

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号
特許第6192957号
(P6192957)

(45) 発行日 平成29年9月6日(2017.9.6)

(24) 登録日 平成29年8月18日(2017.8.18)

(51) Int.Cl.

F I

GO 1 S 17/10 (2006.01)

GO 1 C 3/06 (2006.01)

GO 1 S 17/10

GO 1 C 3/06 1 2 0 Q

請求項の数 19 (全 64 頁)

(21) 出願番号	特願2013-55961 (P2013-55961)	(73) 特許権者	000153878
(22) 出願日	平成25年3月19日 (2013.3.19)		株式会社半導体エネルギー研究所
(65) 公開番号	特開2013-224931 (P2013-224931A)		神奈川県厚木市長谷398番地
(43) 公開日	平成25年10月31日 (2013.10.31)	(72) 発明者	黒川 義元
審査請求日	平成28年1月11日 (2016.1.11)		神奈川県厚木市長谷398番地 株式会社
(31) 優先権主張番号	特願2012-63338 (P2012-63338)		半導体エネルギー研究所内
(32) 優先日	平成24年3月21日 (2012.3.21)		
(33) 優先権主張国	日本国 (JP)	審査官	中村 説志

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 距離測定装置、距離測定システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

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、を有し、

前記配線は、前記受光素子の一方の電極と電氣的に接続され、

前記信号線は、前記第1のトランジスタのゲート電極と電氣的に接続され、

前記電源線は、前記第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氣的に接続され、

前記第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は、前記第2のトランジスタのゲート電極と電氣的に接続され、

前記第1のトランジスタのソース電極又はドレイン電極の他方は、前記受光素子の他方の電極、及び前記第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氣的に接続されている距離測定装置であって、

前記光源は、被検出物に対して一定時間Tの光照射をn（nは2以上の自然数）回行い、

前記受光素子は、前記光源から照射された光が前記被検出物で反射されることで生じる反射光を検出し、

前記第1のトランジスタは、前記光照射1回につき、前記一定時間T以上、導通状態となり、かつ、前記光照射の終了と同時に前記導通状態が終了し、

前記フォトセンサが、前記光源と前記被検出物との間の距離xに応じた信号を出力する

ことを特徴とする距離測定装置。

【請求項 2】

請求項 1 に記載の距離測定装置と、

前記距離 x を、数式 (1) を用いて算出する処理部と、を有することを特徴とする距離測定システム。

【数 1】

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

10

(ただし、数式 (1) において、 $S1$ は、前記一定時間 T の光照射が前記 n 回行われた後の前記第 1 のトランジスタの前記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。)

【請求項 3】

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、を有し、

前記配線は、前記受光素子の一方の電極と電氣的に接続され、

前記信号線は、前記第 1 のトランジスタのゲート電極と電氣的に接続され、

20

前記電源線は、前記第 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氣的に接続され、

前記第 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は、前記第 2 のトランジスタのゲート電極と電氣的に接続され、

前記第 1 のトランジスタのソース電極又はドレイン電極の他方は、前記受光素子の他方の電極、及び前記第 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氣的に接続されている距離測定装置であって、

前記光源は、被検出物に対して一定時間の光照射を n (n は 2 以上の自然数) 回行い、

前記受光素子は、前記光源から照射された光が前記被検出物で反射されることで生じる反射光を検出し、

30

前記第 1 のトランジスタは、前記光照射 1 回につき 1 回、導通状態となり、前記導通状態は、前記光照射の終了と同時に開始し、前記受光素子における前記反射光の検出の終了より後に終了し、

前記フォトセンサが、前記光源と前記被検出物との間の距離 x に応じた信号を出力することを特徴とする距離測定装置。

【請求項 4】

請求項 3 に記載の距離測定装置と、

前記距離 x を、数式 (2) を用いて算出する処理部と、を有することを特徴とする距離測定システム。

【数 2】

40

$$x = \frac{c \times S2}{2 \times n \times k} \cdots (2)$$

(ただし、数式 (2) において、 $S2$ は、前記一定時間の光照射が前記 n 回行われた後の前記第 1 のトランジスタの前記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。)

【請求項 5】

50

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、を有し、

前記配線は、前記第 1 の受光素子の一方の電極と電氣的に接続され、

前記信号線は、前記第 1 のトランジスタのゲート電極と電氣的に接続され、

前記電源線は、前記第 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氣的に接続され、

前記第 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は、前記第 2 のトランジスタのゲート電極と電氣的に接続され、

前記第 1 のトランジスタのソース電極又はドレイン電極の他方は、前記第 1 の受光素子の他方の電極、及び前記第 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氣的に接続されている距離測定装置であって、

10

前記光源は、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 (n は 2 以上の自然数) 回行い、かつ、前記一定時間 T の第 2 の光照射を連続して前記 n 回行い、

前記第 1 の受光素子は、前記光源から照射された光が前記被検出物で反射されることで生じる反射光を検出し、

前記第 1 のトランジスタは、前記第 1 の光照射 1 回につき、前記一定時間 T 以上、第 1 の導通状態となり、かつ、前記第 1 の光照射の終了と同時に前記第 1 の導通状態が終了し、前記第 2 の光照射 1 回につき 1 回、第 2 の導通状態となり、前記第 2 の導通状態は、前記第 2 の光照射の終了と同時に開始し、前記第 1 の受光素子における前記反射光の検出の終了より後に終了し、

20

前記第 1 のフォトセンサが、前記光源と前記被検出物との間の距離 x に応じた信号を出力することを特徴とする距離測定装置。

【請求項 6】

第 2 の受光素子を有する第 3 のフォトセンサを、前記第 1 のフォトセンサと重畳して備え、

前記第 3 のフォトセンサは、前記被検出物の明るさ及び色彩に応じた信号を出力することを特徴とする、請求項 5 に記載の距離測定装置。

【請求項 7】

前記第 1 の受光素子と前記第 2 の受光素子とが重畳し、

前記第 1 の受光素子が、第 1 の波長域の光を吸収し、

前記第 2 の受光素子が、第 2 の波長域の光を吸収し、

前記第 1 の受光素子及び前記第 2 の受光素子のうち前記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を特徴とする、請求項 6 に記載の距離測定装置。

30

【請求項 8】

前記配線が、リセット信号線であることを特徴とする、請求項 5 乃至請求項 7 のいずれか一項に記載の距離測定装置。

【請求項 9】

第 3 のトランジスタを有し、

前記第 3 のトランジスタのゲート電極は、リセット信号線と電氣的に接続され、

前記第 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は、前記第 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、及び前記第 2 のトランジスタのゲート電極と電氣的に接続され、

40

前記第 3 のトランジスタのソース電極又はドレイン電極の他方は、リセット電源線と電氣的に接続され、

前記配線が固定電源線であることを特徴とする、請求項 5 乃至請求項 7 のいずれか一項に記載の距離測定装置。

【請求項 10】

前記第 3 のトランジスタの半導体層が、酸化物半導体を含むことを特徴とする請求項 9 に記載の距離測定装置。

50

【請求項 1 1】

請求項 5 乃至請求項 1 0 のいずれか一項に記載の距離測定装置と、
前記距離 x を、数式 (3) を用いて算出する処理部と、を有することを特徴とする距離測定システム。

【数 3】

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

10

(ただし、数式 (3) において、 $S1$ は、前記一定時間 T の前記第 1 の光照射が前記 n 回行われた後の、前記第 1 のトランジスタの前記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、前記一定時間 T の前記第 2 の光照射が前記 n 回行われた後の、前記第 1 のトランジスタの前記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。)

【請求項 1 2】

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、前記第 1 のフ
ォトセンサと隣接する第 2 のフォトセンサと、

20

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、を有し、

前記第 1 の配線は、前記第 1 の受光素子の一方の電極と電氣的に接続され、

前記第 1 の信号線は、前記第 1 のトランジスタのゲート電極と電氣的に接続され、

前記第 1 の電源線は、前記第 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氣的に接続され、

前記第 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は、前記第 2 のトランジ
スタのゲート電極と電氣的に接続され、

30

前記第 1 のトランジスタのソース電極又はドレイン電極の他方は、前記第 1 の受光素子の他方の電極、及び前記第 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氣的に接続され、

前記第 2 の配線は、前記第 2 の受光素子の一方の電極と電氣的に接続され、

前記第 2 の信号線は、前記第 3 のトランジスタのゲート電極と電氣的に接続され、

前記第 2 の電源線は、前記第 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氣的に接続され、

前記第 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は、前記第 4 のトランジ
スタのゲート電極と電氣的に接続され、

40

前記第 3 のトランジスタのソース電極又はドレイン電極の他方は、前記第 2 の受光素子の他方の電極、及び前記第 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氣的に接続されている距離測定装置であって、

前記光源は、被検出物に対して一定時間 T の光照射を n (n は 2 以上の自然数) 回行い、

前記第 1 の受光素子及び前記第 2 の受光素子は、前記光源から照射された光が前記被検出物で反射されることで生じる反射光を検出し、

前記第 1 のトランジスタは、前記光照射 1 回につき、前記一定時間 T 以上、導通状態となり、かつ、前記光照射の終了と同時に前記導通状態が終了し、

前記第 3 のトランジスタは、前記光照射 1 回につき 1 回、導通状態となり、前記導通状

50

態は、前記光照射の終了と同時に開始し、前記第 2 の受光素子における前記反射光の検出の終了より後に終了し、

前記第 1 のフォトセンサ及び前記第 2 のフォトセンサが、それぞれ前記光源と前記被検出物との間の距離 x に応じた異なる信号を出力することを特徴とする距離測定装置。

【請求項 13】

前記第 1 の配線が、第 1 のリセット信号線であり、

前記第 2 の配線が、第 2 のリセット信号線であることを特徴とする、請求項 12 に記載の距離測定装置。

【請求項 14】

第 5 のトランジスタ及び第 6 のトランジスタを有し、

前記第 5 のトランジスタのゲート電極は、第 1 のリセット信号線と電氣的に接続され、

前記第 5 のトランジスタのソース電極又はドレイン電極の一方は、前記第 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、及び前記第 2 のトランジスタのゲート電極と電氣的に接続され、

