

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 特 許 公 報 (B2)

(11) 特許番号

特許第6839861号
(P6839861)

(45) 発行日 令和3年3月10日 (2021.3.10)

(24) 登録日 令和3年2月18日 (2021.2.18)

(51) Int. Cl.	F I
GO 1 S 7/483 (2006.01)	GO 1 S 7/483
GO 1 S 7/481 (2006.01)	GO 1 S 7/481 A
GO 1 S 17/931 (2020.01)	GO 1 S 17/931

請求項の数 61 (全 45 頁)

(21) 出願番号	特願2018-555665 (P2018-555665)	(73) 特許権者	518370091
(86) (22) 出願日	平成29年4月5日 (2017.4.5)		オブシス テック リミテッド
(65) 公表番号	特表2019-516101 (P2019-516101A)		イスラエル国 5885849 ホロン,
(43) 公表日	令和1年6月13日 (2019.6.13)		ハロクミム ストリート 26, アズ
(86) 国際出願番号	PCT/US2017/026109		リエリ センター ホロン, ビルディン
(87) 国際公開番号	W02017/184336		グ エー, 8ティーエイチ フロア
(87) 国際公開日	平成29年10月26日 (2017.10.26)	(74) 代理人	100078282
審査請求日	令和2年3月17日 (2020.3.17)		弁理士 山本 秀策
(31) 優先権主張番号	62/326, 576	(74) 代理人	100113413
(32) 優先日	平成28年4月22日 (2016.4.22)		弁理士 森下 夏樹
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)	(74) 代理人	100181674
(31) 優先権主張番号	62/396, 295		弁理士 飯田 貴敏
(32) 優先日	平成28年9月19日 (2016.9.19)	(74) 代理人	100181641
(33) 優先権主張国・地域又は機関	米国 (US)		弁理士 石川 大輔

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 多波長 L I D A R システム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項 1】

多波長 L I D A R システムであって、前記多波長 L I D A R システムは、

a) 第 1 の列に位置付けられている第 1 の複数のレーザエミッタであって、前記第 1 の複数のレーザエミッタは、第 1 の波長を有する第 1 の複数の光学ビームを生成する、第 1 の複数のレーザエミッタと、

b) 第 2 の列に位置付けられている第 2 の複数のレーザエミッタであって、前記第 2 の複数のレーザエミッタは、第 2 の波長を有する第 2 の複数の光学ビームを生成する、第 2 の複数のレーザエミッタと、

c) 前記第 1 の複数の光学ビームおよび前記第 2 の複数の光学ビームを受信するように位置付けられている光学要素であって、前記光学要素は、前記第 1 の複数の光学ビームを第 1 の複数の経路内に投影し、第 1 の複数のビームプロファイルを標的平面に形成し、前記第 2 の複数の光学ビームを第 2 の複数の経路内に投影し、第 2 の複数のビームプロファイルを前記標的平面に形成し、その結果、前記標的平面での寸法において、少なくとも 1 つの前記第 1 の複数のビームプロファイルの位置が、前記第 2 の複数のビームプロファイルのうちの少なくとも 1 つからオフセットされる、光学要素と、

d) 前記標的平面において反射された前記第 1 の複数のビームプロファイルの一部および前記標的平面において反射された前記第 2 の複数のビームプロファイルの一部を受信するように位置付けられている光学受信機であって、前記光学受信機は、前記第 1 の複数のビームプロファイルの受信された反射部分に対応する第 1 の複数の波長信号を第 1 の出力

10

20

において生成し、前記標的平面における前記第 2 の複数のビームプロファイルの反射部分に対応する第 2 の複数の波長信号を第 2 の出力において生成する、光学受信機と、

e) 前記光学受信機の前記第 1 の出力および前記第 2 の出力に電氣的に接続された第 1 の入力を有するコントローラであって、前記コントローラは、前記光学受信機によって生成された前記第 1 の複数の波長信号および前記第 2 の複数の波長信号から測定点群を生成し、前記標的平面での寸法における前記測定点群の角度分解能は、前記標的平面での寸法における前記第 2 の複数のビームプロファイルのうちの少なくとも 1 つの位置からの少なくとも 1 つの前記第 1 の複数のビームプロファイルの位置のオフセットに依存する、コントローラと

