

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6899005号
(P6899005)

(45) 発行日 令和3年7月7日(2021.7.7)

(24) 登録日 令和3年6月15日(2021.6.15)

(51) Int.Cl. F I
GO 1 S 7/486 (2020.01) GO 1 S 7/486

請求項の数 11 外国語出願 (全 18 頁)

<p>(21) 出願番号 特願2020-1203 (P2020-1203) (22) 出願日 令和2年1月8日(2020.1.8) (62) 分割の表示 特願2018-530709 (P2018-530709) の分割 原出願日 平成28年12月8日(2016.12.8) (65) 公開番号 特開2020-73901 (P2020-73901A) (43) 公開日 令和2年5月14日(2020.5.14) 審査請求日 令和2年1月15日(2020.1.15) (31) 優先権主張番号 14/975,790 (32) 優先日 平成27年12月20日(2015.12.20) (33) 優先権主張国・地域又は機関 米国 (US) (31) 優先権主張番号 62/353,588 (32) 優先日 平成28年6月23日(2016.6.23) (33) 優先権主張国・地域又は機関 米国 (US)</p>	<p>(73) 特許権者 503260918 アップル インコーポレイテッド Apple Inc. アメリカ合衆国 95014 カリフォルニア州 クパチーノ アップル パーク ウェイ ワン One Apple Park Way, Cupertino, California 95014, U. S. A. (74) 代理人 100094569 弁理士 田中 伸一郎 (74) 代理人 100103610 弁理士 ▲吉▼田 和彦 (74) 代理人 100067013 弁理士 大塚 文昭</p>
---	---

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 光検出測距センサ

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

光の少なくとも1つのビームを放射するように構成されたレーザ光源と、
 対象シーンをわたって前記少なくとも1つのビームを送信及び走査するように構成されたビームステアリング装置と、

各感知素子が前記感知素子への光子の入射を示す信号を出力するように構成された感知素子のアレイと、

前記送信されたビームによって走査された前記対象シーンを前記アレイ上に結像するように構成された集光光学系であって、

前記ビームステアリング装置は、前記感知素子のピッチよりも小さいスポットサイズ及び走査解像度で、前記対象シーンをわたって前記少なくとも1つのビームを走査する、集光光学系と、

前記アレイの選択された領域内のみの前記感知素子を作動させ、前記少なくとも1つのビームの走査に同期して、前記アレイの上の前記選択された領域を掃引するように結合された回路と、を備え、

前記レーザ光源は、異なる各ビーム軸に沿って少なくとも2つのビームを放射することで、前記走査中の任意の瞬間に、前記集光光学系が前記少なくとも2つのビームによって照明された前記対象シーンのそれぞれの区域を、前記感知素子のうち異なるそれぞれに結像するように構成され、

前記ビームステアリング装置は、2次元走査で前記対象シーンにわたって前記少なくと

も2つのビームを走査するように構成されており、前記回路は、前記2次元走査に対応する2次元パターンで前記アレイの上の前記選択された領域を掃引するように構成され、

前記2次元走査はラスタパターンを形成し、前記少なくとも2つのビームの前記各ビーム軸が前記ラスタパターンの走査線方向に対して互いに横方向にオフセットされている、電気光学装置。

【請求項2】

前記回路は、前記走査中の任意の瞬間に、前記選択された領域が、前記集光光学系が前記少なくとも1つのビームによって照明された前記対象シーンの区域を結像する前記アレイの一部を含むよう前記領域を選択するように構成されている、請求項1に記載の装置。

【請求項3】

前記選択された領域は1つの感知素子を含む、請求項2に記載の装置。

【請求項4】

前記選択された領域は複数の感知素子を含む、請求項2に記載の装置。

【請求項5】

前記回路は、前記対象シーン内の各点までのそれぞれの距離を決定するために前記感知素子によって出力された信号を処理するように構成されている、請求項1に記載の装置。

【請求項6】

前記感知素子は単一光子検出器を含む、請求項1から5のいずれか一項に記載の装置。

【請求項7】

前記単一光子検出器は単一光子アバランシェダイオード(SPAD)である、請求項6に記載の装置。

【請求項8】

光の少なくとも1つのビームを放射することと、
対象シーンをわたって前記少なくとも1つのビームを送信及び走査することと、
各感知素子が前記感知素子への光子の入射を示す信号を出力するように構成された前記感知素子のアレイを提供することと、
前記送信されたビームによって走査された前記対象シーンを前記アレイに結像することであって、

前記少なくとも1つのビームは、前記感知素子のピッチよりも小さいスポットサイズ及び走査解像度で、前記対象シーンにわたって走査される、ことと、

前記アレイの選択された領域内でのみ前記感知素子を作動させ、前記少なくとも1つのビームの走査に同期して、前記アレイの上の前記選択された領域を掃引することと、を含み、

少なくとも1つのビームを放射することは、異なる各ビーム軸に沿って少なくとも2つのビームを放射することで、前記走査中の任意の瞬間に、集光光学系が、前記少なくとも2つのビームによって照明された前記対象シーンのそれぞれの区域を、前記感知素子の異なるそれぞれに結像し、

前記少なくとも1つのビームを走査することは、2次元走査で前記対象シーンにわたって前記少なくとも2つのビームを走査することを含み、前記感知素子を作動させることは、前記2次元走査に対応する2次元パターンで前記アレイの上の前記選択された領域を掃引し、

前記2次元走査がラスタパターンを形成し、前記少なくとも2つのビームの前記各ビーム軸が前記ラスタパターンの走査線方向に対して横方向に互いにオフセットされている、感知方法。

【請求項9】

前記感知素子を作動させることは、前記走査中の任意の瞬間に、前記選択された領域が、集光光学系が前記少なくとも1つのビームによって照明される前記対象シーンの区域を結像する前記アレイの一部を含むよう前記領域を選択することを含む、請求項8に記載の方法。

【請求項10】

10

20

30

40

50

前記対象シーン内の各点までのそれぞれの距離を決定するために、前記感知素子によって出力された信号を処理することを含む、請求項8に記載の方法。

【請求項11】

前記感知素子が単一光子検出器を含む、請求項8に記載の方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本発明は全般的に、光電子装置に関し、特に光検出及び測距（ライダ）センサに関する。

【背景技術】

10

【0002】

既存の消費者アプリケーション及び出現する消費者アプリケーションにおいては、実時間の3次元画像化に対する必要性がますます生じている。光検出及び測距（ライダ）センサとしても通常知られる、これらの撮像装置により、対象シーンを光ビームで照明し、反射された光信号を分析することによって、対象シーン上の各点の距離（多くの場合、強度）（いわゆる対象シーン深さ）を遠隔測定することができる。対象シーン上の各点までの距離を決定する一般的に使用される技法は、対象シーンに向けて光ビームを送り、ソースから対象シーンに移動し、ソースに隣接する検出器に戻る際に光ビームが要する往復時間、すなわち飛行時間（TOF）を測定することを含む。

【0003】

20

TOFベースのライダに適した検出器はSPAD（single-photon avalanche diode：単一光子アバランシェダイオード）アレイによって提供される。SPADは、GAPD（Geiger-mode avalanche photodiode）としても知られており、数十ピコ秒オーダーの非常に高い到達時間解像度で個々の光子を捕捉することができる検出器である。これらは、専用半導体プロセス又は標準的なCMOS技術で作製することができる。単一のチップ上に作製されたSPADセンサのアレイは、3D撮像カメラにおいて実験的に使用されている。Charbonnet al. は、本明細書に参照により組み込まれる、TOF Range-Imaging Cameras（Springer-Verlag, 2013）に公開された「SPAD式センサ」のSPAD技術についての有用な論評を提供している。

30

【0004】

SPADでは、pn接合は、その接合の降伏電圧を十分に超えたレベルで逆バイアスされている。このバイアスでは、空乏層内に注入された単一電荷キャリアが、入射光子によって自己維持アバランシェ（self-sustaining avalanche）をトリガできるほどかなり電界が高くなる。アバランシェ電流パルスの立ち上がりエッジは、検出された光子の到達時間を示す。バイアス電圧を降伏電圧以下に低下させることにより、アバランシェが消失するまで電流が継続する。この後者の機能は、クエンチ回路によって実行され、クエンチ回路はSPADと直列に高抵抗バラスト負荷を単に備えてもよいし、あるいは能動回路素子を備えてもよい。

