 3 4 0 】

酸化物半導体層 715 は、C A A C - O S 膜であるのが好ましい。

#### 【 0 3 4 1 】

C A A C - O S 膜に含まれる結晶部は、一辺が 100 nm 未満の立方体内に収まる大きさであることが多い。また、透過型電子顕微鏡（T E M : T r a n s m i s s i o n E l e c t r o n M i c r o s c o p e ）による観察像では、C A A C - O S 膜に含まれる結晶部と結晶部との境界は明確ではない。また、T E M によって C A A C - O S 膜には明確な粒界（グレインバウンダリーともいう。）は確認できない。そのため、C A A C - O S 膜は、粒界に起因する電子移動度の低下が抑制される。

30

#### 【 0 3 4 2 】

C A A C - O S 膜に含まれる結晶部は、例えば、c 軸が C A A C - O S 膜の被形成面の法線ベクトル又は表面の法線ベクトルに平行な方向になるように揃い、かつ a b 面に垂直な方向から見て金属原子が三角形状又は六角形状に配列し、c 軸に垂直な方向から見て金属原子が層状又は金属原子と酸素原子とが層状に配列している。なお、異なる結晶部間で、それぞれ a 軸及び b 軸の向きが異なっていてもよい。本明細書において、単に垂直と記載する場合、80° 以上 100° 以下、好ましくは 85° 以上 95° 以下の範囲も含まれることとする。また、単に平行と記載する場合、-10° 以上 10° 以下、好ましくは -5° 以上 5° 以下の範囲も含まれることとする。

40

#### 【 0 3 4 3 】

なお、C A A C - O S 膜中の、結晶部の分布が一様でなくてもよい。例えば、C A A C - O S 膜の形成過程において、酸化物半導体膜の表面側から結晶成長させる場合、被形成面の近傍に対し表面の近傍では結晶部の占める割合が高くなることがある。また、C A A C - O S 膜へ不純物を添加することにより、当該不純物添加領域において結晶部の結晶性が低下することもある。

#### 【 0 3 4 4 】

C A A C - O S 膜に含まれる結晶部の c 軸は、C A A C - O S 膜の被形成面の法線ベクト

50

ル又は表面の法線ベクトルに平行な方向になるように揃うため、C A A C - O S 膜の形状（被形成面の断面形状又は表面の断面形状）によっては、互いに異なる方向を向くことがある。また、結晶部は、成膜したとき、又は成膜後に加熱処理などの結晶化処理を行ったときに形成される。従って、結晶部のc軸は、C A A C - O S 膜が形成されたときの被形成面の法線ベクトルまたは表面の法線ベクトルに平行な方向になるように揃う。

#### 【0345】

C A A C - O S 膜を用いることで、可視光や紫外光の照射によるトランジスタの電気特性の変動が低減されるため、信頼性の高いトランジスタを得ることができる。

#### 【0346】

酸化物半導体層715の成膜方法は、スパッタリング法、M B E ( M o l e c u l a r Beam Epitaxy ) 法、C V D 法、パルスレーザ堆積法、A L D ( A t o m i c Layer Deposition ) 法等を適宜用いることができる。また、酸化物半導体層715は、スパッタリングターゲット表面に対し、概略垂直に複数の基板表面がセットされた状態で成膜を行うスパッタリング装置を用いて成膜してもよい。

#### 【0347】

酸化物半導体層715を形成する際、できる限り酸化物半導体層715に含まれる水素濃度を低減させることが好ましい。水素濃度を低減させるには、例えば、スパッタリング法を用いて成膜を行う場合には、スパッタリング装置の成膜室内に供給する雰囲気ガスとして、水素、水、水酸基又は水素化物などの不純物が除去された高純度の希ガス（代表的にはアルゴン）、酸素、及び希ガスと酸素との混合ガスを適宜用いる。

#### 【0348】

また、成膜室内の残留水分を除去しつつ水素及び水分が除去されたスパッタガスを導入して成膜を行うことで、成膜された酸化物半導体層715の水素濃度を低減させることができ。成膜室内の残留水分を除去するためには、吸着型の真空ポンプ、例えば、クライオポンプ、イオンポンプ、チタンサブリメーションポンプを用いることが好ましい。また、ターボ分子ポンプにコールドトラップを加えたものであってもよい。クライオポンプは、例えば、水素分子、水 ( H<sub>2</sub>O ) など水素原子を含む化合物（より好ましくは炭素原子を含む化合物も）等の排気能力が高いため、クライオポンプを用いて排気した成膜室で成膜した酸化物半導体層715に含まれる不純物の濃度を低減できる。

#### 【0349】

また、酸化物半導体層715をスパッタリング法で成膜する場合、成膜に用いる金属酸化物ターゲットの相対密度（充填率）は90%以上100%以下、好ましくは95%以上99.9%以下とする。相対密度の高い金属酸化物ターゲットを用いることにより、成膜した酸化物半導体層を緻密な膜とすることができます。

#### 【0350】

また、基板700を高温に保持した状態で酸化物半導体層715を形成することも、酸化物半導体層715中に含まれる不純物濃度を低減するのに有効である。基板700を加熱する温度としては、150以上450以下とすればよく、好ましくは基板温度が200以上350以下とすればよい。また、成膜時に基板を高温で加熱することで、結晶性酸化物半導体層を形成することができる。

#### 【0351】

酸化物半導体層715に用いる酸化物半導体としては、少なくともインジウム ( I n ) あるいは亜鉛 ( Z n ) を含むことが好ましい。特にI nとZ nを含むことが好ましい。また、該酸化物半導体を用いたトランジスタの電気特性のばらつきを減らすためのスタビライザーとして、それらに加えてガリウム ( G a ) を有することが好ましい。また、スタビライザーとしてスズ ( S n ) を有することが好ましい。また、スタビライザーとしてハフニウム ( H f ) を有することが好ましい。また、スタビライザーとしてアルミニウム ( A l ) を有することが好ましい。また、スタビライザーとしてジルコニウム ( Z r ) を有することが好ましい。

#### 【0352】

10

20

30

40

50

また、他のスタビライザーとして、ランタノイドである、ランタン( L a )、セリウム( C e )、プラセオジム( P r )、ネオジム( N d )、サマリウム( S m )、ユウロピウム( E u )、ガドリニウム( G d )、テルビウム( T b )、ジスプロシウム( D y )、ホルミウム( H o )、エルビウム( E r )、ツリウム( T m )、イッテルビウム( Y b )、ルテチウム( L u )のいずれか一種あるいは複数種を有してもよい。

#### 【 0 3 5 3 】

例えば、酸化物半導体として、酸化インジウム、酸化スズ、酸化亜鉛、二元系金属の酸化物である I n - Z n 系酸化物、 S n - Z n 系酸化物、 A l - Z n 系酸化物、 Z n - M g 系酸化物、 S n - M g 系酸化物、 I n - M g 系酸化物、 I n - G a 系酸化物、三元系金属の酸化物である I n - G a - Z n 系酸化物、 I n - A l - Z n 系酸化物、 I n - S n - Z n 系酸化物、 S n - G a - Z n 系酸化物、 A l - G a - Z n 系酸化物、 S n - A l - Z n 系酸化物、 I n - H f - Z n 系酸化物、 I n - L a - Z n 系酸化物、 I n - C e - Z n 系酸化物、 I n - P r - Z n 系酸化物、 I n - N d - Z n 系酸化物、 I n - S m - Z n 系酸化物、 I n - E u - Z n 系酸化物、 I n - G d - Z n 系酸化物、 I n - T b - Z n 系酸化物、 I n - D y - Z n 系酸化物、 I n - H o - Z n 系酸化物、 I n - E r - Z n 系酸化物、 I n - T m - Z n 系酸化物、 I n - Y b - Z n 系酸化物、 I n - L u - Z n 系酸化物、四元系金属の酸化物である I n - S n - G a - Z n 系酸化物、 I n - H f - G a - Z n 系酸化物、 I n - A l - G a - Z n 系酸化物、 I n - S n - A l - Z n 系酸化物、 I n - S n - H f - Z n 系酸化物、 I n - H f - A l - Z n 系酸化物を用いることができる。

