(12) 特許協力条約に基づいて公開された国際出願

(19) 世界知的所有権機関
国際事務局

(43) 国際公開日
2018年11月1日(01.11.2018)

WIPO | PCT

(10) 国際公開番号
WO 2018/198729 A1

(51) 国際特許分類:
G01S 7/481 (2006.01) *G01S 17/89* (2006.01)
G01C 3/06 (2006.01)

(21) 国際出願番号： PCT/JP2018/014813

(22) 国際出願日： 2018年4月6日(06.04.2018)

(25) 国際出願の言語： 日本語

(26) 国際公開の言語： 日本語

(30) 優先権データ：
特願 2017-090480 2017年4月28日(28.04.2017) JP

(71) 出願人:シャープ株式会社(**SHARP KABUSHIKI KAISHA**) [JP/JP]; 〒5908522 大阪府堺市堺区匠町１番地 Osaka (JP).

(72) 発明者:井口 勝次(**IGUCHI, Katsuji**).

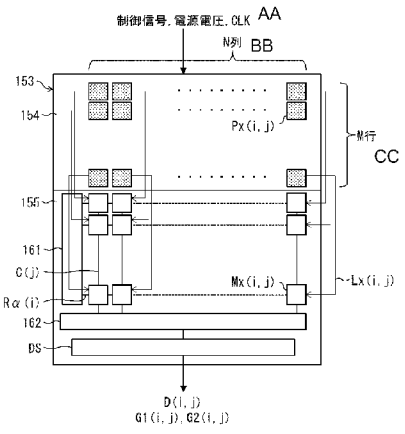
(74) 代理人:特許業務法人ＨＡＲＡＫＥＮＺＯ ＷＯＲＬＤ ＰＡＴＥＮＴ ＆ ＴＲＡＤＥＭＡＲＫ (**HARAKENZO WORLD PATENT & TRADEMARK**); 〒5300041 大阪府大阪市北区天神橋２丁目北２番６号 大和南森町ビル Osaka (JP).

(81) 指定国(表示のない限り、全ての種類の国内保護が可能): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY,

(54) **Title:** THREE-DIMENSIONAL IMAGE ELEMENT AND OPTICAL RADAR DEVICE

(54) 発明の名称： ３次元画像素子および光レーダー装置

図 3



DS:信号処理回路
153:３次元画像素子
154:受光部
155:信号記憶処理部
161:行選択回路
162:列選択回路
C(j):列信号線
D(i, j):距離情報
G1(i, j), G2(i, j):２次元イメージ情報
Lx(i, j):信号線
Mx(i, j):画素記憶素子
Px(i, j):画素
Rα(i):行選択信号線

153 Three-dimensional image element
154 Light-receiving unit
155 Signal storage processing unit
161 Row selection circuit
162 Column selection circuit
C(j) Column signal line
D(i, j) Distance information
DS Signal processing circuit
G1(I, j), G2(I, j) Two-dimensional image information
Lx(I, j) Signal line
Mx(I, j) Pixel storage element
Px(I, j) Pixel
Rα(i) Row selection signal line
AA Control signal, power source voltage, CLK
BB Columns
CC Rows

(57) **Abstract:** [Problem] To realize an inexpensive three-dimensional image element having a wide measurement range. A three-dimensional image element (153) is provided with: a light-receiving part (154) having a plurality of pixels (Px(i, j)) including a SPAD (single-photon avalanche multiplication photodiode for detecting a photon of incident light including reflected light from an object to be detected in a Geiger mode; a plurality of pixel storage elements (Mx(i, j)) for integrating a pulsed pixel signal outputted as a photon detection result from the pixels (Px(i, j)) for each series of time intervals

WO 2018/198729 A1

［続葉有］

MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW.

(84) 指定国(表示のない限り、全ての種類の広域保護が可能): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), ユーラシア (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), ヨーロッパ (AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG).

添付公開書類:

一 国際調査報告(条約第21条(3))

continuously arranged in a time series, the pixel storage elements (Mx(i, j)) being provided so as to correspond one-to-one to the pixels (Px(i, j)); and a signal processing circuit (DS) for calculating distance information relating to the distance between the light-receiving part (154) and the object for each pixel (Px(i, j)) using a series of integration value groups arranged in a time series, the integration values being integrated by the pixel storage elements (Mx(i, j)).

(57) 要約:【課題】広い測定範囲を有する安価な３次元画像素子を実現する。３次元画像素子（１５３）は、検出の対象となる対象物からの反射光を含む入射光のフォトンをガイガーモードで検出するＳＰＡＤ（単光子雪崩増倍フォトダイオード）を含む画素（Ｐｘ（ｉ，ｊ））を複数有する受光部（１５４）と、画素（Ｐｘ（ｉ，ｊ））と一対一に対応して設けられ、画素（Ｐｘ（ｉ，ｊ））からフォトンの検出結果として出力されるパルス状の画素信号を、時系列に連続して並んだ一連の時間区間毎に積算する複数の画素記憶素子（Ｍｘ（ｉ，ｊ））と、画素記憶素子（Ｍｘ（ｉ，ｊ））によって積算された時系列に並ぶ一連の積算値群を用いて、受光部（１５４）と対象物との距離に関する距離情報を画素毎（Ｐｘ（ｉ，ｊ））に算出する信号処理回路（ＤＳ）とを備える。

明　細　書

発明の名称 ： ３次元画像素子および光レーダー装置

技術分野

[0001] 本発明は、対象物の２次元画像と対象物までの距離情報とからなる３次元画像を取得する３次元画像素子に関する。

背景技術

[0002] ３次元イメージは、通常の写真の様な２次元イメージに加えて、視野内の対象物までの距離情報も含めた概念である。近年、このような３次元イメージを検出する３次元イメージセンサは、自動車やロボット等の周辺認識に用いられるセンサとして極めて重要となっている。２次元イメージを検出する２次元イメージセンサとしては、ＣＣＤおよびＣＭＯＳイメージャが普及している。ＣＣＤおよびＣＭＯＳイメージャ、何れもシリコン製フォトダイオードによって光強度を電気信号に変換して画像化している。また、高精度の距離情報の計測は、レーザ光を対象物に照射して、対象物からレーザ光が反射して戻って来るまでの飛行時間（Time-of-flight）を計測する方法が普及しつつある。

[0003] 視野全体にレーザ光を照射する方法としては、点状または帯状に絞ったレーザビームを、ミラー等によってスキャンするスキャンタイプと、視野全体にほぼ均一にレーザビームを広げて照射する一括照射タイプとが有る。このうち、非特許文献１に開示されているように、対象物上で強いビーム強度が得易いスキャンタイプが多く開発されている。スキャンタイプは、ビームを振る為の機械的な機構が必要となる為、高価で装置が大きくなる。一方、一括照射タイプは、スキャンする機械的な機構が必要無い為、小型化し易いが、対象物上でのレーザ光強度がスキャンタイプに比べて弱くなる為、対象物までの距離が長くなると、信号強度が弱くなって、距離測定精度が落ちる。

[0004] 飛行時間計測に関しては、時間測定精度が距離精度に直結する為に、パルスレーザ光を複数回発射し、発光から受光までの時間測定を繰り返し、ヒス

トグラム（横軸：時間、縦軸：頻度）を構成し、飛行時間を決定する方法が有る。この手法は、ＴＣＳＰＣ（Time-Correlated-Single-Photon-Counting：時間相関単光子数計測）と呼ばれる手法である。

[0005] 受光素子としては、ＳＰＡＤ（Single-Photon-Avalanche-Diode：単光子雪崩増倍フォトダイオード）が用いられる。この受光素子は、例えば、特許文献２および非特許文献１に記載されているように、画素当たりの回路規模が大きい為、大規模な画素を２次元配列したイメージャでは用いられておらず、主にスキャンタイプと組合せて用いられている。

[0006] 一方、一括照射タイプは、フォトダイオードの電流を計測し、判定値と比較して飛行時間を決定している。また、一括照射タイプでは、時系列に並べたキャパシタに順次、前記電流を蓄積し、その蓄積量で飛行時間を判定する場合も有る。この仕組みから、１回のレーザ照射で３次元イメージを構成することとなる為、写真で言えばフラッシュを当てて画像を撮った様に、視野全体に渡って同時性が確保される。このような一括照射タイプは、例えば、特許文献１および３に開示されているように、視野の各点毎に、時刻が異なるスキャンタイプとは大きく異なり、「フラッシュ」と形容されている。

先行技術文献

特許文献

[0007] 特許文献1：米国特許第５６９６５７７号明細書（１９９７年１２月９日）
特許文献2：米国特許第５８９２５７５号明細書（１９９９年４月６日）
特許文献3：米国特許第８１３０３６７号明細書（２０１２年３月６日）

非特許文献

[0008] 非特許文献1：Cristiano Niclass, Member, IEEE, Mineki Soga, Hiroyuki Matsubara, Masaru Ogawa, and Manabu Kagami, Member, IEEE, IEEE JOURNAL OF SOLID-STATECIRCUITS, VOL. 49, NO. 1, JANUARY 2014, P315-330 “A 0.18-μm CMOS SoC for a 100-m-Range 10-Frame/s 200×96-Pixel Time-of-Flight Depth Sensor.”

発明の概要

発明が解決しようとする課題

[0009] しかしながら、上述した従来の技術では、以下の課題がある。

[0010] 民生用の自動車、ロボット等に使用する為には、装置の小型化および耐久性が極めて重要であることから、スキャンタイプは好ましく無い。一方、一括照射タイプでは、背景光対策が問題となる。自動車用途では、光レーダー装置が赤道直下の真昼の強烈な太陽光の下でも動作せねばならない。特許文献１に開示されたセンサでは、日中の背景光の影響を最小限にする為、波長１．５μｍ程度の赤外光を使う都合上、シリコン型の受光素子を使用できず、ＩｎＧａＡｓ等の化合物半導体を使用しなければならない。一方、当該センサでは、シリコンＬＳＩが信号処理を行う。この為、当該センサは、ＩｎＧａＡｓ製のフォトダイオードとシリコンＬＳＩとを積層しなければならないので、材料および製造工程の面でコストが嵩むことにより非常に高価な装置となる。

[0011] そこで、受光から信号処理までの機能を同じシリコンチップに搭載し、安価で測定範囲が広い３次元画像素子と、これを用いた一括照射タイプの光レーダー装置が求められている。

[0012] 本発明の一態様は、広い測定範囲を有する安価な３次元画像素子を実現することを目的とする。

課題を解決するための手段

[0013] 上記の課題を解決するために、本発明の一態様に係る３次元画像素子は、検出の対象となる対象物からの反射光を含む入射光のフォトンをガイガーモードで検出するアバランシェフォトダイオードを含む画素を複数有する受光部と、前記画素と一対一に対応して設けられ、前記画素からフォトンの検出結果として出力されるパルス信号を、時系列に連続して並んだ一連の時間区間毎に積算する複数の積算部と、前記積算部によって積算された時系列に並ぶ一連の積算値群を用いて、前記受光部と前記対象物との距離に関する距離情報を前記画素毎に算出する算出部とを備えている。

発明の効果

[0014] 本発明の一態様によれば、広い測定範囲を有する安価な３次元画像素子を実現することができるという効果を奏する。

図面の簡単な説明

[0015] [図1]本発明の実施形態１に係る光レーダー装置の構成を示す模式図である。

[図2]上記光レーダー装置を構成する３次元画像素子のパッケージを示す断面図である。

[図3]上記３次元画像素子の構成を示すブロック図である。

[図4]上記３次元画像素子の画素の構成を示す平面図である。

[図5]上記３次元画像素子の画素の構成を示す断面図である。

[図6]上記３次元画像素子の画素の構成を示す回路図である。

[図7]上記３次元画像素子の信号記憶処理部における、画素記憶素子、列選択回路および信号処理回路の構成を示す回路図である。

[図8]（ａ）は上記画素記憶素子の駆動タイミングを示すタイミングチャートであり、（ｂ）は反射パルス光を拡大して示す波形図である。

[図9]上記３次元画像素子の信号処理回路による信号処理の手順を示すフローチャートである。

[図10]本発明の実施形態２に係る光レーダー装置の３次元画像素子における信号処理回路による信号処理の手順を示すフローチャートである。

[図11]本発明の実施形態３に係る光レーダー装置を構成する３次元画像素子の構成を示すブロック図である。

発明を実施するための形態

[0016] 本発明の実施形態について図１～図１１に基づいて説明する。以下、説明の便宜上、特定の実施形態にて説明した構成要素と同一の機能を有する構成要素については、同一の符号を付記し、その説明を省略する場合がある。

[0017] 〔実施形態１〕

本発明の実施形態１について図１～図９に基づいて説明すれば、以下の通りである。

[0018] 図１は、本実施形態に係る光レーダー装置１００の構成を示す模式図である。

[0019] 〈光レーダー装置１００の構成〉

図１に示す様に、光レーダー装置１００は、対象視野１０にパルス光１２４を照射するパルス光照明系１１０と、対象視野１０の少なくとも一部からの光を受光する受光系１４０とを備えている。

[0020] パルス光照明系１１０は、照明系電源１２０と、発光素子駆動回路１２１と、拡散光学系１２３と、発光素子１２２とを有している。拡散光学系１２３は、発光素子１２２が発するパルス光１２４を対象視野１０の全体に一括照射する。発光素子駆動回路１２１は、発光素子１２２をパルス駆動する回路である。照明系電源１２０は、発光素子駆動回路１２１に電力を供給する電源である。パルス光照明系１１０と受光系１４０とは近接して設けられる。ただし、対象視野１０に有る、検出の対象となる対象物１１からの反射光を除き、パルス光照明系１１０が発するパルス光１２４が受光系１４０に漏れ出ない構造が好ましい。

[0021] 受光系１４０は、結像光学系１５１と、光学バンドパスフィルター１５２と、３次元画像素子１５３と、制御素子１６０と、受光系電源１５７とを有している。３次元画像素子１５３は、受光部１５４および信号記憶処理部１５５を含んでいる。結像光学系１５１は、対象視野１０からの反射光を３次元画像素子１５３の受光部１５４に結像する。制御素子１６０は、３次元画像素子１５３およびパルス光照明系１１０を制御し、外部システム３００と相互に通信する。受光系電源１５７は、受光系１４０の各部に電力を供給する電源である。

[0022] （パルス光照明系１１０）

対象視野１０は、一般に水平照射角θｈと垂直照射角θｖとで特長付けられる矩形であるが、矩形に限定されることは無く、楕円形状であっても構わない。パルス光１２４は、対象視野１０内において均一であることが好ましいが、光強度が強い場所の検出感度が高くなる為、対象視野１０内において

、特に注視する必要が有る場所がある場合は、その付近の強度を強化した光強度分布とすることも可能である。

[0023] 拡散光学系１２３は、発光素子１２２からの光を、対象視野１０内に、広げて照射する光学系であり、拡散板、回折格子、シリンドリカルレンズ等により構成される。

[0024] 発光素子１２２は、レーザおよびＬＥＤの様にパルス発光が可能な光源であり、波長７００ｎｍから１０００ｎｍ程度の赤外線を出射することが好ましい。また、発光素子１２２は、発光波長帯域が狭く、かつ発光ピーク波長の温度変動が少ないことが好ましい観点から、赤外線レーザが好適に用いられる。特に、ＶＣＳＥＬ（Vertical Cavity Surface Emitting LASER：垂直共振器面発光レーザ）は、発光波長帯域が狭く、かつ発光ピーク波長の温度変動が少ないので、発光素子１２２として好ましい。図１には示さないが、発光ピーク波長の温度変動を抑制する為に、発光素子１２２の温度を制御する温度制御素子をパルス光照明系１１０に加えても良い。

[0025] 発光素子駆動回路１２１は、発光素子１２２に、所定のタイミングで所定の電流を流すことにより、発光素子１２２をパルス発光させる。発光タイミングは、制御素子１６０からの信号によって決定される。発光素子１２２の電流量は、可変であっても良く、制御素子１６０によって制御されても良い。パルス光１２４の発光時間を決定する電流の時間変化も同様である。

[0026] ここで、パルス光１２４の半値幅（時間）は１ｎｓｅｃから数百ｎｓｅｃ程度である。光レーダー装置１００には、数十Wから数百Wの大パワーのパルス光１２４が必要である。この為、一般に発光素子駆動回路１２１は、短パルス光を形成するように、コンデンサに電荷を蓄積した後に、その電荷を一気に発光素子１２２に放出する。従って、コンデナンサおよびスイッチング素子を発光素子１２２と組み合わせて、モジュール化しても良い。

[0027] 照明系電源１２０は、通常の論理回路用低圧ＤＣ電源と、前記コンデンサに充電する為の、数十Ｖの高圧ＤＣ電源とを有している。高圧ＤＣ電源の出力電圧または前記コンデンサへの充電時間を制御することで、パルス発光パ

ワーを制御することができる。また、スイッチング素子のスイッチングスピードを制御することで、パルス幅を制御することができる。これらの制御は、制御素子１６０によって行うことができる。

[0028] （受光系１４０）

図３は、３次元画像素子１５３の構成を示すブロック図である。図２は、本実施形態に係る光レーダー装置１００を構成する３次元画像素子１５３のパッケージの断面図である。

[0029] 結像光学系１５１は、一般的にはレンズである。受光部１５４の大きさ、および視野角（ＦＯＶ）によって、焦点距離およびＦナンバーを選択できる。後述の光学バンドパスフィルター１５２の中心波長に於いて、透過率が高く、収差が少ないことが好ましい。図１には、レンズを示したが、レンズに代えてレンズ以外の反射光学系を用いても構わない。

[0030] 光学バンドパスフィルター１５２は、パルス光の波長ピークを中心に、一定幅の帯域に透過帯を有する。透過帯の幅（透過率の波長分布の半値幅）は、数ｎｍから数十ｎｍであり、１０ｎｍから２０ｎｍ程度が好ましい。一般に、屋外での動作では、動作温度範囲が広くなることで、パルス光のピーク波長が温度と共に変化する為、少なくとも動作温度範囲では、パルス光の分布が前記透過帯に納まっている必要が有る。ＶＣＳＥＬの場合、ピーク波長の温度シフトが０．０７ｎｍ／度程度であり、発光ピークの半値幅が１ｎｍ程度であり、光学バンドパスフィルターの透過帯中心波長の温度シフトが０．０２５ｎｍ／度である。この為、８５℃から－４０℃の温度帯を考慮しても、ピーク波長と透過帯中心波長との相対的な波長シフトは５．６ｎｍ程度であり、１０ｎｍ程度の透過帯域の光学バンドパスフィルター１５２を使用することができる。

[0031] 光学バンドパスフィルター１５２として一般に用いられる平板状の干渉フィルターを用いる場合、反射光がフィルター表面に入射する入射角度が０度から大きくなると、透過帯の中心波長が短波長側にシフトする。従って、視野角が広い場合には、平板状の干渉フィルターでは、対象視野１０の全体で

同じ透過波長帯を確保できなくなることが有る。また、平板状の干渉フィルターは、水分や酸素に長時間触れると、変質し、経時劣化する場合がある為、外気から遮断する事が好ましい。

[0032] 図１に示す受光系１４０では、結像光学系１５１の前面に、赤外線に対して透明な樹脂製の半球状ドームが保護カバー１５６として設けられており、受光系１４０を外気から保護している。保護カバー１５６が有る場合には、例えば、結像光学系１５１の表面や、保護カバー１５６の内面又は内部に光学バンドパスフィルター１５２を設ける事もできる。保護カバー１５６に光学バンドパスフィルター１５２を設ける場合には、保護カバー１５６の半球の径は、結像光学系１５１の径に応じて大きさを設定することで、対象視野１０内の各方向からの反射光に対して、ほぼ一定の透過帯を確保できる。半球の径が、大きい程、後述する各画素Ｐｘ（ｉ，ｊ）に集光する光に対する透過帯シフトを低減できるが、その反面、光レーダー装置１００の外形が大きくなる。この為、光レーダー装置１００の外形と透過帯シフトの低減とのトレードオフによって、半球の径の実際のサイズを決定できる。実用的な範囲では、半球の径は結像光学系１５１の径に対して５倍以上であることが好ましく、１０倍以上であることが更に好ましい。