【発明の概要】

40

【0005】

以下に説明する本発明の実施形態は、改良されたライダセンサ及びそれらの使用方法を記載する。

【0006】

したがって、本発明の実施形態によれば、光パルスの少なくとも1つのビームを放射するように構成されたレーザ光源と、対象シーンにわたって少なくとも1つのビームを送信及び走査するように構成されたビームステアリング装置と、感知素子のアレイとを含む電気光学装置が提供される。各感知素子は、単一光子の感知素子への入射時間を示す信号を出力するように構成されている。集光光学系は、送信されたビームによって走査された対象シーンをアレイ上に結像するように構成されている。回路は、アレイの選択された領域

50

内でのみ感知素子を作動させ、少なくとも1つのビームの走査に同期して、アレイの上の選択された領域を掃引するように結合される。

【0007】

一部の実施形態では、回路は、走査中の任意の瞬間に、選択された領域が、集光光学系が少なくとも1つのビームによって照明される対象シーンの区域を結像するアレイの一部を含むよう領域を選択するように構成されている。選択された領域は、1つの感知素子を含んでもよいし、複数の感知素子を含んでもよい。

【0008】

開示される実施形態では、回路は、対象シーン内の点までのそれぞれの距離を決定するために、感知素子によって出力された信号を処理するように構成されている。典型的には、感知素子は、単一光子アパランシェダイオード（SPAD）などの単一光子検出器を含む。

10

【0009】

一部の実施形態では、レーザ光源は、異なる各ビーム軸に沿って少なくとも2つのビームを放射することで、走査中の任意の瞬間に、集光光学系が少なくとも2つのビームによって照明される対象シーンのそれぞれの区域を、感知素子の異なる各区域に結像するように構成されている。これらの実施形態のうち1つでは、ビームステアリング装置は、2次元走査で対象シーンにわたって少なくとも2つのビームを走査するように構成されており、回路は、2次元走査に対応する2次元パターンでアレイの上の選択された領域にわたり掃引するように構成されている。例えば、2次元走査は、ラスタパターンを形成してもよく、少なくとも2つのビームの各ビーム軸は、ラスタパターンの走査線方向に対して互いに横方向にオフセットされている。

20

【0010】

あるいは、ビームステアリング装置は、対象シーンにわたって第1の方向に直線走査で少なくとも2つのビームを走査するように構成されており、少なくとも2つのビームは、第1の方向に垂直な第2の方向に列軸に沿って配列された複数のビームを含む。一実施形態では、複数のビームは、少なくとも2つの列に配列され、走査の第1の方向に直交し、互いにオフセットされている各列軸を有している。

【0011】

本発明の実施形態によれば、光パルスの少なくとも1つのビームを放射することと、対象シーンにわたって、この少なくとも1つのビームを送信及び走査することを含む感知方法も提供される。感知素子のアレイが提供され、各感知素子は、感知素子への単一光子の入射時間を示す信号を出力するように構成されている。送信されたビームによって走査された対象シーンは、アレイ上に結像される。感知素子は、アレイの選択された領域内でのみ作動され、選択された領域は、少なくとも1つのビームの走査に同期してアレイにわたって掃引される。

30

【0012】

本発明は、下記の図面と併せて解釈される、以下の本発明の実施形態の詳細な説明からより完全に理解されよう。

【図面の簡単な説明】

40

【0013】

【図1】本発明の一実施形態に係るライダシステムの概略図である。

【図2】本発明の一実施形態に係るSPAD式感知装置を模式的に図示するブロック図である。

【図3】本発明の一実施形態に係る、SPADアレイ内の感知素子の構成要素を示すブロック図である。

【図4】本発明の実施形態に係る、走査される感度領域を有するSPADアレイを模式的に図示するブロック図である。

【図5】本発明の一実施形態に係る、走査される円形照明スポットを有する検出器アレイの概略図である。

50

【図 6】本発明の別の実施形態に係る、走査される円形照明スポットを有する検出器アレイの概略図である。

【図 7 A】本発明の更に別の実施形態に係る、走査される楕円形照明スポットを有する検出器アレイの概略図である。

【図 7 B】本発明の更に別の実施形態に係る、走査される楕円形照明スポットを有する検出器アレイの概略図である。

【図 7 C】本発明の更に別の実施形態に係る、走査される楕円形照明スポットを有する検出器アレイの概略図である。

【図 8】本発明の実施形態に係る、2次元ラスタ走査で走査される2つの円形照明スポットを有する検出器アレイの概略図である。

10

【図 9】本発明の実施形態に係る、1次元走査で走査される照明スポットの千鳥状アレイを有する検出器アレイの概略図である。

【図 10】本発明の一実施形態に係る1次元走査を実施するライダ装置の概略図である。

【図 11】本発明の別の実施形態に係る、1次元走査を実施するライダ装置の概略図である。

【図 12】本発明の実施形態に係る、発光パワーが調整可能なレーザ光源を用いたライダ装置の概略図である。

【図 13】本発明の実施形態に係る、発光パワーの異なる2つのレーザ光源を用いたライダ装置の概略図である。

【発明を実施するための形態】

20

【0014】

概要

ライダを用いた対象シーン（対象シーン深さ）内の各点までの距離測定は、いくつかの環境、基本、及び製造の障害により、実用的な実施において品質が損なわれていることが多い。環境障害の一例は、典型的には 1000 W/m^2 の放射照度に達する、屋内外の用途の、周囲の太陽光などの相関のない背景光が存在することである。根本的な障害は、特に、対象シーンの反射率の低さ及び集光アパーチャの制限により、対象シーン表面からの反射の際の光信号によって引き起こされる損失、ならびに電子及び光子発射ノイズに関連する。これらの制限により、融通のきかないトレードオフ関係が生じることが多く、一般に、大きな光学アパーチャ、高い光パワー、狭い視野（FoV）、嵩高な機械的構成、低いフレームレート、及び制御された環境で動作するセンサの制限を伴う解決法に頼ることを設計者に押しつける。

30

【0015】

本明細書で説明される本発明の実施形態は、上述の制限を解決することで、コンパクトで低コストのライダにより、制御されていない環境で動作可能な正確で高解像度の深さ撮像を実現することを可能にする。開示される実施形態は、ビームを放射する1つ以上のパルスレーザ源を使用して、放射されたビーム軸と対象シーンとの交点で、放射照度の高い照明スポットを生成する。ビーム、ひいては照明スポットは、対象シーンをわたって走査される。対象シーンから反射された照明は、高信号対ノイズ比のための飛行時間単一光子検出器アレイ上に集光光学系によって結像され、飛行時間単一光子検出器アレイによって検出され、対象シーンの各点までの距離がこの飛行時間データから導出される。

40

【0016】

検出器アレイ上に対象シーンを結像することにより、当分野で既知の幾何学的光学によって画定された、対象シーン内の位置と検出器アレイ上の位置との間で1対1の対応が生成される。こうして、対象シーンの区域が検出器上の対応する画像区域上に結像され、画像中の直線状の長さは、対象シーンの区域内の対応する長さに、光学倍率 M （ライダシステムについては典型的には $M \ll 1$ ）を乗じることによって得られる。同様に、検出器アレイの感知素子は、拡大率 $1/M$ で対象シーン上に結像されたものと考えられるので、感知素子より「見える」対象シーンの位置及び区域が与えられる。

【0017】

50

開示される実施形態では、検出器アレイは、単一光子アバランシェダイオード（SPAD）などの単一光子時間依存性（time-sensitive）感知素子の2次元アレイを含む。専用の制御回路を介して個別に各SPADに対処することで、各SPADのオン/オフ状態を含む感度が、その特定の逆pn接合高電圧によって制御される。一部の実施形態では、SPADは個々の感知素子として作用するが、他の実施形態では、いくつかのSPADがスーパーピクセルにグループ化される。走査中の任意の瞬間に、走査されるビームから反射される照明を受け取るように構成されたアレイの区域（単数又は複数）内の感知素子のみが作動される。このように感知素子は、それらの信号が有用な情報を提供する場合にのみ作動される。この手法は、信号対バックグラウンド比を低下させる背景信号を低減するとともに、検出器アレイの電力ニーズを低下させる。

10

【0018】

ライダは、有限平均化区域を各点に関連付けた離散点のセットについて対象シーンまでの距離を測定する。開示される実施形態では、測定パラメータ、ならびに感知素子の作動は、ライダの以下のシステムパラメータの影響を受ける。

