

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2010-32425

(P2010-32425A)

(43) 公開日 平成22年2月12日(2010.2.12)

(51) Int.Cl.		F I		テーマコード (参考)
G O 1 S 17/10 (2006.01)		G O 1 S	17/10	4 M 1 1 8
H O 1 L 27/146 (2006.01)		H O 1 L	27/14	A 5 J 0 8 4
G O 1 S 17/89 (2006.01)		G O 1 S	17/89	

審査請求 未請求 請求項の数 11 O L (全 29 頁)

(21) 出願番号	特願2008-196616 (P2008-196616)	(71) 出願人	304023318
(22) 出願日	平成20年7月30日 (2008.7.30)		国立大学法人静岡大学
			静岡県静岡市駿河区大谷836
		(74) 代理人	100088155
			弁理士 長谷川 芳樹
		(74) 代理人	100108257
			弁理士 近藤 伊知良
		(74) 代理人	100124800
			弁理士 諏澤 勇司
		(72) 発明者	川人 祥二
			静岡県浜松市中区城北3丁目5-1 国立
			大学法人静岡大学電子工学研究所内
		Fターム(参考)	4M118 AA10 AB03 BA14 CA03 CA07
			DB09 DD04 DD12 FA06 FA33
			最終頁に続く

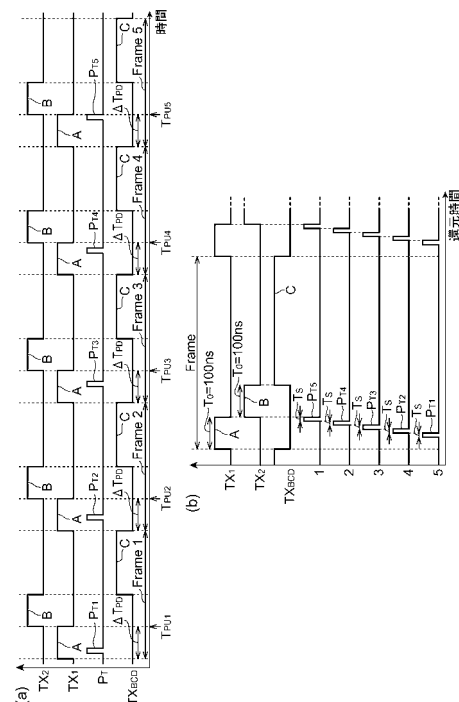
(54) 【発明の名称】 距離画像センサ、及び撮像信号を飛行時間法により生成する方法

(57) 【要約】

【課題】距離分解能の低下なしに距離計測範囲を拡大可能な距離画像センサを提供する。

【解決手段】放射源13は、時間軸上に順に配列された第1～第5のフレームにおいて対象物に照射される第1～第5のパルス $P_{T1} \sim P_{T5}$ の列を放射パルスとして提供する。フレームの各々では、撮像時刻 $T_{PU1} \sim T_{PU5}$ は各フレームの始点から所定の時間 T_{PD} の位置に規定され、またパルス $P_{T1} \sim P_{T5}$ が、それぞれ、第1～第5のフレームの始点から、互いに異なるシフト量でシフトされる。5つのフレームの各々における撮像ウインドウA、Bを用いて、ピクセルアレイ23は、互いに異なる距離範囲の対象物の距離情報を有する要素画像信号 $S_{E1} \sim S_{E5}$ を生成する。処理装置17は、これらを合成して画像信号 S_{IMAGE} を生成する。5回の飛行時間測定のをを用いるので、広い距離範囲の対象物の距離情報を得るために、放射パルスの幅を広げる必要がなく、距離分解能が低下しない。

【選択図】図10



【特許請求の範囲】**【請求項 1】**

飛行時間法を用いる距離画像センサであって、

飛行時間を計測するために対象物に照射する放射パルスを発生する放射源と、

互いに異なる第 1 ~ 第 n の飛行時間 ($n > 1$) に対応する第 1 ~ 第 n の撮像タイミングを示す制御信号を生成する制御装置と、入射放射線に感応して電荷を生成する検出素子を含む複数のピクセルのピクセルアレイと、前記第 1 ~ 第 n の撮像タイミングにそれぞれ対応する第 1 ~ 第 n の要素画像信号を前記制御信号に応答して生成する信号生成装置とを有する画像生成装置と、

前記第 1 ~ 第 n の要素画像信号を合成して、前記対象物に関する距離情報を含む画像信号を生成する処理装置とを備え、

各ピクセルの前記検出素子は、前記第 1 ~ 第 n の撮像タイミングの各々における第 1 及び第 2 の撮像ウインドウにおいて該検出素子に入射する入射放射線に応じてそれぞれ第 1 及び第 2 の電荷を生成し、

各ピクセルは、前記第 1 及び第 2 の撮像ウインドウに対応してそれぞれ前記第 1 及び第 2 の電荷から第 1 及び第 2 の要素信号を提供し、

前記第 1 の撮像ウインドウは、基準時刻から規定された撮像時刻の直前にあり所定の時間幅を有しており、

前記第 2 の撮像ウインドウは、前記撮像時刻の直後にあり所定の時間幅を有しており、

前記第 i の要素画像信号 ($1 \leq i \leq n$) は、前記第 i の撮像タイミングにおける各ピクセルの前記第 1 及び第 2 の要素信号を含む、ことを特徴とする距離画像センサ。

【請求項 2】

前記放射源は、時間軸に関して順に配列された第 1 ~ 第 n のフレームそれぞれにおいて対象物に照射される第 1 ~ 第 n のパルスの列を前記放射パルスとして提供し、

前記第 1 ~ 第 n のパルスは、それぞれ、前記第 1 ~ 第 n のフレームの始点から、互いに異なるシフト量でシフトされており、

前記第 1 ~ 第 n のフレームの各々において、前記撮像時刻は各フレームの始点から所定の時間で規定され、

前記第 1 ~ 第 n のフレームの各々は、前記第 1 及び第 2 の撮像ウインドウを含み、

前記第 1 ~ 第 n のパルスの各々の持続時間は、前記第 1 の撮像ウインドウの期間以下であり、

前記第 1 ~ 第 n のパルスの各々の持続時間は、前記第 2 の撮像ウインドウの期間以下である、ことを特徴とする請求項 1 に記載された距離画像センサ。

【請求項 3】

前記第 1 ~ 第 n のフレームの各々は、前記第 1 及び第 2 の撮像ウインドウと、前記第 1 及び第 2 の撮像ウインドウと異なる電荷廃棄ウインドウとを含み、

前記ピクセルは、前記電荷廃棄ウインドウにおいて、前記検出素子の電荷を廃棄する、ことを特徴とする請求項 2 に記載された距離画像センサ。

【請求項 4】

前記ピクセルは、前記第 1 ~ 第 n の撮像タイミングにおける前記第 1 及び第 2 の撮像ウインドウにおいてそれぞれ導通し前記検出素子に接続された第 1 及び第 2 の転送ゲートと、前記検出素子に接続され前記電荷廃棄ウインドウに導通する第 1 及び第 2 の廃棄ゲートとを含み、

前記検出素子は前記第 1 の転送ゲートと前記第 2 の転送ゲートとの間に位置し、

前記検出素子は前記第 1 の廃棄ゲートと前記第 2 の廃棄ゲートとの間に位置する、ことを特徴とする請求項 3 に記載された距離画像センサ。

【請求項 5】

前記第 1 ~ 第 n のパルスのパルス幅は、線形応答領域を用いて前記距離情報を含む画像信号を生成可能なように規定されている、ことを特徴とする請求項 2 ~ 請求項 4 のいずれ

10

20

30

40

50

か一項に記載された距離画像センサ。

【請求項 6】

前記放射源は、単一のフレームに単一のパルスを前記放射パルスとして提供し、

前記第 1 ～ 第 n の撮像タイミングは、前記フレーム内に位置し、

前記第 1 ～ 第 n の撮像タイミングの前記撮像時刻は、互いに異なるシフト量で前記単一のフレームの始点からシフトされており、

前記第 1 の撮像タイミングの前記撮像時刻の直前には前記第 1 の撮像ウィンドウが設けられ、

前記第 n の撮像タイミングの前記撮像時刻の直後には前記第 2 の撮像ウィンドウが設けられ、

前記第 1 ～ 第 n の撮像タイミングのうちの第 i の撮像タイミング ($1 \leq i < n - 1$) と第 $i + 1$ の撮像タイミングとの間には、前記検出素子に入射する入射放射線に応じた電荷を取り込むためのウィンドウが規定されており、

前記ウィンドウは、前記第 1 及び第 2 の撮像ウィンドウのために兼用され、

前記パルスの持続時間は、前記第 1 の撮像ウィンドウの期間以下であり、

前記パルスの各々の持続時間は、前記第 2 の撮像ウィンドウの期間以下である、ことを特徴とする請求項 1 に記載された距離画像センサ。

【請求項 7】

前記単一のフレームは、前記第 1 及び第 2 の撮像ウィンドウと、前記第 1 の撮像ウィンドウ及び前記第 2 の撮像ウィンドウと異なる電荷廃棄ウィンドウとを含み、

前記ピクセルは、前記電荷廃棄ウィンドウにおいて、前記検出素子の電荷を廃棄する、ことを特徴とする請求項 6 に記載された距離画像センサ。

【請求項 8】

前記ピクセルは、前記検出素子の一方の側に配置された第 1 の群の第 1 ～ 第 j の転送ゲートと、前記検出素子の他方の側に配置された第 2 の群の第 $j + 1$ ～ 第 $n + 1$ の転送ゲートと、前記検出素子に接続され前記電荷廃棄ウィンドウに導通する第 1 及び第 2 の廃棄ゲートとを含み、

前記第 1 ～ 第 $n + 1$ の転送ゲートは、前記第 1 ～ 第 n の撮像タイミングのいずれかにおいて導通し、

前記検出素子は前記第 1 の廃棄ゲートと前記第 2 の廃棄ゲートとの間に位置する、ことを特徴とする請求項 7 に記載された距離画像センサ。

【請求項 9】

複数のピクセルを含むピクセルアレイと飛行時間を計測するための放射源とを用いて対象物に関する距離情報を含む撮像信号を飛行時間法により生成する方法であって、

前記ピクセルアレイの検出素子を用いて、互いに異なる第 1 ～ 第 n の飛行時間 ($n > 1$) で複数の撮像を行って、第 1 ～ 第 n の要素画像信号を生成するステップと、

前記第 1 ～ 第 n の要素画像信号を合成して、前記対象物に関する距離情報を含む画像信号を生成するステップと

を備え、

各ピクセルは、前記第 1 ～ 第 n の撮像タイミングにおける第 1 及び第 2 の撮像ウィンドウにおいてそれぞれ第 1 及び第 2 の電荷を生成し、

前記第 1 の撮像ウィンドウは、基準時刻から規定された撮像時刻の直前にあり所定の時間幅を有しており、

前記第 2 の撮像ウィンドウは、前記撮像時刻の直後にあり所定の時間幅を有しており、

各ピクセルは、前記第 1 及び第 2 の電荷の量にそれぞれ対応する第 1 及び第 2 の要素信号を提供し、

前記第 i の要素画像信号 ($1 \leq i \leq n$) は、前記第 i の撮像タイミングにおける前記複数のピクセルの前記第 1 及び第 2 の要素信号を含む、ことを特徴とする方法。

【請求項 10】

前記第 1 ～ 第 n の要素画像信号を生成する前記ステップは、飛行時間を計測するための

10

20

30

40

50

放射パルスを対象物に照射するステップを含み、

前記放射パルスの照射では、時間軸に関して順に配列された第 1 ~ 第 n のフレームそれぞれにおいて対象物に照射するための第 1 ~ 第 n のパルスが出射され、

前記第 1 ~ 第 n のパルスは、それぞれ、前記第 1 ~ 第 n のフレームの始点から、互いに異なるシフト量でシフトされており、

前記第 1 ~ 第 n のフレームの各々において、前記基準時刻は各フレームの始点であり、

前記第 1 ~ 第 n のフレームの各々は、前記第 1 及び前記第 2 の撮像ウインドウを含み、

前記第 1 ~ 第 n のパルスの各々の持続時間は、前記第 1 の撮像ウインドウの期間以下であり、

前記第 1 ~ 第 n のパルスの各々の持続時間は、前記第 2 の撮像ウインドウの期間以下である、ことを特徴とする請求項 9 に記載された方法。 10

【請求項 11】

前記第 1 ~ 第 n の要素画像信号を生成する前記ステップは、飛行時間を計測するための放射パルスを対象物に照射するステップを含み、

前記放射パルス照射では、単一のフレームに単一のパルスが出射され、

前記第 1 ~ 第 n の撮像タイミングは、前記単一のフレーム内に位置し、

前記第 1 ~ 第 n の撮像タイミングは、前記単一のフレームの始点から、互いに異なるシフト量でシフトされており、

前記第 1 及び第 2 の撮像ウインドウの各々は、前記第 1 ~ 第 n の撮像タイミングのうち隣接する撮像タイミングの間に設けられている、ことを特徴とする請求項 9 に記載された方法。 20

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は、距離画像センサ、及び撮像信号を飛行時間法により生成する方法に関する。

【背景技術】

【0002】

特許文献 1 には、全画素同時電子シャッタ動作が可能な固体撮像装置が記載されている。この固体撮像装置は、全フォトダイオードをリセットした後に、第 1 転送ゲートを一斉に閉じ、各フォトダイオードに電荷の蓄積を行う。シャッタ時間が経過した後に、第 1 転送ゲートを一斉に開き、蓄積された電荷をそれぞれの電荷蓄積領域に転送する。特許文献 2 には、電子シャッタ作用を備えた能動ピクセルセンサアレイが記載されている。特許文献 3 には、距離画像センサのための画素回路が記載されている。シリコン基板上に酸化膜が設けられており、この酸化膜上に、2 つの電荷転送用フォトゲート電極が設けられる。酸化膜の縁部には、電荷取り出し用の浮遊拡散層が設けられている。特許文献 4 には、強度変調された放射フィールドを検出と復調のための方法及び装置が記載されている。この方法及び装置では、センサ素子のアレイの光感応部に生成された信号電荷を、光源によって生成された変調信号に同期してメモリセルに転送するように、センサ素子の電子スイッチを制御すると共に、メモリセルに格納された信号電荷を評価ユニットに転送するように、メモリセルを制御する。特許文献 5 には、アクティブピクセルセンサが記載されている。アクティブピクセルセンサは、信号電荷として集められるフォト電荷を入力光から発生する光検出領域と、ピクセル内に増幅器の入力に接続されたセンスノードに光検出領域から信号電荷を転送するトランジスタとを備える。ピクセルの設計では、光検出領域が中心軸に関して二次元対称性を有するように設けられている。特許文献 6 では、TOF 法を用いる三次元撮像システムが記載されている。三次元撮像システムのピクセルは、ピクセル検出器、電荷コレクタ及び電子シャッタを含み、電子シャッタは、ピクセル検出器と電荷コレクタとの間に介在している。非特許文献 1 は、CCD を用いた距離測定センサが記載されている。反射光の遅延時間は、2 つの検知期間によって位相シフト量として測定される。 30 40

【特許文献 1】特開平 11 - 177076 号公報

【特許文献2】特表2000-504489号公報

【特許文献3】特開2005-235893号公報

【特許文献4】USP5856667号公報

【特許文献5】USP5986297号公報

【特許文献6】USP6323942号公報

【非特許文献1】Ryohei Miyagawa, Takeo Kanade, "CCD-based range-finding sensor," IEEE Trans. Electron Devices, vol. 44, no. 10, pp.1648-1652 (1997).

