(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7663551号
(P7663551)

(45)発行日　令和7年4月16日(2025.4.16)

(24)登録日　令和7年4月8日(2025.4.8)

(51)国際特許分類

Ｇ０１Ｓ　7/487(2006.01)	Ｇ０１Ｓ　7/487
Ｇ０１Ｓ　17/89　(2020.01)	Ｇ０１Ｓ　17/89

ＦＩ

請求項の数　19　（全85頁）

(21)出願番号　特願2022-506630(P2022-506630)
(86)(22)出願日　令和2年8月5日(2020.8.5)
(65)公表番号　特表2022-543389(P2022-543389A)
(43)公表日　令和4年10月12日(2022.10.12)
(86)国際出願番号　PCT/US2020/045016
(87)国際公開番号　WO2021/026241
(87)国際公開日　令和3年2月11日(2021.2.11)
審査請求日　令和5年8月3日(2023.8.3)
(31)優先権主張番号　62/882,907
(32)優先日　令和1年8月5日(2019.8.5)
(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)

(73)特許権者　519064609
アウスター インコーポレイテッド
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 ９４１１０ サンフランシスコ トリート アヴェニュー ３５０
(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　100109070
弁理士　須田 洋之
(74)代理人
倉澤 伊知郎
(74)代理人　100130937
弁理士　山本 泰史

最終頁に続く

(54)【発明の名称】　ＬＩＤＡＲ測定のための処理システム

(57)【特許請求の範囲】

【請求項１】

光学測定システムであって、

光学測定の一部として１または複数の第１時間間隔にわたって１または複数のパルス列を送信するように構成された光源であって、前記１または複数の第１時間間隔の各々が前記１または複数のパルス列のうちの１つを含む、光源と、

前記１または複数のパルス列からの光子を検出するように構成された１または複数の光検出器を含む光センサと、

前記１または複数の第１時間間隔の間に受信された前記１または複数の光検出器からの光子カウントを累積して、前記１または複数の第１時間間隔の間に受信された前記光子カウントのヒストグラムを表現する複数の第１レジスタであって、前記複数の第１レジスタの各々が前記ヒストグラム内の１つの時間ビンに対応する、複数の第１レジスタと、

ピーク検出回路であって、当該ピーク検出回路が実行されるたびに、前記複数の第１レジスタ内の前記ヒストグラムのうちの少なくとも一部分における最大ピークを識別するように構成された、ピーク検出回路と、

前記ピーク検出回路の複数回の実行が複数のピークを識別するように、前記ピーク検出回路をして、前記ピーク検出回路の前回の実行中に最大ピークとして識別されたピークに対応するレジスタを、前記ピーク検出回路の後続の実行中に最大ピークとして識別されることから除外させるように構成されている、マスキング回路と、

前記ピーク検出回路によって識別された前記複数のピークを格納するように構成された複

数の第２レジスタと、
を備えたことを特徴とする光学測定システム。
【請求項２】
前記複数のピークの各々が、当該ピークの周りの前記ヒストグラム内のある時間間隔を表す一連の時間ビンとして格納される
ことを特徴とする請求項１に記載の光学測定システム。
【請求項３】
前記複数のピークの各々は、当該ピークが発生した前記ヒストグラム内のある相対時間と共に格納される
ことを特徴とする請求項１に記載の光学測定システム。
【請求項４】
前記光学測定システムは、前記ピーク検出回路によって識別された前記複数のピークをプロセッサに送るように構成されており、
前記プロセッサは、前記ピーク検出回路が動作する集積回路チップとは異なる集積回路チップ上で動作する
ことを特徴とする請求項１に記載の光学測定システム。
【請求項５】
前記複数のピークは、当該複数のピークを表す値にフィルタを適用することなく、前記プロセッサに送信される
ことを特徴とする請求項４に記載の光学測定システム。
【請求項６】
前記ピーク検出回路の各実行が、前記複数の第１レジスタを循環して、前記マスキング回路によって除外されていない前記複数の第１レジスタの最大値を識別するように構成されている
ことを特徴とする請求項１に記載の光学測定システム。
【請求項７】
最大ピークが、前記最大値を格納する前記複数の第１レジスタのうちの１つの周りの前記複数の第１レジスタのサブセットを含む
ことを特徴とする請求項６に記載の光学測定システム。
【請求項８】
前記ピーク検出回路は、前記ヒストグラム内の少なくとも３つの最大ピークを識別するために、前記複数の第１レジスタを少なくとも３回循環するように構成されている
ことを特徴とする請求項１に記載の光学測定システム。
【請求項９】
前記１または複数の光検出器が、１または複数の単一光子アバランシェダイオード（ＳＰＡＤ）を有する
ことを特徴とする請求項１に記載の光学測定システム。
【請求項１０】
光学測定システムを使用する方法であって、
光学測定の一部として１または複数の第１時間間隔にわたって１または複数のパルス列を送信する工程であって、前記１または複数の第１時間間隔の各々が前記１または複数のパルス列のうちの１つを含む工程と、
１または複数の光検出器を使用して、前記１または複数のパルス列からの光子を検出する工程と、
前記１または複数の光検出器からの光子カウントを複数の第１レジスタ内に累積して、前記１または複数の第１時間間隔の間に受信された前記光子カウントのヒストグラムを表現する工程であって、前記複数の第１レジスタの各々が前記ヒストグラム内の１つの時間ビンに対応する工程と、
ピーク検出回路の複数回の実行を通じて前記複数の第１レジスタ内の前記ヒストグラム内の複数のピークを識別する工程であって、前記ピーク検出回路の各実行が前記ヒストグ

ラムの少なくとも一部分における最大ピークを識別し、前記ピーク検出回路の前回の実行中に最大ピークとして識別されたピークに対応するレジスタが前記ピーク検出回路の後続の実行中に最大ピークとして識別されることから除外され、前記ピーク検出回路によって識別された前記複数のピークが複数の第２レジスタに格納される工程と、
を備えたことを特徴とする方法。
【請求項１１】
前記最大ピークを識別する前に、前記複数の第１レジスタに格納された前記ヒストグラムにローパスフィルタを適用する工程
を更に備えたことを特徴とする請求項１０に記載の方法。
【請求項１２】
前記最大ピークを識別する前に、前記複数の第１レジスタに格納された前記ヒストグラムに整合フィルタを適用する工程
を更に備え、
前記整合フィルタは、前記１または複数のパルス列に対応する
ことを特徴とする請求項１０に記載の方法。
【請求項１３】
前記ピーク検出回路の以前の実行中に最大ピークとして識別された前記ピークが、
後続の実行中に、前記ピーク検出回路から最大ピークとして以前に識別された前記ピークを表す前記複数の第１レジスタ内のレジスタをマスキングする工程
によって、前記ピーク検出回路の後続の実行中に最大ピークとして識別されることから除外される
ことを特徴とする請求項１０に記載の方法。
【請求項１４】
前記ピーク検出回路の以前の実行中に最大ピークとして識別された前記ピークが、
以前に最大ピークとして識別された前記ピークからの最大値以下に閾値を設定する工程と、
前記閾値を満たすかまたは超える前記ピーク検出回路の後続の実行中のピークを除外する工程と、によって、前記ピーク検出回路の後続の実行中に最大ピークとして識別されることから除外される
ことを特徴とする請求項１０に記載の方法。
【請求項１５】
前記閾値を満たすかまたは超える前記ピーク検出回路の後続の実行中のピークを除外する工程は、
前記閾値を満たすかまたは超える値を有する前記複数の第１レジスタ内のレジスタを識別する工程と、
前記複数の第１レジスタ内の前記レジスタの周りのレジスタを除外する工程と、
を含むことを特徴とする請求項１４に記載の方法。
【請求項１６】
前記ピーク検出回路の複数回の実行から前記ヒストグラムの初期ピークを除外する工程
を更に備えたことを特徴とする請求項１０に記載の方法。
【請求項１７】
前記初期ピークは、前記光学測定システムのハウジングからの前記１または複数のパルス列の反射から生じる
ことを特徴とする請求項１６に記載の方法。
【請求項１８】
前記初期ピークは、飽和検出回路の飽和閾値を満たすかまたは超える
ことを特徴とする請求項１６に記載の方法。
【請求項１９】
前記飽和検出回路から前記初期ピークをマスキングする工程
を更に備えたことを特徴とする請求項１８に記載の方法。

【発明の詳細な説明】
【技術分野】
【０００１】
関連出願の相互参照
本出願は、２０１９年８月５日に出願された米国仮特許出願第６２／８８２，９０７号の利益及び優先権を主張し、それは参照によりその全体が本明細書に組み込まれる。
【０００２】
本開示は、概して、光検出及び測距（ＬＩＤＡＲ）システムについて説明する。より具体的には、本開示は、改善された時間分解能で測定の過程にわたって背景ノイズレベルを推定し、合計光子カウントを集計するＳＰＡＤベースのＬＩＤＡＲシステムを説明する。
【背景技術】
【０００３】
ＬＩＤＡＲシステムは、例えば、乗用車、トラック、ボートなどの車両のために物体の検出及び測距に使用される。ＬＩＤＡＲシステムはまた、モバイルアプリケーション（例えば、顔認識のため）、ホームエンターテイメント（例えば、ビデオゲーム入力のためにジェスチャキャプチャをキャプチャするため）、及び拡張現実にも用途を有する。ＬＩＤＡＲシステムは、レーザからのパルスを風景に照射し、ＬＩＤＡＲシステムの受信機により測定される、光子が物体まで移動して、反射後に戻るまでの時間を測定することにより、物体までの距離を測定する。検出信号を分析して、背景光の中の反射信号パルスの存在を検出する。物体までの距離は、パルスの送信から対応する反射パルスの受信までの飛行時間に基づいて決定され得る。
【０００４】
全ての条件で、特にＬＩＤＡＲシステムの経済的なコストで、数センチメートルまでの堅牢な距離精度を提供することは困難であり得る。単一光子アバランシェダイオード（ＳＰＡＤ）などの有望な新しい検出器技術は魅力的であるが、飛行時間及び他の信号特性を測定するために使用される場合、限られたダイナミックレンジに起因して、特に広範囲の周囲条件及び目標距離にわたって重大な欠点を有する。更に、ＳＰＡＤは少数の光子に対しても感度が高いため、周囲レベルの背景ノイズ光の影響を非常に受けやすくなる。
【０００５】
ＬＩＤＡＲシステムは、現実世界の様々な条件下で反射レーザパルスを検出し、その飛行時間を測定するより正確な方法から恩恵を受ける。具体的には、ＳＰＡＤベースのＬＩＤＡＲシステムは、背景ノイズレベルを正確に推定し、向上した時間分解能を有する測定の過程で合計光子カウントを集計する方法から恩恵を受ける。
【発明の概要】
【０００６】
幾つかの実施形態では、光学測定システムは、光学測定の一部として、１または複数の第１時間間隔にわたって１または複数のパルス列を送信するように構成された光源を含み得る。１または複数の第１時間間隔の各々は、１または複数のパルス列のうちの１つを含み得る。光学測定システムはまた、１または複数のパルス列からの光子及び周囲光からの光子を検出するように構成された１または複数の光検出器を備える光センサも含み得る。光学測定システムは加えて、１または複数の第１時間間隔中に受信された１または複数の光検出器からの光子カウントを累積する複数の第１レジスタを含み得る。１または複数の第１時間間隔の各々は、複数の第１時間ビンに細分化され得、複数の第１レジスタの各々は、１または複数の第１時間間隔の各々における複数の第１時間ビンのうちの対応する１つの間に受信された光子カウントを累積して、１または複数の第１時間間隔中に受信された光子カウントのヒストグラムを表現し得る。光学測定システムは、１または複数の第１時間間隔の少なくとも一部分と重なる第２時間間隔にわたって１または複数の光検出器からの光子カウントを累積する複数の第２レジスタを更に含み得る。第２時間間隔は、複数の第２時間ビンに細分化され得、複数の第２レジスタの各々は、複数の第２時間ビンのうちの対応する１つの間に受信された光子カウントを累積し得る。

【０００７】
幾つかの実施形態では、光学測定システムを使用する方法は、光学測定の一部として、１または複数の第１時間間隔にわたって１または複数のパルス列を送信することを含み得る。１または複数の第１時間間隔の各々は、１または複数のパルス列のうちの１つを含み得る。方法はまた、１または複数のパルス列からの光子及び周囲光からの光子を検出することも含み得る。方法は加えて、複数の第１レジスタ内に、１または複数の第１時間間隔中に受信された１または複数の光検出器からの光子カウントを累積することを含み得る。１または複数の第１時間間隔の各々は、複数の第１時間ビンに細分化され得、複数の第１レジスタの各々は、１または複数の第１時間間隔の各々における複数の第１時間ビンのうちの対応する１つの間に受信された光子カウントを累積して、１または複数の第１時間間隔中に受信された光子カウントのヒストグラムを表現し得る。方法は、複数の第２レジスタ内に、１または複数の第１時間間隔の少なくとも一部分と重なる第２時間間隔にわたって光子カウントを累積することを更に含み得る。第２時間間隔は、複数の第２時間ビンに細分化され得る。複数の第２レジスタの各々は、複数の第２時間ビンのうちの対応する１つの間に受信された光子カウントを累積し得る。
【０００８】
任意の実施形態では、以下の特徴のいずれかまたは全ては、任意の組み合わせにおいて、かつ限定を伴わずに含まれ得る。光学測定システムはまた、複数の第２レジスタの各々における光子カウントを集計して、第２時間間隔中に受信された合計光子カウントを生成する算術論理回路も含み得る。１または複数の第１時間間隔の各々は、第１開始信号によって定義され得る。第２時間間隔は、第１開始信号から独立している第２開始信号によって定義され得る。１または複数の光検出器は、１または複数の単一光子アバランシェダイオード（ＳＰＡＤ）を含み得る。１または複数の第１時間間隔の各々は、第２時間間隔に含まれ得る。光学測定システムはまた、複数の第２時間ビンの各々の間に複数の第２レジスタのうちのどのレジスタが、光子カウントを累積するかを選択する選択信号も含み得る。選択信号は、タイマーによって生成され得る。選択信号は、複数の第２レジスタと同じ集積回路上で生成され得る。選択信号は、代替的に複数の第２レジスタと同じ集積回路上で生成され得ない。選択信号は、中心軸の周りのときの光センサの角度位置に基づいて生成され得る。方法／システム動作はまた、複数の第２レジスタの各々における光子カウントを集計して、第２時間間隔中に受信された合計光子カウントを生成することと、合計光子カウントを使用して、第２時間間隔中に光学測定システムによって検出された背景ノイズを推定することと、も含み得る。背景ノイズを推定することは、合計光子カウントを第２時間間隔の長さで除算することを含み得る。背景ノイズを推定することは、１または複数のパルス列から生じた反射光子が光学測定システムによって受信されたことが推定される、複数の第１時間ビン内の１または複数の時間ビンを識別することと、１または複数の時間ビン内で受信された光子カウントを合計光子カウントから除外することと、を含み得る。背景ノイズは、複数の第１レジスタから除去され得る。第２時間間隔は、１または複数の第１時間間隔外の時間間隔を含み得る。１または複数の第１時間間隔中に受信された複数の第１レジスタ内の光子カウントのヒストグラムは、光学測定システムによる単一の光学測定を表現し得る。方法／システム動作はまた、第２時間間隔にわたって複数の第２レジスタに格納された光子カウントを使用して、周囲環境の周囲画像を生成することも含み得る。第２時間間隔にわたって複数の第２レジスタに格納された光子カウントは、１または複数のパルス列からの光子及び周囲光からの光子を含み得る。
【０００９】
幾つかの実施形態では、光学測定システムは、光学測定の一部として、１または複数の第１時間間隔にわたって１または複数のパルス列を送信するように構成された光源を含み得る。１または複数の第１時間間隔の各々は、１または複数のパルス列のうちの１つを含み得る。光学測定システムはまた、１または複数のパルス列からの光子を検出するように構成された１または複数の光検出器を備える光センサも含み得る。光学測定システムはまた、算術論理回路及び複数の第１レジスタを備えるデータパスも含み得る。データパスは

、複数の第１レジスタが１または複数の第１時間間隔中に受信された光子カウントのヒストグラムを表現するように、算術論理回路によって集計された１または複数のパルス列からの光子カウントを使用して、複数の第１レジスタに投入するように構成されていてもよい。光学測定システムは加えて、データパスにおいて飽和が発生した時点を判定し、飽和が発生した後に発生する１または複数の時間の第１時間間隔において、データパスに複数の第１レジスタに投入することを停止させる飽和検出回路と、を含み得る。

【００１０】

幾つかの実施形態では、光学測定システムを使用する方法は、光学測定の一部として、１または複数の第１時間間隔にわたって１または複数のパルス列を送信することを含み得る。１または複数の第１時間間隔の各々は、１または複数のパルス列のうちの１つを含み得る。方法はまた、１または複数の光検出器を使用して、１または複数のパルス列からの光子を検出することも含み得る。方法は加えて、１または複数の光検出器からの光子カウントを使用して、データパス内の複数の第１レジスタに投入することを含み得る。光子カウントは、複数の第１レジスタが１または複数の第１時間間隔中に受信された光子カウントのヒストグラムを表現するように、データパス内の算術論理回路によって集計される。方法は、データパスにおいて飽和が発生した時点を判定することを更に含み得る。方法はまた、飽和が発生した後に発生する１または複数の第１時間間隔において、データパスに複数の第１レジスタに投入することを停止させることと、も含み得る。

【００１１】

任意の実施形態では、以下の特徴のいずれかまたは全ては、任意の組み合わせにおいて、かつ限定を伴わずに含まれ得る。データパスは、飽和検出回路がデータパスに幾つかの第１レジスタに投入することを停止させる前に発生する１または複数の第１時間間隔の数をカウントするカウンタを含み得る。カウンタは、１または複数の第１時間間隔も開始する信号によってインクリメントされ得る。データパスは、飽和検出回路がデータパスに幾つかの第１レジスタに投入することを停止させる前に、算術論理回路が複数の第１レジスタを更新する回数をカウントするカウンタを更に含み得る。飽和検出回路は、算術論理回路が飽和したことを示す信号を算術論理回路から受信し得る。飽和検出回路は、算術論理回路からの結果が複数の第１レジスタのうちの１つに格納される最大数よりも大きいことを示す信号を受信し得る。飽和検出回路は、算術論理回路に光子カウントを集計させる周期信号を無効化することによって、データパスに複数の第１レジスタに投入することを停止させ得る。飽和検出回路は、複数の第１レジスタに更新された光子カウントを格納させる周期信号を無効化することによって、データパスに複数の第１レジスタに投入することを停止させ得る。システムはまた、第２算術論理回路及び１または複数の集積レジスタを備える第２データパスも含み得、第２データパスは、少なくとも１または複数の第１時間間隔を含む第２時間間隔にわたって、１または複数の光検出器からの光子カウントを、１または複数の集積レジスタに集計するように構成され得る。第２データパスは、第２データパスにおいて飽和が発生した時点を判定し、飽和が発生した後の第２時間間隔中、第２データパスに１または複数の光検出器から１または複数の集積レジスタ内に光子カウントを集計することを停止させる、第２飽和検出回路を含み得る。システムはまた、データパスに幾つかの第１レジスタに投入することを停止させる前に発生するイベントの数をカウントすることも含み得る。システムはまた、データパスに複数の第１レジスタに投入することを停止させる前に発生するイベントの数と、１または複数の第１時間間隔中に発生するイベントの合計数と、を使用して、乗数を計算することも含み得る。システムはまた、乗数を使用して、複数の第１レジスタにおける光子カウントのヒストグラムをスケーリングすることもできる。システムはまた、光子カウントのヒストグラムをスケーリングした後、複数の第１レジスタ内の光子カウントのヒストグラム内のピークを見つけることもできる。システムはまた、１または複数の光検出器からの光子カウントを使用して、第２データパス内の１または複数の集積レジスタに投入することであって、光子カウントは、１または複数の集積レジスタが少なくとも１または複数の第１時間間隔を含む第２時間間隔にわたって受信された合計光子カウントを表現するように、第２データパス内の第２算術

論理回路によって集計される、投入することと、第２データパスにおいて飽和が発生した時点を判定することと、飽和が発生した後、第２データパスに１または複数の集積レジスタに投入することを停止させることと、を行うことができる。システムはまた、第２データパスに１または複数の集積レジスタに投入することを停止させる前に発生するイベントの数をカウントすることと、第２データパスに１または複数の集積レジスタに投入することを停止させる前に発生するイベントの数を使用して、１または複数の集積レジスタ内の合計光子カウントをスケーリングすることと、を行うことができる。システムはまた、合計光子カウントをスケーリングした後に周囲背景ノイズレベルを計算することもできる。システムはまた、周囲背景ノイズレベルを使用して光学測定のピークを検出するための閾値を設定することもできる。システムはまた、複数の第１レジスタ内の光子カウントのヒストグラムから周囲背景ノイズレベルを除去することもできる。

【００１２】

幾つかの実施形態では、光学測定システムは、光学測定の一部として１または複数の第１時間間隔にわたって１または複数のパルス列を送信するように構成された光源を含み得、１または複数の第１時間間隔の各々は、１または複数のパルス列のうちの１つを含む。システムはまた、１または複数のパルス列からの光子を検出するように構成された１または複数の光検出器を備える光センサも含み得る。システムは加えて、１または複数の第１時間間隔中に受信された、１または複数の光検出器からの光子カウントを累積して、１または複数の第１時間間隔中に受信された光子カウントのヒストグラムを表現する複数の第１レジスタを含み得、複数の第１レジスタの各々は、ヒストグラム内の時間ビンに対応する。システムは、ピーク検出回路が実行されるたびに、複数の第１レジスタ内のヒストグラムのうちの少なくとも一部分における最大ピークを識別するように構成されたピーク検出回路を更に含み得る。システムはまた、ピーク検出回路の複数の実行が複数のピークを識別するように、ピーク検出回路に、ピーク検出回路の前の実行中に最大ピークとして識別されたピークに対応するレジスタを、後続のピーク検出回路の実行中に最大ピークとして識別されないように除外させるように構成されたマスキング回路も含み得る。

【００１３】

幾つかの実施形態では、光学測定システムを使用する方法は、光学測定の一部として、１または複数の第１時間間隔にわたって１または複数のパルス列を送信することを含み得る。１または複数の第１時間間隔の各々は、１または複数のパルス列のうちの１つを含み得る。方法はまた、１または複数の光検出器を使用して、１または複数のパルス列からの光子を検出することも含み得る。方法は加えて、１または複数の光検出器からの光子カウントを複数の第１レジスタ内に累積して、１または複数の第１時間間隔中に受信された光子カウントのヒストグラムを表現することを含み得、複数の第１レジスタの各々は、ヒストグラム内の時間ビンに対応する。方法は、ピーク検出回路の複数の実行を通じて、複数の第１レジスタ内のヒストグラム内の複数のピークを識別することを更に含み得る。ピーク検出回路の各実行は、ヒストグラムの少なくとも一部分における最大ピークを識別し得る。ピーク検出回路の前の実行中に最大ピークとして識別されたピークに対応するレジスタは、後続のピーク検出回路の実行中に最大ピークとして識別されることから除外され得る。

【００１４】

任意の実施形態では、以下の特徴のいずれかまたは全ては、任意の組み合わせにおいて、かつ限定を伴わずに含まれ得る。システムはまた、ピーク検出回路によって識別された複数のピークを格納するように構成された複数の第２レジスタも含み得る。複数のピークの各々は、ピークの周りのヒストグラムの時間間隔を表現する一連の時間ビンとして格納され得る。複数のピークの各々は、ピークが発生したヒストグラムに相対時間と共に格納され得る。システムは、ピーク検出回路によって識別された複数のピークをプロセッサに送るように構成され得、プロセッサは、ピーク検出回路が動作する集積回路チップとは異なる集積回路チップ上で動作し得る。複数のピークを表現する値にフィルタを適用することなく、複数のピークをプロセッサに送ることができる。ピーク検出回路の各実行は、複

数の第１レジスタを循環し、マスキング回路によって除外されていない複数の第１レジスタの最大値を識別するように構成され得る。最大ピークは、最大値を格納する複数の第１レジスタのうちの１つの周りの複数の第１レジスタのサブセットを含み得る。ピーク検出回路は、ヒストグラム内の少なくとも３つの最大ピークを識別するために、複数の第１レジスタを少なくとも３回循環するように構成され得る。１または複数の光検出器は、１または複数のＳＰＡＤを含み得る。方法／システム動作はまた、最大ピークを識別する前に、複数の第１レジスタに格納されたヒストグラムにローパスフィルタを適用することも含み得る。方法／システム動作はまた、最大ピークを識別する前に、複数の第１レジスタに格納されたヒストグラムに整合フィルタを適用することも含み得、整合フィルタは、１または複数のパルス列に対応し得る。ピーク検出回路の前の実行中に最大ピークとして識別されたピークは、ピーク検出回路の後続の実行中にピーク検出回路から最大ピークとして前に識別されたピークを表現する複数の第１レジスタ内のマスキングレジスタによって、ピーク検出回路の後続の実行中に最大ピークとして識別されることから除外され得る。ピーク検出回路の前の実行中に最大ピークとして識別されたピークは、前に最大ピークとして識別されたピークからの最大値以下に閾値を設定することと、閾値を満たすかまたは超えるピーク検出回路の後続の実行中のピークを除外することと、によって、ピーク検出回路の後続の実行中に最大ピークとして識別されることから除外され得る。閾値を満たすかまたは超えるピーク検出回路の後続の実行中のピークを除外することが、閾値を満たすかまたは超える値を有する複数の第１レジスタ中のレジスタを識別することと、複数の第１レジスタ中のレジスタの周りのレジスタを除外することと、を含み得る。方法／システム動作はまた、ピーク検出回路の実行からヒストグラムの初期ピークを除外することも含み得る。初期ピークは、光学測定システムのハウジングからの１または複数のパルス列の反射から生じ得る。初期ピークは、飽和検出回路の飽和閾値を満たすかまたは超え得る。方法／システム動作はまた、飽和検出回路からの初期ピークをマスキングすることも含み得る。

【００１５】

幾つかの実施形態では、光学測定システムは、光学測定の一部として、１または複数の第１時間間隔にわたって１または複数のパルス列を送信するように構成された光源を含み得る。１または複数の第１時間間隔の各々は、１または複数のパルス列のうちの１つを含み得る。システムはまた、１または複数のパルス列からの光子を検出するように構成された１または複数の光検出器を備える光センサも含み得る。システムは加えて、１または複数の第１時間間隔中に受信された、１または複数の光検出器からの光子カウントを累積して、１または複数の第１時間間隔中に受信された光子カウントのヒストグラムを表現する複数の第１レジスタを含む第１集積回路を含み得る。複数の第１レジスタの各々は、ヒストグラムの時間ビンに対応し得る。第１集積回路はまた、ヒストグラム内の１または複数のピークを識別するための閾値を提供するように構成された閾値検出回路と、複数の第１レジスタを通じてパスを行い、閾値を使用してヒストグラム内で表現される１または複数のピークを識別するように構成されたピーク検出回路と、含み得る。システムはまた、プロセッサを有する第２集積回路も含み得る。第１集積回路は、閾値を使用して検出された１または複数のピークを記述する情報を第２集積回路上のプロセッサに送るように構成され得る。

【００１６】

幾つかの実施形態では、光学測定システムを使用する方法は、光学測定の一部として、１または複数の第１時間間隔にわたって１または複数のパルス列を送信することを含み得る。１または複数の第１時間間隔の各々は、１または複数のパルス列のうちの１つを含み得る。方法はまた、１または複数の光検出器を使用して、１または複数のパルス列からの光子を検出することも含み得る。方法は加えて、第１集積回路上で、１または複数の光検出器からの光子カウントを複数の第１レジスタ内に累積して、１または複数の第１時間間隔中に受信された光子カウントのヒストグラムを表現することを含み得、複数の第１レジスタの各々は、ヒストグラム内の時間ビンに対応し得る。方法は、第１集積回路上で、ヒ

ストグラム内の１または複数のピークを識別するための閾値を提供することを更に含み得る。方法はまた、第１集積回路上で、閾値を有する複数の第１レジスタを通じてパスを行うことによって、ヒストグラム内で表現される１または複数のピークを識別することも含み得る。方法は加えて、第１集積回路から、閾値を使用して検出された１または複数のピークを記述する情報を第２集積回路上のプロセッサに送ることを含み得る。

【００１７】

任意の実施形態では、以下の特徴のいずれかまたは全ては、任意の組み合わせにおいて、かつ限定を伴わずに含まれ得る。閾値検出回路は、既存の閾値を使用するように構成され得る。閾値検出回路は、１または複数の第１時間間隔中に存在する背景ノイズレベルに基づいて閾値を計算するように構成され得る。システムはまた、１または複数の第１時間間隔の少なくとも一部分と重なる第２時間間隔にわたって１または複数の光検出器からの光子カウントを累積する１または複数の集積レジスタも含み得、閾値検出回路は、１または複数の集積レジスタ内の１または複数の値を使用して背景ノイズレベルを計算するように更に構成され得る。閾値検出回路は、１または複数の集積レジスタ内の合計光子カウントを、１または複数の集積レジスタが有効にされた期間で除算することによって、背景ノイズレベルを計算するように更に構成されている。１または複数の集積レジスタが有効化された期間は、１または複数の集積レジスタが有効にされた間のクロックサイクルの合計数に基づいて決定さ得る。閾値検出回路は、１または複数のピークを表現するヒストグラム内の１または複数の時間ビンを識別することと、１または複数の集積レジスタの合計光子カウントから１または複数の時間ビンの光子カウントを差し引くことと、によって背景ノイズレベルを計算するように更に構成され得る。システムはまた、ピーク検出回路によって識別された１または複数のピークを格納するように構成された複数の第２レジスタも含み得る。１または複数のピークの各々が、ピークの周りのヒストグラムの時間間隔を表現する時間ビンのウィンドウと、ピークが発生したヒストグラム内の相対時間と、として格納され得る。第１集積回路は、第２集積回路が実装されているチップとは物理的に分離され、別個であるチップ上に実装され得る。１または複数のピークが、ヒストグラム内の１または複数のピークを表現する値にフィルタを適用することなく、プロセッサに送られ得る。方法／システム動作はまた、ヒストグラム内で表現される１または複数のピークから背景ノイズレベルを除去することも含み得る。方法／システム動作はまた、１または複数のパルス列の間の１または複数の光検出器によって受信された光子のサンプルに基づいて、背景ノイズレベルを決定することも含み得る。閾値を提供することは、閾値を背景ノイズレベルを上回る所定の間隔に設定することを含み得る。閾値を提供することは、背景ノイズレベルの所定のパーセンテージである背景ノイズレベルを上回る間隔に閾値を設定することを含み得る。方法／システム動作はまた、１または複数のピークを識別する前に、複数の第１レジスタに格納されたヒストグラムにローパスフィルタを適用することも含み得る。方法／システム動作はまた、１または複数のピークを識別する前に、複数の第１レジスタに格納されたヒストグラムに整合フィルタを適用することも含み得、整合フィルタは、１または複数のパルス列に対応し得る。１または複数のピークは、１または複数のパルス列の反射に対応するピークと、１または複数のパルス列の反射に対応しないピークと、を含み得る。ヒストグラム内で表現される１または複数のピークを識別することは、複数の第１レジスタを通る単一パスのみを使用し得る。

【図面の簡単な説明】

【００１８】

様々な実施形態の性質及び利点のさらなる理解は、明細書及び図面の残りの部分を参照することによって実現され得、同様の参照番号は、類似した構成要素を参照するために幾つかの図面全体で使用される。幾つかの例では、複数の類似した構成要素のうちの１つを示すために、サブラベルが参照番号と関連付けられている。既存のサブラベルを指定することなく参照番号を参照する場合、そのような複数の類似した構成要素全てを参照することを意図している。

【００１９】

【図１Ａ】幾つかの実施形態による、本明細書でＬＩＤＡＲシステムとも称される自動車用光測距デバイスを示す。
【図１Ｂ】幾つかの実施形態による、本明細書でＬＩＤＡＲシステムとも称される自動車用光測距デバイスを示す。
【００２０】
【図２】様々な実施形態を実施するための例示的なＬＩＤＡＲデバイスのブロック図を示す。
【００２１】
【図３】実施形態により改善され得る典型的なＬＩＤＡＲシステムの動作を示す。
【００２２】
【図４】幾つかの実施形態による、光測距システムの光送信及び検出プロセスの例示的な一実施例を示す。
【００２３】
【図５】本発明の実施形態による、センサアレイ及び関連する電子機器の様々なステージを示す。
【００２４】
【図６】本発明の実施形態によるヒストグラムを示す。
【００２５】
【図７】本発明の実施形態による、選択されたピクセルに対する複数のパルス列にわたるヒストグラムの累積を示す。
【００２６】
【図８】幾つかの実施形態による、光子を受信し、ヒストグラムを表現するメモリに格納された信号のセットを生成するための回路を示す。
【００２７】
【図９】幾つかの実施形態による、測定における異なるショットと関連付けられたタイミングを示す。
【００２８】
【図１０】幾つかの実施形態による、集積レジスタを備えるデータパスを示す。
【００２９】
【図１１】幾つかの実施形態による、集積データパスのタイミンググラフを示す。
【００３０】
【図１２】幾つかの実施形態による、集積データパス及びヒストグラムデータパスのタイミンググラフを示す。
【００３１】
【図１３】幾つかの実施形態による、集積レジスタの全てからの集計された合計を提供するためのＡＬＵを含む集積データパスを示す。
【００３２】
【図１４】幾つかの実施形態による、集積データパス及びヒストグラムデータパスの相対的なタイミング図を示す。
【００３３】
【図１５】幾つかの実施形態による、オンチップで選択信号を生成する集積データパスを示す。
【００３４】
【図１６】幾つかの実施形態による、オフチップ源から選択信号を受信する集積データパスを示す。
【００３５】
【図１７】幾つかの実施形態による、電気自動車用の複数の集積レジスタを使用する周囲光測定を示す。
【００３６】
【図１８】幾つかの実施形態による、光学測定システムを使用するための方法を示す。

【００３７】
【図１９】幾つかの実施形態による、飽和が発生したときのヒストグラムメモリの内容を示す。
【００３８】
【図２０】幾つかの実施形態による、飽和が、受信された光子カウントヒストグラムの全体的な形状に及ぼす可能性のある効果を示す。
【００３９】
【図２１】飽和が検出されたためにヒストグラムデータパスが新しい光子カウントの累積及び格納を停止した場合の、図１９に示される測定からのヒストグラムメモリの内容を示す。
【００４０】
【図２２】幾つかの実施形態による、イベントカウンタを使用して飽和ヒストグラムメモリをスケーリングするためのプロセスを示す。
【００４１】
【図２３】幾つかの実施形態による、飽和検出を伴うヒストグラムデータパスの回路図を示す。
【００４２】
【図２４】幾つかの実施形態による、集積データパスの測定中に受信された光子カウントのタイムラインを示す。
【００４３】
【図２５】幾つかの実施形態による、測定中に光子カウントをどのように１または複数の集積レジスタに連続的に集計することができるかを示す。
【００４４】
【図２６】幾つかの実施形態による、飽和が発生したときに、集積レジスタへの光子カウントの集計をどのように停止することができるかを示す。
【００４５】
【図２７】幾つかの実施形態による、飽和保護を備える集積データパスを示す。
【００４６】
【図２８】幾つかの実施形態による、飽和に対処するために光学測定システムを使用するための方法のフローチャートを示す。
【００４７】
【図２９】幾つかの実施形態による、識別及びマスキングされ得る初期ピークを示す。
【００４８】
【図３０】幾つかの実施形態による、ヒストグラムメモリ内で表現される複数のピークを示す。
【００４９】
【図３１】幾つかの実施形態による、ピーク検出回路の後続の実行のためにマスキングされている、前に検出されたパルスを示す。
【００５０】
【図３２】幾つかの実施形態による、追加のピークがピーク検出回路によって識別されるときに、マスキング回路がどのように新しいマスクを継続的に生成し得るかを示す。
【００５１】
【図３３】幾つかの実施形態による、ヒストグラムメモリ内の複数のピークを検出するための回路を示す。
【００５２】
【図３４】幾つかの実施形態による、測定において複数のピークを検出するための方法のフローチャートを示す。
【００５３】
【図３５】幾つかの実施形態による、複数のピークを検出するために光学測定システムを使用するための方法を示す。

【００５４】
【図３６】幾つかの実施形態による、複数のショットから生じる光学測定システムで検出された光のグラフを示す。
【００５５】
【図３７】幾つかの実施形態による、ヒストグラムメモリ内の受信された光子カウントと比較した推定された背景ノイズレベルを示す。
【００５６】
【図３８】幾つかの実施形態による、推定された背景ノイズを使用して、ヒストグラムメモリ内のピークを検出するための信号閾値を設定することができるグラフを示す。
【００５７】
【図３９】幾つかの実施形態による、オフチップでプロセッサにパスし得る閾値動作によって検出されたピークウィンドウを示す。
【００５８】
【図４０】幾つかの実施形態による、閾値を計算し、ヒストグラムメモリ内の１または複数のピークを検出するための回路を示す。
【００５９】
【図４１】幾つかの実施形態による、複数のピークを検出するために光学測定システムを使用するための方法を示す。
【００６０】
用語
「測距」という用語は、特に環境を測定する、または車両の操作を支援する方法及びデバイスの文脈で使用される場合、ある場所または位置から別の場所または位置までの距離または距離ベクトルを決定することを指し得る。「光測距」は、電磁波を使用して測距の方法または機能を実行するタイプの測距法を指し得る。したがって、「光測距デバイス」は、光測距の方法または機能を実行するためのデバイスを指し得る。「Ｌｉｄａｒ」または「ＬＩＤＡＲ」は、パルスレーザ光で標的を照明することにより標的までの距離を測定し、その後、反射パルスをセンサで測定するタイプの光測距法を指し得る。したがって、「ｌｉｄａｒデバイス」または「ｌｉｄａｒシステム」は、ｌｉｄａｒ方法または機能を実行するための一タイプの光測距デバイスを指し得る。「光測距システム」は、例えばｌｉｄａｒデバイスなどの、少なくとも１つの光測距デバイスを備えるシステムを指し得る。このシステムは、様々な配置において、１または複数の他のデバイスまたはコンポーネントをさらに備えてもよい。
【００６１】
「パルス列」は、共に送信される１または複数のパルスを指し得る。パルス列の放出及び検出は「ショット」と称され得る。ショットは、「検出時間間隔」（または「検出間隔」）にわたって発生し得る。
【００６２】
「測定」は、各々が検出時間間隔にわたって持続する、Ｎ個のショットにわたって放出及び検出されるＮ個の複数のパルス列を含む場合がある。１つの測定全体が、測定のＮ個の検出間隔に等しいか、または、例えば検出間隔間で一時停止が発生する場合、より長くなり得る測定時間間隔（または単に「測定間隔」）を超えることがある。
【００６３】
「光センサ」または「感光性素子」は、光を電気信号に変換することができる。光センサは、複数の「光検出器」、例えば、単一光子アバランシェダイオード（ＳＰＡＤ）を含み得る。光センサは、測距測定の解像度の特定のピクセルに対応し得る。
【００６４】
「ヒストグラム」は、時間ビンにわたって離散化された、経時的な一連の値を表す任意のデータ構造を指し得る。ヒストグラムは、各時間ビンに割り当てられた値を有し得る。例えば、ヒストグラムは、１または複数の検出間隔の各々の特定の時間ビン中に起動された光検出器の数のカウンタを格納することができる。別の例として、ヒストグラムは、様

々な時点でのアナログ信号のデジタル化に対応し得る。ヒストグラムは、信号（例えば、パルス）及びノイズを含むことがある。したがって、ヒストグラムは、光子の時系列または光子束としての信号とノイズとの組み合わせとみなすことができる。生の／デジタル化されたヒストグラム（または累積光子時系列）は、フィルタ処理せずにメモリにデジタル化信号及びノイズを含むことができる。「フィルタ処理されたヒストグラム」は、生のヒストグラムがフィルタを通過した後の出力を指し得る。

【００６５】

放出信号／パルスは、歪んでいない「公称」、「理想」、または「テンプレート」パルスまたはパルス列を指し得る。反射信号／パルスは、物体からの反射レーザパルスを指し得、歪んでいることがある。デジタル化信号／パルス（または生の信号）は、メモリに格納された、検出間隔の１または複数のパルス列の検出からのデジタル化された結果を指し得、したがってヒストグラムの一部分に相当し得る。検出信号／パルスは、信号が検出されたメモリ内の場所を指し得る。検出パルス列は、整合フィルタによって見つけられた実際のパルス列を指し得る。予測信号プロファイルは、反射信号内に特定の歪みを有する特定の放出信号から生じるデジタル化信号の形状を指し得る。