- 1) 照明スポットサイズ、
- 2) ビームステアリング装置の解像度（ステップの大きさ又は連続する距離測定間のビームステアリング装置の偏位）、
- 3) 検出器アレイのスーパーピクセルのサイズ、すなわち、ToF測定において一緒にビンニングされた感知素子の数（スーパーピクセルとして1つの感知素子が使用される場合を含む）。

20

【0019】

ライダシステムパラメータの効果は、2つの場合に分類することができる。

- a) 照明スポットがスーパーピクセルのサイズよりも小さい、小スポットの場合。
- b) 照明スポットがスーパーピクセルのサイズより大きい、大スポットの場合。

【0020】

サイズ比較は、（対象シーン内又は検出器アレイ上のいずれかの）同じ光学平面内の照明スポットとスーパーピクセルの両方をながめることによって行われる。これら2つの場合を、以下のテーブルにまとめることができ、この場合は、図のコンテキストでさらに詳述されている。

【0021】

【表1】

表1：ライダシステムパラメータの影響

	a) 照明スポット<スーパーピクセル	b) 照明スポット>スーパーピクセル
対象シーン内の測定点の位置の決定要因	ビーム軸と対象シーンとの交点	対象シーン上に投影されるスーパーピクセルの位置
対象シーン内の横方向解像度の決定要因	ビームステアリング装置の解像度	対象シーンに投影されるスーパーピクセルのサイズ
対象シーン上の測定平均化区域の決定要因	照明スポットサイズ	対象シーンに投影されるスーパーピクセルのサイズ
ビームステアリング装置の状態の決定事項	対象シーン内の測定点の位置 作動スーパーピクセルの選択	作動スーパーピクセルの選択

30

40

【0022】

本発明の一部の実施形態では、対象シーンは、1つのレーザービーム又は複数のビームのいずれかによって照明され走査される。複数のビームを利用する一部の実施形態では、これらのビームは、回折光学素子、プリズム、ビームスプリッタ、又は当分野で既知の他の光学素子を用いてレーザービームを分割することによって生成される。他の実施形態では、

50

いくつかの別個のレーザ光源を用いて複数のビームが生成される。これらの実施形態のうちの一部では、複数のビームは、V C S E L又はV E C S E Lのアレイなどのモノリシックレーザアレイを用いて生成される。

【 0 0 2 3 】

一部の実施形態では、走査ミラーなどのビームステアリング装置は、2次元ラスタ走査で単一の光ビームにより対象シーンを走査するように動作する。(ラスタ走査は一般的に、走査点のある走査線から次の走査線に移行させる短い移動とともに、長い略直線状の前後走査、いわゆる走査線を含む)。本明細書では一例としてラスタパターンを説明し、同様の原理を実施する代替走査パターンは本発明の範囲内であると考えられる。単一の光ビームを用いる場合には、ラスタ走査の走査線に垂直な方向の走査解像度は、順次の走査線間の離隔距離により与えられる。順次の走査線間の離隔距離を減らすことで走査解像度を上げることができるが、この種類の解像度の増加は、シーンをカバーするのにより多くの数の走査線が必要とするので、フレームレートを減少させるという犠牲を伴うことになる。あるいは、1フレーム当たりの走査線数を変えない場合には、視野の縮小を犠牲にして解像度を上げることができる。機械的制約によって、これらの効果を相殺するようにミラーの走査速度を増加させることができる範囲が制限される。

10

【 0 0 2 4 】

一実施形態では、走査線方向に対して横方向に、ならびに走査線方向に広がった複数の光ビームを用いて走査線に垂直な方向の走査解像度を増加させる。走査線に沿った光ビームの離隔距離は、各光ビームを個々に特定すべく、各光ビームが検出器アレイ上の別個のスーパーピクセルを照明するように構成されている。ここでは、走査線密度ではなく、光ビームの横方向離隔距離により走査解像度が決定される。開示される実施形態は、感知素子のサイズを縮小せずに、横方向解像度を増加させることによって検出器アレイの小型化要件を緩和することができる。

20

【 0 0 2 5 】

別の実施形態では、複数の照明スポットが、直線走査で対象シーンにわたって走査される。(このコンテキストにおける直線走査は、走査線が、光学的又は機械的な欠陥により直線から歪んでいる単一の方向に沿った走査を含む。)1次元直線走査を使用すると、2次元走査よりも単純で安価なビームステアリング装置の使用が可能になるが、十分に高い解像度で対象シーンをカバーする光ビーム数は一般的に、2次元走査に必要な光ビーム数よりも多くなる。単一系列走査は、走査線に垂直な列で構成されており、一列の照明スポットを生成する複数の光ビームで実施することができる。列軸方向の最も高い走査解像度は、各照明スポットが検出器アレイ内の別個の感知素子上に結像されるときに、達成される。

30

【 0 0 2 6 】

直線走査を利用した別の実施形態では、走査線に垂直で、列軸方向に互いにオフセットされた複数列の照明スポットを生成することにより、走査線に垂直な走査解像度を増大させる。また、複数の列は、各照明スポットに別個の感知素子を照明させるように、少なくとも1つの感知素子分、走査線方向に互いにオフセットされるので、各照明スポットを別々に特定することができる。本実施形態は、感知素子のサイズを縮小せずに、横方向解像度を増大させることで、検出器アレイの小型化要件を緩和することができる。

40

【 0 0 2 7 】

本発明の一部の実施形態は、広角視野(F o V)を有し、広い深さ範囲をカバーするライダシステムを提供する。高効率で広いF o V光学系を実装すると、構成要素が嵩高で高価になるので、これらの実施形態では、簡単な光学設計及び構成を維持しながら広い範囲のF o V及び距離にわたってシーン深さを測定するためにレーザ光源、検出器アレイ、電子機器及びアルゴリズムについての専用設計ならびに使用態様を適用する。

【 0 0 2 8 】

レーザ光源に対して配慮すべきことは、発光パワーに関するものである。対象シーン走査のために低発光パワーのレーザ光源のみを使用する場合、対象シーンの遠点から検出器

50

アレイによって受信される信号は、ロバストで正確な測定には弱すぎる。一方、遠方の対象シーン点を計測可能な高発光パワーのレーザ光源のみを使用する場合には、近傍の対象シーン点に対して、不必要に高い発光パワーをライダで使用する事になり、ライダの消費電力を増加させる。したがって、本発明の一部の実施形態では、レーザ光源の発光パワーは測定された距離に応じて調整される。

【0029】

システムの説明

図1は、本発明の実施形態に係るライダシステム18を模式的に示す。1つ以上のパルスレーザを含むレーザ光源20からのビーム(単数又は複数)は、デュアル軸ビームステアリング装置24によって対象シーン22に向けられ、対象シーンにわたって照明スポット26が形成し走査する。(本明細書では、用語「光」は、可視、赤外及び紫外の範囲の放射を含む任意の種類的光放射を参照するのに使用される。)ビームステアリング装置は、例えば、走査ミラー、又は当分野で既知の任意の他の適切なタイプの光偏向器もしくはスキャナを備えることができる。照明スポット26は、集光光学系27によって、SPADなどの単一光子、時間依存性感知素子を含む2次元検出器アレイ28上に結像される。

【0030】

また、対象シーン22は、照明スポット26の他に、太陽などの周囲光源36によって照明される。高い信号対バックグラウンド比を達成するために、照明スポットの放射照度は、例えば、太陽からの放射照度により1000W/m²まで到達し得る周囲照明よりもはるかに高くなるように選択される。検出器アレイ28への周囲照明を更に低減するために、帯域通過フィルタ37が用いられる。

【0031】

制御回路38は、レーザ光源20に接続されることで、パルス放射をタイミング制御し、それらの発光パワーを制御し、また、デュアル軸ビームステアリング装置24に接続されることで、照明スポット26の走査を制御する。また、制御回路38は、検出器アレイ28の各SPADの逆pn接合高電圧を動的に調整することにより、各SPADの作動及び感度を制御する。レーザ光源20からのパルスの既知のタイミングと、対象シーン22上の照明スポット26の位置を決定するデュアル軸ビームステアリング装置24の既知の状態とを利用して、制御回路38は、任意の瞬間に照明スポットが集光光学系27によって結像されるこれらのSPADのみを作動させる。さらにレーザ光源20及びビームステアリング装置24の上記知識、ならびに検出器アレイ28から読み出された信号を利用して、制御回路38は、レーザ光源から検出器アレイまでの測定された飛行時間を用いて、対象シーン22内の各走査点までの距離を決定する。