#### 【 0 3 5 4 】

なお、酸化物半導体層 7 1 5 は、成膜時に酸素が多く含まれるような条件（例えば、酸素 1 0 0 % の雰囲気下でスパッタリング法により成膜を行うなど）で成膜して、酸素を多く含む（好ましくは酸化物半導体が結晶状態における化学量論的組成に対し、酸素の含有量が過剰な領域が含まれている）膜とすることが好ましい。

#### 【 0 3 5 5 】

また酸化物半導体層 7 1 5 を、成膜する際に用いるスパッタリングガスは水素、水、水酸基又は水素化物などの不純物が除去された高純度ガスを用いることが好ましい。

#### 【 0 3 5 6 】

酸化物半導体層 7 1 5 として C A A C - O S 膜を適用する場合、該 C A A C - O S 膜を得る方法としては、三つ挙げられる。一つ目は、成膜温度を 2 0 0 以上 4 5 0 以下として酸化物半導体層の成膜を行い、表面に概略垂直に c 軸配向させる方法である。二つ目は、酸化物半導体層を薄い膜厚で成膜した後、2 0 0 以上 7 0 0 以下の熱処理を行い、表面に概略垂直に c 軸配向させる方法である。三つ目は、一層目の膜厚を薄く成膜した後、2 0 0 以上 7 0 0 以下の熱処理を行い、二層目の成膜を行い、表面に概略垂直に c 軸配向させる方法である。

#### 【 0 3 5 7 】

成膜後の酸化物半導体膜をフォトリソグラフィ工程により加工して、島状の酸化物半導体層 7 1 5 が形成される。島状の酸化物半導体層 7 1 5 へ加工するためのレジストマスクをインクジェットで形成してもよい。レジストマスクをインクジェットで形成するとフォトマスクを使用しないため、製造コストを低減することができる。

#### 【 0 3 5 8 】

また、酸化物半導体層 7 1 5 に、当該酸化物半導体層 7 1 5 に含まれる過剰な水素（水や水酸基を含む）を除去（脱水化又は脱水素化）するための熱処理を行うのが好ましい。熱処理の温度は、3 0 0 以上 7 0 0 以下、又は基板の歪み点未満とする。熱処理は減圧下又は窒素雰囲気下などで行うことができる。

#### 【 0 3 5 9 】

この熱処理によって、n 型不純物である水素を酸化物半導体から除去することができる。例えば、脱水化又は脱水素化処理後の酸化物半導体層 7 1 5 に含まれる水素濃度を、 $5 \times 10^{19} / \text{cm}^3$  以下、好ましくは  $5 \times 10^{18} / \text{cm}^3$  以下とすることができます。

#### 【 0 3 6 0 】

10

20

30

40

50

なお、脱水化又は脱水素化のための熱処理は、酸化物半導体層の成膜後であればトランジスタ 724 の作製工程においてどのタイミングで行ってもよい。また、脱水化又は脱水素化のための熱処理は、複数回行ってもよく、他の加熱処理と兼ねてもよい。

#### 【0361】

なお、脱水化又は脱水素化のための熱処理を酸化物半導体層 715 の島状への加工前に行うと、ゲート絶縁膜 714 に含まれる酸素が熱処理によって放出されるのを防止することができるため好ましい。

#### 【0362】

熱処理においては、窒素、又はヘリウム、ネオン、アルゴン等の希ガスに、水、水素などが含まれないことが好ましい。又は、熱処理装置に導入する窒素、又はヘリウム、ネオン、アルゴン等の希ガスの純度を、6N(99.9999%)以上好ましくは7N(99.9999%)以上（即ち不純物濃度を1ppm以下、好ましくは0.1ppm以下）とすることが好ましい。

10

#### 【0363】

また、熱処理で酸化物半導体層 715 を加熱した後、加熱温度を維持、又はその加熱温度から徐冷しながら同じ炉に高純度の酸素ガス、高純度の亜酸化窒素ガス、又は超乾燥エア（CRDS（キャビティリングダウンレーザー分光法）方式の露点計を用いて測定した場合の水分量が20ppm（露点換算で-55）以下、好ましくは1ppm以下、より好ましくは10ppb以下の空気）を導入してもよい。酸素ガスもしくは亜酸化窒素ガスに、水、水素などが含まれないことが好ましい。又は、熱処理装置に導入する酸素ガスもしくは亜酸化窒素ガスの純度を、6N以上好ましくは7N以上（即ち、酸素ガス又は亜酸化窒素ガス中の不純物濃度を1ppm以下、好ましくは0.1ppm以下）とすることが好ましい。酸素ガス又は亜酸化窒素ガスの作用により、脱水化又は脱水素化処理による不純物の排除工程によって同時に減少してしまった酸化物半導体を構成する主成分材料である酸素を供給することによって、酸化物半導体層 715 を高純度化及びi型（真性）化することができる。

20

#### 【0364】

また、脱水化又は脱水素化処理を行った酸化物半導体層 715 に、酸素（少なくとも、酸素ラジカル、酸素原子、酸素イオン、のいずれかを含む）を導入して膜中に酸素を供給してもよい。この工程によって、酸化物半導体層 715 を高純度化、及びi型（真性）化することができる。高純度化し、i型（真性）化した酸化物半導体層 715 を有するトランジスタは、電気特性変動が抑制されており、電気的に安定である。

30

#### 【0365】

酸素は、酸化物半導体層 715 に直接導入してもよいし、後に形成される絶縁膜 722 などの他の膜を通過して酸化物半導体層 715 へ導入してもよい。酸素を他の膜を通過して導入する場合は、イオン注入法、イオンドーピング法、プラズマイマージョンイオンインプランテーション法などを用いればよいが、露出された酸化物半導体層 715 へ直接酸素を導入する場合は、上記の方法に加えてプラズマ処理なども用いることができる。

#### 【0366】

酸化物半導体層 715 への酸素の導入は、脱水化又は脱水素化処理を行った後であればよく、特に限定されない。また、上記脱水化又は脱水素化処理を行った酸化物半導体層 715 への酸素の導入は複数回行ってもよい。

40

#### 【0367】

次に、絶縁膜 708、絶縁膜 712、ゲート絶縁膜 714 を部分的にエッティングすることで、島状の半導体膜 702、島状の半導体膜 703、配線 711 に達するコントクトホールを形成する。そして、酸化物半導体層 715 を覆うように、スパッタ法や真空蒸着法で導電膜を形成したあと、エッティング等により該導電膜をパターニングすることで、ソース電極、ドレイン電極、又は配線として機能する導電膜 716、導電膜 717、導電膜 718、導電膜 719、導電膜 720、導電膜 721 を形成する（図 15 (C)）。