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0003】

10

光の飛行時間を用いた従来の距離画像センサでは、距離計測範囲を広げるためには、以下の事項が必要であった：(a1)光の変調周波数を高める；(a2)光のパルスの幅を広げる。一方、距離分解能を高めるためには、以下の事項が必要であった：(b1)光の変調周波数を高める；(b2)光のパルス幅を短くする。上記のように、距離計測範囲を広げるためには光のパルスの幅を広げることが求められる一方で、距離分解能を高めるためには光のパルス幅を短くすることが求められる。故に、計測可能な距離範囲を拡大することは、距離分解能を向上させることとトレードオフの関係にある。

【0004】

本発明は、このような事情を鑑みて為されたものであり、距離分解能を低下させることなく、距離計測範囲を拡大可能な距離画像センサ、及び撮像信号を飛行時間法により生成する方法を提供することを目的とする。

20

【課題を解決するための手段】

【0005】

本発明の一側面は、飛行時間法を用いる距離画像センサである。距離画像センサは、(a)飛行時間を計測するために対象物に照射する放射パルスが発生する放射源と、(b)互いに異なる第1～第nの飛行時間($n > 1$)に対応する第1～第nの撮像タイミングを示す制御信号を生成する制御装置と、入射放射線に感応して電荷を生成する検出素子を含む複数のピクセルのピクセルアレイと、第1～第nの撮像タイミングにそれぞれ対応する第1～第nの要素画像信号を制御信号に応答して生成する信号生成装置とを有する画像生成装置と、(c)第1～第nの要素画像信号を合成して、対象物に関する距離情報を含む画像信号を生成する処理装置とを備える。各ピクセルの検出素子は、第1～第nの撮像タイミングの各々における第1及び第2の撮像ウィンドウにおいて該検出素子に入射する入射放射線に応じてそれぞれ第1及び第2の電荷を生成する。各ピクセルは、第1及び第2の撮像ウィンドウに対応してそれぞれ第1及び第2の電荷から第1及び第2の要素信号を提供する。第1の撮像ウィンドウは、基準時刻から規定された撮像時刻の直前にあり所定の時間幅を有している。第2の撮像ウィンドウは、撮像時刻の直後にあり所定の時間幅を有している。第iの要素画像信号($1 \leq i \leq n$)は、第iの撮像タイミングにおける各ピクセルの第1及び第2の要素信号を含む。

30

【0006】

この距離画像センサによれば、第1～第nの飛行時間($n > 1$)は互いに異なるので、それぞれの飛行時間は、互いに異なる測距範囲をカバーする。また、第1～第nの飛行時間に対応する第1～第nの撮像タイミングで第1～第nの要素画像信号を生成するので、第1～第nの要素画像信号の各々は、互いに異なる距離範囲の対象物の距離情報を有している。これらの第1～第nの要素画像信号を合成して画像信号を生成するので、広い距離範囲における対象物の距離情報を得ることができる。

40

【0007】

また、対象物の距離情報を得るために、第1～第nの撮像タイミングの各々では、第1及び第2の撮像ウィンドウでピクセルの検出素子に入射する入射放射線に対応する第1及び第2の要素信号を生成しているので、複数回の飛行時間法の測定により、広い距離範囲において対象物に関する距離範囲の情報を得ている。故に、広い距離範囲における対象物

50

の距離情報を得るために、放射パルスの幅を広げる必要がない。したがって、個々の飛行時間の測定において、距離分解能を低下されない。

【0008】

本発明に係る距離画像センサでは、放射源は、時間軸に関して順に配列された第1～第nのフレームそれぞれにおいて対象物に照射される第1～第nのパルスの列を放射パルスとして提供する。第1～第nのパルスは、それぞれ、第1～第nのフレームの始点から、互いに異なるシフト量でシフトされている。第1～第nのフレームの各々において、撮像時刻は各フレームの始点から所定の時間で規定されている。第1～第nのフレームの各々は、第1及び第2の撮像ウインドウを含む。第1～第nのパルスの各々の持続時間は、第1の撮像ウインドウの期間以下である。第1～第nのパルスの各々の持続時間は、第2の撮像ウインドウの期間以下である。

10

【0009】

この距離画像センサによれば、第1～第nの飛行時間の測定には、互いに異なるシフト量でシフトされた第1～第nのパルスを用いる。第1～第nのパルスは、それぞれ、時間軸に関して順に配列された第1～第nのフレームにおいて対象物に照射される。第1～第nのパルスを、それぞれ、第1～第nのフレームにおける第1及び第2の撮像ウインドウに対応づけて、複数回の飛行時間の測定を行うことができる。

【0010】

本発明に係る距離画像センサでは、第1～第nのフレームの各々は、第1及び第2の撮像ウインドウと、第1及び第2の撮像ウインドウと異なる電荷廃棄ウインドウとを含む。ピクセルは、電荷廃棄ウインドウにおいて、検出素子の電荷を廃棄する。この距離画像センサによれば、電荷廃棄ウインドウにおいて検出素子の電荷が廃棄されるので、検出素子が受ける背景ノイズを除外できる。

20

【0011】

本発明に係る距離画像センサでは、ピクセルは、第1～第nの撮像タイミングにおける第1の撮像ウインドウ及び第2の撮像ウインドウにそれぞれ導通し検出素子に接続され第1及び第2の転送ゲートと、検出素子に接続され電荷廃棄ウインドウに導通する第1及び第2の廃棄ゲートとを含む。検出素子は第1の転送ゲートと第2の転送ゲートとの間に位置する。検出素子は第1の廃棄ゲートと第2の廃棄ゲートとの間に位置する。この距離画像センサのピクセルアレイは、上記の構造のピクセルのアレイを含むことができる。

30

【0012】

本発明に係る距離画像センサでは、第1～第nのパルスのパルス幅は、線形応答領域を用いて距離情報を含む画像信号を生成可能なように規定されることができる。この距離画像センサによれば、線形応答領域を用いるので、飛行時間の測定の全範囲において、距離精度を確保できる。

【0013】

本発明に係る距離画像センサでは、放射源は、単一のフレームに単一のパルスを放射パルスとして提供する。第1～第nの撮像タイミングは、単一のフレーム内に位置する。第1～第nの撮像タイミングの撮像時刻は、互いに異なるシフト量で単一のフレームの始点からシフトされている。第1の撮像タイミングの撮像時刻の直前には第1の撮像ウインドウが設けられると共に、第nの撮像タイミングの撮像時刻の直後には第2の撮像ウインドウが設けられる。第1～第nの撮像タイミングのうちの第iの撮像タイミング($1 \leq i < n$)と第i+1の撮像タイミングとの間には、検出素子に入射する入射放射線に応じた電荷を取り込むためのウインドウが規定されている。ウインドウは、第1及び第2の撮像ウインドウのために兼用されている。単一のパルスの持続時間は第1及び第2の撮像ウインドウの期間以下である。

40

【0014】

この距離画像センサによれば、第1～第nの撮像タイミングの各々における撮像時刻の前後にそれぞれ第1及び第2の撮像ウインドウが設けられる。故に、第1及び複数の第2の撮像ウインドウが交互に配列されて、撮像ウインドウの列を構成する。撮像ウインドウ

50

の列の最初には単独の第 1 の撮像ウインドウがあり、最後には単独の第 2 の撮像ウインドウがある。撮像ウインドウの列において、単独の第 1 の撮像ウインドウと単独の第 2 の撮像ウインドウとの間に一又は複数の撮像兼用ウインドウがある。撮像兼用ウインドウは第 1 の撮像ウインドウ及び第 2 の撮像ウインドウの両方のために設けられている。撮像ウインドウの列における n 個の撮像時刻において、第 1 ~ 第 n の要素画像信号が生成される。

【0015】

本発明に係る距離画像センサでは、単一のフレームは、第 1 及び第 2 の撮像ウインドウと、第 1 の撮像ウインドウ及び第 2 の撮像ウインドウと異なる電荷廃棄ウインドウとを含む。ピクセルは、電荷廃棄ウインドウにおいて、検出素子の電荷を廃棄する。この距離画像センサによれば、電荷廃棄ウインドウにおいて検出素子の電荷が廃棄されるので、検出素子が受ける背景ノイズを除外できる。

10

【0016】

本発明に係る距離画像センサでは、ピクセルは、検出素子の一方の側に配置された第 1 の群の第 1 ~ 第 j の転送ゲートと、検出素子の他方の側に配置された第 2 の群の第 $j + 1$ ~ 第 $n + 1$ の転送ゲートと、検出素子に接続され電荷廃棄ウインドウに導通する第 1 及び第 2 の廃棄ゲートとを含む。第 1 ~ 第 $n + 1$ の転送ゲートは、第 1 ~ 第 n の撮像タイミングのいずれかにおいて導通する。検出素子は第 1 の廃棄ゲートと第 2 の廃棄ゲートとの間に位置する。この距離画像センサのピクセルアレイは、上記の構造のピクセルのアレイを含むことができる。

【0017】

20

本発明の別の側面は、複数のピクセルを含むピクセルアレイと飛行時間を計測するための放射源とを用いて対象物に関する距離情報を含む撮像信号を飛行時間法により生成する方法である。この方法は、(a)ピクセルアレイの検出素子を用いて、互いに異なる第 1 ~ 第 n の飛行時間 ($n > 1$) で複数の撮像を行って、第 1 ~ 第 n の要素画像信号を生成するステップと、(b)第 1 ~ 第 n の要素画像信号を合成して、対象物に関する距離情報を含む画像信号を生成するステップとを備える。各ピクセルは、第 1 ~ 第 n の撮像タイミングにおける第 1 及び第 2 の撮像ウインドウにおいてそれぞれ第 1 及び第 2 の電荷を生成する。第 1 の撮像ウインドウは、基準時刻から規定された撮像時刻の直前にあり、また所定の時間幅を有している。第 2 の撮像ウインドウは、撮像時刻の直後にあり、また所定の時間幅を有している。各ピクセルは、第 1 及び第 2 の電荷の量にそれぞれ対応する第 1 及び第 2 の要素信号を提供する。第 i の要素画像信号 ($1 \leq i \leq n$) は、第 i の撮像タイミングにおける複数のピクセルの第 1 及び第 2 の要素信号を含む。

30

【0018】

この方法によれば、第 1 ~ 第 n の飛行時間 ($n > 1$) は互いに異なるので、それぞれの飛行時間は、互いに異なる測距範囲をカバーする。また、第 1 ~ 第 n の飛行時間に対応する第 1 ~ 第 n の撮像タイミングで第 1 ~ 第 n の要素画像信号を生成するので、第 1 ~ 第 n の要素画像信号の各々は、互いに異なる距離範囲の対象物の距離情報を有している。これらの第 1 ~ 第 n の要素画像信号を合成して画像信号を生成するので、広い距離範囲における対象物の距離情報を得ることができる。

【0019】

40

また、対象物の距離情報を得るために、第 1 ~ 第 n の撮像タイミングの各々では、第 1 の撮像ウインドウ及び第 2 の撮像ウインドウでピクセルの検出素子に入射する入射放射線に対応する第 1 及び第 2 の要素信号を生成しているので、複数回の飛行時間により、広い距離範囲において対象物に関する距離範囲の情報を得ている。故に、広い距離範囲における対象物の距離情報を得るために、放射パルスの幅を広げる必要がない。したがって、個々の飛行時間の測定において、距離分解能を低下されない。

【0020】

本発明に係る方法では、第 1 ~ 第 n の要素画像信号を生成するステップは、飛行時間を計測するための放射パルスを対象物に照射するステップを含む。放射パルスの照射では、時間軸に関して順に配列された第 1 ~ 第 n のフレームそれぞれにおいて対象物に照射する

50

ための第 1 ~ 第 n のパルスが出射される。第 1 ~ 第 n のパルスは、それぞれ、第 1 ~ 第 n のフレームの始点から、互いに異なるシフト量でシフトされている。第 1 ~ 第 n のフレームの各々において、基準時刻は各フレームの始点である。第 1 ~ 第 n のフレームの各々は、第 1 及び第 2 の撮像ウインドウを含む。第 1 ~ 第 n のパルスの各々の持続時間は、第 1 の撮像ウインドウの期間以下である。第 1 ~ 第 n のパルスの各々の持続時間は、第 2 の撮像ウインドウの期間以下である。

【 0 0 2 1 】

この方法によれば、第 1 ~ 第 n の飛行時間の測定には、互いに異なるシフト量でシフトされた第 1 ~ 第 n のパルスを用いる。第 1 ~ 第 n のパルスは、それぞれ、時間軸に関して順に配列された第 1 ~ 第 n のフレームにおいて対象物に照射される。第 1 ~ 第 n のパルスを、それぞれ、第 1 ~ 第 n のフレームにおいて第 1 及び第 2 の撮像ウインドウを用いて、複数回の飛行時間の測定を行うことができる。

10

【 0 0 2 2 】

本発明に係る方法では、第 1 ~ 第 n の要素画像信号を生成するステップは、飛行時間を計測するための放射パルスを対象物に照射するステップを含む。放射パルス、または、単一のフレームに単一のパルスが出射される。第 1 ~ 第 n の撮像タイミングは、単一のフレーム内に位置する。第 1 ~ 第 n の撮像タイミングは、単一のフレームの始点から、互いに異なるシフト量でシフトされている。第 1 及び第 2 の撮像ウインドウの各々は、第 1 ~ 第 n の撮像タイミングのうち隣接する撮像タイミングの間に設けられている。

20

【 0 0 2 3 】

この方法によれば、第 1 ~ 第 n の撮像タイミングの各々における撮像時刻の前後に第 1 及び第 2 の撮像ウインドウが設けられる。故に、複数の第 1 の撮像ウインドウ及び複数の第 2 の撮像ウインドウが交互に配列されて、撮像ウインドウの列を構成する。撮像ウインドウの列の最初には単独の第 1 の撮像ウインドウがあり、最後には単独の第 2 の撮像ウインドウがある。撮像ウインドウの列において、単独の第 1 の撮像ウインドウと単独の第 2 の撮像ウインドウとの間に一又は複数の撮像兼用ウインドウがある。撮像兼用ウインドウは第 1 の撮像ウインドウ及び第 2 の撮像ウインドウの両方のために設けられている。