【0032】

図2~図4は、本発明の実施形態に係る検出器アレイ28のアーキテクチャ及び機能を模式的に図示している。これらの図面は、グローバル及びローカルのバイアス制御を組み合わせ用いて、アレイ内のSPAD式感知素子を選択して作動させるのに使用され得る1つの可能な方式を示している。あるいは、他の種類のバイアス及び作動方式、ならびに他の種類の単一光子感知素子が、これらの目的で使用されてもよい。

【0033】

図2は、本発明の一実施形態に係る検出器アレイ28を模式的に図示するブロック図である。検出器アレイ28は、感知素子44を含み、それぞれは、更に後述するように、SPADと、関連するバイアス回路及び処理回路と、を含んでいる。グローバル高圧バイアス発生器46は、アレイ28内のすべての感知素子44にグローバルバイアス電圧を印加する。また、各感知素子44内のローカルバイアス回路48は、感知素子のグローバルバイアスと加算する過剰バイアスを印加する。感知素子バイアス制御回路50は、ローカルバイアス回路48が印加する過剰バイアス電圧を、異なる感知素子でそれぞれの値に設定する。グローバル高圧バイアス発生器46と感知素子バイアス制御回路50の両方は制御回路38に接続されている(図1)。

【0034】

10

20

30

40

50

図3は、本発明の一実施形態に係る、アレイ28内の感知素子44のうち1つの構成要素を示すブロック図である。開示される実施形態では、アレイ28は、第1の半導体チップ52上に形成された2次元マトリクスの感知素子を備え、第2の2次元マトリクスのバイアス制御回路及び処理回路が第2の半導体チップ54上に形成されている。(2つのマトリクスのうちそれぞれの単一素子のみを示す)チップ52、54は、2つのマトリクスが1対1対応で相互に結合されることによって、チップ52上の各感知素子は、チップ54上の対応するバイアス制御素子及び処理素子と接している。

【0035】

チップ52、54はともに、本明細書に記載の付随するバイアス制御回路及び処理回路とともに、当分野で既知のSPADセンサ設計に基づいて、周知のCMOS作製プロセスを用いて、シリコンウェーハから製造することができる。あるいは、本明細書で説明される検出の設計及び原理は、他の材料及びプロセスを用いて、必要な変形を加えて実装してもよい。例えば、図3に示す構成要素の全てを単一チップ上に形成してもよいし、チップ間の構成要素の分布は異なってもよい。このような代替的な実施形態はすべて本発明の範囲内であると考えられる。

【0036】

感知素子44はSPAD56を含み、それは当分野で既知のように、感光性pn接合を含んでいる。クエンチ回路58及びローカルバイアス回路48を含む周辺回路は典型的には、チップ54上に配置される。上述のように、SPAD56に印加される実バイアスは、バイアス発生器46(図2)が付与するグローバルバイアス電圧 V_{bias} とバイアス回路48が印加する過剰バイアスとの和である。感知素子バイアス制御回路50(図2)は、チップ54上のバイアスメモリ60内で対応するデジタル値を設定することにより、各感知素子に印加される過剰バイアスを設定する。

【0037】

捕捉されたそれぞれの光子に反応して、SPAD56はアバランシェパルスを出力し、それは、デジタル論理62と出力バッファ64として構成されたメモリを含むチップ54上の処理回路によって受信される。これらの処理要素は、例えば、時間-デジタル変換器(TDC)として機能するように構成することができ、それは、基準時間に対するSPAD56による各パルス出力の遅延を測定し、その遅延に対応するデジタルデータ値を出力するものである。その代わりに、又はそれに加えて、論理62及びバッファ64は、(限定されないが)パルス遅延時間のヒストグラム、二値波形又は多値デジタル波形を含む、他の種類の値を測定し出力してもよい。チップ54からの出力は、制御回路38(図1)に接続される。

【0038】

図4は、本発明の一実施形態に係る、感度の走査領域70を有するSPADアレイ28を模式的に図示するブロック図である。この場合、バイアス制御回路50は、領域70内の感知素子72のバイアス電圧を、残りの感知素子76よりも高い値に設定し、そのバイアス電圧は感知素子76がオフとなるように設定されている。しかし、バイアス制御回路50は、図中の矢印が図示するように、アレイにわたって領域70を掃引するように感知素子48のバイアス電圧を動的に調節する。回路50は、例えば、(以下の図面で示すように)アレイ28に結像される対象シーンにわたるレーザービームの走査に同期して、ラスト走査で領域70を掃引することができる。

【0039】

上記のように、本実施形態は、アレイ28の感応領域を照明光ビームの形状又は撮像される対象シーン内の関心領域の形状に適応させる際に有用であり、これによって、信号に寄与しないよう感知素子からのバックグラウンドノイズを低減しながら、電力消費に対するアレイ28の感度を最大化することができる。

【0040】

(例えば、図9に図示する)本発明の代替的な実施形態では、バイアス制御回路50は、領域70が直線形状を有し、その直線形状はアレイ28の1つ以上の列に沿って延在し

10

20

30

40

50

、当該直線形状の照明ビーム又はビームのアレイに適合するようにローカルバイアス電圧を設定する。その後、回路50は、照明ビームに同期して、アレイ28にわたってこの直線領域70を掃引してもよい。あるいは、規則的な走査パターンと適応的な走査パターンの両方を含む他の走査パターンが実行されてもよい。

【0041】

例示の走査パターンとスーパーピクセル

図5は、本発明の実施形態に係る、走査される円形照明スポット26(図1)の画像をアレイ上に重ね合わせた検出器アレイ28を示す概略図である。集光光学系27により検出器アレイ28上に作られた照明スポット26の動画は、観測される連続する3つの時点 $t = t_{i-1}$ 、 $t = t_i$ 、及び $t = t_{i+1}$ で観察される。この連続した3つの時点の走査された照明スポット26の画像はそれぞれ、円84、86及び88で表され、それらの直径は、本例では、感知素子44のピッチの2倍である。矢印90は、走査された照明スポット26の画像の走査方向を示し、走査された照明スポットの画像の予定位置は、ビームステアリング装置24の状態についての知識から決定される。

10

【0042】

各時点では、その時点における照明スポット26の画像の位置に最も適合するアレイ28の領域内の感知素子44が作動される。これらの作動された感知素子は「スーパーピクセル」としてみなすことができる。図5に示す実施形態では、各スーパーピクセルは 2×2 の感知素子のアレイを含むが、一部の実施形態では、スーパーピクセルのサイズは静的に、あるいは動的に他の値をとる。

20

【0043】

時刻 $t = t_{i-1}$ では、スーパーピクセル92が作動され(円84を取り囲む)、時刻 $t = t_i$ では、スーパーピクセル94が作動され(円86)、そして、時刻 $t = t_{i+1}$ では、スーパーピクセル96が起動される(円88)。このように、図示された実施形態では、各感知素子44は、隣接する2つのスーパーピクセルに関連付けられている。アクティブなスーパーピクセル内のこれらの感知素子のみが所与の瞬間に作動され、残りの感知素子はバイアス電圧をアバランシェ増倍が持続できないレベルまで低下させることでオフにされる。この動作は、照明スポットに相関しない対象シーンの背景照明への露光を低減しながら、走査された照明スポット26の画像から光信号を最大限に収集することによって、アレイ28の信号対バックグラウンド比を増加させる。本発明の一部の実施形態では、走査スポット26の画像によって照明されていない感知素子の出力は、標準的な論理ゲートを用いてマスクされる。

30

【0044】

走査方向における対象シーン22の横方向解像度は、(走査速度及びレーザパルス繰返し率によって決定される)走査の離散的なステップサイズによって決定され、本実施形態では、感知素子44の1つのピッチである。対象シーンの距離が平均化される区域は、(おおよそ)スーパーピクセルの区域である。