前記第 5 のトランジスタのソース電極又はドレイン電極の他方は、第 1 のリセット電源線と電氣的に接続され、

前記第 6 のトランジスタのゲート電極は、第 2 のリセット信号線と電氣的に接続され、

前記第 6 のトランジスタのソース電極又はドレイン電極の一方は、前記第 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、及び前記第 4 のトランジスタのゲート電極と電氣的に接続され、

前記第 6 のトランジスタのソース電極又はドレイン電極の他方は、第 2 のリセット電源線と電氣的に接続され、

前記第 1 の配線が、第 1 の固定電源線であり、

前記第 2 の配線が、第 2 の固定電源線であることを特徴とする、請求項 12 に記載の距離測定装置。

【請求項 15】

前記第 3 のトランジスタの半導体層が、酸化物半導体を含むことを特徴とする請求項 12 乃至請求項 14 のいずれか一項に記載の距離測定装置。

【請求項 16】

前記第 4 のトランジスタの半導体層が、酸化物半導体を含むことを特徴とする請求項 12 乃至請求項 15 のいずれか一項に記載の距離測定装置。

【請求項 17】

前記第 1 のトランジスタの半導体層が、酸化物半導体を含むことを特徴とする請求項 12 乃至請求項 16 のいずれか一項に記載の距離測定装置。

【請求項 18】

前記第 2 のトランジスタの半導体層が、酸化物半導体を含むことを特徴とする請求項 12 乃至請求項 17 のいずれか一項に記載の距離測定装置。

【請求項 19】

請求項 12 乃至請求項 18 のいずれか一項に記載の距離測定装置と、

前記距離 x を、数式 (3) を用いて算出する処理部と、を有することを特徴とする距離測定システム。

【数 4】

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

(ただし、数式 (3) において、 $S1$ は、前記一定時間 T の前記光照射が前記 n 回行われた後の、前記第 1 のトランジスタの前記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、前記一定時間 T の前記光照射が前記 n 回行わ

10

20

30

40

50

れた後の、前記第3のトランジスタの前記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。）

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【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】

10

【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。

【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。

20

【0004】

【数1】

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

【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。

30

【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。

【先行技術文献】

【非特許文献】

【0007】

【非特許文献1】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

40

【非特許文献2】S. J. Kim et al, "A 640x480 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

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

50

【 0 0 0 8 】

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】

【 0 0 0 9 】

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。

10

【 0 0 1 0 】

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。

【 0 0 1 1 】

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氣的に接続し、信号線は、第1のトランジスタのゲート電極と電氣的に接続し、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氣的に接続し、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氣的に接続し、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氣的に接続する距離測定装置である。

20

【 0 0 1 2 】

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氣的に接続し、信号線は、第1のトランジスタのゲート電極と電氣的に接続し、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氣的に接続し、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氣的に接続し、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氣的に接続し、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

40

【 0 0 1 3 】

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。

【 0 0 1 4 】

【数2】

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

【 0 0 1 5 】

50

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】

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氣的に接続し、信号線は、第1のトランジスタのゲート電極と電氣的に接続し、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氣的に接続し、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氣的に接続し、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氣的に接続し、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。

10

【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】

20

$$x = \frac{c \times S2}{2 \times n \times k} \cdots (2)$$

【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氣的に接続し、信号線は、第1のトランジスタのゲート電極と電氣的に接続し、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氣的に接続し、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氣的に接続し、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氣的に接続し、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】

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

【0023】

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。

10

【0024】

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。

【0025】

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。

20

【0026】

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。この態様では、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。

【0027】

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。

30

【0028】

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。

【0029】

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。

40

【0030】

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

50

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氣的に接続し、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氣的に接続し、第2の配線は、第2の受光素子の一方の電極と電氣的に接続し、第2の信号線は、第3のトランジスタのゲート電極と電氣的に接続し、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氣的に接続し、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氣的に接続し、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氣的に接続し、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】

20

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

【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】

30

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氣的に接続し、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氣的に接続し、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氣的に接続し、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氣的に接続し、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氣的に接続し、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氣的に接続し、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。

40

【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。

【発明の効果】

50

【 0 0 3 7 】

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。

【図面の簡単な説明】

【 0 0 3 8 】

【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。

10

【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。

20

【図 16】フォトセンサの断面図。

【発明を実施するための形態】

【 0 0 3 9 】

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得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。

【 0 0 4 0 】

30

(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。

【 0 0 4 1 】

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、及び演算プログラムを保存するメモリ等が含まれる。

40

【 0 0 4 2 】

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 T O F 方式を用いて距離を測定することができる。

【 0 0 4 3 】

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氣的に接続し、信号線は、第 1 のトランジスタのゲート電極と電氣的に接続し、電源線は、第 2 のトランジスタのソース電極又はドレ

50

イン電極の一方と電氣的に接続し、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氣的に接続し、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氣的に接続する。

【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）の検出を同じ回数行う。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。

10

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

20

【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と電氣的に接続し、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氣的に接続している。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。

30

【0049】

トランジスタ103では、ゲート電極が蓄積信号線TXと電氣的に接続し、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のゲート電極と電氣的に接続している。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。

40

【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と電氣的に接続し、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氣的に接続している。

【0051】

トランジスタ105では、ゲート電極が選択信号線SEと電氣的に接続し、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と電氣的に接続している。

【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と電氣的に接

50

続している。

【 0 0 5 3 】

なお、図 1 (B) に示すフォトダイオード 1 0 2 では、陽極がリセット信号線 P R と電氣的に接続し、陰極がトランジスタ 1 0 3 のソース電極又はドレイン電極と電氣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 1 0 2 において、陰極がリセット信号線 P R と電氣的に接続し、陽極がトランジスタ 1 0 3 のソース電極又はドレイン電極と電氣的に接続していてもよい。

【 0 0 5 4 】

受光素子であるフォトダイオード 1 0 2 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 1 0 2 には、光電流が流れる。フォトセンサ 1 0 0 に用いるフォトダイオードに限定は無く、p i n 接合フォトダイオード、p n 接合フォトダイオードなどを適用することができる。

10

【 0 0 5 5 】

電荷保持ノード F D は、フォトダイオード 1 0 2 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 F D 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 F D が保持容量と電氣的に接続していてもよい。

【 0 0 5 6 】

スイッチング素子であるトランジスタ 1 0 3 は、フォトダイオード 1 0 2 による電荷保持ノード F D への電荷蓄積と、電荷保持ノード F D の電荷の保持との切り替えを制御する。

20

【 0 0 5 7 】

電荷保持ノード F D が、フォトダイオード 1 0 2 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 1 0 3 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 1 0 3 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 1 0 3 のオフ電流を極めて小さくすることができる。

【 0 0 5 8 】

また、電荷保持ノード F D が、フォトダイオード 1 0 2 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 1 0 3 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 1 0 3 の移動度を高くすることができる。

30

【 0 0 5 9 】

上記より、トランジスタ 1 0 3 の半導体層に酸化物半導体を用いると、トランジスタ 1 0 3 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。

【 0 0 6 0 】

増幅素子であるトランジスタ 1 0 4 は、電荷保持ノード F D の電位に応じて、電荷保持ノード F D の電圧を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 間の電流値に変換する動作を行う。トランジスタ 1 0 4 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 1 0 4 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 F D の微小な電位差、すなわち、フォトダイオード 1 0 2 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

【 0 0 6 1 】

トランジスタ 1 0 5 は、フォトセンサ 1 0 0 の出力を制御する。トランジスタ 1 0 5 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 1 0 5 のオン電流が大きい又は移動度が高いと、

50

フォトセンサ出力信号線 R O 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。

【 0 0 6 2 】

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、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。トランジスタ 1 0 3 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 F D の電位とノード 1 0 7 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 1 0 9 は、電源線 V H とノード 1 0 7 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 1 0 9 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。

10

【 0 0 6 3 】

なお、オフ電流が小さいことが好ましいトランジスタ 1 0 3 及びトランジスタ 1 0 9 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 1 0 3 及びトランジスタ 1 0 9 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 1 0 4 及びトランジスタ 1 0 5 を、同一の材料、同一の構成で形成することが好ましい。

20

【 0 0 6 4 】

リセット信号線 P R は、電荷保持ノード F D の電位の初期化を制御する信号線である。蓄積信号線 T X は、トランジスタ 1 0 3 を制御する信号線である。フォトセンサ基準信号線 V S は、電源供給配線である。選択信号線 S E は、トランジスタ 1 0 5 を制御する信号線である。電源線 V H は、電源供給配線である。フォトセンサ出力信号線 R O は、フォトダイオード 1 0 2 の電荷蓄積に応じた信号を出力する出力配線である。

【 0 0 6 5 】

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 1 3 0 の回路図を図 2 (A) に示す。

30

【 0 0 6 6 】

図 2 (A) に示すフォトセンサ 1 3 0 は、フォトダイオード 1 0 2 、トランジスタ 1 0 3 、トランジスタ 1 0 4 、トランジスタ 1 0 5 、トランジスタ 1 0 6 及びトランジスタ 1 0 9 を有する。

【 0 0 6 7 】

フォトダイオード 1 0 2 では、一方の電極が固定電源線 R D と電氣的に接続し、他方の電極がトランジスタ 1 0 3 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 1 0 9 のソース電極又はドレイン電極の他方と電氣的に接続している。

【 0 0 6 8 】

トランジスタ 1 0 6 では、ゲート電極がリセット信号線 P R と電氣的に接続し、ソース電極又はドレイン電極の一方が、トランジスタ 1 0 3 のソース電極又はドレイン電極の一方、トランジスタ 1 0 4 のゲート電極、及びトランジスタ 1 0 9 のゲート電極と電氣的に接続し、ソース電極又はドレイン電極の他方が、リセット電源線 V R と電氣的に接続している。トランジスタ 1 0 6 では、電荷保持ノード F D の電位の初期化を制御する。トランジスタ 1 0 6 は、リセット電源線 V R から電荷保持ノード F D 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 1 0 6 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。

40

【 0 0 6 9 】

なお、図 2 (A) に示すフォトダイオード 1 0 2 では、陽極が固定電源線 R D と電氣的に

50

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氣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 と電氣的に接続し、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氣的に接続していてもよい。