[0033] 上記の様な透過帯シフトがそれ程問題にならない様な視野角が狭い場合、図２に示す様に、光学バンドパスフィルター１５２は、リッドガラス１７１の内側に付加することもできる。リッドガラス１７１は、３次元画像素子１５３を封止するパッケージ１７０の光学窓を構成する。パッケージ１７０の内部の封止された雰囲気１７２は、水分を除くことが好ましく、更に酸素も除くことが好ましい。これは、光学バンドパスフィルター１５２の経年劣化を防ぐ為である。従って、雰囲気１７２は、少なくともドライエアであることが好ましく、窒素乃至はアルゴン、ヘリウム等であることが更に好ましい。図２では省略したが、リッドガラス１７１のパッケージ１７０への接着は酸素や水分の透過が少ないシリコーン樹脂を用いることが好ましい。

[0034] 光学バンドパスフィルター１５２は、結像光学系１５１の内部に組み込ま

れても良い。光学バンドパスフィルター１５２は、図１および図２では１個として示しているが、複数でも構わない。結像光学系１５１の前面または後面に第１の光学バンドパスフィルターを配置し、前述の様に、リッドガラス１７１の内面に第２の光学バンドパスフィルターを配置しても良い。第１の光学バンドパスフィルターを設けることで、パッケージ１７０に入射する光エネルギーを低減でき、温度上昇を抑制する効果が有る。第１の光学バンドパスフィルターの透過帯を第２の光学バンドパスフィルターの透過帯より広くすることが好ましい。

[0035] ３次元画像素子１５３の受光部１５４と信号記憶処理部１５５（積算部と算出部）は、シリコン基板上に形成することができる。受光部１５４と信号記憶処理部１５５とは、それぞれ別々のチップとして形成されており、垂直ビアホール、バンプ等を用いて結合され、それぞれのチップが積層されても良いが、同一シリコン基板上にモノリシックに構成されることが好ましい。受光部１５４と信号記憶処理部１５５をモノリシックに構成することで、３次元画像素子１５３の製造コストを低減できる。

[0036] 図３に示す様に、受光部１５４および信号記憶処理部１５５が図中の上下段に並ぶように配置されている。ただし、これは便宜上であって、受光部１５４が中心部に配置されても構わない。但し、受光部１５４と信号記憶処理部１５５とが混在するのは好ましく無い。これは、受光部１５４の存在する範囲が広がり、結像光学系１５１やリッドガラス１７１の大きさを大きくすることとなり、コストアップ要因となるからである。

[0037] 受光部１５４には、Ｍ行Ｎ列の２次元マトリクス状に画素Ｐｘ（ｉ，ｊ）が配置されている。画素Ｐｘ（ｉ，ｊ）は、後述する様に、ＳＰＡＤによってフォトンを検出し、フォトンの検出結果としてパルス信号（画素信号）を出力する機能を有している。全ての画素Ｐｘ（ｉ，ｊ）は同一に構成されている。

[0038] （信号記憶処理部１５５）

信号記憶処理部１５５は、少なくともマトリクス状に配置された各画素Ｐ

ｘ（ｉ，ｊ）に対応する複数の画素記憶素子Ｍｘ（ｉ，ｊ）（積算部）を含んでいる。画素記憶素子Ｍｘ（ｉ，ｊ）は、各画素Ｐｘ（ｉ，ｊ）と、信号線Ｌｘ（ｉ，ｊ）によって一対一に接続されている。画素Ｐｘ（ｉ，ｊ）でフォトン（光子）を受ける毎に、画素Ｐｘ（ｉ，ｊ）からフォトンの検出結果として出力された画素信号（パルス信号）が信号線Ｌｘ（ｉ，ｊ）を通って画素記憶素子Ｍｘ（ｉ，ｊ）に送られて記憶される。

[0039] 信号記憶処理部１５５は、少なくとも、特定の画素記憶素子Ｍｘ（ｉ，ｊ）を選択する為の行選択回路１６１および列選択回路１６２（切替回路）と、信号処理回路ＤＳ（算出部）とを含む。信号処理回路ＤＳは、行選択回路１６１および列選択回路１６２によって選択された特定の画素記憶素子Ｍｘ（ｉ，ｊ）の記憶している情報に基づき、出力信号として、距離情報Ｄ（ｉ，ｊ）および２次元イメージ情報Ｇ１（ｉ，ｊ），Ｇ２（ｉ，ｊ）（２次元画像情報）を少なくとも算出して出力する。

[0040] ２次元イメージ情報Ｇ１（ｉ，ｊ），Ｇ２（ｉ，ｊ）は、各画素Ｐｘ（ｉ，ｊ）へ入射する対象物１１からの反射光の入射光（パルス光の反射光）の光強度についての光強度情報であり、検出範囲におけるそれぞれの光強度に基づいて対象物１１の２次元イメージを特定する光強度情報である。なお、２次元イメージ情報Ｇ１（ｉ，ｊ），Ｇ２（ｉ，ｊ）の相違点については後述する。

[0041] 信号記憶処理部１５５は、より具体的には、以下の様に構成される。信号記憶処理部１５５に於いて、行選択信号線Ｒα（ｉ）は、例えば行選択回路１６１からｉ行にある画素記憶素子Ｍｘ（ｉ，ｊ）に伸びている。特定の行選択信号線Ｒα（ｉ）が活性化することで、行ｉの画素記憶素子Ｍｘ（ｉ，ｊ）のα部分（後述するバイナリカウンタＢＣα）が選択される。選択された行に属する画素記憶素子Ｍｘ（ｉ，ｊ）が出力信号を列信号線Ｃ（ｊ）に出力すると、列選択回路１６２は特定の列信号線Ｃ（ｊ）を選択する。これにより、画素記憶素子Ｍｘ（ｉ，ｊ）の信号が信号処理回路ＤＳに読み込まれ、信号処理回路ＤＳから距離情報Ｄ（ｉ，ｊ）および２次元イメージ情報

Ｇ１（ｉ，ｊ），Ｇ２（ｉ，ｊ）が出力される。

[0042] ２次元イメージ情報Ｇ１（ｉ，ｊ）は、パルス光の反射光を含まない背景光による対象物１１の２次元のイメージ情報（第２光強度情報）である。２次元イメージ情報Ｇ２（ｉ，ｊ）は、パルス光の反射光による対象物１１の２次元のイメージ情報（第１光強度情報）であるが、それらに限定されない。

[0043] また、信号記憶処理部１５５内では、画素記憶素子Ｍｘ（ｉ，ｊ）からの出力信号の読み出しは、画素記憶素子Ｍｘ（ｉ，ｊ）への画素信号のパルス数の積算と、並行して行うことができる。その結果、信号強度の強い画素を早期に検出することができる。一般的には、信号強度の強い画素Ｐｘ（ｉ，ｊ）は、より近傍の対象物１１を捕えており、３次元画像素子に近い対象物１１を早期に検出し、アラームを発することができる。

[0044] また、信号記憶処理部１５５は、画素記憶素子Ｍｘ（ｉ，ｊ）からの信号の読み出し順序を記憶しており、当該読み出し順序を任意に選択できる。これにより、３次元画像素子に近い対象物１１からの反射光を検出した画素Ｐｘ（ｉ，ｊ）から得られたフォトン数を積算した画素記憶素子Ｍｘ（ｉ，ｊ）から、積算されたフォトン数を早期に読み出すことができる。

[0045] （受光部１５４）

図４は、３次元画像素子１５３の画素Ｐｘ（ｉ，ｊ）の構成を示す平面図である。図５は、画素Ｐｘ（ｉ，ｊ）の構成を示す断面図である。図６は、３次元画像素子１５３の画素Ｐｘ（ｉ，ｊ）の構成を示す回路図である。

[0046] 受光部１５４は、Ｍ行Ｎ列の２次元マトリックス状に配置された画素Ｐｘ（ｉ，ｊ）を複数有している。受光部１５４には、制御信号、電源電圧、クロックＣＬＫ等が与えられている。

[0047] 図４に示す様に、画素Ｐｘ（ｉ，ｊ）は、単数または複数のＳＰＡＤ（Single-Photon-Avalanche-diode）１８０（アバランシェフォトダイオード）から構成されている。ＳＰＡＤ１８０は、入射光のフォトンをガイガーモードで検出するフォトダイオードである。各ＳＰＡＤ１８０は、図５に示す様に

、マイクロレンズ１８１を有している。ＳＰＡＤ１８０の構造は、様々な形態を採ることが可能であるが、ここでは詳述しない。

[0048] ＳＰＡＤ１８０は、シリコン基板１８３上に形成されたＮ型拡散層１８５の表面にＰ$^+$拡散層１８４が形成されることで構成されている。シリコン基板１８３の表面は、所定の間隔をおいてメタルシールド１８２に覆われている。メタルシールド１８２は、Ｐ$^+$拡散層１８４の一部を露出させるように形成された開口部１８２ａを有している。開口部１８２ａは、有効受光領域を形成しており、マイクロレンズ１８１を介して入射した光をＰ$^+$拡散層１８４へと通過させる。

[0049] ここで、各ＳＰＡＤ１８０をＰＤ（ａ）（ａ＝１～Ｎｓｐａｄ、Ｎｓｐａｄ：１画素に属するＳＰＡＤ１８０の総数）と記載する。図４では、出力回路等の回路を配置する画素部の右下を除いて、各ＳＰＡＤ１８０は、ほぼ等距離で配置されている。これは、マイクロレンズ１８１を使って、できるだけ広範囲の光を集光し、検出感度を上げる為である。しかし、感度が十分であり、回路レイアウト上、画素面積を縮小できるなら、各ＳＰＡＤ１８０を一定範囲に集中して配置しても良い。

[0050] ＳＰＡＤ総数Ｎｓｐａｄは、使用するＳＰＡＤ１８０のＤｅａｄｔｉｍｅ Ｔｄの間に１画素が受光するフォトン数Ｍｄによって最適値が変わる。Ｄｅａｄｔｉｍｅ Ｔｄは、１個のＳＰＡＤがフォトンを検出した後、次のフォトンを検出できる様になるまでに要する時間であり、文字通りＳＰＡＤがセンサとして機能しない時間の長さである。一般に、数ｎｓｅｃから１００ｎｓｅｃ程度の長さである。Ｍｄ≪１個である場合は、ＳＰＡＤ総数Ｎｓｐａｄは小さくても良いし、１であっても良い。しかし、フォトン数Ｍｄが１を超える様なことが起きうる場合には、１個のＳＰＡＤ１８０では最初の１個をカウントした段階で、次のＴｄの期間は計測できない為、カウントできるフォトン数は１が上限となってしまい、フォトン数Ｍｄの受光数を正しく測定できない。従って、フォトン数Ｍｄが１に近づく場合や、１より大きい場合には、ＳＰＡＤ総数Ｎｓｐａｄを大きくしなければならない。フィルファク

ター（画素面積に対する有効受光領域の総面積の比率）が同じなら、ＳＰＡＤ総数Ｎｓｐａｄが大きい程、検出感度は向上する。

[0051] 図６に示す様に、画素Ｐｘ（ｉ，ｊ）は、各ＳＰＡＤ１８０に付属する部分として、ＳＰＡＤ制御部１９０と、フォトン検出信号発生部１９１とを有している。図６には、ＳＰＡＤ制御部１９０と、フォトン検出信号発生部１９１の各部とがそれぞれ出力する信号の波形を添えて示している。

[0052] ＳＰＡＤ制御部１９０は、ＳＰＡＤ１８０に電源電圧ＶＳＰＡＤを印加し、画素Ｐｘ（ｉ，ｊ）においてフォトンが検出された場合には、クエンチングし、ＤｅａｄｔｉｍｅＴｄの後に、測定状態に復帰させる回路である。図６では、ＳＰＡＤ制御部１９０を、ＳＰＡＤ１８０以外には、非能動クエンチを想定して、１個の抵抗Ｒを付加した回路で簡易的に示したが、能動クエンチ回路を使用しても良い。また、ＳＰＡＤ１８０の活性化を制御する回路など、種々の回路を付加することも可能である。

[0053] フォトン検出信号発生部１９１は、ＳＰＡＤ１８０がフォトンを検出した際に、ＳＰＡＤ１８０の端子電圧の上昇を検知して、一定の幅を持ったパルスを１個出力する回路である。図６では、フォトン検出信号発生部１９１が、第１インバータ１９２と、第２インバータ１９３と、遅延回路１９４と、ＮＯＲ回路１９５とで構成される例を示している。遅延回路１９４は、図６では、２段のインバータで構成される例として示されているが、４段以上の偶数段のインバータで構成されても良く、他の構成の遅延回路でも良い。この遅延回路１９４の遅延時間がパルス幅を決定する。遅延時間は０．１ｎｓｅｃ程度から数ｎｓｅｃ程度が好ましい。ＮＯＲ回路１９５は、第１インバータ１９２の出力と、第２インバータ１９３の出力との論理和否定を出力する。

[0054] 画素Ｐｘ（ｉ，ｊ）は、各フォトン検出信号発生部１９１に共通する画素信号出力回路１９６を有する。画素信号出力回路１９６は、各ＳＰＡＤ１８０からのフォトン検出信号を並列して受けて、フォトン検出信号とほぼ同じ長さのパルスを信号線Ｌｘ（ｉ，ｊ）へ送りだす回路である。複数のＳＰＡ

Ｄ１８０がほぼ同時にフォトン検出信号を発した場合には、それらを区別することはできない。その様なケースを最小限に抑える為に、信号線Ｌｘ（ｉ，ｊ）を通過する信号のパルス幅はできるだけ短くすることができる。図６では、画素信号出力回路１９６が、信号線ドライブ回路１９７と、信号線リセット回路１９８と、遅延回路１９９とで構成される例を示しているが、これに限定されるものでは無い。

[0055] 信号線ドライブ回路１９７は、フォトン検出信号を受けて、信号線Ｌｘ（ｉ，ｊ）に電流を供給し、信号線Ｌｘ（ｉ，ｊ）の電位を上げて画素信号を出力する回路であり、各フォトン検出信号に対して、完全に並列に動作する。画素信号は、フォトン検出信号に対応したパルス状の信号である。

[0056] 図６では、信号線ドライブ回路１９７が、各フォトン検出信号発生部１９１からの出力を受けるゲートを有するＮＭＯＳトランジスタが並列に接続される構成としたが、他の構成でも構わない。例えば、信号線ドライブ回路１９７は、各フォトン検出信号発生部１９１からの出力をＡＮＤ回路で受け、ＡＮＤ回路の出力で、駆動能力の大きな１個のＮＭＯＳトランジスタをオンする構成でも良い。

[0057] 信号線ドライブ回路１９７は、信号線Ｌｘ（ｉ，ｊ）での信号遅延時間を短時間で駆動する能力を有し、画素記憶素子Ｍｘ（ｉ，ｊ）に信号を伝達しなければならない。この遅延時間は、信号線Ｌｘ（ｉ，ｊ）の寄生容量に対する信号線ドライブ回路１９７に設けられるトランジスタの駆動能力で決まる。この遅延時間は、少なくともフォトン検出信号発生部１９１が発生するパルス幅と同程度以下であることが好ましい。

[0058] 信号線Ｌｘ（ｉ，ｊ）を通過する電気パルス幅はできるだけ短くする為に、信号線Ｌｘ（ｉ，ｊ）での信号遅延時間は短いことが好ましく、信号線Ｌｘ（ｉ，ｊ）は短い方が好ましい。信号記憶処理部１５５を受光部１５４の少なくとも両端に分割して配置することで、信号線Ｌｘ（ｉ，ｊ）を短くすることができる。

[0059] 信号線リセット回路１９８は、信号線ドライブ回路１９７によって、信号

線Ｌｘ（ｉ，ｊ）の電位が引き上げられた後、これを元に戻す回路である。ここでは、信号線リセット回路１９８は、信号線Ｌｘ（ｉ，ｊ）の信号を遅延させる遅延回路１９９と、信号線プルダウン回路２００とによって構成されているが、他の構成でも構わない。信号線Ｌｘ（ｉ，ｊ）の電位が上昇し、画像記憶素子Ｍｘ（ｉ，ｊ）が反応した後は、速やかに電位を下げる為、遅延回路１９９の遅延時間後には、信号線プルダウン回路２００が信号線Ｌｘ（ｉ，ｊ）を、グランドレベルを有するグランド配線に接続し、電位を降下させる。遅延回路１９９は、２段のインバータチェーンで示したが、４段以上の偶数段のインバータチェーンでも良く、また、他の遅延回路であっても良い。

[0060] 図６では、フォトン検出信号は、グランドレベルからＶｃｃレベルへ上昇するパルスであったが、Ｖｃｃレベルからグランドレベルへ降下するパルスであっても、同様の機能を実現できる。また、図６に示す構成では、信号線Ｌｘ（ｉ，ｊ）を通過する画素信号のパルス幅は、フォトン検出信号発生部１９１によって、ほぼ決定されているが、画素信号出力回路１９６によって決定される構成でも良い。図６では、信号線Ｌｘ（ｉ，ｊ）は、一本の配線で示したが、複数本であっても構わない。例えば、信号線Ｌｘ（ｉ，ｊ）は、２本の配線をペアとして、フォトン検出信号によって、画素信号出力回路１９６が両者の間に電位差を発生させる回路構成にして、ペア配線間の電位差を伝達する信号線であっても構わない。また、ＳＰＡＤ総数Ｎｓｐａｄが大きい場合には、画素信号出力回路１９６を複数の回路に分割して、それぞれに信号線を設けても構わない。

[0061] （画素記憶素子Ｍｘ（ｉ，ｊ））

図７は、信号記憶処理部１５５における、画素記憶素子Ｍｘ（ｉ，ｊ）、列選択回路１６２および信号処理回路ＤＳの構成を示す回路図である。図８の（ａ）は、画素記憶素子Ｍｘ（ｉ，ｊ）の駆動タイミングを示すタイミングチャートであり、図８の（ｂ）は反射パルス光を拡大して示す波形図である。

[0062] 図７に示す様に、画素記憶素子Ｍｘ（ｉ，ｊ）は、複数のバイナリカウンタＢＣ１～ＢＣγと、時間スイッチ２１０と、出力スイッチ２１１とを有している。以降の説明では、バイナリカウンタＢＣ１～ＢＣγを代表して説明する場合には、バイナリカウンタＢＣαと称する。

[0063] 時間スイッチ２１０は、信号線Ｌｘ（ｉ，ｊ）を各バイナリカウンタＢＣ１～ＢＣγへ選択的に接続するスイッチＳ１～Ｓγを含む回路である。スイッチＳ１～Ｓγは、図７では、ＮＭＯＳトランジスタで構成されている。以降の説明では、スイッチＳ１～Ｓγを代表して説明する場合には、スイッチＳαと称する。

[0064] バイナリカウンタＢＣ１～ＢＣγは、それぞれ、スイッチＳ１～Ｓγを介して入力された、画素Ｐｘ（ｉ，ｊ）からの画素信号のパルスをカウントするカウンタである。バイナリカウンタＢＣ１～ＢＣγのクロック端子には、それぞれ、上記のパルスが入力される。また、バイナリカウンタＢＣ１～ＢＣγのリセット端子Ｒには、リセット信号Ｒｆが入力される。更に、バイナリカウンタＢＣ１～ＢＣγは、それぞれ、ｇ１ビット，ｇ２ビット，…，ｇγビットの出力端子を有している。

