

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公表特許公報 (A)

(11) 特許出願公表番号

特表2020-515812

(P2020-515812A)

(43) 公表日 令和2年5月28日 (2020.5.28)

(51) Int.Cl.	F I	テーマコード (参考)
<b>G O 1 S 7/484 (2006.01)</b>	G O 1 S 7/484	2 F 1 1 2
<b>G O 1 S 17/10 (2020.01)</b>	G O 1 S 17/10	4 M 1 1 8
<b>G O 1 C 3/06 (2006.01)</b>	G O 1 C 3/06 1 2 O Q	5 J O 8 4
<b>G O 1 S 7/481 (2006.01)</b>	G O 1 S 7/481 A	
<b>H O 1 L 27/146 (2006.01)</b>	H O 1 L 27/146 D	
審査請求 未請求 予備審査請求 未請求 (全 18 頁)		

(21) 出願番号 特願2019-533049 (P2019-533049)  
 (86) (22) 出願日 平成29年12月13日 (2017.12.13)  
 (85) 翻訳文提出日 令和1年8月13日 (2019.8.13)  
 (86) 国際出願番号 PCT/EP2017/082564  
 (87) 国際公開番号 W02018/108981  
 (87) 国際公開日 平成30年6月21日 (2018.6.21)  
 (31) 優先権主張番号 15/377, 289  
 (32) 優先日 平成28年12月13日 (2016.12.13)  
 (33) 優先権主張国・地域又は機関  
 米国 (US)  
 (31) 優先権主張番号 15/383, 328  
 (32) 優先日 平成28年12月19日 (2016.12.19)  
 (33) 優先権主張国・地域又は機関  
 米国 (US)

(71) 出願人 519215496  
 センスル テクノロジーズ リミテッド  
 アイルランド、コーク州、コーク、コーク  
 エアポートビジネスパーク、アベニュー  
 6000、ビルディング 6800  
 (74) 代理人 100099324  
 弁理士 鈴木 正剛  
 (72) 発明者 サルバトーレ ニュッキ  
 アイルランド、コーク、アパートメント  
 3、パイン ストリート 13  
 (72) 発明者 ジョン カールトン ジャクソン  
 アイルランド、コーク州、ピー24 アー  
 ル744、コーヴ、クロイン テラス 1

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ライダー装置

## (57) 【要約】

ライダー装置が開示される。この装置は、レーザーパルスを放射するためのアイセーフレーザー源を有する。検出された反射光子用の SiPM 検出器が設けられている。光学素子および開口絞りが設けられている。アイセーフレーザー源は、放出されたレーザーパルスが所望の範囲精度に選択的に一致するパルス幅を有する。

【選択図】 図 9

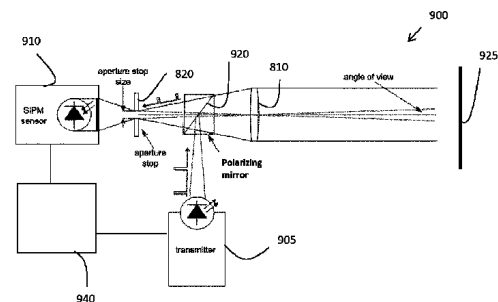


Fig. 9

**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

レーザーパルスを放出するためのアイセーフレーザー源、  
検出された反射された光子用のガイガーモード検出器、および、  
光学素子を有し、  
アイセーフレーザー源は、放出されたレーザーパルスが、所望の範囲精度に選択的に一致する幅を有するように構成される、  
ライダー装置。

**【請求項 2】**

前記レーザーパルスの平均電力は、AnsiZ136およびIEC60825規格の少なくとも 1 つに記載された目の安全基準に適合するように固定されていることを特徴とする、  
請求項 1 に記載のライダー装置。

10

**【請求項 3】**

前記アイセーフレーザー源は、所定の平均電力を達成するためにそのパルス幅が変化するように構成される、  
請求項 1 または 2 に記載のライダー装置。

**【請求項 4】**

アイセーフレーザー源は、レーザーパルスのパルス幅を減少させることによって、同じ所定の平均パワーでより高いレーザーピーク電力を印加するように構成される、  
請求項 3 に記載のライダー装置。

20

**【請求項 5】**

前記アイセーフレーザー源は、レーザーパルスのパルス幅を増加させることにより、同じ所定の平均電力でより低いレーザーピーク電力を印加を適用するように構成される、  
請求項 3 または 4 のライダー装置

**【請求項 6】**

前記レーザーピーク電力は以下の式を用いて算出され、  
$$P_{peak} = P_{avg} / (T_{pw} \times PRR)$$
  
 $P_{avg}$  はレーザーパルスの平均電力、 $T_{pw}$  はパルス幅、かつ、 $PRR$  は繰り返しレートである、請求項 3 ~ 5 のいずれか一項に記載のライダー装置。

30

**【請求項 7】**

前記アイセーフレーザー光源は、前記放出されたレーザーパルスが、検出されるすべての放出光子が前記所望の範囲精度に寄与するように、所望の検出解像度に一致する幅を有するように構成される、  
請求項 1 ~ 6 のいずれか 1 項に記載のライダー装置。

**【請求項 8】**

前記所望のレーザーパルス幅は、以下の式を使用して算出され、  
$$t = (d \cdot 2) / c$$
  
 $d$  は所望の範囲精度、 $c$  は光速、かつ、 $t$  は前記レーザーの前記パルス幅である、請求項 1 ~ 7 のいずれか 1 項に記載のライダー装置。

40

**【請求項 9】**

所望の 10 cm の範囲精度のために、前記レーザーパルス幅は 667 ピコ秒に設定される、  
請求項 8 に記載のライダー装置。

**【請求項 10】**

前記ガイガーモード検出器は、単一光子センサである、請求項 1 ~ 9 のいずれか一項に記載のライダー装置。

**【請求項 11】**

前記ガイガーモード検出器は、単一光子アバランシェフォトダイオード (SPAD) センサの集合アレイから形成される、  
請求項 1 ~ 10 のいずれか一項に記載のライダー装置。

50

## 【請求項 12】

前記放出されたレーザーパルスが所望の範囲精度に一致する幅を有するように前記アイセーフレーザー源を制御するために、前記アイセーフレーザーと協働するコントローラをさらに有する、