【0070】

< 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 チャンネル型トランジスタで構成する例を示す。

【0071】

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 PC と電氣的に接続し、ソース電極又はドレイン電極の一方が電源供給配線 124 と電氣的に接続し、他方がフォトセンサ出力信号線 RO と電氣的に接続している。

【0072】

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 RO 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 RO 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。

【0073】

< 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。

【0074】

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 PR、蓄積信号線 TX、選択信号線 SE、及びフォトセンサ出力信号線 RO 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 PR には、ハイレベルの電位 HPR と、ローレベルの電位 LPR が与えられるものとし、蓄積信号線 TX には、ハイレベルの電位 HTX と、ローレベルの電位 LTX が与えられるものとし、選択信号線 SE には、ハイレベルの電位 HSE と、ローレベルの電位 LSE が与えられるものとし、フォトセンサ出力信号線 RO には、ハイレベルの電位 HRO と、ローレベルの電位 LRO が与えられるものとする。

【0075】

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。

【0076】

[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。

【0077】

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 S1 を取得する。具体的には、時刻 T2 ~ 時刻 T4（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 T6 ~ 時刻 T8（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 T10 ~ 時刻 T11 の間に、検出信号の電圧 S1 を取得する。た

10

20

30

40

50

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回以上行ってもよい。

【００７８】

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Ｔ２から時刻Ｔ３までの期間と、時刻Ｔ６から時刻Ｔ７までの期間は、長さが等しい（遅延時間 t とする）。

10

【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。

【００８１】

（時刻Ｔ１～時刻Ｔ２：リセット動作）

時刻Ｔ１において、リセット信号線ＰＲ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ＨＰＲ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Ｔ１において、選択信号線ＳＥには電位ＬＳＥが与えられている。

20

【００８２】

（時刻Ｔ２～時刻Ｔ４：１回目の光照射（Ａ）及び１回目の反射光検出（Ａ））

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の電位は、電位ＨＴＸのまま維持するため、リセット信号線ＰＲの電位が電位ＬＰＲ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。

30

【００８３】

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）。

【００８４】

時刻Ｔ４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。

40

【００８５】

なお、蓄積信号線ＴＸの電位を、電位ＨＴＸから電位ＬＴＸ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が正確に保持できないことになる。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

50

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のとする。

【0086】

時刻T5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。

【0087】

ここで、時刻T4～時刻T5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3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T6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3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(A)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が正確に保持できないことになる。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)。

【0088】

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(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。

【0089】

なお、時刻T4～時刻T5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ほど、時刻T4～時刻T5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。

【0090】

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。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T4～時刻T6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。

【0091】

(時刻T6～時刻T8:2回目の光照射(A)及び2回目の反射光検出(A))

時刻T6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の電位を、電位LTXから電位HTXに変化させる。

【0092】

時刻T7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に反射光が照射されることで、フ

10

20

30

40

50

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。

【００９３】

時刻Ｔ８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Ｔ８以降は一定となる。時刻Ｔ８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Ｔ２～時刻Ｔ４及び時刻Ｔ６～時刻Ｔ８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Ｔ８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。

【００９５】

時刻Ｔ９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Ｔ１０～時刻Ｔ１１：読み出し動作）

時刻Ｔ１０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Ｔ１０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。

【００９７】

時刻Ｔ１１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Ｔ１１におけるフォトセンサ出力信号線ＲＯの電位は、時刻Ｔ１０～時刻Ｔ１１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Ｔ１１におけるフォトセンサ出力信号線ＲＯの電位は高くなる。

【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Ｔ８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Ｔ１１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）。

【０１００】

時刻Ｔ１１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

10

20

30

40

50

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。

【0101】

次に、本発明の一態様の距離測定システムにおける、TOF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。

【0102】

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 $(1-1)$ 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、数式 $(1-2)$ 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 を用いた数式 $(1-3)$ で表すことができる。

【0103】

【数6】

$$S_1 = n \times k \times (T - \Delta t) \cdot \cdot \cdot (1-1)$$

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

$$x = \frac{c}{2} \times \left(T - \frac{S_1}{n \times k} \right) \cdot \cdot \cdot (1-3)$$

【0104】

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。

【0105】

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、数式 $(1-3)$ を用いて定数 k を求めることができる。

【0106】

また、時刻 T_1 より前、又は時刻 T_{11} 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。数式 $(1-3)$ 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。

【0107】

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。

【0108】

[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。

【0109】

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_4 (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)。

10

【 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 PR 及び蓄積信号線 TX の電位を制御する。

20

【 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 PR には電位 L_{PR} が与えられており、蓄積信号線 TX には、電位 L_{TX} が与えられており、選択信号線 SE には電位 L_{SE} 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 】

30

(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 PR の電位を、電位 L_{PR} から電位 H_{PR} に変化させ、かつ蓄積信号線 TX の電位を、電位 L_{TX} から電位 H_{TX} 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_{PR} 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。

【 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 PR の電位を、電位 H_{PR} から電位 L_{PR} に変化させる。ここで、蓄積信号線 TX の電位は、電位 H_{TX} のまま維持するため、リセット信号線 PR の電位が電位 L_{PR} 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。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。

40

【 0 1 1 7 】

時刻 T_5 において、フォトダイオード 102 への反射光の入射が終了し、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り、電荷保持ノード FD の電位が定まる。

【 0 1 1 8 】

時刻 T_6 において、蓄積信号線 TX の電位を、電位 H_{TX} から電位 L_{TX} に変化させる。

50

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。

【0119】

(時刻T7～時刻T9：2回目の光照射(B))

時刻T7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。

【0120】

時刻T8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。

【0121】

ここで、時刻T8～時刻T9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T9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が正確に保持できないことになる。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)。

【0122】

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。

【0123】

なお、時刻T8～時刻T9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T8～時刻T9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。

【0124】

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T6～時刻T9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。

【0125】

(時刻T9～時刻T11：2回目の反射光検出(B))

時刻T9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

10

20

30

40

50

流が流れ、電荷保持ノードFDの電位が低下する。

【0126】

時刻T10において、フォトダイオード102への反射光の入射が終了し、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り、電荷保持ノードFDの電位が定まる。

【0127】

時刻T11において、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。

【0128】

なお、電荷保持ノードFDの電位は、時刻T11以降は一定となる。時刻T11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(B)(時刻T4～時刻T6及び時刻T9～時刻T11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102が生成した光電流に依存する。また、時刻T11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。ただし、本実施の形態では、フォトダイオード102への反射光の入射が時刻T10で終了しているため、「電荷保持ノードFDの電位は、時刻T10以降は一定となる。」ともいえる。

【0129】

(時刻T12～時刻T13：読み出し動作)

時刻T12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に信号が出力される。なお、予め、時刻T12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。

【0130】

時刻T13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、フォトセンサ基準信号線VSからフォトセンサ出力信号線ROへの電荷の移動が停止し、フォトセンサ出力信号線ROの電位が決定する。

【0131】

時刻T13におけるフォトセンサ出力信号線ROの電位は、時刻T12～時刻T13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(B)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。

【0132】

したがって、時刻T13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(B)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S2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T13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(B)の長さに概ね比例する。

【0133】

次に、本発明の一態様の距離測定システムにおける、TOF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測定する方法について示す。

【0134】

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 (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 を用いた数式 (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、本実施の形態は一例として $n = 2$ とした。また、定数 k 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、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_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。数式 (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る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は、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

50

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。

【0144】

具体的には、時刻 $T_2 \sim$ 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 $T_6 \sim$ 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 $T_{10} \sim$ 時刻 T_{11} の間に、検出信号の電圧 S_1 を取得し、時刻 $T_{12} \sim$ 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 $T_{15} \sim$ 時刻 T_{17} の間に 1 回目の反射光検出 (B) を行い、時刻 $T_{18} \sim$ 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 $T_{20} \sim$ 時刻 T_{22} の間に 2 回目の反射光検出 (B) を行い、時刻 $T_{23} \sim$ 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

【0145】

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)。

【0146】

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

【0147】

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 PR 及び蓄積信号線 TX の電位を制御する。

【0148】

(時刻 $T_1 \sim$ 時刻 T_{11} : 検出信号の電圧 S_1 の取得)
時刻 $T_1 \sim$ 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 $T_1 \sim$ 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 を参酌できる。

30

【0149】

(時刻 $T_{12} \sim$ 時刻 T_{24} : 検出信号の電圧 S_2 の取得)
時刻 $T_{12} \sim$ 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 $T_1 \sim$ 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 を参酌できる。

【0150】

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 $T_1 \sim$ 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 $T_{14} \sim$ 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

【0151】

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 $T_3 \sim$ 時刻 T_4 や、時刻 $T_7 \sim$ 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 $T_{15} \sim$ 時刻 T_{16} や、時刻 $T_{20} \sim$ 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

50

($T - t$)の間の電荷保持ノードFDの電位変化に比べて、時間 t の間の電荷保持ノードFDの電位変化は小さい。また、時刻 T_{24} におけるフォトセンサ出力信号線ROの電位は、時刻 T_{11} におけるフォトセンサ出力信号線ROの電位に比べて低い。

【0152】

次に、本発明の一態様の距離測定システムにおける、TOF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。

【0153】

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。

【0154】

【数8】

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

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

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

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

【0155】

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。

【0156】

また、時刻 T_1 より前、又は時刻 T_{24} 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。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。

【0157】

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。

【0158】

(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TOF方式を用いて距離を測定することができる。

【0159】

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。

【0160】

第1の配線は、第1の受光素子の一方の電極と電氣的に接続し、第1の信号線は、第1のトランジスタのゲート電極と電氣的に接続し、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氣的に接続し、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氣的に接続し、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氣的に接続し、第2の配線は、第2の受光素子の一方の電極と電氣的に接続し、第2の信号線は、第3のトランジスタのゲート電極と電氣的に接続し、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氣的に接続し、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氣的に接続し、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氣的に接続する。

10

【0161】

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。

20

【0162】

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は、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。

30

【0163】

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。

40

【0164】

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。

【0165】

<フォトセンサの構成>

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 と電氣的に接続し、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氣的に接続している。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 と電氣的に接続し、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 のゲート電極と電氣的に接続している。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 と電氣的に接続し、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氣的に接続している。