[0065] 出力スイッチ２１１は、行選択信号線Ｒα（ｊ）（行選択信号線Ｒ１（ｊ），Ｒ２（ｊ），…，Ｒγ２（ｊ））によって選択された場合に、バイナリカウンタＢＣαの出力を列信号線Ｃ（ｊ）に接続する回路である。出力スイッチ２１１は、図７では、行選択信号線Ｒα（ｊ）に接続されるゲートを有するＮＭＯＳトランジスタで構成されているが、これには限らない。出力スイッチ２１１の各ＮＭＯＳトランジスタの一方の端子は、バイナリカウンタＢＣαの各ビットの出力端子に接続されており、他方の端子は列信号線Ｃ（ｊ）に接続されている。バイナリカウンタＢＣαは、スイッチＳαがオンしている時間幅ΔＴαだけ、信号線Ｌｘ（ｉ，ｊ）と繋がり、画素Ｐｘ（ｉ，ｊ）から送られてくるパルス数を積算する。バイナリカウンタＢＣαの出力ビット数ｇαは、計測するフォトン数の最大値によって決定される。

[0066] 列選択回路１６２は、列選択信号線ＣＳ（ｊ）によって選択された場合に

、列信号線Ｃ（ｊ）を信号処理回路ＤＳに接続する回路である。図７では、列選択信号線ＣＳ（ｊ）に接続されるゲートを有するＮＭＯＳトランジスタで構成されているが、これには限らない。また、列選択回路１６２は、並列に配置された列信号線Ｃ（ｊ＋１），Ｃ（ｊ－１）等を信号処理回路ＤＳに接続する。画素記憶素子Ｍｘ（ｉ，ｊ）からの、上述したフォトン数の積算値の読み出し順序は、行選択信号線Ｒα（ｊ）による出力スイッチ２１１の選択と、列選択回路１６２による各列信号線Ｃ（ｊ）の接続順序で規定される。

[0067] 信号処理回路ＤＳは、バイナリカウンタＢＣαによる積算中にも、出力スイッチ２１１と、列選択回路１６２の列信号線Ｃ（ｊ）とを介して、バイナリカウンタＢＣαの出力を読み出すことができる。

[0068] 時間スイッチ２１０を駆動する信号Ｔ１～Ｔγは、図８の（ａ）に示す様に、スイッチＳ１～Ｓγを時系列で順次オンさせる信号となっている。図８の（ａ）では、スイッチＳ１～Ｓγをオンする時間幅ΔＴ１～ΔＴγ（時系列に連続して並んだ一連の時間区間）は、パルス光の半値幅ΔＴと等しくしているが、それに限らない。バイナリカウンタＢＣ１～ＢＣγは、それぞれ、時間幅ΔＴ１～ΔＴγで決まる時間帯毎にパルスをカウントしてフォトン数を積算する。

[0069] ここで、スイッチＳ１はパルス光が発する前にオンする為、バイナリカウンタＢＣ１は背景光強度を測定することとなる。従って、スイッチＳ１がオンする時間幅ΔＴ１は、他のスイッチＳαのオン時間ΔＴαと同じである必要は無い。例えば、他のスイッチＳαがオンする時間の複数倍の長さにすることで、バイナリカウンタＢＣ１のノイズレベルを低減することができる。その場合、信号処理回路ＤＳにおいて、バイナリカウンタＢＣ１の出力値だけ、オン時間長を他のスイッチＳαに対して長くした倍数で除して、他のバイナリカウンタＢＣαと同じ時間長でのデータに換算する手間が増える。

[0070] 時間幅ΔＴ２～ΔＴγは半値幅ΔＴ以下であることが好ましい。これにより、背景光の影響を弱めて、信号のＳＮ比を向上させることができる。逆に

、時間幅ΔＴ２～ΔＴγが半値幅ΔＴより長いと、背景光の影響が強くなり、信号のＳＮ比が低下する。例えば、時間幅ΔＴ２～ΔＴγが半値幅ΔＴの２倍の長さを有する場合、パルス光の反射光を検出する可能性がある時間に対して、背景光測定時間が２倍となる為、検出したいパルス光の反射光の背景光に対する強度比は、時間幅ΔＴ２～ΔＴγが半値幅ΔＴとほぼ同じ場合に比べ、１／２となる。従って、背景光に対して、パルス光の反射光が弱い遠方の対象物１１に対しては、検出感度が悪化する。

[0071] 後に述べるスイッチＳ２はパルス光の発光と同時にオンする為、バイナリカウンタＢＣ２は極めて短時間で反射してくるパルス光を受光信号が入力される。つまり、対象物１１が３次元画像素子１５３の非常に近くに位置されている場合には、バイナリカウンタＢＣ２のカウント数がバイナリカウンタＢＣ１のカウント数に対して増加することとなる。対象物１１と３次元画像素子１５３との距離Ｌに対し、パルス光の反射光は２Ｌ／ｃ（ｃ：光速）の後に３次元画像素子１５３に到達する為、該当する１個または２個のバイナリカウンタ（図８の（ａ）の例ではバイナリカウンタＢＣ３，ＢＣ４）には、背景光より高い強度の受光信号が入力される。

[0072] 以上の積算は、１フレームの間（例えば１／３０ ｓｅｃ）に発する複数のパルス光に対して実行される。即ち、複数回のパルス光照射毎に前記３次元画像素子によって取得される時系列に並ぶ一連の積算値が、互いに積算される。１フレームが終了した時点で、各バイナリカウンタＢＣαに蓄えられたデータは信号処理回路ＤＳに読み出され、次いでリセット信号Ｒｆによって活性化され、それまでのカウント数がクリアされ、次のフレームに対して、測定を始める準備が整う。

[0073] ここで、バイナリカウンタ総数γは、最大測定距離Ｄｍａｘおよび半値幅ΔＴに対して、以下の関係にある。

[0074] Ｄｍａｘ＜（γ－２）・ｃ・ΔＴ／２

ここで、上記式が等号で無い理由は次の例で説明する。Ｄｍａｘ＝３０ｍ、ΔＴ＝１００ｎｓｅｃ、γ＝４の場合を考える。３０ｍの距離にある対象

物１１からの反射パルスは、バイナリカウンタＢＣ４でカウントされる。しかし、そのカウント数がバイナリカウンタＢＣ１のカウント数より有意に大きかったとしても、バイナリカウンタＢＣ５のカウント数がバイナリカウンタＢＣ１のカウント数とほぼ等しくないと、３０ｍと判断はできない為、３０ｍの測定結果は出せない。一方３０ｍ未満の場合には、ＢＣ３がＢＣ１に対して有意に大きく、ＢＣ３とＢＣ４から距離測定が可能な場合が有る為、測定可能である。

[0075] 半値幅ΔＴを小さくし、バイナリカウンタ総数γを多くすることで、距離測定精度を向上することができる。特に、複数のピークを検出することで、多重反射を検出したり、光透過性の物体とその奥に位置する対象物１１とを同時に検出したりする可能性が有る。一方でバイナリカウンタ総数γが増加すると、画素記憶素子Ｍｘ（ｉ，ｊ）の面積が増加し、３次元画像素子１５３を構成するチップの面積の増加と、光レーダー装置１００のコストアップとに繋がる。しかし、画素記憶素子Ｍｘ（ｉ，ｊ）および信号処理回路ＤＳは、基本的にロジック回路である為、微細化の進んだシリコンＬＳＩ製造プロセスを採用することで、面積を縮小できる。年々、こう言った微細化プロセスの製造コストが下がっていることから、将来的にバイナリカウンタ総数γを数十から数百へ増加することも可能である。

[0076] 信号Ｔ１～Ｔγは、図８の（ａ）に示す様に、原理的には互いに重複せず、且つ、測定する時間帯を漏れなくカバーすれば良いが、図８の（ａ）では、信号処理が単純化出来る為、活性化するパルス幅を互いに等しくしている。但し、活性化するパルス幅は、必ずしも互いに等しい場合に限定される訳ではない。例えば、短距離の距離測定精度を高める為に、時間経過の最初の部分はパルス幅を短くし、時間経過とともに徐々に長くすることも出来るし、複数段階で変える事も出来る。信号Ｔ１～Ｔγは全ての画素記憶素子Ｍｘ（ｉ，ｊ）に配分されなければならない為、配線遅延等は配線間の遅延のバラツキ等により、僅かながら誤差が生じる恐れが有る。信号Ｔ１～Ｔγの活性化するパルス幅の誤差は、距離測定値の精度に直結する為、光レーダー装

置１００に要求される精度に応じて、時間精度の高い回路構成および配線の配置を採る必要がある。

[0077] 時間スイッチ２１０を構成するスイッチＳ１～Ｓγは、図７に示す例では、信号Ｔ１～Ｔγで直接オン／オフしていたが、他の回路でも構成できる。例えば、単純なシフトレジスタ（ビット数；γ）の各出力をスイッチＳ１～Ｓγへ接続し、クロック信号でオン状態を順次シフトさせて行く構成でも良い。これにより、信号数を減らすことができる上、スイッチＳ１～Ｓγの１個だけを確実にオンすることができる。それゆえ、オンする時間帯が隣接するスイッチＳαとスイッチＳ（α＋１）とについて、オンする時間帯の開きまたはオーバラップの発生を防ぐことで、計数誤差を低減することができる。この様な、隣接するスイッチ間のオン時間の開きまたはオーバラップが少ない回路であれば、時間スイッチ２１０はどの様な構成でも構わない。

[0078] 上記説明に於いて、受光部１５４がフォトンを検出することで発するパルス信号を時系列で計数する回路としてバイナリカウンタＢＣαを用いた。その理由は、バイナリカウンタＢＣαが比較的単純な回路で構成でき、集積回路として構成した際に、少ない面積で、計数し積算する機能を実現できるからである。また、もう一つの理由は、バイナリカウンタＢＣαが、単純なロジック回路である為、広い動作マージンが得易く、設計が容易であるからである。バイナリカウンタＢＣαにはこの様な利点があるが、必ずしも画素記憶素子Ｍｘ（ｉ，ｊ）は、複数のバイナリカウンタＢＣ１～ＢＣγによって構成する必要は無い。時間スイッチ２１０と組合せて、時系列にほぼ連続して並んだ一連の時間区間毎に、検出されたフォトン数を積算し、記憶する回路であれば他の構成でも良い。また、積算中に途中積算結果を、積算作業に大きな影響を与えずに、読み出しができることが好ましい。

[0079] （信号処理回路ＤＳ）

図８の（ａ）の例を基に、信号処理回路ＤＳの機能を説明する。ある時間ｔでの各バイナリカウンタＢＣαによるパルスのカウント数ＮＣα（ｔ）（時系列に並ぶ一連の積算値群）は、図８の（ａ）に示す例では、カウント数

ＮＣ１（ｔ），ＮＣ２（ｔ），ＮＣ５（ｔ）は、ノイズを除けば、ほぼ等しい値を示し、共に、背景光強度を表している。これらに対して、カウント数ＮＣ３（ｔ），ＮＣ４（ｔ）は、パルス光の反射光を含み、カウント数ＮＣ１（ｔ），ＮＣ２（ｔ），ＮＣ５（ｔ）よりは有意に大きい。これより、受光部１５４と対象物１１との距離は、以下の式で起算される。

[0080] Ｄ（ｔ）＝ｃ・ΔＴ・［１＋｛ＮＣ４（ｔ）－ＮＣ１（ｔ）｝／｛ＮＣ３（ｔ）＋ＮＣ４（ｔ）－２・ＮＣ１（ｔ）｝］／２

ここで、上記の式の意味を図８の（ｂ）を基に説明する。［ ］内の「１」は、パルス光の反射光が入射するまでの時間のうち、期間Ｔａをパルス光の半値幅ΔＴで割った数字である。即ち、当該数字は、パルス光照射開始から、その反射光が入射するまでの時間の内、半値幅ΔＴの整数倍に対応する部分を表しており（時間区間と同じ長さの精度）、図８の（ｂ）に示す例では「１」である。但し、上記の数字は、０以上の整数であり、対象物が遠距離にあれば、この整数は増加するし、短距離にあれば減少する。［ ］内の整数以外の部分は期間Ｔｂに対応している（時間区間より短い精度）。即ち、期間Ｔｂを半値幅ΔＴで割った値は、図中のＢ（＝ＮＣ４（ｔ）－ＮＣ１（ｔ））をＡ（＝ＮＣ３（ｔ）－ＮＣ１（ｔ））およびＢの和で割った値に等しい。従って、期間Ｔｂの長さはΔＴ・Ｂ／（Ａ＋Ｂ））となる。Ａはタイミング Ｔ３の間に測定された反射パルス光強度の積分値であり、Ｂはタイミング Ｔ４の間に測定された反射パルス光強度の積分値である。パルス光のパルス幅と測定する時間長とが同じである為、図８の（ｂ）に示す様に、反射光は多くても２個の隣接する区間でしか検出されない。従って、対象物の距離に依らず、期間Ｔｂの長さは、パルス光の反射光の強度から同様に計算される。また、上記式を２で割っているのは、期間Ｔａおよび期間Ｔｂを合わせた期間に、光は対象物１１との間を往復する為、対象物１１までの距離を求めるのに２で割る必要があるからである。

[0081] 信号処理回路ＤＳは、各画素Ｐｘ（ｉ，ｊ）に対して、距離信号Ｄ（ｉ，ｊ）として、Ｄ（ｔ）を出力することができる。また、信号処理回路ＤＳは

、２次元イメージ情報Ｇ１（ｉ，ｊ），Ｇ２（ｉ，ｊ）として、下記の情報を出力することができる。

[0082] 背景光信号：Ｇ１（ｉ，ｊ）＝ＮＣ１（ｔ）

パルス光反射光信号：Ｇ２（ｉ，ｊ）＝ＩＣ（ｔ）＝ＮＣ３（ｔ）＋ＮＣ４（ｔ）－２・ＮＣ１（ｔ）

この様に、本実施形態では、パルスのカウント数ＮＣα（ｔ）の内、ノイズレベルより大きい積算値を求め、求めた大きい積算値と時間的に隣接する積算値のペアを求め、そのカウント数から、対象物までの距離を、時間区間より短い精度で算出する事が出来る。ＴＣＳＰＣの様に、単純に、ＮＣα（ｔ）の最大値を示す時間帯から飛行時間を決定する方法では、ｃ・ΔＴ／２の精度でしか光の飛行時間を決定できない（Ｄ（ｔ）の[ ]内の整数部分）。従って、ＴＣＳＰＣの様な方式の場合には、飛行時間測定の精度を上げる為には、ΔＴを小さくし、ＮＣα（ｔ）の個数を増やす必要が有る。このようにすれば、回路規模を増大させる為、信号記憶処理部１５５の面積を増やし、コストを上昇させてしまう。しかし、本実施形態では、ΔＴを小さくしてＮＣα（ｔ）の個数を増やすこと無く、時間的に隣接する複数のＮＣα（ｔ）を用いることで、ｃ・ΔＴ／２以下の精度の飛行時間決定が可能となり（Ｄ（ｔ）の[ ]内の整数以外の部分）、対象物までの距離測定精度を高めることが出来る。

[0083] 〈信号処理回路ＤＳによる信号処理〉

基本的には、上記の様な考えに沿って出力信号を測定するが、実際のカウント値はノイズを含む為、より注意深い判断が必要である。図９は、信号処理回路ＤＳによる信号処理の手順を示すフローチャートである。

[0084] ここでは、画素Ｐｘ（ｉ，ｊ）の測定について述べる。信号処理回路ＤＳは、各画素Ｐｘ（ｉ，ｊ）の出力信号をシリアルに処理しても良いし、複数の演算回路を有し、各画素Ｐｘ（ｉ，ｊ）の出力信号を並列に処理しても良い。

[0085] まず、信号処理回路ＤＳは、画素記憶素子Ｍｘ（ｉ，ｊ）からカウント数

ＮＣ１（ｔ）～ＮＣγ（ｔ）を読み出し、信号処理回路ＤＳ内のメモリに記憶する（ステップＳ２２１）。カウント数ＮＣα（ｔ）は、少ない場合、ノイズを無視できない為、ノイズレベルΔＮ（ｔ）以下の差を有意と見做すことはできない。そこで、信号処理回路ＤＳは、ノイズレベルΔＮ（ｔ）を決定する（ステップＳ２２２）

通常、暗電流ノイズ、１／ｆノイズ、熱雑音等、種々のノイズが存在するが、フォトンの数量計測に於いて、最も大きなノイズはショットノイズである。通常、検出フォトン数Ｎ（平均値）に対して、√Ｎに比例するショットノイズが付随する。従って、基本的にカウント数ＮＣα（ｔ）は√ＮＣα（ｔ）に比例するノイズを有していると考えなければならない。特に背景光に対して有意に大きな信号を見出す必要がある場合には、カウント数ＮＣ１（ｔ）より、ノイズレベルΔＮ（ｔ）＝Ａ・√ＮＣ１（ｔ）（Ａは定数）だけ大きな信号でなければ、有意に大きな信号と見做せない。

[0086] より厳しい条件として、次式に示すようにしてもよい。

[0087] ΔＮ（ｔ）＝Ａ・√ＮＣ１（ｔ）＋Ｂ（Ｂは定数）

上式において、Ａ≧１，Ｂ≧０である。Ａを大きくすることで、ショットノイズによる信号を対象物と見誤る誤検出を低減できる。この様な誤検出を無視できるレベルに低減する為には、Ａを３以上とすることが好ましく、４以上が更に好ましい。Ｂは暗電流ノイズ等の、ショットノイズ以外のノイズ成分である。

[0088] 上記では、ノイズレベルΔＮ（ｔ）の決定に当たって、パルス光の反射光を含まず、背景光信号のみを含むカウント数ＮＣ１（ｔ）を用いたが、他の方法でノイズレベルΔＮ（ｔ）を決定しても良い。例えば、カウント数ＮＣ１（ｔ）を計測せずに、カウント数ＮＣ２（ｔ）からカウント数ＮＣγ（ｔ）を計測し、カウント数ＮＣ２（ｔ）からカウント数ＮＣγ（ｔ）の平均値Ａｖｅ（ＮＣα（ｔ））を基に、次の式に基づいて計算しても良い。

[0089] ΔＮ（ｔ）＝Ａ・√Ａｖｅ（ＮＣα（ｔ））＋Ｂ

多くの場合、カウント数ＮＣ２（ｔ）から計測したカウント数ＮＣγ（ｔ

）の中で、パルス光の反射光信号を含むカウント数は、１個乃至は２個であり、多くのカウント数は背景光信号のみを含む。従って、Ａｖｅ（ＮＣα（ｔ））は背景光の平均値に極めて近い。γが大きい程、背景光信号の平均値とＡｖｅ（ＮＣα（ｔ））の差は小さくなる。また、見方を変えれば、上式はノイズレベルΔＮ（ｔ）を大き目に評価している為、ノイズレベルΔＮ（ｔ）を大き目に見積もることとなり、誤検出を減らすことが出来る。尚、ＮＣα（ｔ）の平均値を求める際には、ＮＣ２からＮＣγまでの全ての平均ではなく、一部の平均値を用いても良い。また、Ａｖｅ（ＮＣα（ｔ））を用いて、ΔＮ（ｔ）を求める場合には、ＮＣ１（ｔ）を求める為のＢＣ１は省略することが出来る。