【発明を実施するための形態】

【００６６】

本開示は、概して、物体検出及び測距の分野に関し、より具体的には、リアルタイム３次元マッピング及び物体検出、追跡及び／または分類などの用途のための飛行時間型光受信機システムの使用に関する。本発明の様々な実施形態により、様々な改善を実現することができる。そのような改善は、精度の向上、ノイズの削減、及びエネルギー効率の向上であり得る。

【００６７】

以下のセクションで例示的な自動車用ＬＩＤＡＲシステムを紹介し、光測距システムによって信号を検出するための例示的な技術の続く説明、及び次に、異なる実施形態をより詳細に説明する。

【００６８】

Ｉ．例示的な自動車用ＬＩＤＡＲシステム

図１Ａ及び１Ｂは、幾つかの実施形態による、本明細書でＬＩＤＡＲシステムとも称される自動車用光測距デバイスを示す。ＬＩＤＡＲシステム用の自動車用途は、ここでは単に説明のために選択され、本明細書で説明されるセンサは、例えば、ボート、航空機、列車などの他のタイプの車両で、ならびに医用イメージング、携帯電話、拡張現実、測地学、地理情報学、考古学、地理学、地質学、地形学、地震学、林業、大気物理学、レーザ誘導、空中レーザスワスマッピング（ＡＬＳＭ）、レーザ高度計などの、３Ｄ深度画像が有用な様々な他の用途で、用いられ得る。幾つかの実施形態によると、図１Ａ及び図１Ｂに示されるように、例えば、スキャニングＬＩＤＡＲシステム１０１及び／またはソリッドステートＬＩＤＡシステム１０３などのＬＩＤＡＲシステムを車両１０５の屋根に取り付けることができる。

【００６９】

図１Ａに示されるスキャニングＬＩＤＡＲシステム１０１は、ＬＩＤＡＲ光源１０７及び／または検出器回路１０９の向きが、車両１０５の外側の外部フィールドまたはシーン内の１または複数の視野１１０の周りをスキャンされ得るスキャンアーキテクチャを用いることができる。スキャンアーキテクチャの場合、放射光１１１は、示されているように周囲環境にわたってスキャンされ得る。例えば、ＬＩＤＡＲシステム１０１内に位置付けられた１または複数の光源（赤外線または近赤外線パルスＩＲレーザなど、図示せず）の出力ビームは、車両の周りのシーンを照明するためにスキャン、例えば回転され得る。幾つかの実施形態では、回転矢印１１５によって表されるスキャンは、機械的手段、例えば、発光体を回転柱または回転プラットフォームに取り付けることによって実施することができる。幾つかの実施形態では、スキャンは、検流計の使用などの他の機械的手段を通じて実施することができる。例えば、デジタルマイクロミラー（ＤＭＤ）デバイス、デジタ

ル光処理（ＤＬＰ）デバイスなどの１または複数のＭＥＭＳベースの反射器を用いる、例えば、マイクロチップを使用することによって、チップベースのステアリング技術を用いることもできる。幾つかの実施形態では、スキャンは、非機械的手段を介して、例えば、電子信号を使用して１または複数の光フェーズドアレイを操縦することにより達成することができる。

【００７０】

図１Ｂに示すソリッドステートＬＩＤＡＲシステム１０３のような固定アーキテクチャの場合、１または複数のソリッドステートＬＩＤＡＲサブシステム（例えば、１０３ａ及び１０３ｂ）を車両１０５に取り付けることができる。各ソリッドステートＬＩＤＡＲユニットは、各ユニットがそれ自体でキャプチャすることができるよりも大きい複合視野をキャプチャすることができるように、異なる方向を（おそらくユニット間で部分的に重複する及び／または非重複の視野を有して）向くことができる。

【００７１】

スキャンアーキテクチャまたは固定アーキテクチャのいずれかで、シーン内の物体は、ＬＩＤＡＲ光源から放出される光パルスの一部分を反射することができる。その後、１または複数の反射部分がＬＩＤＡＲシステムに戻り、検出器回路により検出され得る。例えば、反射部分１１７は、検出器回路１０９によって検出され得る。検出器回路は、エミッタと同じハウジング内に配設され得る。スキャンシステム及び固定システムの態様は相互に排他的ではないため、組み合わせて使用され得る。例えば、図１Ｂの個々のＬＩＤＡＲサブシステム１０３ａ及び１０３ｂは、光フェーズドアレイなどの操縦可能なエミッタを用いることができ、あるいは複合ユニット全体が機械的手段を介して回転し、それにより、例えば視野１１９から視野１２１まで、ＬＩＤＡＲシステムの前方のシーン全体をスキャンすることができる。

【００７２】

図２は、幾つかの実施形態による、回転型ＬＩＤＡＲシステム２００のより詳細なブロック図を示す。より具体的には、図２は、固定回路基板から電力及びデータを受信（ならびに送信）することができる、回転回路基板上のロータリアクチュエータを用いることができる回転型ＬＩＤＡＲシステムを任意選択的に示す。

【００７３】

ＬＩＤＡＲシステム２００は、ユーザインターフェース２１５の１または複数のインスタンス化と相互作用することができる。ユーザインターフェース２１５の異なるインスタンス化は変化する可能性があり、例えば、モニタ、キーボード、マウス、ＣＰＵ及びメモリを有するコンピュータシステム、自動車のタッチスクリーン、タッチスクリーンを有するハンドヘルドデバイス、または任意の他の適切なユーザインターフェースを含み得る。ユーザインターフェース２１５は、ＬＩＤＡＲシステム２００が取り付けられる物体に対してローカルであってもよいが、遠隔操作システムであってもよい。例えば、ＬＩＤＡＲシステム２００への、またはＬＩＤＡＲシステム２００からのコマンド及びデータは、セルラーネットワーク（ＬＴＥなど）、パーソナルエリアネットワーク（Ｂｌｕｅｔｏｏｔｈ、Ｚｉｇｂｅｅなど）、ローカルエリアネットワーク（ＷｉＦｉ、ＩＲなど）、またはインターネットなどの広域ネットワークを介してルーティングすることができる。

【００７４】

ハードウェア及びソフトウェアのユーザインターフェース２１５は、デバイスからのＬＩＤＡＲデータをユーザに提示することができるが、ユーザが１または複数のコマンドでＬＩＤＡＲシステム２００を制御することを可能にすることもできる。コマンドの例には、ＬＩＤＡＲシステムを作動させるまたは不作動にするコマンド、光検出器の露出レベル、バイアス、サンプリング期間、他の動作パラメータ（例えば、放出パルスパターン及び信号処理）を指定するコマンド、輝度などの発光体パラメータを指定するコマンドが含まれる。さらに、コマンドは、結果を表示するためにユーザが方法を選択することを可能にすることができる。ユーザインターフェースはＬＩＤＡＲシステムの結果を表示することができ、これには、例えば、単一フレームのスナップショット画像、絶えず更新されるビ

デオ画像、及び／または一部または全てのピクセルについての他の光測定値の表示が含まれ得る。幾つかの実施形態では、ユーザインターフェース２１５は、車両からの物体の距離（近接度）を追跡することができ、場合によっては運転者に警告を提供し、または運転者の行動の分析のためにそのような追跡情報を提供する。

【００７５】

幾つかの実施形態では、ＬＩＤＡＲシステムは車両制御ユニット２１７と通信することができ、車両の制御と関連付けられた１または複数のパラメータは、受信されたＬＩＤＡＲデータに基づいて修正することができる。例えば、完全自律走行車両では、ＬＩＤＡＲシステムは、ナビゲーションを支援するために、車を取り巻く環境のリアルタイム３Ｄ画像を提供することができる。他の場合には、ＬＩＤＡＲシステムは、先進運転支援システム（ＡＤＡＳ）の一部として、または、例えば、アダプティブクルーズコントロール、自動駐車、運転者の眠気監視、死角監視、衝突回避システムなどの任意の数の異なるシステムに３Ｄ画像データを提供することができる安全システムの一部として、用いられ得る。車両制御ユニット２１７が光測距デバイス２１０に通信可能に結合された場合、運転者に警告を提供することができるか、または物体の近接度の追跡を追跡することができる。

【００７６】

図２に示されるＬＩＤＡＲシステム２００は、光測距デバイス２１０を含む。光測距デバイス２１０は、測距システムコントローラ２５０、光送信（Ｔｘ）モジュール２４０、及び光感知（Ｒｘ）モジュール２３０を含む。１または複数の光パルス２４９を光送信モジュール２４０から光測距デバイスを囲む視野内の物体に送信することにより、測距データが光測距デバイスによって生成され得る。次いで、透過光の反射部分２３９が、いくらかの遅延時間の後、光感知モジュール２３０によって検出される。遅延時間に基づいて、反射面までの距離が決定され得る。例えば連続波、ドップラーなどの他の測距法も用いられることができる。

【００７７】

Ｔｘモジュール２４０は、エミッタの１次元または２次元アレイであり得るエミッタアレイ２４２と、Ｔｘ光学システム２４４とを含み、これらが組み合わされると、マイクロ光学エミッタチャネルのアレイを形成し得る。エミッタアレイ２４２または個々のエミッタが、レーザ光源の例である。Ｔｘモジュール２４０は、プロセッサ２４５及びメモリ２４６を更に含む。幾つかの実施形態では、例えばバーカーコードなどのパルスコーディング技術を使用することができる。そのような場合、メモリ２４６は、光をいつ送信すべきかを示すパルスコードを格納することができる。一実施形態では、パルスコードは、メモリに格納された整数のシーケンスとして格納される。

【００７８】

Ｒｘモジュール２３０は、例えば、光センサの１次元または２次元アレイであり得るセンサアレイ２３６を含むことができる。各光センサまたは感光性素子（センサとも称される）は、例えばＡＰＤなどの光検出器の集合体を含み得るか、またはセンサが単一の光子検出器（例えば、ＳＰＡＤ）であってもよい。Ｔｘモジュール２４０と同様に、Ｒｘモジュール２３０はＲｘ光学システム２３７を含む。Ｒｘ光学システム２３７とセンサアレイ２３６とが組み合わされて、マイクロ光学受信機チャネルのアレイを形成し得る。各マイクロ光学受信機チャネルは、周囲容積の明確な視野内の画像ピクセルに対応する光を測定する。センサアレイ２３６の各センサ（例えば、ＳＰＡＤの集合体）は、例えば、光感知モジュール２３０及び光送信モジュール２４０の幾何学的構成の結果として、エミッタアレイ２４２の特定のエミッタに対応し得る。

【００７９】

一実施形態では、Ｒｘモジュール２３０のセンサアレイ２３６は、光子検出器のアレイと、アレイ中の個々の光子検出器（または検出器のグループ）からの生ヒストグラムを信号処理するためのＡＳＩＣ２３１との両方を含む単一基板上のモノリシックデバイスの一部として（例えば、ＣＭＯＳ技術を使用して）製造される。信号処理の例として、光子検出器ごと、または光子検出器のグループごとに、ＡＳＩＣ２３１のメモリ２３４（例えば

、ＳＲＡＭ）は、連続する時間ビンにわたって検出された光子のカウントを累積することができ、これらの時間ビンを組み合わせて使用して、反射光パルスの時系列（すなわち、光子のカウント対時間）を再生成することができる。集計された光子カウントのこの時系列は、本明細書では強度ヒストグラム（または単にヒストグラム）と称される。ＡＳＩＣ２３１は、整合フィルタとピーク検出処理とを実装して、適時にリターン信号を識別することができる。更に、ＡＳＩＣ２３１は、ＳＰＡＤの飽和及びクエンチングに起因して起こり得るパルス形状歪みの影響を受けにくい光子時系列を再生するのに役立つ、マルチプロファイル整合フィルタリングなどの特定の信号処理技術を（例えば、プロセッサ２３８によって）完遂することができる。幾つかの実施形態では、そのようなフィルタリングの全てまたは一部は、ＦＰＧＡで具体化され得るプロセッサ２５８によって実行され得る。

【００８０】

幾つかの実施形態では、Ｒｘ光学システム２３７はまた、各受信機チャネル層に対して別個の基板層を有するＡＳＩＣと同じモノリシック構造の一部であってもよい。例えば、開口層、コリメートレンズ層、光学フィルタ層、及び光検出器層を積み重ねて、ダイシング前にウェーハレベルで接着することができる。開口層は、透明基板の上に非透明基板を置くか、透明基板に不透明フィルムをコーティングすることによって形成され得る。更に他の実施形態では、Ｒｘモジュール２３０の１または複数のコンポーネントが、モノリシック構造の外側にあってもよい。例えば、開口層は、ピンホールを有する別個の金属シートとして実装されてもよい。

【００８１】

幾つかの実施形態では、ＡＳＩＣから出力された光子時系列は、さらなる処理のために測距システムコントローラ２５０に送られ、例えば、データは測距システムコントローラ２５０の１または複数のエンコーダにより符号化され、その後データパケットとしてユーザインターフェース２１５に送られる。測距システムコントローラ２５０は、例えば、ＡＳＩＣまたはＡＳＩＣの一部としてのＦＰＧＡなどのプログラマブルロジックデバイスを使用することによる、メモリ２５４を有するプロセッサ２５８を使用することによる、及び上記の何らかの組み合わせを含む複数の方式で実現され得る。測距システムコントローラ２５０は、固定ベースコントローラと連携するか、またはベースコントローラとは独立して（事前にプログラムされた命令を介して）動作して、光検出の開始及び停止を含み、光検出器パラメータを調整するコマンドを送信することにより、光感知モジュール２３０を制御することができる。同様に、測距システムコントローラ２５０は、発光開始及び停止制御、ならびに他の発光体パラメータ（例えば、パルスコード）を調整し得る制御を含むコマンドを送信するか、またはベースコントローラからのコマンドを中継することにより、光送信モジュール２４０を制御することができる。幾つかの実施形態では、測距システムコントローラ２５０は、光感知モジュール２３０及び光送信モジュール２４０とデータを交換するための１または複数の有線インターフェースまたはコネクタを有する。他の実施形態では、測距システムコントローラ２５０は、光通信リンクなどの無線相互接続を介して、光感知モジュール２３０及び光送信モジュール２４０と通信する。

【００８２】

電気モータ２６０は、例えばＴｘモジュール２４０及び／またはＲｘモジュール２３０などのシステムコンポーネントを回転させる必要がある場合に必要とされる任意選択的なコンポーネントであり得る。システムコントローラ２５０は、電気モータ２６０を制御し、回転を開始し、回転を停止し、回転速度を変えることができる。

【００８３】

ＩＩ．反射パルスの検出

光センサは、反射パルスを検出するために、様々な方式で配置され得る。例えば、光センサはアレイに配置することができ、各光センサは光検出器（例えばＳＰＡＤ）のアレイを含むことができる。検出間隔中に送信される異なるパターンのパルス（パルス列）についても、以下で説明する。

【００８４】

Ａ．飛行時間測定及び検出器

図３は、幾つかの実施形態によって改善され得る、典型的なＬＩＤＡＲシステムの動作を示す。レーザが、短い持続時間の光パルス３１０を生成する。横軸は時間を表現し、縦軸は電力を表現する。半値全幅（ＦＷＨＭ）によって特徴付けられるレーザパルス持続時間の一例が数ナノ秒であり、単一のエミッタのピーク電力は約数ワットである。サイドエミッタレーザまたはファイバレーザを使用する実施形態は、はるかに高いピーク電力を有することができる一方、小径ＶＣＳＥＬを有する実施形態は、数十ミリワット～数百ミリワットのピーク電力を有し得る。

【００８５】

パルスの送信の開始時間３１５がパルスの前縁と一致する必要はない。示されるように、光パルス３１０の前縁は開始時間３１５後であり得る。異なるパターンのパルスが異なる時間に送信される状況、例えば、コード化パルスの場合、前縁を異なるものにしたい場合がある。

【００８６】

光受信機システムは、レーザの起動と同時に、つまり起動時に受信光の検出を開始することができる。他の実施形態では、光受信機システムは、パルスの開始時間後の既知の時間にある後の時間に開始することができる。光受信機システムは最初に背景光３３０を検出し、しばらくしてからレーザパルス反射３２０を検出する。光受信機システムは、検出された光強度を閾値と比較して、レーザパルス反射３２０を識別することができる。閾値は、背景光３３０とレーザパルス反射３２０に対応する光を区別することができる。

【００８７】

飛行時間３４０は、パルスが送信されることとパルスが受信されることとの間の時間差である。時間差は、レーザパルス反射３２０の受信時間（例えば、開始時間に対して測定される）からパルスの送信時間（例えば、同様に開始時間に対して測定される）を除算することにより測定され得る。標的までの距離は、飛行時間と光速との積の半分として決定することができる。レーザデバイスからのパルスは、異なる時間にシーン内の物体から反射し、ピクセルアレイが放射反射のパルスを検出する。

【００８８】

Ｂ．アレイレーザと光センサのアレイとを使用する物体の検出

図４は、幾つかの実施形態による、光測距システムの光送信及び検出プロセスの例示的な一実施例を示す。図４は、システムを囲む容積またはシーンの３次元距離データを収集する光測距システム（例えば、ソリッドステート型もしくは、及び／またはスキャニング型）を示す。図４は、エミッタとセンサとの間の関係を強調する理想化された図であり、したがって、他のコンポーネントは示されていない。

【００８９】

光測距システム４００は、発光体アレイ４０２と光センサアレイ４０４とを含む。発光体アレイ４０２は、エミッタ４０３及びエミッタ４０９などの発光体のアレイ、例えば、ＶＣＳＥＬなどのアレイを含む。光センサアレイ４０４は、例えばセンサ４１３及び４１５などの光センサのアレイを含む。光センサは、ピクセルごとに、単一光子アバランシェダイオード（ＳＰＡＤ）などの離散した光検出器のセットを用いるピクセル化光センサであってもよい。しかしながら、様々な実施形態は、任意のタイプの光子センサを配置することができる。

【００９０】

各エミッタは、隣接するエミッタからわずかにオフセットされ得、かつ隣接するエミッタから異なる視野内に光パルスを送信するように構成され得るため、そのエミッタのみと関連付けられたそれぞれの視野を照明することができる。例えば、エミッタ４０３は、（１または複数の光パルスから形成された）照明ビーム４０５を円形視野４０７（そのサイズは明確にするために誇張されている）内に放出する。同様に、エミッタ４０９は、照明ビーム４０６（エミッタチャネルとも呼ばれる）を円形視野４１０内に放出する。複雑さを避けるために図４には示されていないが、各エミッタは対応する視野内に対応する照明

ビームを放出し、結果として２Ｄの視野のアレイが照明される（この例では２１個の異なる視野）。

【００９１】

エミッタによって照明される各視野は、測距データから生成される対応する３Ｄ画像内のピクセルまたはスポットと考えられ得る。各エミッタチャネルは、各エミッタに個別で、他のエミッタチャネルと非重複とすることができる、つまり、エミッタのセットと非重複フィールドまたはビューのセットとの間に１対１のマッピングがある。したがって、図４の実施例では、システムは３Ｄ空間で２１個の異なる点をサンプリングし得る。より高密度のエミッタアレイを有することにより、または１つのエミッタが空間内の複数の点をサンプリングすることができるように、エミッタビームの角度位置を経時的にスキャンすることにより、点の高密度サンプリングを実現することができる。上記のように、スキャンは、エミッタ／センサアセンブリ全体を回転させることにより完遂され得る。

【００９２】

各センサは、上述のエミッタのように、隣接するセンサからわずかにオフセットすることができ、各センサはセンサの前のシーンの異なる視野を見ることができる。更に、各センサの視野は、例えば、それぞれのエミッタチャネルの視野と実質的に一致し、例えば重なり合い、同じサイズである。

【００９３】

図４において、対応するエミッター－センサチャネル間の距離は、視野内の物体までの距離に対して誇張されている。実際には、わずかなフィールド内の物体までの距離は、対応するエミッター－センサチャネル間の距離よりはるかに大きいため、エミッタから物体までの光の経路は、物体からセンサまで戻る反射光の経路にほぼ平行である（すなわち、光はほとんど「後方反射」される）。したがって、システム４００の前には、個々のセンサの視野と個々のエミッタの視野とが重なる距離の範囲がある。

【００９４】

エミッタの視野はそれぞれのセンサの視野と重なっているため、各センサチャネルは理想的には、それぞれのエミッタチャネルを起源とし、理想的にはクロストークのない反射照明ビームを検出することができる、つまり、他の照明ビームからの反射光は検出されない。したがって、各光センサは、それぞれの光源に対応し得る。例えば、エミッタ４０３は照明ビーム４０５を円形視野４０７内に放出し、照明ビームの一部は物体４０８から反射する。理想的には、反射ビーム４１１はセンサ４１３のみによって検出される。したがって、エミッタ４０３及びセンサ４１３は同じ視野、例えば視野４０７を共有し、エミッター－センサ対を形成する。同様に、エミッタ４０９及びセンサ４１５はエミッター－センサ対を形成し、視野４１０を共有する。図４ではエミッター－センサ対は、それぞれのアレイ内の同じ相対位置にあるものとして示されているが、システムで使用される光学系の設計に応じて、任意のエミッタを任意のセンサと対にすることができる。

【００９５】

測距測定中、ＬＩＤＡＲシステムを取り巻く容積の周りに分布する様々な視野からの反射光が様々なセンサによって収集されて処理され、各それぞれの視野内の任意の物体の範囲情報をもたらす。上記のように、正確にタイミングを合わせたパルスを発光体が放出し、ある経過時間後にパルスの反射がそれぞれのセンサによって検出される、飛行時間技術を使用することができる。次に、放出と検出との間の経過時間と、既知の光速度とを使用して、反射面までの距離を計算する。幾つかの実施形態では、範囲に加えて、反射面の他の特性を決定するために、センサにより追加情報を取得することができる。例えば、パルスのドップラーシフトをセンサで測定し、センサと反射面との間の相対速度を計算するために使用することができる。パルス強度を使用して標的の反射率を推定することができ、パルス形状を使用して、標的が硬質または拡散材料であるかどうかを判断することができる。

【００９６】

幾つかの実施形態では、ＬＩＤＡＲシステムは、エミッタチャネル及びセンサチャネル

の比較的大きい２Ｄアレイで構成され、ソリッドステートＬＩＤＡＲとして動作することができる、つまり、ＬＩＤＡＲシステムは、エミッタ及び／またはセンサの方向をスキャンする必要なしに、範囲データのフレームを取得することができる。他の実施形態では、エミッタ及びセンサのセットの視野が、周囲容積の完全な３６０度領域（または３６０度領域の何らかの有用な部分）をサンプリングすることを確実にするために、エミッタ及びセンサをスキャンさせ得る、例えば軸を中心に回転させることができる。例えば、ある所定の時間にわたってスキャンシステムから収集された範囲データを、次に後処理して１または複数のフレームのデータにし、これを更に処理して、１または複数の深度画像または３Ｄ点群にすることができる。深度画像及び／または３Ｄ点群を更に処理して、３Ｄマッピング及びナビゲーションアプリケーションで使用するためのマップファイルにすることができる。

【００９７】

Ｃ．各光センサにおける複数の光検出器

図５は、本発明の実施形態による、センサアレイ及び関連する電子機器の様々なステージを示す。アレイ５１０は、各々が異なるピクセルに対応する光センサ５１５を示す。アレイ５１０は、互い違いのアレイであってもよい。この特定の実施例では、アレイ５１０は、１８×４個の光センサである。実装態様がスイープに適しているため、アレイ５１０を使用して、高解像度（例えば、７２×１０２４）を実現することができる。

【００９８】

アレイ５２０は、アレイ５１０の一部の拡大図を示す。見られるように、各光センサ５１５は、複数の光検出器５２５で構成されている。ピクセルの光検出器からの信号は、一括してそのピクセルの測定に寄与する。

【００９９】

幾つかの実施形態では、各ピクセルは、ピクセル自体のダイナミックレンジを増大させる多数の単一光子アバランシェダイオード（ＳＰＡＤ）ユニットを有する。各ＳＰＡＤは、バイアス、クエンチ、及びリチャージ用のアナログフロントエンド回路を有し得る。ＳＰＡＤは通常、ブレークダウン電圧を上回るバイアス電圧でバイアスされる。好適な回路が、アバランシェ電流の前縁を検出し、アバランシェビルドアップと同期した標準出力パルスを生成し、バイアスをブレークダウン電圧より低く下げることによりアバランシェをクエンチさせ、フォトダイオードを動作レベルに戻す。

【０１００】

ＳＰＡＤは、そのローカル領域におけるフィルファクタを最大化するように位置付けられてもよく、またはピクセルレベルで高い光学フィルファクタを可能にするマイクロレンズアレイを使用してもよい。したがって、イメージャピクセルは、ピクセル検出器の効率を高めるために、ＳＰＡＤのアレイを含むことができる。ディフューザを使用して、開口部を通過し、マイクロレンズでコリメートされた光線を拡散してもよい。缶ディフューザは、同じピクセルに属する全てのＳＰＡＤがいくらかの放射線を受信するように、平行光線を拡散する働きをする。

【０１０１】

図５は、光子５３２を検出する特定の光検出器５３０（例えば、ＳＰＡＤ）を更に示す。検出に応じて、光検出器５３０が、電荷キャリア（電子または正孔）のアバランシェ電流５３４を生成する。閾値回路５４０は、アバランシェ電流５３４を閾値と比較することにより、アバランシェ電流５３４を調整する。光子が検出され、光検出器５３０が適切に機能している場合、アバランシェ電流５３４がコンパレータ閾値を上回って上昇し、閾値回路５４０が、ＳＰＡＤ電流アバランシェの正確な時間を示す時間的に正確なバイナリ信号５４５を生成し、これが逆に光子到達の正確な測定となる。電流アバランシェと光子到達との相関関係は、ナノ秒の分解能で発生する可能性があり、それによって高いタイミング分解能が提供される。バイナリ信号５４５の立ち上がりエッジは、ピクセルカウンタ５５０によってラッチされ得る。

【０１０２】

バイナリ信号５４５、アバランシェ電流５３４、及びピクセルカウンタ５５０は、１または複数のＳＰＡＤで構成される光センサによって提供され得るデータ値の例である。データ値は、複数の光検出器の各々からのそれぞれの信号から決定され得る。それぞれの信号の各々を閾値と比較して、対応する光検出器がトリガされたかどうかを判断することができる。アバランシェ電流５３４はアナログ信号の一例であり、したがって、それぞれの信号はアナログ信号であり得る。

【０１０３】

ピクセルカウンタ５５０は、バイナリ信号５４５を使用して、周期信号５６０によって制御される特定の時間ビン（例えば、１、２、３ｎｓなどの時間窓）中に１または複数の光子によってトリガされている、所与のピクセルに対する光検出器の数をカウントすることができる。ピクセルカウンタ５５０は、所与の測定の複数の時間ビンの各々に対するカウンタを格納することができる。各時間バインドのカウンタの値はゼロから始まり、光子の検出を示すバイナリ信号５４５に基づいてインクリメントされ得る。ピクセルの任意の光検出器がそのような信号を提供すると、カウンタがインクリメントし得る。

【０１０４】

周期信号５６０は、位相同期ループ（ＰＬＬ）または遅延同期ループ（ＤＬＬ）、もしくはクロック信号を生成する任意の他の方法によって生成することができる。周期信号５６０とピクセルカウンタ５５０との調整は、イベントを認識し、それらが発生した時間のデジタル表現を提供するためのデバイスである時間－デジタル変換器（ＴＤＣ）として機能することができる。例えば、ＴＤＣは、検出された各光子または光パルスの到達時間を出力することができる。測定時間は、絶対時間ではなく、２つのイベント間（例えば、開始時間及び検出された光子または光パルス）の経過時間であってもよい。周期信号５６０は、ピクセルカウンタ５５０を含むメモリのバンク間を切り替える比較的高速のクロックであってもよい。メモリ内の各レジスタは１つのヒストグラムビンに対応し得、クロックは、サンプリング間隔でそれらの間を切り替わり得る。したがって、それぞれの信号が閾値よりも大きい場合、トリガを示すバイナリ値をヒストグラム回路に送ることができる。ヒストグラム回路は、特定の時間ビン中にトリガされた光検出器の数を決定するために、複数の光検出器にわたってバイナリ値を集計することができる。

【０１０５】

時間ビンは、例えば図３の開始時間３１５で、開始信号に対して測定され得る。したがって、開始信号の直後の時間ビンのカウンタは、背景信号、例えば背景光３３０に対応する低い値を有し得る。最後の時間ビンは、所与のパルス列の検出時間間隔（ショットとも呼ばれる）の終了に対応し得、これについては、次のセクションで更に説明する。開始時間以降の周期信号５６０のサイクル数は、アバランシェ電流５３４の立ち上がりエッジが検出された光子を示すときのタイムスタンプとして機能し得る。タイムスタンプは、ピクセルカウンタ５５０内の特定のカウンタに対する時間ビンに対応する。このような動作は、フォトダイオード（例えば、アバランシェフォトダイオード（ＡＰＤ））に続く単純なアナログ－デジタルコンバータ（ＡＤＣ）とは異なる。時間ビンのカウンタの各々はヒストグラムに対応し得、これについては後で詳しく説明する。したがって、ＡＰＤはゲインが制限された入力光信号用の線形増幅器である一方、ＳＰＡＤは、時間窓内で発生するトリガイベントに対してｙｅｓ／ｎｏのバイナリ出力を提供するトリガデバイスである。

【０１０６】

Ｄ．パルス列

測距は、１または複数のパルスを含むものとして定義されたパルス列を使用して完遂され得る。パルス列内で、パルスの数、パルスの幅、及びパルス間の持続時間（総称してパルスパターンと称される）を幾つかの要因に基づいて選択することができ、要因の幾つかとして以下が挙げられる：

１－最大レーザデューティサイクルは、レーザがオンになっている時間の割合である。パルスレーザの場合、これは、上記で説明したように、ＦＷＨＭと、所定の期間中に放出されたパルスの数とによって決定することができる。

２－目の安全限界－これは、ＬＩＤＡＲシステムの方向を見ている傍観者の目を損傷することなく、デバイスが放出することができる最大放射量によって決定される。
３－電力消費－これは、シーンを照明するためにエミッタが消費する電力である。
【０１０７】
例えば、パルス列内のパルス間の間隔は、１桁または数十ナノ秒ほどであり得る。
【０１０８】
１回の測定の期間中に複数のパルス列が放出され得る。各パルス列は異なる時間間隔に対応し得、例えば、前のパルス列の反射パルスを検出するための制限時間の満了まで、後続のパルス列は放出されない。
【０１０９】
所与のエミッタまたはレーザデバイスの場合、パルス列の放出間の時間によって最大検出可能範囲が決まる。例えば、パルス列Ａが時間t_0＝０ｎｓにおいて放出され、パルス列Ｂが時間t_1＝１０００ｎｓにおいて放出された場合、t_1の後に検出された反射パルス列はパルス列Ｂからの反射である可能性がはるかに高いので、それらをパルス列Ａに割り当ててはならない。したがって、パルス列間の時間と光速度が、次式で示されるシステムの範囲の最大限界を画定する。

$$R_{max} = c \times (t_1 - t_0) / 2$$

ショット（パルス列の放出及び検出）間の時間は、パルス列全体が約１５０メートル離れた遠くの物体まで移動して戻るのに十分な時間を可能にするために１μｓほどであり得る。
【０１１０】
ＩＩＩ．光検出器からのヒストグラム信号
ＬＩＤＡＲシステムの１つの動作モードが、周期信号内の単一光子の計数に基づく、時間相関単一光子計数法（ＴＣＳＰＣ）である。この技法は、ＬＩＤＡＲシステムにおいて好適である低レベルの周期的放射に効果を発揮する。この時間相関計数法は、図５の周期信号５６０によって制御されてもよく、図５で考察されたように、時間ビンを使用することができる。
【０１１１】
周期信号の周波数により、信号のデータ値が測定される時間分解能が指定され得る。例えば、周期信号のサイクルごとに、各光センサに対して１つの測定値が取得され得る。幾つかの実施形態では、測定値は、そのサイクル中にトリガされた光検出器の数であり得る。周期信号の期間は時間ビンに対応し、各サイクルは異なる時間ビンである。
【０１１２】
図６は、本発明の実施形態によるヒストグラム６００を示す。横軸は、開始時間６１５に対して測定される時間ビンに対応する。上述のように、開始時間６１５は、パルス列の開始時間に対応し得る。パルス列の第１パルスの立ち上がりエッジと、パルス列及び検出時間間隔のいずれかまたは両方の開始時間との間の任意のオフセットを考慮することができ、ここで、飛行時間測定に使用する受信時間を決定すること。縦軸は、トリガされたＳＰＡＤの数に対応している。特定の実施形態では、縦軸は、ＡＰＤに続くＡＤＣの出力に対応し得る。例えば、ＡＰＤは、ＳＰＡＤの不感時間ベースの効果ではなく、一定の最大信号などの、従来の飽和効果を示し得る。ＳＰＡＤ及びＡＰＤの両方で幾つかの影響が発生することがあり、例えば、ＳＰＡＤ及びＡＰＤの両方で、大きく傾斜した表面のパルススミアリングが発生する場合がある。
【０１１３】
時間ビンの各々のカウンタは、ヒストグラム６００の異なるバーに対応する。初期の時間ビンのカウンタは比較的低く、背景ノイズ６３０に対応する。ある点で、反射パルス６２０が検出される。対応するカウンタははるかに大きく、背景と検出パルスとを区別する閾値を超える場合がある。（デジタル化後の）反射パルス６２０は、４つの時間ビンに対応して示されており、これは、例えば、時間ビンが各１ｎｓである場合４ｎｓのパルスなどの、同様の幅のレーザパルスに起因する可能性がある。しかし、以下でより詳細に説明

するように、時間ビンの数は、例えば、レーザパルスの入射角における特定の物体の特性に基づいて変化する可能性がある。

【０１１４】

反射パルス６２０に対応する時間ビンの時間的位置を使用して、例えば、開始時間６１５に対する受信時間を決定することができる。以下でより詳細に説明されるように、整合フィルタを使用してパルスパターンを識別し、それにより信号対ノイズ比を効果的に高めることができるが、受信時間をより正確に決定することもできる。幾つかの実施形態では、受信時間を決定する精度は、単一の時間ビンの時間分解能よりも低くなり得る。例えば、１ｎｓの時間ビンの場合、その解像度は約１５ｃｍに相当するであろう。しかしながら、わずか数センチの精度を持つことが望ましい場合があり得る。

【０１１５】

したがって、検出された光子は、例えば、開始時間６１５によって示されるように、開始信号に対するその到達時間に基づいて、ヒストグラムの特定の時間ビンがインクリメントされる結果になる可能性がある。開始信号は、測定中に複数のパルス列が送信されるように、周期的であってもよい。各開始信号をレーザパルス列に同期させて、複数の開始信号が、複数の検出間隔にわたって複数のパルス列を送信させるようにすることもできる。したがって、各検出間隔に対して時間ビン（例えば、開始信号後の２００～２０１ｎｓ）が発生するであろう。ヒストグラムはカウントを累積することができ、特定の時間ビンのカウントは、複数のショットにわたってその特定の時間ビン内に全て発生する測定データ値の総計に対応する。検出光子がこのような技術に基づいてヒストグラム化されると、単一のパルス列からのものよりも、起こったショット数の平方根だけ大きい信号対ノイズ比を有するリターン信号をもたらす。

【０１１６】

図７は、本発明の実施形態による、選択されたピクセルに対する複数のパルス列にわたるヒストグラムの累積を示す。図７は、３つの検出されたパルス列７１０、７２０及び７３０を示す。検出された各パルス列は、同じ時間量で分離された２つのパルスの同じパターンを有する送信パルス列に対応する。したがって、感知できる値を有する２つの時間ビンで示されるように、検出された各パルス列は同じパルスパターンを有する。説明を簡単にするために、他の時間ビンのカウンタは示されていないが、他の時間ビンは、比較的低い非ゼロ値を有する可能性がある。

【０１１７】

第１検出されたパルス列７１０では、時間ビン７１２及び７１４のカウンタは同じである。これは、同じ数の検出器が２つの時間ビン中に光子を検出することに起因する可能性がある。あるいは、他の実施形態では、ほぼ同じ数の光子が２つの時間ビン中に検出される。他の実施形態では、１つを超える連続する時間ビンが連続する非ゼロ値を有し得るが、説明を簡単にするために、個々の非ゼロの時間ビンが示されている。

【０１１８】

時間ビン７１２及び７１４はそれぞれ、開始時間７１５の後の４５８ｎｓ及び４７８ｎｓに発生する。他の検出されたパルス列に対して示されたカウンタは、それぞれの開始時間に対して同じ時間ビンに発生する。この例では、開始時間７１５は時間０で発生するとして識別されるが、実際の時間は任意である。第１検出パルス列に対する第１検出間隔は１μｓであり得る。したがって、開始時間７１５から測定された時間ビンの数は１，０００であり得る。この第１検出間隔が終了した後、新しいパルス列が送信及び検出され得る。異なる時間ビンの開始及び終了は、例えば、図５で説明されたように、時間－デジタル変換器（ＴＤＣ）として作動する一部回路であり得るクロック信号によって制御することができる。

【０１１９】

第２検出されたパルス列７２０の場合、開始時間７２５は１μｓにあり、例えば、このとき第２パルス列が放出され得る。第１検出間隔の始めに送信された全てのパルスがすでに検出されているように、このような別個の検出間隔が発生し得るので、第２時間間隔で

検出されたパルスについては混同は生じない。例えば、ショット間に余分な時間がない場合、回路は、２００ｍにある再帰反射性停止標識を５０ｍにあるはるかに反射性の低い物体と混同する可能性がある（ショット期間を約１μｓと仮定）。パルス列７１０及び７２０の２つの検出時間間隔は同じ長さであり得、それぞれの開始時間に対して同じ関係を有し得る。時間ビン７２２及び７２４は、時間ビン７１２及び７１４と同じ相対時間４５８ｎｓ及び４７８ｓｎで発生する。したがって、累積ステップが発生すると、対応するカウンタを追加することができる。例えば、時間ビン７１２及び７２２におけるカウンタ値を一緒に追加することができる。

【０１２０】

第３の検出されたパルス列７３０の場合、開始時間７３５は２μｓにあり、例えば、このとき第３のパルス列が放出され得る。時間ビン７３２及び７３４も、それぞれの開始時間７３５に対して４５８ｎｓ及び４７８ｎｓで発生する。例えば、物体を離れる光パルスの散乱プロセスの確率的性質のために、放出されたパルスが同じ電力を有していても、異なる時間ビンでのカウンタは異なる値を有する可能性がある。

【０１２１】

ヒストグラム７４０は、また４５８ｎｓ及び４７８ｎｓにも対応する時間ビン７４２及び７４４において３つの検出されたパルス列からのカウンタの累積を示す。ヒストグラム７４０は、例えば、始めまたは終わりに下がる時間ビンの結果として、それぞれの検出間隔中に測定される、または閾値未満の値を有する、より少ない数の時間ビンを有し得る。幾つかの実装態様において、パルス列のパターンに応じて、約１０～３０個の時間ビンが感知できる値を有し得る。

【０１２２】

例として、単一のヒストグラムを作成するために測定中に放出されるパルス列の数は約１～４０（例えば、２４）であり得るが、例えば、５０、１００、または５００など、はるかに多くてもよい。測定が完了したら、ヒストグラムのカウンタをリセットすることができ、新たな測定を実行するためにパルス列のセットを放出することができる。様々な実施形態では、それぞれの持続時間における検出間隔の数に応じて、２５、５０、１００、または５００μｓごとに測定を実行することができる。幾つかの実施形態では、例えば、所与のヒストグラムがパルス列の特定のスライド窓に対応するように、測定間隔が重複してもよい。このような例では、各々が異なる時間窓に対応する複数のヒストグラムを格納するためのメモリが存在し得る。検出されたパルスに適用される任意の重みが各ヒストグラムで同じであってもよいか、またはそのような重みを個別に制御することもできる。

【０１２３】

ＩＶ．ヒストグラムデータパス

図８は、幾つかの実施形態による、光子を受信し、ヒストグラムを表現するメモリに格納された信号のセットを生成するための回路を示す。図５に関連して上述したように、光センサのアレイを使用して、光学測定システムにおいて周囲光から反射パルス及び背景光子を受信し得る。単一の光センサ８０２は、複数の光検出器を含み得る。各光検出器は、ＳＰＡＤまたは他の感光性センサによって実装され得、光検出器は、図８に示されるように、光センサ８０２のためにグリッドパターンに配置され得る。ＬＩＤＡＲシステムの光源を中心とした範囲外の光が光センサによって受信されないように、光センサの各々にフィルタを使用することができる。ただし、このフィルタを使用しても、光源の放出波長またはその近くの周囲光がフィルタを通過する場合がある。これにより、周囲光からの光子と、ＬＩＤＡＲ光源から放出された光子が光センサによって受信される可能性がある。