【0170】

トランジスタ 105 __ 1 では、ゲート電極が選択信号線 SE __ 1 と電氣的に接続し、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 と電氣的に接続している。

【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 と電氣的に接続している。

30

【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。

【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 と電氣的に接続し、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氣的に接続している。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。

40

【0174】

トランジスタ 103 __ 2 では、ゲート電極が蓄積信号線 TX __ 2 と電氣的に接続し、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 のゲート電極と電氣的に接続している。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 VS と電氣的に接続し、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氣的に接続している。

【0176】

トランジスタ 105 __ 2 では、ゲート電極が選択信号線 SE __ 2 と電氣的に接続し、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 __ 2 と電氣的に接続している。

【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 VH と電氣的に接続している。

【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る。

【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。

【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 S1 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 S2 を取得する。

【0182】

具体的には、時刻 T2 ~ 時刻 T5 (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 T5 ~ 時刻 T7 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 T8 ~ 時刻 T10 (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 T10 ~ 時刻 T12 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 T13 ~ 時刻 T14 の間に、検出信号の電圧 S1 を取得し、時刻 T14 ~ 時刻 T15 の間に、検出信号の電圧 S2 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。

【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)。

【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 T2 から時刻 T3 までの期間、及び時刻 T8 から時刻 T9 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

10

20

30

40

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PR₁、リセット信号線PR₂、蓄積信号線TX₁、及び蓄積信号線TX₂の電位を制御する。

【0186】

(時刻T₁～時刻T₂:第1のフォトセンサ100₁のリセット動作)

時刻T₁において、リセット信号線PR₁の電位を、電位LPRから電位HPRに変化させ、かつ蓄積信号線TX₁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102₁及びトランジスタ103₁が導通する。電荷保持ノードFD₁には、リセット信号線PR₁の電位HPRが与えられるため、電荷保持ノードFD₁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SE₁には電位LSEが与えられており、リセット信号線PR₂には電位LPRが与えられており、蓄積信号線TX₂には、電位LTXが与えられており、選択信号線SE₂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))

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PR₁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TX₁の電位は、電位HTXのまま維持するため、リセット信号線PR₁の電位が電位LPRになると、フォトダイオード102₁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102₁に反射光が照射されることで、フォトダイオード102₁の陰極から陽極に向かって電流が流れ、電荷保持ノードFD₁の電位が低下する。

【0189】

(時刻T₄～時刻T₅:第2のフォトセンサ100₂のリセット動作)

時刻T₄において、リセット信号線PR₂の電位を、電位LPRから電位HPRに変化させ、かつ蓄積信号線TX₂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102₂及びトランジスタ103₂が導通する。電荷保持ノードFD₂には、リセット信号線PR₂の電位HPRが与えられるため、電荷保持ノードFD₂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100₁においては、蓄積信号線TX₁の電位を、電位HTXから電位LTXに変化させる。蓄積信号線TX₁の電位が電位LTXになることで、トランジスタ103₁は非導通状態になる。よって、電荷保持ノードFD₁からフォトダイオード102₁への電荷の移動が止まるため、電荷保持ノードFD₁の電位が定まる。また、第2のフォトセンサ100₂においては、リセット信号線PR₂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TX₂の電位は、電位HTXのまま維持するため、リセット信号線PR₂の電位が電位LPRになると、フォトダイオード102₂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102₂に反射光が照射されることで、フォトダイオード102₂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】

時刻 T 6 において、フォトダイオード 1 0 2 __ 2 への反射光の入射が終了し、電荷保持ノード F D __ 2 からフォトダイオード 1 0 2 __ 2 への電荷の移動が止まり、電荷保持ノード F D __ 2 の電位が定まる。

【 0 1 9 2 】

ここで、時刻 T 5 ~ 時刻 T 6 の間、トランジスタ 1 0 3 __ 1 が非導通状態であるため、電荷保持ノード F D __ 1 の電位は一定であるが、フォトダイオード 1 0 2 __ 1 には反射光が照射されているため、ノード 1 0 7 __ 1 の電位は低下してしまう（図 7 に示すノード 1 0 7 __ 1 のパルスの点線参照）。ノード 1 0 7 __ 1 と電荷保持ノード F D __ 1 に電位差が生じると、次にトランジスタ 1 0 3 __ 1 が導通状態になる時刻 T 8 において、ノード 1 0 7 __ 1 と電荷保持ノード F D __ 1 の電位が等しくなるよう、電荷保持ノード F D __ 1 の電位が低下し、ノード 1 0 7 __ 1 の電位が上昇する（図 7 に示すノード 1 0 7 __ 1 及び電荷保持ノード F D __ 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 1 0 2 __ 1 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 __ 1 が正確に保持できないことになる。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 9 3 】

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 __ 1 を備える。トランジスタ 1 0 9 __ 1 は、トランジスタ 1 0 3 __ 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 1 0 9 __ 1 のゲート電極の電位は、電荷保持ノード F D __ 1 の電位と等しく、トランジスタ 1 0 9 __ 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 1 0 7 __ 1 の電位と等しい。したがって、ノード 1 0 7 __ 1 の電位が低下し、ノード 1 0 7 __ 1 と電荷保持ノード F D __ 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

【 0 1 9 4 】

時刻 T 7 において、蓄積信号線 T X __ 2 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 __ 2 の電位が電位 L T X になることで、トランジスタ 1 0 3 __ 2 は非導通状態になる。

30

【 0 1 9 5 】

（時刻 T 8 ~ 時刻 T 1 0 : 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 T X __ 1 の電位を、電位 L T X から電位 H T X に変化させる。

【 0 1 9 6 】

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 1 0 2 __ 1 に反射光が照射されることで、フォトダイオード 1 0 2 __ 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 F D __ 1 の電位が低下する。

40

【 0 1 9 7 】

ここで、時刻 T 9 ~ 時刻 T 1 0 の間、トランジスタ 1 0 3 __ 2 が非導通状態であるため、電荷保持ノード F D __ 2 の電位は一定であるが、フォトダイオード 1 0 2 __ 2 には反射光が照射されているため、ノード 1 0 7 __ 2 の電位は低下してしまう（図 7 に示すノード 1 0 7 __ 2 のパルスの点線参照）。ノード 1 0 7 __ 2 と電荷保持ノード F D __ 2 に電位差が生じると、次にトランジスタ 1 0 3 __ 2 が導通状態になる時刻 T 1 0 において、ノード 1 0 7 __ 2 と電荷保持ノード F D __ 2 の電位が等しくなるよう、電荷保持ノード F D __ 2 の電位が低下し、ノード 1 0 7 __ 2 の電位が上昇する（図 7 に示すノード 1 0 7 __ 2 及び電荷保持ノード F D __ 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 1 0 2 __ 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 __ 2 が正確に保持できないことになる。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。

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

50

、時刻 T_{13} 以前に、フォトセンサ出力信号線 RO_1 の電位をハイレベルの電位 HRO としておく。

【0205】

時刻 T_{14} において、選択信号線 SE_1 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_1 が非導通状態となり、フォトセンサ出力信号線 RO_1 の電位が決定する。

【0206】

時刻 T_{14} におけるフォトセンサ出力信号線 RO_1 の電位は、時刻 T_{13} ~ 時刻 T_{14} におけるフォトセンサ出力信号線 RO_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 RO_1 の電位変化の速度は、トランジスタ 104_1 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_1 に照射される反射光の強度及び照射時間に依存する。

【0207】

したがって、時刻 T_{14} におけるフォトセンサ出力信号線 RO_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 102_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。

【0208】

(時刻 T_{14} ~ 時刻 T_{15} : 第2のフォトセンサ 100_2 における読み出し動作)

時刻 T_{14} において、選択信号線 SE_2 の電位を電位 LSE から電位 HSE に変化させ、トランジスタ 105_2 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_2 が、トランジスタ 104_2 及びトランジスタ 105_2 を介して導通する。すると、電荷保持ノード FD_2 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_2 に信号が出力される。なお、予め、時刻 T_{14} 以前に、フォトセンサ出力信号線 RO_2 の電位をハイレベルの電位 HRO としておく。

【0209】

時刻 T_{15} において、選択信号線 SE_2 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_2 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_2 への電荷の移動が停止し、フォトセンサ出力信号線 RO_2 の電位が決定する。

【0210】

時刻 T_{15} におけるフォトセンサ出力信号線 RO_2 の電位は、時刻 T_{14} ~ 時刻 T_{15} におけるフォトセンサ出力信号線 RO_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 RO_2 の電位変化の速度は、トランジスタ 104_2 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 102_2 に照射される反射光の強度及び照射時間に依存する。

【0211】

したがって、時刻 T_{15} におけるフォトセンサ出力信号線 RO_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 102_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。

【0212】

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 102_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_{10} 、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 102_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_{10} ~ 時刻 T_{11} 、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 FD_1 の電位変化に比べて、時間 t の間の電荷保持ノード FD_2 の電位変化は小さい。また、時刻 T_{15} におけるフォトセンサ出力信号線 RO_2 の電位は、時刻 T_{14} におけるフォトセンサ出力信号線 RO_1 の電位に比べて低い。

10

20

30

40

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 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）と重畳する、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。

【 0 2 1 7 】

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。

【 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。

【 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畳して設けられる。本実施の形態では、第 1 の受光素子と第 2 の受光素子は、重畳して設けられる。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。

10

20

30

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氣的に接続し、第 2 の配線は、第 2 の受光素子の一方の電極と電氣的に接続し、第 1 の信号線は、第 1 のトランジスタのゲート電極と電氣的に接続し、第 2 の信号線は、第 3 のトランジスタのゲート電極と電氣的に接続し、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氣的に接続し、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氣的に接続し、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氣的に接続し、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氣的に接続する。

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 S 1 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 S 2 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 S 3 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 】

< フォトセンサの構成 >

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 1 0 0 A 及び第 2 のフォトセンサ 1 0 0 B の回路図を示す。第 1 のフォトセンサ 1 0 0 A 及び第 2 のフォトセンサ 1 0 0 B 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 1 0 2 A 及びフォトダイオード 1 0 2 B 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 1 0 2 B に先に入射するように、被検出物とフォトダイオード 1 0 2 A との間に、フォトダイオード 1 0 2 B 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 1 0 2 A 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 1 0 2 A 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 1 0 0 A 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 と電氣的に接続し、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氣的に接続している。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 と電氣的に接続し、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 のゲート電極と電氣的に接続している。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 と電氣的に接続し、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氣的に接続している。