請求項 1 ~ 11 のいずれか 1 項に記載のライダー装置。

## 【請求項 13】

前記コントローラは、前記所望の範囲精度を設定するようにプログラム可能である、請求項 12 に記載のライダー装置。

## 【請求項 14】

前記レーザーパルスの前記幅は、1 ナノ秒未満である、

10

請求項 1 ~ 13 のいずれか一項に記載のライダー装置。

## 【請求項 15】

前記光学素子は受光レンズを含む、

請求項 1 ~ 14 のいずれか一項に記載のライダー装置。

## 【請求項 16】

前記光学素子は送信レンズを含む、請求項 15 に記載のライダー装置。

## 【請求項 17】

前記光学素子は、単一のレンズが送信および受光に利用されるようにビームスプリッタを有する、請求項 1 ~ 16 のいずれか一項に記載のライダー装置。

## 【請求項 18】

20

前記ビームスプリッタは、前記単一レンズと前記ガイガーモード検出器との間に配置された偏光ミラーを有する、請求項 17 に記載のライダー装置。

## 【請求項 19】

前記ガイガーモード検出器と前記光学素子との間に配置された開口絞りを有する、請求項 1 ~ 18 のいずれか一項に記載のライダー装置。

## 【請求項 20】

前記開口絞りは、前記光学素子の前記焦点に位置する、

請求項 1 ~ 19 のいずれか一項に記載のライダー装置。

## 【請求項 21】

前記開口絞りは、SiPM 検出器の前記アクティブエリアの前記サイズに基づく所望の画角に一致する寸法を有する、請求項 20 に記載のライダー装置。

30

## 【請求項 22】

前記画角は1度未満である、請求項 21 に記載のライダー装置。

## 【請求項 23】

前記開口絞りは、前記光学素子によって収集された光を前記 SiPM 検出器の全アクティブエリアにわたって拡散させる、

請求項 19 に記載のライダー装置。

## 【請求項 24】

所定の焦点距離  $f$  に対して、前記焦点に配置されて長さ  $L$  である前記 SiPM 検出器の前記画角  $\theta_{x,y}$  は、

40

$$\theta_{x,y} = 2 \times \arctan(L_{x,y} / 2) / f$$

で与えられ、 $f$  は受光レンズの焦点距離、 $L_x$ 、 $L_y$  はセンサの水平および垂直距離で、かつ、 $\theta_{x,y}$  はセンサ画角である、

請求項 21 に記載のライダー装置。

## 【請求項 25】

前記開口絞りは、以下の式、

$$P_{x,y} = 2 \times f \times \tan(\theta_{x,y} / 2)$$

に従って前記所望の画角に一致する寸法を有し、 $f$  は受光レンズの焦点距離、 $\theta_{x,y}$  はセンサ画角で、かつ、 $P_{x,y}$  は開口絞りサイズである、

請求項 21 に記載のライダー装置。

50

## 【発明の詳細な説明】

## 【技術分野】

## 【0001】

本発明は、ライダー（LiDAR）装置に関する。特に、本開示は、これらに限定されるわけではないが、放出されたレーザーパルスの幅が望ましい範囲の精度に一致するように構成された、目に安全なレーザー光源に関する。

## 【背景技術】

## 【0002】

シリコン光電子増倍管（Silicon Photomultiplier：SiPM）は、単一光子センシティブで高性能の固体センサである。SiPMは、クエンチ抵抗器と一体化されて密集バックされた単一光子アバランシェフォトダイオード（Single Photon Avalanche Photodiode：SPAD）センサの集合アレイ（summed array）から形成され、その結果、高利得（ $\sim 1 \times 10^6$ ）、高検出効率（ $> 50\%$ ）であり、かつ、 $\sim 30V$ のバイアス電圧で高速タイミング（サブナノセカンド（ns）の立ち上がり時間）がすべて達成される小型センサが得られる。

10

## 【0003】

典型的な最先端のToFライダーシステムでは、パルス照明または連続照明を使用する。後者は、正弦波信号として表すことができる連続的に時間変化する信号を使用する。ターゲットの範囲を検出するには、信号を取得し、発信信号と着信信号間の位相角シフトを決定する必要がある。その後、このシフトを使用して、ソースからターゲットまでの距離を計算する。動作の性質上、正弦波信号のピークとトロス（troth）を検出する必要がある。信号のピークとトロスの両方を検出するためのこの要件は、検出されたすべての光子がターゲット距離の決定に使用されるわけではないことから、光子を浪費する。このことから、高い光パワーと、低反射率ターゲットの長距離検出に使用される、潜在的に目に安全（アイセーフ）ではない信号源が必要である。

20

## 【0004】

したがって、ガイガーモード検知器を利用して従来技術の欠点の少なくともいくつかを解決するライダーシステムを提供することが求められている。

## 【発明の概要】

## 【発明が解決しようとする課題】

30

## 【0005】

従って、本開示は、レーザーパルスを放出するためのアイセーフレーザー源、検出された反射光子用のガイガーモード検出器、および光学素子を有し、前記アイセーフレーザー源は、送信されたレーザーパルスが所望の距離精度に選択的に一致する幅を有するように構成されるライダー装置に関する。

## 【0006】

一実施形態では、レーザーカードパルスの平均電力は、アイセーフ（目に安全な）に関する制限に適合するように固定される。

他の形態では、アイセーフレーザー源は、所定の平均電力を達成するためにそのパルス幅が変化するように構成される。

40

更なる形態では、アイセーフレーザー源は、レーザーパルスのパルス幅を減少させることによって、同じ所定の平均電力でより高いレーザーピーク電力を印加するように構成される。

## 【0007】

他の形態では、前記アイセーフレーザー源は、レーザーパルスのパルス幅を増加させることにより、同じ所定の平均電力でより低いレーザーピーク電力を印加を適用するように構成される。

## 【0008】

例示的な形態では、レーザーピーク電力は以下の式を用いて算出され、

$$P_{peak} = P_{avg} / (T_{pw} \times PRR)$$

50

$P_{avg}$  はレーザーパルスの平均電力、 $T_{pw}$  はパルス幅、かつ、 $PRR$  は繰り返しレートである。

【0009】

更に他の形態では、アイセーフレーザー光源は、放出されたレーザーパルスが、検出されるすべての放出光子が前記所望の範囲精度に寄与するように、所望の検出解像度に一致する幅を有するように構成される。

他の形態では、所望のレーザーパルス幅は、以下の式を使用して算出され、

$$t = (d * 2) / c$$

$d$  は所望の範囲精度、 $c$  は光速、かつ、 $t$  は前記レーザーの前記パルス幅である。

【0010】

更なる形態では、10 cm という所望の距離精度のために、レーザーパルス幅は667ピコセカンドまで設定される。

一形態において、ガイガーモード検出器は単一光子センサである。

他の形態において、ガイガーモード検出器は、単一光子アバランシェフォトダイオード (SPAD) センサの集合アレイから形成される。

【0011】

例示的な構成において、放出されたレーザーパルスが所望の範囲精度に一致する幅を有するように、アイセーフレーザーを制御するためのアイセーフレーザーと協働するコントローラが提供される。