[0090] 但し、厳密に２乗根を求めると回路規模が増え、計算時間が長くなる為、近似値で代替えすることも可能である。例えば、カウント数ＮＣ１（ｔ）の最上位ビットがｋ桁目にある場合、ｋ／２桁目（ｋが奇数の場合は切り上げる）に最上位ビットを有する数をノイズレベルΔＮ（ｔ）とするか、或いは、ｋ／２桁目（ｋが奇数の場合は切り上げる）に最上位ビットを有し、その下位ビットも１である数をノイズレベルΔＮ（ｔ）とする等の、近似法を用いることも可能である。

[0091] 次に、カウント数ＮＣ２（ｔ）からカウント数ＮＣγ（ｔ）までの中から、カウント数ＮＣ１（ｔ）より有意に大きい物を探すループ処理を実行する（ステップＳ２２３～Ｓ２２６）。信号処理回路ＤＳは、このループ処理の最初で、αの初期値を例えば２に設定し（ステップＳ２２３）、次に、αがバイナリカウンタ総数γ以下である否かを判定する（ステップＳ２２４）。ステップＳ２２４において、信号処理回路ＤＳは、αがバイナリカウンタ総数γ以下であると判定すると（ステップＳ２２４のＹＥＳ）、このαについて、次式で表される条件を満たしているか否かを判定する（ステップＳ２２５）。

[0092] ＮＣα（ｔ）＞ＮＣ１（ｔ）＋ΔＮ

ステップＳ２２４において、信号処理回路ＤＳは、上記のαについて、上

式で表される条件を満たしていると判定すると（ステップＳ２２５のＹＥＳ）、そのときのαをβとする（ステップＳ２２６）。一方、ステップＳ２２４において、信号処理回路ＤＳは、上記のαについて、上式で表される条件を満たしていないと判定すると（ステップＳ２２５のＮＯ）、そのときのαに１を加算して（ステップＳ２２７）、処理をステップＳ２２４に戻す。カウント数ＮＣβ（ｔ）がノイズレベルより大きい積算値であり、カウント数ＮＣ（β＋１）（ｔ）がその時間的に隣接する積算値である。カウント数ＮＣβ（ｔ）とカウント数ＮＣ（β＋１）（ｔ）とのペアが抽出される。

[0093] 信号処理回路ＤＳは、βが定まれば、次式に従って、測定結果を演算する（ステップＳ２２８）。

[0094] ＩＣ（ｔ）＝ＮＣβ（ｔ）＋ＮＣ（β＋１）（ｔ）－２・ＮＣ１（ｔ）

Ｄ（ｔ）＝ｃ・ΔＴ・［（β－２）＋｛ＮＣ（β＋１）（ｔ）－ＮＣ１（ｔ）｝／ＩＣ（ｔ）］／２

信号処理回路ＤＳは、上記の演算の結果により、次の距離情報Ｄ（ｉ，ｊ）および２次元イメージ情報Ｇ１（ｉ，ｊ），Ｇ２（ｉ，ｊ）を得る（ステップＳ２２９）。信号処理回路ＤＳは、算出した、距離情報Ｄ（ｉ，ｊ）および２次元イメージ情報Ｇ１（ｉ，ｊ），Ｇ２（ｉ，ｊ）をメモリに蓄えて、適宜、外部システム３００に出力する。

[0095] また、ステップＳ２２４において、信号処理回路ＤＳは、αがバイナリカウンタ総数γを超えると判定すると（ステップＳ２２４のＮＯ）、測定可能範囲に対象物１１が無いと判断し、Ｄ（ｔ）＝ＤｍａｘおよびＩＣ（ｔ）＝０という結果を出して（ステップＳ２３０）、処理をステップＳ２２９に移行する。

[0096] 信号処理回路ＤＳは、この様にして、距離情報Ｄ（ｉ，ｊ）および２次元イメージ情報Ｇ１（ｉ，ｊ），Ｇ２（ｉ，ｊ）を算出し、記憶し、且つ、外部システム３００に出力する。信号処理回路ＤＳによる、距離情報Ｄ（ｉ，ｊ）および２次元イメージ情報Ｇ１（ｉ，ｊ），Ｇ２（ｉ，ｊ）の具体的な算出方法はこれに限定されず、様々なアルゴリズムを採用することが可能で

ある。

[0097] 〈本実施形態の効果〉

本実施形態では、３次元画像素子１５３に於いて、バイナリカウンタＢＣαによって、多数のレーザパルス光の測定結果（フォトン数）を積算することで、ＳＮ比を改善し、距離情報を得ることができる。例えば、背景光の強度が１００である場合、背景光のショットノイズは√１００＝１０のオーダーとなる。パルス光の反射光の強度が１０である場合、反射光の強度が背景光のノイズと同程度となり、１回の測定では、確実に検出できない。しかし、１００回の測定結果を積算すれば、背景光の強度は１００００となり、ショットノイズは１００のオーダーとなる。一方、パルス光の反射光の強度は１０００となり、背景光のノイズより１桁大きくなり、確実に検出できる値となる。本実施形態では、全ての画素Ｐｘ（ｉ，ｊ）に対して、この積算をデジタルで、並列的に実行する仕組みを、シリコンで実現することができる。従って、背景光が強い環境でも、距離測定範囲を広げる光レーダー装置１００を安価に提供することができる。

[0098] また、本実施形態の画素記憶素子Ｍｘ（ｉ，ｊ）は、バイナリカウンタＢＣαが、画素Ｐｘ（ｉ，ｊ）によって電気パルスとして検出されたフォトン数をカウントする機能と、信号処理回路ＤＳが上記のカウントの結果を読み出す機能とを、並行して実行できる。これにより、１フレームが終わるまで、測定結果が取り出せないと言うことが無く、１フレームの途中であっても、測定結果を取り出すことができる。

[0099] 例えば、フレーム周波数が３０Ｈｚの場合、１フレームのデータ取得に１／３０（秒）の時間を使用することができ、パルス発光周期が１８ｋＨｚの場合、１フレームのデータを得る為に、６００（＝１／３０×１８，０００）発のパルス発光を積算することができる。対象物１１が短距離に位置している場合、１発のパルス発光でもデータを得ることができる場合が有る。他方で、遠方の対象物１１は、多数のパルス発光データを積算しないと、データが得られない。

[0100] 従って、途中の測定結果が得られることで、光レーダー装置１００に近い対象物１１に関する情報を、より早く出力することができる。例えば、光レーダー装置１００が搭載された自動車やロボットの直近の物体を１／３０（秒）でも早く検出し、自動車、ロボット等の制御系にアラームを発することで、衝突を防止することができる。数ｍの短距離にある対象物１１との相対速度が、時速１００ｋｍに達する様な状況は考え難く、時速３０ｋｍであれば、１／３０（秒）に動く距離は３０ｃｍ程度で有り、短い時間では有るが、衝突を回避する可能性を高めることができる。

[0101] ２次元イメージ情報Ｇ１（ｉ，ｊ），Ｇ２（ｉ，ｊ）の内、２次元イメージ情報Ｇ１（ｉ，ｊ）は背景光による情報であり、対象物１１の形状等を認識する上で有用である。特に、通常のイメージセンサからの情報を合わせて用いる場合には、当該情報と、２次元イメージ情報Ｇ１（ｉ，ｊ）とを比較して、双方に共通する対象物１１を特定することで、対象物１１の認識と、その対象物１１と受光部１５４との距離の取得とを行うことができる。更に、誤差が大きい為に距離の特定が難しい場合では、２次元イメージ情報Ｇ２（ｉ，ｊ）の時間経過を捉えることで、対象物１１の接近を判定することができる。具体的には、２次元イメージ情報Ｇ２（ｉ，ｊ）の値が有意に増加すれば、画素Ｐｘ（ｉ，ｊ）に対して対象物１１が接近しているし、２次元イメージ情報Ｇ２（ｉ，ｊ）の値が減少していれば画素Ｐｘ（ｉ，ｊ）に対して対象物１１が遠ざかっている。連続したフレーム間または離れたフレーム間で、２次元イメージ情報Ｇ２（ｉ，ｊ）を比較しても良いし、複数または単数のパルス発光毎に比較しても良い。

[0102] 信号処理回路ＤＳは、Ｍ行Ｎ列の画素Ｐｘ（ｉ，ｊ）について、フォトン数のカウント数をどの様な順で読み出して、カウント数に基づいて距離情報Ｄ（ｉ，ｊ）および２次元イメージ情報Ｇ１（ｉ，ｊ），Ｇ２（ｉ，ｊ）を演算するかの手順を制御しても良い。また、信号処理回路ＤＳは、その制御に利用するメモリを有していても良い。更に、信号処理回路ＤＳは、画素Ｐｘ（ｉ，ｊ）のフォトン検出信号をカウントするタイミングを制御しても良

い。この制御は、例えば、背景光の信号を高精度に計測する為に、図８に示す信号Ｔ１の活性化時間を他の信号Ｔαの活性化時間の数倍にすると言った制御である。

[0103] また、信号処理回路ＤＳは、パルス光を発生するタイミングを制御しても良いし、画素Ｐｘ（ｉ，ｊ）を活性化するタイミングを制御しても良い。例えば、信号処理回路ＤＳは、前述の背景光を測定する為に、画素Ｐｘ（ｉ，ｊ）を活性化し、時間幅ΔＴ１の間にカウント数をＢＣ１に蓄え、時間幅ΔＴ１の時間が経過した時点で、パルス発光する様に、制御素子１６０を介してパルス光照明系１１０へ信号を発する。これにより、時間幅ΔＴ１の時間が経過した時点で信号Ｔ２が活性化する。

[0104] 信号記憶処理部１５５または制御素子１６０は、少なくとも全画素の距離情報Ｄ（ｉ，ｊ）および２次元イメージ情報Ｇ１（ｉ，ｊ），Ｇ２（ｉ，ｊ）情報を蓄積するメモリを有していても良い。信号処理回路ＤＳは、求めたこれらの情報をこのメモリに順次蓄積し、外部システム３００の要求に応じて、制御素子１６０を介して、外部システム３００へ出力しても良い。また、信号処理回路ＤＳは、複数フレーム分もメモリを有している場合には、更に各フレーム間の比較、演算の結果を出力しても良い。

[0105] 〈効果検証〉

上記実施形態に基づいて試作機を作製し、その特性を評価した。パルス光照明系１１０としては、ピーク波長９４５ｎｍを有する３個のＶＣＳＥＬを発光素子１２２として用い、それぞれパルスピーク出力を２５Ｗとし、パルス半値幅１００ｎｓｅｃで発光する様に駆動した。拡散光学系１２３としては、各レーザ素子の光路に拡散板を設けることで、水平照射角θｈ＝９０度と垂直照射角θｖ＝２０度との範囲で、ほぼ均一な照射を実現した。パルス光照明系１１０から３０ｍの距離で、照射領域の中心での照射強度が１２μＷ／ｃｍ２と最も高く、四隅が最も照射強度が低く、最少で１０．６μＷ／ｃｍ２であった。最大および最小値は、平均値に対して±１０％の範囲に納まっていた。レーザパルスの繰り返し発光周波数は、クラス１条件を考慮し

て、１９ｋＨｚとした。毎秒３０フレームの画像取得を想定し、１フレームは最大６３３発のレーザパルス発光に対して、データを蓄積できる様にした。

[0106] 受光系１４０の結像光学系１５１としては、焦点距離が４．５ｍｍであり、Ｆナンバーが１．８であり、有効径が２．５ｍｍであるレンズを用いた。光学バンドパスフィルター１５２としては、室温においてレーザのピーク波長と透過帯のセンター値とが一致する様にセンター波長を選んだ、干渉フィルターを用いた。干渉フィルターは、図２に示す様に、３次元画像素子１５３を収納するパッケージ１７０を密閉するリッドガラス１７１の内側にコーティングした。パッケージ内の雰囲気１７２として、低露点の窒素を用いた。

[0107] 上記干渉フィルターの透過帯の半値幅は１０ｎｍ、平均透過率は５５％であった。ＶＣＳＥＬの発光ピーク波長の温度依存性が０．０７ｎｍ／Ｋであり、干渉フィルターの透過帯のセンター値の０．０２５ｎｍ／Ｋである為、レーザピーク波長と干渉フィルター透過帯センター値との相対的なずれは、８５℃～－４０℃の間で、±２．８ｎｍであった。このずれは、レーザの発光ピークの半値幅１ｎｍを含めても、透過帯幅１０ｎｍの中に納まっており、ＶＣＳＥＬを温度制御無しでも問題無く使用できた。使用する温度帯の中央に位置する温度付近で、発光素子１２２の発光ピーク波長と、光学バンドパスフィルター１５２の透過帯センター値とを合致させることが重要である。

[0108] ３次元画像素子１５３の受光部１５４には、５０μｍ四角の画素Ｐｘ（ｉ，ｊ）を、水平方向に１８０の有効画素数と、垂直方向に４０の有効画素数とが並ぶ様に配置し、計７．２ｋの有効画素より構成した。受光部１５４の有効部分の面積は、９ｍｍ×２ｍｍ＝１８ｍｍ^{2}である。

[0109] 画素Ｐｘ（ｉ，ｊ）には、図４に示す様に、有効検出領域が直径１０μｍの円形のＳＰＡＤ１８０を７個配置した。各ＳＰＡＤ１８０には、底辺サイズが１５μｍのマイクロレンズ１８１を設けている。マイクロレンズの高さ

は、約１０μｍであった。この画素Ｐｘ（ｉ，ｊ）のフィルファクターは２２％であった。各ＳＰＡＤ１８０を、２０ｎｓｅｃのＤｅａｄｔｉｍｅ Ｔｄで動作させた。このマイクロレンズ１８１を有するＳＰＡＤ１８０の実効的量子効率は１０％であった。

[0110] 晴天真昼に９４５ｎｍの赤外光に対する反射率が５０％の白板を置いて、測定した背景光による受光フォトン数は、ＳＰＡＤ１８０の１個、１００ｎｓｅｃ当たり平均０．２９個であった。従って、７個のＳＰＡＤ全体の背景光よりのフォトン検出数は、１００ｎｓｅｃ当たり平均で１．９個であった。１．０ｎｓｅｃ幅の画素信号のパルスでカウントする場合に、ほぼ同時に複数個のフォトンが検出され、アンダーカウントする可能性は２％程度あるが、カウント結果に大きな影響を及ぼす数値では無い。

[0111] ３次元画像素子１５３の受光部１５４と信号記憶処理部１５５との間には、各画素Ｐｘ（ｉ，ｊ）と対応する画素記憶素子Ｍｘ（ｉ，ｊ）を結ぶ信号線Ｌｘ（ｉ，ｊ）を配置している。図３に示す様に、受光部１５４の一方の辺側に信号記憶処理部１５５を配置すると、少なくとも４０本の配線を５０μｍ幅の中に配置させる必要が有る。配線を１μｍピッチで配置すれば、１層配線でも実現できるが、電源線や他の配線も必要であることから、上層配線の２層分で信号線Ｌｘ（ｉ，ｊ）を構成した。その長さは２．５ｍｍ程度であり、配線遅延時間は、信号線Ｌｘ（ｉ，ｊ）の寄生容量を充電する信号線ドライブ回路１９７のドライブ能力律速となる。信号線ドライブ回路１９７に使用できる面積には限界が有り、数１００ｐｓｅｃ程度の遅延時間が発生する。そこで、図６に示すフォトン検出信号発生部１９１の遅延回路１９４の遅延時間を５００ｐｓｅｃとした。一方、画素信号出力回路１９６の遅延回路１９９の遅延時間を７００ｐｓｅｃとした。

[0112] 図７に示す画像記憶素子Ｍｘ（ｉ，ｊ）は、４個のバイナリカウンタＢＣ１～ＢＣ４を有している。バイナリカウンタＢＣ１，ＢＣ４は１２ビットのバイナリカウンタであり、バイナリカウンタＢＣ２は１６ビットのバイナリカウンタであり、バイナリカウンタＢＣ３は１３ビットのバイナリカウンタ

である。バイナリカウンタＢＣ２，ＢＣ３については、３次元画像素子１５３からの距離が短い対象物１１からの強いレーザパルス反射光を受けて、カウント数が大きくなる可能性が有る為、ビット数を増やした。

[0113] バイナリカウンタＢＣ１～ＢＣ４の出力ビット数（ｇ１～ｇ４）が計５３（＝１２＋１６＋１３＋１２）有る為、列信号線Ｃ（ｊ）を５３本の並列配線で構成するのは難しい。この為、列信号線Ｃ（ｊ）を構成する信号線の数が、バイナリカウンタＢＣ１～ＢＣ４のうちの最大の出力ビット数以上であることが必要となる。この為、列信号線Ｃ（ｊ）を、最大の出力ビット数であるバイナリカウンタＢＣ２の１６ビットに対応する様に、１６本の信号線で構成し、バイナリカウンタ毎にデータを読む出す必要が有る。従って、行選択回路１６１は、各行について、行選択信号線Ｒ１（ｉ），Ｒ２（ｉ），Ｒ３（ｉ），Ｒ４（ｉ）を順次選択する。出力スイッチ２１１は、行選択信号線Ｒ１（ｉ），Ｒ２（ｉ），Ｒ３（ｉ），Ｒ４（ｉ）が活性化されるに従い、それぞれ該当するバイナリカウンタＢＣ１，ＢＣ２，ＢＣ３，ＢＣ４の出力データを列信号線Ｃ（ｊ）に順次送り出す。

[0114] 信号処理回路ＤＳは、回路規模を縮小する為に、演算回路を一系統のみとした。また、信号処理回路ＤＳを、各バイナリカウンタＢＣ１～ＢＣ４のデータを一時記憶するメモリ、距離演算等を実行する為の１６ビットマイクロコンピュータ等により構成した。マイクロコンピュータを用いることで、距離抽出に用いるアルゴリズムを変更することができる。バイナリカウンタＢＣ１～ＢＣ４のビット数の最大値以上のビット数（この場合、１６ビット）のマイクロコンピュータを用いることで、距離抽出の速度を向上でき、パルス発光の間の時間（約５０μｓｅｃ）で、全画素の距離抽出が可能である。既存のマイクロコンピュータを用いることで、設計期間は短縮されるが、信号処理回路ＤＳの面積が増加し、コストが上昇する。そこで、信号処理回路ＤＳの面積を縮小し、低コスト化する為には、専用回路を設計することもできる。

[0115] 信号処理回路ＤＳは、上記マイクロコンピュータの機能を使って、画素記

憶素子Ｍｘ（ｉ，ｊ）をどの様な順に処理するかをプログラムすることができる。例えば、自動車の周囲監視に用いる光レーダー装置１００の場合、通常は、視野の上端よりも、下端に障害物が現れる可能性が高い。この場合、視野下部から上部に向かって処理することが好ましい。また、自動車の後部左角に配置される光レーダー装置１００では、後退時には視野左端部からチェックすれば、より早く障害物を検出できる。また、前方に子供や老人を発見した場合に、その人物付近を集中的にチェックすることもできる。

[0116] 信号処理回路ＤＳは、各画素Ｐｘ（ｉ，ｊ）当たり３２ビットの容量のメモリ（２３０ｋｂ）を有している。このメモリは、２次元イメージ情報Ｇ２（ｉ，Ｊ）をフレーム間で蓄積することで、距離情報の精度を向上したり、その積算値を記憶し、且つ、別の計測値または積算値と比較することで、接近や離脱を検出したりすることができる。

[0117] 信号処理回路ＤＳを０．１３μｍのプロセスでレイアウトした場合、信号処理回路ＤＳの面積は、２ｍｍ×２ｍｍ、画素記憶素子Ｍｘ（ｉ，ｊ）の面積は、５０μｍ×２０μｍであり、３次元画像素子１５３の大きさは、１０ｍｍ×５．５ｍｍであった。また、信号処理回路ＤＳは、距離抽出のアルゴリズム、画素記憶素子Ｍｘ（ｉ，ｊ）の走査順序、等の動作条件を記憶する為の、不揮発性メモリも内蔵している。