【0045】

図6は、本発明の別の実施形態に係る、走査される円形照明スポット26(図1)の画像をアレイに重ね合わせた検出器アレイ28を示す概略図である。照明スポットの動画が連続する3つの時点 $t = t_{i-1}$ 、 $t = t_i$ 、 $t = t_{i+1}$ で観察される。走査される照明スポットの画像の直径と、連続する2つの時点の間の走査ステップの両方とともに、感知素子44のピッチの半分である。連続する3つの時点の走査される照明スポット26の画像はそれぞれ円100、102、104で表される。矢印105は走査方向を示し、ビームステアリング装置24の状態についての知識から判定された画像の予定位置が決定される。本実施形態では、単一の感知素子44のスーパーピクセルを使用し、スーパーピクセル106は、 $t = t_{i-1}$ で作動され、またスーパーピクセル108は、 $t = t_i$ 及び $t = t_{i+1}$ の両方で作動される。走査方向における対象シーン22の画像の横方向解像度は感知素子44のピッチの半分であり、距離が平均化される対象シーンの区域は照明スポット26の区域である。

40

50

【 0 0 4 6 】

図 7 A ~ C は、本発明の更に別の実施形態に係る、走査される楕円状の照明スポット 2 6 (図 1) の画像をアレイ上に重ね合わせた検出器アレイ 2 8 を示す概略図である。楕円状の照明スポットは、例えば、発光接合断面が高アスペクト比の矩形である端面発光レーザダイオードから得られる。本実施形態では、アスペクト比が 3 対 1 の楕円照明スポット 2 6 が図示されるが、他の実施形態では他のアスペクト比を使用することができる。検出器アレイ 2 8 上の照明スポット 2 6 の楕円状の画像のいわゆる速軸 (長寸法) の程度は、感知素子 4 4 のピッチのほぼ 6 倍であり、遅軸 (短寸法) の程度は、ピッチの 2 倍である。図 7 A ~ C は、図 5 ~ 図 6 と同様に、連続する 3 つの時点 $t = t_{i-1}$ 、 $t = t_i$ 、 $t = t_{i+1}$ での照明スポット 2 6 の動画像を模式的に示す。検出器アレイ 2 8 上の各走査ステップは、感知素子 4 4 の 1 つのピッチである。本実施形態では、 2×2 の感知素子のスーパーピクセルが使用される。

10

【 0 0 4 7 】

図 7 A は、時刻 $t = t_{i-1}$ における走査された照明スポット 2 6 の画像である、照明スポット 1 1 0 を模式的に示している。この時刻で作動されるスーパーピクセルは、照明スポット 1 1 0 の予定位置に基づいて、ピクセル 1 1 2、1 1 4、1 1 6 となる (照明スポットの最遠上下端は信号にほとんど寄与しないので、無視される)。矢印 1 1 8 は走査方向を示しており、照明スポット 1 1 0 の予定位置はビームステアリング装置 2 4 の状態についての知識から決定される。

【 0 0 4 8 】

図 7 B は、時刻 $t = t_i$ における走査された照明スポット 2 6 の画像である、照明スポット 1 2 0 を模式的に示している。この時刻で作動されるスーパーピクセルは、照明スポット 1 2 0 の予定位置に基づいて、1 1 2、1 1 4、1 1 6、1 2 2 となる。ここでは、4 つのスーパーピクセルが作動されるのは、照明スポット 1 2 0 の有意部分 (楕円の上端) は依然としてピクセル 1 1 2 内にあり、別の有意部分 (楕円の下端) はピクセル 1 2 2 に入っているからである。スーパーピクセル 1 1 2、1 1 4、1 1 6 は、信号対ノイズ比を改善するために、継続して信号を収集する。図 7 A のように、矢印 1 1 8 は走査方向を示し、 $t = t_i$ における照明スポット 1 2 0 の予定位置はビームステアリング装置 2 4 の状態についての知識から決定される。

20

【 0 0 4 9 】

図 7 C は、時刻 $t = t_{i+1}$ における走査された照明スポット 2 6 の画像である照明スポット 1 2 4 を模式的に示している。この時刻での作動されるスーパーピクセルは、照明スポット 1 2 4 の予定位置に基づいて、ここでは 1 1 4、1 1 6、1 2 2 となる。ここでは、3 つのスーパーピクセルしか作動されず、ピクセル 1 1 2 (図 7 B) は照明スポット 1 2 4 のあらゆる有意部分によってもはや照明されなくなる。図 7 A ~ B のように、矢印 1 1 8 は走査方向を示し、 $t = t_{i+1}$ における照明スポット 1 2 4 の予定位置はビームステアリング装置 2 4 の状態についての知識から決定される。図示された実施形態では、各スーパーピクセルは 7 つの走査ステップの間、照明スポット 2 6 の画像に露光され、それによって信号対ノイズ比が改善される。

30

【 0 0 5 0 】

楕円状の照明スポットの長さがスーパーピクセルよりはるかに長いことにより、走査方向の解像度はスーパーピクセルのサイズによって決定される。スーパーピクセルのサイズは楕円照明スポットの速 (長) 軸に沿った長さの $1/3$ であるので、走査線方向に得られる解像度は、楕円照明スポットのみで得られる解像度の 3 倍 (数値では $1/3$) である。距離測定のための平均化区域が、スーパーピクセルの区域である。

40

【 0 0 5 1 】

図 5 ~ 図 7 では、理想的な形状 (円形又は楕円) が、検出器アレイ 2 8 上の照明スポット 2 6 の画像の形状として用いられている。本発明の一実施形態では、制御回路 3 8 は、検出器アレイ上の照明スポット画像の実際の形状を計算 (又は参照) し、この計算結果は、走査内の各点で始動するセンサ素子を選択する際に使用される。この計算は、ビームス

50

テアリング装置 24 の設計、その走査移動特性、ビームステアリング装置の正確な状態、及びレーザ光源 20 からビームとビームステアリング装置との間の角度を考慮しているのは、それらが照明スポット 26 の画像の形状、移動方向、及び向きに影響を及ぼすからである。さらに、ライダ装置と対象シーン 22 との間の距離に対する画像の依存性を考慮する。この効果は、特に、ビームステアリング装置 24 と集光光学系 27 との間の離間距離に比べて短い対象シーン範囲に対して重要である。上記の計算は、所望の縦横角度分解能を達成しながら、作動した感知素子 26 と検出器アレイ 44 上の照明スポット 28 の画像とを最適に重ね合わせるために実行され、それによって信号対バックグラウンド指数及び信号対ノイズ指数を最適化することができる。

【0052】

図 8 は、本発明の実施形態に係るラスタ走査ライダの解像度を向上させる技法を示す概略図である。ビームステアリング装置 24 は、検出器アレイ 28 上の照明スポット 26 (図 1) の画像を、検出器アレイの一行では下に及び次列では上にラスタ走査パターン 130 で走査する。1つの照明スポットしか使用されなかった場合、ラスタ走査の走査線に垂直な横方向解像度は、感知素子 44 のピッチとなるであろう。しかし、本実施形態では、横方向解像度は、走査される 2つの照明スポット 26 を用いることで倍になり、検出器アレイ 28 上のその画像は、走査線に沿って感知素子 44 のピッチに等しい距離だけ、また走査線に対して横方向にこのピッチの半分だけ離れている。ビームステアリング装置 24 及びレーザ光源 20 の繰返し率は、連続する照明スポットがラスタ走査の走査線方向に感知素子 44 のピッチの半分のステップだけ離れるように構成されている。各スーパーピクセルは、1つの感知素子 44 を含んでいる。

【0053】

図 8 は連続する 2つの時点 $t = t_i$ 及び $t = t_{i+1}$ での 2つの照明スポット 26 の画像を模式的に示す。時刻 $t = t_i$ では、照明スポットの画像は、スポット 132 とスポット 134 であり、スポット 132 はスーパーピクセル 136 内にあり、スポット 134 はスーパーピクセル 138 内にある。他のスーパーピクセルは全てオフにされている。時刻 $t = t_{i+1}$ では、両スポットは、矢印 140 で示すように、スーパーピクセルの半分だけ下に、新たな位置 142、144 まで移動する。これらのスポットは依然として $t = t_i$ のときと同じスーパーピクセル 136 及び 138 内にあるが、照明スポット 142 及び 144 の位置は、 $t = t_{i+1}$ でのビームステアリング装置 24 の状態により決定される。2つのスポットが常に別個のスーパーピクセルに割り当てられていることにより、スポットは個別に識別可能であり、走査線に対して横方向のライダの解像度は、感知素子 44 のピッチではなく、その方向における 2つの照明スポット 26 の画像の離間距離によって決定され、それによって、検出器アレイ 28 に対する小型化要求が緩和される。各照明スポット 26 によって測定される距離の平均化区域が、その照明スポットの区域である。