を備える、多波長 L I D A R システム。

10

【請求項 2】

前記第 1 の複数のレーザエミッタおよび前記第 2 の複数のレーザエミッタのうちの少なくとも 1 つは、統合されたレンズレットを備えている、請求項 1 に記載の多波長 L I D A R システム。

【請求項 3】

前記第 1 の複数のレーザエミッタおよび前記第 2 の複数のレーザエミッタのうちの少なくとも 1 つは、2 次元アレイを備えている、請求項 1 に記載の多波長 L I D A R システム。

【請求項 4】

単一のレーザエミッタが励起されることができるよう、前記第 1 の複数のレーザエミッタのうちの少なくともいくつかのアノードは、第 1 の金属接点に電氣的に接続され、前記第 1 の複数のレーザエミッタのうちの少なくともいくつかのカソードは、第 2 の金属接点に電氣的に接続される、請求項 1 に記載の多波長 L I D A R システム。

20

【請求項 5】

前記第 1 の複数のレーザエミッタおよび前記第 2 の複数のレーザエミッタのうちの少なくとも 1 つは、湾曲基板上に位置付けられている、請求項 1 に記載の多波長 L I D A R システム。

【請求項 6】

前記第 1 の複数のレーザエミッタおよび前記第 2 の複数のレーザエミッタのうちの少なくとも 1 つは、パルスレーザ源を備えている、請求項 1 に記載の多波長 L I D A R システム。

30

【請求項 7】

前記第 1 の複数のレーザエミッタおよび前記第 2 の複数のレーザエミッタは、第 1 のパルス幅を伴う第 1 の複数のパルス光学ビームおよび第 2 のパルス幅を伴う第 2 の複数のパルス光学ビームをそれぞれ生成するように構成されている、請求項 6 に記載の多波長 L I D A R システム。

【請求項 8】

前記第 1 の複数のレーザエミッタおよび前記第 2 の複数のレーザエミッタは、第 1 のシグネチャを伴う第 1 の複数のより高次の光学ビームおよび第 2 のシグネチャを伴う第 2 の複数のより高次の光学ビームをそれぞれ生成するように構成されている、請求項 6 に記載の多波長 L I D A R システム。

40

【請求項 9】

前記第 1 の複数のレーザエミッタおよび前記第 2 の複数のレーザエミッタは、第 1 の繰り返し率を伴う第 1 の複数のパルス光学ビームと、第 2 の繰り返し率を伴う第 2 の複数のパルス光学ビームとを生成するように構成されている、請求項 6 に記載の多波長 L I D A R システム。

【請求項 10】

前記第 1 の複数のレーザエミッタおよび前記第 2 の複数のレーザエミッタのうちの少なくとも 1 つは、複数の偏光光学ビームを生成するように構成されている、請求項 1 に記載の多波長 L I D A R システム。

50

【請求項 1 1】

前記第 1 の複数のビームプロファイルのうちの少なくとも 1 つは、前記標的平面上で前記第 2 の複数のビームプロファイルのうちの少なくとも 1 つと空間的に重複し、それによって、前記測定点群の角度分解能を増加させる、請求項 1 に記載の多波長 L I D A R システム。

【請求項 1 2】

前記光学要素は、前記第 1 の複数の光学経路のうちの少なくとも 1 つが前記第 2 の複数の光学経路のうちの少なくとも 1 つと同一であるように、前記第 1 の複数の光学ビームおよび前記第 2 の複数の光学ビームを投影する、請求項 1 に記載の多波長 L I D A R システム。

10

【請求項 1 3】

前記光学要素は、前記第 1 の複数の光学経路および前記第 2 の複数の光学経路が異なる光学経路であるように、前記第 1 の複数の光学ビームおよび前記第 2 の複数の光学ビームを投影する、請求項 1 に記載の多波長 L I D A R システム。