【0234】

トランジスタ 105A では、ゲート電極が選択信号線 SE__A と電氣的に接続し、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 と電氣的に接続している。

【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 と電氣的に接続している。

【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 と電氣的に接続し、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氣的に接続している。

【0238】

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

【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 と電氣的に接続し、他方がトランジスタ 1 0 5 B のソース電極又はドレイン電極の一方と電氣的に接続している。

【 0 2 4 0 】

トランジスタ 1 0 5 B では、ゲート電極が選択信号線 S E _ B と電氣的に接続し、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 と電氣的に接続している。

【 0 2 4 1 】

なお、図 8 に示す第 1 のフォトセンサ 1 0 0 A は、図 1 (B) に示すフォトセンサ 1 0 0 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 1 3 0 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 1 0 0 B 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 1 0 0 A 及び第 2 のフォトセンサ 1 0 0 B (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 1 5 1、反射光 1 5 2、第 1 のフォトセンサ 1 0 0 A、及び第 2 のフォトセンサ 1 0 0 B のタイミングチャートの一例を示す。

【 0 2 4 4 】

照射光 1 5 1、反射光 1 5 2、及び第 1 のフォトセンサ 1 0 0 A 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 1 5 1、反射光 1 5 2、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 1 0 7 A、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 1 5 1、反射光 1 5 2、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 1 0 7、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 1 0 0 A 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 1 0 0 B 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 1 0 0 A による距離測定方法について、実施の形態 2 を参酌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 1 0 0 B 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 1 0 2 B 及びトランジスタ 1 0 3 B 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 2 5 : 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 1 0 2 B に逆方向バイアスの電圧が印加される。

10

20

30

40

50

【 0 2 4 8 】

また、時刻 T 2 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 3 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 1 0 2 B に反射光が照射されることで、第 2 のフォトダイオード 1 0 2 B 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 _ B の電位が低下する。

【 0 2 4 9 】

1 回目の光照射 (A) は時刻 T 4 まで行われ、その後、時刻 T 6 ~ 時刻 T 8 の間に 2 回目の光照射 (A) が、時刻 T 1 2 ~ 時刻 T 1 4 の間に 1 回目の光照射 (B) が、時刻 T 1 8 ~ 時刻 T 2 0 の間に 2 回目の光照射 (B) が行われる。それにより、時刻 T 3 ~ 時刻 T 5 の間、時刻 T 7 ~ 時刻 T 9 の間、時刻 T 1 3 ~ 時刻 T 1 6 の間、及び時刻 T 1 9 ~ 時刻 T 2 1 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 1 0 2 B に反射光が入射する。

【 0 2 5 0 】

時刻 T 2 5 において、蓄積信号線 T X _ B 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 _ B の電位が電位 L T X になることで、トランジスタ 1 0 3 B は非導通状態になる。よって、電荷保持ノード F D _ B から第 2 のフォトダイオード 1 0 2 B への電荷の移動が止まるため、電荷保持ノード F D _ B の電位が定まる。

【 0 2 5 1 】

なお、電荷保持ノード F D _ B の電位は、時刻 T 2 5 以降は一定となる。時刻 T 2 5 での電荷保持ノード F D _ 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 1 0 2 B が生成した光電流に依存する。また、時刻 T 2 5 での電荷保持ノード F D _ B の電位に応じて、第 2 のフォトセンサ 1 0 0 B 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 1 0 2 B への反射光の入射が時刻 T 2 1 で終了しているため、「電荷保持ノード F D _ B の電位は、時刻 T 2 1 以降は一定となる。」ともいえる。

【 0 2 5 2 】

(時刻 T 2 6 ~ 時刻 T 2 7 : 読み出し動作)

時刻 T 2 6 において、選択信号線 S E _ B 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 B 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 _ B が、トランジスタ 1 0 4 B 及びトランジスタ 1 0 5 B を介して導通する。すると、電荷保持ノード F D _ B 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 _ B に信号が出力される。なお、予め、時刻 T 2 6 以前に、フォトセンサ出力信号線 R O _ B の電位をハイレベルの電位 H R O としておく。

【 0 2 5 3 】

時刻 T 2 7 において、選択信号線 S E _ B 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 B 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 _ B への電荷の移動が停止し、フォトセンサ出力信号線 R O _ B の電位が決定する。

【 0 2 5 4 】

時刻 T 2 7 におけるフォトセンサ出力信号線 R O _ 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 1 0 2 B 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 3 として得ることができる。

【 0 2 5 5 】

なお、本実施の形態では、時刻 T 2 ~ 時刻 T 2 5 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 1 0 0 A 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 3 ~ 時刻 T 5 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

10

20

30

40

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と電氣的に接続している（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と電氣的に接続している（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と電氣的に接続している。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、電氣的に接続している。

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 とを有する。

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 とを有する。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 と電氣的に接続している。

【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 と電氣的に接続している。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 と電氣的に接続している。

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 と電氣的に接続している。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、及びトランジスタ 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。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他方として機能する。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 に電氣的に接続している。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 に電氣的に接続している。導電膜 226 は、導電膜 210 に電氣的に接続している。導電膜 227 は、導電膜 211 に電氣的に接続している。

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

5 1 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 1 0 2 と電氣的に接続するトランジスタ 1 0 3 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 2 5 0 に酸化物半導体を用いることでフォトセンサ 1 0 0 の性能を高めることができる。

【 0 2 7 3 】

なお、トランジスタ 1 0 3 がボトムゲート型である場合、図 1 1 (A) (B) に示すように、ゲート電極として機能する導電膜 2 1 8 に活性層 2 5 0 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 2 5 1 側から入射した光により活性層 2 5 0 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 1 0 3 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 1 0 4、トランジスタ 1 0 5、及びトランジスタ 1 0 9 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

【 0 2 7 4 】

ここで、図 1 0 (A) に示した、蓄積信号線 T X 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 T X と平行な選択信号線 S E が存在する。選択信号線 S E はトランジスタ 1 0 5 のゲート電極と電氣的に接続するため、選択信号線 S E の一部をトランジスタ 1 0 5 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 S E と平行な蓄積信号線 T X も、トランジスタ 1 0 5 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 T X の抵抗は高くなる場合がある。

20

【 0 2 7 5 】

これに対して、図 1 0 (B) に示した構成では、蓄積信号線 T X 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 S E とは別の層に形成された導電膜を用いて、蓄積信号線 T X を形成することができる。例えば、図 1 1 (A) に示したように、フォトセンサ 1 0 0 を構成するトランジスタ (トランジスタ 1 0 3、トランジスタ 1 0 4、トランジスタ 1 0 5、トランジスタ 1 0 9 等) のゲート電極を構成する導電膜 (導電膜 2 1 2、導電膜 2 1 8、導電膜 2 2 2) とは異なる層に形成された導電膜 2 1 1 によって蓄積信号線 T X を形成することができる。導電膜 2 1 1 は、導電膜 2 1 4、導電膜 2 1 9、導電膜 2 2 0、導電膜 2 2 4、導電膜 2 3 7、導電膜 2 3 8 等、フォトセンサ 1 0 0 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 1 0 (A) で示した構成に比べて蓄積信号線 T X の抵抗が高くなることを抑制することができる。

30

【 0 2 7 6 】

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。

【 0 2 7 7 】

(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 1 2 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 1 0 0 A 及び第 2 のフォトセンサ 1 0 0 B (まとめてフォトセンサ 1 0 0 1 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

【 0 2 7 8 】

図 1 2 に示す距離測定装置では、複数のフォトセンサ 1 0 0 1 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 1 0 0 1 は、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) と電氣的に接続している (i は 1 以上 a 以下の自然数)。j 列のフォトセンサ 1 0 0 1 は、フォトセンサ出力信号線 R O _ A (j) 及びフォトセンサ

50

出力信号線 $RO_B(j)$ と電氣的に接続している (j は 1 以上 b 以下の自然数)。

【0279】

図 12 に示す距離測定装置では、 i 行のフォトセンサ 1001 が、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 $VS(i)$ を共有している。また、 j 列のフォトセンサ 1001 が、フォトセンサ出力信号線 $RO_A(j)$ 及びフォトセンサ出力信号線 $RO_B(j)$ 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

【0280】

また、図 12 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 1001 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 1001 において共有する構成としてもよい。

【0281】

また、図 12 に示す距離測定装置が有する各行各列のフォトセンサ 1001 において、フォトダイオード 102A 及びフォトダイオード 102B は重畳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 102B に入射し、その後、フォトダイオード 102A に入射する (図 8 (B) 参

20

照)。
【0282】
本実施の形態では、フォトダイオード 102A が、赤外光を吸収し、フォトダイオード 102B 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 1001 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 102B に吸収され、赤外光が、フォトダイオード 102A に吸収される。これにより、第 2 のフォトセンサ 100B 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 100A を赤外光による距離測定に用いることができる。

【0283】

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 100A 及び可視光センサである第 2 のフォトセンサ 100B を重畳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 1001 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、TOF 方式を適用した距離測定とを同時に行うことができる。

30

【0284】

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。

【0285】

(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 13 及び図 14 を用いて説明する。図 13 は、図 12 に示すフォトセンサ 1001 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 13 の一点鎖線 B1 - B2、B3 - B4 に対応する断面図を、図 14 (A) に、図 13 の一点鎖線 C1 - C2 に対応する断面図を、図 14 (B) に示す。

40

【0286】

図 14 (A) (B) では、透光性基板 300 上に、遮光層 331 と、下地膜 332 とが設けられる。

【0287】

透光性基板 300 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、剥離方法により単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。まずシリコンウエハなどの半導体ウエハ中に、水素イオン(H^+ 、 H_2^+ 、 H_3^+ など)、又は水素イオン及びヘリウムイオンを添加して、該半導体ウエハ中に脆化層を形成する。該半導体ウエハを下地膜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。半導体ウエ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、タングステン、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、タングステン、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(SiH_4)、 Si_2H_6 、 SiH_2Cl_2 、 SiHCl_3 、 SiCl_4 、 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、 Si_2H_6 、 SiH_2Cl_2 、 SiHCl_3 、 SiCl_4 、 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(例えばリン(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、 Si_2H_6 、 SiH_2Cl_2 、 SiHCl_3 、 SiCl_4 、 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(ITO、Indium Tin Oxide)、酸化シリコンを含むインジウム錫酸化物(ITSO)、酸化インジウム酸化亜鉛(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ることができる。