【 発明の効果 】

【 0 0 2 4 】

本発明によれば、距離分解能を低下させることなく距離計測範囲を拡大可能な距離画像センサ、及び撮像信号を飛行時間法により生成する方法が提供される。

30

【 発明を実施するための最良の形態 】

【 0 0 2 5 】

本発明の知見は、例示として示された添付図面を参照して以下の詳細な記述を考慮することによって容易に理解できる。引き続いて、添付図面を参照しながら、本発明の距離画像センサ、及び撮像信号を飛行時間法により生成する方法に係る実施の形態を説明する。可能な場合には、同一の部分には同一の符号を付する。

【 0 0 2 6 】

図 1 は、本実施の形態に係る、飛行時間法を用いる距離画像センサを示す図面である。距離画像センサ 11 は、放射源 13 と、画像生成装置 15 と、処理装置 17 とを備える。放射源 13 は、飛行時間を計測するために対象物に照射する放射パルス L_p を発生する。放射源 13 は、例えば、半導体発光素子 13a と、この発光素子 13a の駆動回路 13b とを含み、駆動回路 13b はタイミング信号に応答して発光素子を駆動する。半導体発光素子 13a としては、発光ダイオード及びレーザダイオードが用いられる。放射源 13 は、近赤外領域、可視光等の波長範囲の放射線を用いることができる。近赤外領域、可視光等を提供する光源から、TOF 測定のための光パルスが出射される。画像生成装置 15 は、制御装置 21、ピクセルアレイ 23、及び信号生成装置 25 を有する。画像生成装置 15 の制御装置 21 は、互いに異なる第 1 ~ 第 n の飛行時間 ($n > 1$) $TOF_1 \sim TOF_n$ に対応する第 1 ~ 第 n の撮像タイミングを示す制御信号を生成する。ピクセルアレイ 23 は複数のピクセル 27 を含み、これらのピクセル 27 は、例えば行及び列に配列されてい

40

50

る。各ピクセル 27 は、入射放射線 L_R に感応して電荷を生成する検出素子を含む。この検出素子として、例えばフォトゲート等を用いることができる。信号生成装置 17 は、第 1 ~ 第 n の撮像タイミングにおける撮像にそれぞれ対応する第 1 ~ 第 n の要素画像信号 $S_{E1} \sim S_{En}$ を制御信号に応答して生成する。処理装置 17 は、第 1 ~ 第 n の要素画像信号 $S_{E1} \sim S_{En}$ を合成して、対象物に関する距離情報を含む画像信号 S_{IMAGE} を生成する。

【0027】

各ピクセル 27 の検出素子は、各撮像タイミングにおける第 1 及び第 2 の撮像ウインドウ W_{PU1} 、 W_{PU2} において該検出素子に入射する入射放射線に応じてそれぞれ第 1 及び第 2 の電荷を生成する。各ピクセル 27 は、第 1 及び第 2 の撮像ウインドウ W_{PU1} 、 W_{PU2} における第 1 及び第 2 の電荷にそれぞれ対応した第 1 及び第 2 の出力信号 $S1$ 、 $S2$ を提供する。第 1 の撮像ウインドウ W_{PU1} は、基準時刻から規定された撮像時刻 T_{PU} の直前にあり、第 2 の撮像ウインドウ W_{PU2} は、撮像時刻 T_{PU} の直後にある。故に、 n 回の撮像における第 1 及び第 2 の電荷の比率から n 回の飛行時間 (TOF) を測定できる。第 1 及び第 2 の撮像ウインドウ W_{PU1} 、 W_{PU2} は、所定の時間幅 P_{WIN} を有している。第 i の要素画像信号 ($1 \leq i \leq n$) は、第 i の撮像タイミングにおける各ピクセル 27 の第 1 及び第 2 の要素信号 $S1$ 、 $S2$ を含む。

【0028】

この距離画像センサ 11 によれば、第 1 ~ 第 n の飛行時間 $TOF1 \sim TOFn$ は互いに異なるので、それぞれの飛行時間 $TOF1 \sim TOFn$ の測定は、互いに異なる測距範囲をカバーする。また、第 1 ~ 第 n の飛行時間 $TOF1 \sim TOFn$ に対応する第 1 ~ 第 n の撮像タイミングで第 1 ~ 第 n の要素画像信号 $S_{E1} \sim S_{En}$ を生成するので、第 1 ~ 第 n の要素画像信号 $S_{E1} \sim S_{En}$ の各々は、互いに異なる距離範囲の対象物の距離情報を有している。これらの第 1 ~ 第 n の要素画像信号 $S_{E1} \sim S_{En}$ を合成して画像信号 S_{IMAGE} を生成するので、広い距離範囲における対象物の距離情報を得ることができる。

【0029】

また、対象物の距離情報を得るために、第 1 ~ 第 n の撮像タイミングの各々では、第 1 及び第 2 の撮像ウインドウ W_{PU1} 、 W_{PU2} を介してピクセル 27 の検出素子に入射する入射放射線 L_R に対応する第 1 及び第 2 の出力信号 $S1$ 、 $S2$ を生成するので、複数回の飛行時間法の測定により所望の距離範囲において対象物に関する距離範囲の情報を得ている。広い距離範囲における対象物の距離情報を得るために、放射パルス L_p の幅を広げることがないので、飛行時間 $TOF1 \sim TOFn$ の測定において、距離分解能を低下されない。

【0030】

図 1 を参照すると、距離画像センサシステム 31 が示されており、このシステム 31 は、距離画像センサ 11 及び外部装置 33 を含む。外部装置 33 は、例えば表示装置、出力デバイス等であることができる。出力デバイスは例えばインタフェース装置である。

【0031】

また、信号生成装置 25 は、各ピクセル 27 から提供された第 1 及び第 2 の要素信号 $S1$ 、 $S2$ から、第 1 ~ 第 n の要素画像信号 $S_{E1} \sim S_{En}$ を生成するための手段 25a、25b、25c を含む。第 1 ~ 第 n の要素画像信号 $S_{E1} \sim S_{En}$ は、それぞれ、第 1 ~ 第 n の撮像タイミングにおいて撮像された対象物の画像情報及び距離情報を含んでいる。第 1 ~ 第 n の撮像タイミングの各々が、所定の間隔で配置されているので、第 1 ~ 第 n の撮像タイミングを用いて所望の測距範囲の撮像を可能にしている。一方、距離分解能は、第 1 ~ 第 n の飛行時間 $TOF1 \sim TOFn$ の各々の測定において規定される。

【0032】

図 2 は、画像信号 S_{IMAGE} を表示装置 33 によって表示した画像を示している。図 2(a) を参照すると、撮像の対象物が示されている。図 2(b) を参照すると、第 1 ~ 第 n の要素画像信号 $S_{E1} \sim S_{En}$ を処理して作成された明暗画像が示される。図 2(c) を参照すると、画像信号 S_{IMAGE} を表示装置に出力された画像が表示されている。

図 2 (c) の表示では、距離画像センサ 1 1 と対象物との距離に応じて表示のトーンが変更されている。なお、実際のシステムでは、表示された画像は、距離画像センサ 1 1 と対象物との距離に応じて色分けされることができる。

【 0 0 3 3 】

図 3 は、本実施の形態における距離画像センサのためのピクセルの一構造を示す図面である。図 3 (a) を参照すると、ピクセル 2 7 の主要部を示す平面図である。図 3 (b) 及び図 3 (c) には、それぞれ、図 3 (a) に示された I - I 線及び II - II 線に沿って取られた断面を示す。ピクセル 2 7 は、シリコン基板といった半導体基板 P - s u b 上に形成されている。ピクセル 2 7 は、フォトゲート P G と、第 1 及び第 2 の転送ゲート T X ₁、T X ₂ と、第 1 及び第 2 の廃棄ゲート T X _{B C D} とを含む。フォトゲート P G は、入射放射線 L_R に感応して電荷を生成する。フォトゲート P G は、それぞれ、第 1 及び第 2 の転送ゲート T X ₁、T X ₂ を介して第 1 及び第 2 の浮遊半導体領域 F D ₁、F D ₂ に接続されている。また、フォトゲート P G は、それぞれ、第 1 及び第 2 の廃棄ゲート T X _{B C D} を介して第 1 及び第 2 の半導体領域 F D _{B C D} に接続されている。第 1 及び第 2 の半導体領域 F D _{B C D} は、電荷廃棄ライン、例えば V_{DD} に接続されている。フォトゲート P G は、第 1 及び第 2 の転送ゲート T X ₁、T X ₂ の間に設けられており、また第 1 及び第 2 の廃棄ゲート T X _{B C D} の間に設けられている。第 1 及び第 2 の浮遊半導体領域 F D ₁、F D ₂ 及び第 1 及び第 2 の半導体領域 F D _{B C D} は、例えば p 型半導体領域 p - w e l l、p - e p i に設けられた n 型半導体領域である。第 1 及び第 2 の浮遊半導体領域 F D ₁、F D ₂ は、リセットゲート R e s e t を介して第 1 及び第 2 の n 型半導体領域 F D R に接続されており、これらの半導体領域 F D R には、リセット電圧が印加されている。リセットゲート R e s e t は、薄い M I S (好ましくは M O S) 構造を有しており、リセットゲート R e s e t と p 型半導体領域 p - w e l l との間には、ゲート絶縁膜が設けられており、この薄い絶縁膜は例えば薄い S i O₂ からなる。フォトゲート P G、第 1 及び第 2 の転送ゲート T X ₁、T X ₂ 及び第 1 及び第 2 の廃棄ゲート T X _{B C D} は、厚い M I S (好ましくは M O S) 構造を有しており、フォトゲート P G、第 1 及び第 2 の転送ゲート T X ₁、T X ₂ 及び第 1 及び第 2 の廃棄ゲート T X _{B C D} と n 型半導体埋込領域 n - b u r i e d との間には、ゲート絶縁膜が設けられており、厚い絶縁膜は例えば薄い S i O₂ からなる。第 1 及び第 2 の浮遊半導体領域 F D ₁、F D ₂ 及び第 1 及び第 2 の浮遊半導体領域 F D _{B C D} は、n 型半導体埋込領域 n - b u r i e d のエッジに接触している。

【 0 0 3 4 】

ピクセル 2 7 は、第 1 及び第 2 の浮遊半導体領域 F D ₁、F D ₂ にそれぞれ接続された増幅器 A m p 1、A m p 2 を含む。増幅器 A m p 1、A m p 2 の各々は、ソースフォロアアンプを含む。例えば、増幅器 A m p 1、A m p 2 の各々は増幅用トランジスタを含み、これらのトランジスタのゲートは、それぞれ、第 1 及び第 2 の浮遊半導体領域 F D ₁、F D ₂ に接続される。増幅用トランジスタのソースは、ピクセルアレイ 2 3 のカラム線に接続される。増幅用トランジスタの導通は、選択用トランジスタによって行われる。選択用トランジスタ及び増幅用トランジスタは、電源線とカラム線との間に接続され、選択用トランジスタは増幅用トランジスタに直列に接続される。

【 0 0 3 5 】

図 4 及び図 5 を参照しながら、ピクセルの動作を説明する。代表的なフレーム F r a m e が示されている。撮像ウインドウ A の開始時刻は、フレーム F r a m e の始点から規定され所定の期間 T₀ の期間であり、また撮像ウインドウ B の開始時刻は、撮像ウインドウ A の終了点から規定され所定の期間 T₀ の期間である。フレーム F r a m e は、撮像ウインドウ A、B と異なる電荷廃棄ウインドウ C を含む。測距に先だって、ピクセルアレイの第 1 及び第 2 の浮遊半導体領域 F D ₁、F D ₂ はリセットされる。

【 0 0 3 6 】

第 1 及び第 2 の撮像ウインドウ A、B では、それぞれ、転送ゲート T X ₁、T X ₂ が導通する。第 1 の撮像ウインドウ A の幅は第 2 の撮像ウインドウ B の幅と等しい。動作の説明を容易にするために、放射パルス P_T は、第 1 の撮像ウインドウの立ち上がり同期し

10

20

30

40

50

て出射される。ピクセルアレイは、距離画像センサと対象物との距離に応じた遅延時間（ TOF ）で遅延した受信パルス P_R を受ける。フォトゲート PG は、受信パルス P_R に応答して電荷を生成する。電荷は、第 1 及び第 2 の撮像ウインドウ A 、 B においてそれぞれ第 1 及び第 2 の浮遊半導体領域 FD_1 、 FD_2 に転送される。図 5 から理解されるように、パルス P_R の遅延時間は、距離画像センサと対象物との間の光の往復時間に等しい。

【0037】

図 5 (a) に示されるように、第 1 の転送ゲート TX_1 の導通に応答して、第 1 の撮像ウインドウ A 内で生成された電荷 Q_1 が第 1 の転送ゲート TX_1 を介して第 1 の浮遊半導体領域 FD_1 に転送される。第 1 の撮像ウインドウ A 内では、図 5 (b) に示されるように、廃棄ゲート TX_{BCD} は非道通である。

10

【0038】

図 5 (c) に示されるように、第 2 の転送ゲート TX_2 の導通に応答して、第 2 の撮像ウインドウ B 内で生成された電荷 Q_2 が第 2 の転送ゲート TX_2 を介して第 2 の浮遊半導体領域 FD_2 に転送される。第 2 の撮像ウインドウ B 内では、図 5 (d) に示されるように、廃棄ゲート TX_{BCD} は非道通である。

【0039】

図 5 (e) に示されるように、廃棄ゲート TX_{BCD} の導通に応答して、電荷廃棄ウインドウ C 内で生成された電荷（背景電荷） Q_3 が廃棄ゲート TX_{BCD} を介して半導体領域 FD_{BCD} に転送される。電荷廃棄ウインドウ C 内では、図 5 (f) に示されるように、第 1 及び第 2 の転送ゲート TX_1 、 TX_2 は非道通である。