【請求項 1 4】

前記測定点群の角度分解能は、第 1 の角度分解能および第 2 の角度分解能を備えている、請求項 1 に記載の多波長 L I D A R システム。

【請求項 1 5】

前記測定点群の視野は、第 1 の視野および第 2 の視野を備えている、請求項 1 に記載の多波長 L I D A R システム。

20

【請求項 1 6】

前記第 1 の複数のレーザエミッタおよび前記第 2 の複数のレーザエミッタは、前記測定点群が第 1 の密度を伴う第 1 の測定点群と第 2 の密度を伴う第 2 の測定点群とを備えているように構成されている、請求項 1 に記載の多波長 L I D A R システム。

【請求項 1 7】

前記光学要素は、自由空間光学要素を備えている、請求項 1 に記載の多波長 L I D A R システム。

【請求項 1 8】

前記光学要素は、波長マルチプレクサを備えている、請求項 1 に記載の多波長 L I D A R システム。

30

【請求項 1 9】

前記光学要素は、回折光学要素を備えている、請求項 1 に記載の多波長 L I D A R システム。

【請求項 2 0】

前記光学要素は、レンズを備えている、請求項 1 に記載の多波長 L I D A R システム。

【請求項 2 1】

前記光学要素は、前記測定点群の角度分解能が前記標的平面から前記光学要素までの所定の距離において 0.4 度未満であるように構成されている、請求項 1 に記載の多波長 L I D A R システム。

【請求項 2 2】

前記光学要素は、複数の光学要素を備えている、請求項 1 に記載の多波長 L I D A R システム。

40

【請求項 2 3】

前記光学受信機は、前記第 1 の波長を伴う光を検出する第 1 の受信機と、前記第 2 の波長を伴う光を検出する第 2 の受信機とを備えている、請求項 1 に記載の多波長 L I D A R システム。

【請求項 2 4】

校正、性能、および信頼性監視のうちの少なくとも 1 つを提供する性能モニタをさらに備えている、請求項 1 に記載の多波長 L I D A R システム。

【請求項 2 5】

50

前記性能モニタは、光パワーモニタを備えている、請求項 2 4 に記載の多波長 L I D A R システム。

【請求項 2 6】

前記性能モニタは、波長モニタを備えている、請求項 2 4 に記載の多波長 L I D A R システム。

【請求項 2 7】

温度モニタをさらに備えている、請求項 1 に記載の多波長 L I D A R システム。

【請求項 2 8】

熱制御デバイスをさらに備えている、請求項 2 7 に記載の多波長 L I D A R システム。

【請求項 2 9】

前記受信機の前記第 1 の出力および前記第 2 の出力は、同一出力である、請求項 1 に記載の多波長 L I D A R システム。

【請求項 3 0】

前記第 1 の複数のレーザエミッタおよび前記第 2 の複数のレーザエミッタのうちの少なくとも 1 つは、統合されたレーザドライバを備えている基板上に形成されている、請求項 1 に記載の多波長 L I D A R システム。

【請求項 3 1】

前記測定点群の角度分解能は、少なくとも 1 つの次元において変動する、請求項 1 に記載の多波長 L I D A R システム。

【請求項 3 2】

前記第 1 の複数のレーザエミッタおよび前記第 2 の複数のレーザエミッタのうちの少なくとも 1 つは、V C S E L アレイを備えている、請求項 1 に記載の多波長 L I D A R システム。

【請求項 3 3】

多波長 L I D A R システムであって、前記多波長 L I D A R システムは、

a) 第 1 の波長を有する第 1 の光学ビームを生成する第 1 のレーザ源および第 2 の波長を有する第 2 の光学ビームを生成する第 2 のレーザ源と、

b) 前記第 1 の光学ビームおよび前記第 2 の光学ビームを受信するように位置付けられている波長コンバイナであって、前記波長コンバイナは、第 1 の経路内に前記第 1 の光学ビームを投影し、第 1 のビームプロファイルを標的平面に形成し、前記第 1 の経路と平行でありかつ前記第 1 の経路からオフセットされている第 2 の経路内に前記第 2 の光学ビームを投影し、第 2 のビームプロファイルを前記標的平面に形成し、その結果、前記第 1 のビームプロファイルの中心および前記第 2 のビームプロファイルの中心は、前記標的平面での寸法におけるオフセットを備える、波長コンバイナと、