#### 【0368】

50

なお、導電膜 716 及び導電膜 717 は、島状の半導体膜 702 に接している。導電膜 718 及び導電膜 719 は、島状の半導体膜 703 に接している。導電膜 720 は、配線 711 及び酸化物半導体層 715 に接している。導電膜 721 は、酸化物半導体層 715 に接している。

#### 【0369】

導電膜 716、導電膜 717、導電膜 718、導電膜 719、導電膜 720、導電膜 721 となる導電膜の材料としては、アルミニウム、クロム、銅、タンタル、チタン、モリブデン、タングステンから選ばれた元素、上述した元素を成分とする合金、又は上述した元素を組み合わせた合金等が挙げられる。また、アルミニウム、銅などの金属膜の下側もしくは上側にクロム、タンタル、チタン、モリブデン、タングステンなどの高融点金属膜を積層させた構成としてもよい。また、アルミニウム又は銅は、耐熱性や腐食性の問題を回避するために、高融点金属材料と組み合わせて用いるとよい。高融点金属材料としては、モリブデン、チタン、クロム、タンタル、タングステン、ネオジム、スカンジウム、イットリウム等を用いることができる。

10

#### 【0370】

また、導電膜 716、導電膜 717、導電膜 718、導電膜 719、導電膜 720、導電膜 721 は、単層構造でも、2層以上の積層構造としてもよい。例えば、シリコンを含むアルミニウム膜の単層構造、アルミニウム膜上にチタン膜を積層する2層構造、チタン膜と、そのチタン膜上に重ねてアルミニウム膜を積層し、さらにその上にチタン膜を成膜する3層構造などが挙げられる。

20

#### 【0371】

また、導電膜 716、導電膜 717、導電膜 718、導電膜 719、導電膜 720、導電膜 721 となる導電膜としては、導電性の金属酸化物で形成してもよい。導電性の金属酸化物としては酸化インジウム、酸化スズ、酸化亜鉛、インジウムスズ酸化物、インジウム亜鉛酸化物又は該金属酸化物材料にシリコン若しくは酸化シリコンを含ませたものを用いることができる。

#### 【0372】

導電膜形成後に加熱処理を行う場合には、該加熱処理に耐える耐熱性を導電膜に持たせることが好ましい。

30

#### 【0373】

なお、導電膜のエッチングの際に、酸化物半導体層 715 がなるべく除去されないようにそれぞれの材料及びエッチング条件を適宜調節する。エッチング条件によっては、島状の酸化物半導体層 715 の露出した部分が一部エッチングされることで、溝部（凹部）が形成されることもある。

#### 【0374】

なお、フォトリソグラフィ工程で用いるフォトマスク数及び工程数を削減するため、透過した光に多段階の強度をもたせる多階調マスクによって形成されたレジストマスクを用いてエッチング工程を行ってもよい。多階調マスクを用いて形成したレジストマスクは複数の膜厚を有する形状となり、エッチングを行うことでさらに形状を変形することができるため、異なるパターンに加工する複数のエッチング工程に用いることができる。よって、一枚の多階調マスクによって、少なくとも二種類以上の異なるパターンに対応するレジストマスクを形成することができる。よって露光マスク数を削減することができ、対応するフォトリソグラフィ工程も削減できるため、工程の簡略化が可能となる。

40

#### 【0375】

その後、N<sub>2</sub>O、N<sub>2</sub>、又はArなどのガスを用いたプラズマ処理を行うことが好ましい。このプラズマ処理によって露出している酸化物半導体層 715 の表面に付着した水などを除去する。また、酸素とアルゴンの混合ガスを用いてプラズマ処理を行ってもよい。

#### 【0376】

次に、図15(C)に示すように、導電膜 716、導電膜 717、導電膜 718、導電膜 719、導電膜 720、及び導電膜 721 と、酸化物半導体層 715 とを覆うように、絶

50

縁膜 722 を形成する。絶縁膜 722 は、水分や、水素などの不純物を極力含まないことが望ましい。絶縁膜 722 に水素が含まれると、その水素が酸化物半導体層へ侵入し、又は水素が酸化物半導体層中の酸素を引き抜き、酸化物半導体層のバックチャネル部が低抵抗化 (n型化) してしまい、寄生チャネルが形成されるおそれがある。よって、絶縁膜 722 はできるだけ水素を含まない膜になるように、成膜方法に水素を用いないことが重要である。

#### 【 0377 】

絶縁膜 722 は、プラズマ CVD 法、スパッタリング法、又は蒸着法等により成膜することができる。特に、スパッタリング法など、絶縁膜 722 に水、水素等の不純物を混入させない方法を適宜用いて形成することが好ましい。

10

#### 【 0378 】

絶縁膜 722 の材料としては、酸化シリコン、酸化ガリウム、酸化アルミニウム、窒化シリコン、酸化窒化シリコン、酸化窒化アルミニウム、窒化酸化シリコン、酸化ハフニウム、酸化マグネシウム、酸化ジルコニア、酸化ランタン、酸化バリウム等を用いることができる。

#### 【 0379 】

絶縁膜 722 は、単層でも積層でもよく、例えば酸化シリコン膜及び酸化アルミニウム膜の積層を用いることができる。酸化アルミニウム膜は、水素、水分などの不純物、及び酸素の両方に対して膜を通過させない遮断効果（ブロック効果）が高く、作製工程中及び作製後において、変動要因となる水素、水分などの不純物の酸化物半導体層 715 への混入、及び酸化物半導体を構成する主成分材料である酸素の酸化物半導体層 715 からの放出を防止する保護膜として機能するため好ましく適用することができる。

20

#### 【 0380 】

絶縁膜 722 は、酸化物半導体層 715 と接する部分において酸素を含むことが好ましい。特に、絶縁膜 722 は、膜中（バルク中）に少なくとも化学量論的組成を超える量の酸素が存在することが好ましく、例えば、絶縁膜 722 として、酸化シリコン膜を用いる場合には、 $\text{SiO}_{2+}$ （ただし、 $\text{SiO}_{2+} > 0$ ）とするのが好ましい。この酸化シリコン膜を絶縁膜 722 として用いることで、酸化物半導体層 715 に酸素を供給することができ、特性を良好にすることができる。

#### 【 0381 】

また、絶縁膜 722 を積層構造とする場合、酸化物半導体層 715 と接する酸化物絶縁膜と、酸化物絶縁膜と接するバリア性の高い絶縁膜との積層構造が好ましい。例えば、バリア性の高い絶縁膜として、窒化シリコン膜、窒化酸化シリコン膜、窒化アルミニウム膜、又は窒化酸化アルミニウム膜などを用いることができる。バリア性の高い絶縁膜を用いることで、酸化物半導体層 715 内、ゲート絶縁膜 714 内、或いは、酸化物半導体層 715 と他の絶縁膜の界面とその近傍に、水分又は水素などの不純物が入り込むのを防ぐことができる。

30

#### 【 0382 】

なお、絶縁膜 722 を形成した後に、加熱処理を施してもよい。加熱処理は、窒素、超乾燥空気、又は希ガス（アルゴン、ヘリウムなど）の雰囲気下において、好ましくは 200