他の形態では、コントローラは、所望の範囲精度を設定するためにプログラム可能である。

一形態では、レーザーパルスの幅は1ナノ秒未満である。

更なる形態では、光学素子は受光レンズを備える。

別の態様では、光学素子は送信レンズを含む。

例示的な構成では、光学素子には、単一レンズが送信レンズおよび受光レンズとして利用されるようにビームスプリッタが含まれる。

【0012】

一形態では、ビームスプリッタは、単一レンズと SiPM 検出器との間に配置された偏光ミラーを備える。

更なる形態では、開口絞りは、ガイガーモード検出器と光学素子との間に配置される。

一形態では、開口絞りは光学の焦点に配置される。

他の形態では、開口絞りは、ガイガーモード検出器のアクティブエリアのサイズに基づく所要の画角に一致する寸法を有する。

更に他の形態では、画角は1度未満である。

一形態において、開口絞りは、光学素子によって集められた光を、ガイガーモード検出器の全アクティブ領域にわたって、拡散する。

【0013】

一形態において、所定の焦点距離  $f$  に対して、前記焦点に配置されて長さ  $L$  である前記 SiPM 検出器の前記画角  $\theta_{x,y}$  は、

$$\theta_{x,y} = 2 \times \arctan(L_{x,y} / 2) / f$$

で与えられ、 $f$  は受光レンズの焦点距離、 $L_x$ 、 $L_y$  はセンサの水平および垂直距離で、かつ、 $\theta_{x,y}$  はセンサ画角である。

1 形態では、コントローラは、放出されたレーザーパルスが所望の距離精度に選択的に一致する幅を有するように目に安全なレーザー源をコントロールするために、目に安全なレーザー源と協働し得る。

これらおよび他の特徴は、本教示の理解を助けるために提供されるフォリオウイングの図面を参照することで、より一層理解されるであろう。

【0014】

これらおよび他の特徴は、本教示の理解を助けるために提供されるフォリオウイングの図面を参照することで、より一層理解されるであろう。

10

20

30

40

50

以下、本教示を添付の図面を参照して記述する。

【図面の簡単な説明】

【0015】

【図1】シリコン光電子増倍管の例示的な構造の説明図。

【図2】例示的なシリコン光電子増倍管の回路図。

【図3】ダイレクトToF測距用の例示的な技術の説明図。

【図4】例示的なToF測距システムの説明図。

【図5】図4のToF測距システムを用いて生成されたヒストグラム。

【図6】SiPMを検出器として組み込む例示的なライダー装置。

【図6A】図6のライダー装置の詳細の説明図。

【図7】本教示によるライダー装置の詳細の説明図。

【図8】本教示によるライダー装置の詳細の説明図。

【図9】本教示による他のライダー装置の詳細の説明図。

【図10】従来技術のライダーシステムのレーザーパルス幅の説明図。

【図11】本教示によるライダー装置のレーザーパルス幅の説明図。

【発明を実施するための形態】

【0016】

本開示は、ガイガーモード検出器の技術を利用した例示的なライダー装置を参照して以下に記述される。本教示の理解を助けるために例示的なライダーシステムが提供されるが、これはいかなる意味でも発明を制限するものではないことが理解されるであろう。さらに、いずれか1つの図を参照して説明された回路要素または構成要素は、本教示の精神から逸脱することなく、他の図のものまたは他の同等の回路要素と交換され得る。説明を簡単かつ明瞭にするために、適切であると考えられる場合には、対応する要素または類似の要素を示すために参照番号を図面間で繰り返すことがあることを理解されたい。

【0017】

最初に図1を参照すると、ガイガーモードフォトダイオードアレイを含むシリコン光電子増倍管100が示される。図示のように、アバランシェ電流を制限するために使用することができるクエンチ抵抗が各フォトダイオードに隣接して設けられている。アルミニウムまたは同様の導電性トラッキングによって、共通のバイアス電極および接地電極にフォトダイオードが電氣的に接続されている。従来のシリコン光電子増倍管200の概略回路図を図2に示す。ここで、フォトダイオードアレイのアノードは、共通接地電極に接続され、アレイのカソードは、限流抵抗を介して接続されて、ダイオードの両端にバイアス電圧を印加するための共通バイアス電極に接続されている。

【0018】

シリコン光電子増倍管100は、本教示に従ってガイガーモード検出器として用いられてもよい。単一光子アバランシェダイオード(SPAD)などの他のガイガーモード検出器を利用することができることから、本教示を例示的实施形態で説明した例示的ガイガーモード検出器に限定することは意図していない。シリコン光電子増倍管100は、電氣的および光学的に絶縁された小型のガイガーモードフォトダイオード215の高密度アレイを集積する。各フォトダイオード215は、それぞれクエンチ抵抗220に直列に結合される。各フォトダイオード215は、それぞれマイクロセルと呼ばれる。マイクロセルの数は、典型的には $1\text{ mm}^2$ 当たり100~3000である。次いで、すべてのマイクロセルの信号が合計されて、SiPM200の出力が形成される。図2の概念を説明するために、簡略化された電氣回路が提供されている。

【0019】

各マイクロセルは、光子を同一にそして独立して検出する。これら個々のバイナリ検出器のそれぞれからの放電電流の合計は、準アナログ出力を形成するために組み合わせられ、したがって、入射光子束の大きさに関する情報を与えることができる。各マイクロセルは、マイクロセルがガイガー降伏を受けるたびに、非常に均一で量子化された量の電荷を生成する。マイクロセルの(したがって検出器の)利得は、電子の電荷に対する出力電荷の

10

20

30

40

50

比として定義される。出力電荷は、過電圧とマイクロセル容量から計算できる。

$$G = (C \cdot V) / q$$

G はマイクロセルの利得、C はマイクロセルのキャパシタンス、V は過電圧、q は電子の電荷である。

【0020】

ライダー (LiDAR) は、モバイル測距、自動車用 A D A S (Advanced Driver Assistance Systems)、ジェスチャ認識および 3 D マッピングなどのアプリケーションで採用されている測距技術である。S i P M センサのようなガイガーモード検出器を採用することで、特にモバイル製品や大量生産品において、アバランシェフォトダイオード (A P D)、P I N ダイオードおよび光電子増倍管 (P M T) などの代替センサ技術に対して多くの利点を有する。ダイレクト T o F 測距システムで典型的に使用される基本コンポーネントが図 3 に示される。ダイレクト T o F 技術では、周期的レーザーパルス 3 0 5 がターゲット 3 0 7 に向けられる。ターゲット 3 0 7 はレーザー光子を拡散し反射し、かつ、光子のうちのいくつかは、検出器 3 1 5 の方へと後方に反射される。検出器 3 1 5 は、検出されたレーザー光子 (およびノイズによるいくつかの検出された光子) を電気信号に変換し、その後、検出されたレーザー光子には、タイミング電子機器 3 2 5 によってタイムスタンプが付けられる。