【0054】

別の実施形態(図示せず)では、走査された照明スポット 26 の数が(図 8 と比較して) 2個より多い数まで増加し、それらの照明スポットは、各照明スポットの画像が異なる感知素子 44 内に配置されるようにラスタ走査パターン 130 に沿って離れている。N個の照明スポット 26 の画像が全て検出器アレイ 28 の 1つの列内にある実施形態では、ラスタ走査 130 に対して横方向の解像度は、感知素子 44 のピッチを N分割することにより与えられる。

【0055】

直線走査パターン

図 9 ~ 図 11 は、本発明の実施形態に係る、直線走査に基づいたライダを示す概略図である。直線(1次元)走査は、2次元走査に必要とされるよりも潜在的に小さく、より安価でより信頼性の高いビームステアリング装置の設計を用いるので有利である。直線走査方向の解像度は、ビームステアリング装置の解像度によって決定される。直線走査方向に対して横方向に走査が行われないので、直線走査方向の解像度は、対象シーン 22 にわたって配列された複数の照明スポット 26 を用いて達成される。

10

20

30

40

50

【 0 0 5 6 】

図 9 は、本発明の一実施形態に係る、検出器アレイ 2 8 上に結像された 1 次元走査を示す概略図である。円 1 5 3 がセンサアレイ 2 8 上の個々の照明スポットの画像の予定位置を表している、2 つの千鳥列 1 5 1、1 5 2 を含む照明スポット 2 6 の画像のパターン 1 5 0 を用いることで、直線走査に垂直な方向のライダの解像度は感知素子 4 4 のピッチを超えて改善される。矢印 1 5 4 は走査方向を示す。

【 0 0 5 7 】

パターン 1 5 0 の各列 1 5 1 及び 1 5 2 では、円 1 5 3 が示すように、各列軸に沿った照明スポット 2 6 の画像の間隔は、感知素子 4 4 のピッチに等しい。2 つの列 1 5 1 及び 1 5 2 は、列軸線方向に感知素子 4 4 のピッチの半分だけ互いにオフセットされている。列 1 5 1 及び 1 5 2 は、2 つの列を別個の感知素子に割り当てるように走査方向に 1 ピッチだけ離間している。一部の実施形態（図示せず）では、直線走査に対して横方向の解像度は、列軸線方向における互いのオフセットを小さくした 2 列より多い照明スポット 2 6 を用いることにより、更に改善される。これにより、例えば、感知素子 4 4 の 1 / 4 のピッチだけ互いにオフセットした 4 列を用いることにより、4 分の 1 のピッチの解像度を実現することができる。

【 0 0 5 8 】

図 1 0 は、本発明の一実施形態に係る 1 次元走査に基づいたライダ 1 5 9 を示す概略図である。単一のパルスレーザ光源 1 6 0 からのビームを回折光学素子（DOE）1 6 2 で分割し、2 つの千鳥列複数のビームにする。これらのビームは、単一軸ビームステアリング装置 1 6 6 によって対象シーン 2 2 に向けられ、それにわたって走査され、対象シーン 2 2 上に 2 つの千鳥列の照明スポット 1 6 8 を形成する。この照明スポットは、集光光学系 2 7 によって検出器アレイ 2 8 上に結像され、図 9 に示すようにパターン 1 5 0 で 2 つの千鳥状列 1 5 1、1 5 2 を形成する。

【 0 0 5 9 】

パターン 1 5 0 の照明スポット 2 6 の画像を含む感知素子 4 4 のみを走査中に任意の瞬間に作動させ、残りの感知素子をオフにすることで、背景光の不要な統合化を防止し、高い信号対バックグラウンド比を実現することができる。図 1 と同様に、制御回路 3 8 は、レーザ光源 1 6 0、ビームステアリング装置 1 6 6、及び検出器アレイ 2 8 に接続され、それらの機能を制御し、飛行時間データを用いて対象シーン 2 2 までの距離を決定するために、データを収集する。

【 0 0 6 0 】

図 1 1 は、本発明の別の実施形態に係る、1 次元走査及び同軸光学アーキテクチャに基づいたライダ 1 7 0 を示す概略図である。単一のパルスレーザ光源 1 6 0 からのビームは、DOE 1 6 2 によって分割され、2 つの千鳥状列の複数のビームになる。これらのビームは偏光ビームスプリッタ 1 7 6 を通過し、単軸ビームステアリング装置 1 6 6 によって対象シーン 2 2 に向けられ、それにわたって走査されることで、2 つの千鳥列の照明スポット 1 6 8 を形成する。対象シーン 2 2 から反射された照明スポットは、ビームステアリング装置 1 6 6、偏光ビームスプリッタ 1 7 6、及び集光光学系 2 7 を通って検出器アレイ 2 8 上に結像され、図 9 に示すパターン 1 5 0 の 2 つの千鳥列 1 5 1、1 5 2 を形成する。

【 0 0 6 1 】

光伝送と収集の同軸アーキテクチャにより、検出器アレイ 2 8 上のパターン 1 5 0 は、走査に対して（ほぼ）静止している。したがって、走査方向に垂直な軸に沿った検出器アレイ上のセンサ素子 4 4 の列の数は、走査方向に沿ったセンサ素子の行の数よりもかなり小さくてもよい。図 1 と同様に、制御回路 3 8 は、レーザ光源 1 6 0、ビームステアリング装置 1 6 6、及び検出器アレイ 2 8 に接続され、それらの機能を制御し、飛行時間データを用いて対象シーン 2 2 までの距離を決定するためにデータを収集する。

【 0 0 6 2 】

図 1 0 及び図 1 1 に示すいずれの実施形態でも、走査方向に垂直な横方向解像度は、感

10

20

30

40

50

知素子 4 4 のピッチの半分であり、走査に沿った解像度は、ビームステアリング装置 1 6 6 の走査速度とレーザ光源 1 6 0 のパルス繰返し率により決定される。照明スポット 1 6 8 の各々は、そのスポットの区域にわたって距離測定を平均化する。

【 0 0 6 3 】

本明細書では、パターン 1 5 0 内の列 1 5 1 及び 1 5 2 の垂直向きを一例として示し、同様の原理を実施する代替的な向きも本発明の範囲内であると考慮される。

【 0 0 6 4 】

マルチレンジ感知

図 1 2 ~ 図 1 3 は、本発明の実施形態に係る、対象シーンの遠距離及び近距離に適応するライダを示す概略図である。

【 0 0 6 5 】

図 1 2 は、本発明の実施形態に係る遠近両方の対象シーン点までの距離を測定するのに適合するライダ 1 9 9 を示す概略図である。パルスレーザ光源 2 0 0 のビームは、デュアル軸ビームステアリング装置 2 4 によって対象シーン 2 2 に向けられ、対象シーン上に照明スポット 2 0 6 を形成し、対象シーンにわたってスポットを走査する。照明スポット 2 0 6 が集光光学系 2 7 によって検出器アレイ 2 8 上に結像される。制御回路 3 8 は、レーザ光源 2 0 0、ビームステアリング装置 2 4 及び検出器アレイ 2 8 に接続されている。

【 0 0 6 6 】

レーザ光源 2 0 0 は、制御回路 3 8 からの信号制御下で、低発光パワー及び高発光パワーの 2 つのパワーレベルで発光する能力を有する。付随して、検出器アレイ 2 8 の感知素子 4 4 (図 2 参照) は、2 つの別個のモード、すなわち近距離モードと遠距離モードで動作する能力を有する。特定の感知素子の所与の動作モードに対して、制御回路 3 8 はそのタイミング及び感度、ならびに、そのモードでの最適な性能のための信号処理アルゴリズムを調整する。典型的には、短距離モードでは、感知素子 4 4 は比較的低い感度 (結果としてノイズも低くなる) にバイアスされ、短い飛行時間を感知するようにゲートされる。長距離モードでは、感知素子 4 4 が比較的高い感度にバイアスされ、より長い飛行時間を感知するようにゲートされるので、近距離反射のスプリアス検出の可能性が低減される。

【 0 0 6 7 】

対象シーン 2 2 の各区域に必要な動作モードを決定するために、まず、近距離検出に適した低発光パワーレベルでレーザ光源 2 0 0 を用いて、その区域を走査する。レーザ光源 2 0 0 からの光を受光する検出器アレイ 2 8 内の感知素子 4 4 は、そのタイミング、感度、及び近距離測定のために設定された関連する信号処理アルゴリズムで作動される。