40

以上 400 以下、例えば 250 以上 350 以下で行う。上記ガスは、水の含有量が 20 ppm 以下、好ましくは 1 ppm 以下、より好ましくは 10 ppb 以下であることが望ましい。本実施の形態では、例えば、窒素雰囲気下で 250 、 1 時間の加熱処理を行う。或いは、水分又は水素を低減させるために酸化物半導体層に対して行った先の加熱処理と同様に、高温短時間の RTA 処理を行ってもよい。酸素を含む絶縁膜 722 が設けられた後に、加熱処理が施されることによって、酸化物半導体層に対して行った先の加熱処理により、酸化物半導体層 715 に酸素欠損が発生していたとしても、絶縁膜 722 から酸化物半導体層 715 に酸素が供与される。そして、酸化物半導体層 715 に酸素が供与されることで、酸化物半導体層 715 において、ドナーとなる酸素欠損を低減することができる。その結果、酸化物半導体層 715 を i 型に近づけることができ、酸素欠損

50

によるトランジスタの電気特性のばらつきを軽減し、電気特性の向上を実現することができる。この加熱処理を行うタイミングは、絶縁膜 722 の形成後であれば特に限定されず、他の工程、例えば樹脂膜形成時の加熱処理や、透明導電膜を低抵抗化させるための加熱処理と兼ねることで、工程数を増やすことなく、酸化物半導体層 715 を i 型に近づけることができる。

#### 【0383】

また、酸素雰囲気下で酸化物半導体層 715 に加熱処理を施すことで、酸化物半導体に酸素を添加し、酸化物半導体層 715 中においてドナーとなる酸素欠損を低減させてもよい。加熱処理の温度は、例えば 100 以上 350 未満、好ましくは 150 以上 250 未満で行う。上記酸素雰囲気下の加熱処理に用いられる酸素ガスには、水、水素などが含まれないことが好ましい。又は、加熱処理装置に導入する酸素ガスの純度を、6 N (99.9999%) 以上、好ましくは 7 N (99.99999%) 以上、(即ち酸素中の不純物濃度を 1 ppm 以下、好ましくは 0.1 ppm 以下) とすることが好ましい。10

#### 【0384】

或いは、イオン注入法又はイオンドーピング法などを用いて、酸化物半導体層 715 に酸素を添加することで、ドナーとなる酸素欠損を低減させてもよい。例えば、2.45 GHz のマイクロ波でプラズマ化した酸素を酸化物半導体層 715 に添加すればよい。

#### 【0385】

なお、絶縁膜 722 上に導電膜を形成した後、該導電膜をパターニングすることで、酸化物半導体層 715 と重なる位置にバックゲート電極を形成してもよい。バックゲート電極を形成した場合は、バックゲート電極を覆うように絶縁膜を形成するのが望ましい。バックゲート電極は、ゲート電極 713、或いは導電膜 716、導電膜 717、導電膜 718、導電膜 719、導電膜 720、導電膜 721 と同様の材料、構造を用いて形成することが可能である。20

#### 【0386】

バックゲート電極の膜厚は、10 nm ~ 400 nm、好ましくは 100 nm ~ 200 nm とする。例えば、チタン膜、アルミニウム膜、チタン膜が積層された構造を有する導電膜を形成した後、フォトリソグラフィ法などによりレジストマスクを形成し、エッチングにより不要な部分を除去して、該導電膜を所望の形状に加工(パターニング)することで、バックゲート電極を形成するとよい。30

#### 【0387】

以上の工程により、トランジスタ 724 が形成される。

#### 【0388】

トランジスタ 724 は、ゲート電極 713 と、ゲート電極 713 上のゲート絶縁膜 714 と、ゲート絶縁膜 714 上でゲート電極 713 と重なる酸化物半導体層 715 と、酸化物半導体層 715 上に形成された一対の導電膜 720 及び導電膜 721 を有する。さらに、トランジスタ 724 は、絶縁膜 722 を、その構成要素に含めてもよい。図 15 (C) に示すトランジスタ 724 は、導電膜 720 と導電膜 721 の間ににおいて、酸化物半導体層 715 の一部がエッチングされたチャネルエッチ構造である。

#### 【0389】

なお、トランジスタ 724 はシングルゲート構造のトランジスタを用いて説明したが、必要に応じて、電気的に接続する複数のゲート電極 713 を有することで、チャネル形成領域を複数有する、マルチゲート構造のトランジスタも形成することができる。40

#### 【0390】

本実施の形態は、上記実施の形態と組み合わせて実施することが可能である。

#### 【0391】

##### (実施の形態 9)

本実施の形態では、実施の形態 8 とは異なる構造を有する、酸化物半導体層にチャネルが形成されるトランジスタについて図 16 を用いて説明する。

#### 【0392】

なお、図16(A)乃至(D)に示すフォトセンサが備えるフォトダイオード704及びnチャネル型トランジスタ705は、実施の形態8と同様の構成のため、説明を省略する。

#### 【0393】

図16(A)に示すトランジスタ724aは、チャネル保護膜を有するボトムゲート型のトランジスタである。

#### 【0394】

トランジスタ724aは、絶縁膜712上に形成されたゲート電極730と、ゲート電極730上のゲート絶縁膜731と、ゲート絶縁膜731上においてゲート電極730と重なる酸化物半導体層732と、ゲート電極730と重なる位置において酸化物半導体層732上に形成されたチャネル保護膜733と、酸化物半導体層732上に形成された導電膜734及び導電膜735とを有する。トランジスタ724aは、導電膜734、導電膜735、及びチャネル保護膜733上に形成された絶縁膜736を、構成要素に含めてもよい。

10

#### 【0395】

チャネル保護膜733を設けることによって、酸化物半導体層732のチャネル形成領域となる部分に対する、後の工程における、エッティング時のプラズマやエッティング剤による膜減りなどのダメージを防ぐことができる。従ってトランジスタ724aの信頼性を向上させることができる。

20

#### 【0396】

チャネル保護膜733には、酸素を含む無機材料(酸化シリコン、窒化酸化シリコン、酸化窒化シリコン、酸化アルミニウム、又は酸化窒化アルミニウムなど)を用いることができる。チャネル保護膜733は、プラズマCVD法や熱CVD法などの気相成長法やスパッタリング法を用いて形成することができる。チャネル保護膜733は成膜後にエッティングにより形状を加工する。ここでは、スパッタ法により酸化シリコン膜を形成し、フォトリソグラフィによるマスクを用いてエッティング加工することでチャネル保護膜733を形成する。

20

#### 【0397】

酸素を含む無機材料をチャネル保護膜733に用いることで、水分又は水素を低減させるための加熱処理により酸化物半導体層732中に酸素欠損が発生していたとしても、酸化物半導体層732にチャネル保護膜733から酸素を供給し、ドナーとなる酸素欠損を低減することが可能である。よって、チャネル形成領域をi型に近づけることができ、酸素欠損によるトランジスタ724aの電気特性のばらつきを軽減し、電気特性の向上を実現することができる。

30

#### 【0398】

図16(B)に示すトランジスタ724bは、ボトムコンタクト型のトランジスタである。

#### 【0399】

トランジスタ724bは、絶縁膜712上に形成されたゲート電極741と、ゲート電極741上のゲート絶縁膜742と、ゲート絶縁膜742上の導電膜743及び導電膜744と、ゲート絶縁膜742を間に挟んでゲート電極741と重なる酸化物半導体層745とを有する。トランジスタ724bは、酸化物半導体層745上に形成された絶縁膜746を、構成要素に含めてもよい。