10

【0021】

この飛行時間 (t) は、ターゲットまでの距離 D を以下の式からの算出するために用いられる。

20

$$D = c \cdot t / 2 \quad \text{式 1}$$

ここで、c = 光速、かつ、t = 飛行時間である。

検出器 3 1 5 は、戻ってきたレーザー光子をノイズ (周囲光) と区別しなければならない。レーザーパルスごとに、少なくとも 1 つのタイムスタンプがキャプチャされる。これはシングルショット測定として知られている。多くのシングルショット測定からのデータを組み合わせて測距測定値が生成されると信号対雑音比を実質的に改善することが可能であり、それにより、検出されたレーザーパルスのタイミングを高精度かつ正確に抽出することができる。

【0022】

ここで図 4 を参照すると、センサ領域 4 0 5 を画定する単一光子アバランシェフォトダイオード (S P A D) のアレイを含む例示的な S i P M センサ 4 0 0 が示される。矯正光学素子 (optics) を提供するためにレンズ 4 1 0 が設けられている。レンズシステムの所与の焦点距離 f について、焦点上に配置され長さ L を有する S i P M センサ 6 1 5 の画角は、式 2 によって与えられる。

30

$$\theta_{x,y} = 2 \times \arctan((L_{x,y} / 2) / f) \quad \text{式 2}$$

【0023】

これは、短い焦点距離が用いられた場合、大きなセンサが大きな画角を有していることを意味する。レンズの口径を広げると、戻ってくるレーザー光子の数は一定のままで、より多くの周囲光子が検出される。S i P M 4 0 0 は、図 5 におけるヒストグラムウィンドウの開始時における大きなオーバーシュートから明らかなように、飽和する傾向がある。センサ 4 0 0 が飽和状態になると、レーザー光子は S i P M 4 0 0 によってかは検出され得ず、より低い信号検出率およびより低い全体的な S N R H をもたらす。

40

【0024】

図 6 は、例示的なライダーシステム 6 0 0 を示す。これは、送信レンズあるいは送光レンズ (Transmit Lens: T L) 6 0 4 を通して周期的なレーザーパルス 6 0 7 を送信するためのレーザー源 6 0 5 を含む。ターゲット 6 0 8 は、受光レンズあるいは受信レンズ (Receive Lens: R L) 6 1 0 を介してレーザー光子 6 1 2 を拡散および反射し、光子のいくつかは S i P M センサ 6 1 5 に向かって反射して戻る。S i P M センサ 6 1 5 は、ノイズに起因して検出されたいくつかの光子および検出されたレーザー光子を電気信号に変換し、この電気信号は、その後、タイミング電子機器によってタイムスタンプされる。

50

## 【 0 0 2 5 】

S i P M センサ 6 1 0 が飽和点に達するのを回避するために、焦点距離は比較的長く保たれる必要がある。 レンズシステムの所与の焦点距離  $f$  について、焦点に配置され長さ  $L$  を有する S i P M センサ 6 1 5 の画角 は、式 2 によって与えられる。従って、図 6 A に示されるように、短い焦点距離が使用される場合、大きなセンサは大きな画角を必要とする。最先端のライダーセンサでは、最大  $90^{\circ}+$  までの、数十度のオーダーの大きな画角 (Angle of View: A o V) が用いられ、レーザーがシーンを角度分解能でスキャンしている間に、検出器がシーンの検知を行う。これらのセンサは、通常、強い周囲光除去を有する P I N およびアバランシェダイオードに基づいている。しかしながら、雑音レベルはライダーシステムの精度を制限する受信機 A o V によって設定されるので、信号対雑音比 S N R は、大きな画角によって大きな影響を受ける。更に、戻り光子数が単一光子検出効率を必要とする長距離ライダーには、これらのデバイスは適していない。

10

## 【 0 0 2 6 】

S P A D または S i P M センサの短い画角を使用する S i P M 検出器は、単一光子検出効率要件を満たす。短い、すなわち 1 度未満 ( $< 1^{\circ}$ ) である A o V センサは、より大きな全 A o V をカバーするためにスキャンシステム内の単一ポイントセンサ (Single Point Sensor: SPS) として使用されるか、アレイに配置される。しかしながら、S P A D / S i P M センサは、センサの必要な回復 / 再充電プロセスのためにダイナミックレンジが制限されるおそれがある。S i P M のマイクロセルにおける光検出のたびに、アバランシェプロセスでは、たとえば、光電流を放電してダイオードをブレイクダウン領域から外に出す抵抗器を介してクエンチングがなされる必要がある。

20

その後、受動的または能動的な再充電プロセスがダイオードバイアス電圧を回復し始め、次の光検出の準備が整った初期状態を回復する。急冷および再充電プロセスが行われる間の時間の長さは、一般に、デッドタイムまたは回復時間と呼ばれる。ダイオードのバイアス条件はガイガーモードの外側にあるため、この時間枠内でそれ以上検出の検出は生じない。S i P M では、マイクロセルがデッドタイムウィンドウに入っても、他のマイクロセルは依然として光子を検出できる。従って、マイクロセルの数はセンサの光子ダイナミックレンジを定義し、単位時間当たりのより多数の光子を検出することを可能にする。むだ時間のために検出に利用可能なマイクロセルがない場合、SiPM は飽和領域にあると言われる。

30

検出器が関与するユニットを妨げる回復プロセスを補償するために、SiPM (マイクロセル) 内には多数のダイオードが必要である。S i P M が大きいと、高いダイナミックレンジが提供される。S i P M のサイズは、受信された焦点距離と共に、式 2 に従って、図 6 A に示されるように、画角を設定する。

## 【 0 0 2 7 】

S i P M 検出器は、検出器のデッドタイムに起因して、高い周囲光条件で飽和するおそれがある。本開示は、望ましくない雑音、すなわち、コヒーレントでない周囲光を集めてしまうことを回避するために、S i P M 検出器の画角 (A o V) を制限することによってこの問題に対処する。大きなセンサのための短い画角によって、単レンズ光学システムにおいては長い焦点距離が必要とされる。そのような焦点距離は、利用可能なスペースが受光光学素子から 1 0 c m 以下にあるコンパクトな環境で動作することが必要とされるライダーシステムには適していない。