【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】

40

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。

【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 チャン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^2 以上 500 N/cm^2 以下、好ましくは 1 N/cm^2 以上 20 N/cm^2 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び、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チ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。

【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 チャン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 チャンネル型トランジスタ 705 は、ゲート電極 707 を有している。n チャン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 チャン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 チャン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。

【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を含む。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を含む。

【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。

【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 チャン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

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、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、 > 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、 > 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る。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（ HfSi_xO_y （ $x > 0$ 、 $y > 0$ ））、窒素が添加されたハフニウムシリケート（ HfSiO_xN_y （ $x > 0$ 、 $y > 0$ ））、ハフニウムアルミネート（ HfAl_xO_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ク電流を低減できる。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-OS（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。

【0335】

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。

【0336】

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

【0337】

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。

【0338】

なお、酸化物半導体膜は、例えば、単結晶を有してもよい。

【0339】

20

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。

【0340】

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。

【0341】

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（TEM：Transmission Electron Microscope）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、TEM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

【0342】

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

【0343】

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もある。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。

【0344】

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 B e a m E p i t a x y) 法、C V D 法、パルスレーザ堆積法、A L D (A t o m i c L a y e r D e p o s i t i o n) 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。

10

【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。

20

【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る。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、チタンサブレ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_2O) 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る。

30

【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 中に含まれう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。

40

【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 (In) あるいは亜鉛 (Zn) を含むことが好ましい。特に In と Zn 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 (Ga) 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 (Sn) 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 (Hf) 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 (Al) 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 (Zr) を有することが好ましい。

【0352】

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 (La)、セリウム (Ce)、プラセオジウム (Pr)、ネオジウム (Nd)、サマリウム (Sm)、ユウロピウム (Eu)、ガドリニウム (Gd)、テルビウム (Tb)、ジスプロシウム (Dy)、ホルミウム (Ho)、エルビウム (Er)、ツリウム (Tm)、イッテルビウム (Yb)、ルテチウム (Lu) のいずれか一種あるいは複数種を有してもよい。

【0353】

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 In-Zn 系酸化物、Sn-Zn 系酸化物、Al-Zn 系酸化物、Zn-Mg 系酸化物、Sn-Mg 系酸化物、In-Mg 系酸化物、In-Ga 系酸化物、三元系金属の酸化物である In-Ga-Zn 系酸化物、In-Al-Zn 系酸化物、In-Sn-Zn 系酸化物、Sn-Ga-Zn 系酸化物、Al-Ga-Zn 系酸化物、Sn-Al-Zn 系酸化物、In-Hf-Zn 系酸化物、In-La-Zn 系酸化物、In-Ce-Zn 系酸化物、In-Pr-Zn 系酸化物、In-Nd-Zn 系酸化物、In-Sm-Zn 系酸化物、In-Eu-Zn 系酸化物、In-Gd-Zn 系酸化物、In-Tb-Zn 系酸化物、In-Dy-Zn 系酸化物、In-Ho-Zn 系酸化物、In-Er-Zn 系酸化物、In-Tm-Zn 系酸化物、In-Yb-Zn 系酸化物、In-Lu-Zn 系酸化物、四元系金属の酸化物である In-Sn-Ga-Zn 系酸化物、In-Hf-Ga-Zn 系酸化物、In-Al-Ga-Zn 系酸化物、In-Sn-Al-Zn 系酸化物、In-Sn-Hf-Zn 系酸化物、In-Hf-Al-Zn 系酸化物を用いることができる。

【0354】

なお、酸化物半導体層 715 は、成膜時に酸素が多く含まれるような条件 (例えば、酸素 100% 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。

【0355】

また酸化物半導体層 715 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。

【0356】

酸化物半導体層 715 として CAAC-OS 膜を適用する場合、該 CAAC-OS 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 200 以上 450 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、200 以上 700 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、200 以上 700 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。

【0357】

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 715 が形成される。島状の酸化物半導体層 715 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リソ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。

【0358】

また、酸化物半導体層 715 に、当該酸化物半導体層 715 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、300 以上 700 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。

【0359】

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 715 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る。

【0360】

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(99.999%)以上好ましくは7N(99.99999%)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(キャピ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、電氣的に安定である。

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、プラズマイメ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を部分的にエッチングすることで、島状の半導体膜702、島状の半導体膜703、配線711に達するコンタ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、エッチ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。

【0373】

なお、導電膜のエッチングの際に、酸化物半導体層 715 ができ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。

30

【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_2O 、 N_2 、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

絶縁膜 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、酸化ジルコニウム、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、 > 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 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可能である。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

40

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 7 2 2 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 7 1 5 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 7 1 5 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 7 1 5 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 1 0 0 以上 3 5 0 未満、好ましくは 1 5 0 以上 2 5 0 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 (9 9 . 9 9 9 9 %) 以上、好ましくは 7 N (9 9 . 9 9 9 9 9 %) 以上、(即ち酸素中の不純物濃度を 1 p p m 以下、好ましくは 0 . 1 p p m 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 7 1 5 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 . 4 5 G H z のマイクロ波でプラズマ化した酸素を酸化物半導体層 7 1 5 に添加すればよい。

【0385】

なお、絶縁膜 7 2 2 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 7 1 5 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 7 1 3、或いは導電膜 7 1 6、導電膜 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 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、1 0 n m ~ 4 0 0 n m、好ましくは 1 0 0 n m ~ 2 0 0 n m 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 7 2 4 が形成される。

【0388】

トランジスタ 7 2 4 は、ゲート電極 7 1 3 と、ゲート電極 7 1 3 上のゲート絶縁膜 7 1 4 と、ゲート絶縁膜 7 1 4 上でゲート電極 7 1 3 と重なる酸化物半導体層 7 1 5 と、酸化物半導体層 7 1 5 上に形成された一対の導電膜 7 2 0 及び導電膜 7 2 1 とを有する。さらに、トランジスタ 7 2 4 は、絶縁膜 7 2 2 を、その構成要素に含めてもよい。図 1 5 (C) に示すトランジスタ 7 2 4 は、導電膜 7 2 0 と導電膜 7 2 1 の間において、酸化物半導体層 7 1 5 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 7 2 4 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、電氣的に接続する複数のゲート電極 7 1 3 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 1 6 を用いて説明する。

【0392】

50

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 チャン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、チャン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ンネル保護膜 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、及びチャンネル保護膜 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】

チャンネル保護膜 733 を設けることによって、酸化物半導体層 732 のチャンネル形成領域となる部分に対する、後の工程における、エッチング時のプラズマやエッチ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。

【0396】

チャンネル保護膜 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。チャンネル保護膜 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。チャンネル保護膜 733 は成膜後にエッチ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チング加工することでチャンネル保護膜 733 を形成する。

20

【0397】

酸素を含む無機材料をチャンネル保護膜 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 にチャンネル保護膜 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、チャンネル形成領域を 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 7 2 4 c は、絶縁膜 7 1 2 上に形成された酸化物半導体層 7 5 5 と、酸化物半導体層 7 5 5 上の導電膜 7 5 3 及び導電膜 7 5 4 と、酸化物半導体層 7 5 5、導電膜 7 5 3 及び導電膜 7 5 4 上のゲート絶縁膜 7 5 2 と、ゲート絶縁膜 7 5 2 を間に挟んで酸化物半導体層 7 5 5 と重なるゲート電極 7 5 1 とを有する。トランジスタ 7 2 4 c は、ゲート電極 7 5 1 上に形成された絶縁膜 7 5 6 を、構成要素に含めてもよい。

【 0 4 0 3 】

図 1 6 (D) に示すトランジスタ 7 2 4 d は、トップコンタクト型のトランジスタである。

【 0 4 0 4 】

トランジスタ 7 2 4 d は、絶縁膜 7 1 2 上に形成された導電膜 7 6 3 及び導電膜 7 6 4 と、導電膜 7 6 3 及び導電膜 7 6 4 上の酸化物半導体層 7 6 5 と、酸化物半導体層 7 6 5、導電膜 7 6 3 及び導電膜 7 6 4 上のゲート絶縁膜 7 6 2 と、ゲート絶縁膜 7 6 2 を間に挟んで酸化物半導体層 7 6 5 と重なるゲート電極 7 6 1 とを有する。トランジスタ 7 2 4 d は、ゲート電極 7 6 1 上に形成された絶縁膜 7 6 6 を、構成要素に含めてもよい。

【 0 4 0 5 】

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 】

【 0 4 0 6 】

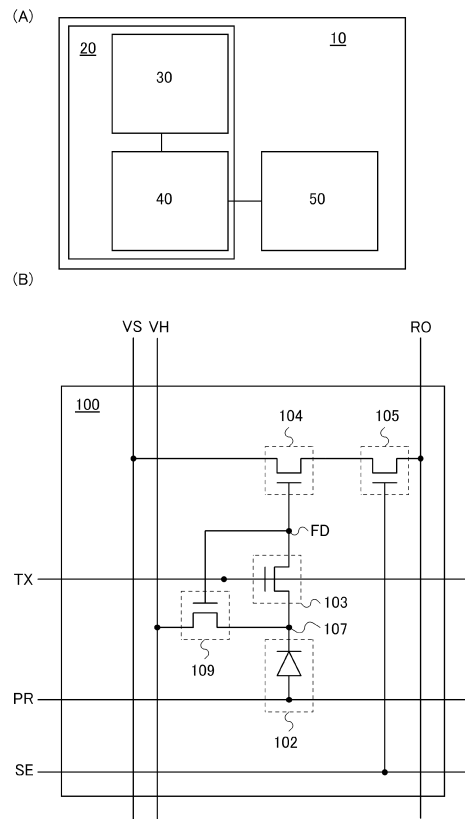
F D	電荷保持ノード	
F D __ 1	電荷保持ノード	10
F D __ 2	電荷保持ノード	
F D __ A	電荷保持ノード	
F D __ B	電荷保持ノード	
P R	リセット信号線	
P R __ 1	リセット信号線	
P R __ 2	リセット信号線	
P R __ A	リセット信号線	
P R __ B	リセット信号線	
R D	固定電源線	
R O	フォトセンサ出力信号線	30
R O __ 1	フォトセンサ出力信号線	
R O __ 2	フォトセンサ出力信号線	
R O __ A	フォトセンサ出力信号線	
R O __ B	フォトセンサ出力信号線	
S 0 ~ S 3	検出信号の電圧	
S E	選択信号線	
S E __ 1	選択信号線	
S E __ 2	選択信号線	
S E __ A	選択信号線	
S E __ B	選択信号線	40
T 1 ~ T 2 7	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	
1 0	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	
1 0 0 B	第 2 のフォトセンサ	
1 0 2	フォトダイオード	10
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