【０１２４】

光センサ８０２内の各光検出器は、光子が光検出器によっていつ受信されるかを示す出力信号を生成するためのアナログフロントエンド回路を含み得る。例えば、図５に戻って参照すると、ＳＰＡＤからのアバランシェ電流５３４は、閾値回路５４０をトリガして、出力バイナリ信号５４５を生成し得る。図８に戻ると、光センサ８０２内の各光検出器は、受信された光子に対応するそれ自体の信号を生成し得る。したがって、光センサ８０２

は、光センサ８０２内の光検出器の数に対応する信号のセット８１６を生成し得る。光センサ８０２は、光学測定システムの後の段階で表示または分析されるときに情報の単一のピクセルに対応し得るので、「ピクセル」または「ピクセルセンサ」と称されることもある。受信された光子に応答して信号が生成される場合（例えば、論理値の「０」から論理値の「１」への遷移）、これは「正の」信号と称されることがある。

【０１２５】

算術論理演算装置（ＡＬＵ）８０４を使用して、図５からのピクセルカウンタ５５０の機能を実装し得る。具体的には、ＡＬＵ８０４は、光センサ８０２の個々の光検出器から信号のセット８１６を受信し、各々が光子の検出を示すこれらの信号の数を集計し得る。ＡＬＵ８０４は、信号のセット８１６に対して算術及び／または他のビット単位の演算を実行する組み合わせデジタル電子回路を含み得る。例えば、ＡＬＵ８０４は、信号のセット８１６の各々を、ＡＬＵ８０４への入力またはオペランドとしてバイナリ信号（すなわち、「０」または「１」）として受信し得る。入力を一緒に集計または追加することによって、ＡＬＵ８０４は、光子が特定の時間ビン内に受信されたことを示す信号のセット８１６内の幾つかの正の信号をカウントし得る。例えば、「１」信号レベルを示す信号の各々を加算することによって、ＡＬＵ８０４の出力は、時間ビン中に光子を受信した光検出器と関連付けられている信号のセット８１６内の信号の数を示し得る。

【０１２６】

ＡＬＵ８０４は、光センサ８０２内の光検出器の数に対応する少なくとも幾つかの入力を受信するように特別に設計されている。図８の例では、ＡＬＵ８０４は、シングルビット幅である３２個の並列入力を受信するように構成され得る。内部的には、ＡＬＵ８０４をデジタル論理ゲートと共に実装して、リップルキャリー加算器、キャリールックアヘッド加算器、キャリーセーブ加算器、及び／または低い伝搬時間で比較的多数の入力を集計することができる任意の他のタイプの加算器を形成することができる。ＡＬＵ８０４の出力は、「合計信号カウント」と称されてもよく、ＡＬＵ８０４またはＡＬＵ８０４のステージから出力されたｎビットの２進数として表現され得る。

【０１２７】

上述したように、ＡＬＵ８０４の出力は、特定の時間ビン中に光センサ８０２によって受信された光子の合計数を特徴付けることができる。ＡＬＵ８０４が集計動作を完了するたびに、合計信号カウントを、ヒストグラム８１８を表現するメモリ８０６内の対応するメモリ位置に追加することができる。幾つかの実施形態では、メモリ８０６は、ＳＲＡＭを使用して実装され得る。したがって、複数のショット（各ショットはパルス列を含む）の過程にわたり、ＡＬＵ８０４からの合計信号カウントを、メモリ８０６内の対応するメモリ位置の既存の値と集計することができる。単一の測定は、反射信号、背景ノイズ、ピーク、及び／または他の関心のある信号を検出するために使用され得る時間ビン内の値のヒストグラム８１８を生成するために、メモリ８０６に投入する複数のショットから構成され得る。

【０１２８】

ＡＬＵ８０４はまた、メモリ８０６のメモリ位置にある既存の値に合計信号カウントを追加する第２集計動作も実行し得る。図７から、各ショットで、新しい合計信号カウントが、メモリ８０６の対応する時間ビン内の既存の値に追加され得ることを想起する。このようにして、ヒストグラム８１８は、幾つかのショットにわたってメモリ８０６内に徐々に構築され得る。合計信号カウントがＡＬＵ８１４によって生成されるとき、その時間ビンの対応するメモリ位置の現在の値８２０は、メモリ８０６から取り出すことができる。現在の値８２０は、ＡＬＵ８０４へのオペランドとして提供することができ、これは、信号のセット８１６からの合計信号カウントと組み合わせることができる。幾つかの実施形態では、ＡＬＵ８０４は、第１ステージ及び第２ステージから構成することができ、第１ステージは、光センサ８０２からの合計信号カウントを計算し、第２ステージは、合計信号カウントをメモリ８０６内のその時間ビンのメモリ位置からの現在の値８２０と組み合わせる。幾つかの実施形態では、信号のセット８１６の集計、及び合計信号カウント及び

現在の値８２０の集計は、単一の動画として実行され得る。したがって、これらの２つの動作は、機能的に別個の「集計体」として説明され得るが、実際には、それらは、ＡＬＵ８０４の並列回路と順次回路との組み合わせを使用して一緒に実行され得る。

【０１２９】

図５に関連して上述したように、ＡＬＵ８０４は、集計動作をトリガする周期信号５６０を受信し得る。周期信号５６０は、上述した技術のいずれかを使用して生成され得る。周期信号５６０は、各時間ビンの長さを定義し得る。幾つかの実施形態では、周期信号５６０及び対応する時間ビンは、図３に示されるように、開始信号に対して測定することができる。周期信号５６０の各サイクルは、集計動作をＡＬＵ８０４で実行させることができ、メモリ８６０のメモリアドレスを次の時間ビンにインクリメントさせることができる。例えば、周期信号５６０の立ち上がりエッジは、ＡＬＵ８０４に、合計信号カウントと現在の値８２０とを一緒に集計する結果を生成させることができる。対応する周期信号８０８はまた、各サイクルがメモリ８０６内の次の時間ビンにも移動するように、アドレスを現在の時間ビンのメモリ位置にインクリメントするメモリインターフェース回路にも送信され得る。

【０１３０】

クロック回路８１０を使用して、光学測定システムのショット及び測定を定義する入力に基づいて周期信号５６０を生成し得る。例えば、ショット入力８１４は、図３に示される開始信号に対応し得る。ショット入力８１４は、メモリ８０６のアドレスを、ヒストグラム８１８の第１時間ビンと一致する始まりメモリ位置にリセットし得る。ショット入力８１４はまた、クロック回路８１０に、ＡＬＵ８０４の周期信号５６０及び／またはメモリ８０６のアドレスをインクリメントする周期信号８０８の生成を始めさせることもできる。加えて、クロック回路８１０は、測定の始まり／終了を定義する測定入力８１２を受信し得る。測定は、ヒストグラム８１８を漸進的に構築する複数のショットから構成され得る。測定信号８１２を使用して、各新しい測定に対してヒストグラムを最初からやり直すことができるように、メモリ８０６内の値をリセットすることができる。

【０１３１】

メモリ８０６は、光検出器からの光子カウントを累積する複数のレジスタを含み得る。時間ビンに対応するそれぞれのレジスタに光子カウントを累積することにより、メモリ８０６内のレジスタは、光子の到着時間に基づいて光子カウントを格納することができる。例えば、第１時間ビンに到着する光子は、メモリ８０６の第１レジスタに格納することができ、第２時間ビンに到着する光子は、メモリ８０６の第２レジスタに格納することができ、以下同様である。各「ショット」は、その光センサの時間ビンに対応するメモリ８０６内のレジスタの各々を通る１つのトラバースを含み得る。ショット信号８１４は、ショット信号８１４が、現在のショット中にＡＬＵ８０４からの結果を格納することをメモリ８０６内のレジスタに有効化するという点で、メモリ８０６内の複数のレジスタの「有効化」信号と称され得る。

【０１３２】

周期信号５６０は、光センサ８０２から非同期的に提供される信号のセット８１６をキャプチャするように構成されるように、生成することができる。例えば、閾値回路５４０は、所定の時間間隔の間、出力信号を高く保持するように構成され得る。周期信号５６０は、それが閾値回路５４０の保持時間以下である周期を有するようにタイミングを合わされ得る。代替的に、周期信号５６０の周期は、９０％、８０％、７５％、７０％、５０％、１１０％、１２０％、１２５％、１５０％、及び２００％などの、閾値回路５４０の保持時間のパーセンテージであり得る。幾つかの実施形態は、図５に示されるような立ち上がりエッジ検出回路を使用して、光検出器からの非同期信号を、ＡＬＵ８０４を実行する同じクロックを使用する単一のクロックストロボに変換し得る。これにより、光子が２回以上カウントされないことを保証することができる。他の実施形態は、代替的に、光検出器からの非同期パルスをオーバーサンプリングするか、またはブルートフォース立ち上がりエッジ検出を使用することができる。

【０１３３】
図９は、幾つかの実施形態による、測定における異なるショットと関連付けられたタイミングを示している。縦軸は、単一の光センサで測定された光検出器信号の合計数を表現している。例えば、縦軸は合計光子カウントを表現し得る。横軸は時間を表現している。測定信号８１２によって示されるように新しい光学測定が開始されると、最初のショットは、開始信号としてのショット信号８１４－１の受信から開始することができる。周期信号５０６は、ＡＬＵ８０４の各クロッキングが、メモリ８０６内の単一の時間ビン及び対応するメモリ位置にどのように対応するかを示している。
【０１３４】
後続の各ショットで、図９に示されるように、ヒストグラムがメモリ８０６内に構築され得る。ショット入力８１４が受信されるたびに、メモリ８０６のアドレス指定をリセットし、これにより新しい合計信号カウントを既存の信号カウントに追加することができる。図９の例では、各ショット間にゼロ以外の時間間隔の分離がある。例えば、ショット信号８１４－１によって開始されたショットは終了し、ショット信号８１４－２によって定義されたショットが開始する前に、ゼロ以外の時間間隔が経過する。代替的に、幾つかの実施形態は、周期信号５０６が測定を通して継続的にクロックするように、後続のショットの間に遅延を有さないことがある。その場合、後続のショット信号８１４－２、８１４－３は、前のショットの終了と後続のショットの始まりとの両方を定義し得る。
【０１３５】
幾つかの実施形態では、測定信号８１２、ショット信号８１４、及びＡＬＵ８０４をクロックする周期信号５０６のタイミングは全て、互いに対して調整及び生成され得る。したがって、ＡＬＵのクロッキングは、各ショットの開始信号によってトリガされ、それに依存し得る。加えて、周期信号５０６の周期は、ヒストグラム内の各メモリ位置と関連付けられた各時間ビンの長さを定義し得る。
【０１３６】
図８に示されるデータパスは、主に、幾つかのショットにわたってヒストグラム８１８を構築するように構成されている。しかしながら、ヒストグラムは、幾つかの実施形態では、ショット中にのみ投入のみされ得る。ショット間で受信されたあらゆる光子は、ＡＬＵ８０４によって時間ビンに集計されず、メモリ８０６に格納されない。加えて、各測定が完了した後、後続の測定が始まる前に、メモリ８０６の内容がリセットされ得る。したがって、現在の測定の前及び／または後に受信した光子は、保存されないか、またはすぐに利用可能でない場合がある。更に、ヒストグラムで受信された全ての光子の合計カウントは、ヒストグラムデータパスですぐに利用可能ではなく、また、ヒストグラムが無効化されているときにショット間にゼロ以外の間隔がある場合、測定サイクル中に受信された全ての光子の合計カウントは利用可能ではない。ショット／測定タイミングに依存しない継続的な様態で受信された光子を記録するために、図８に示されるヒストグラムデータパスに加えて、第２並列データパスが使用され得る。
【０１３７】
Ｖ．集積データパス
光センサ内の全ての光検出器の累積光子合計を記録するために、幾つかの実施形態は、集積レジスタを含む並列データパスを提供し得る。この集積データパスは、各時間ビンの合計の正の信号カウントを受信し、その値を個別の時間ビンではなく単一の集積レジスタに追加して、ヒストグラムを形成し得る。この集積レジスタは、ショット前、ショット間、及びショット後の光子カウントを記録することができる。この集積レジスタは、上述したヒストグラムデータパスとは別に独立してクロックされ得るため、アクティブな測定が行われていない場合、またはマルチショット測定内でショットされている場合でも、光子カウントを記録することができる。これは、背景ノイズの推定、閾値の設定、及びリアルタイムの画像データの提供に使用され得る、光センサまたはピクセル用のすぐに利用可能な合計光子を提供する。
【０１３８】

図１０は、幾つかの実施形態による、集積レジスタを備えるデータパスを示している。複数の光検出器を備える光センサ８０２は、図８に関連して上述したように信号のセット８１６を生成し得る。第２ＡＬＵ１００６は、上述したように、時間ビン中に受信された正の信号を集計することができる。しかしながら、ＡＬＵ１００６によって集計された合計信号数をメモリ８０６の個別の時間ビンに格納する代わりに、この第２データパスは、合計信号カウントを、任意の数のショットにわたって時間ビンの各々にわたって光検出器から受信された正の信号の合計数を表現する集積レジスタ１００４に格納された値に追加することができる。例えば、集積レジスタ１００４は、集積レジスタ１００４の現在の値１０１０をＡＬＵ１００６に提供することができる。ＡＬＵ１００６の第１ステージは、光センサ８０２からの信号のセット８１６を集計して、現在の時間ビンの合計信号カウントを生成することができる。次に、ＡＬＵ１００６の第２ステージは、現在の時間ビンの合計信号カウントを、集積レジスタ１００４の合計光子カウントを表現する現在の値１０１０に追加し、更新された合計光子カウントを集積レジスタ１００４に格納することができる。

【０１３９】

集積信号１００８は、集積サイクルを開始するためにクロック回路１００３に提供され得る。クロック回路１００３は、ＡＬＵ１００６をクロックすることができる周期信号１０１２を生成することができる。例えば、周期信号１０１２は、信号のセット８１６がＡＬＵ１００６によって集計され得る時間ビンを定義することができる。クロック回路１００３はまた、集積レジスタ１００４に新しい値をラッチするために使用される周期信号１０１１も生成し得る。例えば、周期信号１０１１の立ち上がりクロックエッジは、集積レジスタ１００４がＡＬＵ１００６からの結果をラッチする原因となる可能性がある。ＡＬＵ１００６からの結果は、新しい結果値をラッチする前に、合計信号カウントと集積レジスタ１００４の現在の値１０１０の合計であり得る。

【０１４０】

集積レジスタ１００４及び／またはＡＬＵ１００６と関連付けられたタイミングは、図８のヒストグラムデータパスにおけるクロック回路８１０のタイミングから独立し得る。例えば、集積データパス内の周期信号１０１２は、ヒストグラムデータパス内の周期信号５６０と位相整列される必要はない。これらの周期信号１０１２、５６０はまた、異なる周期及び／またはデューティサイクルも有し得る。加えて、集積サイクルの始まり及び／または長さを定義する集積信号１００８は、ヒストグラムデータパスのショット信号８１４または測定信号８１２と整列されるか、またはそれから導出される必要はない。したがって、ヒストグラムデータパス及び集積データパスのタイミングは、互いに完全に独立している可能性がある。

【０１４１】

幾つかの実施形態では、集積レジスタ１００４は、集積信号１００８によって定義される１または複数の間隔中に、光センサ８０２からの光子カウントを累積することができる。この意味で、集積信号１００８は、集積レジスタ１００４が光子カウントを累積することを有効化にするという点で、「有効化」信号と称されることもある。幾つかの実施形態では、集積信号１００８の各有効化は、光子カウントの累積が最初からやり直すように、集積レジスタ１００４をリセットすることができる。他の実施形態では、集積信号１００８の各有効化は、集積レジスタ１００４を再開し、これにより集積レジスタ１００４は、中断したところから光子カウントを累積し続ける。これにより、集積レジスタ１００４は、集積（すなわち、有効化）信号１００８によって定義することができる１または複数の時間間隔にわたって光子カウントを累積することが可能になる。

【０１４２】

図１１は、幾つかの実施形態による、集積データパスのタイミンググラフを示している。下のグラフの縦軸は、各時間ビンの合計信号カウントを表現している。上のグラフの縦軸は、集積レジスタに格納された合計値を表現している。上のグラフ及び下のグラフの横軸は時間を表現している。集積信号が受信されると１００８、クロック回路１００３は、

周期信号１０１２の生成を始め得る。下のグラフに示されているように、周期信号１０１２は、ＡＬＵ１００６の各サンプリングの時間ビンを定義し得る。集積データパスの「時間ビン」という用語は、ヒストグラムデータパス内の時間ビンが行うように、ヒストグラムの特定のメモリ位置に対応する必要はないことに留意されたい。代わりに、集積データパスの時間ビンは、ＡＬＵ１００６から集計結果が利用可能になるときの間の間隔を指す。ヒストグラムデータパスの周期信号５６０に関して上述したように、集積データパスの周期信号１０１２の周波数は、光子に対する正のセンサ応答がＡＬＵ１００６の集計動作の間に見逃されないように、または過剰にカウントされないように、閾値回路５４０の保持時間に対してタイミングを合わせられ得る。幾つかの実施形態では、ＳＰＡＤのアナログフロントエンドは、立ち上がりエッジ検出器を実装して、光検出器信号を上述したように同期クロック信号に変換し得る。

【０１４３】

ヒストグラムデータパスのショットと必ずしもタイミングが合わないが、３つのそのようなショット９１０、９１２、及び９１４が参照として図１１に示されている。例えば、間隔９１０は第１ショットを表現し得、間隔９１２は第２ショットを表現し得、間隔９１４は第３のショットを表現し得る。集積信号１００８は、ショット９１０などのヒストグラムデータパスにおけるショットの始まりを示すであろう開始信号に対応する必要はないことに留意されたい。加えて、集積レジスタは、ショットまたは測定に関係なく、経時的に断続的に更新される可能性があることに留意されたい。この例では、周期信号１０１２は、ヒストグラムデータパス内のショット９１０、９１２、９１４の前、間、及び後に、ＡＬＵ１００６をクロックし続ける。集積レジスタ１００４は連続的に更新され得るので、集積レジスタは、時間ビンの各々にわたって、及び別々のショットを表現する時間間隔にわたって、光検出器から受信された正の信号の合計数を表現し得る。

【０１４４】

図１１の上のグラフは、経時的な集積レジスタ１００４の値１１０８を示している。上のグラフはヒストグラムを表現していないが、代わりに各縦棒はその時間内の点における集積レジスタ１００４の値を表現している。下のグラフの値はまた、各時間ビンの集積レジスタ１００４の値１１０８に追加される、上のグラフの黒いボックスとしても示されている。例えば、８、１０、１１、９の値を有する下のグラフの時間ビンは、対応する時間ビン中に上のグラフの集積レジスタの値１１０８に累積的に追加される。値８がヒストグラムの時間ビンに格納されたときに、集積レジスタの既存の値１１０８にも追加され、更新された値１６を生成する。次に、現在の値１０がその時間ビンと集積レジスタの既存の値１６とに追加され、アップグレードされた値２６などを生成する。更新された値をメモリ位置に格納してメモリのアドレスをインクリメントする代わりに、同じ集積レジスタがＡＬＵ１００６からの新しい値で継続的に更新される。上述したように、集積レジスタ１００４の値は、ヒストグラムデータパスに記録されているショットに関係なく、継続的に増加され得る。

【０１４５】

ＶＩ．複数の集積レジスタ

上述した実施形態は、単一の集積レジスタを使用して、１または複数の光学測定におけるショット前、ショット中、ショット間、及び／またはショット後に受信された光子の光子カウントを累積する。集積レジスタに格納されたこの集計された値を使用して、背景ノイズと、測定の一部としてパルス列から反射された光子とを区別するための背景ノイズレベルを推定することができる。加えて、集積レジスタ内の値を使用して、周囲環境の周囲光画像を生成することができる。例えば、測定におけるショットの各々は、集積レジスタの集積ウィンドウ内に収まることができる。ヒストグラムデータパスは周囲環境の物体までの距離測定値を生成することになるが、集積レジスタの値を使用して、周囲環境の周囲光画像（例えば、グレースケール）を生成することができる。結果として得られる周囲光画像の空間分解能は、一般に、各距離測定値が周囲光画像の１つのグレースケール画像値に対応するように、ＬＩＤＡＲシステムの測定値の空間分解能と一致する場合がある。

【０１４６】
単一の集積レジスタを使用する代わりに、幾つかの実施形態は、複数の集積レジスタを使用して、集積レジスタにキャプチャされた画像データの空間分解能を向上させることができる。図１２は、幾つかの実施形態による、複数の集積レジスタ１２０２を備える集積データパスを示している。図１２に示される集積データパスは、図１０に示される集積データパスと同様である。しかしながら、集積レジスタ１００４が有効化されている間に受信された全ての光子カウントを累積する単一の集積レジスタ１００４の代わりに、この集積データパスは、複数の集積レジスタ１２０２を含む。単一の集積レジスタ１００４に全ての光子カウントを格納する代わりに、ＡＬＵ１００６からの光子カウントは、タイミング、位置、及び閾値などの様々な刺激に基づいて、複数の集積レジスタ１２０２に格納され得る。

【０１４７】
図１２に示されるように、ＡＬＵ１００６は、現在のＡＬＵクロックサイクルにおける光子カウントの出力を集積レジスタ１２１０のバンクに提供することができる。次に、集積レジスタ１２１０のバンクは、集積レジスタ１２０２のうちの１つを選択してもよく、選択された集積レジスタは、次に、現在のクロックサイクル中にＡＬＵ１００６から受信された光子カウントをその現在の格納された値に追加してもよい。選択信号１２０４は、集積レジスタ１２１０のバンクに提供され得、集積レジスタ１２０２の各々を選択し、循環させるために使用され得る。選択信号１２０４はまた、集積レジスタ１２１０のバンクによって使用されて、ＡＬＵ１００６に送られる現在の値１０１０として使用する集積レジスタ１２０２からの出力を選択し、ＡＬＵ１００６からの更新された値を格納するべき集積レジスタ１２０２のうちの１つを選択してもよい。

【０１４８】
集積信号１００８が集積データパス上の集積サイクルの始まりをトリガするとき、集積レジスタ１２１０のバンクは、複数の集積レジスタ１２０２内の第１集積レジスタを選択し得る。例えば、選択信号１２０４は、マルチプレクサ１２０６に提供され得、マルチプレクサ１２０６は、複数の集積レジスタ１２０２からの出力を受信し、現在の値１０１０として使用されるそれらの集積レジスタ１２０２の１つの出力を選択する。選択信号１２０４によって選択されるように、この第１集積レジスタは、前のＡＬＵクロックサイクルからの格納された光子カウントの合計をＡＬＵ１００６に提供してもよく、ＡＬＵ１００６は、選択された集積レジスタからのこの現在の値１０１０を、光センサ８０２からの現在の光子カウントに追加することができる。この更新された値は、次いで、集積レジスタのバンクに戻すことができる。

【０１４９】
集積レジスタ１２１０のバンクがＡＬＵ１００６からの更新された値を受信したときに、選択信号１２０４は、出力が上記のマルチプレクサ１２０６によって選択されたものと同じ集積レジスタを選択するために再び使用され得る。幾つかの実施形態では、選択信号１２０４は、集積レジスタ１２０２の各々について個々に有効化信号として機能し得る。ＡＬＵ１００６の出力は、集積レジスタ１２０２の各々の入力に提供され得、選択信号１２０４は、集積レジスタ１２０４のうちの１つを選択して、ＡＬＵ１００６からの更新された値をラッチすることができる。図１２には明示的に示されていないが、幾つかの実施形態は、代替的または追加的に、更新された値をＡＬＵ１００６から、選択された集積レジスタに送るためのデマルチプレクサまたは逆マルチプレクサを含み得る。

【０１５０】
選択信号１２０４は、集積レジスタ１２０２のうちの異なる１つを選択する前に、複数のＡＬＵクロックサイクルを通じて同じ集積レジスタを選択し得る。集積レジスタが選択されている間、それは、単一の集積レジスタのみを用いて集積データパスに対して上述したものと同じ様態で光子カウントを集計することができる。しかしながら、複数の集積レジスタ１２０２を有する実施形態は、単一の集積間隔中に、集積レジスタ１２０２のうちの新しい１つに切り替えることができる。例えば、集積信号１００８が集積サイクルを開

始するために有効化されるとき、選択信号１２０４は、上述したように、集積レジスタ１２０２のうちの第１１つを選択し得る。同じ集積サイクル中に、集積信号１００８の新たな有効化を必要とせずに、選択信号１２０４を変更またはインクリメントして、集積レジスタ１２０２のうちの第２１つを選択し得る。続いて、このプロセスは、選択信号１２０４が集積サイクル中に集積レジスタ１２０２の各々を循環するように継続することができる。これは、図１０の単一の集積レジスタに格納された合計光子カウントを、図１２の実施形態における複数の個々の集積レジスタ１２０２に効果的に分割する。

【０１５１】

Ａ．集積レジスタからの合計光子カウント

選択信号１２０４が集積動作を集積レジスタ１２０２のうちの１つから次の１つに移動させるとき、集積レジスタ１２０２のうちの前の１つに格納された集計された値が維持され得る。したがって、集積レジスタ１２０２のうちの後続の１つが選択されると、集積レジスタバンク１２１０内の前の集積レジスタは、集積サイクルの終了まで、または後続の集積サイクルの開始まで、それらの値を維持し得る。例えば、集積信号１００８が新しい集積サイクルを始めるために有効化されるとき、集積レジスタ１２０２に格納された値は、ゼロにリセットされ得る。

【０１５２】

図１３は、幾つかの実施形態による、全ての集積レジスタ１２０２の全てからの集計された合計を提供するためのＡＬＵ１３０２を含む集積データパスを示している。選択信号１２０４が集積レジスタ１２０２を通って進むとき、集積レジスタ１２０２の各々は、それらの格納された値を維持するので、集積サイクル中の任意の点における集積レジスタ１２０２の各々からの集計された合計は、集積サイクル内のその点までの合計光子カウントを提供し得る。集積サイクルが完了した後、集積レジスタ１２０２内の値は、集積レジスタ１２０２内の値の集計された合計が、後続の集積サイクルの開始前の任意の点で使用され得るように、依然として維持されてもよい。

【０１５３】

集積サイクルの合計光子カウント１３０４を生成するために、ＡＬＵ１３０２は、集積レジスタ１２０２の各々からの出力を受信し得る。その場合、ＡＬＵ１３０２の出力は、合計光子カウント１３０４を表現し得る。幾つかの実施形態では、ＡＬＵ１３０２は、集積レジスタ１２０２の出力で値が更新されるときに、ＡＬＵ１３０２が動的に新しい合計光子カウント１３０４を提供するように、非同期であり得る。幾つかの実施形態では、ＡＬＵ１３０２は、同期ＡＬＵであり得、光センサ８０２からの光子カウントを集計するために、ＡＬＵ１００６と同じクロック信号を使用してクロックされ得る。

【０１５４】

合計光子カウント１３０４は、選択信号１２０４及び／または集積信号１００８を生成し、ヒストグラムデータパスからのデータを処理して反射パルス列を識別する制御プロセッサによって使用される出力として提供され得る。幾つかの実施形態では、集積レジスタバンク１２１０はまた、追加のレジスタも含み得、追加のレジスタは、ＡＬＵ１３０２からの合計光子カウント１３０４を受信し、集積レジスタ１２０２が更新され、新しい値がＡＬＵ１３０２から利用可能になるたびに、合計光子カウント１３０４を格納する。これらの実施形態は、個々の集積レジスタ１２０４からの光子カウントを同時に提供すると共に、合計集積サイクルの合計光子カウント１３０４を格納するレジスタも提供することができる。

【０１５５】

Ｂ．データパス間の相対的なタイミング

集積データパスは、データパスの各々で使用される有効化、選択、及び／またはクロック信号の異なるタイミング、ならびに様々な時間間隔及び時間ビンによって、少なくとも部分的にヒストグラムデータパスから区別することができる。選択信号１２０４、ＡＬＵ１００６のクロック信号１０１２、集積信号１００８、及び集積データパス内の集積レジスタ１２１０のバンクのクロック信号１０１１は、各々、ヒストグラムデータパス内のタ

イミング信号のいずれかまたは全てから個々に独立していてもよい。例えば、集積データパスのタイミング信号の各々は、ヒストグラムデータパス内のタイミング信号と比較された場合、異なる源から生成され得る。しかしながら、これらの信号の幾つかは、幾つかの実施形態では互いに依存していることがあり、または少なくとも一時的に互いに整列していることがある。例えば、ＡＬＵ１００６の回路がデータパス間で共有される場合、クロック信号１０１２及び１０１１はデータパス間で共有され得る。

【０１５６】

図１４は、幾つかの実施形態による、集積データパス及びヒストグラムデータパスの相対的なタイミング図を示している。下のグラフのヒストグラムデータパスから始まり、各測定は１または複数の「ショット」で構成され得る。ショットは、パルス列が光源から送信され、対応する光センサによって受信される間の時間間隔として定義され得る。例えば、図１４は、複数のショットを示しており、ショットの各々は、ショット時間間隔１４０８（「第１時間間隔」とも称される）中に発生する。測定における第１ショットは、時間間隔１４０８ａ中に行われ得、測定における第２ショットは、時間間隔１４０８ｂ中に行われ得、測定における第３のショットは、時間間隔１４０８ｃ中に行われ得、以下同様である。測定におけるショットの各々及び対応する時間間隔１４０８は、ヒストグラムデータパス内のショット（または「開始」）信号８１４によって定義され得る。

【０１５７】

ショット時間間隔１４０８の各々は、複数のショット時間ビン１４０６（「第１時間ビン」とも称される）に細分化され得る。ショット時間間隔１４０８の各々は、同じ数の時間ビン１４０６を含み得、時間ビンの各々は、ヒストグラムデータパスの図８のＳＲＡＭ８０６内のレジスタに対応し得る。例えば、ショット時間間隔１４０８の各々における第１時間ビン内で受信された光子カウントは、ＳＲＡＭ内の同じ第１レジスタに集計され得、ショット時間間隔１４０８の各々における第２時間ビン内で受信された光子カウントは、ＳＲＡＭ内の同じ第２レジスタに集計され得、以下同様である。ＳＲＡＭ内のレジスタを集積レジスタ１２１０のバンク内のレジスタと区別するために、ＳＲＡＭ内のレジスタは、複数の「第１レジスタ」と称されることがある。上述したように、時間ビンは各々、複数のショット時間間隔１４０８からの値を集計するので、ＳＲＡＭ内のこのレジスタのセットは、全体として、測定中に複数のショットにわたって受信された値のヒストグラムを表現し得る。図１４は、ショット時間間隔１４０８の各々間のゼロ以外の時間間隔を示していることに留意されたい。他の実施形態は、ショット時間間隔１４０８の間に遅延がないように、ショット時間間隔１４０８を連続して発生させることができる。

【０１５８】

上のグラフに示されている集積データパスに目を向けると、複数の時間間隔を使用して測定を定義する代わりに、集積データパスは、光子カウントが集積レジスタ１２０２のバンクに順次集計される単一の積分時間間隔１４０２（「第２時間間隔」とも称される）を使用することができる。上のグラフのタイムスケールは、下のグラフのタイムスケールと同じであり得る。集積時間間隔１４０２の始まりは、上述したように集積信号１００８によってトリガされ得る。この信号が受信されたときに、選択信号１２０４は、集積レジスタ１２０２のうちの第１１つを選択し、図１４に示されるように、ＡＬＵからの光子カウントの集積を始めてもよい。

【０１５９】

選択信号が変化／インクリメントすると、集積レジスタ１２０２のうちの第２１つは、ＡＬＵからの光子カウントの受信を始めてもよい。このプロセスは、集積レジスタ１２０２の各々が選択されるまで継続し得る。したがって、集積レジスタ１２０２の各々は、集積時間間隔１４０２を細分化する対応する時間ビン１４０４と関連付けられ得る。これらはまた、ヒストグラムデータパスのショット時間間隔の各々における第１時間ビンと区別するために、「第２時間ビン」と称されることもある。例えば、集積データパス内の第１時間ビン１４０４ａは、集積レジスタ１２１０のバンク内の第１集積レジスタに対応し得る。第１時間ビン１４０４ａは、ヒストグラムデータパス内の時間ビン１４０６よりもは

るかに大きくてもよい。加えて、幾つかの実施形態は、集積時間ビン１４０４の各々が様々な長さであることを可能にし得る。これは、選択信号１２０４がタイマーによって制御されておらず、しかし代わりに、位置センサなどの外部刺激によって生成される場合に当てはまる可能性がある。

【０１６０】

集積時間ビン１４０４は、ヒストグラムデータパスからの時間ビン１４０６またはショット時間間隔１４０８のいずれかと時間的に整列される必要はない。例えば、時間ビン１４０４ａは、ショット時間間隔１４０８ａの途中で開始または終了することができ、複数のショット時間間隔１４０８を含むことができ、及び／またはショット時間間隔１４０８のいずれかの外にある光子カウントを集計することができる。幾つかの実施形態では、時間ビン１４０４は、ある特定の数のショット時間間隔１４０８が集積時間ビン１４０４の各々内に収まるように、ショット時間間隔１４０８と同期させることができる。例えば、幾つかの実施形態は、２つ以上のショット時間間隔１４０８が集積時間ビン１４０４の各々内に均等に収まるようにタイミングを合わせられてもよい。

【０１６１】

集積時間間隔１４０２の持続時間もまた、光学測定システムの単一の測定を構成するショット時間間隔１４０８と整列させる必要はない。例えば、集積時間間隔１４０２は、複数の測定からのショットを含み得る。集積時間間隔１４０２はまた、単一の測定中よりも少ないショット時間間隔１４０８も含み得る。幾つかの実施形態では、複数の集積時間間隔１４０２は、単一のショット時間間隔及び／または単一の測定中に収まってもよい。幾つかの集積時間間隔１４０２は、測定の前に始まり、測定を超えて延びることがある。したがって、集積時間間隔１４０２は、ショット間、測定間、及び／またはパルス列が光源から送信されていない他の時間中に、光子カウントを集積レジスタ１２０２内に集計することができる。

【０１６２】

ＶＩＩ．集積レジスタの選択

上述したように、選択信号１２０４は、集積レジスタ１２０２を通って進むために使用され得る。選択信号１２０４は、定義された間隔のタイマー、ならびに正確なタイミング要件に準拠する必要のない外部刺激を含む、様々な異なる源から生成され得る。選択信号１２０４は、集積データパスと同じ集積回路チップ上で生成され得るか、またはオフチップで代替的に生成され得る。

【０１６３】

Ａ．オンチップ信号

図１５は、幾つかの実施形態による、オンチップで選択信号１２０４を生成する集積データパスを示している。選択信号１２０４は、タイマー１５０２によって生成され得る。タイマー１５０２は、集積時間ビン（すなわち、第２時間ビン）の各々の長さが均一になるように、一定の間隔で選択信号１２０４を生成するように構成され得る。タイマーは、集積間隔を、集積間隔の所望の長さに追加する集積時間ビンに細分化することによって、各集積間隔の長さ（すなわち、第２時間間隔）を定義し得る。例えば、集積データパスが周囲環境の周囲画像内のピクセルの合計光子カウントを生成するために使用されている場合、タイマー１５０２は、そのピクセルに対応する時間の長さに追加する時間ビンを生成するように構成され得る。各ピクセルと関連付けられた時間は、光学測定システムが物理的に回転して周囲環境をスキャンする速度に対応し得る。次に、タイマー１５０２は、各ピクセルと関連付けられた時間間隔を、集積レジスタ１２１０のバンク内の集積レジスタ１２０２の数で細分化して、選択信号１２０４の最終期間を生成し得る。

【０１６４】

幾つかの実施形態では、タイマー１５０２は、それが各光学測定と関連付けられた時間の長さに対応するように構成され得る。例えば、各測定が約１μｓかかるように構成されている場合、タイマーは、各測定の時間を集積レジスタ１２１０のバンク内の集積レジスタ１２０２の数で除算することによって選択信号１２０４をインクリメントするように構

成され得る。この構成は、集積間隔が対応する測定と一致する必要がある場合に使用され得る。例えば、集積値を使用して背景ノイズレベルを推定し、測定の閾値を設定する場合、集積間隔を時間的に整列させて、測定を含めることができる。

【０１６５】

タイマー１５０２はまた、光学測定システムの位置を測定するための代用として使用され得る。光学測定システムが中心軸の周りを回転することができる速度が知られている可能性があるので、タイマー１５０２は、周囲光測定のための所定の空間分解能を提供するように構成され得る。例えば、光学測定システムが１００ｍｓごとにその中心軸の周りを３６０°回転し、システムが１０００ピクセルを生成する必要がある場合、タイマー１５０２は、１００μｓごとに集積レジスタバンク１２１０内の集積レジスタ１２０２の数で除算した値、または２５μｓごとに選択信号１２０４をインクリメントするように構成されてもよい。したがって、タイマーを使用して、角度エンコーダからのオフチップ外部信号を必要とせずに、光学測定システムのおおよその角度位置に基づいてオンチップ選択信号１２０４を生成することができる。

【０１６６】

Ｂ．オフチップ信号

図１６は、幾つかの実施形態による、オフチップ源から選択信号１２０４を受信する集積データパスを示している。オフチップで生成される場合、集積回路チップ１５０４は、外部源から入力を受信することができ、その入力は、集積データパスのための選択信号１２０４に変換され得る。例えば、入力は、集積回路１５０４とインターフェースする制御プロセッサのための割り込みとしてピンで受信され得る。次に、制御プロセッサは、集積レジスタ１２０２をインクリメントするための選択信号１２０４として機能する周期信号を生成することができる。したがって、外部信号は、集積時間間隔の長さを定義することができ、制御プロセッサは、外部信号を使用して選択信号１２０４を生成することができ、選択信号１２０４は次に、上述したように、集積レジスタ１２０２の各々に対する集積時間ビンの長さを定義する。

【０１６７】

幾つかの実施形態では、外部信号は、角度エンコーダ１６０２によって生成され得る。集積時間間隔が、その中心軸の周りを回転するときの光学測定システムの角度位置に基づくことになる場合、角度エンコーダ１６０２を使用して、回転中の光学測定システムの位置を決定することができる。例えば、角度エンコーダ１６０２は、２０１８年5月１５日に出願され、「ＡＵＧＭＥＮＴＩＮＧ　ＰＡＮＯＲＡＭＩＣ　ＬＩＤＡＲ　ＲＥＳＵＬＴＳ　ＷＩＴＨ　ＣＯＬＯＲ」と題される米国特許出願第１５／９８０，５０９号に記載されているように含まれ、参照により本明細書に組み込まれる。角度エンコーダ１６０２は、集積データパスに送信することができる回転の０．３６°（または完全な回転の$\frac{1}{1000}$の１）ごとにストローブ信号を生成するように構成され得る。代替的に、角度エンコーダ１６０２は、角度回転の値を表現する信号を制御プロセッサに送ることができ、制御プロセッサは、受信された回転角に基づいて選択信号１２０４を生成し得る。

【０１６８】

角度エンコーダ１６０２が例として図１６で使用されているが、他の実施形態は、選択信号１２０４を生成するために他の任意の外部源を使用してもよい。例えば、幾つかのシステムでは、低照度条件で集積間隔が減少するように、集積サイクルの速度を変更する場合がある。これにより、より高解像度の周囲光画像が得られる場合がある。幾つかの実施形態は、光学測定システムが動作する車両の速度を使用して、選択信号１２０４の周波数に影響を与えることができる。例えば、車両がより速く移動するにつれて、選択信号１２０４の周期は減少され得、一方、周期は、車両が信号機で待機するときに増加され得る。他の車載システムもまた、光学測定システムへの入力を提供して、安全システム、衝突検出システム、受信された天気予報、及び周囲環境を測定及び／またはそれに応答する他のシステムを含む、選択信号１２０４の生成に影響を与えることができる。

【０１６９】

Ｃ．空間分解能の向上

各集積間隔を、各々が対応する集積レジスタ内にキャプチャされる幾つかの集積時間ビンに細分化するという効果のうちの１つは、集積プロセスの周囲光測定の空間分解能を高めることである。図１７は、幾つかの実施形態による、電気自動車１７０３のための複数の積算レジスタを使用する周囲光測定を示している。この例では、光学測定システム１７０１は、電気自動車１７０３の上部に取り付けられ得る。光学測定システム１７０１は、その中心軸の周りを１秒間に何度も回転して、周囲領域をスキャンし、周囲環境の深度画像と周囲光画像との両方を生成するように構成され得る。各集積間隔は、周囲光画像の１ピクセルに対応し得る。