20

【0040】

図 6 は、画像生成装置の構成を示す図面である。図 4 及び図 5 を参照しながら行われたピクセル動作の制御は、図 6 の画像生成装置の各回路によって行われる。図 6 を参照すると、ピクセルアレイ 23 が示されている。ピクセルアレイ 23 の一辺には、 PG ドライバ 21a が設けられている。 PG ドライバ 21a は、各ピクセル 27 のフォトゲート PG に接続され、また各ピクセル 27 を駆動している。 PG クロック発生器 21b は、 PG ドライバ 21a に接続されており、また PG ドライバ 21a のためのタイミングクロックを生成する。 PG クロック発生器 21b は、タイミング発生器 21c に接続されており、また画像生成装置 15 の動作タイミングを規定するクロックを生成する。信号生成装置 25 が、ピクセルアレイ 23 によって生成された信号を垂直スキャナ 25d からの制御信号に応じて順に読み出す。この信号は、ピクセル 27 のソースフォロア型増幅器の負荷となる電流源 25a を用いてカラム線上の電圧信号に変換される。電圧信号は、ノイズキャンセル回路 25b によって処理されて、ノイズキャンセル回路 25b 内の記憶回路に格納される。ノイズキャンセル回路 25b における処理によって、ピクセルにリセットノイズが除去される。ノイズキャンセル回路 25b 内の記憶回路の内容は、水平スキャナ 25c からの制御信号に応答して出力駆動回路 25e に順に送られる。出力駆動回路 25e は、第 1 ~ 第 n の要素画像信号 $S_{E1} \sim S_{En}$ を提供する。処理装置 17 は、 n 個の要素画像信号 $S_{E1} \sim S_{En}$ を合成して、対象物に関する距離情報を含む画像信号 S_{IMAGE} を生成する。

30

【0041】

図 7 は、ピクセル分配特性を示す図面である。分配特性の測定は、図 7 (a) に示されるタイミングで行われる。一フレームにおいて、第 1 及び第 2 の撮像ウインドウ A 、 B のタイミングを規定する。第 1 及び第 2 の撮像ウインドウ A 、 B の幅は、例えば 100 ナノ秒 (ns) である。第 1 及び第 2 の撮像ウインドウ A 、 B によって規定される撮像時間に対して、放射パルスの出射タイミングを変化させて遅延時間を調整した。放射パルスの幅は、例えば 100 ナノ秒である。図 7 (b) を参照すると、ピクセルの出力信号の信号 V_1 、 V_2 は、遅延時間に対してほぼ線形に変化している。また、信号 $V_1 - V_2$ もほぼ線形に変化している。信号 $V_1 + V_2$ が、撮像ウインドウの期間幅においてほぼ一定であるので、遅延時間に応じた電荷の振り分けが適切に行われている。第 1 及び第 2 の撮像ウインドウ A 、 B と放射パルスとの重なり期間を除いて、出力値がゼロであるので、電荷廃棄

40

50

ゲートの動作が確認される。図 7 (b) を参照すると、信号 V 1 は、遅延時間 $T_d = -100\text{ ns}$ 、 $+100\text{ ns}$ の付近において非線形に変化しており、信号 V 2 は、遅延時間 $T_d = 0\text{ ns}$ 、 $+200\text{ ns}$ の付近において非線形に変化している。この非線形な振る舞いは、放射パルスが、理想的な矩形から変形していることに起因すると考えられる。

【 0 0 4 2 】

図 8 は、短パルスを用いたピクセル分配特性を示す図面である。分配特性の測定は、図 8 (a) に示されるタイミングで行われる。一フレームにおいて、第 1 及び第 2 の撮像ウインドウ A、B のタイミングを規定する。第 1 及び第 2 の撮像ウインドウ A、B の幅は、例えば 100 ns である。第 1 及び第 2 の撮像ウインドウ A、B によって規定される撮像時間に対して、放射パルスの出射タイミングを変化させて遅延時間を調整した。放射パルスの幅は、第 1 及び第 2 の撮像ウインドウ A、B の幅より短く、例えば 10 ns である。遅延時間は、放射パルスの立ち下がりが第 1 及び第 2 の撮像ウインドウ A、B の撮像時間に一致するときを基準にしている。図 8 (b) を参照すると、ピクセルの出力信号 V 1、V 2 は、遅延時間に対してほぼ線形に変化している。また、信号 V 1 - V 2 もほぼ線形に変化している。信号 V 1 + V 2 が、撮像ウインドウの期間幅においてほぼ一定であるので、遅延時間に応じた電荷の振り分けが行われている。第 1 及び第 2 の撮像ウインドウ A、B と放射パルスとの重なり期間を除いて、出力値がゼロであるので、電荷廃棄ゲートの動作が確認される。

【 0 0 4 3 】

図 9 は、放射パルス幅及び撮像ウインドウ幅との距離分解能との関係を示す図面である。図 9 (a) を参照すると、毎秒 30 フレームの繰り返しで行われた測距における、放射パルス強度と距離分解能との関係を示す。この測定において、放射パルス幅は、 100 ns 及び 0 ns が用いられた。図 9 (b) を参照すると、毎秒 3 フレームの繰り返しで行われた測距における、放射パルス強度と距離分解能との関係を示す。この測定において、放射パルス幅は、 100 ns 及び 10 ns が用いられた。

【 0 0 4 4 】

まず、放射パルスの強度は大きくなるにつれて、距離分解能が向上している。また、放射パルスの幅を 100 ns から 10 ns に変更すると、距離分解能が $1/10$ に小さく成っている。故に、距離分解能が放射パルス幅に比例する、故に、距離分解能は、放射源からの放射パルス幅に線形に変化すると共に、この放射パルス幅と共に小さくなる。

発明者の実験例により得られた分解能の値を示す：

測定方式、 放射パルス 100 ns 、放射パルス 10 ns
 毎秒 30 フレーム、 2.9 mm 、 2.3 mm 、(平均化処理無し)
 毎秒 3 フレーム、 9.1 mm 、 1.3 mm 、(平均化処理有り)。

【 0 0 4 5 】

(実施例 1)

図 10 は、一実施例の測距タイミングを示す図面である。図 10 (a) を参照すると、放射源 13 は、時間軸に関して順に配列された第 1 ~ 第 n のフレーム (図 10 では 5 フレーム) それぞれにおいて対象物に照射される第 1 ~ 第 n のパルス (図 10 では 5 パルス) $P_{T1} \sim P_{T5}$ の列を放射パルスとして提供する。第 1 ~ 第 n のフレームは、制御信号によって規定される。該フレームの各々において、撮像時刻 $T_{PU1} \sim T_{PU5}$ は各フレームの始点から所定の時間 T_{PD} の位置に規定される。各フレームは、撮像ウインドウ A、B を含む。パルス $P_{T1} \sim P_{T5}$ の幅は、第 1 及び第 2 の撮像ウインドウの幅より小さい。或いは、パルス $P_{T1} \sim P_{T5}$ の幅は、第 1 及び第 2 の撮像ウインドウの幅以下であってもよい。図 10 (b) は、各フレームの始点を基準にして表示する時間軸 (以下「還元された時間軸」と呼ぶ) の原点に合わせて、時間軸に関して順に配列された 5 つのフレームの始点を示す図面である。図 10 (b) を参照すると、第 1 ~ 第 n のパルス $P_{T1} \sim P_{T5}$ が、それぞれ、第 1 ~ 第 5 のフレームの始点から互いに異なるシフト量でシフトされることが理解される。

【 0 0 4 6 】

この距離画像センサによれば、第1～第nの飛行時間 $TOF_1 \sim TOF_5$ の測定には、互いに異なるシフト量でシフトされた第1～第nのパルス $P_{T_1} \sim P_{T_5}$ を用いる。第1～第nのパルス $P_{T_1} \sim P_{T_5}$ は、それぞれ、時間軸に関して順に配列された第1～第nのフレーム $Frame_1 \sim Frame_5$ において対象物に照射される。第1～第nのパルス $P_{T_1} \sim P_{T_5}$ を、それぞれ、第1～第nのフレーム $Frame_1 \sim Frame_5$ における第1及び第2の撮像ウインドウA、Bに対応づけて、複数回の飛行時間 $TOF_1 \sim TOF_5$ の測定を行うことができる。

【0047】

第1～第nのフレーム $Frame_1 \sim Frame_5$ の各々は、撮像ウインドウA、Bと異なる電荷廃棄ウインドウCを含む。ピクセル27は、電荷廃棄ウインドウCにおいて、検出素子の電荷を廃棄するので、検出素子に入射する背景ノイズを除外できる。また、電荷廃棄ウインドウCの期間は、撮像ウインドウA、Bにおいて各ピクセルによって生成された出力信号 S_1 、 S_2 を読み出すために用いられる。

【0048】

図11は、ピクセルアレイ23と放射源13とを用いて撮像信号 S_{IMAGE} を飛行時間法により生成する方法における主要な工程を示す図面である。工程S101では、ピクセルアレイ23の検出素子を用いて、互いに異なる第1～第nの飛行時間 $TOF_1 \sim TOF_n$ で第1～第nの撮像を行って、第1～第nの要素画像信号 $S_{E_1} \sim S_{E_n}$ を生成する。

工程S107では、第1～第nの要素画像信号 $S_{E_1} \sim S_{E_n}$ を合成して、対象物に関する距離情報を含む画像信号 S_{IMAGE} を生成する。

【0049】

具体的には、工程S101は以下の手順による。工程S102では、時間軸に関して順に配列された第1～第nのフレームの内の第1のフレームにおいて第1のパルスを放射して、第1のフレームにおける撮像ウインドウA、Bを用いて第1の撮像を行う。工程S103では、工程S102で得られた第1の撮像をピクセルアレイから読み出して、第1の要素画像信号 S_{E_1} を生成する。工程S104では、時間軸に関して順に配列された第2～第nのフレームの内の第iのフレームにおいて第iのパルスを放射して、第iのフレームにおける撮像ウインドウA、Bを用いて第iの撮像を行う。工程S105では、工程S104で得られた第iの撮像をピクセルアレイから読み出して、第iの要素画像信号 S_{E_i} を生成する。工程S106では、第iの撮像及び第iの要素画像信号 S_{E_i} の生成を繰り返す。

【0050】

上記のように、第1～第nの飛行時間 $TOF_1 \sim TOF_n$ の測定には、互いに異なるシフト量でシフトされた第1～第nのパルスを用いる。これらのパルスは、それぞれ、時間軸に関して順に配列された第1～第nのフレームにおいて対象物に照射される。第1～第nのパルスを、それぞれ、第1～第nのフレームにおける第1及び第2の撮像ウインドウに対応づけて、複数回の飛行時間 $TOF_1 \sim TOF_n$ の測定を行うことができる。

【0051】

この方法によれば、第1～第nの飛行時間 $TOF_1 \sim TOF_n$ は互いに異なるので、それぞれの飛行時間は、互いに異なる測距範囲をカバーする。また、飛行時間 $TOF_1 \sim TOF_n$ に対応するn個の撮像タイミングでそれぞれ要素画像信号 $S_{E_1} \sim S_{E_n}$ を生成するので、要素画像信号 $S_{E_1} \sim S_{E_n}$ の各々は、互いに異なる距離範囲の対象物の距離情報を有する。これらの要素画像信号 $S_{E_1} \sim S_{E_n}$ を合成して画像信号 S_{IMAGE} を生成するので、広い距離範囲にわたる対象物の距離情報を得ることができる。また、対象物の距離情報を得るために、撮像タイミングの各々では、撮像ウインドウA、Bでピクセルの検出素子に入射する入射放射線に対応する第1及び第2の信号 S_1 、 S_2 を生成すると共に、複数回の飛行時間の測定により、所望の距離範囲において対象物に関する距離範囲の情報を得ている。故に、広い距離範囲における対象物の距離情報を得るために、放射パルスの幅を広げる必要がない。したがって、個々の飛行時間の測定において、距離分解能

10

20

30

40

50

が低下しない。

【0052】

(実施例2)

実施例2の距離画像センサでは、放射源13は、単一のフレームFrame0に単一のパルス P_{T0} を放射パルスとして提供する。図12(a)は、単一のフレームを用いるタイミングを示す。このフレームは、制御信号によって規定される。第1～第nのフレーム第1～第nの撮像タイミング(この例では、 T_{PU1} 、 T_{PU2} 、 T_{PU3})は、単一のフレームFrame0内に位置する。撮像タイミングの撮像時刻 T_{PU1} 、 T_{PU2} 、 T_{PU3} は、互いに異なるシフト量で単一のフレームFrame0の始点からシフトされている。n個の撮像タイミングのうちの第iの撮像タイミング($1 \leq i \leq n-1$)と第i+1の撮像タイミングとの間に、検出素子に入射する入射放射線に応じた電荷を浮遊半導体領域に取り込むためのウインドウが規定される。撮像時刻 T_{PU1} 、 T_{PU2} 、 T_{PU3} の各々の直前には撮像ウインドウAが設けられ、この撮像時刻の直後には撮像ウインドウBが設けられるので、撮像ウインドウ間のウインドウは撮像ウインドウA、Bとして兼用される。

10

【0053】

この距離画像センサによれば、撮像ウインドウA、Bが交互に配列されて、撮像ウインドウの列を構成する。撮像ウインドウの列の最初には単独の撮像ウインドウAがあり、最後には単独の撮像ウインドウBがある。撮像ウインドウの列において、単独の第1の撮像ウインドウと単独の第2の撮像ウインドウとの間に一又は複数の撮像兼用ウインドウがある。撮像兼用ウインドウは第1の撮像ウインドウ及び第2の撮像ウインドウの両方のために設けられている。故に、第1～第nの撮像タイミングの各々における撮像時刻の前後にそれぞれ第1及び第2の撮像ウインドウが設けられる。撮像ウインドウの列における複数の撮像時刻において、それぞれ、複数の要素画像信号が生成される。

20

【0054】

一例では、単一のパルス P_{T0} の持続時間は、第1の撮像ウインドウAの期間と等しく、単一のパルス P_{T0} の持続時間は、第2の撮像ウインドウBの期間と等しい。単一のパルス P_{T0} の持続時間は、フレームFrame0の始点から規定される。単一のパルス P_{T0} の終了時点から所定の数のウインドウの列が規定される。ウインドウ列内のウインドウは、互いに異なる転送ゲート TX_i の導通によって規定される。単一のフレームFrame0は、ウインドウの列の期間と異なる電荷廃棄ウインドウを含む。ピクセル27は、この電荷廃棄ウインドウにおいて、検出素子の電荷を廃棄する。これによって、検出素子が受ける背景ノイズを除外できる。

30

【0055】

図13は、本実施例に適用可能なピクセルの構造の平面図を示す図面である。図13のピクセルを図3(a)のピクセルと比較すると、転送ゲートの構造を除いて、図13のピクセルの構造は図3(a)のピクセル構造と同じである。図13のピクセルは、フォトゲートPGの一方の側に配置された第1の群の第1～第jの転送ゲート(図13では TX_1 、 TX_3)と、フォトゲートPGの他方の側に配置された第2の群の第j+1～第n+1の転送ゲート(図13では TX_2 、 TX_4)を含む。第1～第n+1の転送ゲート(図13では $TX_1 \sim TX_4$)は、第1～第nの撮像タイミングのいずれかにおいて導通する。第1～第n+1の転送ゲート(図13では $TX_1 \sim TX_4$)は、それぞれ、第1～第n+1の浮遊半導体領域(図13では $FD_1 \sim FD_4$)に接続されている。なお、フォトゲートPGは廃棄ゲート TX_{BCD} の間に位置する。