[0118] 光レーダー装置１００を用いて、９４５ｎｍの赤外光に対する反射率が５０％の白板を対象物１１として、晴天、曇天、夜間の３条件で、測定可能範囲でパルス光を調べた。晴天の昼間では、１回のパルス光照射によって得られたバイナリカウンタＢＣ１，ＢＣ２，ＢＣ３，ＢＣ４のカウント数の平均値は、２ｍの距離では、それぞれ、１．９、７．５、２．０、１．９であり、近傍に対象物１１が存在することを捕えることができた。この結果、３．５ｍまでの対象物１１を検出することができた。従って、１回のパルス光の測定結果によって、この様に、直近の対象物１１が何処に在るか捕え、その結果を外部システム３００へ伝えることができる。

[0119] 一方、バイナリカウンタＢＣ３とバイナリカウンタＢＣ１との相違は、１

回の測定では誤差の範囲であり、受光部１５４と対象物１１との距離は特定できなかった。しかし、この様な測定を繰り返し、バイナリカウンタＢＣ２のカウント数の時間的な変化を追うことで、同じ画素Ｐｘ（ｉ，ｊ）に対応するバイナリカウンタＢＣ２のカウント数が増加する際には距離が近づいており、減少する際には遠ざかっていると判断できる。この様な判断に基づいて、フレーム毎にパルス光反射強度を出力することは有用である。

[0120] パルス光を最大数６３３（＝１／３０×１９，０００）まで積算した場合、距離が１９ｍ以下では、対象物１１を捕えられたが、距離を推定できたのは９ｍまででであった。従って、９ｍから１９ｍまでは、２次元イメージ情報Ｇ２（ｉ，ｊ）の値の変化を追う必要がある。

[0121] 曇天では、パルス光を最大数６３３まで積算した場合、距離が３０ｍ以下では、対象物１１を捕えられたが、距離を推定できたのは２３ｍまででであった。同様に夜間では、３０ｍ超まで対象物１１を捕えることができ、２５．５ｍまで距離を推定できた。夜間等、周囲が暗く、通常のカメラ映像によって、周囲を監視でき難い場合でも、本実施形態の３次元画像素子１５３によれば、距離情報も含めて、周囲の３次元情報を収集することができる。

[0122] 〔実施形態２〕

本発明の実施形態２について図１０に基づいて説明すれば、以下の通りである。

[0123] 図１０は、本実施形態に係る光レーダー装置１００の３次元画像素子１５３における信号処理回路ＤＳによる信号処理の手順を示すフローチャートである。

[0124] 本実施形態に係る光レーダー装置１００は、信号処理回路ＤＳの距離抽出アルゴリズムが実施形態１と異なる以外は、実施形態１と同じである。実施形態１の距離抽出アルゴリズムは、単純であるが、カウント数ＮＣβ（ｔ）とカウント数ＮＣ１（ｔ）との差が小さい場合や、ＮＣ（β＋１）（ｔ）とＮＣ１（ｔ）の差が小さい場合、測定誤差の影響を受け易い。この点を改善したのが、以下に説明するアルゴリズムである。図１０は、本実施形態に係

る光レーダー装置１００の３次元画像素子１５３における信号処理回路ＤＳによる信号処理の手順を示す模式図である。

[0125] 図１０に示すように、信号処理回路ＤＳは、まず、図９に示すステップＳ２２１，Ｓ２２２の処理を行った後、ＮＣα（ｔ）の最大値を探すループ処理を実行する（ステップＳ２４０～Ｓ２４３）。信号処理回路ＤＳは、このループ処理の最初で、αの初期値を例えば２に設定し、βの初期値を１に設定する（ステップＳ２４０）、次に、αがバイナリカウンタ総数γ以下であるか否かを判定する（ステップＳ２４１）。ステップＳ２４１において、信号処理回路ＤＳは、αがバイナリカウンタ総数γ以下であると判定すると（ステップＳ２４１のＹＥＳ）、上記のαおよびβについて、次式で表される条件を満たしているか否かを判定する（ステップＳ２４２）。

[0126] ＮＣα（ｔ）＞ＮＣβ（ｔ）

ステップＳ２４２において、信号処理回路ＤＳは、上記のαおよびβについて、上式で表される条件を満たしていると判定すると（ステップＳ２４２のＹＥＳ）、そのときのαをβとする（ステップＳ２４３）。一方、ステップＳ２４２において、信号処理回路ＤＳは、上記のαおよびβについて、上式で表される条件を満たしていないと判定すると（ステップＳ２４２のＮＯ）、βの値は変えない。いずれの場合も（ステップＳ２４２のＹＥＳおよびＮＯ）、そのときのαに１を加算して（ステップＳ２４４）、処理をステップＳ２４１に戻す。

[0127] また、ステップＳ２４１において、信号処理回路ＤＳは、αがバイナリカウンタ総数γを超えると判定すると（ステップＳ２４１のＮＯ）、ＮＣα（ｔ）の最大値が決定されると共に、βの値も決定される。

[0128] 次いで、信号処理回路ＤＳは、上記のβについて、次式で表される条件を満たしているか否か、即ち、カウント数ＮＣβ（ｔ）とカウント数ＮＣ１（ｔ）との差が、ノイズレベルΔＮより大きいか否かを判定する（ステップＳ２４５）。

[0129] ＮＣβ（ｔ）＞ＮＣ１（ｔ）＋ΔＮ

ステップＳ２４５において、信号処理回路ＤＳは、上記のβについて、上式で表される条件を満たしていると判定した場合（ステップＳ２４５のＹＥＳ）、カウント数ＮＣβ（ｔ）が有意にカウント数ＮＣ１（ｔ）より大きいと言える。この場合、信号処理回路ＤＳは、上記のβについて、更に次式で表される条件を満たしているか否かを判定する（ステップＳ２４６）。

[0130] ＮＣ（β＋１）（ｔ）＞ＮＣ（β－１）（ｔ）

ステップＳ２４６において、信号処理回路ＤＳは、上記のβについて、上式で表される条件を満たしていると判定すると（ステップＳ２４６のＹＥＳ）、ηをβ＋１とする（ステップＳ２４７）。ステップＳ２４６において、信号処理回路ＤＳは、上記のβについて、上式で表される条件を満たしていないと判定すると（ステップＳ２４６のＮＯ）、ηをβ－１とする（ステップＳ２４８）。

[0131] 信号処理回路ＤＳは、ステップＳ２４７，Ｓ２４８の後、上記のηについて、次式で表される条件を満たしているか否か、即ち、カウント数ＮＣη（ｔ）とカウント数ＮＣ１（ｔ）との差が、ノイズレベルΔＮより大きいか否かを判定する（ステップＳ２４９）。

[0132] ＮＣη（ｔ）＞ＮＣ１（ｔ）＋ΔＮ

ステップＳ２４９において、信号処理回路ＤＳは、上記のβについて、上式で表される条件を満たしていないと判定した場合（ステップＳ２４５のＮＯ）、カウント数ＮＣη（ｔ）が有意にカウント数ＮＣ１（ｔ）より大きいと言えない。この場合、信号処理回路ＤＳは、βおよびηが定まれば、次式に従って、測定結果を演算する（ステップＳ２５０）。

[0133] ＩＣ（ｔ）＝ＮＣβ（ｔ）＋ＮＣη（ｔ）－２・ＮＣ１（ｔ）

Ｄ（ｔ）＝ｃ・ΔＴ・（β－２）／２

信号処理回路ＤＳは、上記の演算の結果により、次の距離情報Ｄ（ｉ，ｊ）および２次元イメージ情報Ｇ１（ｉ，ｊ），Ｇ２（ｉ，ｊ）を得る（ステップＳ２５１）。信号処理回路ＤＳは、算出した、距離情報Ｄ（ｉ，ｊ）および２次元イメージ情報Ｇ１（ｉ，ｊ），Ｇ２（ｉ，ｊ）をメモリに蓄えて

、適宜、外部システム３００に出力する。

[0134] また、ステップＳ２４９において、信号処理回路ＤＳは、上記の条件を満たしていると判定した場合（ステップＳ２４９のＹＥＳ）、カウント数ＮＣη（ｔ）がカウント数ＮＣ１（ｔ）より有意に大きいと言える。この場合、信号処理回路ＤＳは、βがηより小さいか否かを判定する（ステップＳ２５２）。

[0135] ステップＳ２５２において、信号処理回路ＤＳは、βがηより小さいと判定すると、次式に従って測定結果を演算して（ステップＳ２５３）、処理をステップＳ２５１に移行する。

[0136] ＩＣ（ｔ）＝ＮＣβ（ｔ）＋ＮＣη（ｔ）－２・ＮＣ１（ｔ）

Ｄ（ｔ）＝ｃ・ΔＴ・［（β－２）＋｛ＮＣη（ｔ）－ＮＣ１（ｔ）｝／ＩＣ（ｔ）］／２

また、ステップＳ２５２において、信号処理回路ＤＳは、βがηより小さくない（βがη以上である）と判定すると、次式に従って測定結果を演算して（ステップＳ２５４）、処理をステップＳ２５１に移行する。

[0137] ＩＣ（ｔ）＝ＮＣβ（ｔ）＋ＮＣη（ｔ）－２・ＮＣ１（ｔ）

Ｄ（ｔ）＝ｃ・ΔＴ・［（β－２）－｛ＮＣη（ｔ）－ＮＣ１（ｔ）｝／ＩＣ（ｔ）］／２

そして、ステップＳ２４５において、信号処理回路ＤＳは、上記のβについて、上記の条件を満たしていないと判定した場合（ステップＳ２４５のＮＯ）、測定可能範囲に対象物１１が無いと判断し、Ｄ（ｔ）＝ＤｍａｘおよびＩＣ（ｔ）＝０という結果を出して（ステップＳ２５６）、処理をステップＳ２５１に移行する。

[0138] 信号処理回路ＤＳは、この様にして、距離情報Ｄ（ｉ，ｊ）および２次元イメージ情報Ｇ１（ｉ，ｊ），Ｇ２（ｉ，ｊ）を算出し、記憶し、且つ、外部システム３００に出力する。上記のアルゴリズムでは、βとηとの大小関係に応じて（ステップＳ２５２）、それぞれステップＳ２５３，Ｓ２５４の式で距離等が計算される。これにより、最も確度の高い距離を得ることがで

きる。

[0139] 〔実施形態３〕

本発明の実施形態３について図１１に基づいて説明すれば、以下の通りである。

[0140] 図１１は、本実施形態に係る光レーダー装置１００を構成する３次元画像素子１５３の構成を示すブロック図である。

[0141] 本実施形態と実施形態１との本質的な相違は、画素記憶素子Ｍｘ（ｉ，ｊ）を構成するバイナリカウンタＢＣαの最大数を２１個に増やした点にある。距離測定精度を向上させる為に、パルス光の半値幅ΔＴを、実施形態１の１／１０になる様に、ΔＴ＝１０ｎｓｅｃまで小さくした。また、距離推定アルゴリズムは実施形態２のアルゴリズムを用いた。以下に、その詳細を説明する。

[0142] ΔＴ＝ΔＴα＝１０ｎｓｅｃ（α＞１）とすることで、時間分解能を向上できるが、バイナリカウンタＢＣαが２１個に増える為、画素記憶素子Ｍｘ（ｉ，ｊ）の面積が増大する。そこで、図１１に示す様に、３次元画像素子１５３は、分割された信号記憶処理部１５５ａ，１５５ｂを有している。信号記憶処理部１５５ａ，１５５ｂは、受光部１５４の両側に配置されており、信号記憶処理部１５５ａは図中下側に配置され、信号記憶処理部１５５ｂは図中上側に配置されている。

[0143] 受光部１５４は、実施形態１における受光部１５４から本質的には変更されていない。信号記憶処理部１５５ａは、受光部１５４に於ける、信号記憶処理部１５５ａ側の半分に位置する２０行の画素Ｐｘ（ｉ，ｊ）の信号処理を行う。信号記憶処理部１５５ｂは、受光部１５４に於ける、信号記憶処理部１５５ｂ側の半分に位置する２０行の画素Ｐｘ（ｉ，ｊ）の信号処理を行う。

[0144] また、バイナリカウンタＢＣαのビット数は、各バイナリカウンタＢＣαが計数し得る最大信号値を考慮して、１６ビットから１２ビットまでバイナリカウンタ毎に変更した。バイナリカウンタＢＣ１，ＢＣ２，ＢＣ３，ＢＣ

４，ＢＣ５のビット数を、それぞれ、１６ビット、１７ビット、１５ビット、１４ビット、１３ビットとした。また、バイナリカウンタＢＣ６～ＢＣ２２のビット数を１２ビットとした。

[0145] バイナリカウンタＢＣ１～ＢＣ２１の数が大きく増えたことで、信号線Ｌｘ（ｉ，ｊ）に繋がる、時間スイッチ２１０を構成するトランジスタの数が増加する。その結果、信号線Ｌｘ（ｉ，ｊ）の負荷が増え、信号遅延が大きくなる恐れがある為、時間スイッチ２１０の最前段にバッファを追加した。これは、画素記憶素子Ｍｘ（ｉ，ｊ）の面積が大きくなったことによって、信号線Ｌｘ（ｉ，ｊ）の配線長が長くなる部分が生じるが、これによる配線遅延対策ともなっている。

[0146] 信号記憶処理部１５５ａ，１５５ｂは、それぞれ、行選択回路１６１ａ，１６１ｂと、列選択回路１６２ａ，１６２ｂと、列信号線Ｃａ（ｊ），Ｃｂ（ｊ）と、信号処理回路ＤＳａ，ＤＳｂとを有している。信号処理回路ＤＳａ，ＤＳｂは、扱うデータ量が増える為、データ処理に関しては同じ能力をそれぞれ備えている。従って、信号記憶処理部１５５ａ，１５５ｂは、それぞれの領域のデータ処理を平行して行うことができる。

[0147] 信号処理回路ＤＳａ，ＤＳｂは、演算回路をそれぞれ一系統ずつ有している。但し、レーザ発光タイミングの制御、画素Ｐｘ（ｉ，ｊ）の活性化タイミング制御、Ｍ行Ｎ列（アレイ状）の画素Ｐｘ（ｉ，ｊ）からの信号の読み出し、演算手順の制御、メモリの管理、出力制御、等の機能については、信号処理回路ＤＳａのみが備えている。

[0148] 本実施形態では、レーザパルスの半値幅を１０ｎｓｅｃと短くした為、繰り返し周波数を１９０ｋＨｚまで増加した。従って、フレーム間隔が１／３０ｓｅｃの場合、最大６３３３（＝１／３０×１９０，０００）発のパルスに対して、データを蓄積できる。平均的なパルス光の発光間隔が約５μｓｅｃとなる為、１回のパルス発光毎にデータを処理することは難しいが、画素記憶素子Ｍｘ（ｉ，ｊ）へのデータの蓄積と並行して、画素記憶素子Ｍｘ（ｉ，ｊ）からのデータ読み出しができる為、読み出しは任意のタイミング実

行できる。

[0149] 本実施形態の３次元画像素子１５３は、大きさが１０ｍｍ×９ｍｍ＝９０ｍｍ２であり、実施形態１の３次元画像素子１５３に比べて拡大されている。しかし、以下に示す様に、本実施形態の３次元画像素子１５３の距離測定精度は、実施形態１の３次元画像素子１５３に比べて向上した。３次元画像素子１５３は、晴天の昼間に於いて、１／３０ｓｅｃのフレーム周期という最大積算条件で、１９ｍまで対象物１１を識別した。また、６ｍを超え、且つ、１９ｍ以下の範囲の距離での最大測定誤差は１ｍで有った。６ｍ以下、且つ、１ｍ以上の範囲の距離での最大測定誤差は０．３１ｍで有った。９ｍを超える距離測定については、実施形態１では、ＩＣ（ｔ）の時間変化を参照する以外には難しかったが、本実施形態では、誤差は有るものの、１９ｍまで測定できている。

[0150] 同様に、曇天および夜間でも、本実施形態の３次元画像素子１５３による測定精度は向上している。曇天では、３次元画像素子１５３は、３０ｍまで離れた対象物１１を認識しており、３０ｍまでの最大距離測定誤差が０．５ｍであった。また、夜間では、３次元画像素子１５３は、３０ｍの距離まで離れた対象物１１を認識しており、最大測定誤差は０．３ｍであった。

[0151] 短時間の測定に関しても改善が見られる。晴天の昼間の場合、１０発のパルス発光の蓄積で、３ｍまでの対象物１１を捕え、距離は最大誤差０．５ｍで測定できた。また、１００発のパルスによる画素記憶素子Ｍｘ（ｉ，ｊ）への信号の蓄積では、３ｍ以内の距離で、０．２７ｍの最大誤差で測定できた。実施形態１では、距離測定は難しかったが、本実施形態では、ラフながら短時間で距離まで測定できる様に改善されている。

[0152] 〔実施形態４〕

本発明の実施形態４について説明すれば、以下の通りである。

[0153] 本実施形態は、実施形態３と次の点で異なるが、それ以外は実施形態３から基本的には変更されていない。本実施形態では、画素記憶素子Ｍｘ（ｉ，ｊ）を構成するバイナリカウンタＢＣαのビット数を、全てのバイナリカウ

ンタＢＣαについて、設計を容易にする為に１２ビットに統一した。

[0154] 測定中に、受光部１５４と対象物１１との距離が短い画素Ｐｘ（ｉ，ｊ）においては、バイナリカウンタＢＣ２，ＢＣ３等のバイナリカウンタがオーバーフローを生じる場合が有る。しかし、その様な画素Ｐｘ（ｉ，ｊ）においては、バイナリカウンタがオーバーフローするまでに、既に十分な精度で距離測定ができる為、オーバーフローする前に測定結果を確定し、結果をメモリに蓄えて置くことで、実質的に問題は生じない。

[0155] 実施形態１で説明した、信号処理回路ＤＳが有する、各画素Ｐｘ（ｉ，ｊ）当たり３２ビットの容量のメモリ（２３０ｋｂ）を、本実施形態にも転用しても良いし、新たに各画素当たり１２ビットの容量のメモリ（８６ｋｂ）を加えても良い。因みに、１２ビットは、３０ｍまでの距離をｃｍ単位で２ビット整数で記述するのに十分なビット数である。

[0156] 図１０に示す距離決定するフローチャートに於いて、ステップＳ２４０～Ｓ２４３のループで決定されたＮＣβ（ｔ）が一定値（例えば2^{11}＝２０４８）を越えた時点で、該当する画素記憶素子Ｍｘ（ｉ，ｊ）の読み出しを停止すれば良い。同時に、ステップＳ２５１で得られた距離情報Ｄ（ｉ，ｊ）を、前述の８６ｋｂのメモリに蓄積する。また、２次元イメージ情報Ｇ１（ｉ，ｊ），Ｇ２（ｉ，ｊ）に関しては、１９０ｋＨｚのレーザパルス発光について積算した画素と対応させる為に、測定時のパルス数をＮＩとすると、何れも（６３３３／ＮＩ）倍して２３０ｋｂのメモリに蓄積しなければならない。

[0157] 〔ソフトウェアによる実現例〕

図３に示す信号処理回路ＤＳおよび図１１に示す信号処理回路ＤＳａ，ＤＳｂは、集積回路（ＩＣチップ）等に形成された論理回路（ハードウェア）によって機能を実現してもよいし、上述のように、マイクロコンピュータを用いてソフトウェアによって機能を実現してもよい。

[0158] 後者の場合、信号処理回路ＤＳ，ＤＳａ，ＤＳｂは、各機能を実現するソフトウェアであるプログラムの命令を実行するＣＰＵ（Central Processing