【０１７０】

幾つかの実施形態では、ヒストグラムデータパスによってキャプチャされた深度画像の測定値は、上述したように集積データパスによって行われた周囲光測定値と一時的に整列され得る。具体的には、単一の深度測定は、単一の集積サイクルに対応し得、これにより周囲光測定を使用して、背景ノイズの推定、深度画像からの背景ノイズの除去、及び反射パルスを検出するための閾値の計算などを行い得る。したがって、単一の集積レジスタのみを使用する場合、周囲光画像の空間分解能は、ヒストグラムデータパスによる測定の長さによって定義され得、この長さは、システムがヒストグラムをキャプチャするためにスキャンするときに生じる時間の長さまたは視野の物理的な長さのいずれかで定義され得る。

【０１７１】

ただし、複数の集積レジスタを使用する場合、使用される集積レジスタの数に基づいて、集積データパスからの周囲光画像の空間分解能を高めることができる。図１７の例では、集積レジスタ１２１０のバンクは、４つの集積レジスタ１２０２を含む。測定に対応する（したがって、この例では集積サイクルに対応する）角度回転１７０２のインクリメントは、４つの角度インクリメントに細分化することができ、その各々は、集積レジスタ１２０２ａ～１２０２ｄのうちの対応する１つで受信された光子カウントを集計する。これにより、周囲光画像の空間解像度がスキャン方向で４倍に増加する。上述したように、選択信号１２０４は、光学測定システム１７０１上の角度エンコーダによって生成され得、選択信号１２０４は、既知の回転速度に基づく位置の代用として使用されるタイマーによって生成されてもよく、または選択信号１２０４は、任意の他の位置検知デバイスによって生成されてもよい。

【０１７２】

ＶＩＩＩ．複数の集積レジスタを使用するための方法

図１８は、光学測定システムを使用するための方法を示している。ブロック１８０２において、この方法は、光学測定の一部として、１または複数の第１時間間隔にわたって１または複数のパルス列を送信することを含み得る。第１時間間隔の各々は、上述したようなショット時間間隔に対応し得、第１時間間隔の各々は、送信されるパルス列のうちの１つに対応し得る。これらのパルス列は、光学測定システムの光源によって送信され得、各々が１または複数の個々のパルスを含み得る。

【０１７３】

ブロック１８０４において、方法はまた、１または複数のパルス列からの光子及び周囲光からの光子を検出することも含み得る。パルス列及び周囲光は、光センサ上の複数の光検出器を使用して検出され得る。光検出器は、単一光子アバランシェダイオード（ＳＰＡＤ）を使用して実装され得る。光検出器は、光子が受信されたときに信号を生成し得、閾値化回路は、光子が受信されたことを示すために正の信号を生成し得る。ＡＬＵは、ＡＬＵクロックサイクル中にこれらの正の信号を集計して、ＡＬＵクロックサイクル中に光子カウントを生成し得る。

【０１７４】

ブロック１８０６において、この方法は加えて、１または複数の第１時間間隔中に１または複数の光検出器からの光子カウントを累積することを含み得る。これらの光子カウントは、複数の第１レジスタ内に累積され得る。複数の第１レジスタは、上述したようなヒ

ストグラムデータパスのＳＲＡＭ内のレジスタを含み得る。第１時間間隔の各々は、ヒストグラムのために複数の第１時間ビンに細分化され得る。１または複数の第１時間間隔の各々における対応する時間ビンは、複数の第１レジスタ内の単一のレジスタ内に累積され得る。第１時間間隔の各々は、ショットを表現し得、一緒に、１または複数の第１時間間隔は、光学測定システムの測定を表現し得る。第１時間間隔の各々は、ヒストグラムを表現するメモリをヒストグラム内の第１レジスタにリセットする開始信号またはショット信号によって定義され得る。

【０１７５】

ブロック１８０８において、方法は加えて、１または複数の第１時間間隔の少なくとも一部分と重なる第２時間間隔にわたって光子カウントを累積することを含み得る。これらの光子カウントは、複数の第２レジスタ内に累積され得る。第２レジスタは、上述した複数の集積レジスタを使用して実装され得る。第２時間間隔は、上述した集積時間間隔に対応し得、第２時間間隔は、ヒストグラムデータパスの第１時間間隔のうちの１または複数の少なくとも部分を含み得る。第２時間間隔はまた、第２時間ビンに細分化され得る。第２時間ビンの各々は、選択信号によって定義され得、第２時間ビンは、各々、複数の第２レジスタ内の個々の集積レジスタに対応し得る。幾つかの実施形態はまた、ＡＬＵなどの算術論理回路も含み得、算術論理回路は、集積間隔中に受信された合計光子カウントを表現する、第２レジスタに格納された値の集計された合計を生成する。次に、この合計光子カウントを使用して、背景ノイズを推定し、反射パルスを検出するための閾値を生成することができる。

【０１７６】

ＩＸ．ヒストグラムレジスタの飽和

ヒストグラムメモリの内容は通常、各測定の始まりにリセットされる可能性があるため、上述したヒストグラムデータパスの幅は過度に大きくないことがある。例えば、幾つかの実施形態は、１２ビットＳＲＡＭを使用することができ、各１２ビットレジスタは、０～４０９５の範囲の符号なしの値を格納することができる。通常の状況では、これにより、各測定からのショット内の光子カウントを１２ビット範囲を超えることなくヒストグラムレジスタ内に集計され得る十分なメモリが提供される。ヒストグラムデータパス内の他のデータパスコンポーネントは、ヒストグラムメモリ内のレジスタと少なくとも同じ幅であり得る。

【０１７７】

通常の動作条件下では、ヒストグラムメモリ内のレジスタ及び／または他のデータパスコンポーネントは、飽和が一般的に発生しないほど十分に大きくてもよい。ただし、特定の動作条件では、飽和が発生する可能性があるような過剰な量の周囲光が存在する場合がある。代替的または追加的に、光学測定システムから放出された大量の光を対応する光センサに反射して戻す高反射及び／または再帰反射表面に遭遇することがある。再帰反射表面とは、光を含む放射線を最小の散乱量で光源に反射して戻す表面である。再帰反射表面は、光学測定システムが車両に取り付けられている運転状況でよく遭遇され得る。これらの再帰反射表面は、道路標識、車両用反射器、安全服、安全バリア、及び反射面を備える他の物体を含み得る。車両の光学測定システムは、車両のヘッドライト、建設用ライト、ハイビームライト、街灯、及び／または道路を照らす他の人工光源の形態で大量の周囲光に遭遇することもある。車両の光学測定システムは、太陽などの天然資源から大量の光を受信することもある。９光学測定システムがこれらの光源及び／または反射面のいずれかに遭遇すると、ヒストグラムレジスタのうちの１または複数の飽和が発生する可能性がある。

【０１７８】

本明細書で使用される場合、「飽和」という用語は、光子カウントが光センサから受信され、受信された光子カウントをその時間ビンのヒストグラムレジスタに格納された既存の値に追加すると、ヒストグラムデータパス内の少なくとも１つのコンポーネントにおいて表現され得る値を超える値になるという状況を説明することがある。例えば、幾つかの

実施形態は、０～４０９５の範囲の値を表現することができる符号なし１２ビットデータパスが使用され得る。このデータパスは、時間ビンレジスタ内の既存の値に追加された受信された光子カウントが４０９５を超えたときに、飽和する可能性がある。例えば、レジスタが前のショットの光子カウントから３８２５の値を格納し、現在のショットがその時間ビンに対するレジスタに追加の４２５の光子カウントを追加しようとした場合、データパスは集計及び／または４０９５よりも大きい値を格納しようとして飽和する。飽和状態におけるデータパスの動作は、ＡＬＵ、レジスタ、及び他のデータパスコンポーネントの実装に依存する。幾つかのコンポーネントは、最大値よりも大きい値を集計または格納しようとしたときに、最大値（例えば、４０９５）を維持することがある。幾つかのコンポーネントは、値を０にリセットし得る。幾つかのコンポーネントは、カウントを０から再開し、最大値を超える量を０に追加し得る（例えば、３８２５＋４２５＝１５５）。コンポーネントの動作に関係なく、レジスタの最大値を超える実際の値は、データパスが飽和したときに失われることになる。

【０１７９】

幾つかの実施形態では、ヒストグラムメモリ内のレジスタは、ＡＬＵとは別のコンポーネントを形成し得、このコンポーネントは、現在のショットの光子カウントを累積し、その値をレジスタ内の既存の値に追加する。図８に示されるように、ＡＬＵ８０４は、ヒストグラムメモリ８０６から現在の値８２０を取り出し、その値を現在のショット内の光子カウントに追加し得る。したがって、幾つかの実施形態は、飽和制限コンポーネントとしてＡＬＵ８０４を含み得る。例えば、１２ビットＡＬＵは、「キャリー」出力、または現在の「追加」動作の結果がＡＬＵ８０４の出力の１２ビット容量を超えていることを示す他の指示を生成することがある。一般に、ＡＬＵ８０４の出力は、上述したようにカウントを初めからやり直し、残りの値（ゼロからカウントアップする）は、現在の値８２０としてヒストグラムメモリ８０６に格納される。符号付き出力を有する幾つかのＡＬＵは繰り越し、ＡＬＵで表現される最も低い負の数からカウントアップを開始することになる。幾つかの実施形態は、ヒストグラムメモリ８０６のメモリインターフェースがＡＬＵ８０４の累積機能を実行するように、ＡＬＵ８０４とヒストグラムメモリとを組み合わせたアキュムレータメモリが使用され得る。特定の実装態様に関係なく、ヒストグラムメモリ８０６、ＡＬＵ８０４、ヒストグラムメモリ８０６のメモリインターフェース、または他のデータパスコンポーネントのいずれかは、ある特定の数のビットに制限されている場合があり、光子カウントが現在の値８２０に追加される蓄積動作が、そのデータパスコンポーネントの幅を超える可能性がある。これがいずれかのコンポーネントで発生する場合、飽和とみなされ得る。

【０１８０】

図１９は、幾つかの実施形態による、飽和が発生したときのヒストグラムメモリの内容を示している。グラフの縦棒の各々は、ヒストグラムメモリ内のレジスタに格納された単一の時間ビンを表現している。各棒の水平方向の分割は、各ショット中にレジスタ内に累積された値を表現している。この例では、光学測定において８つのショットが発生した。上述したように、各ショットからの光子カウントは、前のショットからレジスタ内に累積された光子カウントの既存の値に追加され得る。時間ビンを表現する各レジスタは、Ｎビットレジスタを使用して実装することができ、ここで、Ｎは、８、１０、１２、１６、２４、３２、及び６４などの整数値である。通常、レジスタには、特定のショット中にどの光子カウントが受信されたかに関するいかなる指示も格納する必要はない。したがって、各棒の縦方向の分割は、レジスタ自体に格納されている値で表現する必要はないが、むしろ、ヒストグラムメモリ内のレジスタ内に光子カウントが時間の経時的にどのように累積され得るかを示すために、説明のために含まれている。

【０１８１】

図１９の横線は、ヒストグラムメモリ内のレジスタの各々に適用され得る飽和限界１９０２を表現している。上述したように、飽和限界１９０２は、ヒストグラムデータパス内の任意のデータパスコンポーネントのビット幅から導出される限界であり得る。飽和限界

１９０２は、各個々のレジスタによって格納され得る最大の符号なしの値を表現し得る。例えば、飽和限界１９０２は、１２ビットレジスタの場合、４０９５の値であり得る。飽和限界１９０２はまた、ヒストグラムデータパス内のＡＬＵの出力の最大幅も表現することができ、これにより飽和限界１９０２を超えた後、ＡＬＵはキャリー出力を生成し、及び／または下限ＡＬＵ限界からカウントアップを始める。高レベルの周囲光及び／または非常に反射性の面に起因して、図１９のヒストグラムは、複数の時間ビンが実際の光子カウントではなく飽和した値を格納するように、飽和限界１９０２を超えるピークを含む。

【０１８２】

飽和する特定のデータパスコンポーネントに関係なく、このような飽和は、新しい光子カウントがＡＬＵによって受信され、新しい光子カウントを既存の値に追加する試みが行われるときに発生する可能性がある。新しい光子カウントは、各ショット中にヒストグラムメモリ内の特定の時間ビンのレジスタに複数回追加され得る。ＡＬＵのクロック信号は、光子が到着したときに光センサ内の個々の光検出器からの正の指示をキャプチャするために、時間ビン中に定期的に切り替えられてもよい。したがって、累積動作は、時間ビンの終了時に累積光子カウントを追加するのではなく、時間ビン中に新しい光子カウントを定期的に追加しているため、時間ビン中の任意の点で飽和が発生する可能性がある。幾つかの実施形態は、時間ビンの期間中に光子カウントの全てを累積し、次に、時間ビン中の合計光子カウントの数をヒストグラムメモリ内の対応するレジスタに追加することを試みることができる。いずれの場合も、飽和は、ＡＬＵによる累積動作中、及び／または更新された合計光子カウントが格納のためにヒストグラムメモリに送られるときに発生する可能性がある。

【０１８３】

図２０は、幾つかの実施形態による、飽和が、受信された光子カウントヒストグラムの全体的な形状に及ぼす可能性のある効果を示している。本開示において上述したように、受信されたパルスの幅、高さ、及び形状は、整合フィルタによって処理されて、光学測定システムの光源によって放出され、周囲環境によって反射され、及び光センサによって受信された光パルスを識別することができる。整合フィルタは、反射パルスと、周囲環境から受信された入射光または背景光を区別することができる。パルスの形状は、パルスの正確な位置を決定する際にも重要である。パルスの位置（すなわち、パルスピークが位置する時間ビン）を使用して、光学測定システムと周囲環境内の反射物体との間の距離を決定してもよい。

【０１８４】

図２０は、図１９の飽和が発生したときのヒストグラムメモリ内のレジスタの内容を示している。パルス時間ビン２００２において受信された光子カウントの大きさを正確に表現する代わりに、ヒストグラムメモリ内のレジスタはそれらの最大値で飽和し得る。例えば、１２ビットの符号なしレジスタは４０９５の値で飽和する可能性がある。個々のレジスタは通常、測定で合計光子カウントを表現する値のみを格納するため、特定の時間ビン内の測定中に個々の光子がいつ到着したかを区別しない。したがって、ヒストグラムデータパスは飽和レジスタの真の大きさを認識していない。例えば、レジスタが数個の光子カウントだけで飽和し、したがってかなり正確であるかどうか、またはレジスタが測定の途中で多くの光子カウントで飽和し、したがってかなり不正確であるかどうかを判断する方式はない。レジスタの飽和は、個々のレジスタが合計光子カウントを表現する精度に影響を与えるだけでなく、測定において飽和が発生した時点を示すいずれの情報もまた格納することができない。

【０１８５】

個々のレジスタの不正確さに加えて、図２０に示されている飽和はまた、受信された光パルスの形状を変化させる。測定における残りの時間ビンの間、レジスタは飽和していないので、測定が終了するまで、光子カウントを正確に累積し続ける。パルス時間ビン２００２内の光子カウントが飽和しているので、パルスの記録された上部と背景ノイズとの間の相対距離が減少する。これにより、信号対雑音比（ＳＮＲ）が低下し、ピークが背景ノ

イズと区別可能でなくなるため、測定の信頼性が低下する。飽和はまた、パルスを「平坦化」する効果も有する。単一の時間ビンにおいて識別され得る明確に定義されたパルスピーク位置の代わりに、図２０のパルス時間ビン２００２は、飽和後に互いに区別不可能である。パルスのピークは、パルス時間ビン２００２内のどこにでもあり得る。この不確実性により、ピークを見つけられる精度が低下し、その結果、周囲環境における反射する物体までの距離を計算することができる精度が低下する。パルス時間ビン２００２内の反射パルスの形状を変化させることはまた、整合フィルタがパルスを識別することができる精度に影響を与える。

【０１８６】

Ａ．カウンタに基づく飽和スケーリング

ヒストグラムデータパス内の飽和と関連付けられたこれら及び他の技術的問題を解決するために、データパスは、測定中のショット及び／または露出の数をカウントするカウンタを含み得る。上述したように、「ショット」は、開始／ショット信号で開始し、ヒストグラムメモリ内の複数の時間ビンに光子カウントを記録することを含む。ショットは、マルチショット測定の過程で段階的に累積されるヒストグラムの１つの層に投入される。ショット内の時間ビン内の光子カウントの各集計は「露出」と称されることがあり、ショットは複数の露出を含み得、ＡＬＵ及びヒストグラムメモリがクロックされて、単一の時間ビン内の更新された光子カウントを集計及び格納する。飽和が発生し、検出されたときに、その光センサのヒストグラムメモリ内の全てのレジスタの測定中に追加の光子カウントの集計及び格納を無効化することができる。カウンタは、飽和までに発生したショット及び／または露出の数を格納することができ、この数と、測定全体での測定におけるショット及び／または露出の合計数とを使用して、ヒストグラムメモリ内の不完全な光子カウントをスケーリングすることができる。これにより、反射パルスの全体的な形状が保持され、その真の大きさを推定することが可能になる。

【０１８７】

図２１は、飽和が検出されたためにヒストグラムデータパスが新しい光子カウントの累積及び格納を停止した場合の、図１９に示される測定からのヒストグラムメモリの内容を示している。単一の時間ビン内で特定の光センサの単一の飽和が検出された場合、その光センサの全ての時間ビン内の全てのレジスタについて測定の残りの間、新しい光子カウントの累積及び格納を無効化することができる。飽和後に光センサを無効化することは、光センサアレイ内の他の光センサにいかなる効果も及ぼす必要はない。これにより、他の光センサに影響を与えることなく、各光センサにおいて飽和を個々に検出及び対処することが可能になる。例えば、幾つかの光センサが飽和を引き起こす大きな光パルスを受信した場合、このイベントは影響を受けた光センサのみに分離され得る。更に、影響を受けた光センサは、以下に記載するように、影響を受けていない光センサの結果に匹敵するように、それらの結果をスケーリングすることができる。

【０１８８】

ヒストグラムデータパスは、測定の開始と飽和が発生するときとの間に発生するイベントの数をカウントするイベントカウンタ２００２を含み得る。「イベント」は、ショットの数、ＡＬＵによって累積された露出の数、及び／または測定中に周期的に発生する任意の他のタイミングイベントを含み得る。この例では、イベントカウンタ２００２は、測定の始まり以降のショットの数を表現し得る。ただし、これは制限を意味するものではなく、任意の他のイベントが同様の様式で使用され得る。

【０１８９】

各イベントに対して、イベントカウンタ２００２はインクリメントされ得る。この例では、イベントカウンタ２００２は、各ショットの始まりまたは終わりにインクリメントされ得る。例えば、クロックがＡＬＵ及びヒストグラムメモリへパルスを送ることを始めさせる開始信号はまた、イベントカウンタ２００２をインクリメントさせ得る。測定の始まりの後の各ショットは、ヒストグラムデータパス内の飽和が発生するまで、または測定が終了するまで、イベントカウンタ２００２をインクリメントさせ続けることができる。飽

和を引き起こすか、または他の場合には飽和を検出するコンポーネントは、イベントカウンタ２００２に信号を送ることができ、それにより、イベントカウンタ２００２は、後続のショットの始まりの時に後続の開始信号でインクリメントを停止する。したがって、測定の終了時に、イベントカウンタ２００２の値は、ヒストグラムデータパス内で飽和が発生するまで測定の開始時に発生したショットの数を表現し得る。

【０１９０】

図１９に関連して上述したように、図２１のヒストグラムの縦棒の各々は、測定において複数のショットにわたって繰り返し投入される単一の時間ビンを表現するレジスタに格納された光子カウントの累積合計を表現する。縦棒内のセクションの各々は、単一のショットで受信された光子カウントを表現する。したがって、この例は、飽和が発生する前に累積され、ヒストグラムメモリに格納された合計４つのショットを示している。

【０１９１】

この例では、時間ビン２１０２と関連付けられたレジスタは、４番目のショット中に飽和状態に達する。上述したように、この状態は、ＡＬＵでの飽和、ヒストグラムメモリのレジスタ内の飽和、及び／またはヒストグラムデータパスの任意の他のコンポーネント内の飽和を含み得る。飽和の結果、４番目のショット中の合計光子カウントが関連するレジスタに正確に累積及び／または表現されない場合がある。飽和が検出されたときに、現在のショットの残りの光子カウントを様々な方式で対処することができる。幾つかの実施形態では、現在のレジスタは、ショットの残りの間無効化することができ、ヒストグラムメモリ内の他のレジスタは、現在のショットの終了まで光子カウントを累積し続ける。現在のショットの終了後、次いで、ヒストグラムメモリの残りのレジスタを無効化することができる。これが発生すると、ＡＬＵをインクリメントさせ、ヒストグラムメモリを更新させる周期的なクロック信号をオフにすることができる。この例では、飽和限界１９０２を上回る時間ビン２１０２の光子カウントの部分を除いて、各レジスタの完全な光子カウントが累積及び格納され得る。

【０１９２】

代替的に、幾つかの実施形態は、ヒストグラムレジスタのいずれかで飽和が発生したときに、ＡＬＵに累積を停止させ、ヒストグラムメモリに新しい値の格納を即座に停止させることができる。飽和イベントは、光センサのヒストグラムデータパスの単一のレジスタでのみ発生する必要がある。その単一レジスタの累積を停止する代わりに、光センサにおける新しい光子カウントの全ての累積及び格納を無効化することができる。これは、ショットの途中で飽和が発生したときに、測定の残りの間、残っている時間ビンの任意のレジスタに光子が累積されなくなるように、即座に発生することができる。この例では、時間ビン２１０４までの時間ビンは、現在のショットの完全な光子カウントを含み得、時間ビン２１０２は、現在のショットの部分的な光子カウントを含み得、時間ビン２１０６以降の時間ビンは、現在のショットからの光子カウントを含まないであろう。これにより、図２１の時間ビン２１０６以降の上のブロックが除去される。

【０１９３】

幾つかの実施形態では、露出カウンタは、ショットカウンタに加えて、またはその代わりに使用することができる。時間ビン２１０２内で飽和が発生したときに、露出カウンタは、時間ビン２１０２のレジスタに格納された現在のショットの露出の数を記録し得る。タイミング２１０４前の時間ビンは、現在のショットの完全な光子カウントを含み得るが、時間ビン２１０６以降のレジスタは、時間ビン２１０２内の飽和の前に正常に実行された現在のショットの露出の数まで光子をカウントし得る。したがって、時間ビン２１０６以降は、飽和前に時間ビン２１０２内でキャプチャされた現在のショットの割合に一致する現在のショットの一部分の光子カウントを累積し得る。この部分は、時間ビン２１０６の後の時間ビンの各々において破線で表現される。例えば、更新された時間ビン２１０４が飽和し、現在の露出においてカウントされた光子の５０％のみが時間ビン２１０４のヒストグラムレジスタ内で表現され得る場合、時間ビン２１０６以降の後続のヒストグラムレジスタの光子カウントもまた、現在のショットでは５０％減少し得る。

【０１９４】
他の実施形態は、ショット中に飽和が発生したときに、新しい光子カウントの累積及び格納を停止するために異なる方法を使用し得る。上述した方法の任意の組み合わせを使用し得る。具体的には、各時間ビンは、測定における他の時間ビンとは独立して対処され得る。例えば、飽和が発生する時間ビン２１０２はすぐに累積を停止することができるが、時間ビン２００４より前及び時間ビン２１０６の後の時間ビンは、現在のショットの完全及び／または部分的な光子カウントを格納するか、または時間ビン２１０２内の飽和が発生した後に完全に無効化され得る。これらの異なる方法は、様々な実施形態において限定されることなく、任意の組み合わせで任意の時間ビン内で使用することができる。
【０１９５】
飽和が発生したときに、新しい光子カウントの累積及び格納が停止する可能性があるため、ヒストグラムメモリに格納されるヒストグラムの全体的な形状は、図１９に示されるように飽和限界１９０２を伴わずにキャプチャされているヒストグラムの全体的な形状に近似していることがある。全体的な形状が保持されているため、図２０に示されるように、光子カウントの累積及び格納を停止しない場合ほどＳＮＲに悪影響を与えることはない。加えて、ヒストグラムの形状を保持することで、整合フィルタが、光学測定システムの光源から放出されたパルス列に対応する反射パルスを正しく識別する可能性が高くなる。
【０１９６】
全体的な形状は保持されるが、ヒストグラムメモリによってキャプチャされたパルスの大きさは、測定全体で光センサによって受信されたパルスの実際の大きさよりも大幅に小さい場合がある。しかしながら、イベントカウンタ２００２は、飽和前に発生したイベントの数を記録しており、測定の合計イベントの数も既知であり得、及び／または別のカウンタに記録され得るので、イベントカウンタ２００２に格納された値を使用して、ヒストグラムの形状をスケーリング（または他の方法で正規化）し、これにより飽和限界１９０２を伴わずに受信、累積、及び格納されているであろうものに大きさが近似するようにする。
【０１９７】
図２２は、幾つかの実施形態による、イベントカウンタを使用して飽和ヒストグラムメモリをスケーリングするためのプロセスを示している。この例では、測定のショット数をイベントカウンタ２００２に格納された値と、つまり、上述したような４つのショットとして使用し続ける。ショットの合計数は、別個のカウンタ２２１０に格納され得るか、または他の場合には光学測定システム内の既知の値であり得る。例えば、開始信号を提供する制御プロセスは、各測定中に送られる幾つかの開始信号を格納し得る。イベントの合計数をイベントカウンタ２００２の値で除算して、飽和後にヒストグラムメモリに格納されたヒストグラム２２０２をスケーリングするための乗数２２１４を生成することができる。この例では、測定値は、カウンタ２２１０内の合計８ショット、及びイベントカウンタ２００２内の４ショットの値を含み得、その結果、乗数は２になる。
【０１９８】
幾つかの実施形態では、乗数２２１４は、ヒストグラムメモリ内で識別されたピークの値を用いてチップから渡すことができる。次に、補助プロセッサは、ヒストグラム２２０２内の値を乗数２２１４によってスケーリングして、ヒストグラム２２０２内の値の大きさを取得することができる。図２２は、ヒストグラム２２０２の値が乗数２２０４によってどのようにスケーリングされ得、ヒストグラム２２０４内に示される値をもたらすことができるかを示している。プロセッサは、オンチップヒストグラムメモリによって使用されるレジスタよりもはるかに大きいメモリレジスタを含み得、したがって、飽和することなく乗数２２１４によって正確にスケーリングされた後、これらの値を表現することが可能であり得る。飽和を考慮しない図１９の受信された光子カウントの形状と比較した、飽和及びスケーリング後のヒストグラム２２０４の形状の類似性に留意されたい。幾つかの実施形態はまた、オンチップでスケーリング及び正規化機能も実行し得る。
【０１９９】

乗数２２１４によってヒストグラムメモリ内の値を適切にスケーリングすることはまた、ピーク検出のための背景ノイズレベル及び閾値の計算も可能にする。乗数２２１４を使用しないと、ヒストグラム２２０２に記録された背景ノイズは正確でない可能性がある。ただし、乗数２２１４によってスケーリングされると、背景ノイズはより正確に推定され、現在の測定においてピークを検出するための閾値を設定するために使用され得る。

【０２００】

Ｂ．ヒストグラム飽和回路

図２３は、幾つかの実施形態による、飽和検出を伴うヒストグラムデータパスの回路図を示す。図２３は、動作において、図８に示されるヒストグラムデータパスと同様であるが、図２３のヒストグラムデータパスは、データパス飽和を検出するための様々なカウンタ及びコンポーネントを含む。これらの追加のコンポーネントにより、ヒストグラムデータパスは、データパスに沿って飽和が発生したときに検出し、飽和の検出に応答して、ＡＬＵ８０４及び／またはヒストグラムメモリ８０６が追加の光子カウントを累積／格納することを停止し、飽和が発生するまでの現在の測定中に発生したイベント（例えば、ショット、露出など）の数を記録することを可能にする。

【０２０１】

ヒストグラムデータパスは、測定における各ショットでインクリメントするショットカウンタ２３０４を含み得る。新しい測定が始まると、ショットカウンタ２３０４はリセットされ得る。ショット入力８１４が新しいショットの始まりをトリガするたびに、ショットカウンタ２３０４はインクリメントされ得る。例えば、ショット入力１８０４は、ショットカウンタ２３０４への入力として提供され得、ショットカウンタ２３０４は、ショット入力８１４の立ち上がりエッジに応答して、内部に格納された値をインクリメントし得る。幾つかの実施形態は、ショットカウンタ２３０４に２つ以上のカウンタを含み得る。例えば、ショットカウンタ２３０４は、飽和が発生するまでショットをカウントする第１ショットカウンタと、飽和に関係なく測定におけるショットの合計数をカウントする第２ショットカウンタとを含み得る。これにより、各光センサは、受信されたショット入力の合計数のカウントと、飽和前のショットの合計数のカウントとの両方を提供することが可能になる。

【０２０２】

上述したように、飽和が発生した時点を判定するために、任意のイベントをカウントすることができる。ショットカウンタ２３０４に加えて、幾つかの実施形態は、ヒストグラムデータパス内の他のイベントと共にインクリメントする追加のカウンタを含み得る。例えば、幾つかの実施形態は、現在の測定において光センサによってキャプチャされた露出の数をカウントする露出カウンタ２３０６を含み得る。クロック８１０は、ＡＬＵ８０４に、現在の時間ビンのレジスタ内の現在の値８２０と共に、受信された光子カウントを集計させる周期信号５６０を生成し得る。この周期信号５６０はまた、露出カウンタ２３０６に提供されて、露出ごとに露出カウンタ２３０６に格納された値もインクリメントし得る。露出カウンタ２３０６は、露出カウンタ２３０６が複数の個々のカウンタを含むという点で、ショットカウンタ２３０４と同様の設計で実装され得る。例えば、第１露出カウンタは、飽和が発生するまで露出の数をカウントし得、一方、第２露出カウンタは、現在の測定における露出の合計数をカウントし得る。両方の値をカウントすることによって、露出カウンタ２３０６を使用して、ヒストグラムメモリ内の最終値をスケーリングするための乗数も生成し得る。

【０２０３】

ヒストグラムデータパスはまた、飽和検出回路２３０６も含み得、飽和検出回路２３０６は、ヒストグラムデータパスに沿って飽和を検出し、飽和後にＡＬＵ８０４及び／またはヒストグラムメモリ８０６に新しい光子カウントの集計を停止させる出力信号を提供する。飽和は、ヒストグラムデータパス内の幾つかの異なる場所で発生する可能性があるため、飽和検出回路２３０２は、異なる実装態様において異なる実装を使用し得る。例えば、ＡＬＵ８０４がオーバーフローしたときに飽和が発生した場合、ＡＬＵは、ＡＬＵ８０

４の結果がビット幅を超えたことを示すキャリー出力を提供することがある。この出力は、飽和検出回路２３０２に送信され得、クロック８１０及び／またはショットカウンタ２３０４の有効化信号として使用され得る。代替的に、ヒストグラムメモリ８０６内で飽和が発生したとき、メモリインターフェースは、クロック８１０及び／またはショットカウンタ２３０４の有効化信号として同様に使用することができる信号を、飽和検出回路２３０２に送ってもよい。幾つかの実施形態はまた、飽和検出回路２３０２内のコンパレータを使用して、ヒストグラムデータパス内の上位ビットがゼロ以外の値を有するときを決定し得、現在の集計された値がヒストグラムメモリ８０６のビット幅を超え得ることを示している。飽和検出回路２３０２は、ヒストグラムデータパスの現在の飽和状態を示す値（例えば、飽和が発生したときの論理値の「１」）をラッチしてもよく、この値は、ヒストグラムメモリがピーク検出のために処理されるときにイベントカウンタの値と共に送られて、飽和が発生したことを示すことができる。新しい測定信号８１２が受信されると、飽和検出回路２３０２は、新しい測定のためにこの状態値をリセットすることができる。

【０２０４】

飽和検出回路２３０２による飽和検出に応答して、飽和検出回路２３０２からの出力信号は、この単一の光センサのヒストグラムデータパスに、新しい光子カウントの集計を停止させることができる。幾つかの実施形態では、出力は、ＡＬＵ８０４及びヒストグラムメモリ８０６をトリガする周期信号５６０、８０８を生成するクロック８１０の有効化信号として使用され得る。飽和検出回路２３０２がクロック８１０を無効化する場合、これらの周期信号５６０、８０８は、もはやＡＬＵ８０４及びヒストグラムメモリ８０６に提供され得ず、これにより今度は、それらが測定の残りの間、新しい光子カウントを集計及び格納することを妨げる可能性がある。クロック８１０をオフにすると、露出カウンタ２３０６のインクリメントも停止することに留意されたい。同様に、ヒストグラムデータパス内で使用される任意の他のイベントカウンタは、飽和検出回路２３０２の出力によって選択的に無効化することができる。

【０２０５】

飽和検出回路２３０２は、飽和検出回路２３０２に、飽和が発生した時間と、新たな光子カウントの集計及び／または格納を停止すべき時間との間に遅延を挿入させる、１または複数の遅延素子またはカウンタを含み得る。上述したように、様々な実施形態は、ヒストグラムデータパスに、現在のショットの終了まで正常に機能し続けさせることができ、一方、他の実施形態は、飽和に応答してヒストグラムデータパスを即座にシャットダウンさせることができる。実施形態に応じて、飽和検出回路２３０２は、次のショット信号８１４が受信されるまで待機してから、クロック８１０をオフにするか、そうでなければヒストグラムデータパスを無効化することができる。

【０２０６】

Ｘ．集積レジスタの飽和

上述したように、光学測定システムは、各光センサに対して同時に動作する複数の並列データパスを含み得る。複数の並列データパスは、ヒストグラムデータパスと集積データパスとの両方を含み得る。これらのデータパスは図２３に一緒に示されていないが、それらは両方とも同じ光センサに接続され、同時に並行して動作し得ることを理解されたい。

【０２０７】

集積データパスは、ヒストグラムデータパスについて上述したものと同様の飽和問題に直面する可能性がある。具体的には、集積データパスは、集積間隔中に光センサによって受信される高レベルの周囲光及び／または反射光に起因して飽和する可能性があるビット幅の制限を有する場合がある。問題の原因は同じであるが、飽和を検出及び対処するための回路ソリューションは、ヒストグラムのデータパスとの違いを含む場合がある。

【０２０８】

Ａ．カウンタに基づく飽和スケーリング

上で詳述したように、集積データパスは、ヒストグラムデータパスによって使用される時間間隔またはショットの全てまたは幾つかを含み得る「第２時間間隔」にわたって、光

センサによって受信される光子カウントを集計することができる。合計光子カウントは１または複数の個々の集積レジスタに格納され得、合計光子カウントを使用して、背景ノイズレベルを推定し、ピーク検出閾値を設定し、検出されたピークからの背景ノイズを除去し、かつ／または周囲環境の環境光画像を生成することができる。

【０２０９】

図２４は、幾つかの実施形態による、集積データパスの測定中に受信された光子カウント２４０６のタイムラインを示している。光子カウントをショットに細分化する代わりに、集積データパスの光子カウントは、集積データパス内のＡＬＵによって集計される光子の連続ストリームとして受信され得る。集積データパスの時間間隔は、図２４の間隔２４０２によって表現される、ヒストグラムデータパスからのショット間隔と重なり、及び／またはこれを包含し得る。したがって、光子カウントは、ヒストグラムデータパス内で同時に行われるショット前、ショット中、ショット間、及び／またはショット後に、集積データパスによって継続的に集計され得る。

【０２１０】

集積データパスは光子カウントを継続的に集計するので、１または複数の集積レジスタ内で表現される光子カウントの合計は、ヒストグラムデータパス内のヒストグラムメモリのレジスタ内で表現される光子カウントのいずれよりも大幅に高くなる可能性がある。図２５は、幾つかの実施形態による、測定中に光子カウントをどのように１または複数の集積レジスタに継続的に集計することができるかを示している。この例では、図２４に示されている時間の経過と共に受信されたインクリメント光子カウントが、図２５の集積レジスタの値に継続的に追加される。各縦棒は、集積間隔中に時間が経過するにつれて、集積レジスタによって表される、集計された合計光子カウントを表現している。各縦棒の暗い部分は、集積データパス内のＡＬＵからの現在の集計動作中に追加された光子カウントを表現している。

【０２１１】

ヒストグラムデータパスについて上述した状況と同様に、集積データパスは、集積データパス内のコンポーネントのいずれかによって課され得る飽和限界２５０２を含み得る。例えば、集積データパスのＡＬＵは、任意の出力結果の最大ビット幅を含み得る。集積レジスタは通常、ヒストグラムメモリによって使用されるレジスタ（例えば、６４ビットなど）よりも大きくなり得るが、集積レジスタはなおも、集積レジスタに格納され得る最大の光子カウントを定義する飽和限界を有し得る。縮尺通りに描かれていないが、飽和限界２５０２は、集積レジスタ内への光子カウントの継続的な集計が集積データパスの幾つかの部分において飽和を引き起こす可能性があることを示している。集積データパス内で飽和が発生したときに、集積レジスタはヒストグラムデータパス内で発生する問題と同様の問題に直面する可能性がある。例えば、集積レジスタによって表現される合計光子カウントが正確でなくなる可能性があり、背景ノイズレベルを正確に推定すること、またはその特定のピクセルの周囲環境の周囲画像を生成することが困難になる。

【０２１２】

図２６は、幾つかの実施形態による、飽和が発生したときに、集積レジスタへの光子カウントの集計をどのように停止することができるかを示している。飽和検出回路をまた、集積データパスに実装して、飽和が発生したときに集積データパスが集積レジスタへの新しい値の追加を停止し、代わりに残りの集積間隔全体で現在の値を維持することができるようにすることもできる。集積データパス内の１または複数のコンポーネントが飽和限界２５０２に達した場合、集積レジスタの値を保持することができる。ヒストグラムデータパスについて上述したように、イベントカウンタは、集積間隔の開始から飽和が発生するまでに発生するイベントの数をカウントすることができる。この例では、カウントされているイベントは、集積ＡＬＵが光センサからの新しい光子カウントを集計し、集積レジスタ内の値を更新する露出を含み得る。露出の合計数２６０２を露出カウント２６０４で除算して乗数２６０８を計算し、これを集積レジスタに格納された値に適用して、集積間隔の合計光子カウント２６１０を生成することができる。

【０２１３】
集積レジスタに格納された合計光子カウントは、飽和に起因して完全な集積間隔では不正確になる可能性があるが、スケーリングされた合計光子カウントは、集積間隔中に光センサが受信した光子の合計数の正確な推定値であり得る。したがって、スケーリングされた合計光子カウントを使用して、背景ノイズレベルを推定し、検出閾値を設定し、検出されたピークから背景ノイズを除去し、かつ／または以下に詳細に記載するように周囲環境の周囲画像を生成することができる。
【０２１４】
Ｂ．集積飽和回路
図２７は、幾つかの実施形態による、飽和保護を備える集積データパスを示している。集積データパスは、１または複数のイベントカウンタ、例えば、ＡＬＵ１００６によってキャプチャされた各露出でインクリメントする露出カウンタ２７０４を含み得る。露出カウンタは、集積間隔中に継続的に動作するクロック１００３によって生成される周期信号１０１２を使用してインクリメントされ得る。これにより、露出カウンタ２７０４は、集積間隔が集積信号１００８で始まるときと、飽和が発生するときとの間の各露出をカウントすることが可能になる。
【０２１５】
集積データパスはまた、ヒストグラムデータパスについて図２３の飽和検出回路２３０２と同様の様態で動作する、飽和検出回路２７０２も含み得る。例えば、飽和検出回路２７０２は、ＡＬＵ１００６からキャリーまたはオーバーフロー指示を受信することができる。飽和検出回路２７０２はまた、集積レジスタ１００４に格納されることになる値が許容ビット幅よりも大きいことを示す信号を集積レジスタ１００４から受信することもできる。飽和検出回路２７０２はまた、集積データパスの様々な点の値を飽和限界と比較する１または複数のコンパレータも含み得る。飽和検出回路２７０２は、これらの入力のいずれかを使用して、クロック１００３への出力信号を生成し得る。この信号（例えば、論理値の「０」）は、クロック１００３の無効化信号として機能し、クロック１００３に周期信号１０１２、１０１１の生成を停止させ得る。周期信号１０１２、１０１１が無効化されると、ＡＬＵ１００６及び集積レジスタ１００４は、集積間隔の残りの間、新しい光子カウントの集計及び格納を停止し得る。加えて、露出カウンタ２７０４は、インクリメントを停止し、それにより、飽和の前に発生した露出の数を格納する。
【０２１６】
ＸＩ．メモリ飽和に対処するための方法
図２８は、幾つかの実施形態による、飽和に対処するために光学測定システムを使用するための方法のフローチャートを示している。ブロック２８０２において、この方法は、光学測定の一部として、１または複数の第１時間間隔にわたって１または複数のパルス列を送信することを含み得る。第１時間間隔の各々は、上述したようなショット時間間隔に対応し得、第１時間間隔の各々は、送信されるパルス列のうちの１つに対応し得る。これらのパルス列は、光学測定システムの光源によって送信され得、各々が１または複数の個々のパルスを含み得る。
【０２１７】
ブロック２８０４において、方法はまた、１または複数のパルス列からの光子及び光子を検出することも含み得る。周囲光からの光子も検出され得る。パルス列及び周囲光は、光センサ上の複数の光検出器を使用して検出され得る。光検出器は、単一光子アバランシェダイオード（ＳＰＡＤ）を使用して実装され得る。光検出器は、光子が受信されたときに信号を生成することができ、閾値化回路は、光子が受信されたことを示すために正の信号を生成することができる。ＡＬＵは、ＡＬＵクロックサイクル中にこれらの正の信号を集計して、ＡＬＵクロックサイクル中に光子カウントを生成し得る。
【０２１８】
ブロック２８０６において、方法は加えて、１または複数の光検出器からの光子カウントを使用して、データパス内の複数の第１レジスタに投入することを含み得る。複数の第