40

【0056】

図12(b)は、パルスの遅延に応じて、選択ゲート $TX_1 \sim TX_4$ に生成される信号を示す。遅延時間の基準は、放射パルスの立ち上がり時刻に規定される。選択ゲート $TX_1 \sim TX_4$ は、飛行時間によって遅延したパルスを取り込んで、図12(b)に示される信号 V_{TX1} 、 V_{TX2} 、 V_{TX3} 、 V_{TX4} を生成する。図12(b)は、遅延時間に応じて転送ゲート $TX_1 \sim TX_4$ が、互いに異なる信号を生成することを示している。図

50

12 (b) は、図 7 (b) 及び図 8 (b) に対応する特性を示す。3 個以上の撮像ウィンドウの列の使用によって、単一のパルス T_{P0} を用いるけれども、複数回の飛行時間の測定を行うことができる。撮像期間においては、転送ゲート $T_{X1} \sim T_{X4}$ のいずれかが導通している。

【0057】

図 14 は、ピクセルアレイ 23 と放射源 13 とを用いて撮像信号 S_{IMAGE} を飛行時間法により生成する方法における主要な工程を示す図面である。工程 S201 では、ピクセルアレイ 23 の検出素子を用いて、互いに異なる飛行時間 $TOF1 \sim TOFn$ で n 回の撮像を行って、要素画像信号 $S_{E1} \sim S_{En}$ を生成する。工程 S208 では、要素画像信号 $S_{E1} \sim S_{En}$ を合成して、画像信号 S_{IMAGE} を生成する。

10

【0058】

具体的には、工程 S201 は以下の手順による。工程 S202 では、飛行時間を計測するための放射パルスを対象物に照射する。工程 S203 では、複数のウィンドウ列内の第 1 の撮像ウィンドウにおいて第 1 の撮像を行う。工程 S204 では、工程 S203 で得られた第 1 の撮像をピクセルアレイから読み出して、第 1 の要素画像信号 S_{E1} を生成する。工程 S205 では、第 $i-1$ のウィンドウの直後の第 i の撮像ウィンドウにおいて第 i の撮像を行う。工程 S206 では、工程 S205 で得られた第 i の撮像をピクセルアレイから読み出して、第 i の要素画像信号 S_{Ei} を生成する。工程 S207 では、第 i の撮像及び第 i の要素画像信号 S_{Ei} の生成を繰り返す。

20

【0059】

上記のように、単一の放射パルス及び 3 個以上の撮像ウィンドウを用いて複数回の撮像を行う。この方法によれば、飛行時間 $TOF1 \sim TOFn$ は互いに異なるので、それぞれの飛行時間は、互いに異なる測距範囲をカバーする。また、飛行時間 $TOF1 \sim TOFn$ に対応する n 個の撮像タイミングで要素画像信号 $S_{E1} \sim S_{En}$ を生成するので、これらの要素画像信号 $S_{E1} \sim S_{En}$ の各々は、互いに異なる距離範囲の対象物の距離情報を有する。これらの要素画像信号 $S_{E1} \sim S_{En}$ を合成して画像信号 S_{IMAGE} を生成するので、広い距離範囲における対象物の距離情報を得ることができる。また、対象物の距離情報を得るために、第 1 ～ 第 n の撮像タイミングの各々では、撮像ウィンドウ A 及び撮像ウィンドウ B でピクセルの検出素子に入射する入射放射線に対応する第 1 及び第 2 の出力信号 $S1, S2$ を生成するので、複数回の飛行時間の測定により、所望の範囲の対象物に関する距離範囲の情報を得ている。故に、広い距離範囲における対象物の距離情報を得るために、放射パルスの幅を広げる必要がない。したがって、個々の飛行時間の測定において、距離分解能を低下されない。

30

【0060】

引き続き、いくつかの測定装置の例を説明する。

(例 1) : レンジシフトタイミング

図 15 を参照しながら、距離画像センサの一例を説明する。この距離画像センサでは、時間軸に沿ってフレーム $Frame1 \sim Frame4$ が配置されている。フレーム $Frame1 \sim Frame4$ の各々には、撮像ウィンドウ A、B が設けられている。図 15 (a) を参照すると、撮像ウィンドウ A、B の幅は 100 ナノ秒であり、撮像ウィンドウ A はフレームの始点に合わせて配置されており、撮像ウィンドウ B は撮像ウィンドウ A の直後に配置される。フレーム $Frame1 \sim Frame4$ には、それぞれ、パルス $P_{T1} \sim P_{T4}$ が設けられている。飛行時間のためのパルス P_T の幅は 25 ナノ秒である。パルス P_{T1} はフレーム $Frame1$ の始点から 75 ナノ秒のシフト量でシフトされ、パルス P_{T2} はフレーム $Frame2$ の始点から 50 ナノ秒のシフト量でシフトされ、パルス P_{T3} はフレーム $Frame3$ の始点から 25 ナノ秒のシフト量でシフトされ、パルス P_{T4} はフレーム $Frame4$ の始点に設けられている。

40

【0061】

25 ナノ秒幅のパルス P_T を用いるとき、計測範囲は 3.75 メートルである。フレーム $Frame1$ を用いてセンサから 3.75 メートルの範囲を測定可能であり、フレーム

50

Frame 2を用いて3.75メートルから7.5メートルの範囲を測定可能であり、フレームFrame 3を用いて7.5メートルから11.25メートルの範囲を測定可能であり、フレームFrame 4を用いて11.25メートルから15メートルの範囲を測定可能である。4パルスを用いた測定範囲は15メートルであり、これは、パルス幅100ナノ秒を用いた測定範囲と同じである。一方、本距離画像センサによれば、パルス幅を短くできるので、パルス幅100ナノ秒を用いた測距に比べて、距離分解能は改善される。

【0062】

発明者は、図15(b)に示されるように、測距における分解能を見積もった。パルス P_T の幅は100ナノ秒(比較例)であると共に背景光に応答してフォトゲートが生成する電子(N_B)は 10^4 、 10^5 であるとき、それぞれ、距離分解能 σ_L は0.040メートル、0.045メートルである。一方、本実施例では、パルス P_T の幅は25ナノ秒であると共に背景光に応答してフォトゲートが生成する電子(N_B)は 10^4 、 10^5 であるとき、それぞれ、距離分解能 σ_L は0.010メートル、0.011メートルであった。パルス幅を短くすることによって、距離分解能を小さくできる。

【0063】

(例2): デューティ比

図16を参照しながら、距離画像センサの一例を説明する。この距離画像センサでは、時間軸に沿ってフレームFrame 1~Frame 4が配置されている。フレームFrame 1~Frame 4の各々には、撮像ウインドウA、Bが設けられている。撮像ウインドウA、Bの幅は25ナノ秒であり、撮像ウインドウAはフレームの始点から75ナノ秒でシフトされた時刻に合わせて配置されており、撮像ウインドウBは撮像ウインドウAの直後に配置されている。フレームFrame 1~Frame 4には、それぞれ、例1と同様に、パルス P_{T1} ~ P_{T4} が設けられている。

【0064】

フレームの幅に対する撮像ウインドウの幅の比率(デューティ比)を小さくして、TOF測定期間における背景光のノイズの影響を低減できる。この低減によって距離分解能を改善できる。例2では、撮像ウインドウの幅が、例1における値に比べて1/4の25ナノ秒であるので、撮像ウインドウにおいて不可避免的に取り込まれる背景光を少なくなる。

【0065】

発明者は、図16(b)に示されるように、測距における分解能を見積もった。読み出し回路のランダムノイズによる電子数(N_R)及び背景光に応答してフォトゲートによって生成される電子(N_B)がそれぞれ100、 10^5 であり、また光源のパルスのデューティ比が0.1であるとき、100ナノ秒(比較例)のパルス P_T の距離画像センサの距離分解能を見積もった。距離分解能 σ_L は15メートルの測距範囲に対して、約4.5センチメートル以下であった。

【0066】

また、読み出し回路のランダムノイズによる電子数(N_R)及び背景光に応答してフォトゲートによって生成される電子(N_B)がそれぞれ100、 10^5 であるとき、25ナノ秒のパルス P_T の距離画像センサの距離分解能を見積もった。光源パルスのデューティ比が0.1、0.025であるとき、距離分解能 σ_L は、それぞれ、15メートルの測距範囲に対して、約1.1センチメートル以下、1センチメートル以下であった。光源パルスのデューティ比を小さくすることによって、距離分解能を小さくできる。

【0067】

(例3): 線形応答領域

図17を参照しながら、距離画像センサの一例を説明する。この距離画像センサでは、時間軸に沿ってフレームFrame 1~Frame 7が配置されている。フレームFrame 1~Frame 7の各々には、撮像ウインドウA、Bが設けられている。撮像ウインドウA、Bの幅は100ナノ秒であり、撮像ウインドウAはフレームの始点に合わせて配置されており、撮像ウインドウBは撮像ウインドウAの直後に配置されている。フレームFrame 1~Frame 7には、例1と同様に、パルス P_{T1} ~ P_{T7} が設けられている

。撮像ウインドウ A、B の幅は 100 ナノ秒であり、飛行時間のためのパルス $P_{T1} \sim P_{T7}$ の幅は 25 ナノ秒である。

【0068】

図 17 (b) に示されるように、遅れ時間がゼロ秒と 10 ナノ秒の付近で、ピクセルからの信号が遅れ時間に対する線形な変化から外れている、この非線形性は距離精度を低下させている。遅れ時間の線形応答領域を測距に用いることによって、距離精度を所定の値に維持することができる。パルス $P_{T1} \sim P_{T7}$ の幅とシフト量を調整して、パルス $P_{T1} \sim P_{T7}$ の各々における線形領域を利用して、遅延時間と距離との関係から距離の決定を行うことができる。

【0069】

フレーム Frame 1 では、パルス P_{T1} は撮像ウインドウ A 及び撮像ウインドウ B の切り替わり時刻を横切って設けられている。この時刻を基準にして、パルス P_{T2} の立ち下がりには +3 ナノ秒でシフトしている。フレーム Frame 2 では、パルス P_{T2} のシフト量は、パルス P_{T1} のシフト量に対して -4 ナノ秒でシフトされている。フレーム Frame 3 は、パルス P_{T3} のシフト量は、パルス P_{T2} のシフト量に対して -4 ナノ秒でシフトされている。同様に、パルス $P_{T4} \sim P_{T7}$ も、それぞれ、隣接フレーム内のパルス $P_{T3} \sim P_{T6}$ のシフト量を基準にして所定の調整量 (-4 ナノ秒) でシフトされている。故に、あるフレーム内の放射パルスのシフト量と隣接フレーム内の放射パルスのシフト量との差は、該放射パルス幅未満である。

【0070】

この距離画像センサによれば、線形応答領域を用いるので、飛行時間の測定の全範囲において、距離精度を確保できる。

【0071】

好適な実施の形態において本発明の原理を図示し説明してきたが、本発明は、そのような原理から逸脱することなく配置および詳細において変更され得ることは、当業者によって認識される。本発明は、本実施の形態に開示された特定の構成に限定されるものではない。したがって、特許請求の範囲およびその精神の範囲から来る全ての修正および変更権利を請求する。

【産業上の利用可能性】

【0072】

以上説明したように、本実施の形態は、レンジシフト動作に基づく TOF 距離画像センサ及び方法に関しており、以下のように構成される。デューティ比の小さい、すなわち、短時間のパルス光を用い、検出する撮像ウインドウの期間以外の期間では電荷を蓄積せずに生成電荷を排出する。この構造に基づき、光パルスの発光タイミングと撮像ウインドウとの関係を相対的にずらして複数回の撮像を行って、複数の要素画像信号を生成する。これらの要素画像信号を合成することによって、所望の距離分解能を保つと共に、距離計測の範囲を広げることができる。また、本実施の形態に係る方法と装置によれば、電荷排出構造をもつ距離画像センサでは、短時間光パルスの発光タイミングを、撮像のための撮像ウインドウに対して、相対的にずらして撮像を行う。これらの画像を合成すると共に、これらの画像により距離を計測する。これによって、高い距離分解能をもちながら、距離計測範囲を広くできる。さらに、本実施の形態に係る距離画像センサ及び方法によれば、複数の撮像タイミングの各々において規定された撮像ウインドウを用いて、撮像タイミング毎の信号をピクセルから取り出す。これによって、1 フレーム内の信号として、異なる値でレンジシフトされた複数の要素画像信号を取り出す。さらに、本実施の形態に係る距離画像センサ及び方法によれば、小さいパルス幅の測距パルスと使用するとき、1 つの測距パルスでは線形に検出される範囲が狭くなる。これによる距離精度の低下を避けるために、互いのシフト量が異なるようにシフトした複数の測距パルスを用いると共に、測距範囲を互いに重ね合わせるように配列された測距パルスを用いて距離の計測を行う。これは、パルス毎を用いる測距に異なる測距範囲を割り付けると共に、測距パルスのシフト量差が測距パルスのパルス幅未満になるようにパルスを配列する。これによって、広い計測範囲

10

20

30

40

50

で線形の計測を行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【0073】

【図1】図1は本実施の形態に係る飛行時間法による距離画像センサを示す図面である。

【図2】図2は、画像信号 S_{IMAGE} を表示装置によって表示した画像を示す図面である。

【図3】図3は本実施の形態における距離画像センサのピクセル構造を示す図面である。

【図4】図4は、ピクセルの動作タイミングを示す図面である。

【図5】図5は、ピクセルの動作を概略的に示す図面である。

【図6】図6は、画像生成装置の構成を示す図面である。

10

【図7】図7は、ピクセル分配特性を示す図面である。

【図8】図8は、短パルスを用いたピクセル分配特性を示す図面である。

【図9】図9は放射パルス幅及び撮像ウィンドウ幅と距離分解能との関係の図面である。

【図10】図10は、一実施例の測距タイミングを示す図面である。

【図11】図11は、ピクセルアレイと放射源とを用いて対象物に関する距離情報を含む撮像信号を飛行時間法により生成する方法の主要な工程を示す図面である。

【図12】図12は、単一のフレームを用いる測距タイミング、及びパルスの遅延に応じて選択ゲート $TX_1 \sim TX_4$ の各々に生成される信号波形を示す図面である。

【図13】図13は、本実施例に適用可能なピクセルの構造の平面図を示す図面である。

【図14】図14は、複数のピクセルを含むピクセルアレイと飛行時間を計測するための放射源とを用いて対象物に関する距離情報を含む撮像信号を飛行時間法により生成する方法における主要な工程を示す図面である。