Unit）、上記プログラムおよび各種データがコンピュータ（またはＣＰＵ）で読み取り可能に記録されたＲＯＭ（Read Only Memory）または記憶装置（これらを「記録媒体」と称する）、上記プログラムを展開するＲＡＭ（Random Access Memory）などを備えている。そして、コンピュータ（またはＣＰＵ）が上記プログラムを上記記録媒体から読み取って実行することにより、本発明の目的が達成される。

[0159] 上記記録媒体としては、「一時的でない有形の媒体」、例えば、テープ、ディスク、カード、半導体メモリ、プログラマブルな論理回路などを用いることができる。また、上記プログラムは、該プログラムを伝送可能な任意の伝送媒体（通信ネットワークや放送波等）を介して上記コンピュータに供給されてもよい。なお、本発明の一態様は、上記プログラムが電子的な伝送によって具現化された、搬送波に埋め込まれたデータ信号の形態でも実現され得る。

[0160] 〔まとめ〕

本発明の態様１に係る３次元画像素子は、検出の対象となる対象物１１からの反射光を含む入射光のフォトンをガイガーモードで検出するアバランシェフォトダイオード（ＳＰＡＤ１８０）を含む画素Ｐｘ（ｉ，ｊ）を複数有する受光部１５４と、前記画素Ｐｘ（ｉ，ｊ）と一対一に対応して設けられ、前記画素Ｐｘ（ｉ，ｊ）からフォトンの検出結果として出力されるパルス信号を、時系列に連続して並んだ一連の時間区間（時間幅ΔＴ１～ΔＴγ）毎に積算する複数の積算部（画素記憶素子Ｍｘ（ｉ，ｊ））と、前記積算部によって積算された時系列に並ぶ一連の積算値群（カウント数ＮＣα）を用いて、前記受光部１５４と前記対象物１１との距離に関する距離情報Ｄ（ｉ，ｊ）を前記画素Ｐｘ（ｉ，ｊ）毎に算出する算出部（信号処理回路ＤＳ）と、を備えている。

[0161] 上記の構成によれば、パルス信号を複数回の測定に渡って積算することで、ＳＮ比を改善し、距離情報を得ることができる。例えば、１回の測定で背景光の強度が１００である場合、背景光のショットノイズは$\sqrt{100}$＝１０

程度となる。対象物１１からの反射光の強度が１０である場合、１００回の測定で検出されたパルス信号を積算すれば、背景光の強度は１００００となり、ショットノイズは１００となる。一方、反射光の強度は１０００となり、背景光のノイズより１桁大きくなり、確実に検出できる値となる。

[0162] これにより、従来技術のように、日中の背景光の影響を最小限にする為に波長１．５μｍ程度の赤外光を使う必要がなくなるので、シリコン型の受光素子（シリコン型のアンバランシェフォトダイオード）を用いることができる。従って、背景光が強い環境でも、距離測定範囲を広げる光レーダー装置を安価に提供することができる。

[0163] 本発明の態様２に係る３次元画像素子は、上記態様１において、前記算出部が、前記積算値群を基に、前記積算値群のノイズレベルを決定する機能と、前記積算値群において前記ノイズレベルより大きい積算値を求め、求めた当該積算値と時間的に隣接する積算値のペアを抽出する機能と、抽出した前記ペアから、前記時間区間より短い精度で光の飛行時間を決定する機能とを有していても良い。

[0164] 本発明の態様３に係る３次元画像素子は、上記態様１または２において、前記算出部が、前記積算部からの前記積算値の読み出しを、前記積算部によるフォトン数の積算と並行して行っても良い。

[0165] 上記の構成によれば、積算の途中であっても、積算値を取り出すことができる。これにより、３次元画像素子に近い対象物に関する距離情報を、より早く出力することができる。

[0166] 本発明の態様４に係る３次元画像素子は、上記態様１から３のいずれかにおいて、前記受光部１５４、前記積算部および前記算出部が、シリコン基板上にモノリシックに形成されていても良い。

[0167] 上記の構成によれば、製造プロセスが簡素化されるので、３次元画像素子をより安価に提供することができる。

[0168] 本発明の態様５に係る３次元画像素子は、上記態様１から４のいずれかにおいて、前記画素Ｐｘ（ｉ，ｊ）が複数の前記アバランシェフォトダイオー

ドを有していても良い。

[0169] 上記の構成によれば、より検出精度を高めることができる。

[0170] 本発明の態様６に係る３次元画像素子は、上記態様１から５のいずれかにおいて、前記積算部が、前記時間区間毎に、前パルス信号を積算する為の複数のバイナリカウンタＢＣαを有していてもよい。

[0171] 本発明の態様７に係る３次元画像素子は、上記態様６において、各バイナリカウンタＢＣαからの前記積算値群を前記バイナリカウンタＢＣα毎に切り替えて前記算出部へ出力する切替回路（列選択回路１６２）と、を有し、前記切替回路から前記算出部に前記積算値群を出力する信号線の数が、各バイナリカウンタＢＣαの最大の出力ビット数以上であっても良い。

[0172] 上記の構成によれば、各バイナリカウンタからの積算値をバイナリカウンタ毎に切り替えて算出部へ出力するので、積算値を出力する信号線の数は、少なくとも各バイナリカウンタの最大の出力ビット数有れば良い。これにより、バイナリカウンタと算出部との配線構造を簡素化することができる。

[0173] 本発明の態様８に係る３次元画像素子は、上記態様１から７のいずれかにおいて、前記算出部が、前記積算部からの前記積算値群の読み出しを、予め記憶している読み出し順序に従って行っても良い。

[0174] 上記の構成によれば、３次元画像素子に近い対象物からの反射光を検出した画素から得られたフォトン数を積算した積算部から、積算値を早期に読み出すことができる。

[0175] 本発明の態様９に係る３次元画像素子は、上記態様１から８のいずれかにおいて、前記算出部が、積算値群を用いて、入射光の強度を表す光強度情報を更に算出しても良い。

[0176] 上記の構成では、光強度情報によって、対象物の２次元画像を特定することができる。そして、光強度情報と距離情報とを組み合わせることによって、３次元画像を得ることができる。

[0177] 本発明の態様１０に係る光レーダー装置は、検出の対象となる対象物にパルス光を照射する発光素子１２２と、態様１から９のいずれかの３次元画像

素子１５３と、を備え、前記３次元画像素子１５３における前記アバランシェフォトダイオードが、前記対象物１１に対する前記パルス光の反射光のフォトンを検出する。

[0178] 上記の構成によれば、測定範囲の広い安価な光レーダー装置を提供することができる。

[0179] 本発明の態様１１に係る光レーダー装置は、上記態様１０において、前記発光素子がパルス光を複数回照射し、前記３次元画像素子の前記積算部が、複数回の前記パルス光の照射毎に前記３次元画像素子が取得する時系列に並ぶ一連の積算値群を、互いに積算しても良い。

[0180] 本発明の態様１２に係る光レーダー装置は、上記態様１０または１１において、前記３次元画像素子１５３が、前記対象物との距離に関する距離情報と、前記対象物１１に照射されるパルス光の前記対象物１１からの反射光の強度を表す第１光強度情報（２次元イメージ情報Ｇ２（ｉ，ｊ））と、前記パルス光の前記対象物１１からの反射光を含まない第２光強度情報（２次元イメージ情報Ｇ１（ｉ，ｊ））とを出力しても良い。

[0181] 上記の構成によれば、第２光強度情報は、背景光による情報であり、対象物の形状等を認識する上で有用である。また、誤差が大きい為に距離の特定が難しい場合では、第１光強度情報の時間経過を捉えることで、対象物の接近を判定することができる。例えば、第１光強度情報の値が有意に増加すれば、画素に対して対象物が接近しているし、第１光強度情報の値が減少していれば画素に対して対象物が遠ざかっている。

[0182] 本発明の態様１３に係る光レーダー装置は、上記態様１０から１３のいずれかにおいて、前記時間区間の長さは、前記パルス光の半値幅以下であってもよい。

[0183] 本発明の態様１４に係る光レーダー装置は、検出の対象となる対象物にパルス光を照射する発光素子１２２と、態様６または７の３次元画像素子１５３と、を備え、前記３次元画像素子１５３における前記アバランシェフォトダイオードが、前記対象物１１に対する前記パルス光の反射光のフォトンを

検出し、各積算部の一部の前記バイナリカウンタＢＣαが、前記対象物１１に照射されるパルス光が発する前に、前記入射光の前記フォトン数を積算しても良い。

[0184] 上記の構成によれば、パルス光の発光前の入射光は背景光のみであるので、一部のバイナリカウンタが、背景光のフォトン数を積算することになる。これにより、背景光の強度を得ることができる。従って、算出部は、この背景光の強度を用いることで、背景光の影響が抑えられた距離情報を得ることができる。

[0185] 〔付記事項〕

上述した実施形態はすべての点で例示であって制限的なものではないと考えられるべきである。また、本発明は上述した各実施形態に限定されるものではなく、請求項に示した範囲で種々の変更が可能であり、異なる実施形態にそれぞれ開示された技術的手段を適宜組み合わせて得られる実施形態についても本発明の技術的範囲に含まれる。更に、各実施形態にそれぞれ開示された技術的手段を組み合わせることにより、新しい技術的特徴を形成することができる。

符号の説明

[0186] １１　対象物

１００　光レーダー装置

１２２　発光素子

１２４　パルス光

１５３　３次元画像素子

１５４　受光部

１６２　列選択回路（切替回路）

１８０　ＳＰＡＤ（アバランシェフォトダイオード）

Ｐｘ（ｉ，ｊ）　画素

Ｍｘ（ｉ，ｊ）　画素記憶素子（積算部）

Ｌｘ（ｉ，ｊ）　信号線

Ｃ（ｊ），Ｃａ（ｊ），Ｃｂ（ｊ）　列信号線（信号線）

ＣＳ（ｊ）列選択信号線

ＤＳ，ＤＳａ，ＤＳｂ　信号処理回路（算出部）

ＢＣ１，ＢＣ２～ＢＣγ　バイナリカウンタ

Ｇ１（ｉ，ｊ）　２次元イメージ情報（第２光強度情報）

Ｇ２（ｉ，ｊ）　２次元イメージ情報（第１光強度情報）

ｇ１、ｇ２、～ｇγ　出力ビット数

請求の範囲

[請求項1] 検出の対象となる対象物からの反射光を含む入射光のフォトンをガイガーモードで検出するアバランシェフォトダイオードを含む画素を複数有する受光部と、

前記画素と一対一に対応して設けられ、前記画素からフォトンの検出結果として出力されるパルス信号を、時系列に連続して並んだ一連の時間区間毎に積算する複数の積算部と、

前記積算部によって積算された積算値が時系列に並ぶ一連の積算値群を用いて、前記受光部と前記対象物との距離に関する距離情報を前記画素毎に算出する算出部と、を備えていることを特徴とする３次元画像素子。

[請求項2] 前記算出部は、前記積算値群を基に、前記積算値群のノイズレベルを決定する機能と、前記積算値群において前記ノイズレベルより大きい積算値を求め、求めた当該積算値と時間的に隣接する積算値のペアを抽出する機能と、抽出した前記ペアから、前記時間区間より短い精度で光の飛行時間を決定する機能とを有することを特徴とする請求項１に記載の３次元画像素子。

[請求項3] 前記算出部は、前記積算部からの前記積算値群の読み出しを、前記積算部によるパルス信号の積算と並行して行うことを特徴とする請求項１または２に記載の３次元画像素子。

[請求項4] 前記受光部、前記積算部および前記算出部は、シリコン基板上にモノリシックに形成されていることを特徴とする請求項１から３のいずれか１項に記載の３次元画像素子。

[請求項5] 前記画素は複数の前記アバランシェフォトダイオードを有することを特徴とする特許請求項１から４のいずれか１項に記載の３次元画像素子。

[請求項6] 前記積算部は、

前記時間区間毎に、前パルス信号を積算する為の複数のバイナリカ

ウンタを有することを特徴とする請求項１～５のいずれか１項に記載の３次元画像素子。

[請求項7] 前記積算部は、

各バイナリカウンタからの前記積算値群を前記バイナリカウンタ毎に切り替えて前記算出部へ出力する切替回路と、を有し、

前記切替回路から前記算出部に前記積算値群を出力する信号線の数は、各バイナリカウンタの最大の出力ビット数以上であることを特徴とする請求項６のいずれか１項に記載の３次元画像素子。

[請求項8] 前記算出部は、前記積算部からの前記積算値群の読み出しを、予め記憶している読み出し順序に従って行うことを特徴とする請求項１～７のいずれか１項に記載の３次元画像素子。

[請求項9] 前記算出部は、前記積算値群を用いて、前記入射光の強度を表す光強度情報を更に算出することを特徴とする請求項１～８のいずれか１項に記載の３次元画像素子。

[請求項10] 検出の対象となる対象物にパルス光を照射する発光素子と、

請求項１から９のいずれか１項に記載の３次元画像素子と、を備え、

前記３次元画像素子における前記アバランシェフォトダイオードは、前記対象物に対する前記パルス光の反射光のフォトンを検出することを特徴とする光レーダー装置。

[請求項11] 前記発光素子はパルス光を複数回照射し、

前記３次元画像素子の前記積算部は、複数回の前記パルス光の照射毎に前記３次元画像素子が取得する時系列に並ぶ一連の積算値群を、互いに積算することを特徴とする請求項１０に記載の光レーダー装置。

[請求項12] 前記３次元画像素子は、前記対象物との距離に関する距離情報と、前記対象物に照射されるパルス光の前記対象物からの反射光の強度を表す第１光強度情報と、前記パルス光の前記対象物からの反射光を含

まない第２光強度情報とを出力することを特徴とする請求項１０または１１に記載の光レーダー装置。

[請求項13] 前記時間区間の長さは、前記パルス光の半値幅以下であることを特徴とする請求項１０から１２のいずれか１項に記載の光レーダー装置。

[請求項14] 検出の対象となる対象物にパルス光を照射する発光素子と、

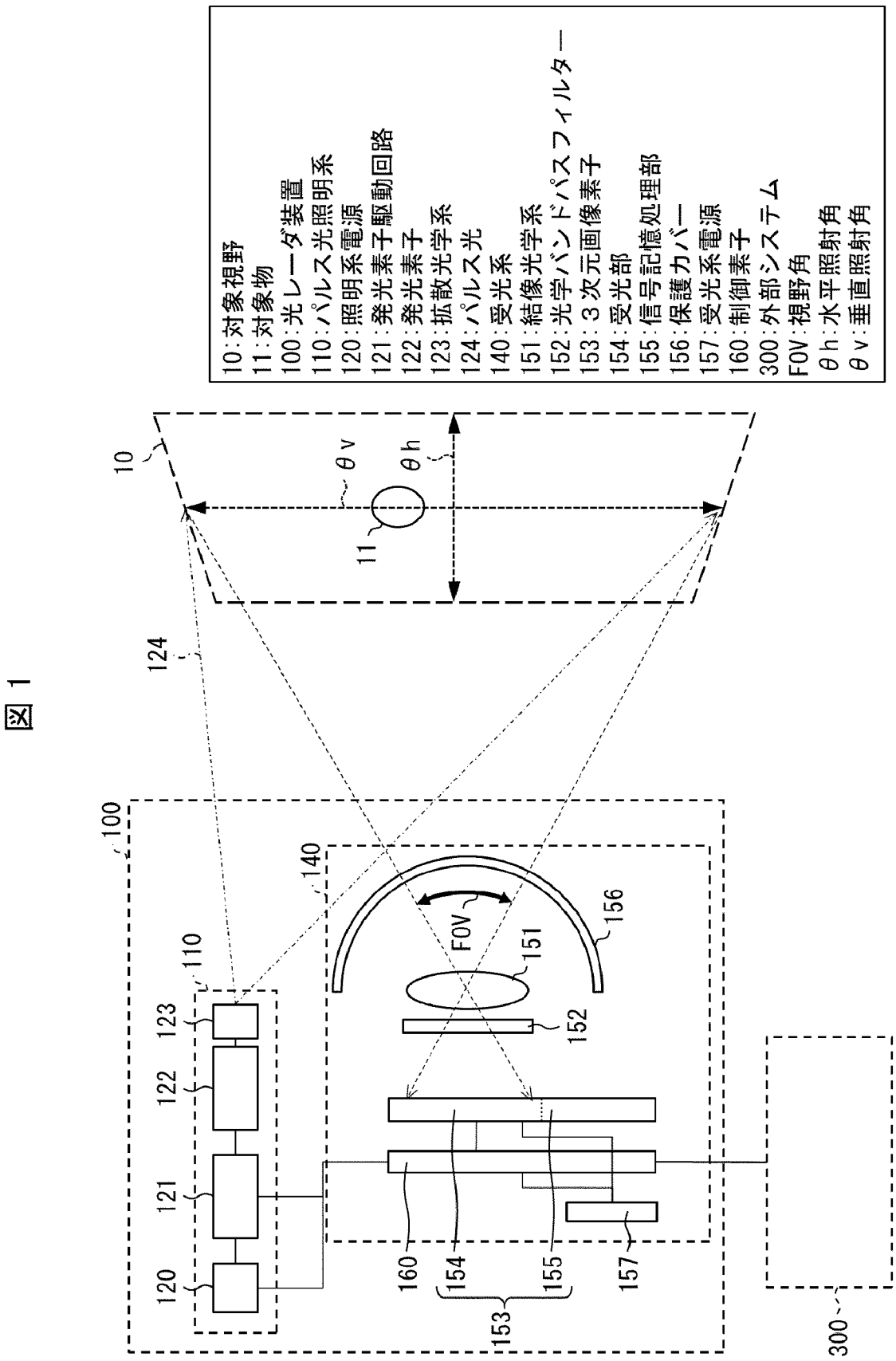
請求項６または７に記載の３次元画像素子と、を備え、

前記３次元画像素子における前記アバランシェフォトダイオードは、前記対象物に対する前記パルス光の反射光のフォトンを検出し、

各積算部の一部の前記バイナリカウンタは、前記対象物に照射されるパルス光が発する前に、前記入射光のフォトン数を積算することを特徴とする光レーダー装置。

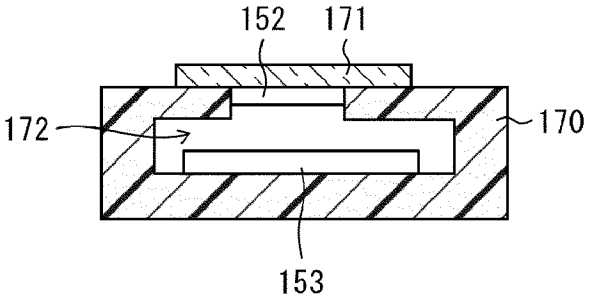
[図1]

図１


10:対象視野
11:対象物
100:光レーダ装置
110:パルス光照明系
120:照明系電源
121:発光素子駆動回路
122:発光素子
123:拡散光学系
124:パルス光
140:受光系
151:結像光学系
152:光学バンドパスフィルター
153:３次元画像素子
154:受光部
155:信号記憶処理部
156:保護カバー
157:受光系電源
160:制御素子
300:外部システム
FOV:視野角
θh:水平照射角
θv:垂直照射角
10
θv
θh
11
124
100
140
FOV
156
151
152
110
123
122
121
120
160
154
155
157
153
300

[図2]