【 0 0 6 8 】

この短距離走査に続いて、制御回路 3 8 は、所定の基準に基づいて、この短距離、低電力走査により、十分にロバストな距離測定が得られなかった区域でのみ、ライダ 1 9 9 を制御して長距離走査を実行する。遠距離走査では、これらの区域からの反射光を受光するように作動される感知素子 4 4 のタイミング、感度、アルゴリズムを適宜変更して、高発光パワーレベルの光源 2 0 0 を用いて、これらの領域の測定を繰り返す。

【 0 0 6 9 】

図 1 3 は、本発明の別の実施形態に係る、遠近両方の対象シーン点までの距離を測定するのに適合したライダ 2 1 0 を示す概略図である。2 つのパルスレーザ光源 2 1 8 及び 2 2 0 のビームは、デュアル軸ビームステアリング装置 2 4 によって対象シーン 2 2 に向けられ、対象シーン 2 2 上に照明スポット 2 2 6 を形成し、対象シーン 2 2 にわたって照明スポットを走査する。(図 1 3 では、2 つの別個の光源を示すために、レーザ光源 2 1 8 とレーザ光源 2 2 0 との間の離間距離は誇張されている)。以下に詳述するように、レーザ光源のうちの 1 つだけが所与のある時刻に発光している。照明スポット 2 2 6 は集光光学系 2 7 によって検出器アレイ 2 8 上に結像される。制御回路 3 8 は、レーザ光源 2 1 8、2 2 0、ビームステアリング装置 2 4、及び検出器アレイ 2 8 に接続されている。

【 0 0 7 0 】

10

20

30

40

50

各レーザ光源 218、220は、起動されると、低発光パワーレベルで発光するレーザ光源 218と、高発光パワーレベルで発光するレーザ光源 220を用いて、特定の発光パワーレベルで発光する。制御回路 38は、図 12に参照して上記に説明した種類の基準に基づいた走査において各点でいずれのレーザ光源を作動すべきかを選択する。同様に、検出器アレイ 28の感知素子 44（図 2 参照）は、2つの別個のモード、すなわち、近距離モードと遠距離モードで動作する能力を有する。特定の感知素子 44の所与の動作モードに対して、制御回路 38は、そのタイミング及び感度、ならびにそのモードでの最適な性能のための信号処理アルゴリズムを調整する。

【 0 0 7 1 】

対象シーン 22の所与の区域において必要な動作モードを決定するために、まず低発光パワーのレーザ光源 218を用いて、その区域を走査する。レーザ光源 44からの光を受光する検出器アレイ 28内のこれらの感知素子 218は、近距離測定のために設定されたタイミング、感度、及び関連する信号処理アルゴリズムで作動される。先行する実施形態のように、制御回路 38は、レーザ光源 218を用いて所与の区域に対して、十分にロバストな距離測定を行うことができないと判定した場合には、レーザ光源 220からの光を受光するように作動する感知素子 44のタイミング、感度、アルゴリズムを適宜変更して、レーザ光源 220を用いて、より高い発光パワーのレーザで、その区域に対する測定を繰り返す。

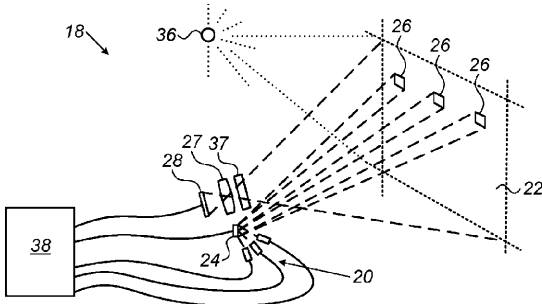
【 0 0 7 2 】

上述の実施形態は例として挙げられており、本発明は、以上に具体的に図示され説明されたものに限定されないことが理解されるであろう。むしろ、本発明の範囲は、以上に説明した様々な特徴の組み合わせ及び部分的組み合わせの両方、ならびに当業者であれば前述の説明を読むことによって想到するであろう従来技術に開示されていないそれらの変型及び修正を含む。