40

#### 【0400】

なお、トランジスタ724aやトランジスタ724bは、バックゲート電極を有していてもよい。

#### 【0401】

図16(C)に示すトランジスタ724cは、トップコンタクト型のトランジスタである。

#### 【0402】

50

トランジスタ 724c は、絶縁膜 712 上に形成された酸化物半導体層 755 と、酸化物半導体層 755 上の導電膜 753 及び導電膜 754 と、酸化物半導体層 755、導電膜 753 及び導電膜 754 上のゲート絶縁膜 752 と、ゲート絶縁膜 752 を間に挟んで酸化物半導体層 755 と重なるゲート電極 751 とを有する。トランジスタ 724c は、ゲート電極 751 上に形成された絶縁膜 756 を、構成要素に含めてよい。

#### 【0403】

図 16 (D) に示すトランジスタ 724d は、トップコンタクト型のトランジスタである。

#### 【0404】

トランジスタ 724d は、絶縁膜 712 上に形成された導電膜 763 及び導電膜 764 と、導電膜 763 及び導電膜 764 上の酸化物半導体層 765 と、酸化物半導体層 765、導電膜 763 及び導電膜 764 上のゲート絶縁膜 762 と、ゲート絶縁膜 762 を間に挟んで酸化物半導体層 765 と重なるゲート電極 761 とを有する。トランジスタ 724d は、ゲート電極 761 上に形成された絶縁膜 766 を、構成要素に含めてよい。

#### 【0405】

本実施の形態は、上記実施の形態と組み合わせて実施することが可能である。

#### 【符号の説明】

#### 【0406】

F D	電荷保持ノード	
F D_1	電荷保持ノード	10
F D_2	電荷保持ノード	
F D_A	電荷保持ノード	
F D_B	電荷保持ノード	
P R	リセット信号線	
P R_1	リセット信号線	20
P R_2	リセット信号線	
P R_A	リセット信号線	
P R_B	リセット信号線	
R D	固定電源線	
R O	フォトセンサ出力信号線	30
R O_1	フォトセンサ出力信号線	
R O_2	フォトセンサ出力信号線	
R O_A	フォトセンサ出力信号線	
R O_B	フォトセンサ出力信号線	
S 0 ~ S 3	検出信号の電圧	
S E	選択信号線	
S E_1	選択信号線	40
S E_2	選択信号線	
S E_A	選択信号線	
S E_B	選択信号線	
T 1 ~ T 27	時刻	
T X	蓄積信号線	
T X_1	蓄積信号線	
T X_2	蓄積信号線	
T X_A	蓄積信号線	
T X_B	蓄積信号線	
V H	電源線	
V R	リセット電源線	
V S	フォトセンサ基準信号線	
10	距離測定システム	50

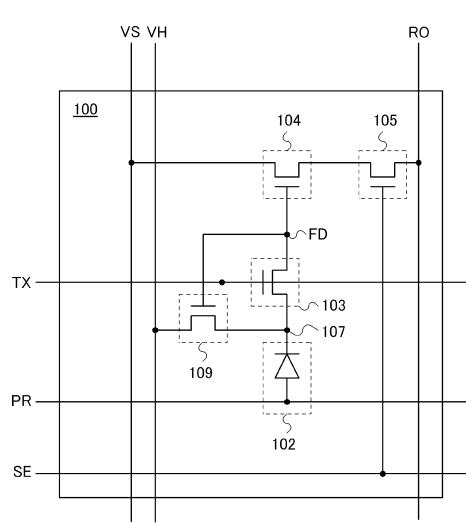
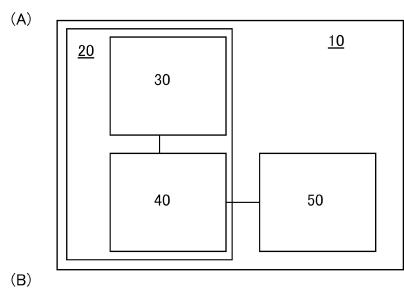
2 0	距離測定装置	
3 0	フォトセンサ	
4 0	読み出し回路	
5 0	処理部	
1 0 0	フォトセンサ	
1 0 0 _ 1	第1のフォトセンサ	
1 0 0 _ 2	第2のフォトセンサ	
1 0 0 A	第1のフォトセンサ	10
1 0 0 B	第2のフォトセンサ	
1 0 2	フォトダイオード	
1 0 2 _ 1	フォトダイオード	
1 0 2 _ 2	フォトダイオード	
1 0 2 A	フォトダイオード	
1 0 2 B	フォトダイオード	
1 0 3	トランジスタ	
1 0 3 _ 1	トランジスタ	
1 0 3 _ 2	トランジスタ	
1 0 3 A	トランジスタ	
1 0 3 B	トランジスタ	
1 0 4	トランジスタ	20
1 0 4 _ 1	トランジスタ	
1 0 4 _ 2	トランジスタ	
1 0 4 A	トランジスタ	
1 0 4 B	トランジスタ	
1 0 5	トランジスタ	
1 0 5 _ 1	トランジスタ	
1 0 5 _ 2	トランジスタ	
1 0 5 A	トランジスタ	
1 0 5 B	トランジスタ	
1 0 6	トランジスタ	30
1 0 7	ノード	
1 0 7 _ 1	ノード	
1 0 7 _ 2	ノード	
1 0 7 A	ノード	
1 0 9	トランジスタ	
1 0 9 _ 1	トランジスタ	
1 0 9 _ 2	トランジスタ	
1 0 9 A	トランジスタ	
1 2 0	読み出し回路	
1 2 2	トランジスタ	40
1 2 4	電源供給配線	
1 3 0	フォトセンサ	
1 5 1	照射光	
1 5 2	反射光	
2 1 0	導電膜	
2 1 1	導電膜	
2 1 2	導電膜	
2 1 3	導電膜	
2 1 4	導電膜	
2 1 5	半導体膜	50

2 1 6	半導体膜	
2 1 7	半導体膜	
2 1 8	導電膜	
2 1 9	導電膜	
2 2 0	導電膜	
2 2 1	導電膜	
2 2 2	導電膜	
2 2 3	導電膜	
2 2 4	導電膜	
2 2 5	導電膜	10
2 2 6	導電膜	
2 2 7	導電膜	
2 2 8	ゲート絶縁膜	
2 2 9	導電膜	
2 3 7	導電膜	
2 3 8	導電膜	
2 3 9	導電膜	
2 5 0	活性層	
2 5 1	基板	
2 8 1	絶縁膜	20
2 8 2	絶縁膜	
3 0 0	透光性基板	
3 0 3	p型半導体領域	
3 0 4	i型半導体領域	
3 0 5	n型半導体領域	
3 0 6	i型半導体領域	
3 0 7	n型半導体領域	
3 0 8	i型半導体領域	
3 0 9	n型半導体領域	
3 1 0	絶縁層	30
3 1 1	ゲート電極	
3 1 2	ゲート電極	
3 1 3	絶縁層	
3 1 4	導電層	
3 1 5	導電層	
3 1 6	導電層	
3 1 7	導電層	
3 1 8	p型半導体領域	
3 1 9	i型半導体領域	
3 2 0	n型半導体領域	40
3 2 1	絶縁層	
3 2 2	導電層	
3 2 3	n型半導体領域	
3 2 4	導電層	
3 3 1	遮光層	
3 3 2	下地膜	
7 0 0	基板	
7 0 1	絶縁膜	
7 0 2	半導体膜	
7 0 3	半導体膜	50