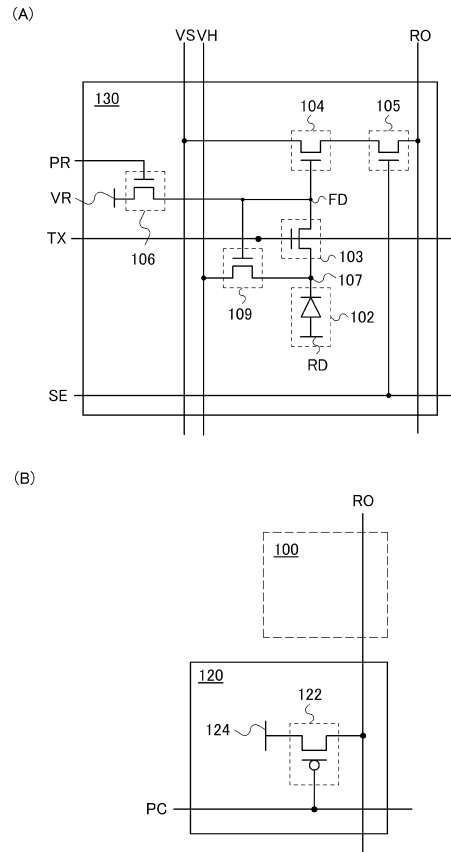
2 1 6	半 導 体 膜	
2 1 7	半 導 体 膜	
2 1 8	導 電 膜	
2 1 9	導 電 膜	
2 2 0	導 電 膜	
2 2 1	導 電 膜	
2 2 2	導 電 膜	
2 2 3	導 電 膜	
2 2 4	導 電 膜	
2 2 5	導 電 膜	10
2 2 6	導 電 膜	
2 2 7	導 電 膜	
2 2 8	ゲ ー ト 絶 縁 膜	
2 2 9	導 電 膜	
2 3 7	導 電 膜	
2 3 8	導 電 膜	
2 3 9	導 電 膜	
2 5 0	活 性 層	
2 5 1	基 板	
2 8 1	絶 縁 膜	20
2 8 2	絶 縁 膜	
3 0 0	透 光 性 基 板	
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