c) 前記標的平面において反射された前記第 1 のビームプロファイルの一部および前記標的平面において反射された前記第 2 のビームプロファイルの一部を受信するように位置付けられている光学受信機であって、前記光学受信機は、前記第 1 のビームプロファイルの受信された反射部分に対応する第 1 の波長信号を第 1 の出力において生成し、前記標的平面における前記第 2 のビームプロファイルの反射部分に対応する第 2 の波長信号を第 2 の出力において生成する、光学受信機と、

d) 前記光学受信機の前記第 1 の出力および前記第 2 の出力に電氣的に接続された第 1 の入力を有するコントローラであって、前記コントローラは、前記光学受信機によって生成された前記第 1 の波長信号および前記第 2 の波長信号から測定点群を生成し、前記寸法における前記測定点群の角度分解能は、前記標的平面における前記第 1 のビームプロファイルの中心および前記第 2 のビームプロファイルの中心のオフセットに依存する、コントローラと

を備える、多波長 L I D A R システム。

【請求項 3 4】

前記第 1 のレーザ源および前記第 2 のレーザ源のうちの少なくとも 1 つは、統合されたレンズレットを備えている、請求項 3 3 に記載の多波長 L I D A R システム。

10

20

30

40

50

【請求項 3 5】

前記第 1 のレーザ源および前記第 2 のレーザ源のうちの少なくとも 1 つは、パルスレーザ源を備えている、請求項 3 3 に記載の多波長 L I D A R システム。

【請求項 3 6】

前記第 1 のレーザ源および前記第 2 のレーザ源は、第 1 のパルス幅を伴う第 1 のパルス光学ビームおよび第 2 のパルス幅を伴う第 2 のパルス光学ビームをそれぞれ生成するように構成されている、請求項 3 5 に記載の多波長 L I D A R システム。

【請求項 3 7】

前記第 1 のレーザ源および前記第 2 のレーザ源は、第 1 のシグネチャを伴う第 1 のより高次の光学ビームおよび第 2 のシグネチャを伴う第 2 のより高次の光学ビームをそれぞれ生成するように構成されている、請求項 3 5 に記載の多波長 L I D A R システム。

10

【請求項 3 8】

前記第 1 のレーザ源および前記第 2 のレーザ源は、第 1 の繰り返し率を伴う第 1 のパルス光学ビームおよび第 2 の繰り返し率を伴う第 2 のパルス光学ビームをそれぞれ生成するように構成されている、請求項 3 5 に記載の多波長 L I D A R システム。

【請求項 3 9】

前記第 1 のレーザ源および前記第 2 のレーザ源のうちの少なくとも 1 つは、偏光光学ビームを生成するように構成されている、請求項 3 3 に記載の多波長 L I D A R システム。

【請求項 4 0】

前記第 1 のビームプロファイルおよび前記第 2 のビームプロファイルは、前記標的平面上で空間的に重複し、それによって、前記測定点群の角度分解能を増加させる、請求項 3 3 に記載の多波長 L I D A R システム。

20

【請求項 4 1】

前記角度分解能は、第 1 の角度分解能および第 2 の角度分解能を備えている、請求項 3 3 に記載の多波長 L I D A R システム。

【請求項 4 2】

前記測定点群の視野は、第 1 の視野および第 2 の視野を備えている、請求項 3 3 に記載の多波長 L I D A R システム。

【請求項 4 3】

前記波長コンバイナは、自由空間光学要素を備えている、請求項 3 3 に記載の多波長 L I D A R システム。

30

【請求項 4 4】

前記波長コンバイナは、波長マルチプレクサを備えている、請求項 3 3 に記載の多波長 L I D A R システム。

【請求項 4 5】

前記波長コンバイナは、回折光学要素を備えている、請求項 3 3 に記載の多波長 L I D A R システム。

【請求項 4 6】

レンズをさらに備えている、請求項 3 3 に記載の多波長 L I D A R システム。

【請求項 4 7】

前記波長コンバイナは、前記測定点群の角度分解能が前記標的平面から前記波長コンバイナまでの所定の距離において 0.4 度未満であるように構成されている、請求項 3 3 に記載の多波長 L I D A R システム。