20

【図15】図15は、距離画像センサの一例におけるタイミングを示す図面である。

【図16】図16は、距離画像センサの一例におけるタイミングを示す図面である。

【図17】図17は、距離画像センサの一例におけるタイミングを示す図面である。

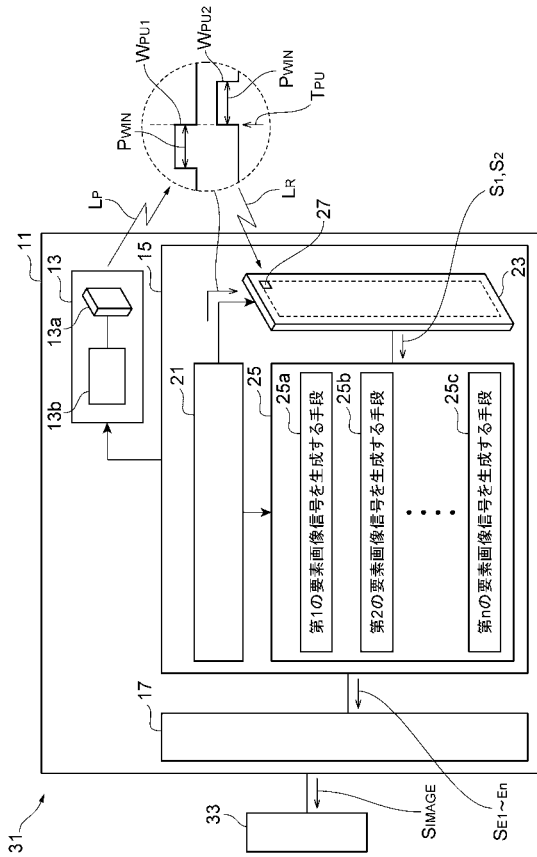
【符号の説明】

【0074】

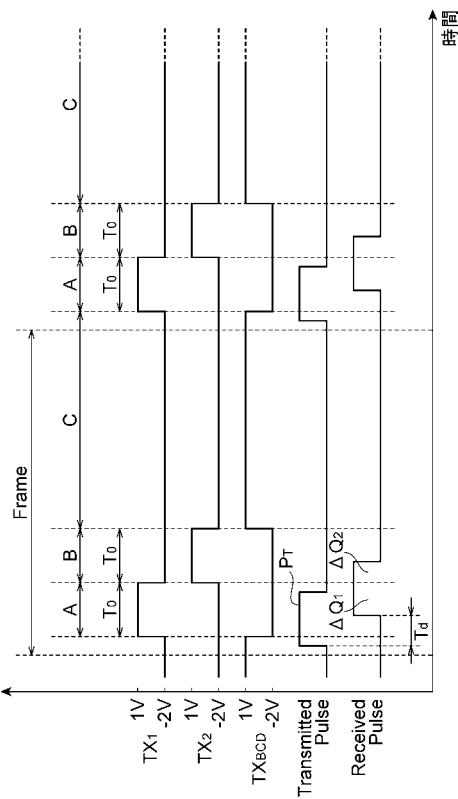
11 ... 距離画像センサ、13 ... 放射源、15 ... 画像生成装置、17 ... 処理装置、13a ... 半導体発光素子、13b ... 駆動回路、21 ... 制御装置、23 ... ピクセルアレイ、25 ... 信号生成装置、27 ... ピクセル、 $S_{E1} \sim S_{En}$... 要素画像信号、 S_{IMAGE} ... 画像信号、 W_{PU1} 、 W_{PU2} ... 第1及び第2の撮像ウィンドウ、

30

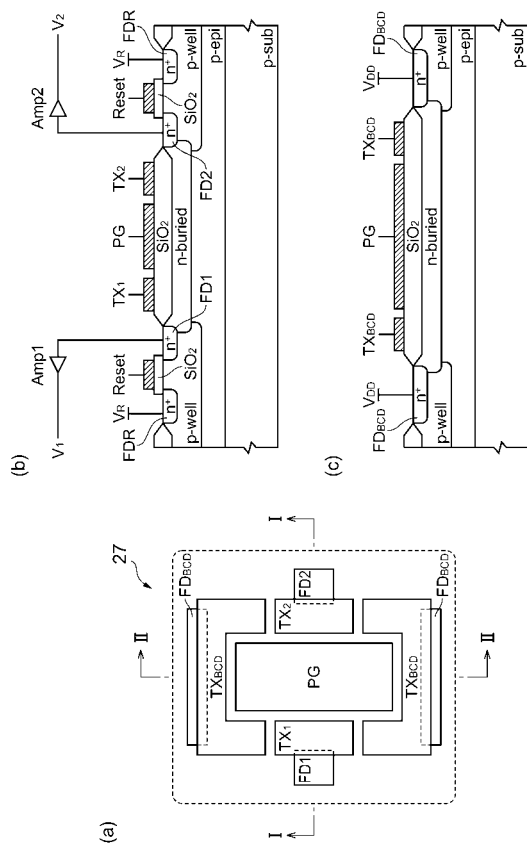
【図 1】



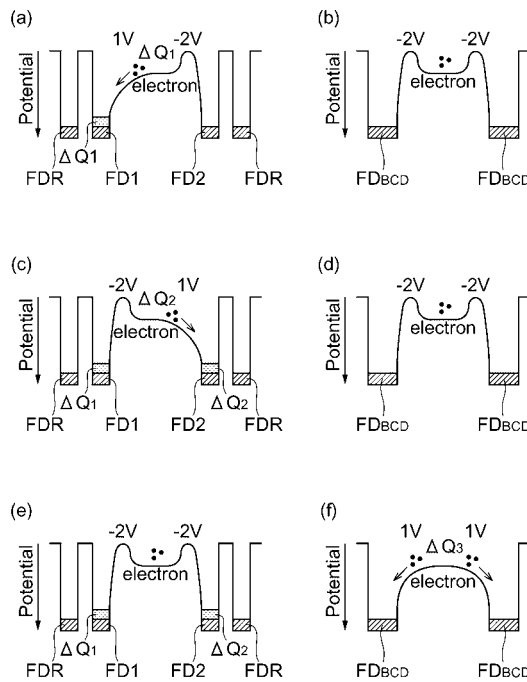
【図 4】



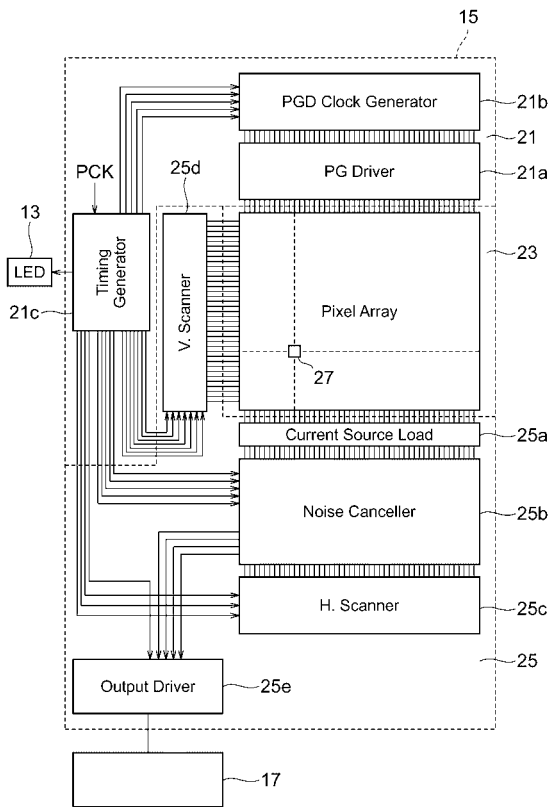
【図 3】



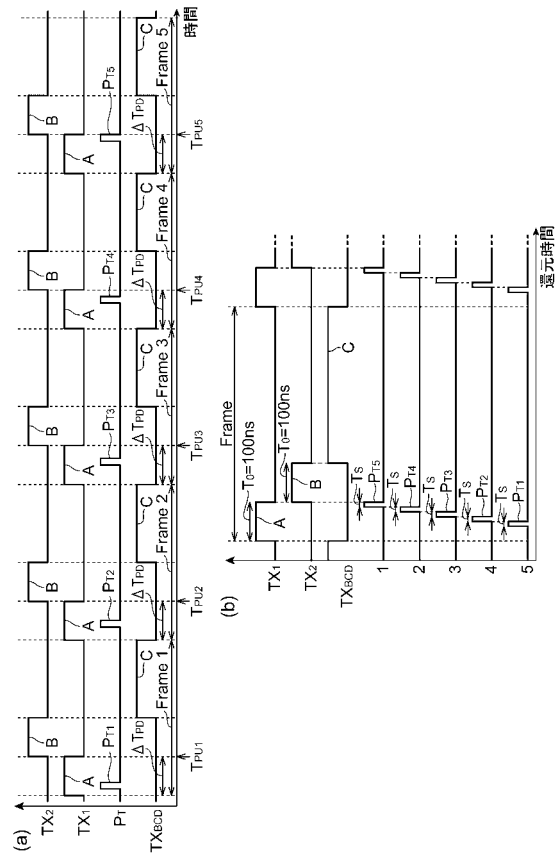
【図 5】



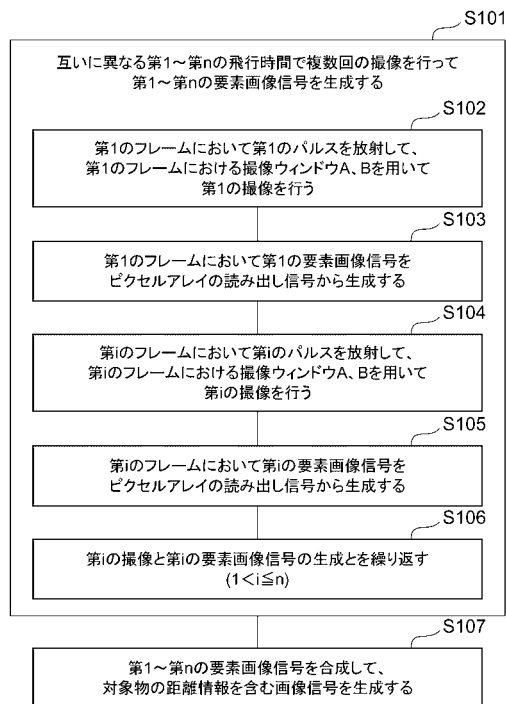
【図 6】



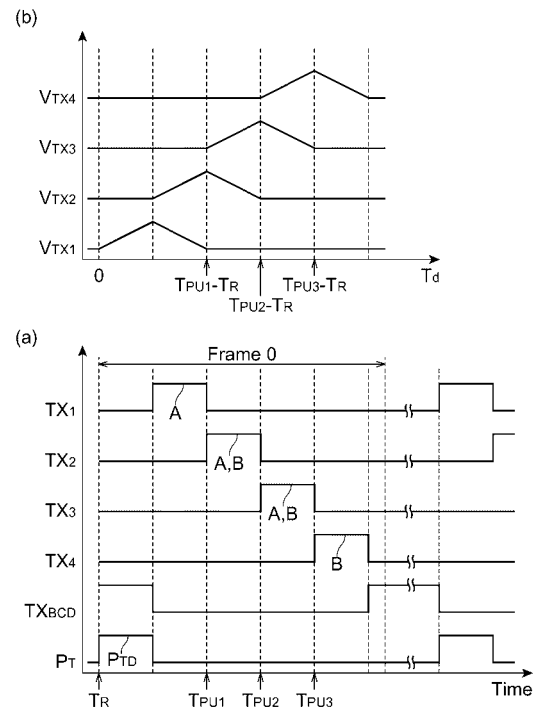
【図 10】



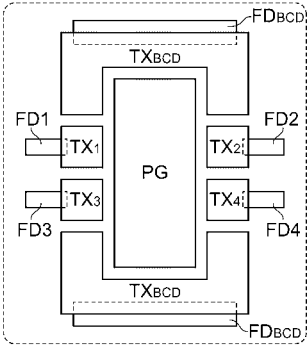
【図 11】



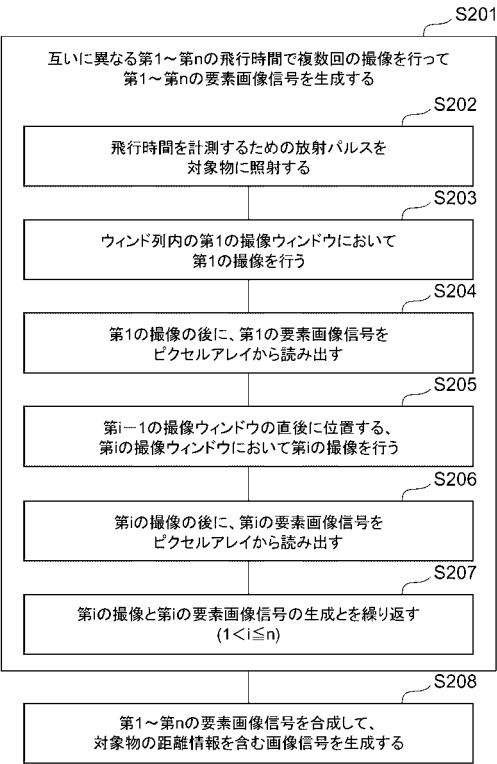
【図 12】



【 図 1 3 】

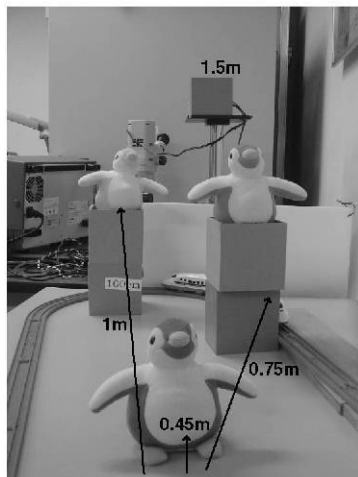


【 図 1 4 】

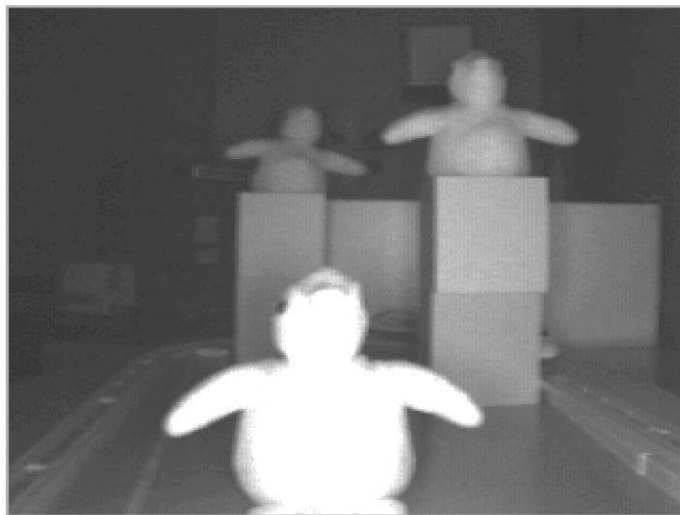


【図 2】

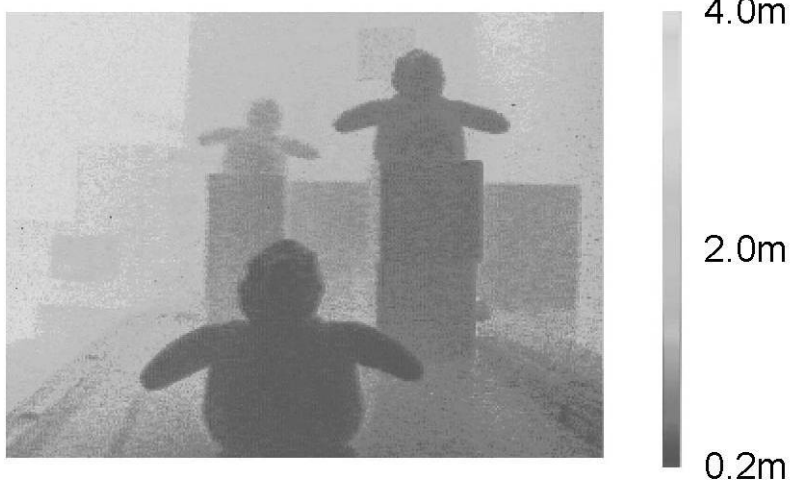
(a)