40

本解決策は、ガイガーモード検出器として動作する、受光レンズを備えた S i P M 検出器と、A o V を制限し焦点距離要件を低減する開口絞り要素と組み合わせることによって、S i P M センサをコンパクトな環境で動作するライダーシステムに組み込むことを可能にする。開口絞り要素は、大きな画角から来る光を止め、集光された光を S i P M の全領域にわたって広げ、効果的に長焦点距離レンズ配置の検出効率を達成する。

## 【 0 0 2 8 】

ここで、図 7 を参照すると、本教示によるライダー装置に組み込み可能な例示的な S i P M センサ 7 0 0 が示されている。S i P M センサ 7 0 0 は、検知領域 7 0 5 を画定する

50



単一光子アバランシェフォトダイオード ( S P A D ) のアレイを備える。修正光学素子を提供するためにレンズ 7 1 0 が設けられる。

レンズ 7 1 0 とセンサ領域 7 0 5 との間には開口絞り 7 1 5 が設けられており、これは、より大きな角度から来る光を遮断し、かつ、収集された光をセンサ領域 7 0 5 上に拡散させ、これにより長い焦点距離が必要であるという点を解消する。開口は、そこを通る光の透過を容易にする開口部または穴である。光学装置の焦点距離および開口は、像平面内の焦点に到達する複数の光線の円錐角を決定する。開口部は光線をコリメートあるいは平行化し、かつ、画質にとって非常に重要である。開口が狭い場合、高度にコリメートされた光線の通過が許容され、その結果、像面に鋭い焦点がもたらされる。

しかしながら、開口が広い場合、コリメートされていない光線がアパーチャを通過可能となり、このことは、特定の距離から来る特定の光線に対する鋭い焦点を制限する。

従って、広い口径は、ある距離にある対象物に対して鮮明な画像をもたらす。

入射光線の量も開口のサイズによって決まる。光学装置は、光線束を制限する要素を有し得る。光学的には、これらの要素は光学装置によって許容される光を制限するために使用される。これらの要素は一般に絞りあるいはストップと呼ばれる。

開口絞りは、像点での光線円錐角と明るさを設定する絞りである。開口絞り 7 1 5 の結果として、S i P M 7 0 0 の光学素子の焦点距離は、S i P M 4 0 0 の光学素子の焦点距離よりも実質的に短くてもよい。

#### 【 0 0 2 9 】

所与の精度および測距精度に必要とされるダイナミックレンジを維持しながら画角を縮小するために、図 6 A に示されるように、通常、大きなセンサは焦点距離の長いレンズ開口とペアにされる。しかし、最大長が通常約 10cm 以下 ( ~ 1 0 c m ) であるコンパクトなシステムでは、1 0 c m を超えるに至る長い焦点距離 ( ~ 1 0 + c m ) は魅力的ではない。

コンパクトなライダーシステムを必要とするアプリケーションには、自律型自動車 ( Autonomous Automobiles )、先進運転支援システム ( Advanced Driver Assistance Systems : ADAS )、および 3D イメージングが含まれる。本解決策は、S P A D / S i P M 技術の利点を利用し、図 8 に示される開口絞り要素 8 2 0 を組み込むことによってコンパクトな環境への適応に相応しい、あるいは適したライダー装置 8 0 0 を提供する。開口絞り要素 8 2 0 は、センサ 8 1 5 と短焦点距離レンズ 8 1 0 との間に配置されている。

開口絞り 8 2 0 は、2 つの主要機能を有する。第一に、開口絞りは、元の大きな角度から来る光を遮断するために使用される。開口絞りのサイズは、センサ領域のサイズと焦点距離に基づくものである。第二に、開口絞りは、センサの全アクティブエリアに集光した光を拡散させ、大きなセンサを用いることで利用可能となるダイナミックレンジを活用する。

#### 【 0 0 3 0 】

開口絞りの寸法および位置は、センサ領域のサイズおよび所望の画角および受光レンズの焦点距離の両方に関係する。寸法  $P_{x,y}$  は以下の式に従って、必要な画角と一致し得る。

$$P_{x,y} = 2 \times f \times \tan(\theta_{x,y} / 2) \quad \text{式 3}$$

また、センサは、アクティブエリア全体の光を確実に拡散させるために、一定の距離を置いて配置する。

$$x = f \times L_x / (D_{lens}) \quad \text{式 4}$$

ここで、 $f$  は受光レンズの焦点距離、 $\theta_{x,y}$  はセンサ画角、 $P_{x,y}$  は開口絞り寸法、および、 $D_{lens}$  は受光レンズの直径である。

#### 【 0 0 3 1 】

光は、センサのアクティブエリア全体に均一に広がり得るが、ただし、このシステムはシングルポイントセンサであることから、イメージング機能は必要ではない。与えられた式は、単なる例として与えられた理論的最大値を表し、かつ一例であることに留意されたい。許容誤差を考慮して距離を調整する必要がある。

## 【 0 0 3 2 】

ここで、図 9 は、これもまた本教示によるライダー装置 9 0 0 の一例を示す。ライダー装置 9 0 0 は、ライダー装置 8 0 0 と実質的に同様であり、類似の要素は類似の参照番号で示されている。主な違いは、ライダー装置 9 0 0 は、送信機（トランスミッタ）9 0 5 と受信機（レシーバ）9 1 0 とのための共有光学素子を含むことである。レンズ 8 1 0 と開口絞り 8 2 0 との間には、偏光ミラー 9 2 0 によって提供されるビームスプリッタが設けられている。

偏光ミラーは、レーザービームをシーンに反射し、反射光を SiPM センサ 9 1 0 へと向ける。当業者であれば、開口絞りを利用することによって、 $1\text{ mm}^2$  以上のオーダーの大きなセンサ領域を利用しながら、ライダーシステム 8 0 0 および 9 0 0 が短い焦点距離を有することが可能となることを理解するであろう。

10

## 【 0 0 3 3 】

本教示のライダー装置は、短い焦点距離を有する光学システムを利用するので、ライダーシステムを、検出器光学素子と受光光学素子との間の長さが  $10\text{ cm}$  以下のコンパクトな環境に組み込むことを可能にする。以下の表は、本教示によるライダー装置の構成要素のいくつかの例示的な寸法を提供する。例示的な寸法は例としてのみ提供されており、提供される例示的な寸法に本教示を限定することを意図するものではない。