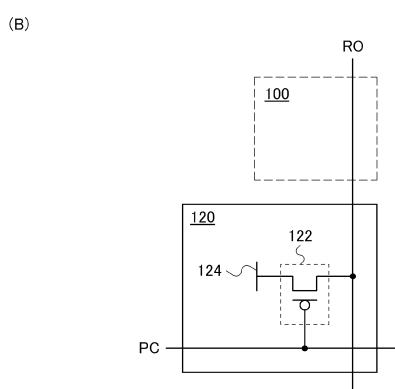
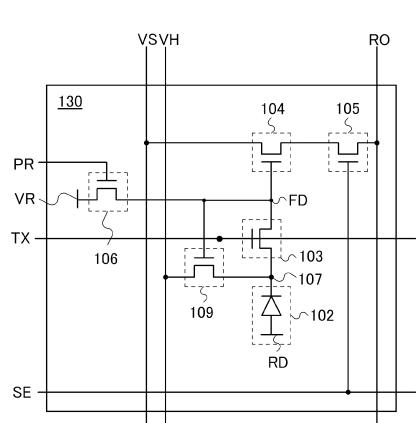
7 0 4	フォトダイオード	
7 0 5	nチャネル型トランジスタ	
7 0 7	ゲート電極	
7 0 8	絶縁膜	
7 1 1	配線	
7 1 2	絶縁膜	
7 1 3	ゲート電極	
7 1 4	ゲート絶縁膜	
7 1 5	酸化物半導体層	
7 1 6	導電膜	10
7 1 7	導電膜	
7 1 8	導電膜	
7 1 9	導電膜	
7 2 0	導電膜	
7 2 1	導電膜	
7 2 2	絶縁膜	
7 2 4	トランジスタ	
7 2 4 a	トランジスタ	
7 2 4 b	トランジスタ	
7 2 4 c	トランジスタ	20
7 2 4 d	トランジスタ	
7 2 7	領域	
7 2 8	領域	
7 2 9	領域	
7 3 0	ゲート電極	
7 3 1	ゲート絶縁膜	
7 3 2	酸化物半導体層	
7 3 3	チャネル保護膜	
7 3 4	導電膜	
7 3 5	導電膜	30
7 3 6	絶縁膜	
7 4 1	ゲート電極	
7 4 2	ゲート絶縁膜	
7 4 3	導電膜	
7 4 4	導電膜	
7 4 5	酸化物半導体層	
7 4 6	絶縁膜	
7 5 1	ゲート電極	
7 5 2	ゲート絶縁膜	
7 5 3	導電膜	40
7 5 4	導電膜	
7 5 5	酸化物半導体層	
7 5 6	絶縁膜	
7 6 1	ゲート電極	
7 6 2	ゲート絶縁膜	
7 6 3	導電膜	
7 6 4	導電膜	
7 6 5	酸化物半導体層	
7 6 6	絶縁膜	
1 0 0 1	フォトセンサ	50