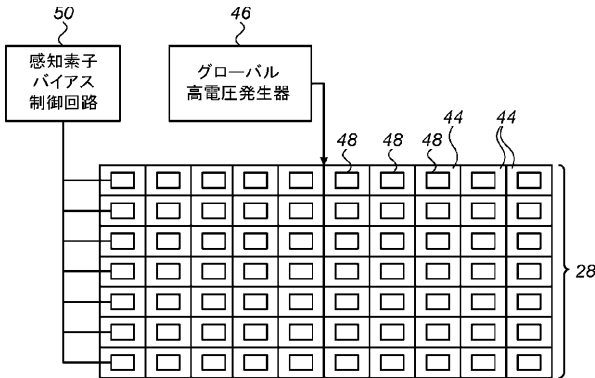
10

20

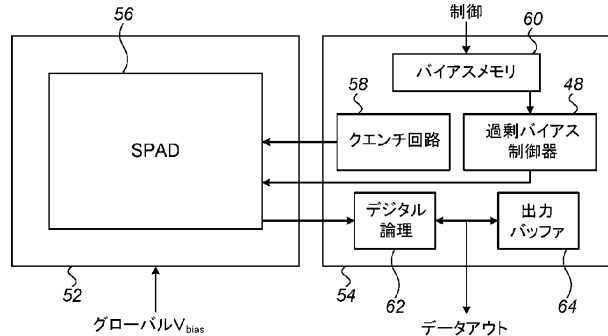
【 図 1 】



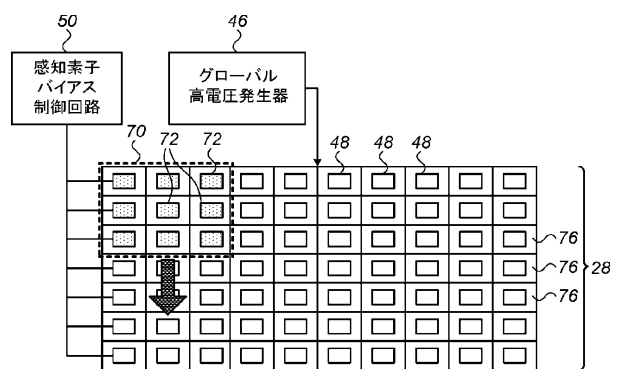
【 図 2 】

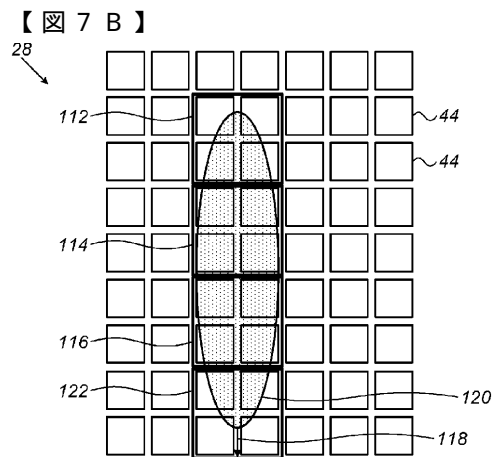
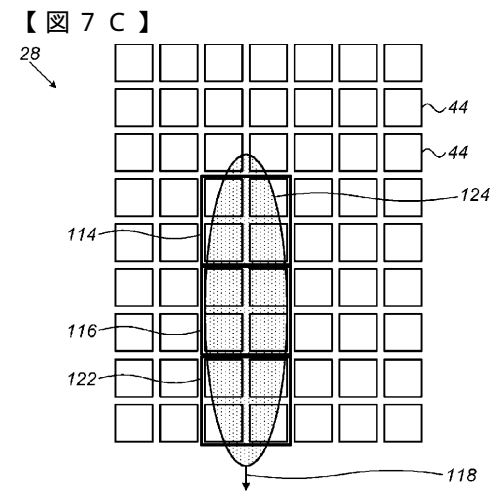
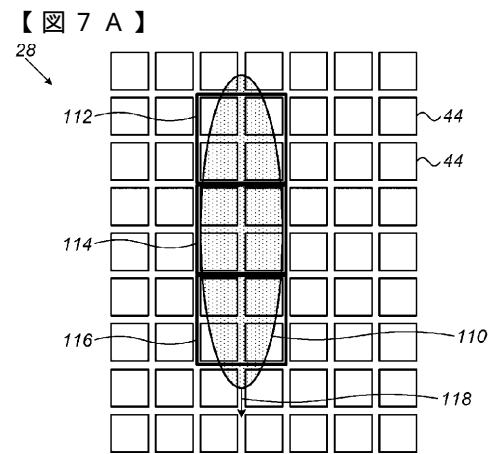
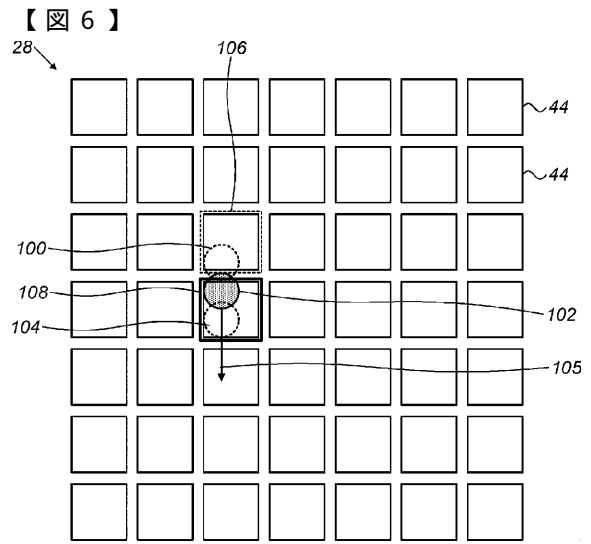
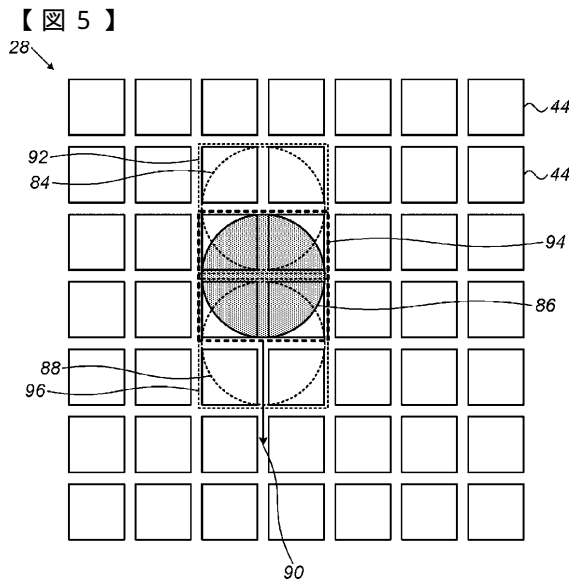


【 図 3 】

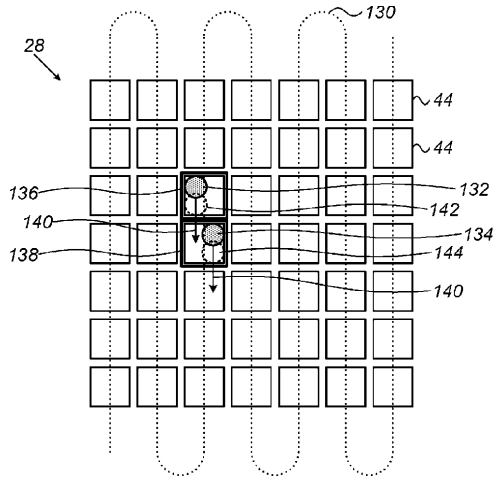


【 図 4 】

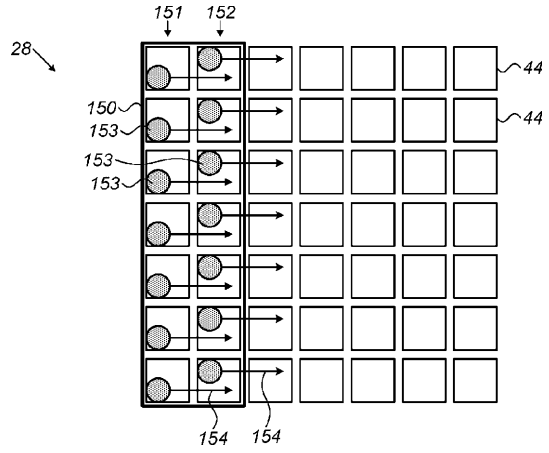




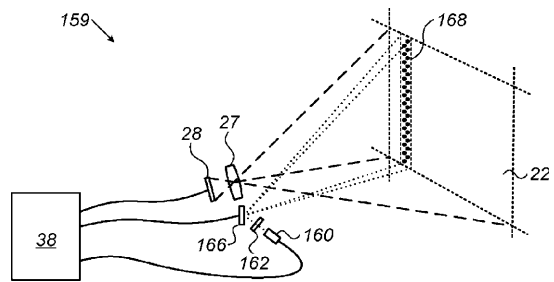
【図 8】



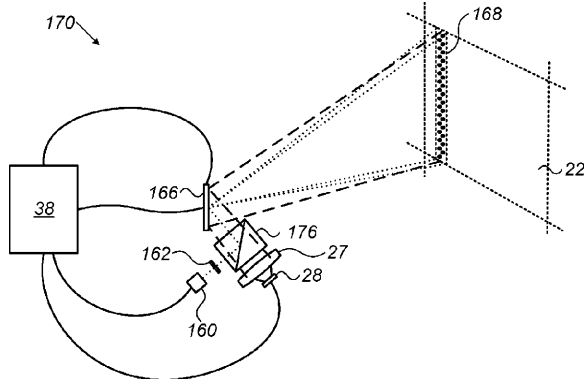
【図 9】



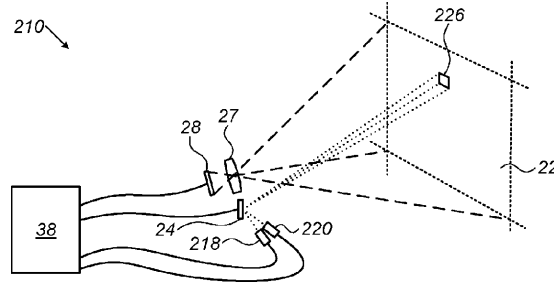
【図 10】



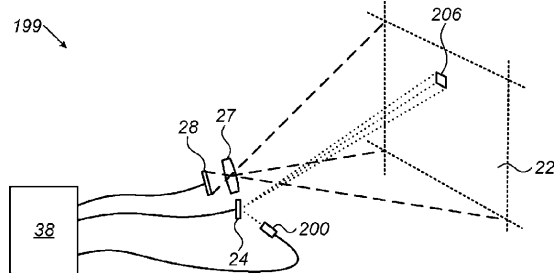
【図 11】



【図 13】



【図 12】



フロントページの続き

- (74)代理人 100086771
弁理士 西島 孝喜
- (74)代理人 100139712
弁理士 那須 威夫
- (74)代理人 100122563
弁理士 越柴 絵里
- (72)発明者 ニクラス クリスティアーノ エル
アメリカ合衆国 95014 カリフォルニア州 クパチーノ インフィニット ループ 1 メ
ールストップ 35-2エムピー
- (72)発明者 シュブント アレクサンダー
アメリカ合衆国 95014 カリフォルニア州 クパチーノ インフィニット ループ 1 メ
ールストップ 35-2エムピー
- (72)発明者 アグラノフ ゲンナディー エイ
アメリカ合衆国 95014 カリフォルニア州 クパチーノ インフィニット ループ 1 メ
ールストップ 35-2エムピー
- (72)発明者 ウォルドン マシュー シー
アメリカ合衆国 95014 カリフォルニア州 クパチーノ インフィニット ループ 1 メ
ールストップ 35-2エムピー
- (72)発明者 レツク ミナ エイ
アメリカ合衆国 95014 カリフォルニア州 クパチーノ インフィニット ループ 1 メ
ールストップ 933-2エスジー
- (72)発明者 オジエ ティエリー
アメリカ合衆国 95014 カリフォルニア州 クパチーノ インフィニット ループ 1 メ
ールストップ 35-2エムピー

審査官 安井 英己

- (56)参考文献 特開平11-063920(JP,A)
特開平10-170637(JP,A)
米国特許出願公開第2014/0240691(US,A1)
特開2013-113669(JP,A)
特開2000-056018(JP,A)
特開平02-287113(JP,A)
特開平05-067195(JP,A)
米国特許出願公開第2015/0285625(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01S 7/48 - 7/51,
G01S 17/00 - 17/95,
G01C 3/00 - 3/32