１レジスタは、上述したようなヒストグラムデータパスのＳＲＡＭ内のレジスタを含み得る。第１時間間隔の各々は、ヒストグラムのために複数の第１時間ビンに細分化され得る。１または複数の第１時間間隔の各々における対応する時間ビンは、複数の第１レジスタ内の単一のレジスタ内に累積され得る。第１時間間隔の各々は、ショットを表現することができ、一緒に、１または複数の第１時間間隔は、光学測定システムの測定を表現することができる。第１時間間隔の各々は、ヒストグラムを表現するメモリをヒストグラム内の第１レジスタにリセットする開始信号またはショット信号によって定義され得る。光子カウントは、上述したＡＬＵなどのデータパス内の算術論理回路によって集計され得る。

【０２１９】

ブロック２８０８において、方法は、データパスにおいて飽和が発生した時点を判定することを更に含み得る。飽和は、算術論理回路からオーバーフローまたはキャリー動作を示す信号を受信することによって決定され得る。飽和はまた、複数の第１レジスタから、複数の第１レジスタに格納されることになる値が大きすぎるという指示を受信することによって決定され得る。飽和はまた、データパスの任意の点の任意の値を所定の飽和限界と比較することによっても決定され得る。

【０２２０】

ブロック２８１０において、方法はまた、飽和が発生した後に発生する１または複数の第１時間間隔において、データパスに複数の第１レジスタに投入することを停止させることと、を含み得る。データパスは、クロック回路の無効化信号を生成する飽和検出回路を含み得、これは、無効化されたときに、算術論理回路及び／または複数の第１レジスタが光子カウントの累積を停止させる。この方法は、飽和を検出したときに即座にデータパスに複数の第１レジスタの投入を停止させるか、または代替的に、現在の時間間隔の終了（例えば、現在のショットの終了）まで待機してレジスタの投入を停止させることができる。

【０２２１】

幾つかの実施形態では、この方法は加えて、データパスに複数の第１レジスタへの投入を停止させる前に発生するイベントの数をカウントすることを含み得る。データパスは、ショット及び／または露出ごとにインクリメントされるショットカウンタ及び／または露出カウンタなどのイベントカウンタを含み得る。次に、イベントカウンタの値を測定中のイベントの合計数と共に使用して、上述したように複数の第１レジスタのヒストグラムをスケーリングすることができる。

【０２２２】

ＸＩＩ．ヒストグラム内の複数のピーク

本開示の例は、光学測定を使用して光学測定システムと周囲環境内の物体との間の距離をどのように決定するかの例として、光源から送信されて光センサによって検出される単一のピークをしばしば使用してきた。しかしながら、これらの例は限定的なものであることを意味しない。対象の物体で反射するパルス列によって引き起こされる意図されたピークに加えて、ヒストグラムメモリはまた、パルス列のより即時の意図しない反射から生じる他のピーク、及び必ずしもパルス列から生じるとは限らないピークも含むことがある。例えば、追加のピークは、周囲環境における光源、反射、または他の周囲光の現象に対応し得る。初期ピークは、光学測定システムのハウジングまたはＬＩＤＡＲシステムの前にある予期しない障害物からのパルス列の反射から生じる場合がある。これらの場合、単一のピークを検出するだけでなく、光学測定システムが、ヒストグラムメモリに結果的に存在する可能性のある複数のピークを検出することがある。次に、これらのピークの各々を、さらなる分析のためにプロセッサに渡し、どのピークが目的の反射パルス列に対応するか、及びどのピークが他の源または意図しない物体から生じるかを決定することができる。

【０２２３】

Ａ．ヒストグラム内の複数のピークの初期ピークの除外

本明細書に記載される実施形態は、ヒストグラムメモリ内の複数のピークを正確に検出するために様々な方法を使用し得る。これらの方法は、光学測定システムのハウジングで反射される光源からの光子から生じる初期ピークを検出及びマスキングすることを含み得

る。これを使用して、上述した飽和検出から初期ピークを除外し、光学測定システムの外部の周囲環境から反射された光の分析から初期ピークを除外することができる。初期ピークをマスキングした後、ヒストグラムメモリ内の最大ピークを識別するように構成されたピーク検出回路によって、後続のピークを再帰的または反復的に検出することができる。最大ピークが識別されると、そのピークがピーク検出回路の任意の後続の実行から除外されるようにマスキングすることができ、これにより、実行ごとに新しいピークを識別することが可能になる。

【０２２４】

図２９は、幾つかの実施形態による、識別及びマスキングされ得る初期ピークを示している。図２９のグラフは、ヒストグラムメモリのレジスタに経時的に格納された値を示している。ヒストグラムの各縦棒は、上で詳述したように、ヒストグラムメモリのレジスタまたは時間ビンに対応する。明確にするために、ヒストグラムの一般的な形状を示すために、図２９の縦棒上に連続曲線が重ね合わされているが、図２９の連続曲線は、実際には、ヒストグラムのデータパスによって別個の値として格納される必要はないことを理解されたい。加えて、図２９は、ヒストグラムメモリの初期の部分のみを示している。ヒストグラムメモリの後続の内容は、図２９のグラフの右側から継続することができる。

【０２２５】

図２９に示されるように、ヒストグラムメモリの初期部分は、光学測定システム上の光源からの光子の放出から生じる初期ピーク２９０４を含み得る。上述したように、光学測定システムの光源は、周囲環境から反射されて光センサによって受信される光子を放出し得る。光子が最初に放出されるとき、それらの光子の少なくとも一部分は、光学測定システムの外部の周囲環境から反射されることなく、光学測定システムのハウジングから反射された後、光センサによって即座に検出され得る。幾つかの場合では、初期ピークは、周囲環境での光子の通常の放出、反射、及び受信を妨げる光センサに近接している物体によって引き起こされることもある。例えば、ビニール袋または他の物体が誤って光学測定システムに取り付けられ、光源によって放出された光の大部分が即座に光センサ上に反射して戻る場合がある。これらの状況の各々は、ショットの始まりにおいて検出され、ヒストグラムメモリの初期部分に格納される初期ピーク２９０６を生成し得る。ただし、この初期の物体は、最終的に検出されるべき所望の物体ではない。

【０２２６】

この初期反射（例えば、ハウジングまたは覆い物体からの）が近接しているため、初期ピーク２９０４の強度は非常に大きくなる可能性がある。上述したように、幾つかの実施形態は、ヒストグラムメモリ内の任意の時間ビンにおいて飽和が発生した時点を検出し得る。１つの時間ビン内で飽和を検出すると、後続のショットの他の時間ビン中で、ヒストグラムデータパスがその光センサのヒストグラムメモリへの投入を停止することがある。初期パルス２９０４は非常に大きい可能性があるため、ヒストグラムメモリの初期部分で初期パルスを受信すると、測定の初期にヒストグラムデータパスが飽和することがある。この飽和は、周囲環境からの反射光子を検出するために比較的少数のショットが受信されるような、測定の十分早い段階で発生する可能性がある。

【０２２７】

初期パルス２９０４がヒストグラムデータパスを飽和させるのを防ぐために、幾つかの実施形態は、初期パルス２９０４を飽和検出及び／またはピーク検出から除外し得る。初期ピーク２９０４は、ヒストグラムメモリの初期部分で予想通りに発生する可能性があるため、初期時間ビンは、飽和検出から除外され得る。例えば、飽和検出から所定の数の時間ビンを除外するマスク間隔２９０６を使用することができる。マスク間隔２９０６中にヒストグラムデータパス内で飽和が発生した場合、ヒストグラムデータパスは飽和を無視し、光センサがヒストグラムメモリに光子カウントを収集及び累積し続けることを可能にし得る。

【０２２８】

簡単に図２３に戻ると、飽和検出回路２３０２は、所定の数のクロックサイクルが経過

した後、クロック８１０から入力を受信し得る。クロック８１０からの信号は、飽和検出回路２３０２が各ショットの初期部分中に飽和を検出しないように、飽和検出回路２３０２の有効化信号として使用されてもよい。幾つかの実施形態は、代替的に、ショット信号８１４によってリセット及び開始される飽和検出回路２３０２内の内部カウンタを使用し得る。内部カウンタの出力は、各ショットの初期部分中で内部カウンタ値を所定の数のクロックサイクルと比較するコンパレータに供給され得る。飽和検出回路２３０２は、所定の数のクロックサイクルが経過したときに、コンパレータの出力によって有効化され得る。

【０２２９】

マスク間隔２９０６によって除外されるクロックサイクルの数は、各時間ビンの長さ及び光学測定システムからの所定の距離に基づいて設定することができる。例えば、幾つかの実施形態は、光学測定システムの２フィート以内で反射される初期パルスを除外することができる。マスク間隔２９０６内のレジスタの数は、光子が２フィートの範囲内で前後に移動するのにかかる時間を、各時間ビンによって表現される時間で除算することによって決定することができる。他の実施形態は、光学測定システムがどのように及びどこに設置されるかに応じて、２フィート以外の異なる範囲を使用し得る。例えば、他の実施形態は、１フィート、２フィート、３フィート、及び５フィートなどの範囲を使用し得る。幾つかの実施形態はまた、マスク間隔２９０６によって表現される範囲が、様々な要因、例えば、光学測定システムを搭載する車両が移動する速度、気象条件、交通状況、及び／または大きな初期ピーク２９０４を引き起こす可能性のある任意の他の要因に基づいて、動作中に動的に設定／調整することを可能にし得る。

【０２３０】

Ｂ．複数のピークの検出

上述したように飽和検出から除外されることに加えて、ヒストグラムメモリの後続の時間ビン内で受信された追加のピークを検出するときに、初期ピーク２９０４も除外され得る。実際には、大きな初期ピーク２９０４の後に、周囲環境内の物体から反射された光子を表現する複数のピークが続くことがある。初期ピークに続く複数のピークを使用して、光学測定システムと反射物体との間の距離を決定することができる。したがって、これらの距離測定の精度を妨げることを回避するために、幾つかの実施形態は、初期ピーク２９０４などの、前に検出されたピークを除外することができるピーク検出回路を含み得る。

【０２３１】

１．前のピークの再帰的マスキング

図３０は、幾つかの実施形態による、ヒストグラムメモリ内で表現される複数のピークを示している。ヒストグラムメモリは、ヒストグラムデータパスの飽和限界２９０２を超える上述した初期ピーク２９０４を含み得る。加えて、ヒストグラムメモリは、周囲環境内の物体からの反射から生じる光子カウントを表現する複数の後続のピーク３００２、３００４、３００６、３００８を含み得る。距離を正確に計算するために、ピーク検出回路は、ヒストグラムメモリのレジスタを循環して各ピークを識別しつつ、前に検出されたピークが２回以上識別されることを除外してもよい。

【０２３２】

上述したように、生のヒストグラムデータは、ピーク値を検出するために分析される前に、１または複数のフィルタリング動作を受けることができる。幾つかの実施形態は、生のヒストグラムデータにローパスフィルタを使用して、任意の過渡信号を排除し、データを平滑化し、及び／または任意の反射されたピークの幅を拡大し得る。幾つかの実施形態はまた、光学測定システムの光源によって放出されるパルス列に対応する整合フィルタも使用し得る。整合フィルタは、ヒストグラムメモリによって格納されたデータの形状を変化させて、生データの信号よりも簡単に識別できるピークを生成し得る。整合フィルタを使用して、光センサによって受信された反射パルス過渡光及び／または周囲背景光を区別することもできる。

【０２３３】

複数のパルスを検出し、初期パルスをマスキングするための本明細書に記載される実施

形態は、ヒストグラムメモリ内の任意のタイプのデータで使用することができる。例えば、これらの実施形態は、生データのピークを検出するために、フィルタリングされていないデータと共に使用され得る。これらの実施形態はまた、ローパスフィルタリング動作を受けたデータ及び整合フィルタを使用してフィルタリングされたデータなどの、フィルタリングされたデータと共に使用され得る。フィルタは、ピーク検出回路によってその動作に影響を与えることなく、ピークが検出されている前と後の両方のデータに適用され得る。ピークとして識別されたヒストグラムメモリの部分は、フィルタリングされた形式及び／またはフィルタリングされていない形式でプロセッサに送られ得る。

【０２３４】

幾つかの実施形態は、再帰的マスキングの方法を使用して、初期ピーク２９０４及びピーク検出回路によって前に識別されたあらゆるピークを除外し得る。ピーク検出回路は、ヒストグラムメモリ内のレジスタを循環して最大値を識別するように構成され得る。例えば、ピーク検出回路は、ヒストグラムメモリ内の各レジスタを継続的にトラバースして、レジスタに格納された最大値を検出し得る。各ヒストグラムレジスタに格納された値は、光学測定のショットの各々における累積された光子カウントを表現するため、この最大値は、任意の単一の時間ビン中に受信された光子の最大数を表現し得る。

【０２３５】

最大値が識別されると、最大値を囲むヒストグラムメモリの一部分がピークとして識別され得る。幾つかの実施形態は、ピークとして指定され得る最大値の周りの所定の数の時間ビンを識別し得る。例えば、５個の時間ビン、９個の時間ビン、１５個の時間ビン、及び１７個の時間ビンなど、幾つかの時間ビンを識別し、最大値を中心にしてピーク全体を表現することができる。幾つかの実施形態は、最大値のパーセンテージ内の値を有する周囲の時間ビンを識別し得る。これにより、ピークの幅に応じて、ピークを表すために使用され得る時間ビンの数が変動する可能性がある。例えば、最大値を囲む時間ビンは、それらの値が最大値の２５％以内にあるときに、ピークに含まれることがある。ピークの幅は、後の反復で識別されたピークをマスキングして、更にピークを識別するときに使用されてもよい。

【０２３６】

図３０では、ピーク３００４などの狭いピークは、最大値を囲む６個の時間ビンを含み得、一方、ピーク３００２などのより広いピークは、最大値を囲む１２個の時間ビンを含み得る。幾つかの実施形態はまた、結果として生じるピークが狭すぎる最大値を除外し得る。例えば、３個の時間ビン幅しかないピークになるであろう最大値は、反射ピークではなく過渡ピークとみなすことができる。これらの比較的狭いピークは、ピーク検出回路によって除外される可能性があり、というのも、これらのピークは、周囲環境において物体からその特定の距離にある反射する光子から生じる可能性が低いためである。これらの方法のいずれかを使用して、ピーク検出回路は、ピークを表現するために幾つかの時間ビンを識別し得、これらの時間ビン内の値は、反射物体までの距離を計算するためにプロセッサに送られ得る。

【０２３７】

ピーク検出回路による各動作または実行は、ヒストグラムメモリ内の最大値を検出することができる。変更がなければ、ピーク検出回路を実行するたびに同じ最大値が識別され、同じピークが返される可能性がある。したがって、幾つかの実施形態は、ピーク検出回路がヒストグラムメモリを複数回通過するときに、ピーク検出回路に結合されたマスキング回路を使用して、複数のピークを検出することができる。マスキング回路は、ピーク検出回路によって前に検出されたピークを使用して、ピーク検出回路に、これらのピークを後続の実行サイクルから除外させることができる。これにより、ピーク検出回路を実行するたびに、前の反復で最大ピークとはみなされなかった新しいピークを識別することが可能になる。

【０２３８】

図３０では、初期ピーク２９０４は、既知のピークまたは前に検出されたピークであり

得る。したがって、マスキング回路は、マスク間隔２９０６内の時間ビンを除外するために、ピーク検出回路にマスクを提供し得る。例えば、マスキング回路は、ヒストグラムメモリ内の最初の１２個（または他の数）の時間ビンを、ピーク検出回路の実行から除外されるべき時間ビンとして識別する値を、ピーク検出回路に提供し得る。ピーク検出回路が実行されるとき、マスク間隔２９０６内で識別された任意の最大値は、現在の実行サイクルから除外することができる。例えば、ピーク検出回路は、マスク間隔２９０６内の時間ビンをスキップすることができる。マスク間隔２９０６内の時間ビンをスキップする代わりに、ピーク検出回路は、代替的に、マスク間隔２９０６内の最大値として識別された任意の値を無視することができる。初期ピーク２９０４の場合、マスク間隔２９０６は、ピーク検出回路の最初の実行中にピーク検出回路によって使用され得、これにより、初期ピーク２９０４は、周囲環境の物体から反射された光子に対応するピークとして識別されない。

【０２３９】

初期ピーク２９０４をピーク検出回路の実行から除外すると、ヒストグラムメモリ内で次に最も大きなピークが識別され得る。図３０の例では、ピーク３００４は、ピーク検出回路の最初の実行中のピークとして識別され得る。ピーク３００４は、ヒストグラムメモリ内の他のどの残りの値よりも大きい最大値を含み得る。ピーク検出回路は、ヒストグラムメモリの終わりまでレジスタを循環し続け、次に、ヒストグラムメモリの最大値がピーク３００４に対応することを決定し得る。次に、ピーク検出回路は、ピーク３００４を定義するために、例えば、この最大値を囲む９個の時間ビンを含む最大値から生じるピークを決定し得る。次に、これらの時間ビンの指示は、識別されたピークを格納するレジスタのセット及び／またはマスキング回路に渡され得、これによりピーク３００４は、ピーク検出回路の後続の実行から除外され得る。

【０２４０】

図３１は、幾つかの実施形態による、ピーク検出回路の後続の実行のためにマスキングされている、前に検出されたパルスを示している。（マスク２９０６を使用した）ピーク検出回路の最初の実行中にピーク３００４を識別した後、マスキング回路は、ピーク３００４と関連付けられた時間ビンを識別するマスク間隔３１０２を生成し得る。これらの時間ビンは、初期ピーク２９０４と関連付けられたマスク間隔２９０６からの時間ビンに加えて提供され得る。ピーク検出回路の２回目の実行中に、マスク間隔２９０６及びマスク間隔３１０２内で識別された最大値は、検討から除外され得る。代替的に、マスク間隔２９０６またはマスク間隔３１０２内の任意の時間ビンは、最大値として考慮されるためにそれらの値を検査する必要はなく、ピーク検出回路によってスキップされてもよい。

【０２４１】

ピーク検出回路の２回目の実行中に、次に最も大きい残りのピークを識別することができる。図３１の例では、ピーク３００８は、ヒストグラムメモリに残っている最大有効最大値を有することによって識別され得る。上述したように、ピーク３００８を囲む時間ビンは、ピーク検出回路によって識別され、レジスタのセットに格納され、及び／またはピーク３００８と関連付けられた時間ビンがピーク検出回路の後続の実行中に検討から除外されるようにマスキング回路に渡され得る。

【０２４２】

図３２は、幾つかの実施形態による、追加のピークがピーク検出回路によって識別されるときに、マスキング回路がどのように新しいマスクを継続的に生成し得るかを示している。ピーク３００８を検出した後、マスキング回路は、ピーク３００８と関連付けられた時間ビンを識別するマスク間隔３２０２を生成し得る。マスキング回路は、それらの時間ビンがピーク検出回路の後続の実行から除外されるように、マスク間隔３２０２をピーク検出回路に渡してもよい。例えば、ピーク検出回路の第３の実行中に、マスク間隔２９０６、マスク間隔３１０２、及びマスク間隔３２０２と関連付けられた時間ビンは、最大値の検索から除外され得る。ピーク検出回路の後続の実行中に更に多くのピークが識別されると、ピーク検出回路によって検討される必要がある時間ビンの数が減少する。これによ

り、ピーク検出回路の後続の実行がヒストグラムメモリを循環することができる速度が向上し、測定において複数のピークを検出するための全体的な時間が短縮される可能性がある。

【０２４３】

図３０～図３２は、ピーク検出回路が、前の実行からの結果が後続の各実行に影響を与えるために使用される再帰的プロセスとしてどのように実行され得るかを示している。上述したマスキングプロセスにより、ピーク検出回路を任意の回数実行することが可能になり、したがって、任意の数のピークをヒストグラムメモリ内で検出することができる。幾つかの実施形態は、各測定において事前定義された数のピークを検出することができる。例えば、各測定において３個のピークを検出するように構成されたシステムの場合、ピーク検出回路は３回実行され、前に検出されたピークがマスキングされて、各実行で新しいピークが検出される。図３２では、ピーク３００４及びピーク３００８を検出した後、ピーク検出回路を３回実行して、ピーク３００６を検出することができる。現在の測定で３個のピークを識別すると、ピーク検出回路は現在の測定の実行サイクルを完了することができる。

【０２４４】

幾つかの実施形態は、所定の数のピークを識別する必要はないが、代わりに、閾値を満たす幾つかのピークを識別し得る。一般に、「閾値」は、上述した所定の数のピークを含み得る。加えて、「閾値」は、特定の基準を満たす可変数のピークを含み得る。幾つかの実施形態は、閾値を超える最大値を有する任意のピークを識別し得る。幾つかの実施形態は、最大ピークの最大値の閾値パーセンテージ内の最大値を有する任意のピークを識別し得る。例えば、最大のピークが識別されると、最大値が最大のピークの最大値の５０％以内にある追加のピークが識別され得る。幾つかの実施形態は、最初に検出されたピークから事前定義された時間間隔内に識別される所定の数のピークを識別し得る。例えば、ピーク検出回路は、最初のピークを識別し、次に、最初のピークから５０個の時間ビン以内に発生するピークを識別することができる。これらのいずれの場合でも、パルスを識別するための閾値に達すると、ピーク検出回路は現在の測定の実行を終了することができる。

【０２４５】

２．前のピークの閾値化

上述した例では、マスク間隔を使用して、ピーク検出回路の後続の実行による検討から時間ビンを除外する。しかしながら、幾つかの実施形態は、前に識別されたピークを検討から除外するために代替の方法を使用し得る。例えば、除外される特定の時間ビンを識別する代わりに、マスキング回路は、ピーク検出回路によって検出されたピークの最大閾値を調整してもよい。閾値を使用することは、後続の実行のためにマスキング回路とピーク検出回路との間で単一の値のみを格納及び／または更新する必要があるという利点を提供し得る。

【０２４６】

図３０に戻って参照すると、初期ピーク２９０４は、マスク間隔２９０６ではなく（またはそれに加えて）閾値３０１０によって除外され得る。閾値３０１０は、飽和限界１９０２以下に設定され得る。次に、ピーク検出回路は、閾値３０１０を満たすかまたは超える最大値を有するあらゆるピークを除外し得る。例えば、初期ピーク２９０４を分析するとき、ピーク検出回路は、初期ピーク２９０４の時間ビンのうちの少なくとも１つが飽和限界１９０２を満たしていることを決定し得る。次に、ピークアクション回路は、閾値３０１０を満たすかまたは超える任意の時間ビンを囲む時間ビンを識別し、それらの時間ビンを現在のピーク実行サイクル中の検討から排除し得る。閾値３０１０を満たすかまたは超える時間ビンを囲む時間ビンは、マスク間隔２９０６を決定するための上述した方法のいずれかを使用して識別され得る。

【０２４７】

閾値３０１０を飽和限界１９０２またはその近くに設定した後、ピーク検出回路の最初の実行は、上述した最大値アプローチを使用してピーク３００４を識別することができる

。具体的には、ピーク３００４の時間ビンは、ヒストグラムメモリ内の最大値を含み得、周囲の時間ビンは、プロセッサ回路とマスキング回路との両方のピーク３００４を定義するために識別され得る。

【０２４８】

再び図３１を参照すると、閾値３１１０は、初期ピーク２９０４とピーク３００４との両方を除外するように設定することができる。例えば、閾値３１１０は、ピーク３００４に見られる最大値以下に設定され得る。上述したように、閾値３０１０を超える最大値に遭遇した場合、ピーク検出回路は、最大値と、最大値を囲む任意の時間ビンとの両方を除外することができる。ピーク検出回路によって識別された後続の各ピークは、前に識別されたピークのいずれよりも大きさが必然的に小さくなるため、閾値３１１０は、識別されたときにピークを除外するために継続的に下に移動することができる。ピーク３００８は、ピーク検出回路によって、閾値３１１０を満たさないかまたは超えない最大値として識別され得る。次に、ピーク３００８を貴アコム時間ビンは、プロセッサ及びマスキング回路に対して識別され得る。

【０２４９】

閾値３２１０は、最後に識別されたピーク３００８を除外するように設定され得る。閾値３２１０はまた、ピーク３００４及び初期ピーク２９０４も前に識別されており、したがってピーク３００８よりも大きさが大きいため、それらも除外し得る。このプロセスは、ピークの閾値数が識別されるまで繰り返し続けることができる。再帰的マスキングについて上述したように、この閾値は、事前定義された基準を満たすピークの数、及び／または任意の他のタイプの閾値を示し得る。

【０２５０】

ＸＩＩＩ．ピーク検出回路

図３３は、幾つかの実施形態による、ヒストグラムメモリ内の複数のピークを検出するための回路を示している。この回路は、図８及び図１０において上述したヒストグラムデータパスに類似している。この回路は、ヒストグラムメモリ８０６のメモリインターフェースと通信することができるピーク検出回路３３０６を含み得る。ピーク検出回路３３０６は、ヒストグラムメモリ８０６内のレジスタの各々を循環して、各ピークを定義するための時間ビンを表現する最大値及び周囲のレジスタを識別するために、上述したように動作し得る。ピーク検出回路３３０６は、ヒストグラムメモリ８０６内の値を最大値として識別するための１または複数のコンパレータと、検討から除外されるべきマスク及び／または閾値を指定する１または複数のレジスタと、ヒストグラムメモリ８０６からの情報を要求するアドレス指定ユニットと、を含み得る。

【０２５１】

この回路はまた、ピーク検出回路３３０６によって識別されたピークを格納する複数のレジスタ３３０４も含み得る。ピークは、ヒストグラムメモリ８０６から読み取られる関連する値を伴う一連の時間ビンとして格納され得る。例えば、ヒストグラムメモリ８０６からの値は、ヒストグラムメモリ内の識別されたピークを表現するために複数のレジスタ３３０４にコピーされ得る。複数のレジスタ３３０４はまた、ヒストグラムメモリ８０６内のアドレスまたはメモリ位置としてピークを表現することもできる。識別されたピークを距離計算のためにプロセッサに送るとき、レジスタ３３０４は、ヒストグラムメモリ８０６から値を読み取り、ヒストグラムメモリ８０６から読み取った値をプロセッサに送ることができる。各時間ビンの値及び／または時間ビンへの参照をヒストグラムメモリ８０６に格納することに加えて、レジスタ３３０４はまた、識別されたピークの各々の時間内の位置を示す相対時間情報も格納し得る。例えば、レジスタ３３０４は、ショットの始まりから時間ビンの時間を推定するために使用することができる相対時間ビン番号（例えば、時間ビン４５）を格納し得る。例えば、補間フィルタを使用する場合、時間ビンの端数も格納することができる。複数のレジスタ３３０４は、ヒストグラムメモリ内の「複数の第１レジスタ」と区別するために、本明細書では「複数の第２レジスタ」と称されることもある。

【０２５２】
複数のレジスタ３３０４は、格納されたピークをプロセッサ３３０８に渡し得る。プロセッサは、図２の測距システムコントローラ２５０に対応し得る。幾つかの実施形態では、プロセッサ３３０８は、オフチッププロセッサであり得る。例えば、プロセッサ３３０８は、ピーク検出回路３３０６が実装されている集積回路チップとは物理的に分離され、別個である集積回路チップに実装されてもよい。プロセッサ３３０８は、各測定に対して複数のレジスタ３３０４に格納されたピークの各々を受信し得、距離及び／またはタイミング計算を実行して、光学測定システムと周囲環境の反射物体との間の距離を決定し得る。例として、プロセッサ３３０８は、格納されたピークのヒストグラム部分（またはフィルタリングされた部分）に補間フィルタを適用することができる。幾つかの実施形態では、レジスタ３３０４は、フィルタリングされていないバージョンのデータをプロセッサ３３０８に送り得る。例えば、プロセッサ３３０８は、ローパスフィルタリングまたは整合フィルタリングされていないヒストグラムメモリ８０６から生データを受信し得る。他の実施形態では、フィルタリングされたデータは、代わりにプロセッサ３３０８に渡され得る。

【０２５３】
マスキング回路３３０２は、複数のレジスタ３３０４に格納されたピークを使用して、ピーク検出回路３３０６に、ピーク検出回路３３０６の後続の実行から、すでに検出されているピークを除外させることができる。幾つかの実施形態では、マスキング回路３３０２は、ピーク検出回路３３０６の実行から除外することができるヒストグラムメモリ８０６内のアドレスの範囲を含む時間ビンの範囲を送ることができる。幾つかの実施形態では、マスキング回路３３０２は、閾値を超えるピークがピーク検出回路３３０６の実行から除外され得るように、閾値を送ることができる。幾つかの実施形態では、マスキング回路３３０２は、マスク及び／または閾値がピーク検出回路３３０６で内部に格納されるように、ピーク検出回路３３０６と集積され得る。他の実施形態では、マスキング回路３３０２及びピーク検出回路３３０６は、それらの機能を集積回路上の異なる領域に分離し得る。

【０２５４】
この回路は、ヒストグラムメモリ８０６に格納されたデータ値に１または複数のフィルタを適用するために使用されるフィルタ３３１０を任意選択で含み得る。これらのフィルタは、遷移信号を平滑化し、信号対雑音比（ＳＮＲ）を向上させ、及びピークの幅を増加させるためなどのローパスフィルタを含み得る。これらのフィルタはまた、光源から放出されたパルス列パターンを識別するように構成された整合フィルタも含み得る。任意のフィルタ３３１０は、ピーク検出回路３３０６の動作前、動作後、または動作中に適用され得る。例えば、ピーク検出回路３３０６は、ＡＬＵ８０４から受信された生のヒストグラムデータを動作し得る。幾つかの実施形態では、ピーク検出回路３３０６は、フィルタ３３１０のうちの１または複数が適用された後、ヒストグラムメモリ内のレジスタ上で動作し得る。幾つかの実施形態は、ピーク検出回路３３０６がフィルタリングされたデータを処理し、次いで、フィルタリングされたピークに対応するフィルタリングされていないデータをオフチッププロセッサ３３０８に渡すことを可能にし得る。

【０２５５】
ＸＩＶ．マルチピーク検出のための方法
ヒストグラムメモリ内の複数のピークを反復的または再帰的に検出する方法は、パルス列を送信すること、反射信号及び周囲光信号を受信すること、ヒストグラムメモリ内の光子カウントを累積すること、及びヒストグラム内のピークを識別することを、を含む上位レベルのプロセスを含み得る。これらの方法はまた、ヒストグラムメモリ内のピークを段階的に検出するためにピーク検出回路を複数回実行することを含む下位レベルのプロセスも含み得る。このセクションは、最初に、ピーク検出回路を複数回実行するための下位レベルのプロセスを説明する。次に、このセクションは、下位レベルのプロセスを使用して測定を完了するための上位レベルのプロセスを説明する。

【０２５６】

図３４は、幾つかの実施形態による、測定において複数のピークを検出するための方法のフローチャートを示す。この方法は、上述したピーク検出回路によって実行することができる。

【０２５７】

ブロック３４０２において、方法は、最大ピークを識別するためにヒストグラムメモリを循環することによって始めることができる。例えば、ピーク検出回路は、ヒストグラムメモリに格納された値を取り出すために、アドレスまたはアドレスの範囲をヒストグラムメモリに連続的に送ることができる。ヒストグラムメモリから取り出された各値は、格納されている最大値と比較して、ヒストグラムメモリ内の全体的な最大値を見つけることができる。次に、上述した方法を使用して、ピーク検出回路は、ヒストグラムメモリ内の最大値を囲むピークを定義することができ、これは、最大値を有する時間ビンを囲むヒストグラムメモリ内の複数の時間ビンを含み得る。

【０２５８】

ブロック３４０６において、この方法は、ピーク検出回路の現在の実行において検出されたピークが、ピーク検出回路の前の実行において検出されたピークと共に、閾値を満たすか超えるかを任意選択で決定し得る。上述したように、この閾値は、事前定義された数のピーク、及び／または事前定義された基準を満たす可変数のピーク、例えば、所定の時間間隔内に含まれるピーク、及び最大ピークの最大値の閾値パーセンテージ内のピークなどを含み得る。閾値化が実行されない場合、方法はブロック３４１０に進み得る。幾つかの実装態様では、閾値化の代わりに、ブロック３４０６は、ピークの数が最大に達したかどうかを決定し得る。

【０２５９】

ブロック３４０８において、検出されたピークが閾値を満たすかまたは超える場合、方法は継続し、距離及び／またはタイミング計算のために、格納されたピークをプロセッサに送り得る。

【０２６０】

ブロック３４１０において、検出されたピークの数がまだ閾値を満たさないか超えない場合、方法は、ピーク検出回路の現在の実行からの最大ピークを、ピーク検出回路の前の実行から検出された任意のピークと共に格納することによって継続し得る。

【０２６１】

ブロック３４１２において、この方法は、ピーク検出回路の後続の実行から、格納されたピークの各々を除外するためのマスク及び／または閾値を生成することを含み得る。上述したように、マスク及び／または閾値は、ピーク検出回路に、前に識別されたピークに属する時間ビンの範囲内にある最大値を無視させ得る。マスク及び／または閾値はまた、ピーク検出回路に、閾値を満たすかまたは超える最大値を無視させ得る。次に、この方法は、ブロック３４０２で継続し、ヒストグラムメモリを再度循環して、前に識別された最大ピークの外にある別の最大ピークを識別し得る。

【０２６２】

図３５は、幾つかの実施形態による、複数のピークを検出するために光学測定システムを使用するための方法を示している。ブロック３５０２において、この方法は、光学測定の一部として、１または複数の第１時間間隔にわたって１または複数のパルス列を送信することを含み得る。第１時間間隔の各々は、上述したようなショット時間間隔に対応し得、第１時間間隔の各々は、送信されるパルス列のうちの１つに対応し得る。これらのパルス列は、光学測定システムの光源によって送信することができ、各々が１または複数の個々のパルスを含み得る。

【０２６３】

ブロック３５０４において、方法はまた、１または複数のパルス列からの光子及び光子を検出することも含み得る。周囲光からの光子も検出され得る。パルス列及び周囲光は、光センサ上の複数の光検出器を使用して検出され得る。光検出器は、単一光子アバランシェダイオード（ＳＰＡＤ）を使用して実装され得る。光検出器は、光子が受信されたとき

に信号を生成し得、閾値化回路は、光子が受信されたことを示すために正の信号を生成し得る。ＡＬＵは、ＡＬＵクロックサイクル中にこれらの正の信号を集計して、ＡＬＵクロックサイクル中に光子カウントを生成し得る。

【０２６４】

ブロック３５０６において、この方法は加えて、光検出器からの光子カウントをレジスタに累積して、複数の第１レジスタ内の光子カウントのヒストグラムを表現することを含み得る。複数の第１レジスタは、上述したようなヒストグラムデータパスのＳＲＡＭ内のレジスタを含み得る。第１時間間隔の各々は、ヒストグラムのために複数の第１時間ビンに細分化され得る。１または複数の第１時間間隔の各々における対応する時間ビンは、複数の第１レジスタ内の単一のレジスタ内に累積され得る。第１時間間隔の各々は、ショットを表現し得、一緒に、１または複数の第１時間間隔は、光学測定システムの測定を表現し得る。第１時間間隔の各々は、ヒストグラムを表現するメモリをヒストグラム内の第１レジスタにリセットする開始信号またはショット信号によって定義され得る。光子カウントは、上述したＡＬＵなどのデータパス内の算術論理回路によって集計され得る。

【０２６５】

ブロック３５０８において、この方法は、ピーク検出回路の複数の実行を通じて、複数の第１レジスタによって表現されるヒストグラム内の複数のピークを識別することを更に含み得る。ピーク検出回路を実行するたびに、ヒストグラムの最大ピークを識別し得る。上述したように、ピーク検出回路は、ヒストグラムメモリ内の時間ビンをトラバースして最大値を識別し、次に、最大値を有するピークを表現する複数の時間ビンを識別し得る。加えて、ピーク検出回路の前の実行中に最大ピークとして識別されたピークは、ピーク検出回路の後続の実行中に最大ピークとして識別されることから除外され得る。これらの前に識別されたピークは、上で詳述したように、時間ビンマスク及び／または閾値を使用して除外され得る。

【０２６６】

ＸＶ．集積レジスタを用いる閾値の計算

上述した実施形態の幾つかは、測定において１または複数のピークを再帰的または反復的に検出するためのシステム及び方法を説明している。これらの再帰的または反復的な方法は、測定が行われる周囲環境に関する追加情報を伴わずにピークを識別するのに役立つ場合がある。具体的には、周囲光レベル、背景ノイズ、及び反射光強度などに関する情報は必要とされない。代わりに、これらの方法は、上述した反復または再帰回路を使用して、測定において所定の数のピークを識別するなど、基準が満たされるまで、測定において残っている最大の未確認のピークを連続的に識別する。

【０２６７】

反復的または再帰的な方法を使用する代わりに、幾つかの実施形態は、代わりに、周囲環境から測定された情報を使用して閾値を計算し得る。例えば、背景ノイズレベルは、上述した１または複数の集積レジスタを使用して、周囲環境から測定することができる。集積レジスタは測定中に受信された合計光子カウントを表現するので、この合計光子カウントを、集積レジスタが有効化された合計時間で除算して、周囲環境から受信されたＬＩＤＡＲ光源の波長またはその近傍の周囲光光子を表現する背景ノイズレベルを計算することができる。幾つかの実施形態は、任意選択で、背景ノイズレベルの計算から、光学測定システムによって放出された１または複数のパルス列から生じるあらゆる反射光ピークを除去し得る。次に、この背景ノイズレベルを使用して、閾値が導出された測定においてピークを検出するための閾値を計算することができる。

【０２６８】

測定におけるピークを検出するための閾値を計算することによって、多くの技術的な利点が実現され得る。例えば、閾値により、各測定が、その測定中に存在する背景ノイズレベルに基づいて測定固有の閾値を設定することを可能にする。またこれにより、測定において複数のピークを検出するために単一の閾値を使用することが可能になるため、閾値は１回だけ計算される必要がある。更に、単一の閾値により、ピーク検出回路はヒストグラ

ムメモリを通じて単一パスを行うことが可能になる。ヒストグラムメモリを通じて複数のパスを行うには、各パスに対して追加の時間及び電力が必要である。各識別されたピークに対してヒストグラムメモリを通じてパスを必要とする代わりに、これらの方法は、単一パスのみで複数のピークを識別することを可能にするため、複数のピークを識別するために必要な時間と電力が削減される。

【０２６９】

複数のピークを識別するための閾値は、幾つかの異なる技術を使用して計算され得る。例えば、背景ノイズレベルの推定値は、光学測定システムによって取得または計算することができる。次に、この背景ノイズレベルの推定値を使用して、以下により詳細に記載するように閾値を設定することができる。背景ノイズレベルの推定は、幾つかの異なる技術を使用して完遂され得る。幾つかの実施形態は、背景ノイズレベルを推定するために、測定においてショット間で受信された光の統計的サンプリングを使用し得る。他の実施形態は、上述した集積レジスタを利用し得る。

【０２７０】

Ａ．背景ノイズの推定

図３６は、幾つかの実施形態による、複数のショットから生じる光学測定システムで検出された光のグラフを示している。この例では、ショットの各々は、少なくとも第１ピーク３６０６及び第２ピーク３６０８を受信し得る。図２６に明示的に示されていないグラフの右側を超えて時間が継続すると、追加のピークが受信される可能性があることに留意されたい。第１ピーク３６０６及び／または第２ピーク３６０８は、光学測定システムの光源から前に放出された１または複数のパルス列からの光子から生じ得る。幾つかの環境では、第１ピーク３６０６及び／または第２ピーク３６０８はまた、周囲環境における他の反射または光源から生じ得る。