## 【図面】

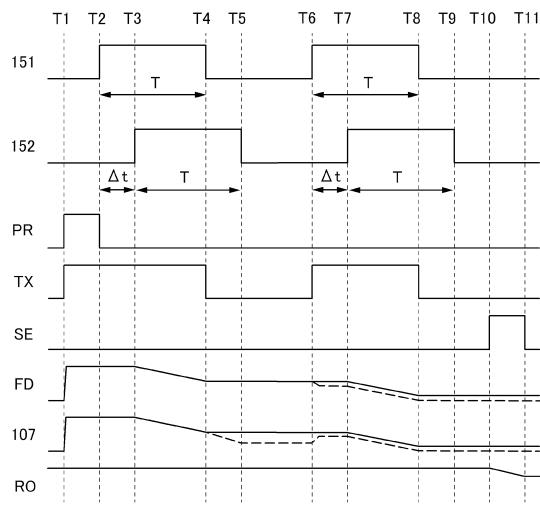
## 【図 1】



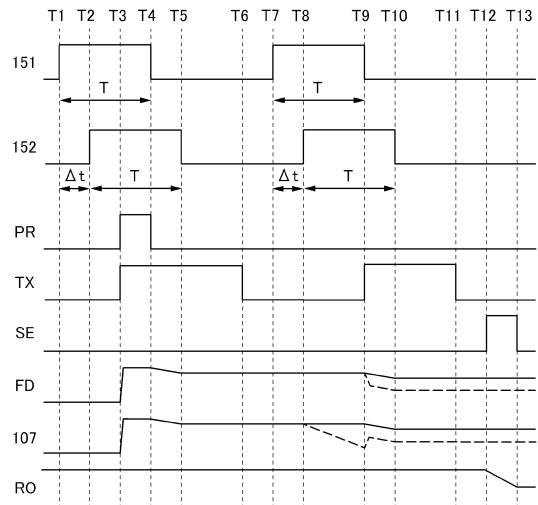
## 【図 2】



## 【図 3】



## 【図 4】



10

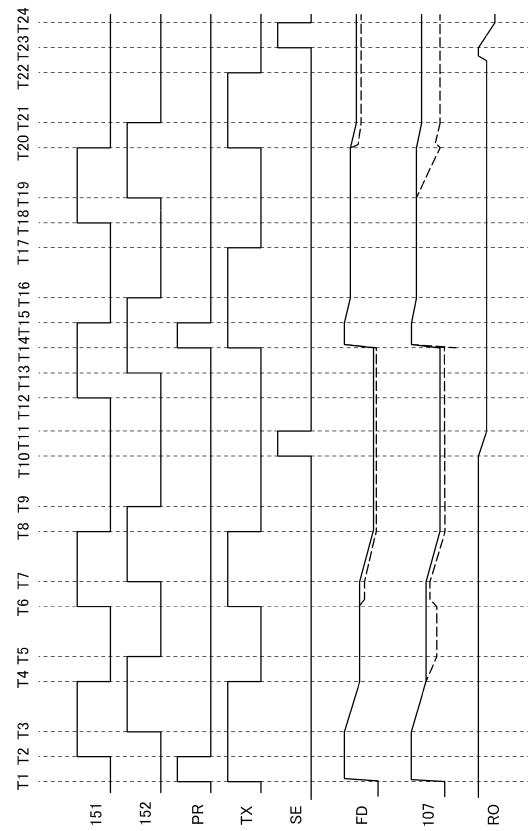
20

30

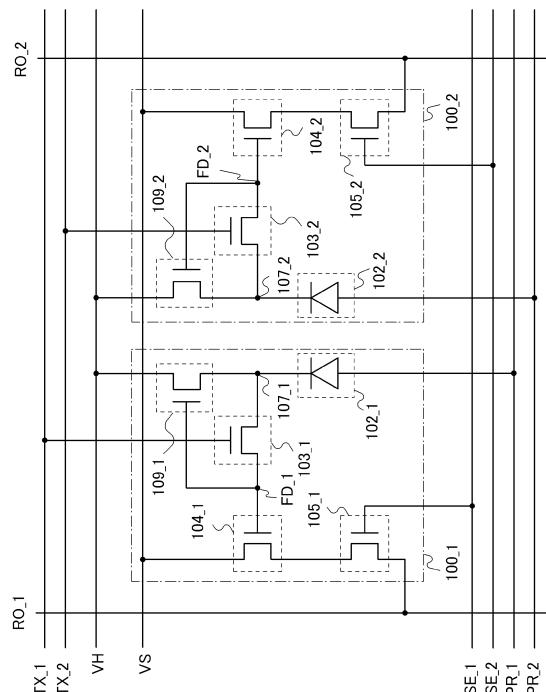
40

50

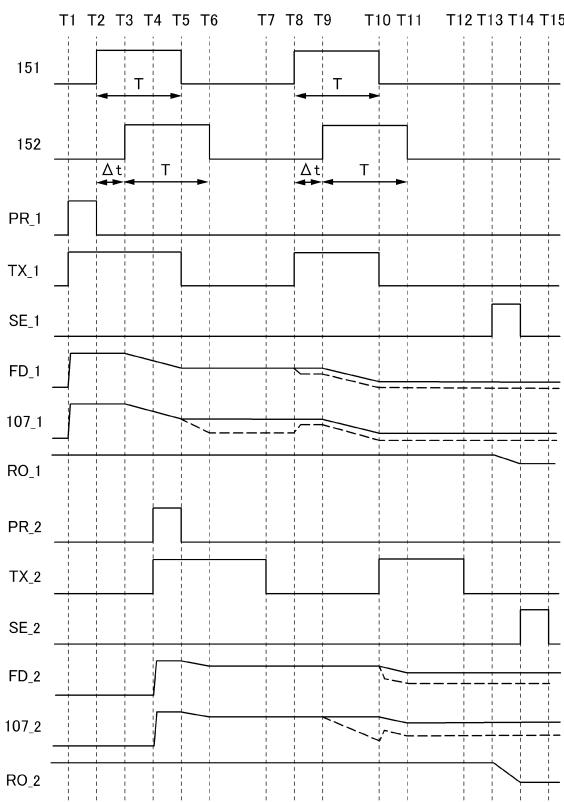
【 四 5 】



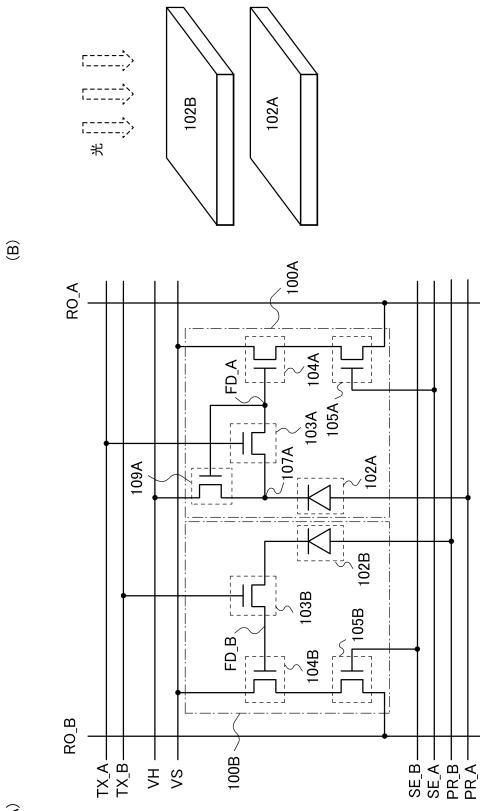
【 四 6 】



【図7】



【 四 8 】



10

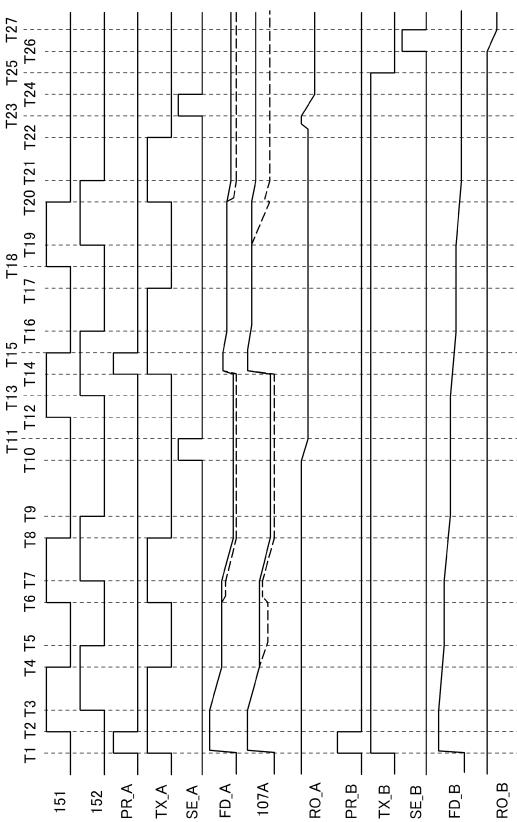
20

30

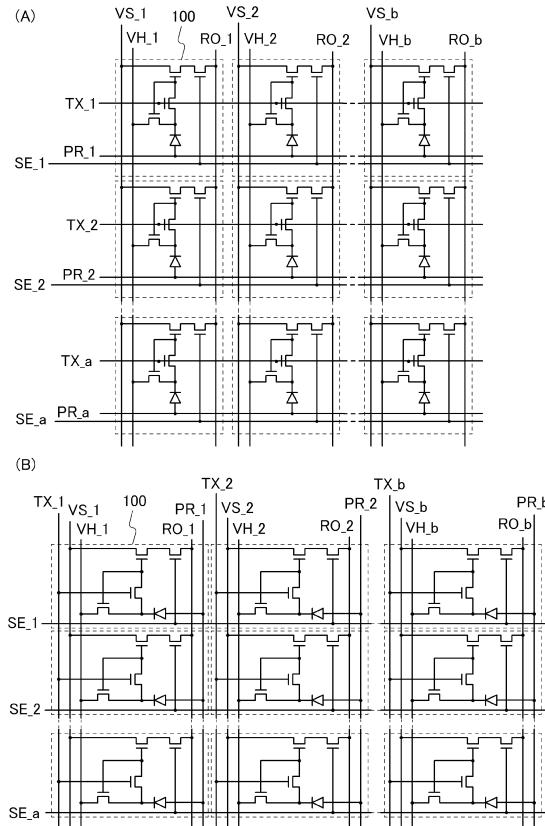
40

50

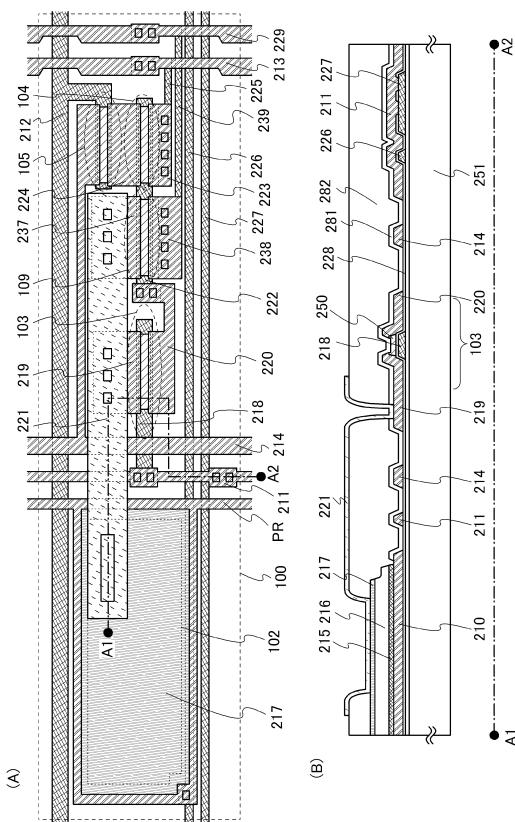
【 四 9 】



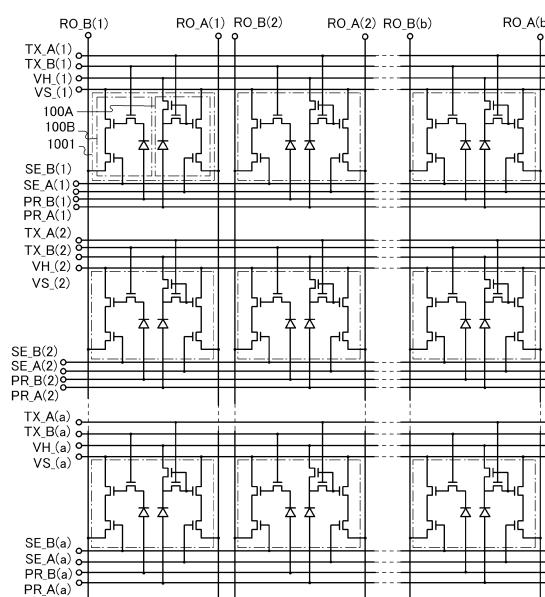
【図10】



【図 1 1】



【図12】



10

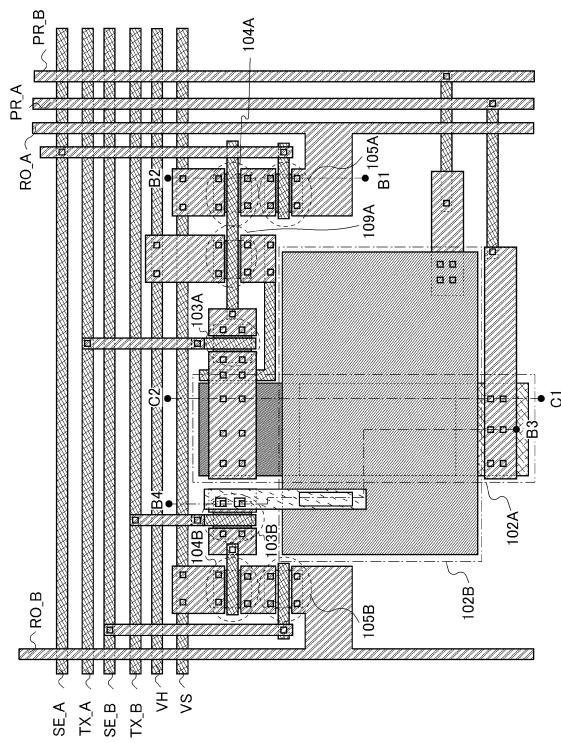
20

30

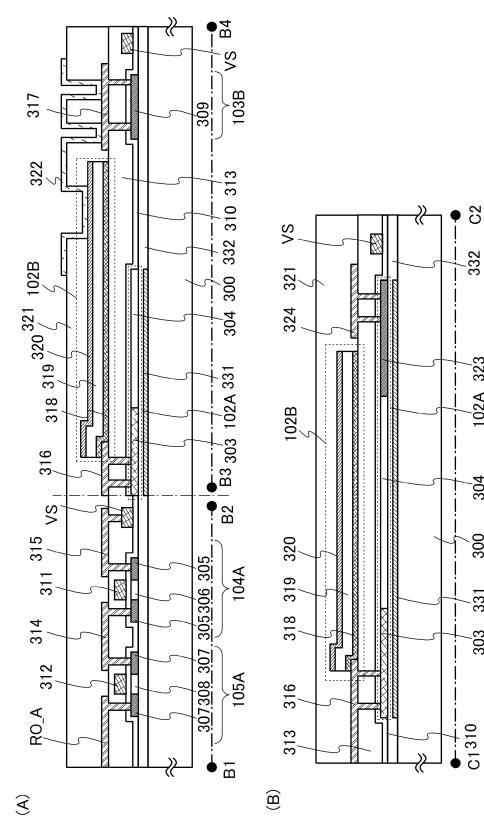
40