## 【 0 0 3 4 】

【表 1】

SiPM検出器の アクティブエリア	SiPM検出器から 開口絞り迄の距離	画角	開口絞り寸法
$1\text{ mm}^2$	0.197 mm	$0.1^\circ$	$87.3\text{ }\mu\text{m}$
$3\text{ mm}^2$	0.59 mm	$0.5^\circ$	$436\text{ }\mu\text{m}$
$6\text{ mm}^2$	1.18 mm	$1^\circ$	$873\text{ }\mu\text{m}$
焦点距離5cmの1インチレンズにおける例			

20

30

## 【 0 0 3 5 】

ライダー装置 9 0 0 は、レーザーパルスが既知の時間に送信機 9 0 5 から出るような、飛行時間（Time of Flight: ToF）ライダーシステムとして動作可能である。レーザーパルスがターゲット 9 2 5 に衝突した後、反射光は受信機 9 1 0 に戻される。ターゲット 9 2 5 が鏡のような表面を有する場合、鏡面反射では光子が入射角に等しい角度で反射される。これにより、ターゲットによって反射された最大数の光子が受信機 9 1 0 で検出されるという結果になり得る。

入射角に関係なく、入射経路に沿って光を反射する逆反射体からの光を検出するために、標準アパランシェフォトダイオード（APD）センサを使用することができる。しかしながら、実世界のほとんどの表面は非鏡面反射ターゲットであり、入射光を直接反射するわけではない。これらの非鏡面は典型的にはランベルト面として表すことができる。ランベルト面が有限の画角（AoV）で受信機によって見られるとき、受け取られる光子の量は見られる角度に対して不変であり、光子は 2 ステラジアン面にわたって広がる。

40

ランベルト反射体の正味の影響は、戻り光子の数が（距離分の 1）の二乗に比例するというものである。さらに、送信される光子の数は、目の安全性の制約によって制限されます。戻される光子の数が（距離分の 1）の二乗で減少し、単に光源出力を増加させるということはできないことから、検出されるすべての光子がライダーシステム 9 0 0 の全体的な精度に寄与することが望ましい。

## 【 0 0 3 6 】

典型的な最先端のToF ライダーシステムは、パルス照明または連続照明を使用する。後

50

者は、正弦波信号として表され得る連続的な時変信号を使用する。ターゲットの範囲を検出するために、信号を取得し、発信信号と着信信号間の位相角シフトを決定する必要がある。次に、このシフトを使用して、ソースからターゲットまでの距離を計算する。動作の性質上、正弦波信号のピークとトロスを検出する必要がある。従来技術における信号のピークとトロス(troth)の両方を検出するためのこの要件は、検出されたすべての光子がターゲット距離の決定に使用されるわけではないことから、光子を浪費する。このことから、高い光パワーと、低反射率ターゲットの長距離検出に使用される、潜在的に目に安全ではない信号源が必要である。

#### 【0037】

T o Fライダーの他の方法は、パルス信号源を使用し、信号源がオンになってから受信機でパルスが検出されるまでの直接的な飛行時間を検出することである。直接および間接T o Fライダーシステムの重要な違いは、直接T o Fシステムでは、ターゲットまでの距離を正確に決定するために、最初に検出された光子のみが必要であるということである。この違いを利用することで、直接T o Fライダーシステムは、戻される光子の数を減らしてターゲット距離を正確に決定できる。したがって、同じ距離にわたってターゲット範囲を提供するために、直接T o Fシステムでは連続照明システムよりも低パルス光源を使用できる。

#### 【0038】

パルス幅は、長距離ライダーシステムにおいて2つの主要な意味を持つ。第1に、レーザーパルス幅は検出器の帯域幅と一致する必要がある。リニアフォトダイオードに基づいた最新のライダーシステムは、帯域幅が制限されており、リターン信号を十分にキャプチャするには4ナノ秒以上のパルス幅が必要である。長距離低反射率ターゲットのように、受信パルスの強度が低くなると、パルス幅もセンサの精度において支配的な要因になる。パルスの検出は、レーザーパルス内のランダムな時点でトリガーされ得る。したがって、長いパルスは、測定の精度を低下させる。

#### 【0039】

S P A D / S i P Mなどの高帯域幅センサは、非線形動作モードと低立ち上がり時間とによって、より低いパルス幅で動作し得る。ターゲット範囲の精度に最適なパルス幅を計算することで、低出力の光源を使用できる。光が速度 $c$ 、光速、すなわち $299,792,458\text{ m/s}$ で移動することから、ターゲットとライダーシステムとの間の距離 $d$ は以下の式で与えられる。

$$d = (t * c) / 2 \quad \text{式 5}$$

ここで、 $t$ は、ターゲットに光源を適用してから受信機でターゲットから戻った光を受信するまでの時間差である。

#### 【0040】

この式は、光源を適用してから、戻った光が受信機で検出されるまでに必要な時間差 $t$ を決定するために書き直すこともできる。これは、次の式で表される。

$$t = (d * 2) / c \quad \text{式 6}$$

ここで、 $d$ は、必要な範囲精度である。したがって、 $10\text{ cm}$ の所望の範囲精度を得るには、たとえば $667\text{ ps}$ のレーザーパルス幅が望ましい。

#### 【0041】

パルスの減少により、目の安全性の計算に重要である、同じ平均電力を維持しながら、より高いピーク電力を達成することが可能となる。図10を参照すると、レーザーパルスの平均パワーは、その繰り返し率 $PRR$ 、パルス幅 $T_{pw}$ 、およびピークパワー $P_{peak}$ から計算できる。

$$P_{avg} = P_{peak} * (T_{pw} / T_p) = P_{peak} * T_{pw} * PRR \quad \text{式 7}$$

目の安全性の制限による平均電力を固定すると、ピーク電力は次のように計算される。

$$P_{peak} = P_{avg} / (T_{pw} * PRR) \quad \text{式 8}$$

したがって、図11に示すように、パルス幅を小さくすることにより、同じ平均電力あるいは出力でより高いレーザーピーク電力あるいは出力を実現可能である。

## 【0042】

本開示は、レーザーパルスを放出するための目に安全なレーザー源900を備えるライダー装置800を開示する。SiPM検出器910は、ターゲット925からの反射光子を検出する。レンズ810は光学素子を提供する。コントローラ940は、放出されたレーザーパルスが所望の範囲精度に選択的に適合される幅を有するように、アイセーフレーザー源900を制御するためにアイセーフレーザー900と協働可能である。コントローラ940は、レーザーパルスの平均出力が目の安全制限を満たすために固定されるようにレーザー源を制御する。レーザー光源の目の安全性の制限については、たとえば、米国規格協会(Ansi)Z136シリーズまたは国際規格IEC60825で規定されている規格に詳しく説明されている。したがって、レーザー光源905は、Ansi Z136またはIEC60825規格と互換性があると考えられる。レーザーパルスの平均パワーは、AnsiZ136およびIEC60825規格の少なくとも1つに定められている、目の安全規格に適合するように固定可能である。本教示は、例として提供される例示的な目の安全基準に限定することは意図されていない。