(b)

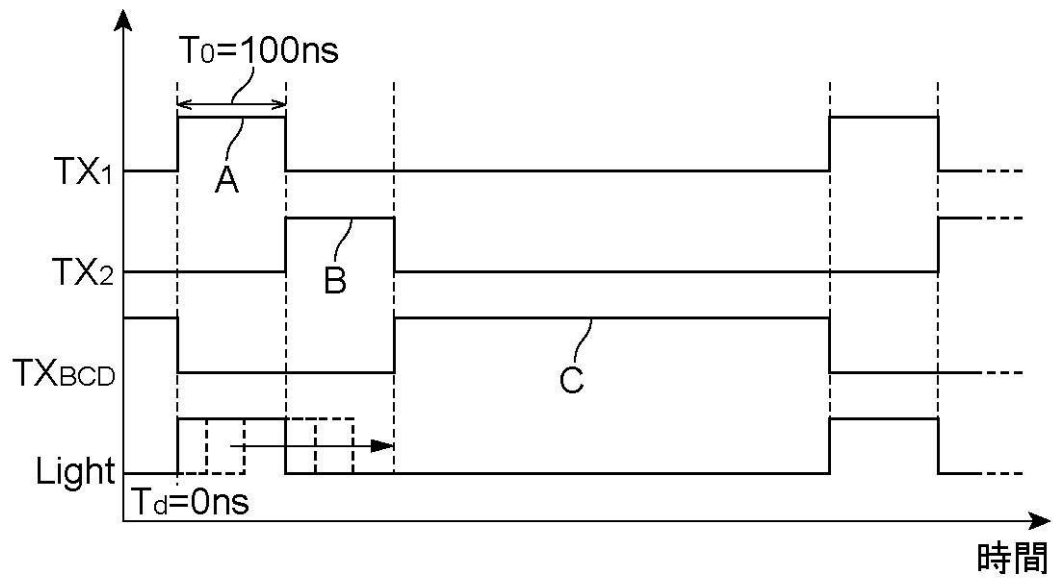


(c)

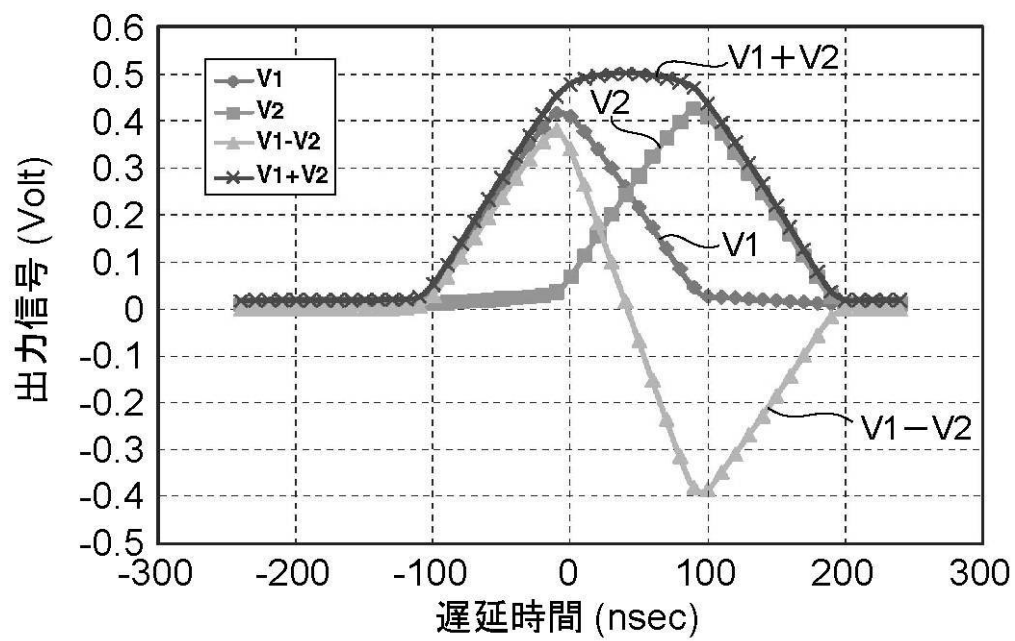


【図7】

(a)

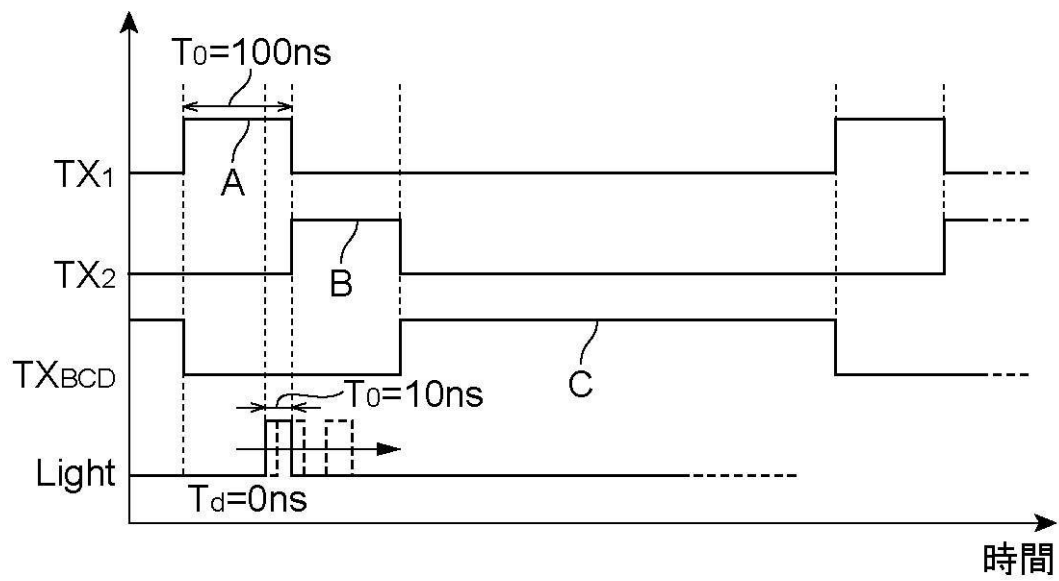


(b)

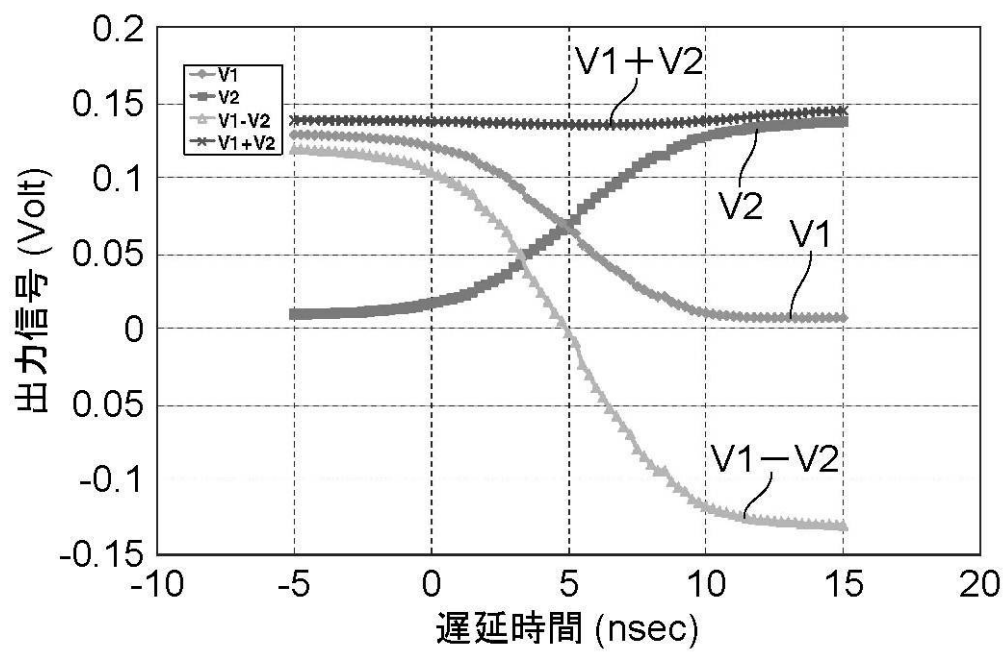


【 図 8 】

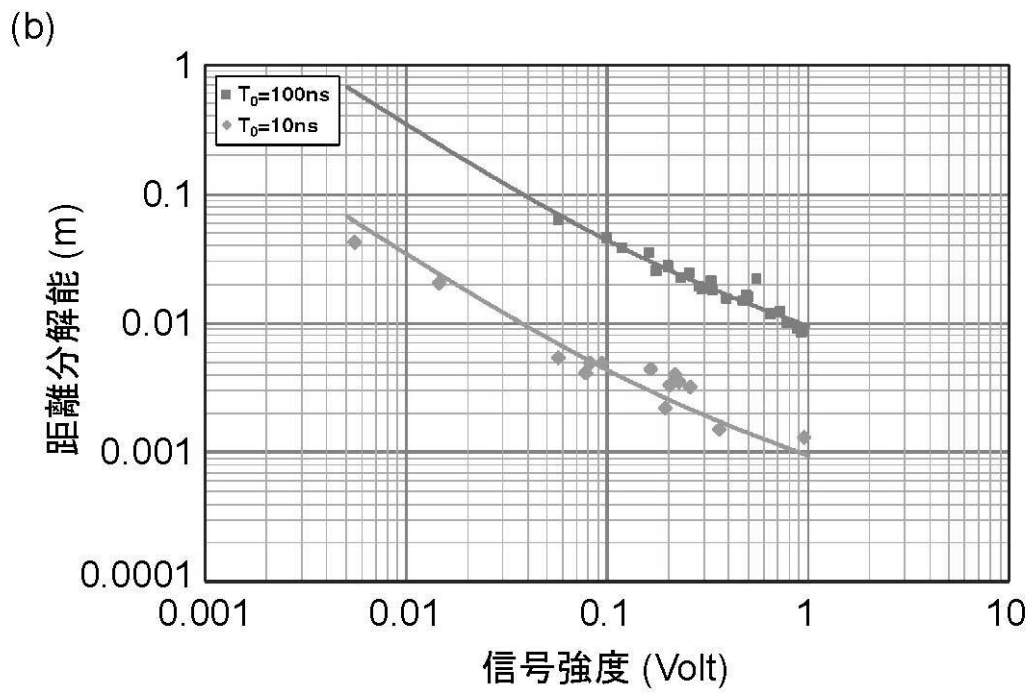
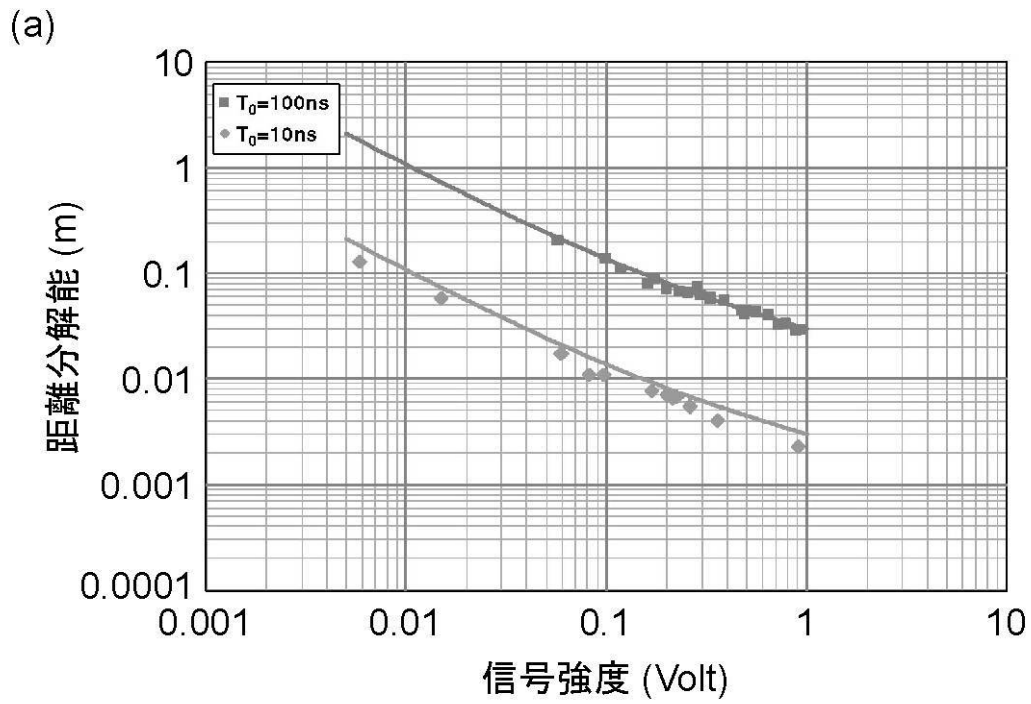
(a)