【０２７１】

上述したように、幾つかの実施形態は、ヒストグラムのピークを識別する前に、ヒストグラムメモリの内容に様々なフィルタを適用し得る。例えば、ヒストグラムデータにローパスフィルタを適用し得る。幾つかの実施形態は、追加的または代替的に、ヒストグラムデータに整合フィルタを適用し得る。閾値を有する複数のピークを識別するためのこれらの実施形態は、フィルタリングされたデータとフィルタリングされていないデータとの両方で使用され得る。したがって、図３６のグラフは、制限を伴わずに交換可能にフィルタリングされたまたはフィルタリングされていないヒストグラムデータのいずれかとみなすことができる。

【０２７２】

グラフの縦軸は、光センサのアレイ内の１つの光センサが受信した光子カウントを表現し得る。横軸は時間を表現し得る。これらの光子は、ヒストグラムメモリの信号のデジタル化された表現を格納するために複数のショットで受信された可能性がある。したがって、図３６の縦棒の各々は、ヒストグラムメモリ内の単一の時間ビンを表現し得る。図３６に示されるヒストグラムメモリの時間ビンの各々に格納された値はまた、測定の過程にわたり１または複数の集積レジスタに集計され得ることに留意されたい。集積レジスタの値を示す代わりに、集積レジスタは上述したように動作して、測定においてショット前、ショット間、及び／またはショット後に発生した任意の光子カウントと共に、グラフの縦棒の各々に光子カウントを含めることができることを理解すべきである。

【０２７３】

上述したように、幾つかの実施形態は、単一の集積レジスタを含み得るが、他の実施形態は、複数の集積レジスタを含み得る。どちらの集積レジスタ構成も、背景ノイズレベルを推定し、ピーク検出閾値を生成するためのこれらの方法と互換性がある。したがって、本明細書では、「集積レジスタ」という用語を、単一の集積レジスタを指すために使用することがあり、また測定にわたって光子カウントの集計的な合計を提供する複数の集積レジスタを指すために使用することがある。

【０２７４】

第１ピーク３６０６は、上述したように複数の時間ビンを含む第１ウィンドウ３６０２と関連付けられ得る。第２ピーク３６０８もまた、同じ様態で第２ウィンドウ３６０４と関連付けられ得る。したがって、第１ウィンドウ３６０２及び第２ウィンドウ３６０４の時間ビンは、それぞれ、第１ピーク３６０６及び第２ピーク３６０８と関連付けられ得る。第１ウィンドウ３６０２及び第２ウィンドウ３６０４の外の残っている時間ビンは、背景時間ビン３６１０と称されることがある。背景時間ビン３６１０は、測定または他の強力な光源または反射の一部としての反射パルス列と関連付けられていないため、これらの時間ビンの各々の間に受信された背景ノイズを表現し得る。

【０２７５】

背景ノイズレベルは、背景時間ビン３６１０の値によって決定され得る。例えば、背景ノイズレベルは、ヒストグラムデータの標準偏差分析を使用して推定され得る。この分析は、第１ウィンドウ３６０２及び第２ウィンドウ３６０４で発生する外れ値の時間ビンを除去し、背景時間ビン３６１０で見つかった値を平均化して、背景ノイズレベルを計算し得る。代替的に、背景ノイズの推定値として、第１ウィンドウ３６０２及び第２ウィンドウ３６０４の外の背景時間ビン３６１０のヒストグラム値のサンプルが取得され得る。

【０２７６】

ヒストグラムメモリの内容のみに依存する代わりに、幾つかの実施形態は、追加的または代替的に、集積レジスタの合計光子カウントを使用して、背景ノイズレベルを計算し得る。集積レジスタに格納された合計値は、測定における背景ノイズレベルを推定するためのより正確で計算コストの低い方法を提供し得る。集積レジスタは、既知の時間間隔にわたって光センサによって受信された全ての光子の全体的な合計を格納するため、この値を集積動作が行われた合計時間間隔で除算して、背景ノイズを推定することができる。例えば、集積ＡＬＵ及び／または集積レジスタをクロックする周期信号のクロックサイクルの数は、集積レジスタ内の合計光子カウントと共に追跡され得る。次に、合計光子カウントをクロックサイクルの数で除算して、背景ノイズレベルを計算してもよい。

【０２７７】

幾つかの実施形態はまた、背景ノイズレベルを計算するときに集積レジスタによって記録された任意のピーク３６０６、３６０８を補償し得る。図３６は、時間に関して一定の比率で描かれていないことに留意されたい。実際のリターンパルスは、通常、集積レジスタに記録された全体的な集積値のごくわずかな部分を構成する。したがって、戻りパルスに起因して受信された光子は、測定全体を通して背景ノイズに起因して受信された光子の全体的な数と比較して無視できるとみなされることがある。ピーク内の光子が背景ノイズレベルの推定に影響を与える程度は、全体的な集積時間と比較したウィンドウ３６０２、３６０４のサイズに依存する可能性がある。ウィンドウ３６０２、３６０４のサイズが全体的な集積時間と比較して小さい場合（例えば、５％未満）、背景ノイズ推定に対するそれらの効果は無視できるとみなすことができ、及び合計信号光子カウントを使用して、背景ノイズレベルを推定することができる。

【０２７８】

しかしながら、ウィンドウ３６０２、３６０４のサイズが合計集積時間のごくわずかな部分を超える（例えば、１０％を超える）場合、背景ノイズレベルをより正確に推定するために追加のステップをとることができる。例えば、ウィンドウ３６０２、３６０４中に受信された光子は、集積レジスタの値から差し引くことができる。ウィンドウ３６０２、３６０４の時間ビン中のヒストグラムレジスタの光子カウントは、集積レジスタの値から差し引くことができる。加えて、ウィンドウ３６０２、３６０４の長さは、全体的な集積時間から差し引くことができる。次に、集積レジスタ内の合計光子カウントの変更された値を、変更された集積時間で除算して、背景ノイズ値をよりよく推定することができる。これにより、光学測定システムは、背景ノイズレベルを計算するときに、複数の強いピークが他の場合には有するであろう効果を低減することが可能になり得る。

【０２７９】

図３７は、幾つかの実施形態による、ヒストグラムメモリ内の受信された光子カウント

と比較された推定背景ノイズレベル３６１０を示している。上述したプロセスのいずれかを使用して、測定のために背景ノイズレベル３７１２を計算することができる。任意選択で、第１間隔３６０２及び／または第２間隔３６０４中に受信された光子カウントは、上記のセクションに記載したように、第１ウィンドウ３６０２及び／または第２ウィンドウ３６０４中に受信された光子カウントを差し引くことによって推定手順から除去され得る。これは、背景時間ビン３６１０に格納された背景ノイズレベルの実際の平均に非常に近い推定背景ノイズレベル３７１２をもたらす可能性がある。

【０２８０】

推定された背景ノイズレベル３７１２は、光学測定システムによって、幾つかの異なる信号処理手順に使用され得る。幾つかの実施形態では、推定された背景ノイズレベル３７１２は、それらが距離測定のために分析される前に、ピーク３６０６、３６０８の各々から差し引かれ得る。例えば、推定された背景ノイズレベルは、第１ウィンドウ３６０２及び第２ウィンドウ３６０４の時間ビンなど、識別されたピークと関連付けられた時間ウィンドウ内にあるヒストグラムレジスタ内の各時間ビンから差し引かれ得る。背景ノイズレベルを差し引くと、識別されたピークと関連付けられた時間ビンの各々における光子カウントが減少する可能性があり、これにより、ピークに対するより正確な大きさの測定を提供することができる。

【０２８１】

幾つかの実施形態は、ヒストグラムメモリ内のピークを検出し、距離計算、データ視覚化、及び他のデータ分析動作のためにそれらのピークを記述する情報を別個のプロセッサに渡すことができる集積回路チップに、ヒストグラムデータパス及び集積データパスを実装し得る。幾つかの実装態様は、ピーク３６０６、３６０８の信号強度に関する情報を渡すことができ、これらのピークの強度（すなわち、大きさ）は、それらの時間的位置に加えて使用され得る。集積回路からピークデータを渡す前に、推定された背景ノイズレベル３７１２を信号フロアとして使用し、ピーク３６０６、３６０８から差し引くことができる。これは、それらのピーク３６０６、３６０８の形状及び／または高さが分析される前に、背景ノイズレベルを除去することによって、パルスの大きさのより正確な特徴付けを提供し得る。

【０２８２】

Ｂ．検出閾値の設定

図３８は、幾つかの実施形態による、推定された背景ノイズを使用して、ヒストグラムメモリ内のピークを検出するための信号閾値を設定することができるグラフを示している。背景ノイズレベル３７１２を推定した後、その推定は、ピーク３６０６及び／またはピーク３６０８などのヒストグラムメモリ内のピークを検出するための閾値３８０２を設定するためのベースラインとして使用され得る。背景ノイズレベル３７１２をベースラインとして使用することにより、背景ノイズレベル３７１２を上回る距離に閾値を設定することにより、背景時間ビン３６１０内で識別されたあらゆる背景ノイズをピークとして除外することができるように閾値を設定することができる。

【０２８３】

幾つかの実施形態は、推定された背景ノイズレベル３７１２から始まり、背景ノイズレベル３７１２の所定のパーセンテージを追加して、所望の閾値を計算し得る。背景ノイズレベル３７１２を増加させることができる所定のパーセンテージは、１０％、２０％、３０％、４０％、５０％、７５％、１００％、１２５％、及び１５０％などであり得る。例えば、図３８は、背景ノイズレベル３７１２を約１２５％増加させることによって設定された閾値３８０２を示している。これにより、各測定の閾値を背景ノイズレベル３７１２の大きさに応じてスケーリングすることが可能になる。背景ノイズが多い環境では、閾値３８０２を比例的に増加させて、ノイズの多い環境で、より大きいマージンを提供することができる。

【０２８４】

幾つかの実施形態はまた、背景ノイズレベル３７１２を特定のパーセンテージだけ増加

させる代わりに、背景ノイズレベル３７１２に所定の値を追加して、閾値３８０２を生成することができる。例えば、図３８の閾値３８０２は、所定の光子カウントを背景ノイズレベル３７１２に追加することによって設定することができる。これは、様々なレベルの背景ノイズに関して一定である背景ノイズレベル３７１２を超える一定のマージンを提供し得る。

【０２８５】

上述したように平均背景ノイズレベルの推定値を使用する代わりに、幾つかの実施形態は、背景時間ビン３６１０で最大値を見つけ、その最大値に基づいて閾値を生成することができる。例えば、最大値は、背景時間ビン３６１０で識別され得、閾値は、平均値または平均値ではなく、最大値に基づいて、上述した方法のいずれかを使用して設定され得る。これにより、平均または平均値に基づいた閾値３８０２よりも高い閾値３８０４が生成され得る。より高い閾値３８０４は、測定において全ての背景時間ビン３６１０を除外するように計算されるマージン３８０８を保証し得る。

【０２８６】

ＸＶＩ．単一パスピーク検出

測定の閾値が決定されると、その閾値は、測定における任意のピークを識別するためにヒストグラムメモリを通じて単一パスを行うために、ピーク検出回路によって使用することができる。上述した反復的及び／または再帰的な方法は、閾値を生成することによってピークを段階的に識別し、したがって、複数のピークを識別するために、ヒストグラムメモリを通じて複数のパスを必要とし得る。対照的に、事前に閾値を計算するこれらの実施形態は、ヒストグラムメモリを通じて単一パスを使用して複数のピークを識別し得る。

【０２８７】

Ａ．ピークの検出

再び図３８を参照すると、図示された閾値のいずれかを使用して、ピークを識別することができる。１または複数のピークを識別するために、ピーク検出回路は、ヒストグラムメモリを通じてパスを行い得る。本明細書で使用される場合、「パス」という用語は、ヒストグラムメモリ内のメモリ位置に連続的にアクセスし、メモリ位置に格納された光子カウントを閾値に対して評価する動作または動作のセットを指すことがある。例えば、ヒストグラムメモリを通じたパスは、ヒストグラムメモリにアドレスまたはアドレス範囲を提供すること、それらのアドレス指定された位置から光子カウントを取得すること、及び／またはそれらの光子カウントを１または複数の閾値と比較することを含み得る。

【０２８８】

図３８の例では、グラフの縦棒によって表される時間ビンの各々は、ヒストグラムメモリ内の位置を表現し得る。上述したように、これらの位置は、複数のショットにわたって受信された光子カウントのヒストグラムを格納する「複数の第１レジスタ」と称されることがある。グラフの縦棒で示されるこれらのメモリ位置の値は、ヒストグラムメモリ内で順次アクセスされ、閾値３８０４などの閾値と比較され得る。メモリ位置に閾値３８０４を超える値が含まれる場合、そのメモリ位置はピークに属しているものとして識別され得る。例えば、ピーク３６０６の９個の中間メモリ位置（または他の数）は、それらのメモリ位置の各々に格納された光子カウントが閾値３８０４を超えるので、ピークに属するものとして識別され得る。

【０２８９】

ヒストグラムメモリ内の１または複数のメモリ位置がピークに属するものとして識別されると、上で詳述した技術を使用して、それらのメモリ位置を囲むピークウィンドウを決定することができる。例えば、ピーク３６０６の中央メモリ位置が閾値３８０４を超えるものとして識別されると、第１ウィンドウ３６０２は、上述した様々な方法によって決定され得る。これらの方法は、第１ウィンドウ３６０２の一部としてピークを囲む所定の数の時間ビンを指定すること、及び第１ウィンドウ３６０２の一部として下限閾値を超える周囲の時間ビンを指定することなどを含み得る。

【０２９０】

Ｂ．オフチップでのピークのパス

上述したピーク検出方法は、ヒストグラムメモリ、ピーク検出回路、及び閾値検出回路を含む集積回路上で実行することができる。この集積回路は、距離計算、画像生成、及び画像処理などのために検出されたピークを分析するプロセッサとは分離され、別個である単一チップパッケージに実装することができる。したがって、幾つかの実施形態は、ヒストグラムメモリ内のピークを検出し、それらのピークを含む時間ビンのウィンドウを指定し、それらのピークを説明する情報を集積回路から別のプロセッサにパスすることができる。

【０２９１】

図３９は、幾つかの実施形態による、オフチップでプロセッサにパスされ得る閾値動作によって検出されたピークウィンドウを示している。この例では、図３８から検出されたピークを含む第１ウィンドウ３６０２及び第２ウィンドウ３６０４は、残りのヒストグラムメモリから抽出され得る。ピークを含む時間ウィンドウは、ヒストグラムメモリ内のショット及び／または測定値を表現する全体的な時間と比較して比較的小さい可能性があることを想起されたい。したがって、オンチップピーク検出により、集積回路からプロセッサにストリーミングする必要のあるメモリの量が大幅に削減される。

【０２９２】

幾つかの実施形態は、ピークに属するものとして識別されたヒストグラムメモリから値を読み取り、それらの値をオフチッププロセッサにパスすることができる。例えば、ピーク３６０６の時間ビンに属する光子カウントを表現する数のストリームをプロセッサに送ることができる。加えて、幾つかの実施形態は、検出されたピークの始まり／終了の相対的なタイミング情報を提供する識別子を送ることができる。例えば、時間ビン番号、メモリ位置アドレス、またはその他の識別子を使用して、測定のどこで識別されたピークが開始／終了するかを指定することができる。

【０２９３】

上述したように、識別されたピークを表現するヒストグラムメモリ内のデータ値は、実施形態に応じて、フィルタリングされた及び／またはフィルタリングされていない形式でプロセッサにオフチップでパスされ得る。例えば、光センサから受信された光子カウントを表現する生のヒストグラム値をプロセッサに送ることができる。集積回路で行われる任意のフィルタリングは、必要に応じてプロセッサによって複製され得る。これにより、プロセッサはフィルタリングされていないデータを使用することが可能になるが、任意の動作がフィルタリングされたデータを必要とする場合、プロセッサが、依然としてフィルタリングされていないデータを個別にフィルタリングすることを可能にする。幾つかの実施形態は、ローパスフィルタ、整合フィルタなどを含む、上述したフィルタリングオプションのいずれかを使用してフィルタリングされたデータを代替的または追加的に送ることができる。

【０２９４】

ＸＶＩＩ．閾値及びピーク検出回路

図４０は、幾つかの実施形態による、閾値を計算し、ヒストグラムメモリ内の１または複数のピークを検出するための回路を示している。この例は、ヒストグラムデータパス及び集積データパスをどのように同じ集積回路で組み合わせるかを示している。ヒストグラムデータパスは、ヒストグラムメモリ８０６、クロック８１０、ショット信号８１４、測定信号８１２、及び周期信号５６０、８０８などを含む、図８に示される回路素子のいずれかを含み得る。ヒストグラムデータパスは、集積レジスタ１００４、クロック１００３、周期信号１０１１、及び集積信号１００８などを含む、図１０に示される回路素子のいずれかを含み得る。集積レジスタ１００４はまた、図１２に示されるように、複数の個別のレジスタも含み得る。この実施形態では、集積データパス及びヒストグラムデータパスは、ＡＬＵ８０４を共有し得る。例えば、ＡＬＵ８０４の第１ステージは、光検出器からの正の信号８１６を集計することができ、ＡＬＵ８０４の１または複数の第２ステージは、この値を、ヒストグラムメモリ８０６内の時間ビン内の現在の値８２０及び集積レジス

タ１００４内の現在の値１０１０に追加することができる。集積信号１００８は、測定信号８１２及び／またはショット信号８１４とは独立してタイミングを合わせてもよい。

【０２９５】

測定が完了すると、閾値検出回路４００２は、上述した様々な方法を使用して、ピーク検出のための１または複数の閾値を計算し得る。例えば、閾値検出回路４００２は、集積レジスタ１００４から合計光子カウントを受信または集計して、背景ノイズレベルを推定することができる。代替的に、閾値検出回路４００２は、ヒストグラムメモリ８０６の内容から背景ノイズレベルを導出するために、反射ピークに対応しない背景時間ビンからサンプリングするか、または他の統計的な方法を使用することができる。閾値検出回路４００２は、背景ノイズレベルをスケーリングするか、または背景ノイズレベルに値を追加して、１または複数の閾値を生成してもよい。

【０２９６】

閾値検出回路４００２は、１または複数の計算された閾値をピーク検出回路４００４にパスすることができる。ピーク検出回路は、ヒストグラム内の１または複数のピークを識別するために、閾値検出回路４００２によって計算された１または複数の閾値を使用して、ヒストグラムメモリ８０６を通じてパスを行うことができる。幾つかの実施形態は、ヒストグラムメモリ８０６を通じて単一パスのみを使用して、複数のピークを識別することができる。次に、ピーク検出回路４００２は、上述した方法を使用して、識別されたピークを囲むウィンドウまたは間隔を識別することができる。

【０２９７】

ヒストグラムデータパスの要素、集積データパスの要素、閾値検出回路４００２、及びピーク検出回路４００４は、第１集積回路４０２０に実装することができる。例えば、第１集積回路４０２０は、光学測定システム内の他の集積回路チップから物理的に分離され、別個である半導体材料のユニットに実装されたこれらの個々の回路の各々を含み得る。

【０２９８】

幾つかの実施形態では、ピーク検出回路４００４は、ピークを表現する間隔をオフチッププロセッサ４００８にパスし得る。オフチッププロセッサ４００８は、図２の測距システムコントローラ２５０に対応し得る。オフチッププロセッサ４００８は、第２集積回路４０２２に実装され得る。第２集積回路４０２２は、物理的に分離され、第１集積回路４０２０とは分離され、別個であり得る。例えば、第１集積回路４０２０と第２集積回路４０２２との間の通信は、プリント回路基板上のトレースを介して、集積回路４０２０、４０２２のピンまたはパッド間で信号を送信することを含み得る。

【０２９９】

幾つかの実施形態では、ピーク検出回路４００４は、ピークを表現する間隔を、ピーク検出回路４００４によって検出されるときにオフチッププロセッサ４００８にパスし得る。他の実施形態は、識別されたピークの各々を格納し、それらが全て検出されたら、ピークをオフチッププロセッサ４００８に一緒に送信し得る。例えば、レジスタ４００６の第２セットは、それらがピーク検出回路４００４によって識別されるときに、識別されたピークを表現する情報を格納し得る。レジスタ４００６の第２セットは、ヒストグラムメモリ８０６内のアドレス範囲、ヒストグラムメモリ８０６からの値、及びヒストグラムメモリ８０６からの時間ビン番号などを格納し得る。レジスタ４００６の第２セットは、ヒストグラムメモリ８０６よりもサイズが大幅に小さくてもよい。ヒストグラムメモリ８０６は、光子カウントのヒストグラムの内容全体を格納することができるが、レジスタ４００６の第２セットは、ヒストグラム内の限られた数のピークを表現する情報（または情報への参照）のみを格納する必要があり得る。その結果、レジスタ４００６の第２セットに格納された情報は、ヒストグラムメモリ８０６に格納された情報よりも大幅に少ないので、第１集積回路４０２０と第２集積回路４０２２との間でこの情報をパスするために必要な帯域幅及びメモリは、これらの実施形態によって大幅に削減され得る。

【０３００】

図４０では別個の回路素子として示されているが、閾値検出回路４００２、ピーク検出

回路４００４、及び／またはレジスタ４００６の第２セットは、限定されることなく任意の組み合わせで実装され得る。例えば、閾値検出回路４００２は、２つの回路間のいかなる機能的分離も伴わずに、ピーク検出回路４００４の集積された部分であり得る。代替的に、閾値検出回路４００２及びピーク検出回路４００４は、データパスにおいて機能的に分離され得る。

【０３０１】

ＸＶＩＩＩ．閾値ピーク検出のための方法

図４１は、幾つかの実施形態による、複数のピークを検出するために光学測定システムを使用するための方法を示している。

【０３０２】

ブロック４１０２において、この方法は、光学測定の一部として、１または複数の第１時間間隔にわたって１または複数のパルス列を送信することを含み得る。第１時間間隔の各々は、上述したようなショット時間間隔に対応し得、第１時間間隔の各々は、送信されるパルス列のうちの１つに対応し得る。これらのパルス列は、光学測定システムの光源によって送信することができ、各々が１または複数の個々のパルスを含み得る。

【０３０３】

ブロック４１０４において、方法はまた、１または複数のパルス列からの光子及び光子を検出することも含み得る。周囲光からの光子も検出され得る。パルス列及び周囲光は、光センサ上の複数の光検出器を使用して検出され得る。光検出器は、単一光子アバランシェダイオード（ＳＰＡＤ）を使用して実装され得る。光検出器は、光子が受信されたときに信号を生成し得、閾値化回路は、光子が受信されたことを示すために正の信号を生成し得る。ＡＬＵは、ＡＬＵクロックサイクル中にこれらの正の信号を集計して、ＡＬＵクロックサイクル中に光子カウントを生成し得る。

【０３０４】

ブロック４１０６において、この方法は、光検出器からの光子カウントをレジスタに累積して、複数の第１レジスタ内の光子カウントのヒストグラムを表現することを更に含み得る。複数の第１レジスタは、上述したようなヒストグラムデータパスのＳＲＡＭ内のレジスタを含み得る。第１時間間隔の各々は、ヒストグラムのために複数の第１時間ビンに細分化され得る。１または複数の第１時間間隔の各々における対応する時間ビンは、複数の第１レジスタ内の単一のレジスタ内に累積され得る。第１時間間隔の各々は、ショットを表現し得、一緒に、１または複数の第１時間間隔は、光学測定システムの測定を表現し得る。第１時間間隔の各々は、ヒストグラムを表現するメモリをヒストグラム内の第１レジスタにリセットする開始信号またはショット信号によって定義され得る。光子カウントは、上述したＡＬＵなどのデータパス内の算術論理回路によって集計され得る。光検出器からの光子カウントの累積は、第１集積回路上で実行され得る。複数の第１レジスタはまた、第１集積回路上に存在し得る。

【０３０５】

ブロック４１０８において、この方法は、ヒストグラム内の１または複数のピークを識別するための閾値を提供することを更に含み得る。幾つかの実施形態では、閾値は、現在の測定中にいずれの計算も必要としないデフォルトの閾値を含み得る。例えば、閾値は前の測定から再利用されてもよく、または前の測定で使用された閾値に基づいて計算されてもよい。閾値は、現在の測定に固有の閾値が計算されない限り、使用されるデフォルトの閾値になる場合もある。

【０３０６】

幾つかの実施形態では、背景ノイズレベルが決定され、閾値を計算するために使用され得る。背景ノイズレベルは、測定と重なる時間間隔に存在する合計光子カウントを累積する集積レジスタを使用して決定され得る。例えば、合計光子カウントは、集積レジスタが有効化された時間で除算され得る。合計光子カウントを計算するために、複数の集積レジスタが使用及び集計され得る。背景ノイズレベルは、後で、任意の識別されたピークから削除され得る。加えて、背景ノイズレベルを使用して閾値を生成してもよい。例えば、閾

値は、それが背景ノイズレベルの所定のパーセンテージまたはそれを超える値であるように計算され得る。これらの動作は、図４０のピーク検出回路４００４及び閾値検出回路４００２によって実行される方法を含む、上述した方法のいずれかを使用して実行され得る。閾値は、複数の第１レジスタを備える第１集積回路上に実装された回路によって提供され得る。集積レジスタはまた、第１集積回路に実装することもできる。

【０３０７】

ブロック４１１０において、この方法は加えて、閾値を有する複数の第１レジスタを通じてパスを行うことによって（閾値による複数の第１レジスタを通じるパスを形成することによって）、ヒストグラム内で表現される１または複数のピークを識別することを含み得る。上述したように、複数の第１レジスタを通じたパスは、ヒストグラムメモリから値を連続的に取り出し、それらを閾値と比較する動作または動作のセットを含み得る。ピークの識別は、閾値を超える値を識別すること、及び閾値を超える値を囲む時間ウィンドウまたは時間間隔を識別することを含み得る。時間ウィンドウは、ヒストグラムメモリの時間ビン内の複数の値と、その間隔がヒストグラムメモリ内でいつ発生したかを示すものを含み得る。幾つかの実施形態は、１または複数のピークを、レジスタ４００６の第２セットなどの別個のレジスタのセットに格納し、１または複数のピークを、フィルタリングされた及び／またはフィルタリングされていない形式でオフチッププロセッサにパスすることができる。ピークは、第１集積回路で識別され得る。

【０３０８】

ブロック４１１２において、この方法は、閾値を使用して検出された１または複数のピークを説明する情報を第２集積回路上のプロセッサに送ることを更に含み得る。上記の図４０に示されるように、プロセッサは、別個の集積回路上に実装されるオフチッププロセッサを含み得る。第１集積回路は、第２集積回路とは物理的に分離され、別個であり得る。プロセッサは、周囲環境の対象物から反射されたパルス列から生じる１または複数のピークのピークを識別するように構成され得る。プロセッサはまた、距離計算を実行し、画像を生成し、かつ／または第１集積回路から送信された１または複数のピークを記述する情報に対して他の処理機能を実行するように構成され得る。１または複数のピークを記述する情報は、ヒストグラムの時間ビンで受信された光子カウントを表す複数の第１レジスタからの値を含み得る。情報はまた、光学測定システムによって行われた測定に関連して光子カウントがいつ受信されたかを示すタイミング情報も含み得る。

【０３０９】

ＸＩＸ．追加の実施形態

本明細書で開示される幾つかの実施形態は、自動車の使用事例に関する３Ｄ検知の文脈の範囲内で、光測距の用途に重点を置いているが、本明細書で開示されるシステムは、本開示の範囲から逸脱することなく、任意の用途において使用することができる。例えば、システムは、例えば固体光測距システムのための、幾つかの追加の使用事例を可能にする、小さい、更には微小なフォームファクタを有することができる。例えば、システムは、携帯電話、タブレットＰＣ、ラップトップ、デスクトップＰＣなどのデバイス内の、または他の周辺機器及び／もしくはユーザインターフェースデバイス内の３Ｄカメラ及び／または深度センサにおいて使用することができる。例えば、１または複数の実施形態は、顔認識及び顔追跡能力、視線追跡能力のサポート、ならびに／または物体の３Ｄスキャンのために、モバイルデバイス内で用いることができる。他の使用事例としては、モバイルデバイスにおける拡張現実及び仮想現実用途のための前面深度カメラが挙げられる。

【０３１０】

他の用途としては、飛行機、ヘリコプタ、無人機などの空中車両への１または複数のシステムの配備が挙げられる。このような例は、３Ｄ感知及び深度イメージングを提供して、ナビゲーション（自律的または他の方法）を支援すること、及び／または後で分析するための３Ｄマップを生成すること、例えば、地球物理学的、建築学的、及び／または考古学的な分析をサポートすることができる。

【０３１１】

システムはまた、建物、壁、ポール、橋、足場などの静止物体及び構造物に取り付けることもできる。そのような場合、本システムを使用して、製造設備、組み立てライン、産業設備、建設現場、掘削現場、車道、鉄道、橋などの屋外領域を監視することができる。更に、システムは、屋内に取り付けて使用して、倉庫内の在庫品の移動、または事務所建物、空港、駅などの中の人々、荷物、もしくは商品の動きなどの、建物内の人々及び／または物体の移動を監視することができる。本開示の利点を用いて当業者によって認識されるように、光測距システムの数多くの異なる用途が可能であり、したがって、本明細書で提供される実施例は例示のみの目的で提供されるものであり、そのようなシステムの使用を明示的に開示される実施例のみに限定するものと解釈してはならない。

【０３１２】

ＸＸ．コンピュータシステム

本明細書で言及されるコンピュータシステムまたは回路のいずれも、任意の好適な数のサブシステムを利用し得る。サブシステムは、システムバス７５を介して接続することができる。例として、サブシステムは、コンピュータシステムを他のデバイス（例えば、エンジン制御ユニット）に接続するために使用されることができる、入力／出力（Ｉ／Ｏ）デバイス、システムメモリ、記憶デバイス、及びネットワークアダプタ（例えば、Ｅｔｈｅｒｎｅｔ、Ｗｉ－Ｆｉなど）を含むことができる。システムメモリ及び／または記憶デバイスは、コンピュータ可読媒体を統合することができる。

【０３１３】

コンピュータシステムは、内部インターフェースによって、または１つのコンポーネントから別のコンポーネントに接続して取り外し可能な記憶デバイスを介して、例えば外部インターフェースによって互いに接続された、複数の同一コンポーネントまたはサブシステムを含むことができる。幾つかの実施形態では、コンピュータシステム、サブシステム、または装置は、ネットワーク上で通信することができる。

【０３１４】

実施形態の態様は、制御ロジックの形態で、ハードウェア回路（例えば、特定用途向け集積回路もしくはフィールドプログラマブルゲートアレイ）を使用して、及び／またはモジュール式もしくは集積様態で汎用プログラマブルプロセッサを有するコンピュータソフトウェアを使用して、実装され得る。本明細書で使用される場合、プロセッサは、シングルコアプロセッサ、同じ集積チップ上のマルチコアプロセッサ、または単一の回路基板もしくはネットワーク化された上の複数の処理ユニット、ならびに専用のハードウェアを含み得る。本開示及び本明細書に提供される教示に基づいて、当業者は、ハードウェア、及びハードウェアとソフトウェアとの組合わせを使用して、本発明の実施形態を実行するための他の方式及び／または方法を認識及び理解するであろう。

【０３１５】

本出願で説明されるソフトウェアコンポーネントまたは関数のうちのいずれも、例えば、Ｊａｖａ、Ｃ、Ｃ＋＋、Ｃ＃、Ｏｂｊｅｃｔｉｖｅ－Ｃ、Ｓｗｉｆｔなどの任意の好適なコンピュータ言語、または、例えば、従来の技術もしくは物体指向の技術を使用するＰｅｒｌもしくはＰｙｔｈｏｎなどのスクリプト言語を使用する、処理デバイスによって実行されるソフトウェアコードとして実装され得る。ソフトウェアコードは、保存及び／または伝送のためのコンピュータ可読媒体上に一連の命令またはコマンドとして記憶され得る。好適な非一過性コンピュータ可読媒体は、ランダムアクセスメモリ（ＲＡＭ）、読み取り専用メモリ（ＲＯＭ）、磁気媒体（ハードドライブもしくはフロッピーディスクなど）、または光学媒体（コンパクトディスク（ＣＤ）もしくはＤＶＤ（デジタル多用途ディスク）など）、及びフラッシュメモリなどを含むことができる。コンピュータ可読媒体は、そのようなストレージまたは送信デバイスの任意の組合わせであってもよい。

【０３１６】

そのようなプログラムはまた、コード化され、インターネットを含む様々なプロトコルに従う有線ネットワーク、光ネットワーク、及び／または無線ネットワークを介した送信に適合した搬送波信号を使用して送信され得る。したがって、コンピュータ可読媒体は、

そのようなプログラムでコード化されたデータ信号を使用して作成され得る。プログラムコードでコード化されたコンピュータ可読媒体は、互換性のあるデバイスでパッケージ化されてもよく、または（例えば、インターネットダウンロードを介して）他のデバイスとは別個に提供され得る。任意のそのようなコンピュータ可読媒体は、単一のコンピュータ製品（例えば、ハードドライブ、ＣＤ、もしくはコンピュータシステム全体）上もしくはその内部に存在し得、システムまたはネットワーク内の異なるコンピュータ製品上もしくはその内部に存在し得る。コンピュータシステムは、モニタ、プリンター、または本明細書に記載の結果のうちのいずれかをユーザに提供するための他の好適なディスプレイを含み得る。

【０３１７】

本明細書記載の方法のうちのいずれも、ステップを実施するように構成することができる１または複数のプロセッサを含むコンピュータシステムを用いて全体的または部分的に実施され得る。したがって、実施形態は、本明細書に説明される方法のうちのいずれかのステップを実施するように構成されたコンピュータシステムを対象とし得、潜在的には異なるコンポーネントがそれぞれのステップまたはそれぞれのステップの群を実施する。番号付けされたステップとして提示されるが、本明細書の方法のステップは、同時にもしくは異なる時間に、または異なる順序で実施され得る。加えて、これらのステップの部分は、他の方法からの他のステップの部分と併用され得る。また、あるステップの全てまたは部分は、任意選択的であり得る。加えて、本方法のうちのいずれかの任意のステップは、これらのステップを実行するためのシステムのモジュール、ユニット、回路、または他の手段で実行することができる。

【０３１８】

特定の実施形態の具体的な詳細は、本発明の実施形態の趣旨及び範囲から逸脱することなく、任意の好適な様態で組み合わせることができる。しかしながら、本発明の他の実施形態は、各個々の態様、またはこれらの個々の態様の特定の組み合わせに関する特定の実施形態を対象とし得る。

【０３１９】

本発明の例示的実施形態の上の説明は、例解及び説明目的で提示されている。包括的であること、または本発明を説明された正確な形態に限定することは意図されず、多くの修正及び変更が、先の教示に鑑みて可能である。

【０３２０】

「ａ」、「ａｎ」、または「ｔｈｅ」の記述は、それとは反対に具体的に示されない限り、「１または複数」を意味することが意図される。「または」の使用は、それとは反対に具体的に示されない限り、「排他的なまたは」ではなく「包括的なまたは」を意味することが意図される。「第１」のコンポーネントへの言及は、第２コンポーネントが提供されることを必ずしも必要としない。更に、「第１」または「第２」のコンポーネントへの言及は、明示的に述べられていない限り、言及されるコンポーネントを特定の場所に限定するものではない。「～に基づいて」という用語は、「少なくとも一部に基づいて」を意味することを意図している。

【０３２１】

本明細書において言及される全ての特許、特許出願、刊行物、及び明細書は、全ての目的のために参照によりそれらの全体が組み込まれる。いかなるものも、先行技術であるとは認められていない。

なお、出願時の請求項は以下の通りである。

＜請求項１＞

光学測定システムであって、

光学測定の一部として１または複数の第１時間間隔にわたって１または複数のパルス列を送信するように構成された光源であって、前記１または複数の第１時間間隔の各々が前記１または複数のパルス列のうちの１つを含む、光源と、

前記１または複数のパルス列からの光子及び周囲光からの光子を検出するように構成さ

れた１または複数の光検出器を含む光センサと、
　前記１または複数の第１時間間隔の間に受信された前記１または複数の光検出器からの光子カウントを累積する複数の第１レジスタであって、前記１または複数の第１時間間隔の各々が複数の第１時間ビンに細分化され、当該複数の第１レジスタの各々が、前記１または複数の第１時間間隔の各々における前記複数の第１時間ビンのうちの対応する１つの間に受信された光子カウントを累積して、前記１または複数の第１時間間隔の間に受信された光子カウントのヒストグラムを表現する、複数の第１レジスタと、
　前記１または複数の第１時間間隔のうちの少なくとも一部分と重なる第２時間間隔にわたって前記１または複数の光検出器からの前記光子カウントを累積する複数の第２レジスタであって、前記第２時間間隔が複数の第２時間ビンに細分化され、当該複数の第２レジスタの各々が、前記複数の第２時間ビンのうちの対応する１つの間に受信された光子カウントを累積する、複数の第２レジスタと、
を備えたことを特徴とする光学測定システム。
　＜請求項２＞
　前記複数の第２レジスタの各々における光子カウントを集計して、前記第２時間間隔の間に受信された合計光子カウントを生成する算術論理回路
を更に備えたことを特徴とする請求項１に記載の光学測定システム。
　＜請求項３＞
　前記１または複数の第１時間間隔の各々は、第１開始信号によって定義される
ことを特徴とする請求項１に記載の光学測定システム。
　＜請求項４＞
　前記第２時間間隔は、前記第１開始信号から独立している第２開始信号によって定義される
ことを特徴とする請求項３に記載の光学測定システム。
　＜請求項５＞
　前記１または複数の光検出器は、１または複数の単一光子アバランシェダイオード（ＳＰＡＤ）を含む
ことを特徴とする請求項１に記載の光学測定システム。
　＜請求項６＞
　前記１または複数の第１時間間隔の各々は、前記第２時間間隔に含まれている
ことを特徴とする請求項１に記載の光学測定システム。
　＜請求項７＞
　前記複数の第２時間ビンの各々の間に、前記複数の第２レジスタのうちのどのレジスタが光子カウントを累積するか、を選択する選択信号
を更に備えたことを特徴とする請求項１に記載の光学測定システム。
　＜請求項８＞
　前記選択信号は、タイマーによって生成される
ことを特徴とする請求項７に記載の光学測定システム。
　＜請求項９＞
　前記選択信号は、前記複数の第２レジスタと同じ集積回路上で生成される
ことを特徴とする請求項７に記載の光学測定システム。
　＜請求項１０＞
　前記選択信号は、前記複数の第２レジスタと同じ集積回路上で生成されない
ことを特徴とする請求項７に記載の光学測定システム。
　＜請求項１１＞
　前記選択信号は、前記光センサの中心軸周りのときの角度位置に基づいて生成される
ことを特徴とする請求項７に記載の光学測定システム。
　＜請求項１２＞
　光学測定システムを使用する方法であって、
　光学測定の一部として１または複数の第１時間間隔にわたって１または複数のパルス列

を送信する工程であって、前記１または複数の第１時間間隔の各々が前記１または複数のパルス列のうちの１つを含む工程と、
前記１または複数のパルス列からの光子及び周囲光からの光子を検出する工程と、
複数の第１レジスタ内に、前記１または複数の第１時間間隔の間に受信された１または複数の光検出器からの光子カウントを累積する工程であって、前記１または複数の第１時間間隔の各々が複数の第１時間ビンに細分化されており、前記複数の第１レジスタの各々が、前記１または複数の第１時間間隔の各々における前記複数の第１時間ビンのうちの対応する１つの間に受信された光子カウントを累積して、前記１または複数の第１時間間隔の間に受信された光子カウントのヒストグラムを表現する工程と、
複数の第２レジスタ内に、前記１または複数の第１時間間隔のうちの少なくとも一部分と重なる第２時間間隔にわたって光子カウントを累積する工程であって、前記第２時間間隔が、複数の第２時間ビンに細分化されており、前記複数の第２レジスタの各々が、前記複数の第２時間ビンのうちの対応する１つの間に受信された光子カウントを累積する工程と、
を備えたことを特徴とする方法。
＜請求項１３＞
前記複数の第２レジスタの各々における光子カウントを集計して、前記第２時間間隔の間に受信された合計光子カウントを生成する工程と、
前記合計光子カウントを使用して、前記第２時間間隔の間に前記光学測定システムによって検出された背景ノイズを推定する工程と、
を更に備えたことを特徴とする請求項１２に記載の方法。
＜請求項１４＞
前記背景ノイズを推定する工程が、
前記合計光子カウントを前記第２時間間隔の長さで除算する工程
を含むことを特徴とする請求項１３に記載の方法。
＜請求項１５＞
前記背景ノイズを推定する工程が、
その間に前記１または複数のパルス列から生じた反射光子が前記光学測定システムによって受信されたと推定される、前記複数の第１時間ビン内の１または複数の時間ビンを識別する工程と、
前記１または複数の時間ビン内で受信された光子カウントを前記合計光子カウントから除外する工程と、
を含むことを特徴とする請求項１３に記載の方法。
＜請求項１６＞
前記背景ノイズが、前記複数の第１レジスタから除去される
ことを特徴とする請求項１３に記載の方法。
＜請求項１７＞
前記第２時間間隔は、前記１または複数の第１時間間隔外の時間間隔を含む
ことを特徴とする請求項１２に記載の方法。
＜請求項１８＞
前記１または複数の第１時間間隔の間に受信された前記複数の第１レジスタ内の光子カウントの前記ヒストグラムが、前記光学測定システムによる単一の光学測定を表現する
ことを特徴とする請求項１２に記載の方法。
＜請求項１９＞
前記第２時間間隔にわたって前記複数の第２レジスタに格納された前記光子カウントを使用して、周囲環境の周囲画像を生成する工程
を更に備えたことを特徴とする請求項１２に記載の方法。
＜請求項２０＞
前記第２時間間隔にわたって前記複数の第２レジスタに格納された前記光子カウントは、前記１または複数のパルス列からの光子及び前記周囲光からの光子を含む