10

## 【0043】

コントローラ940は、アイセーフレーザー源が所定の平均出力を達成するためにパルス幅を変えるように構成されるように、レーザー源を制御するために動作可能である。たとえば、アイセーフレーザー光源は、レーザーパルスのパルス幅を小さくすることにより、同じ所定の平均パワーでより高いレーザーピーク電力を適用する。あるいは、アイセーフレーザー光源は、レーザーパルスのパルス幅を増加させることにより、同じ所定の平均パワーで低いレーザーピーク電力を適用する。に安全なレーザー源は、放出されるレーザーパルスが、検出されるすべての放射される光子が所望の範囲精度に寄与するように、所望の検出解像度に一致する幅を有するように構成され得る。たとえば、10cmの望ましい範囲精度については、レーザーパルス幅は667ピコ秒に設定される。コントローラ940は、所望の範囲精度を設定するためにプログラム可能である。例示的な実施形態では、レーザーパルスの幅は1ナノ秒未満である。

20

## 【0044】

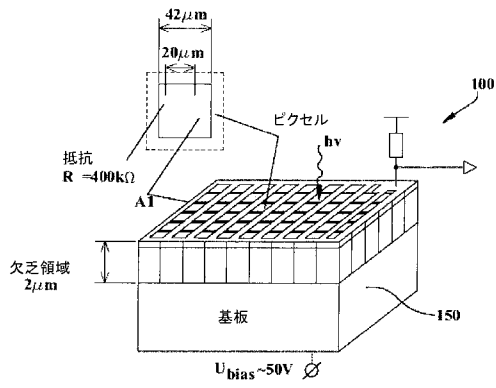
当業者であれば、本発明の範囲から逸脱することなく、上述の実施形態に対して様々な修正を加えることができることが理解されるであろう。このように、本明細書における教示は、添付の特許請求の範囲に照らして必要と思われる範囲内でのみ限定されるべきであることが理解される。半導体光電子増倍管という用語は、シリコン光電子増倍管(Silicon Photomultiplier: SiPM)、マイクロピクセルフォトンカウンタ(MicroPixel Photon Counters: MPPC)、マイクロピクセルアバランシェフォトダイオード(MicroPixel Avalanche Photodiodes: MAPD)などの任意の固体光電子増倍管装置を含むことを意図しているが、これらに限られるものではない。

30

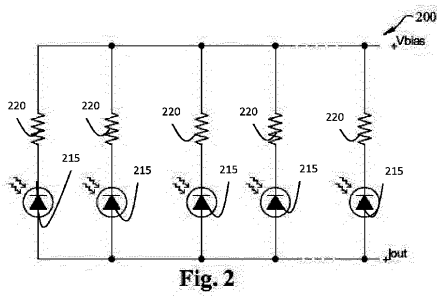
## 【0045】

同様に、本明細書での使用において、「含む/含んでいる」という用語は、ここに述べられた特徴、整数、ステップ、または構成要素の存在を特定するために使用されるが、1つまたは複数の追加の特徴、整数、ステップ、構成要素、またはそれらのグループの存在または追加を排除するものではない。