50

【図 1 3】



【図 1 4】



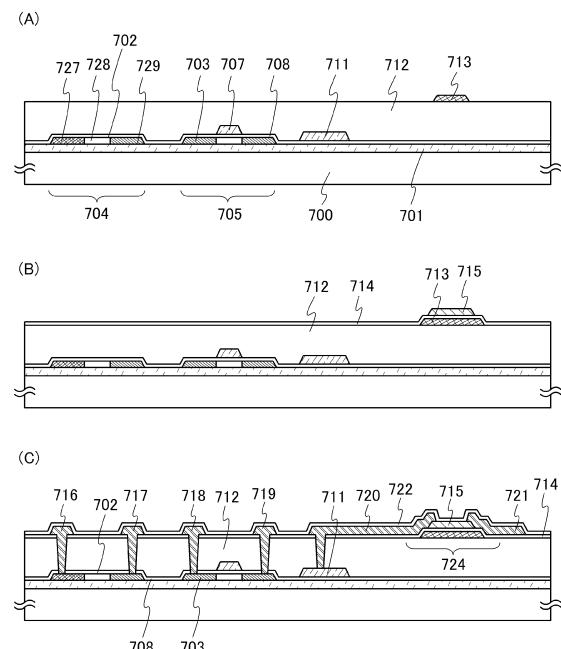
10

20

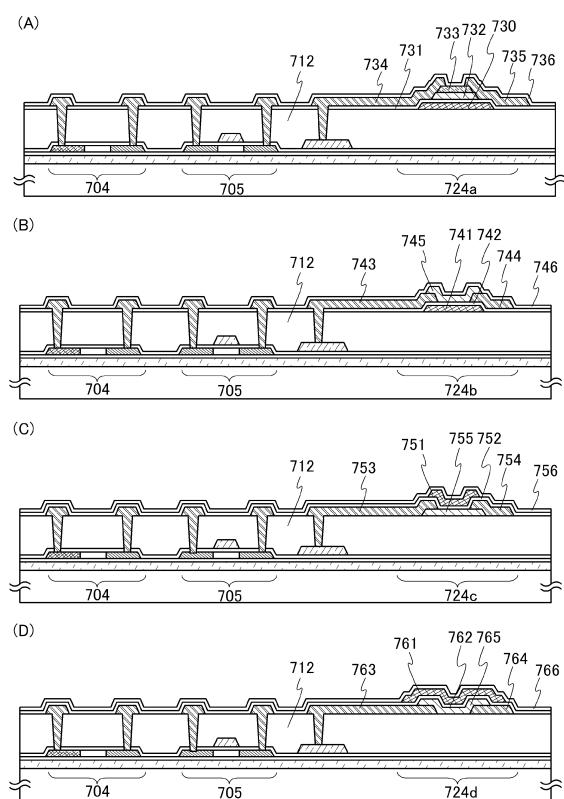
30

40

【図 1 5】



【図 1 6】



50

---

フロントページの続き

- (56)参考文献      特許第6192957(JP, B2)  
                  特開2011-128024(JP, A)  
                  特開2009-041943(JP, A)  
                  国際公開第2009/147862(WO, A1)  
                  特開2005-121398(JP, A)  
                  特開平08-304540(JP, A)  
                  米国特許出願公開第2009/0236644(US, A1)  
                  特開2012-034354(JP, A)
- (58)調査した分野 (Int.Cl., DB名)  
                  H01L 27/146  
                  H04N 25/70  
                  H04N 25/705  
                  G01S 7/4863  
                  G01S 17/894