ことを特徴とする請求項１２に記載の方法。
＜請求項２１＞
光学測定システムであって、
光学測定の一部として１または複数の第１時間間隔にわたって１または複数のパルス列を送信するように構成された光源であって、前記１または複数の第１時間間隔の各々が前記１または複数のパルス列のうちの１つを含む、光源と、
前記１または複数のパルス列からの光子を検出するように構成された１または複数の光検出器を含む光センサと、
算術論理回路及び複数の第１レジスタを有するデータパスであって、前記複数の第１レジスタが前記１または複数の第１時間間隔の間に受信された光子カウントのヒストグラムを表現するように、前記算術論理回路によって集計された前記１または複数のパルス列からの光子カウントを使用して、前記複数の第１レジスタに投入するように構成されている、データパスと、
前記データパスにおいて飽和が発生する時点を判定し、前記飽和が発生した後に発生する前記１または複数の第１時間間隔のうちの複数の時間間隔において、前記データパスをして前記複数の第１レジスタに投入することを停止させる飽和検出回路と、
を備えたことを特徴とする光学測定システム。
＜請求項２２＞
前記データパスは、前記飽和検出回路が前記データパスをして前記複数の第１レジスタに投入することを停止させる前に発生する前記１または複数の第１時間間隔の数をカウントするカウンタ
を更に備えたことを特徴とする請求項２１に記載の光学測定システム。
＜請求項２３＞
前記カウンタは、前記１または複数の第１時間間隔を開始する信号によってインクリメントされる
ことを特徴とする請求項２２に記載の光学測定システム。
＜請求項２４＞
前記データパスは、前記飽和検出回路が前記データパスをして前記複数の第１レジスタに投入することを停止させる前に前記算術論理回路が前記複数の第１レジスタを更新する回数をカウントするカウンタ
を更に備えたことを特徴とする請求項２１に記載の光学測定システム。
＜請求項２５＞
前記飽和検出回路は、前記算術論理回路が飽和したことを示す前記算術論理回路からの信号を受信する
ことを特徴とする請求項２１に記載の光学測定システム。
＜請求項２６＞
前記飽和検出回路は、前記算術論理回路からの結果が前記複数の第１レジスタのうちの１つに格納される最大数よりも大きいことを示す信号を受信する
ことを特徴とする請求項２１に記載の光学測定システム。
＜請求項２７＞
前記飽和検出回路は、前記算術論理回路をして光子カウントを集計させる周期信号を無効にすることによって、前記データパスをして前記複数の第１レジスタに投入することを停止させる
ことを特徴とする請求項２１に記載の光学測定システム。
＜請求項２８＞
前記飽和検出回路は、前記複数の第１レジスタをして更新された光子カウントを格納させる周期信号を無効にすることによって、前記データパスをして前記複数の第１レジスタに投入することを停止させる
ことを特徴とする請求項２１に記載の光学測定システム。
＜請求項２９＞

第２算術論理回路、及び、１または複数の集積レジスタ、を有する第２データパス
を更に備え、
前記第２データパスは、少なくとも前記１または複数の第１時間間隔を含む第２時間間隔にわたって、前記１または複数の光検出器からの前記光子カウントを集計して、前記１または複数の集積レジスタに投入するように構成されている
ことを特徴とする請求項２１に記載の光学測定システム。
＜請求項３０＞
前記第２データパスは、前記第２データパスにおいて飽和が発生する時点を判定し、前記飽和が発生した後の前記第２時間間隔の間、前記第２データパスをして前記１または複数の光検出器からの前記光子カウントを集計して前記１または複数の集積レジスタ内に投入することを停止させる、第２飽和検出回路を有する
ことを特徴とする請求項２９に記載の光学測定システム。
＜請求項３１＞
光学測定システムを使用する方法であって、
光学測定の一部として１または複数の第１時間間隔にわたって１または複数のパルス列を送信する工程であって、前記１または複数の第１時間間隔の各々が前記１または複数のパルス列のうちの１つを含む工程と、
１または複数の光検出器を使用して、前記１または複数のパルス列からの光子を検出する工程と、
前記１または複数の光検出器からの光子カウントを使用して、データパス内の複数の第１レジスタに投入する工程であって、前記光子カウントは、前記複数の第１レジスタが前記１または複数の第１時間間隔の間に受信された光子カウントのヒストグラムを表現するように、前記データパス内の算術論理回路によって集計される工程と、
前記データパスにおいて飽和が発生する時点を判定する工程と、
前記飽和が発生した後に発生する前記１または複数の第１時間間隔のうちの複数の時間間隔において、前記データパスをして前記複数の第１レジスタに投入することを停止させる工程と、
を備えたことを特徴とする方法。
＜請求項３２＞
前記データパスをして前記複数の第１レジスタに投入することを停止させる前に発生するイベントの数をカウントする工程
を更に備えたことを特徴とする請求項３１に記載の方法。
＜請求項３３＞
前記データパスをして前記複数の第１レジスタに投入することを停止させる前に発生する前記イベントの数と、
前記１または複数の第１時間間隔の間に発生するイベントの合計数と、
を使用して乗数を計算する工程
を更に備えたことを特徴とする請求項３２に記載の方法。
＜請求項３４＞
前記乗数を使用して、前記複数の第１レジスタ内の前記光子カウントの前記ヒストグラムをスケーリングする工程
を更に備えたことを特徴とする請求項３３に記載の方法。
＜請求項３５＞
前記光子カウントの前記ヒストグラムをスケーリングした後、前記複数の第１レジスタ内の前記光子カウントの前記ヒストグラム内のピークを見つける工程
を更に備えたことを特徴とする請求項３４に記載の方法。
＜請求項３６＞
前記１または複数の光検出器からの光子カウントを使用して、第２データパス内の１または複数の集積レジスタに投入する工程であって、前記光子カウントは、前記１または複数の集積レジスタが少なくとも前記１または複数の第１時間間隔を含む第２時間間隔にわ

たって受信された合計光子カウントを表現するように、前記第２データパス内の第２算術論理回路によって集計される工程と、
前記第２データパスにおいて飽和が発生する時点を判定する工程と、
前記飽和が発生した後、前記第２データパスをして前記１または複数の集積レジスタに投入することを停止させる工程と、
を更に備えたことを特徴とする請求項３１に記載の方法。
＜請求項３７＞
前記第２データパスをして前記１または複数の集積レジスタに投入することを停止させる前に発生するイベントの数をカウントする工程と、
前記第２データパスをして前記１または複数の集積レジスタに投入することを停止させる前に発生するイベントの前記数を使用して、前記１または複数の集積レジスタ内の前記合計光子カウントをスケーリングする工程と、
を更に備えたことを特徴とする請求項３６に記載の方法。
＜請求項３８＞
前記合計光子カウントをスケーリングした後に周囲背景ノイズレベルを計算する工程
を更に備えたことを特徴とする請求項３７に記載の方法。
＜請求項３９＞
前記周囲背景ノイズレベルを使用して前記光学測定におけるピークを検出するための閾値を設定する工程
を更に備えたことを特徴とする請求項３８に記載の方法。
＜請求項４０＞
前記複数の第１レジスタ内の前記光子カウントの前記ヒストグラムから前記周囲背景ノイズレベルを除去する工程
を更に備えたことを特徴とする請求項３８に記載の方法。
＜請求項４１＞
光学測定システムであって、
光学測定の一部として１または複数の第１時間間隔にわたって１または複数のパルス列を送信するように構成された光源であって、前記１または複数の第１時間間隔の各々が前記１または複数のパルス列のうちの１つを含む、光源と、
前記１または複数のパルス列からの光子を検出するように構成された１または複数の光検出器を含む光センサと、
前記１または複数の第１時間間隔の間に受信された前記１または複数の光検出器からの光子カウントを累積して、前記１または複数の第１時間間隔の間に受信された前記光子カウントのヒストグラムを表現する複数の第１レジスタであって、前記複数の第１レジスタの各々が前記ヒストグラム内の１つの時間ビンに対応する、複数の第１レジスタと、
ピーク検出回路であって、当該ピーク検出回路が実行されるたびに、前記複数の第１レジスタ内の前記ヒストグラムのうちの少なくとも一部分における最大ピークを識別するように構成された、ピーク検出回路と、
前記ピーク検出回路の複数回の実行が複数のピークを識別するように、前記ピーク検出回路をして、前記ピーク検出回路の前回の実行中に最大ピークとして識別されたピークに対応するレジスタを、前記ピーク検出回路の後続の実行中に最大ピークとして識別されることから除外させるように構成されている、マスキング回路と、
を備えたことを特徴とする光学測定システム。
＜請求項４２＞
前記ピーク検出回路によって識別された前記複数のピークを格納するように構成された複数の第２レジスタ
を更に備えたことを特徴とする請求項４１に記載の光学測定システム。
＜請求項４３＞
前記複数のピークの各々が、当該ピークの周りの前記ヒストグラム内のある時間間隔を表す一連の時間ビンとして格納される

ことを特徴とする請求項４２に記載の光学測定システム。
＜請求項４４＞
前記複数のピークの各々は、当該ピークが発生した前記ヒストグラム内のある相対時間と共に格納される
ことを特徴とする請求項４２に記載の光学測定システム。
＜請求項４５＞
前記光学測定システムは、前記ピーク検出回路によって識別された前記複数のピークをプロセッサに送るように構成されており、
前記プロセッサは、前記ピーク検出回路が動作する集積回路チップとは異なる集積回路チップ上で動作する
ことを特徴とする請求項４１に記載の光学測定システム。
＜請求項４６＞
前記複数のピークは、当該複数のピークを表す値にフィルタを適用することなく、前記プロセッサに送信される
ことを特徴とする請求項４５に記載の光学測定システム。
＜請求項４７＞
前記ピーク検出回路の各実行が、前記複数の第１レジスタを循環して、前記マスキング回路によって除外されていない前記複数の第１レジスタの最大値を識別するように構成されている
ことを特徴とする請求項４１に記載の光学測定システム。
＜請求項４８＞
最大ピークが、前記最大値を格納する前記複数の第１レジスタのうちの１つの周りの前記複数の第１レジスタのサブセットを含む
ことを特徴とする請求項４７に記載の光学測定システム。
＜請求項４９＞
前記ピーク検出回路は、前記ヒストグラム内の少なくとも３つの最大ピークを識別するために、前記複数の第１レジスタを少なくとも３回循環するように構成されている
ことを特徴とする請求項４１に記載の光学測定システム。
＜請求項５０＞
前記１または複数の光検出器が、１または複数の単一光子アバランシェダイオード（ＳＰＡＤ）を有する
ことを特徴とする請求項４１に記載の光学測定システム。
＜請求項５１＞
光学測定システムを使用する方法であって、
光学測定の一部として１または複数の第１時間間隔にわたって１または複数のパルス列を送信する工程であって、前記１または複数の第１時間間隔の各々が前記１または複数のパルス列のうちの１つを含む工程と、
１または複数の光検出器を使用して、前記１または複数のパルス列からの光子を検出する工程と、
前記１または複数の光検出器からの光子カウントを複数の第１レジスタ内に累積して、前記１または複数の第１時間間隔の間に受信された前記光子カウントのヒストグラムを表現する工程であって、前記複数の第１レジスタの各々が前記ヒストグラム内の１つの時間ビンに対応する工程と、
ピーク検出回路の複数回の実行を通じて前記複数の第１レジスタ内の前記ヒストグラム内の複数のピークを識別する工程であって、前記ピーク検出回路の各実行が前記ヒストグラムの少なくとも一部分における最大ピークを識別し、前記ピーク検出回路の前回の実行中に最大ピークとして識別されたピークに対応するレジスタが前記ピーク検出回路の後続の実行中に最大ピークとして識別されることから除外される工程と、
を備えたことを特徴とする方法。
＜請求項５２＞

前記最大ピークを識別する前に、前記複数の第１レジスタに格納された前記ヒストグラムにローパスフィルタを適用する工程
を更に備えたことを特徴とする請求項５１に記載の方法。
＜請求項５３＞
前記最大ピークを識別する前に、前記複数の第１レジスタに格納された前記ヒストグラムに整合フィルタを適用する工程
を更に備え、
前記整合フィルタは、前記１または複数のパルス列に対応する
ことを特徴とする請求項５１に記載の方法。
＜請求項５４＞
前記ピーク検出回路の以前の実行中に最大ピークとして識別された前記ピークが、
後続の実行中に、前記ピーク検出回路から最大ピークとして以前に識別された前記ピークを表す前記複数の第１レジスタ内のレジスタをマスキングする工程
によって、前記ピーク検出回路の後続の実行中に最大ピークとして識別されることから除外される
ことを特徴とする請求項５１に記載の方法。
＜請求項５５＞
前記ピーク検出回路の以前の実行中に最大ピークとして識別された前記ピークが、
以前に最大ピークとして識別された前記ピークからの最大値以下に閾値を設定する工程と、
前記閾値を満たすかまたは超える前記ピーク検出回路の後続の実行中のピークを除外する工程と、によって、前記ピーク検出回路の後続の実行中に最大ピークとして識別されることから除外される
ことを特徴とする請求項５１に記載の方法。
＜請求項５６＞
前記閾値を満たすかまたは超える前記ピーク検出回路の後続の実行中のピークを除外する工程は、
前記閾値を満たすかまたは超える値を有する前記複数の第１レジスタ内のレジスタを識別する工程と、
前記複数の第１レジスタ内の前記レジスタの周りのレジスタを除外する工程と、
を含むことを特徴とする請求項５５に記載の方法。
＜請求項５７＞
前記ピーク検出回路の複数回の実行から前記ヒストグラムの初期ピークを除外する工程
を更に備えたことを特徴とする請求項５１に記載の方法。
＜請求項５８＞
前記初期ピークは、前記光学測定システムのハウジングからの前記１または複数のパルス列の反射から生じる
ことを特徴とする請求項５７に記載の方法。
＜請求項５９＞
前記初期ピークは、飽和検出回路の飽和閾値を満たすかまたは超える
ことを特徴とする請求項５７に記載の方法。
＜請求項６０＞
前記飽和検出回路から前記初期ピークをマスキングする工程
を更に備えたことを特徴とする請求項５９に記載の方法。
＜請求項６１＞
光学測定システムであって、
光学測定の一部として１または複数の第１時間間隔にわたって１または複数のパルス列を送信するように構成された光源であって、前記１または複数の第１時間間隔の各々が前記１または複数のパルス列のうちの１つを含む、光源と、
前記１または複数のパルス列からの光子を検出するように構成された１または複数の光

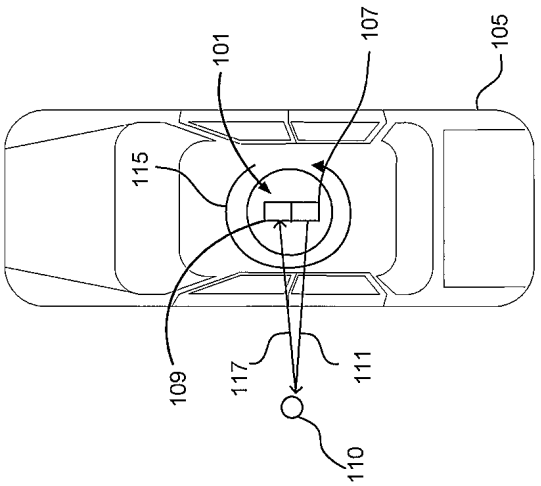
検出器を含む光センサと、
　第１集積回路と、
　プロセッサを有する第２集積回路と、
を備え、
　前記第１集積回路は、
　前記１または複数の第１時間間隔の間に受信された前記１または複数の光検出器からの光子カウントを累積して、前記１または複数の第１時間間隔の間に受信された前記光子カウントのヒストグラムを表す複数の第１レジスタであって、当該複数の第１レジスタの各々が前記ヒストグラム内の１つの時間ビンに対応する、複数の第１レジスタと、
　前記ヒストグラム内の１または複数のピークを識別するための閾値を提供するように構成された閾値検出回路と、
　前記複数の第１レジスタを通じるパスを形成し、前記閾値を使用して前記ヒストグラム内で表される前記１または複数のピークを識別するように構成されたピーク検出回路と、
を有し
　前記第１集積回路は、前記閾値を使用して検出された前記１または複数のピークを記述する情報を前記第２集積回路上の前記プロセッサに送るように構成されている
ことを特徴とする光学測定システム。
　＜請求項６２＞
　前記閾値検出回路は、既存の閾値を使用するように構成されている
ことを特徴とする請求項６１に記載の光学測定システム。
　＜請求項６３＞
　前記閾値検出回路は、前記１または複数の第１時間間隔の間に存在する背景ノイズレベルに基づいて前記閾値を計算するように構成されている
ことを特徴とする請求項６１に記載の光学測定システム。
　＜請求項６４＞
　前記１または複数の第１時間間隔の少なくとも一部分と重なる第２時間間隔にわたって前記１または複数の光検出器からの前記光子カウントを累積する１または複数の集積レジスタ
を更に備え、
　前記閾値検出回路は、前記１または複数の集積レジスタ内の１または複数の値を使用して前記背景ノイズレベルを計算するように更に構成されている
ことを特徴とする請求項６３に記載の光学測定システム。
　＜請求項６５＞
　前記閾値検出回路は、前記１または複数の集積レジスタ内の合計光子カウントを、前記１または複数の集積レジスタが有効にされた持続期間で除算することによって、前記背景ノイズレベルを計算するように更に構成されている
ことを特徴とする請求項６４に記載の光学測定システム。
　＜請求項６６＞
　前記１または複数の集積レジスタが有効にされた前記持続期間は、前記１または複数の集積レジスタが有効にされた間のクロックサイクルの合計数に基づいて決定される
ことを特徴とする請求項６５に記載の光学測定システム。
　＜請求項６７＞
　前記閾値検出回路は、
　前記１または複数のピークを表す前記ヒストグラム内の１または複数の時間ビンを識別する工程と、
　前記１または複数の集積レジスタの合計光子カウントから前記１または複数の時間ビンの光子カウントを差し引く工程と、
によって、前記背景ノイズレベルを計算するように更に構成されている
ことを特徴とする請求項６４に記載の光学測定システム。
　＜請求項６８＞

前記ピーク検出回路によって識別された前記１または複数のピークを格納するように構成された複数の第２レジスタ
を更に備えたことを特徴とする請求項６１に記載の光学測定システム。
＜請求項６９＞
前記１または複数のピークの各々が、
当該ピークの周りの前記ヒストグラム内のある時間間隔を表す時間ビンのウィンドウ、及び、
当該ピークが発生した前記ヒストグラム内の相対時間、
として格納されることを特徴とする請求項６８に記載の光学測定システム。
＜請求項７０＞
前記第１集積回路は、前記第２集積回路が実装されているチップとは物理的に分離されていて別個であるチップ上に実装されている
ことを特徴とする請求項６１に記載の光学測定システム。
＜請求項７１＞
前記１または複数のピークは、前記ヒストグラム内の前記１または複数のピークを表す値にフィルタを適用することなく、前記プロセッサに送られる
ことを特徴とする請求項６１に記載の光学測定システム。
＜請求項７２＞
光学測定システムを使用する方法であって、
光学測定の一部として１または複数の第１時間間隔にわたって１または複数のパルス列を送信する工程であって、前記１または複数の第１時間間隔の各々が前記１または複数のパルス列のうちの１つを含む工程と、
１または複数の光検出器を使用して、前記１または複数のパルス列からの光子を検出することと、
第１集積回路上で、前記１または複数の光検出器からの光子カウントを複数の第１レジスタ内に累積して、前記１または複数の第１時間間隔の間に受信された前記光子カウントのヒストグラムを表す工程であって、前記複数の第１レジスタの各々が前記ヒストグラム内の１つの時間ビンに対応する工程と、
前記第１集積回路上で、前記ヒストグラム内の１または複数のピークを識別するための閾値を提供する工程と、
前記第１集積回路上で、前記閾値による前記複数の第１レジスタを通じるパスを形成することによって、前記ヒストグラム内で表される前記１または複数のピークを識別する工程と、
前記第１集積回路から、前記閾値を使用して検出された前記１または複数のピークを記述する情報を第２集積回路上のプロセッサに送る工程と、
を備えたことを特徴とする方法。
＜請求項７３＞
前記ヒストグラム内で表される前記１または複数のピークから背景ノイズレベルを除去する工程
を更に備えたことを特徴とする請求項７２に記載の方法。
＜請求項７４＞
前記１または複数のパルス列の間に前記１または複数の光検出器によって受信された光子のサンプルに基づいて、背景ノイズレベルを決定する工程
を更に備えたことを特徴とする請求項７２に記載の方法。
＜請求項７５＞
前記閾値を提供する工程は、前記閾値を、背景ノイズレベルを上回る所定の間隔に設定する工程を含む
ことを特徴とする請求項７２に記載の方法。
＜請求項７６＞
前記閾値を提供する工程は、前記閾値を、背景ノイズレベルを上回って当該背景ノイズ

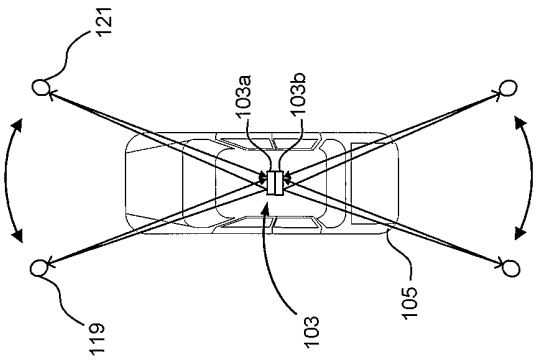
レベルの所定のパーセンテージである間隔に設定する工程を含む
ことを特徴とする請求項７２に記載の方法。
＜請求項７７＞
前記１または複数のピークを識別する前に、前記複数の第１レジスタに格納された前記ヒストグラムにローパスフィルタを適用する工程
を更に備えたことを特徴とする請求項７２に記載の方法。
＜請求項７８＞
前記１または複数のピークを識別する前に、前記複数の第１レジスタに格納された前記ヒストグラムに整合フィルタを適用する工程
を更に備え、
前記整合フィルタは、前記１または複数のパルス列に対応する
ことを特徴とする請求項７２に記載の方法。
＜請求項７９＞
前記１または複数のピークは、前記１または複数のパルス列の反射に対応するピークと、前記１または複数のパルス列の反射に対応しないピークと、を含む
ことを特徴とする請求項７２に記載の方法。
＜請求項８０＞
前記ヒストグラム内で表される前記１または複数のピークを識別する工程は、前記複数の第１レジスタを通る単一パスのみを使用する
ことを特徴とする請求項７２に記載の方法。

【図面】

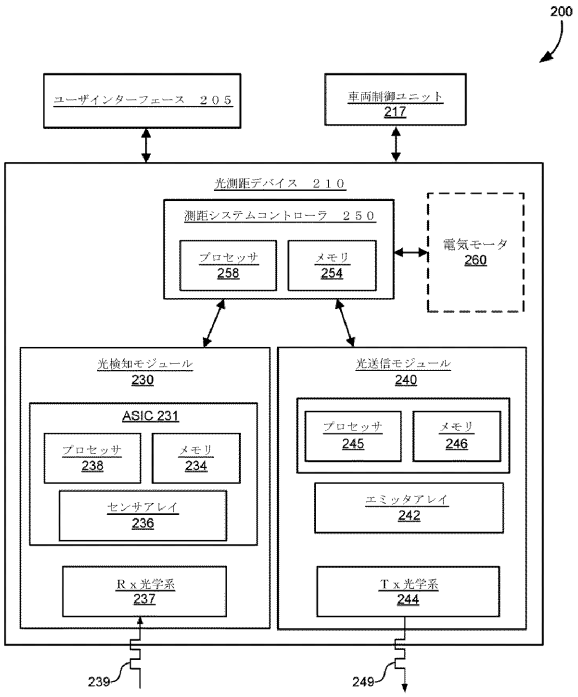
【図１Ａ】



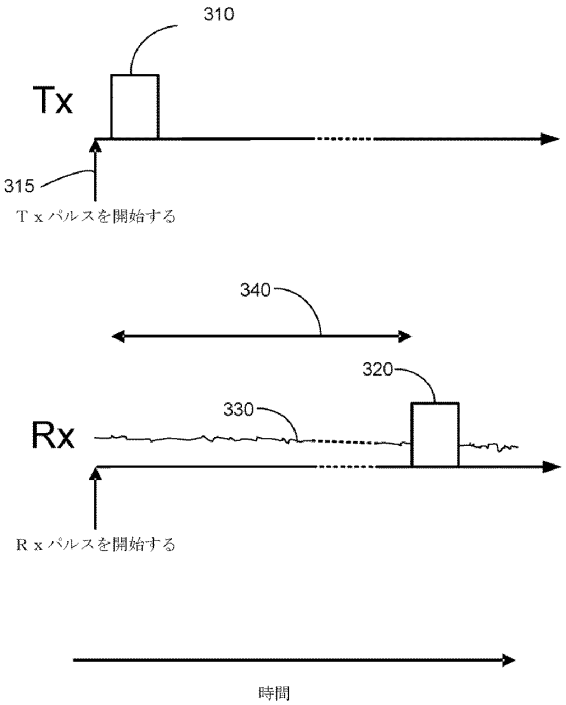
【図１Ｂ】



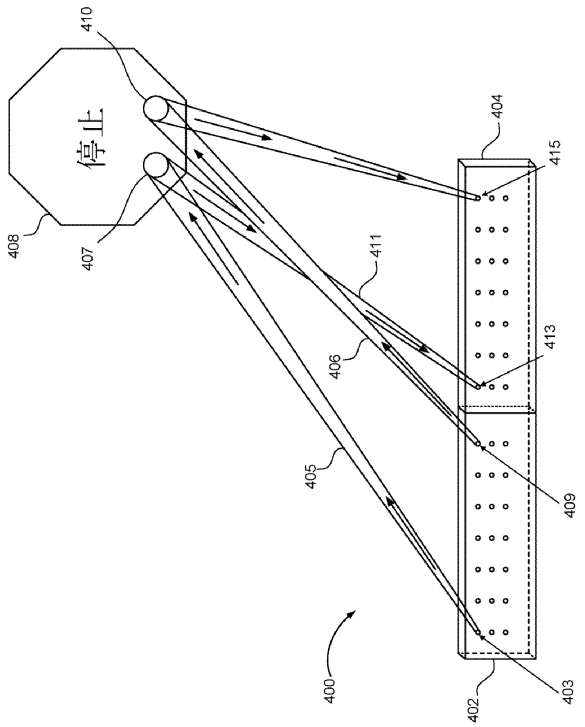
【図２】


200
ユーザインターフェース　２０５
車両制御ユニット
217
光測距デバイス　２１０
測距システムコントローラ　２５０
プロセッサ
258
メモリ
254
電気モータ
260
光検知モジュール
230
ASIC 231
プロセッサ
238
メモリ
234
センサアレイ
236
Ｒｘ光学系
237
光送信モジュール
240
プロセッサ
245
メモリ
246
エミッタアレイ
242
Ｔｘ光学系
244
239
249

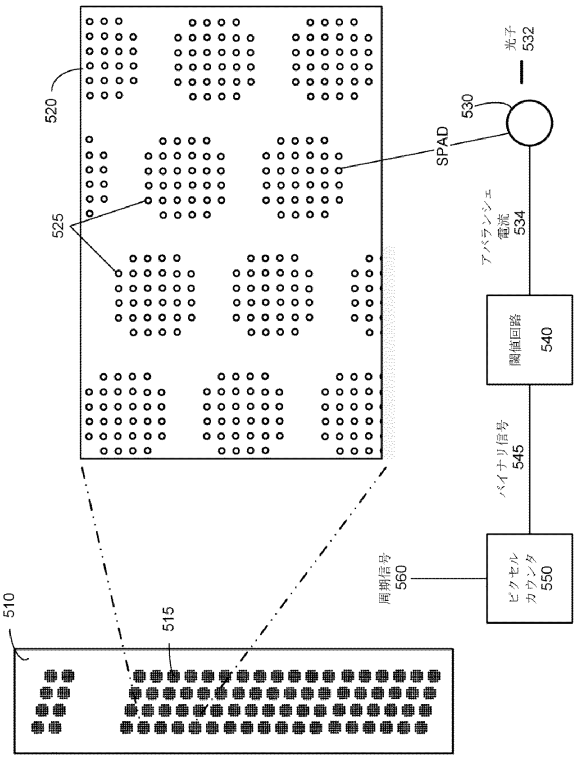
【図３】


310
Tx
315
Ｔｘパルスを開始する
340
320
330
Rx
Ｒｘパルスを開始する
時間

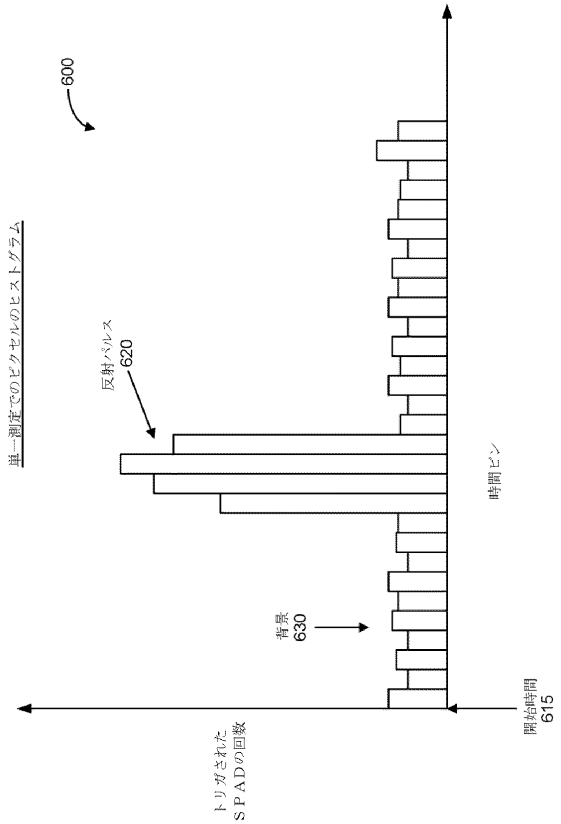
【図４】


410
停止
404
415
408
407
411
406
413
405
409
400
402
403

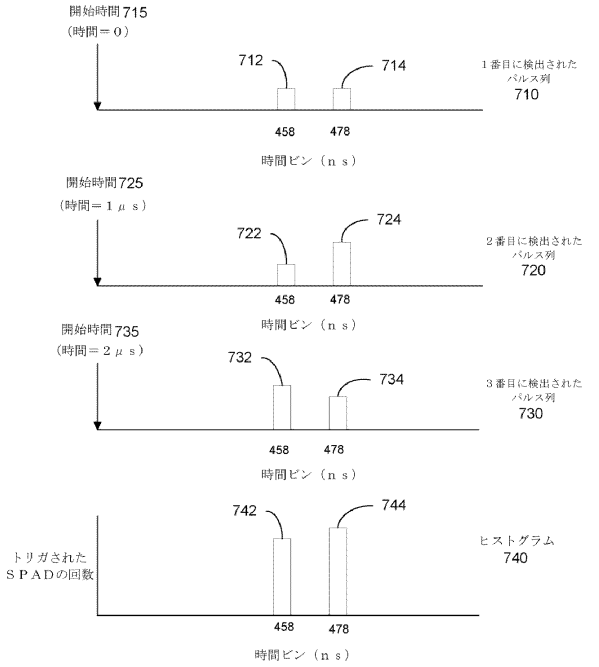
【図５】


520
光子
532
530
SPAD
525
アバランシェ電流
534
閾値回路
540
バイナリ信号
545
周期信号
560
ピクセルカウンタ
550
510
515

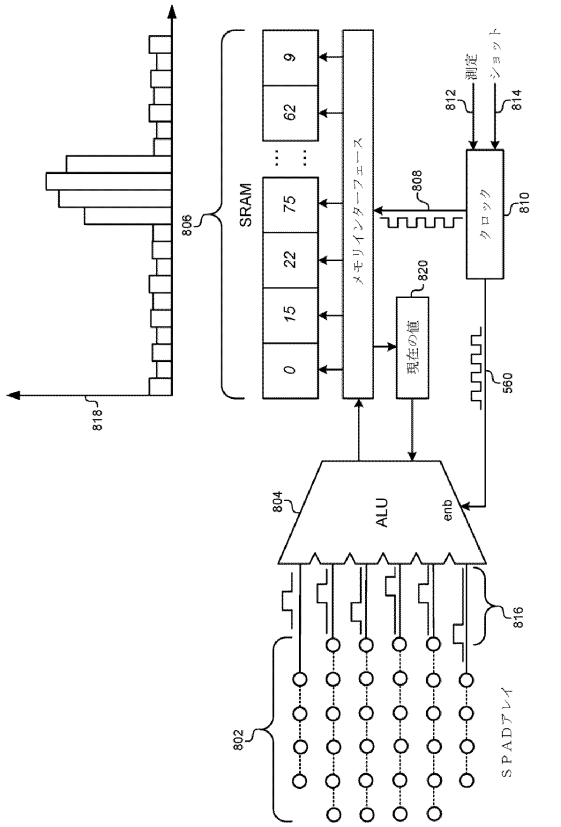
【図６】


600
単一測定でのピクセルのヒストグラム
反射パルス
620
背景
630
時間ビン
開始時間
615
トリガされた
ＳＰＡＤの回数

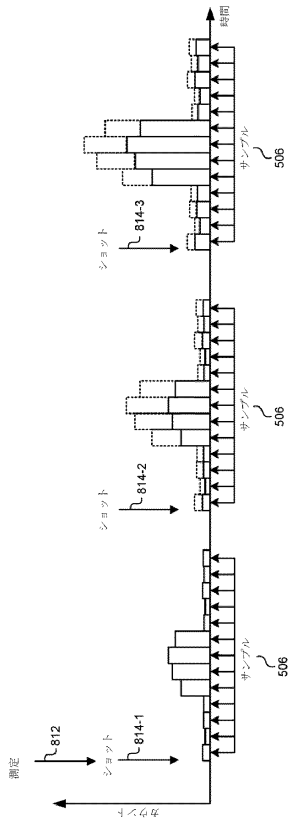
【図７】


開始時間715
（時間＝０）
712
714
１番目に検出された
パルス列
710
458
478
時間ビン（ｎｓ）
開始時間725
（時間＝１μｓ）
722
724
２番目に検出された
パルス列
720
458
478
時間ビン（ｎｓ）
開始時間735
（時間＝２μｓ）
732
734
３番目に検出された
パルス列
730
458
478
時間ビン（ｎｓ）
742
744
ヒストグラム
740
トリガされた
ＳＰＡＤの回数
458
478
時間ビン（ｎｓ）