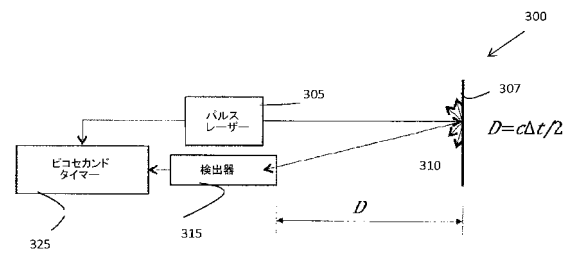
【図 1】



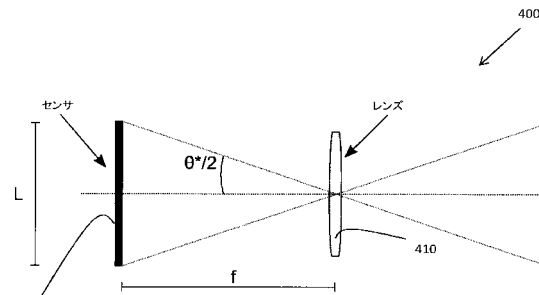
【図 2】



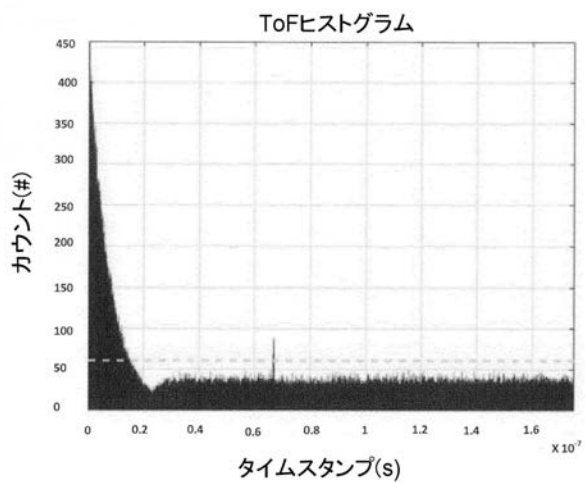
【図 3】



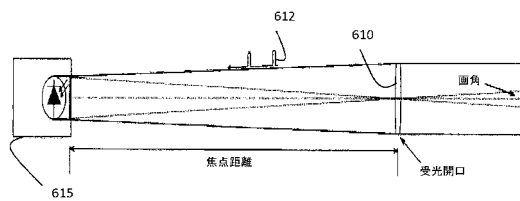
【図 4】



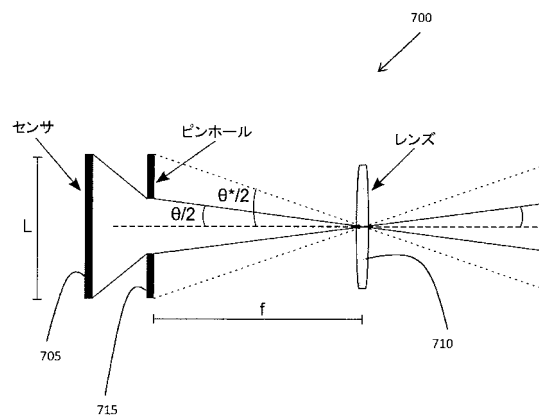
【図 5】



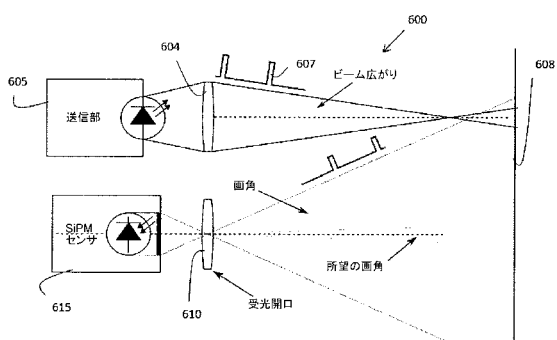
【図 6 A】



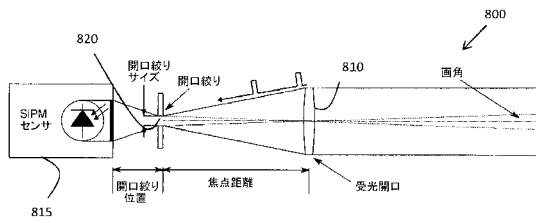
【図 7】



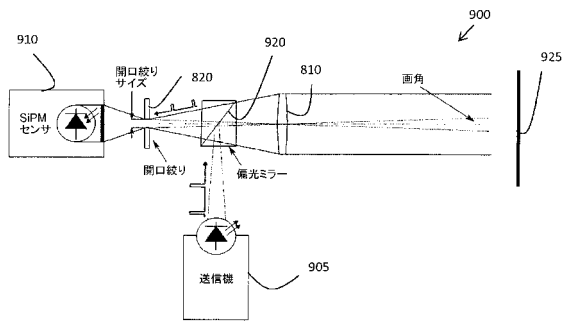
【図 6】



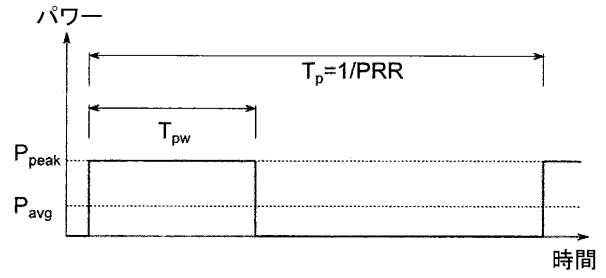
【図 8】



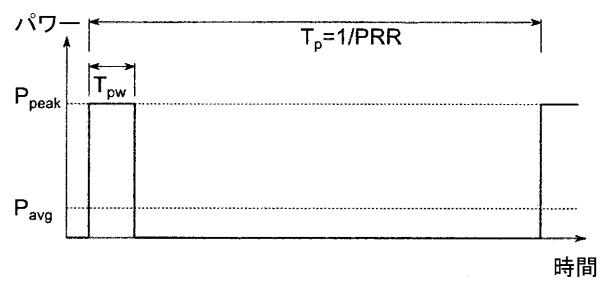
【図 9】



【図 10】



【図 11】



## 【 国際調査報告 】

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No  
PCT/EP2017/082564

## A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

INV. G01S7/486 G01S17/10  
ADD.

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

## B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)  
G01S

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

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

EPO-Internal, INSPEC, WPI Data

## C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	US 2013/300838 A1 (BOROWSKI ANDRE [CH]) 14 November 2013 (2013-11-14)	1-18
Y	paragraphs [0014], [0049], [0103], [0104], [0107], [0111], [0124]; figure 9	19-25
Y	----- US 2002/175294 A1 (LEE HYO SANG [US] ET AL) 28 November 2002 (2002-11-28)	19-25
A	paragraphs [0012], [0053], [0054], [0069], [0071], [0074]	2-9, 17, 18
A	----- US 2016/139266 A1 (MONTROYA JUAN C [US] ET AL) 19 May 2016 (2016-05-19)	1-25
	paragraphs [0019], [0043], [0067]; figure 1	
	----- -/-	

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

## \* Special categories of cited documents :

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"Z" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

27 February 2018

Date of mailing of the international search report

08/03/2018

Name and mailing address of the ISA/

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2  
NL - 2280 HV Rijswijk  
Tel: (+31-70) 340-2040,  
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Ferrara, Michele

## INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No

PCT/EP2017/082564

C(Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
A	US 2015/192676 A1 (KOTELNIKOV EVGENII YURYEVICH [US] ET AL) 9 July 2015 (2015-07-09) paragraphs [0028], [0033], [0037]; figure 3 -----	1-18
A	US 2013/300840 A1 (BOROWSKI ANDRE [CH]) 14 November 2013 (2013-11-14) paragraphs [0073], [0108], [0109] -----	1-18
A	US 2016/259039 A1 (OHTOMO FUMIO [JP] ET AL) 8 September 2016 (2016-09-08) paragraphs [0060], [0061], [0077] -----	1-18



**INTERNATIONAL SEARCH REPORT**

Information on patent family members

International application No

PCT/EP2017/082564

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)	Publication date
US 2013300838 A1	14-11-2013	EP 2469301 A1 EP 2656106 A1 US 2013300838 A1 WO 2012085149 A1	27-06-2012 30-10-2013 14-11-2013 28-06-2012
US 2002175294 A1	28-11-2002	NONE	
US 2016139266 A1	19-05-2016	NONE	
US 2015192676 A1	09-07-2015	US 2015192676 A1 US 2017176576 A1	09-07-2015 22-06-2017
US 2013300840 A1	14-11-2013	EP 2469295 A1 EP 2656100 A1 US 2013300840 A1 WO 2012085152 A1	27-06-2012 30-10-2013 14-11-2013 28-06-2012
US 2016259039 A1	08-09-2016	CN 105938197 A EP 3064962 A1 JP 2016161411 A US 2016259039 A1	14-09-2016 07-09-2016 05-09-2016 08-09-2016

## フロントページの続き

(81)指定国・地域 AP(BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), EA(AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), EP(AL, AT, BE, BG, CH, CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OA(BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG), AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DJ, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JO, JP, KE, KG, KH, KN, KP, KR, KW, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT

F ターム(参考) 2F112 AD01 BA06 CA05 CA12 DA04 DA13 DA17 DA25 DA28 EA05  
EA09 FA14  
4M118 AB03 CA02 FA06  
5J084 AA05 AD01 BA03 BA35 BA36 BA40 BB01 BB15 BB37 CA10  
CA11 CA12 EA29 FA01