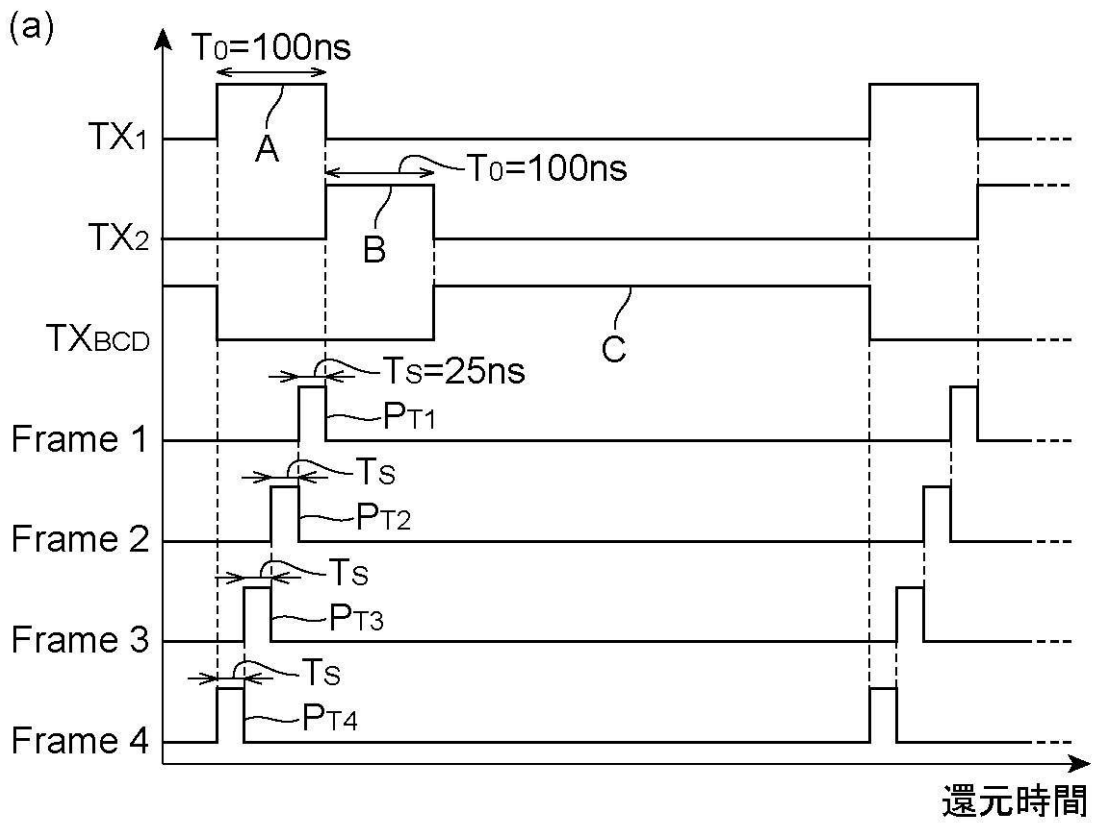
(b)



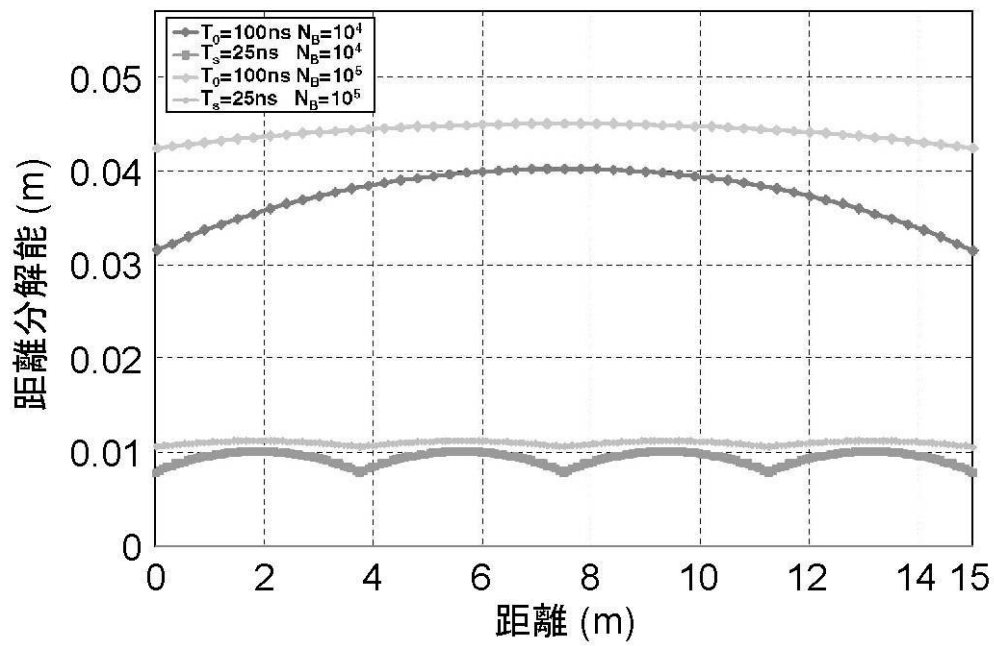
【図 9】



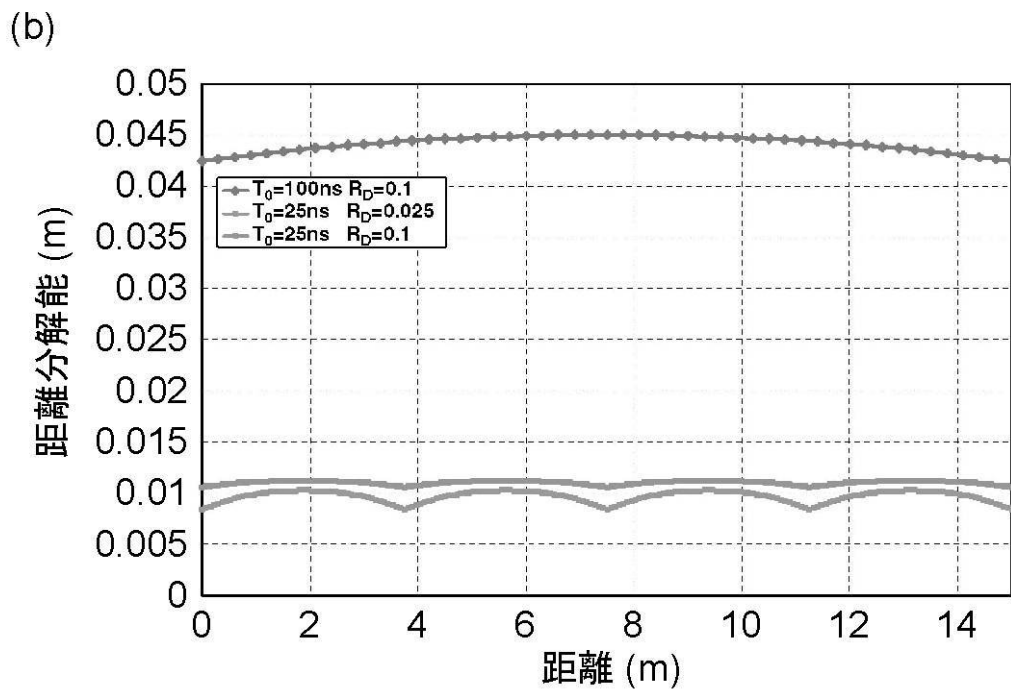
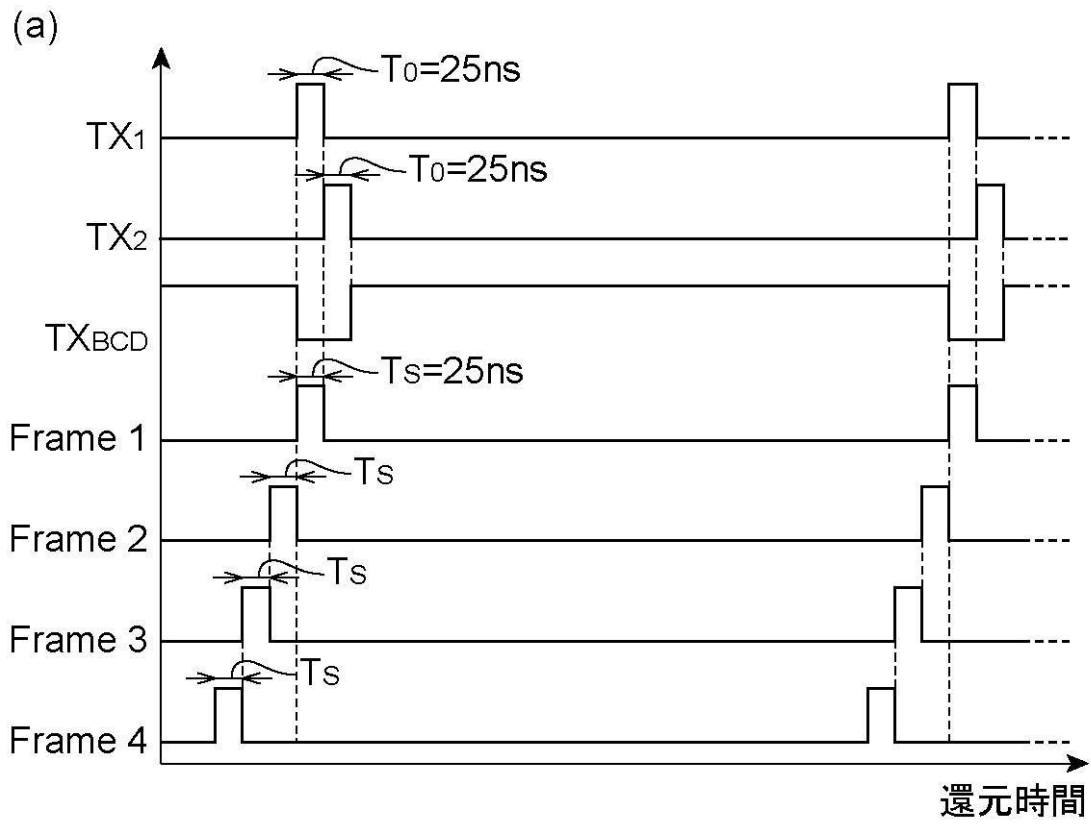
【図 15】



(b)

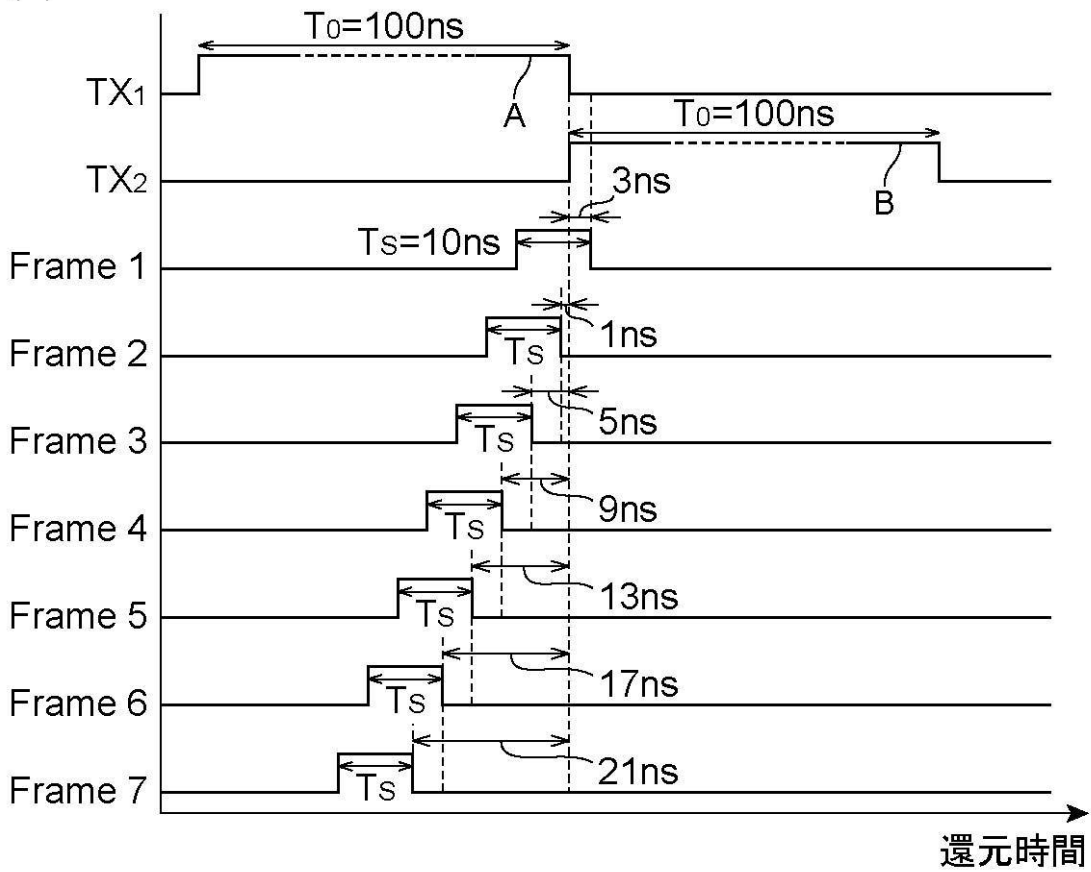


【図 16】

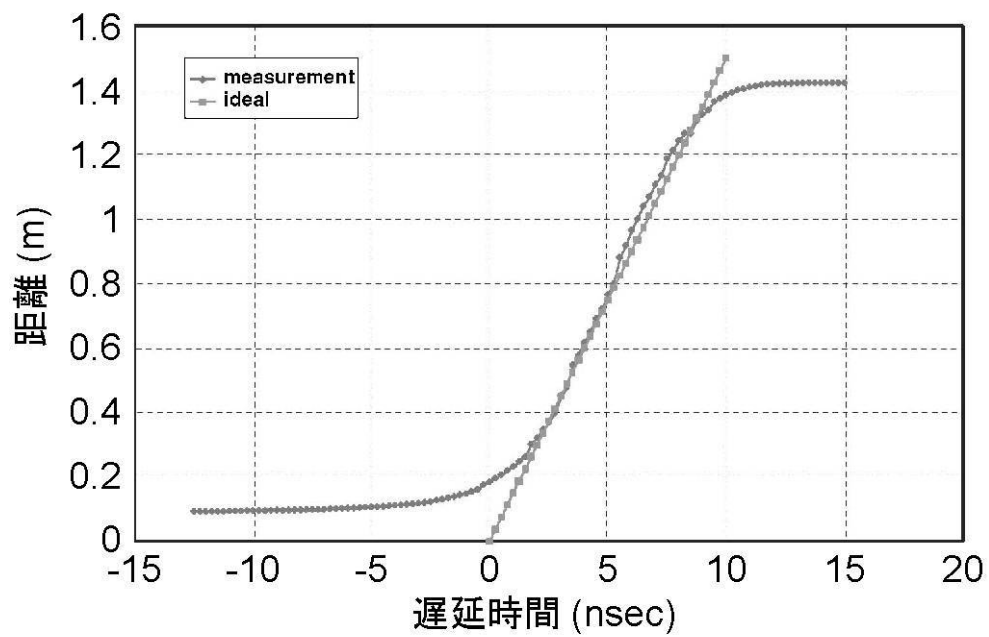


【図 17】

(a)



(b)



フロントページの続き

F ターム(参考) 5J084 AA05 AD01 BA04 BA40 CA03 CA19 DA01 DA08 DA09 EA04
EA07