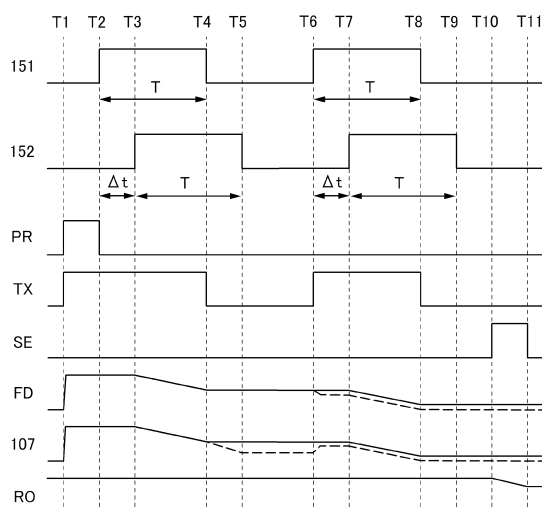
【図 1】



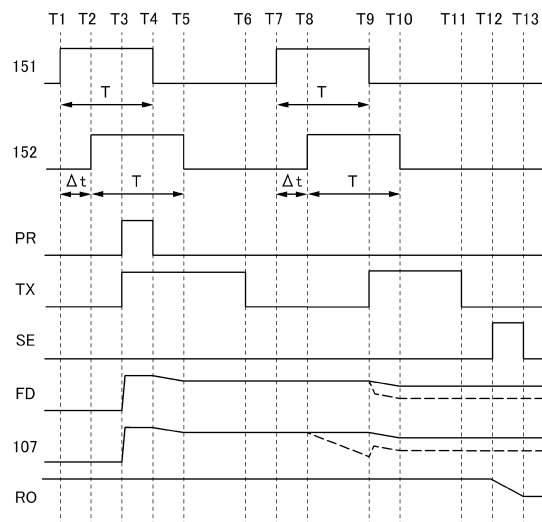
【図 2】



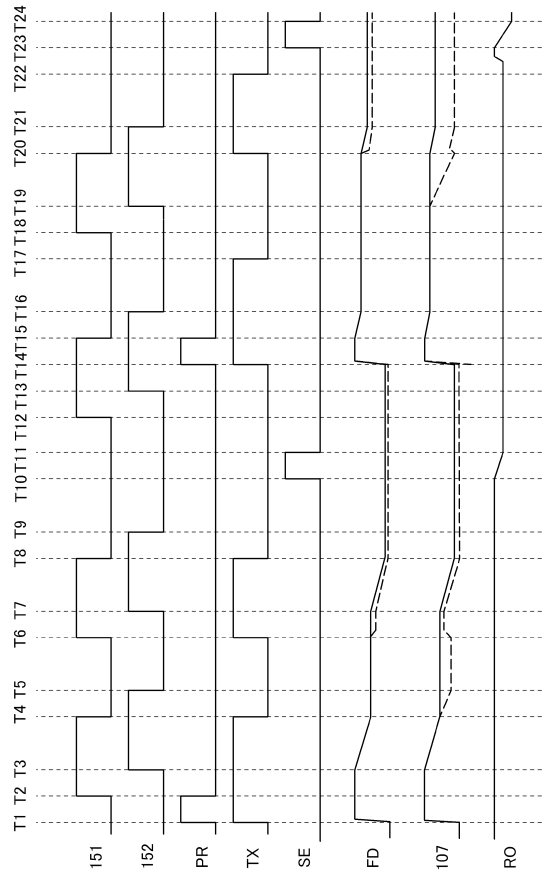
【図 3】



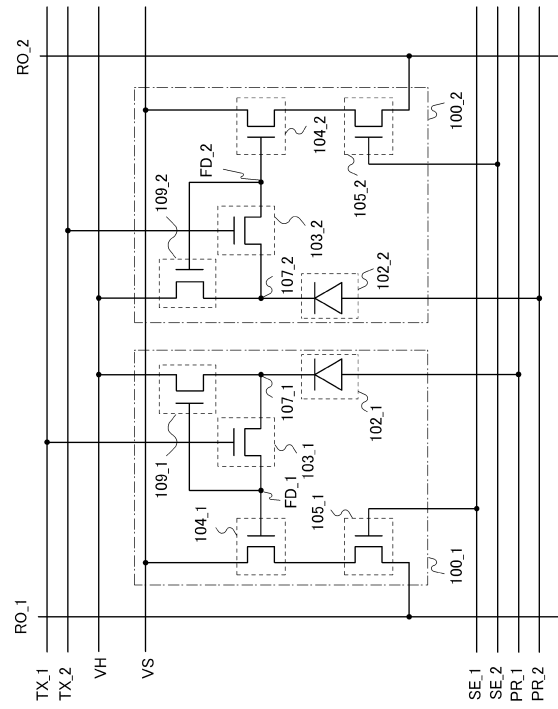
【図 4】



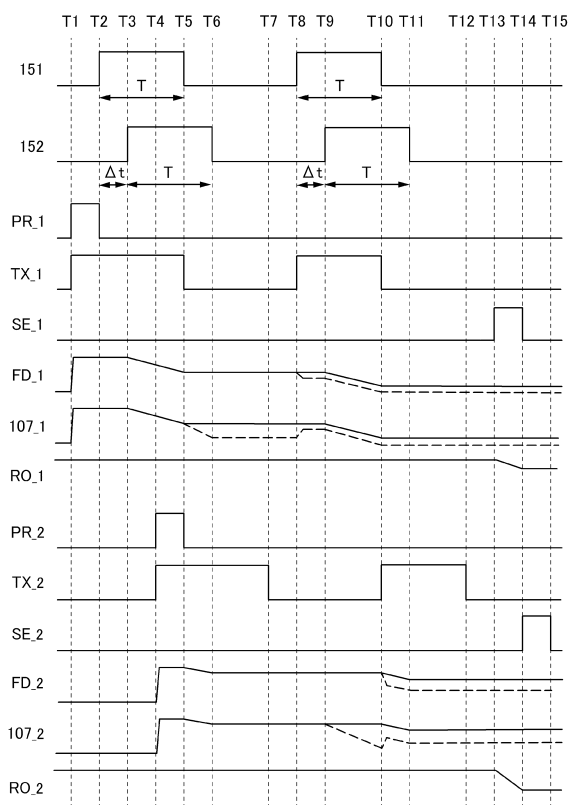
【図 5】



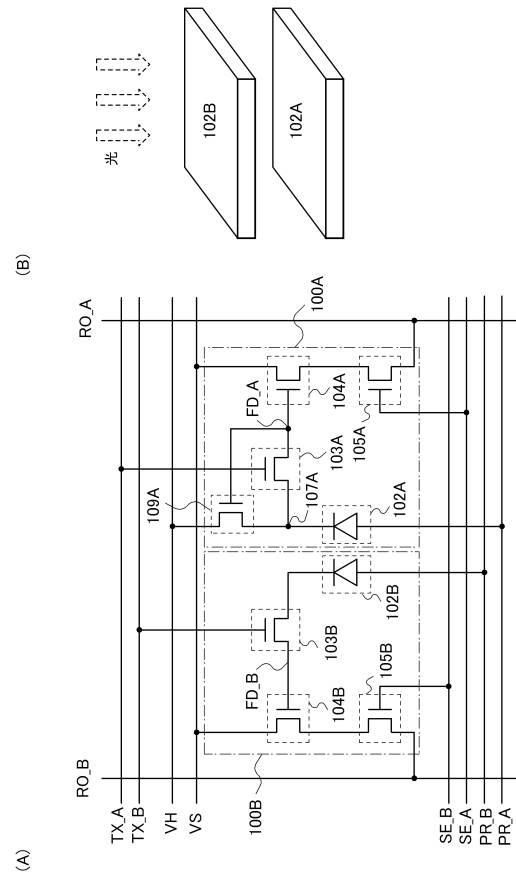
【図 6】



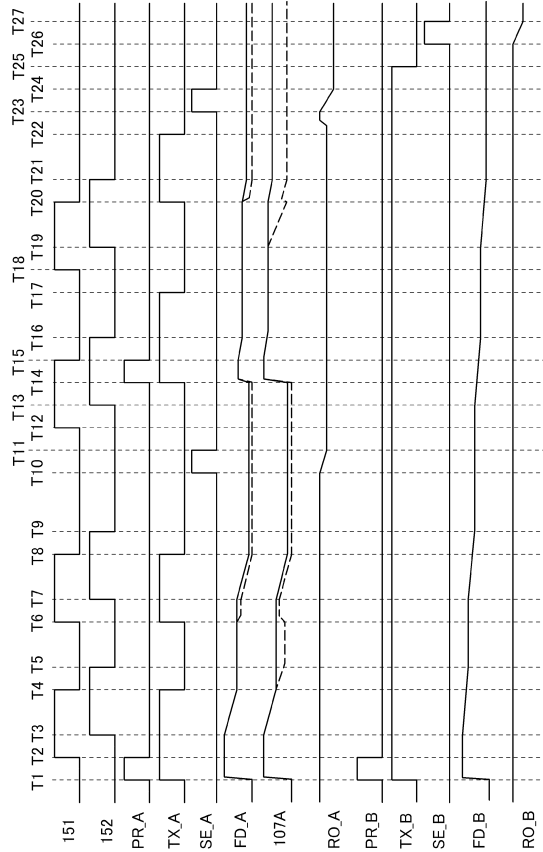
【図 7】



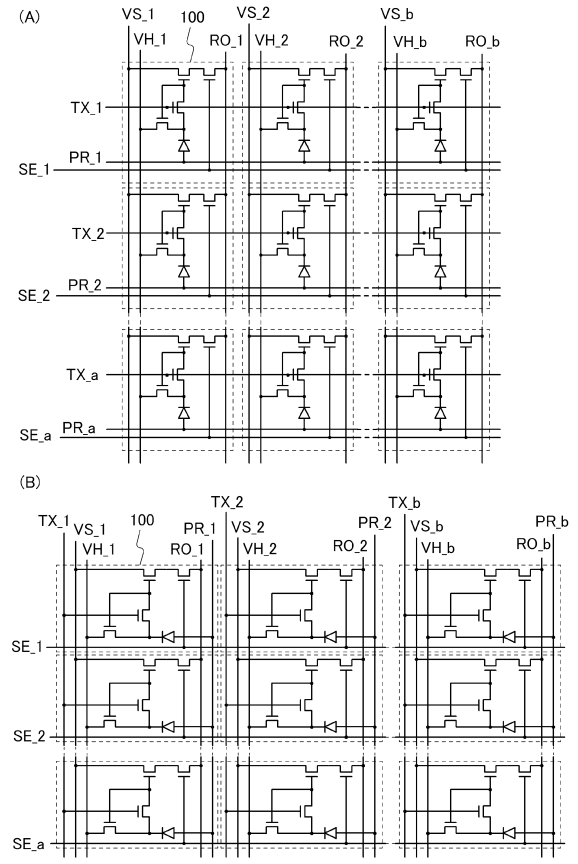
【図 8】



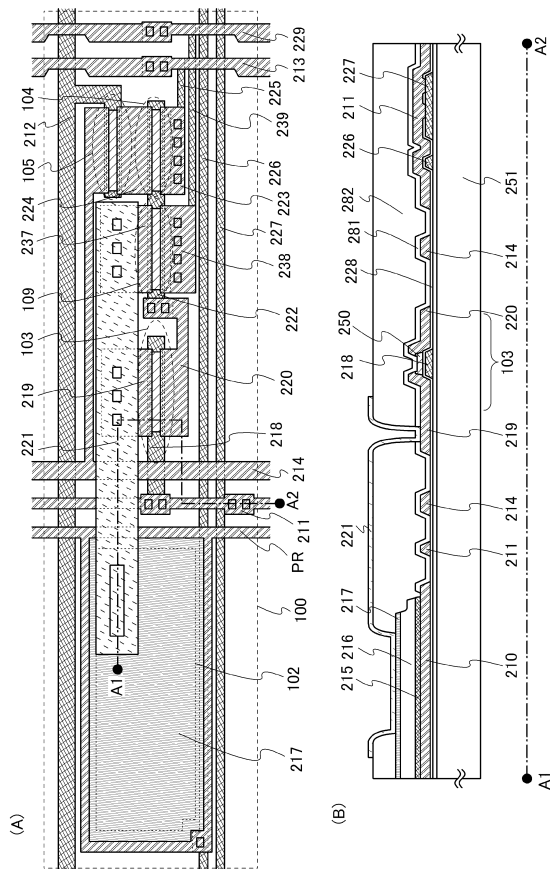
【図 9】



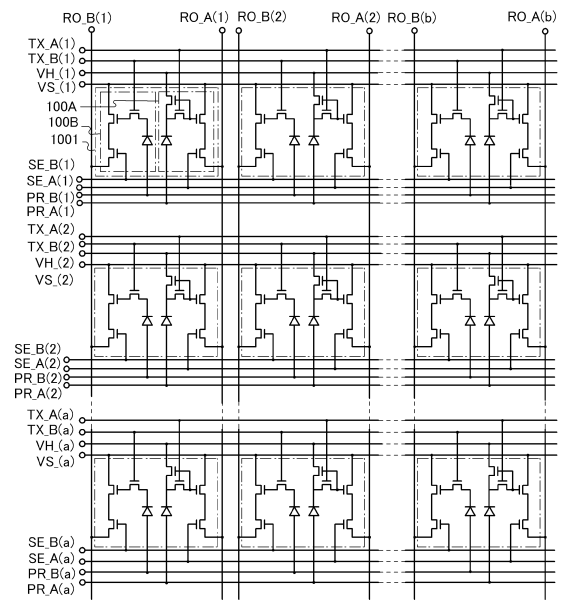
【図 10】



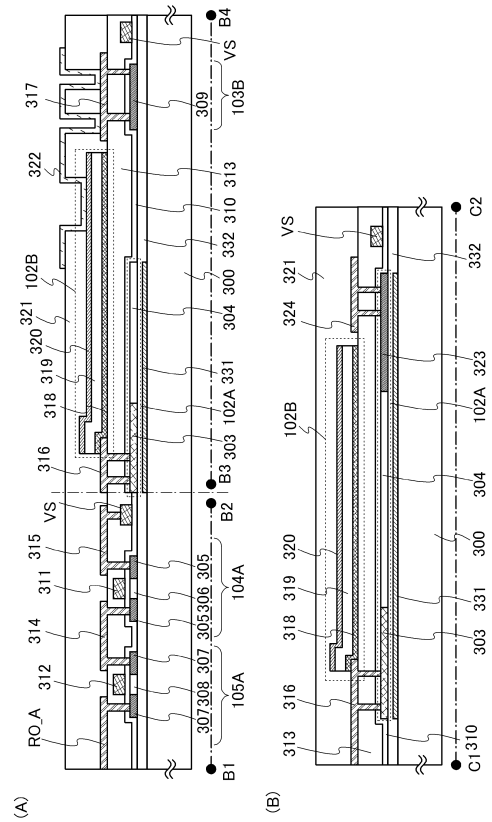
【図 11】



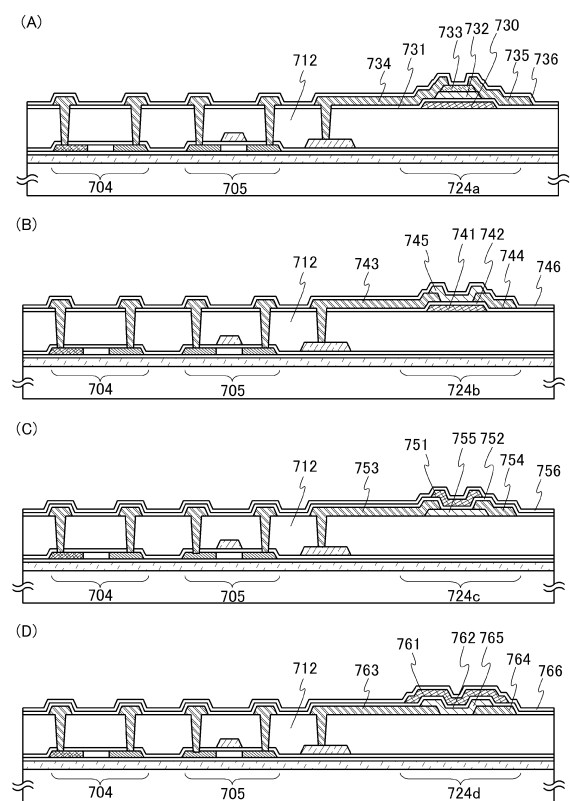
【図 12】



【 図 1 4 】



【 図 1 6 】



フロントページの続き

(56)参考文献 特開2011-211699(JP,A)
特開2011-166123(JP,A)
特開2012-034354(JP,A)
特開2011-128024(JP,A)
特開2012-029130(JP,A)
特開2005-121398(JP,A)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01S 7/48 - 7/51
G01S17/00 - 17/95
G01C 3/00 - 3/32
H01L21/339
H01L27/14
H01L27/144 - 27/148
H01L29/762
H04N 5/30 - 5/378