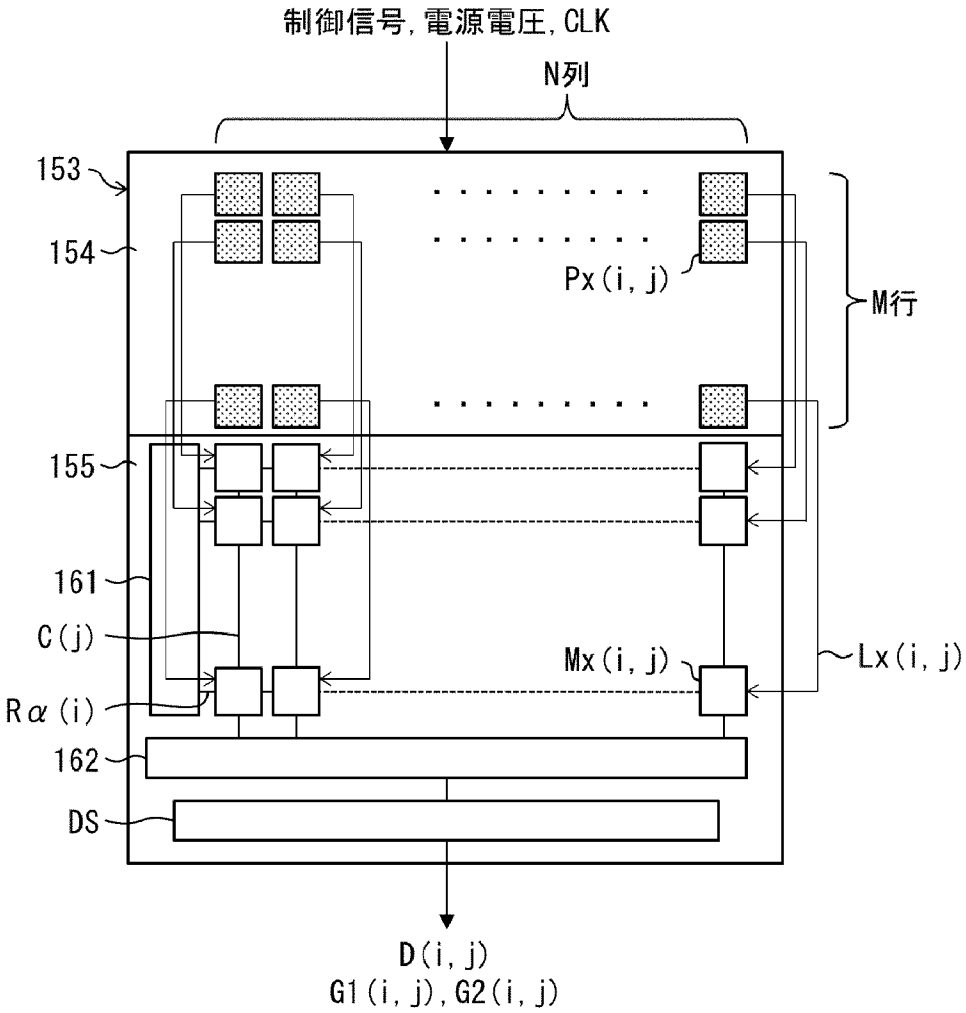
図 2



152:光学バンドパスフィルター
153:３次元画像素子
170:パッケージ
171:リッドガラス
172:雰囲気

[図3]

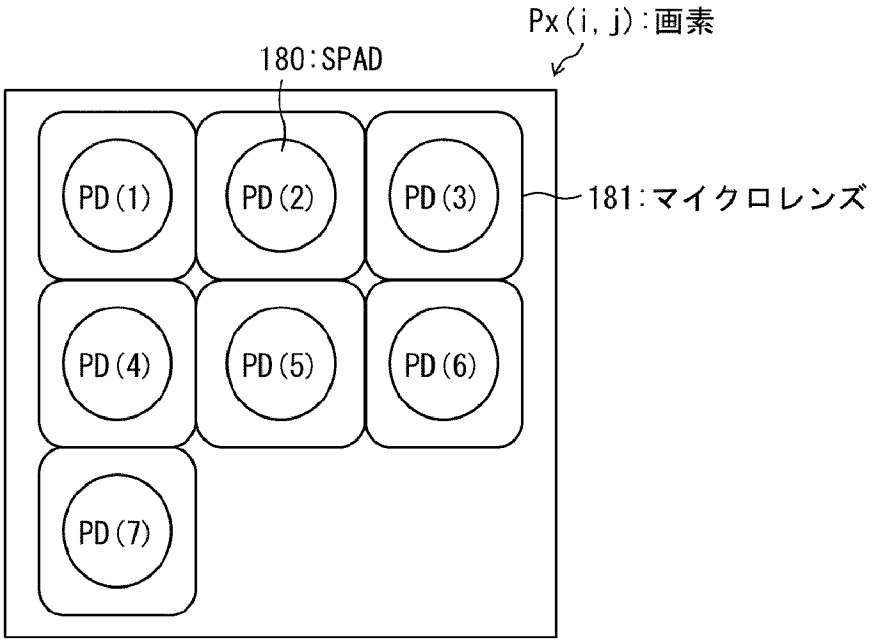
図 3



DS:信号処理回路
153:３次元画像素子
154:受光部
155:信号記憶処理部
161:行選択回路
162:列選択回路
C(j):列信号線
D(i, j):距離情報
G1(i, j)、G2(i, j):２次元イメージ情報
Lx(i, j):信号線
Mx(i, j):画素記憶素子
Px(i, j):画素
Rα(i):行選択信号線

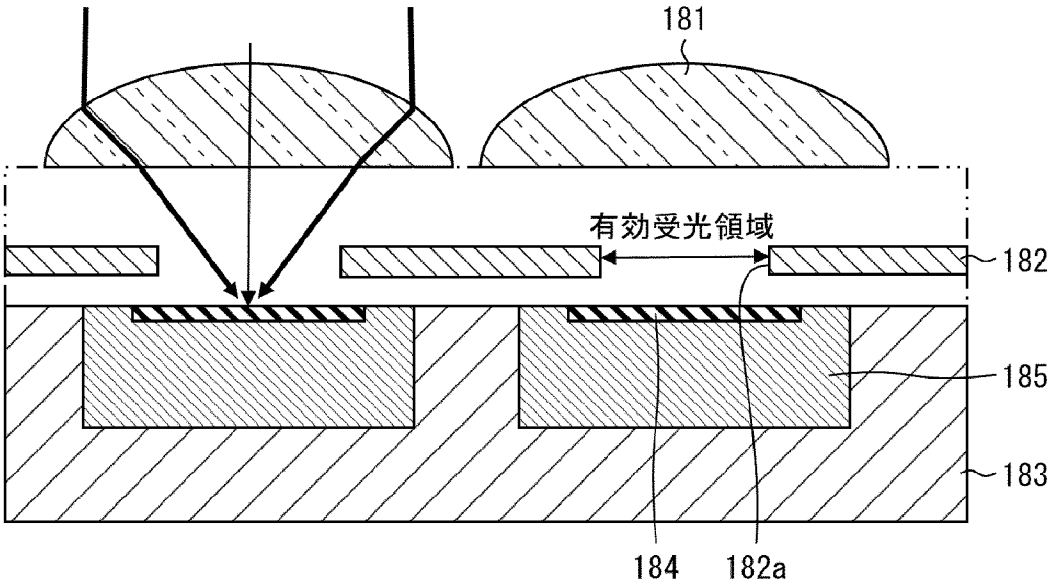
[図4]

図 4



[図5]

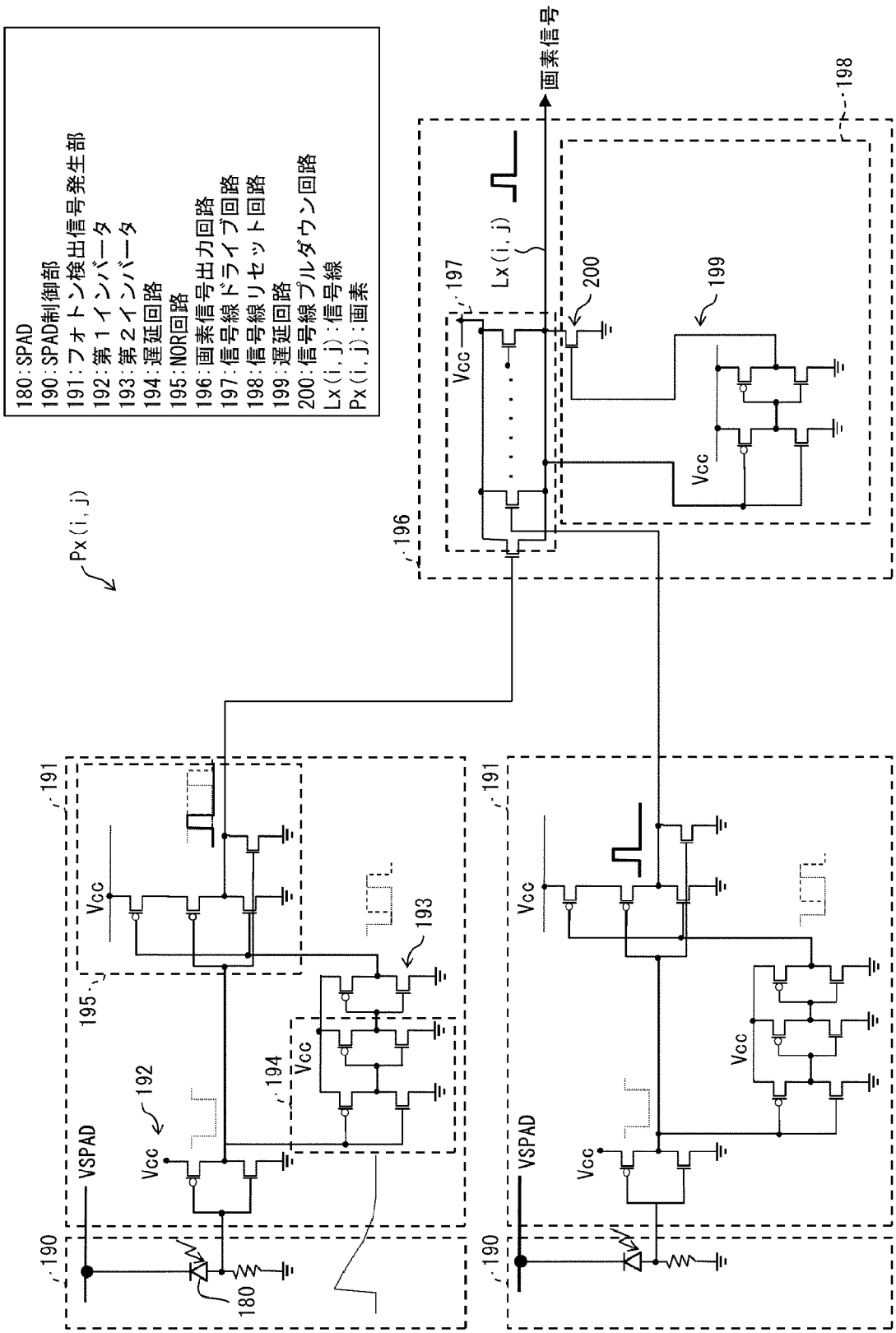
図 5



181:マイクロレンズ
182:メタルシールド
182a:開口部
183:シリコン基板
184:P^+拡散層
185:N型拡散層

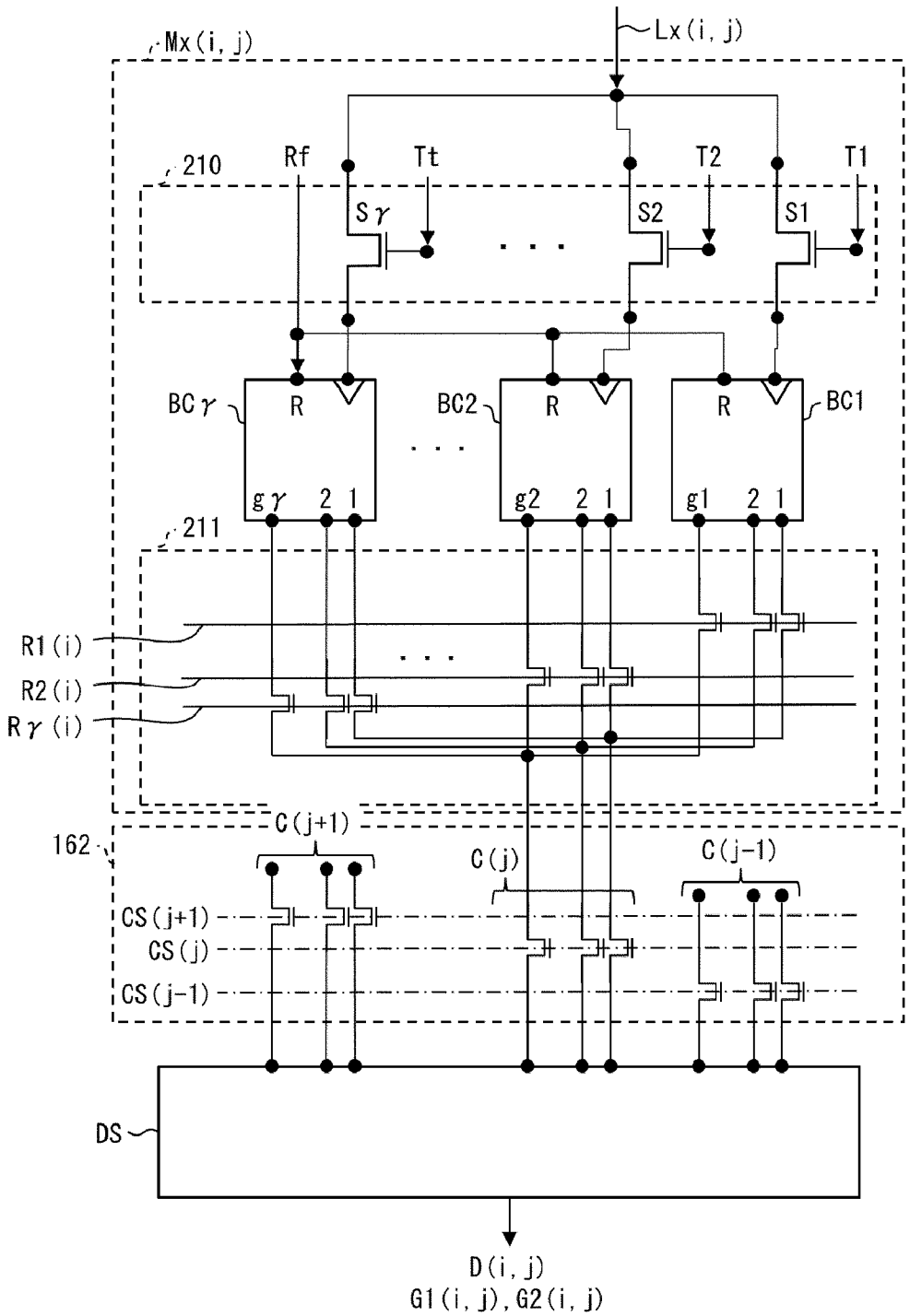
[図6]

図 6


180:SPAD
190:SPAD制御部
191:フォトン検出信号発生部
192:第１インバータ
193:第２インバータ
194:遅延回路
195:NOR回路
196:画素信号出力回路
197:信号線ドライブ回路
198:信号線リセット回路
199:遅延回路
200:信号線プルダウン回路
Lx(i,j):信号線
Px(i,j):画素
Px(i,j)
画素信号
Lx(i,j)
Vcc
VSPAD

[図7]

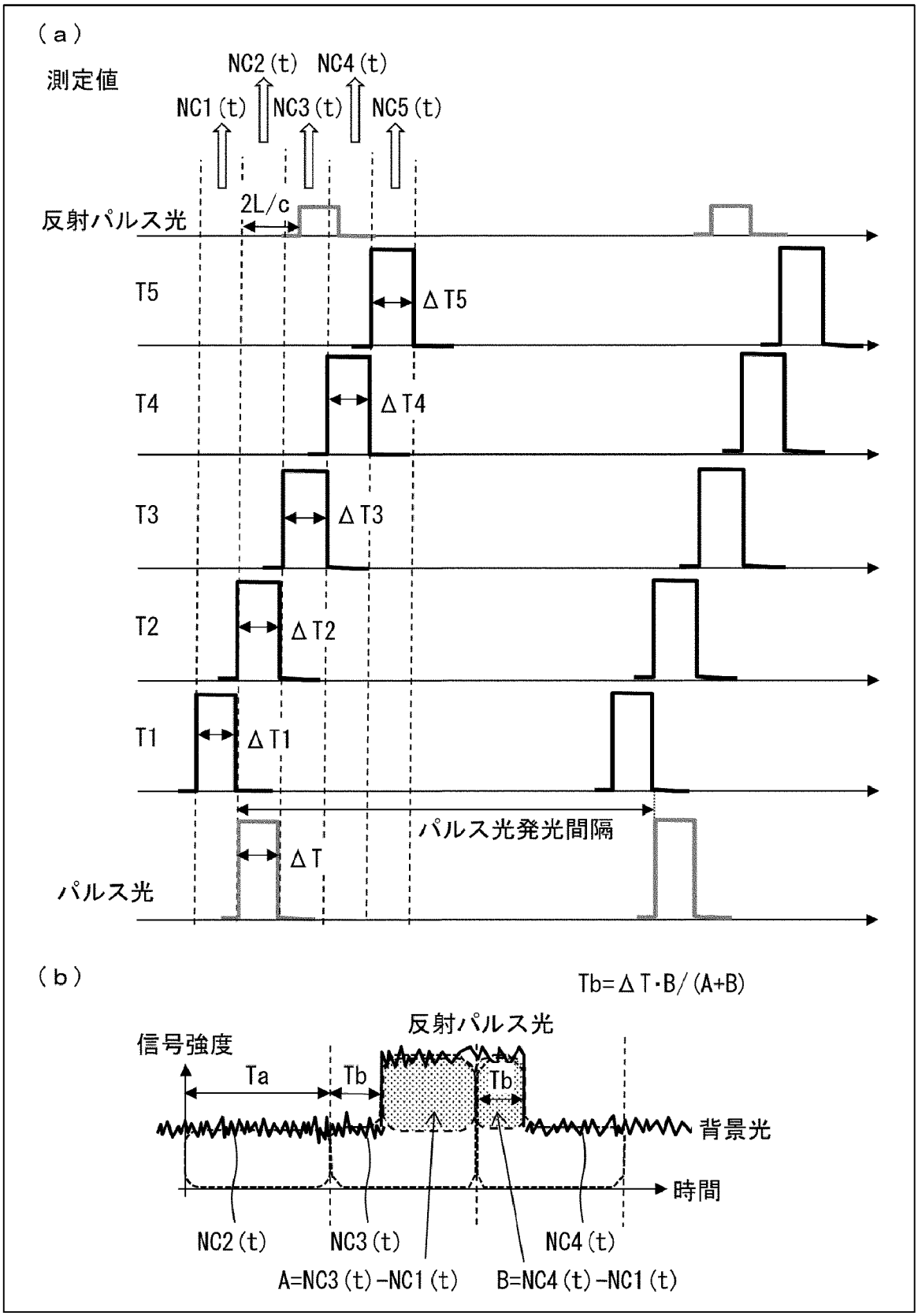
図 7



DS:信号処理回路	CS(j),CS(j+1),CS(j-1):列選択信号線
162:列選択回路	D(i,j):距離情報
210:時間スイッチ	G1(i,j)、G2(i,j):２次元イメージ情報
211:出力スイッチ	Lx(i,j):信号線
BC1,BC2,BCγ:バイナリカウンタ	Mx(i,j):画素記憶素子
C(j),C(j+1),C(j-1):列信号線	R1(i),R2(i),Rγ(i):行選択信号線