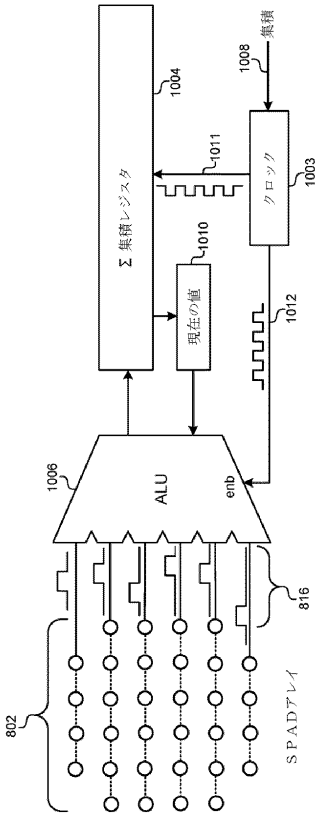
【図８】


806
SRAM
9
62
75
22
15
0
メモリインターフェース
808
812
測定
814
ショット
クロック
810
820
現在の値
560
818
804
ALU
enb
816
802
ＳＰＡＤアレイ

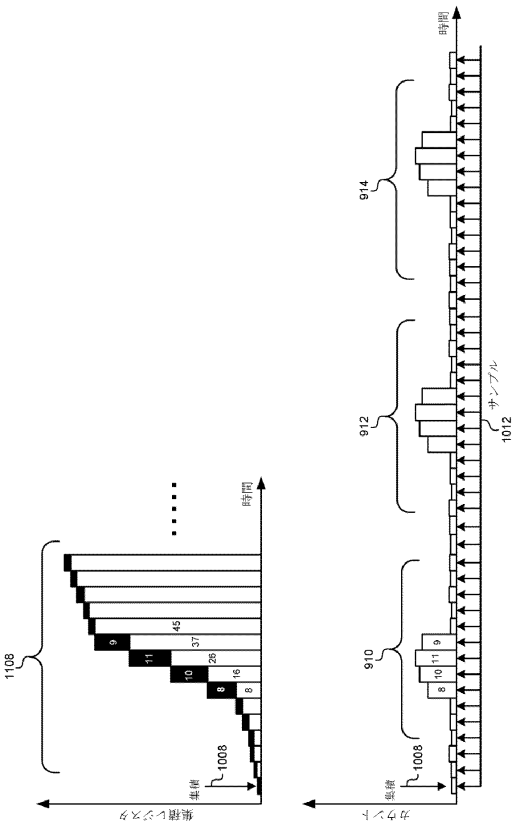
【図９】


時間
サンプル
506
814-3
ショット
サンプル
506
814-2
ショット
サンプル
506
814-1
ショット
812
測定
ヒストグラム

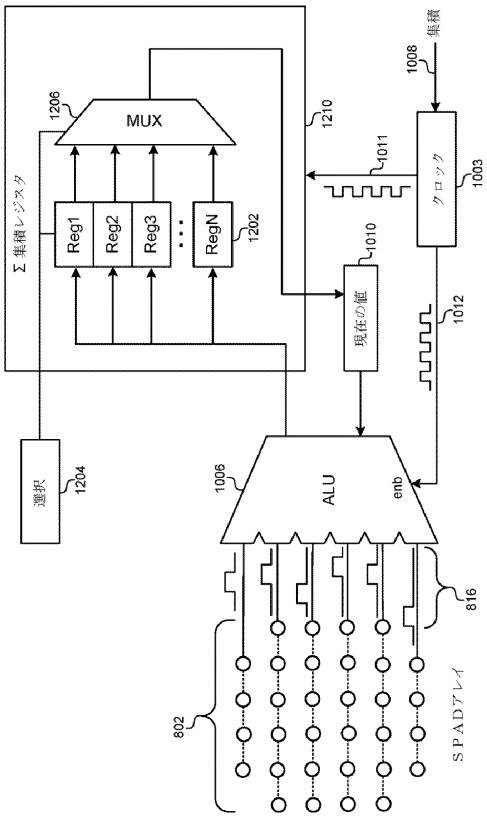
【図１０】



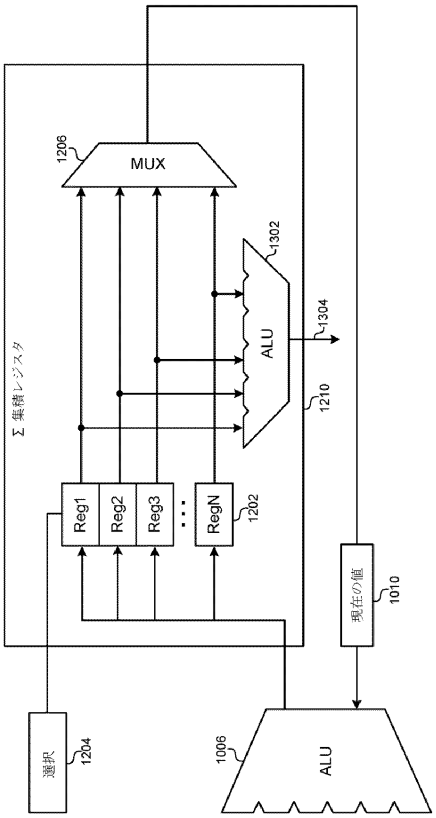
【図１１】



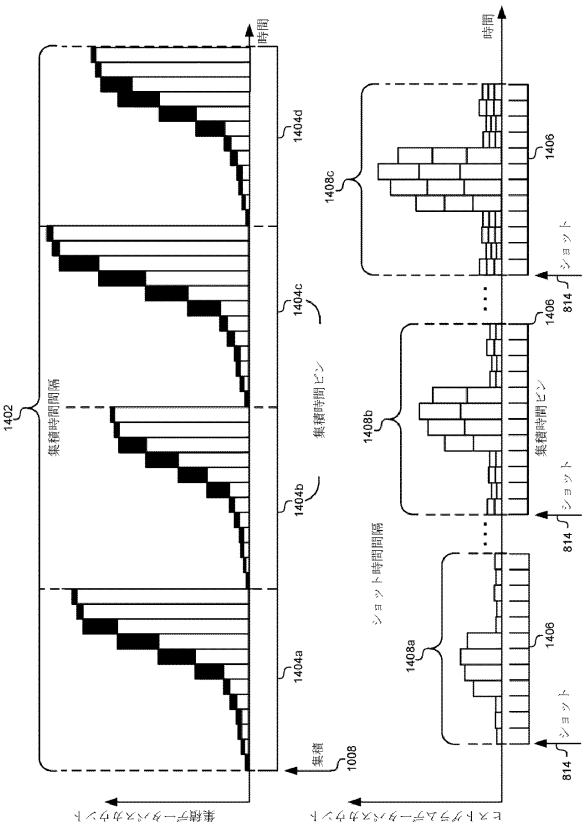
【図１２】



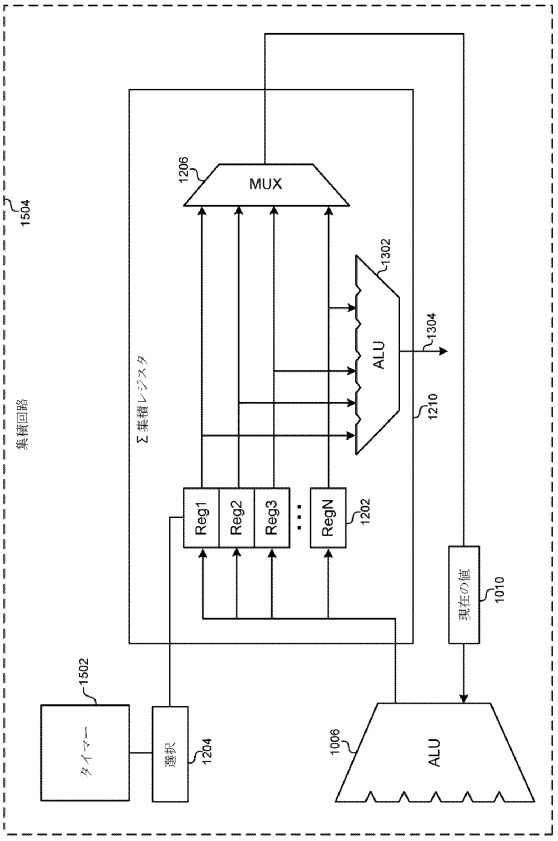
【図１３】



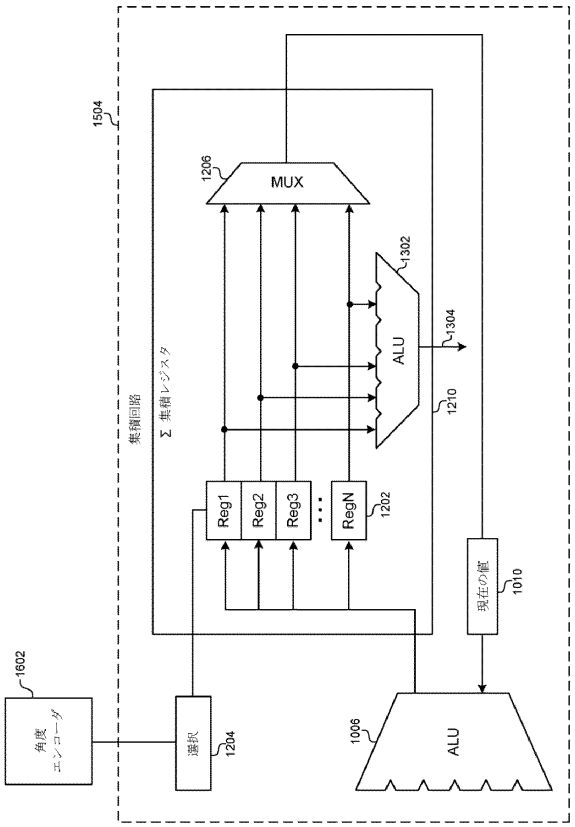
【図１４】



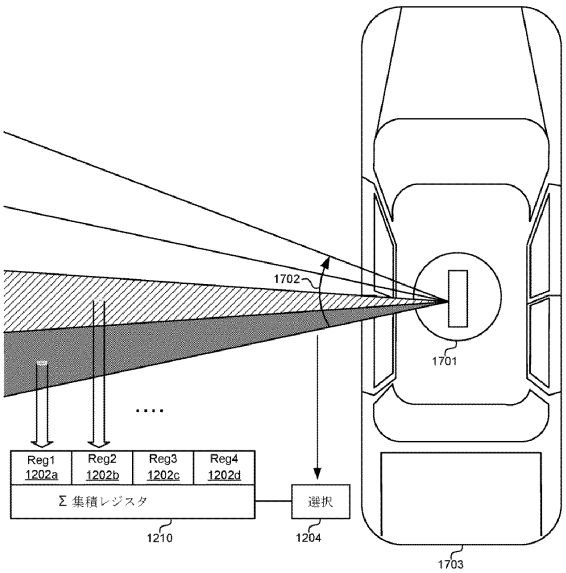
【図１５】



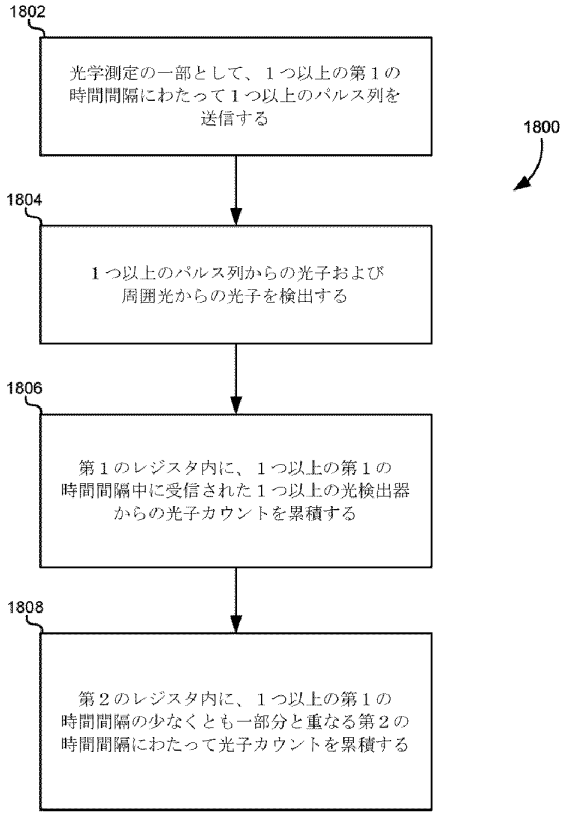
【図１６】



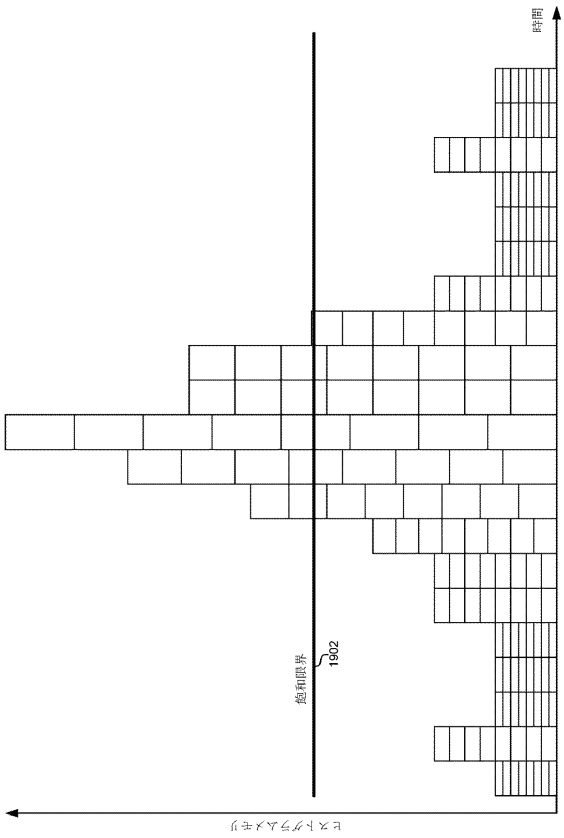
【図１７】



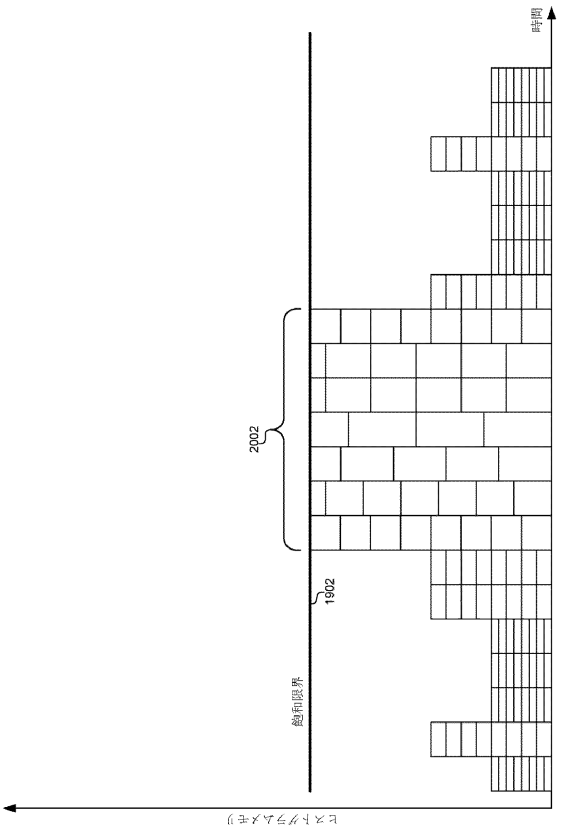
【図１８】



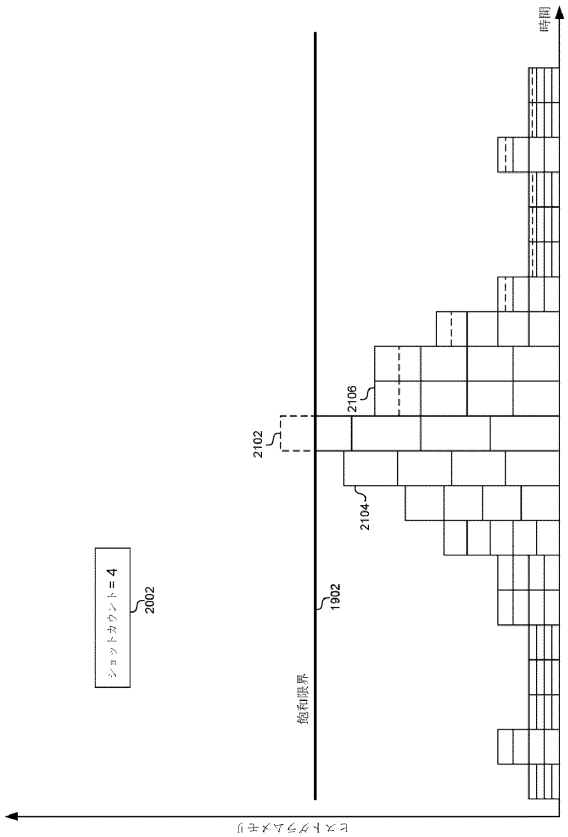
【図１９】



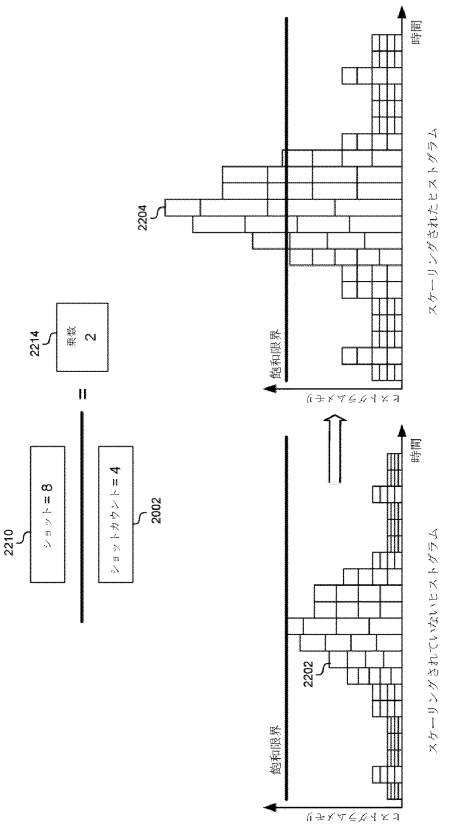
【図２０】



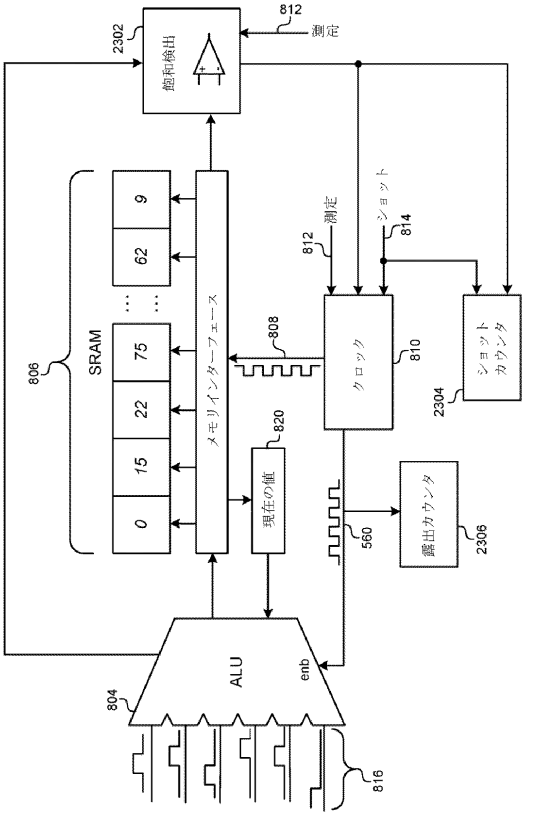
【図２１】



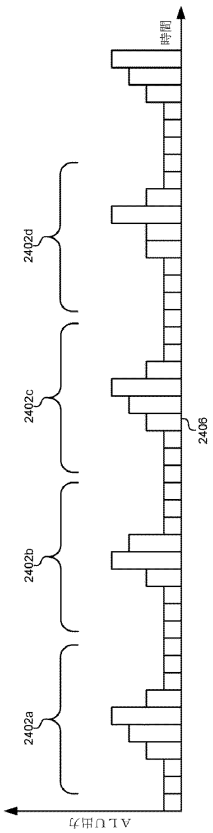
【図２２】



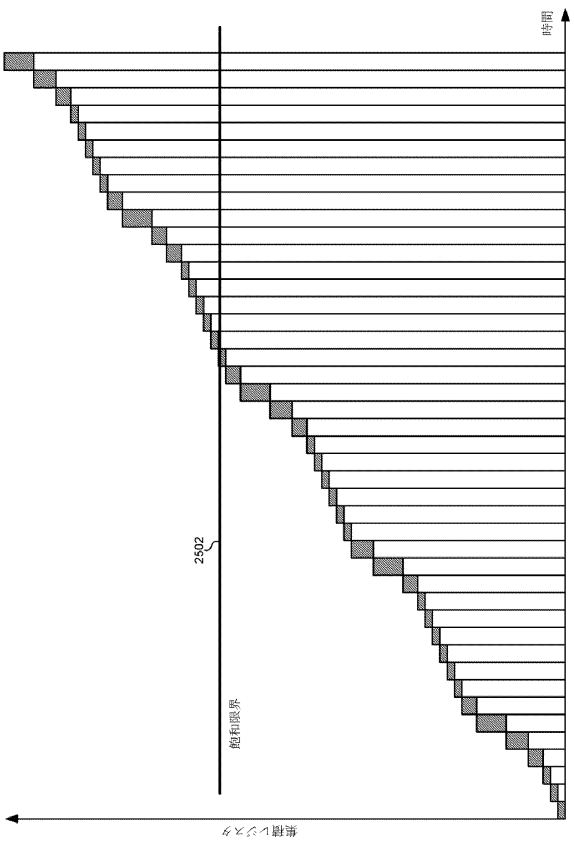
【図２３】



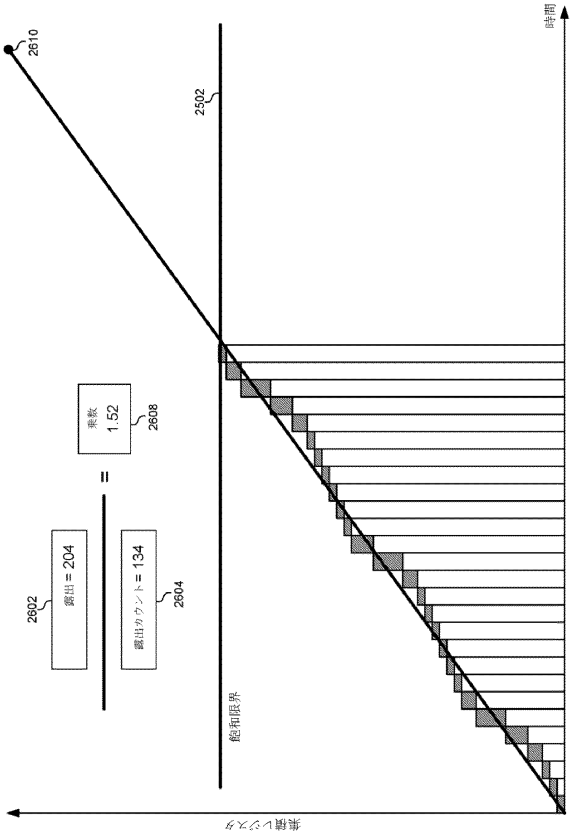
【図２４】



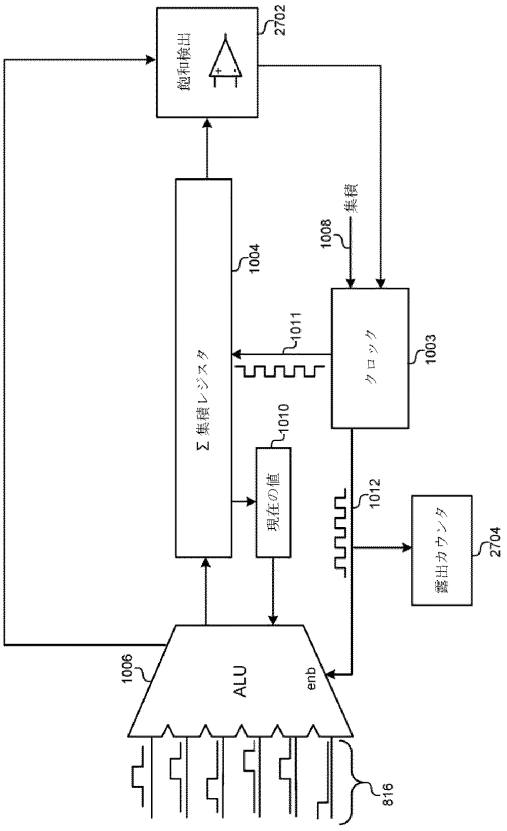
【図２５】



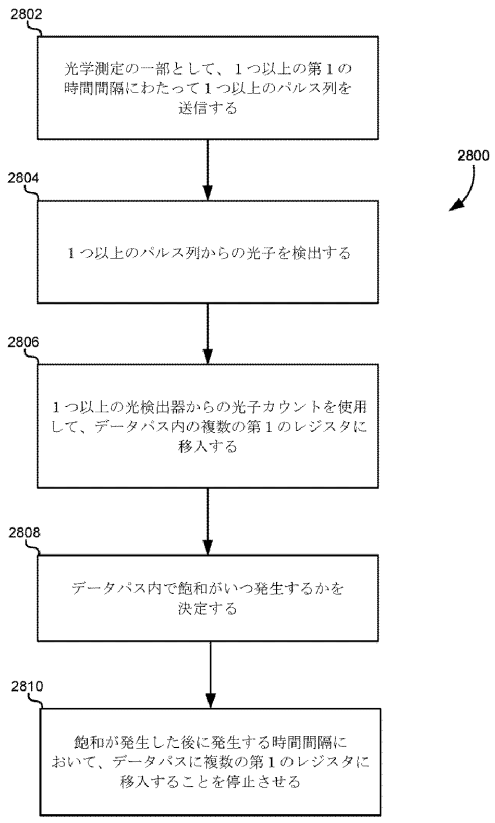
【図２６】



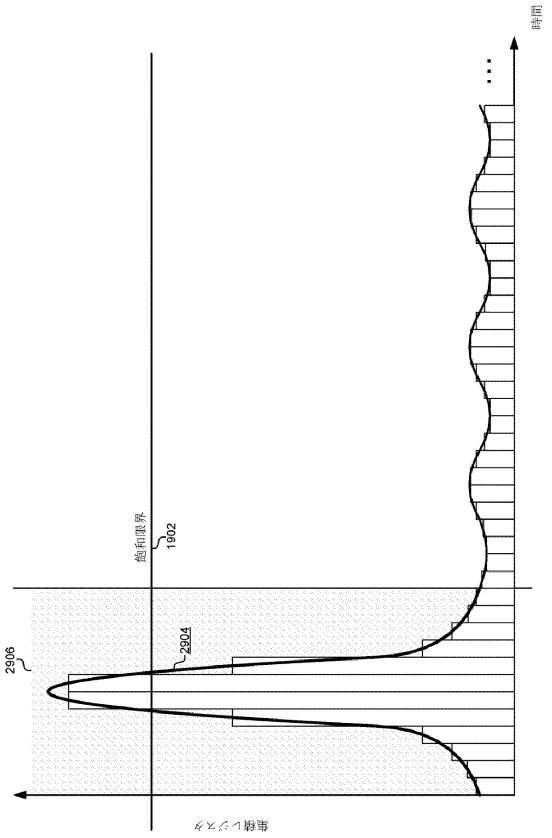
【図２７】



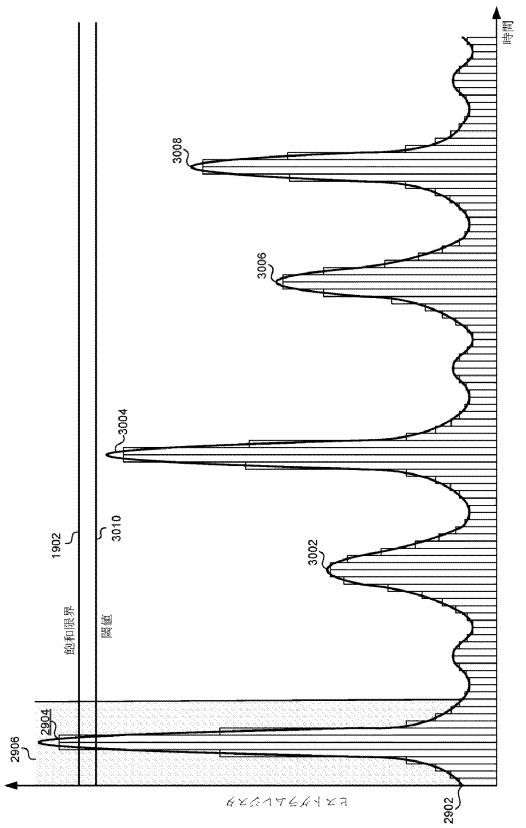
【図２８】



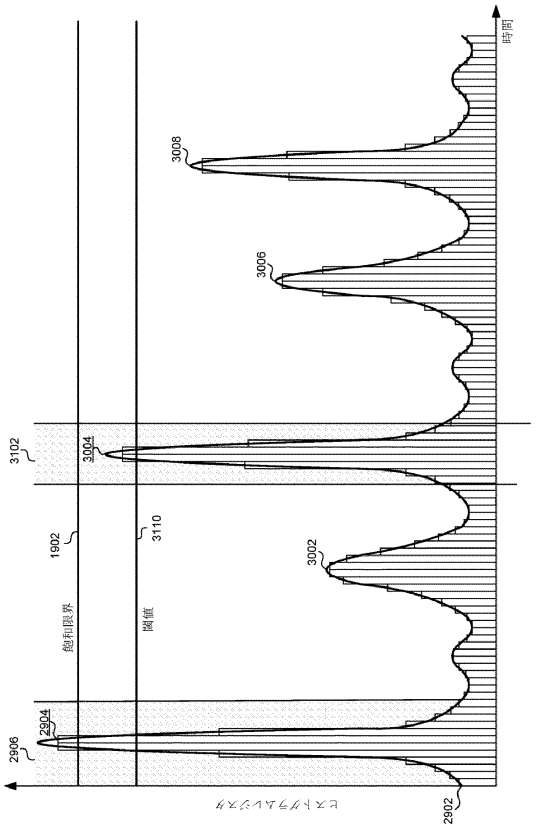
【図２９】



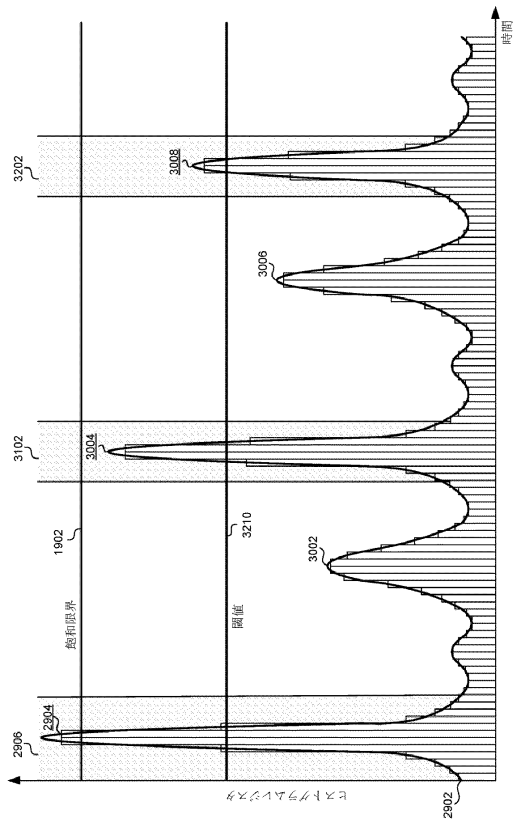
【図３０】



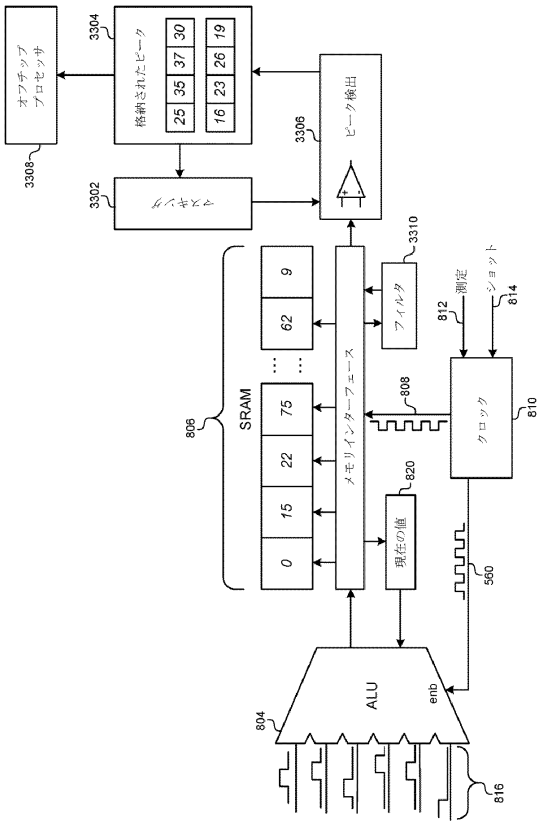
【図３１】



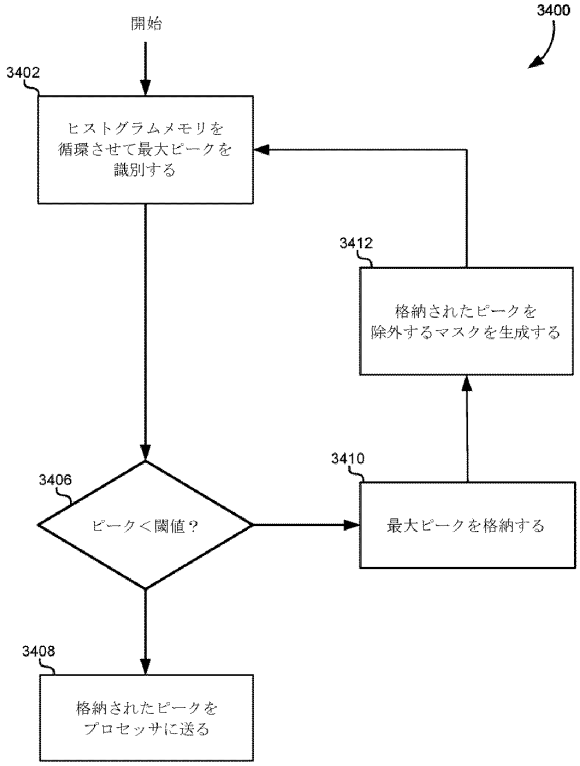
【図３２】



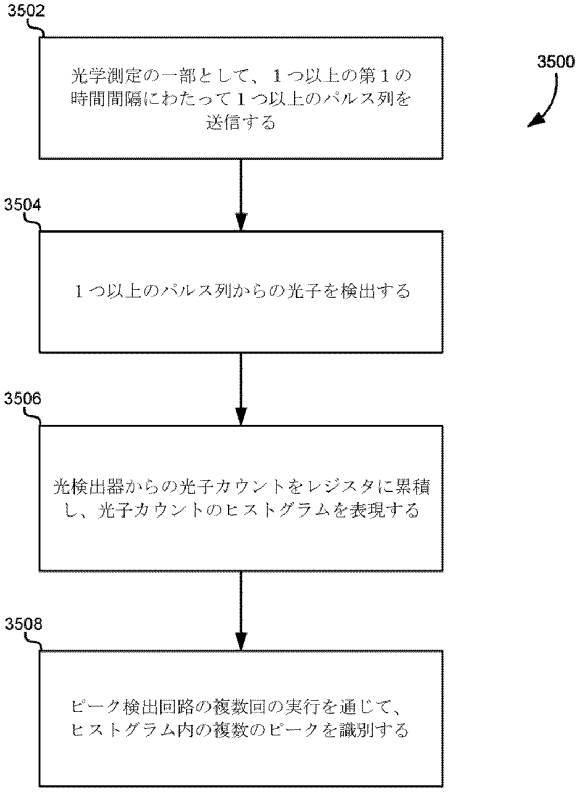
【図３３】



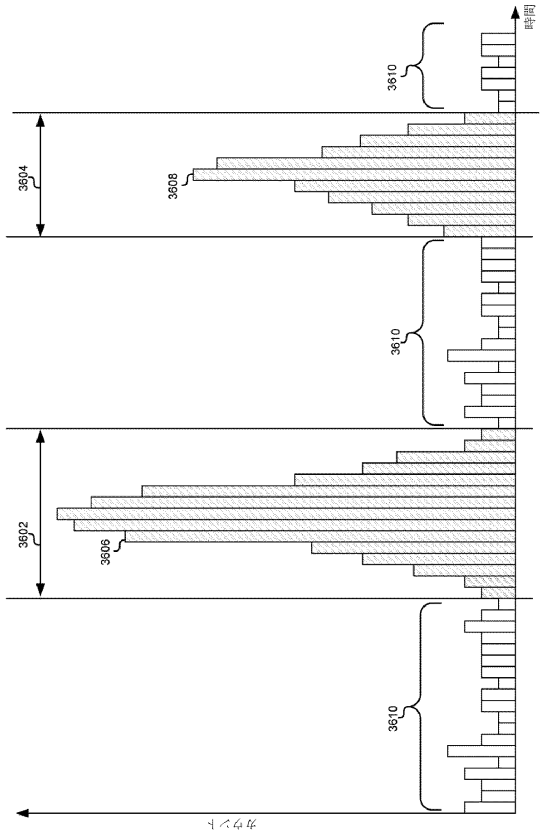
【図３４】



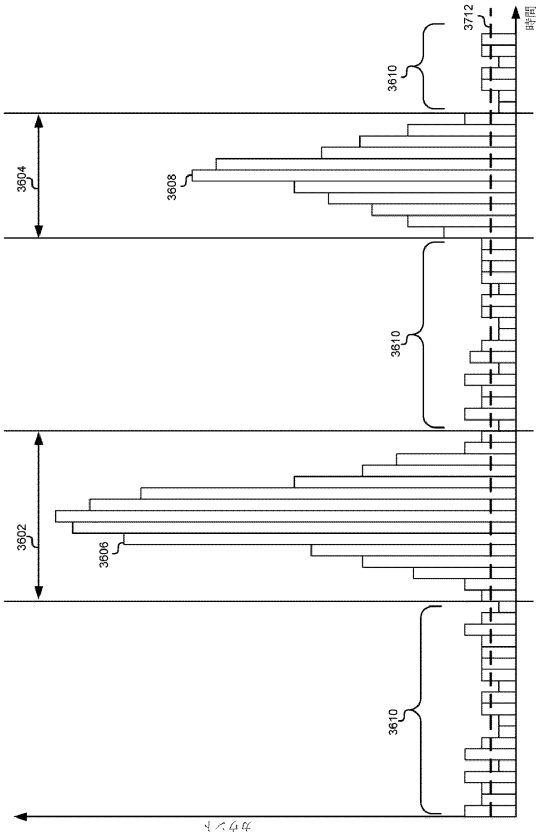
【図３５】



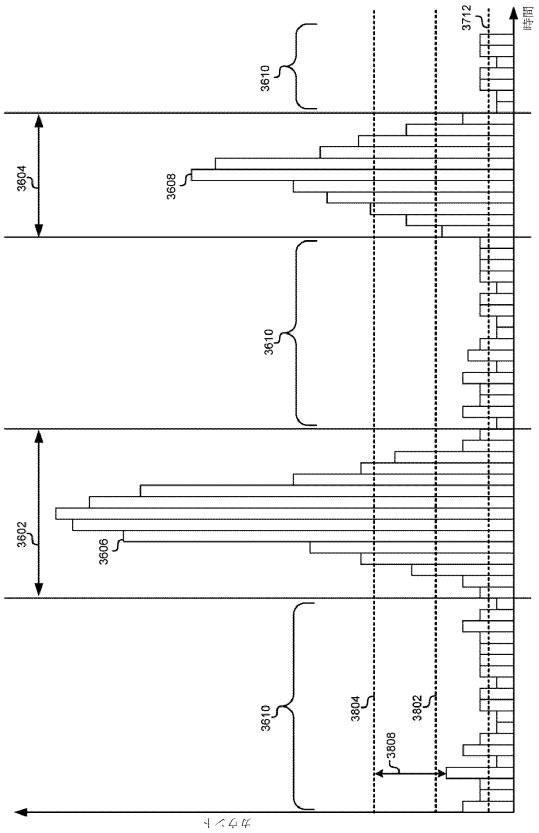
【図３６】



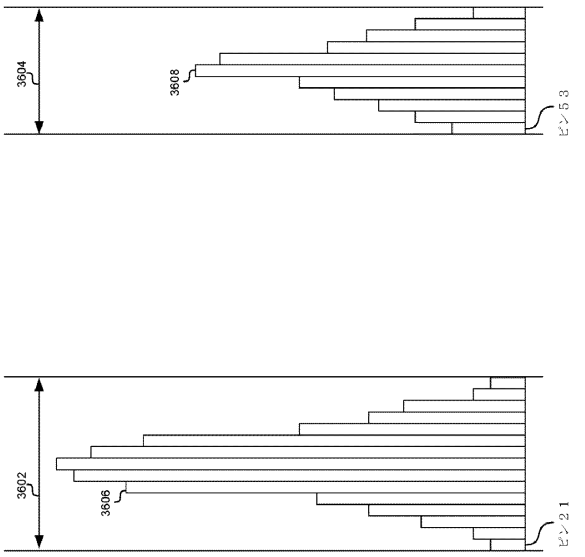
【図３７】



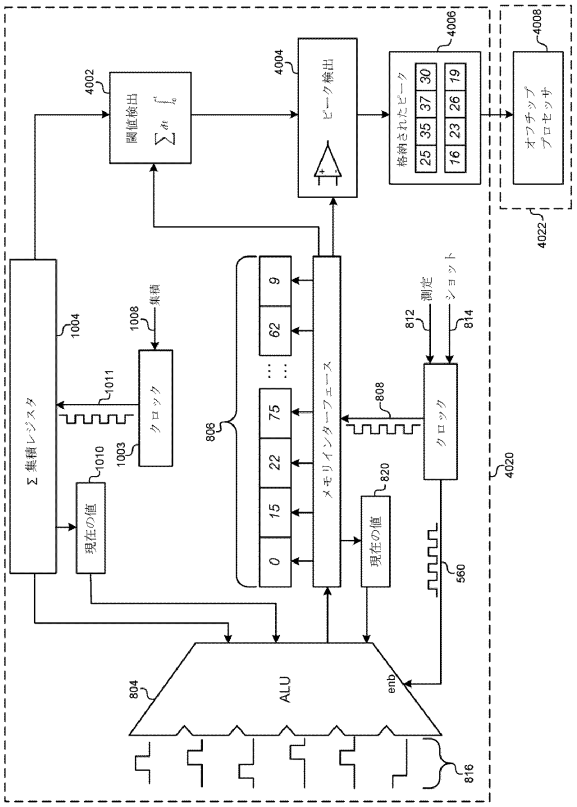
【図３８】



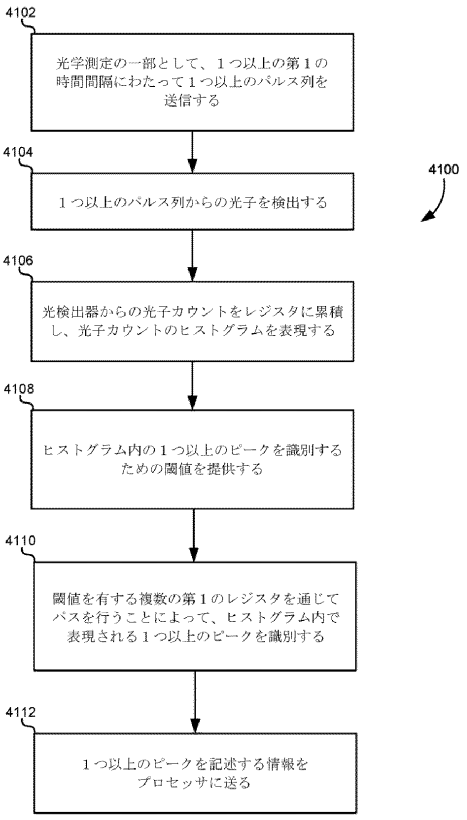
【図３９】



【図４０】



【図４１】



フロントページの続き

(74)代理人　100144451
弁理士　鈴木 博子
(74)代理人　100107537
弁理士　磯貝 克臣
(72)発明者　パカラ アンガス
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 ９４１１０ サンフランシスコ トリート アヴェニュー ３５０
(72)発明者　シュウ マーヴィン
アメリカ合衆国 カリフォルニア州 ９４１１０ サンフランシスコ トリート アヴェニュー ３５０

審査官　藤脇 昌也
(56)参考文献　国際公開第２０１８／１６０８８６（WO，Ａ１）
国際公開第２０１９／１１２７３３（WO，Ａ１）
特開２０１８－０９１７６０（ＪＰ，Ａ）
(58)調査した分野　(Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ０１Ｓ　７／４８ － ７／５１
１７／００ － １７／９５