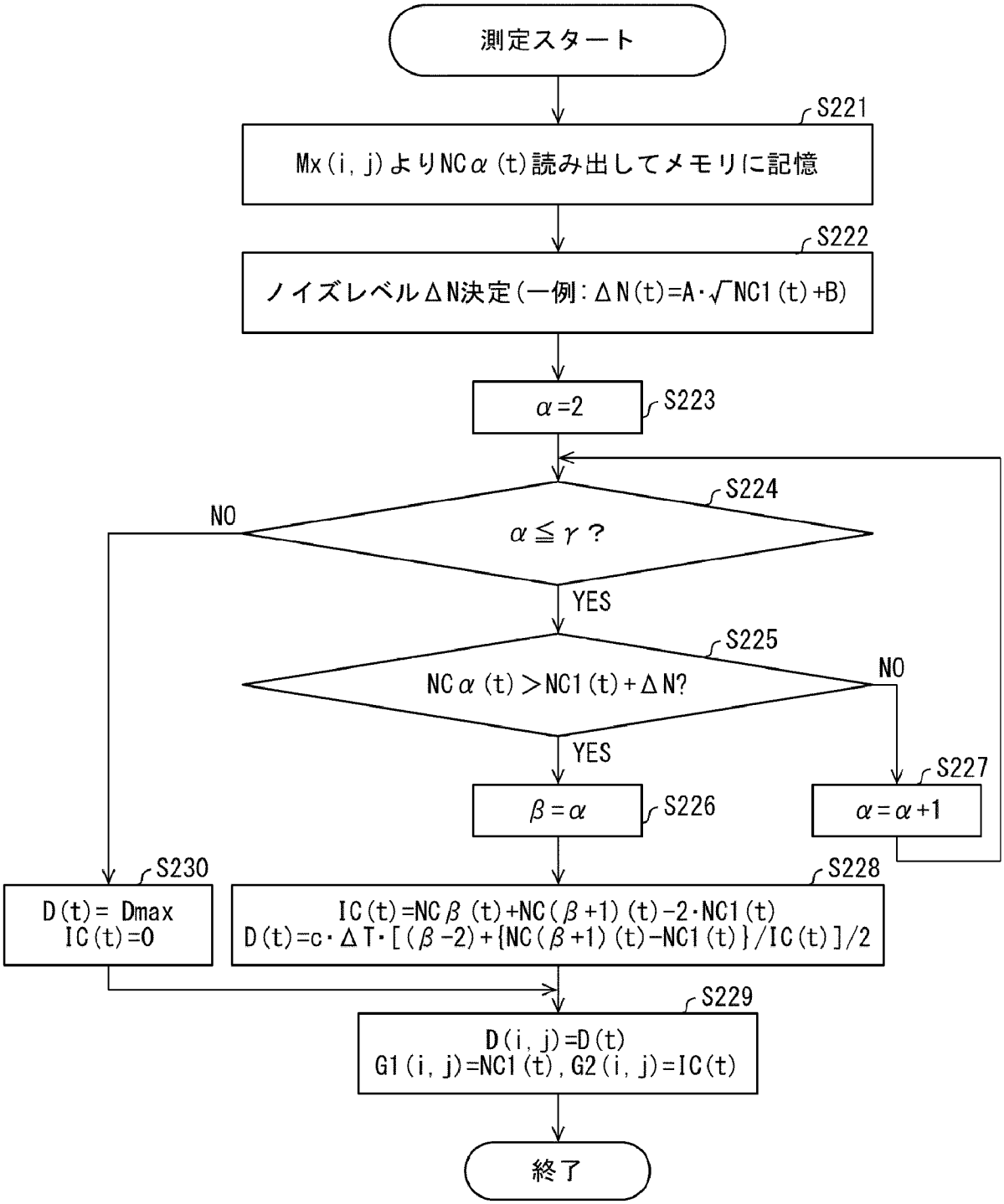
[図8]

図 8


（ａ）
測定値
NC2(t)
NC4(t)
NC1(t)
NC3(t)
NC5(t)
2L/c
反射パルス光
T5
ΔT5
T4
ΔT4
T3
ΔT3
T2
ΔT2
T1
ΔT1
パルス光発光間隔
ΔT
パルス光
（ｂ）
Tb=ΔT･B/(A+B)
反射パルス光
信号強度
Ta
Tb
Tb
背景光
時間
NC2(t)
NC3(t)
NC4(t)
A=NC3(t)-NC1(t)
B=NC4(t)-NC1(t)

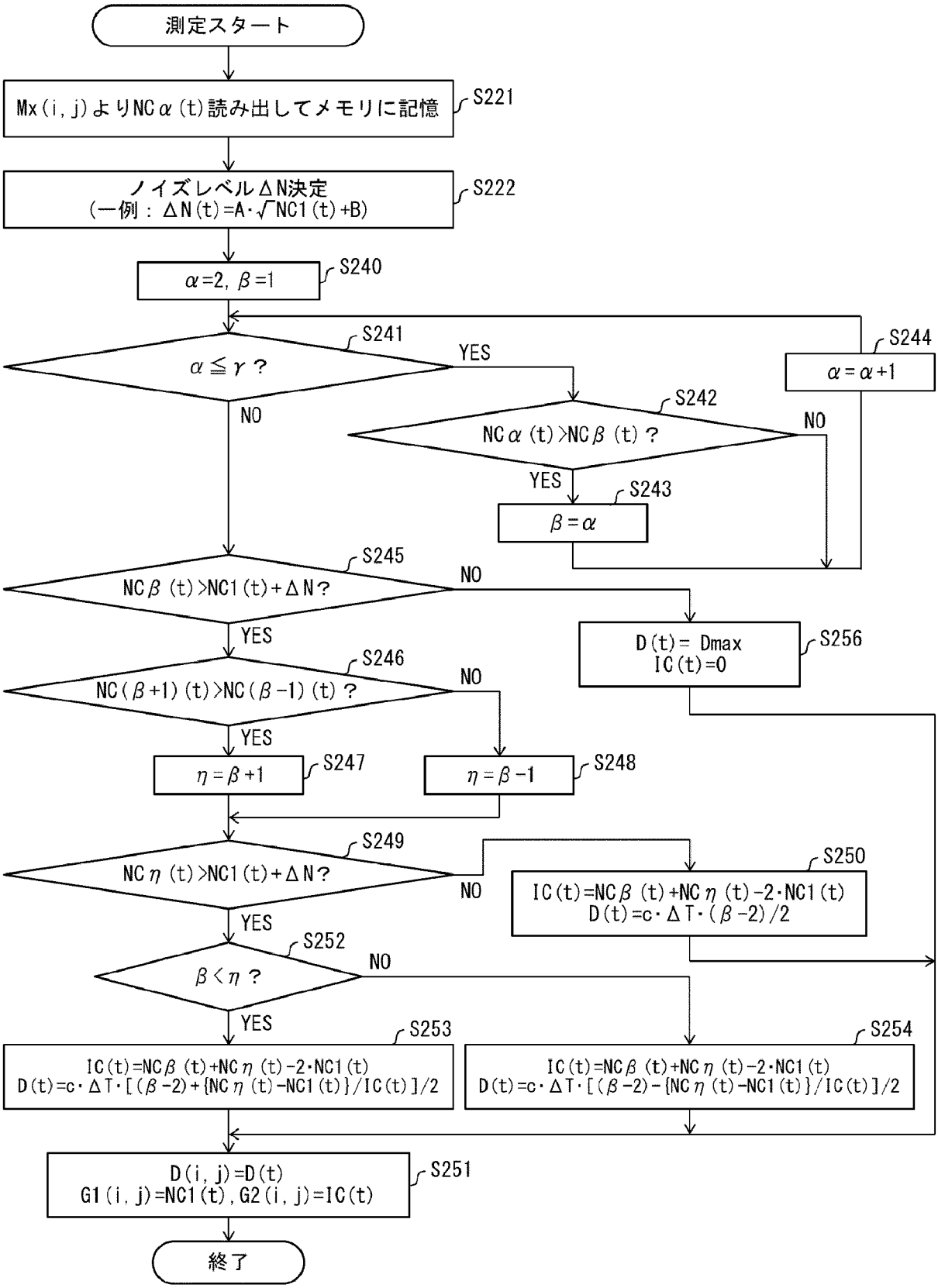
[図9]

図 9


測定スタート
S221
Mx(i, j)よりNCα(t)読み出してメモリに記憶
S222
ノイズレベルΔN決定(一例:ΔN(t)=A·√NC1(t)+B)
α=2
S223
S224
α≦γ?
NO
YES
S225
NCα(t)>NC1(t)+ΔN?
NO
YES
S227
α=α+1
β=α
S226
S230
D(t)= Dmax
IC(t)=0
S228
IC(t)=NCβ(t)+NC(β+1)(t)-2·NC1(t)
D(t)=c·ΔT·[(β-2)+{NC(β+1)(t)-NC1(t)}/IC(t)]/2
S229
D(i, j)=D(t)
G1(i, j)=NC1(t), G2(i, j)=IC(t)
終了

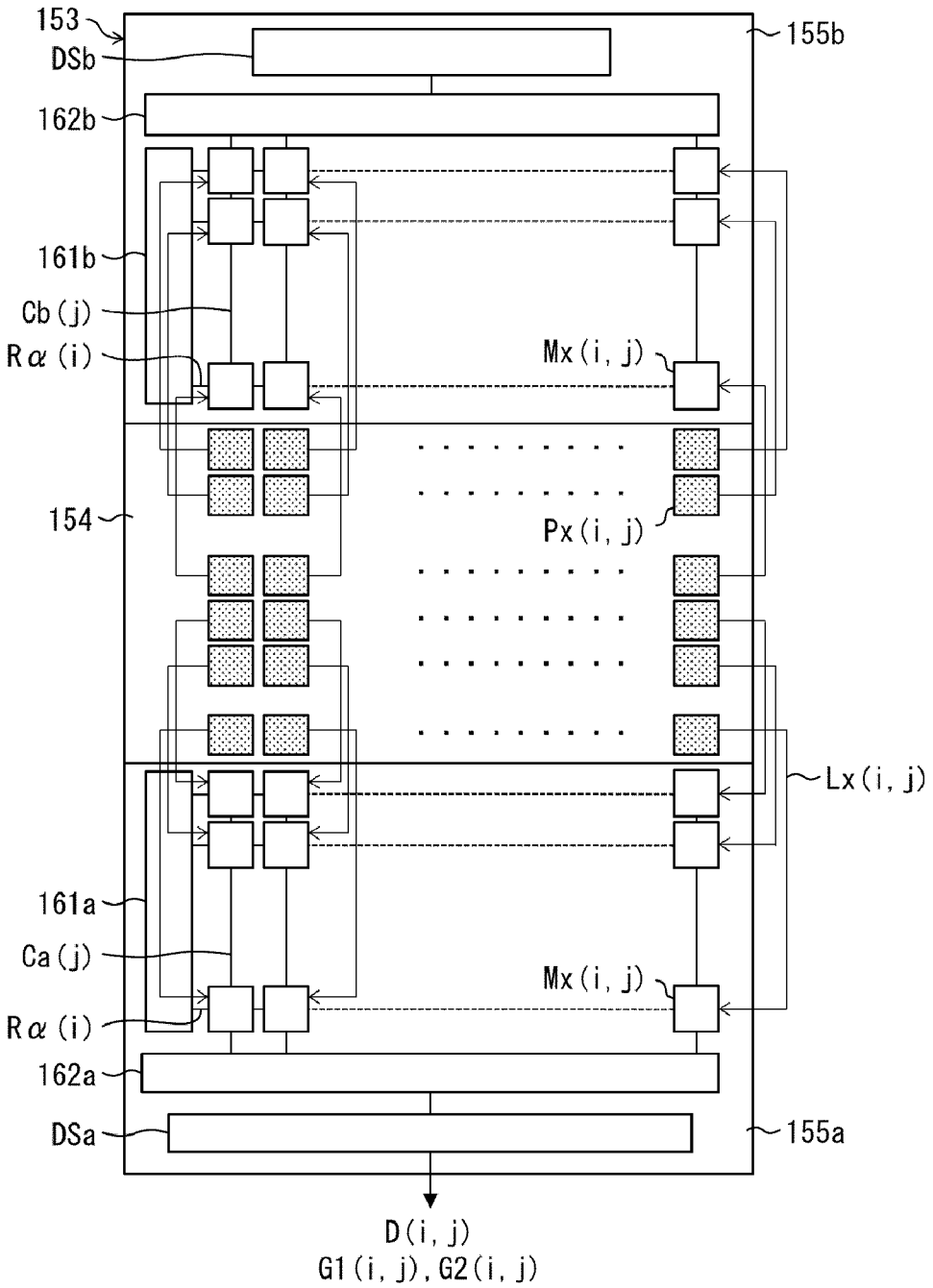
[図10]

図 10


測定スタート
Mx(i,j)よりNCα(t)読み出してメモリに記憶
S221
ノイズレベルΔN決定
(一例：ΔN(t)=A・√NC1(t)+B)
S222
α=2, β=1
S240
S241
α≦γ？
YES
NO
S242
NCα(t)>NCβ(t)？
NO
YES
S243
β=α
S244
α=α+1
S245
NCβ(t)>NC1(t)+ΔN？
NO
YES
D(t)= Dmax
IC(t)=0
S256
S246
NC(β+1)(t)>NC(β-1)(t)？
NO
YES
η=β+1
S247
η=β-1
S248
S249
NCη(t)>NC1(t)+ΔN？
NO
YES
IC(t)=NCβ(t)+NCη(t)-2・NC1(t)
D(t)=c・ΔT・(β-2)/2
S250
S252
β<η？
NO
YES
IC(t)=NCβ(t)+NCη(t)-2・NC1(t)
D(t)=c・ΔT・[(β-2)+{NCη(t)-NC1(t)}/IC(t)]/2
S253
IC(t)=NCβ(t)+NCη(t)-2・NC1(t)
D(t)=c・ΔT・[(β-2)-{NCη(t)-NC1(t)}/IC(t)]/2
S254
D(i,j)=D(t)
G1(i,j)=NC1(t), G2(i,j)=IC(t)
S251
終了

[図11]

図 11



DSa, DSb：信号処理回路	D(i, j)：距離情報
153：３次元画像素子	G1(i, j)、G2(i, j)：２次元イメージ情報
154：受光部	Lx(i, j)：信号線
155a, 155b：信号記憶処理部	Mx(i, j)：画素記憶素子
161a, 161b：行選択回路	Px(i, j)：画素
162a, 162b：列選択回路	Rα(i)：行選択信号線
Ca(j), Cb(j)：列信号線	

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2018/014813

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
Int.Cl. G01S7/481(2006.01)i, G01C3/06(2006.01)i, G01S17/89(2006.01)i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)
Int.Cl. G01S7/48-7/51, G01S17/00-17/95, G01C3/00-3/32

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Published examined utility model applications of Japan	1922-1996
Published unexamined utility model applications of Japan	1971-2018
Registered utility model specifications of Japan	1996-2018
Published registered utility model applications of Japan	1994-2018

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	WO 2016/208214 A1 (MURATA MANUFACTURING CO., LTD.) 29 December 2016, paragraphs [0025]-[0052], fig. 3-7 & US 2018/0045513 A1, paragraphs [0045]-[0072], fig. 3-7 & CN 107533136 A	1-14
Y	NICLASS et al., "A 0. 18-μm CMOS SoC for a 100-m-Range 10-Frame/s 200 X 96-Pixel Time-of-Flight Depth Sensor", IEEE Journal of Solid-State Circuits, 18 October 2013, vol. 49, no. 1, January 2014, pp. 315-330, ISSN:0018-9200	1-14
Y	NICLASS et al., "Single-Photon Synchronous Detection", IEEE Journal of Solid-State Circuits, 23 June 2009, vol. 44, no. 7, July 2009, pp. 1977-1989, ISSN:0018-9200	1-14
Y	US 2007/0182949 A1 (NICLASS, Cristiano) 09 August 2007, paragraphs [0050]-[0059], fig. 1-4 (Family: none)	1-14

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C. ☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed
"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search	Date of mailing of the international search report
27 June 2018 (27.06.2018)	10 July 2018 (10.07.2018)
Name and mailing address of the ISA/ Japan Patent Office 3-4-3, Kasumigaseki, Chiyoda-ku, Tokyo 100-8915, Japan	Authorized officer Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/JP2018/014813

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2016/0268331 A1 (PARMESAN, Luca) 15 September 2016, entire text, all drawings (Family: none)	1-14
A	WO 2015/157341 A1 (SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.) 15 October 2015, entire text, all drawings & JP 2017-520134 A & US 2015/0285625 A1 & DE 112015001704 T & CN 106165399 A & KR 10-2016-0142839 A	1-14

国際調査報告

国際出願番号　ＰＣＴ／ＪＰ２０１８／０１４８１３

Ａ．　発明の属する分野の分類（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G01S7/481(2006.01)i, G01C3/06(2006.01)i, G01S17/89(2006.01)i

Ｂ．　調査を行った分野

調査を行った最小限資料（国際特許分類（ＩＰＣ））

Int.Cl.　G01S7/48-7/51, G01S17/00-17/95, G01C3/00-3/32

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報	１９２２－１９９６年
日本国公開実用新案公報	１９７１－２０１８年
日本国実用新案登録公報	１９９６－２０１８年
日本国登録実用新案公報	１９９４－２０１８年

国際調査で使用した電子データベース（データベースの名称、調査に使用した用語）

Ｃ．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
Y	WO 2016/208214 A1 (株式会社村田製作所) 2016.12.29, 段落[0025]-[0052], 図 3-7 & US 2018/0045513 A1, 段落[0045]-[0072], 図 3-7 & CN 107533136 A	1-14
Y	NICLASS et al., A 0.18-μm CMOS SoC for a 100-m-Range 10-Frame/s 200 × 96-Pixel Time-of-Flight Depth Sensor, IEEE Journal of Solid-State Circuits, 2013.10.18, Vol.49, No.1, Jan.2014, pp.315-330, ISSN:0018-9200	1-14

☑　Ｃ欄の続きにも文献が列挙されている。　　☐　パテントファミリーに関する別紙を参照。

＊　引用文献のカテゴリー
「Ａ」特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
「Ｅ」国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
「Ｌ」優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献（理由を付す）
「Ｏ」口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
「Ｐ」国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願の日の後に公表された文献
「Ｔ」国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
「Ｘ」特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
「Ｙ」特に関連のある文献であって、当該文献と他の１以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
「＆」同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日	国際調査報告の発送日
２７．０６．２０１８	１０．０７．２０１８

国際調査機関の名称及びあて先
日本国特許庁（ＩＳＡ／ＪＰ）
郵便番号１００－８９１５
東京都千代田区霞が関三丁目４番３号

特許庁審査官（権限のある職員）　２Ｓ　３３０７
櫻井　健太
電話番号　０３－３５８１－１１０１　内線　３２１６

Ｃ（続き）．　関連すると認められる文献

引用文献のカテゴリー＊	引用文献名　及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する請求項の番号
Y	NICLASS et al., Single-Photon Synchronous Detection, IEEE Journal of Solid-State Circuits, 2009.06.23, Vol.44, No.7, July 2009, pp.1977-1989, ISSN:0018-9200	1-14
Y	US 2007/0182949 A1 (NICLASS, Cristiano) 2007.08.09, 段落[0050]-[0059], 図1-4（ファミリーなし）	1-14
A	US 2016/0268331 A1 (PARMESAN, Luca) 2016.09.15, 全文, 全図（ファミリーなし）	1-14
A	WO 2015/157341 A1 (SAMSUNG ELECTRONICS CO., LTD.) 2015.10.15, 全文, 全図 & JP 2017-520134 A & US 2015/0285625 A1 & DE 112015001704 T & CN 106165399 A & KR 10-2016-0142839 A	1-14