40

【請求項 4 8】

投影要素をさらに備えている、請求項 3 3 に記載の多波長 L I D A R システム。

【請求項 4 9】

前記光学受信機は、前記第 1 の波長を伴う光を検出する第 1 の受信機と、前記第 2 の波長を伴う光を検出する第 2 の受信機とを備えている、請求項 3 3 に記載の多波長 L I D A R システム。

【請求項 5 0】

50

較正、性能、および信頼性監視のうちの少なくとも1つを提供する性能モニタをさらに備えている、請求項33に記載の多波長L I D A Rシステム。

【請求項51】

前記性能モニタは、光パワーモニタを備えている、請求項50に記載の多波長L I D A Rシステム。

【請求項52】

前記性能モニタは、波長モニタを備えている、請求項50に記載の多波長L I D A Rシステム。

【請求項53】

温度モニタをさらに備えている、請求項33に記載の多波長L I D A Rシステム。

【請求項54】

熱制御デバイスをさらに備えている、請求項53に記載の多波長L I D A Rシステム。

【請求項55】

前記受信機の前記第1の出力および前記第2の出力は、同一出力である、請求項33に記載の多波長L I D A Rシステム。

【請求項56】

前記光学受信機は、前記第1のビームプロファイルの受信された反射部分に対応する前記第1の波長信号を生成し、同時に、前記標的平面における前記第2のビームプロファイルの反射部分に対応する前記第2の波長信号を生成する、請求項33に記載の多波長L I D A Rシステム。

【請求項57】

前記光学受信機は、前記第1のビームプロファイルの受信された反射部分に対応する前記第1の波長信号を生成し、異なる時に、前記標的平面における前記第2のビームプロファイルの反射部分に対応する前記第2の波長信号を生成する、請求項33に記載の多波長L I D A Rシステム。

【請求項58】

多波長L I D A Rシステムであって、前記多波長L I D A Rシステムは、

a) 複数のレーザエミッタであって、前記複数のレーザエミッタの各々は、複数の光学ビームのうちの1つを生成し、前記複数の光学ビームのうちの少なくとも2つは、異なる波長を有する、複数のレーザエミッタと、

b) 前記複数の光学ビームを受信するように位置付けられている光学要素であって、前記光学要素は、前記複数の光学ビームを複数の経路内に投影し、複数のビームプロファイルを標的平面に形成し、前記複数のビームプロファイルのうちの少なくとも2つは、前記異なる波長を有する、光学要素と、

c) 前記標的平面において反射された前記複数のビームプロファイルの一部を受信するように位置付けられている光学受信機であって、前記光学受信機は、複数の出力において、前記複数のビームプロファイルの受信された反射部分に対応する複数の信号を生成し、前記複数の信号のうちの少なくとも2つは、前記異なる波長に対応する、光学受信機と、

d) 前記光学受信機の複数の出力に電氣的に接続された複数の入力を有するコントローラであって、前記コントローラは、前記光学受信機によって生成された前記複数の信号から測定点群を生成し、前記測定点群の角度分解能は、前記異なる波長を伴う前記少なくとも2つのビームプロファイルの相対的な位置に依存する、コントローラとを備える、多波長L I D A Rシステム。

【請求項59】

前記複数のエミッタは、前記複数の光学ビームの各々が異なる波長を有するように構成されている、請求項58に記載の多波長L I D A Rシステム。

【請求項60】

前記複数のエミッタは、前記複数の光学ビームの各々の波長が各それぞれの光学ビームの半径方向位置の関数として変化するように構成されている、請求項58に記載の多波長L I D A Rシステム。

10

20

30

40

50

【請求項 61】

前記光学要素によって投影される複数の経路は、複数の平行経路を備えている、請求項 60 に記載の多波長 L I D A R システム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本明細書において使用されている節の見出しは、編成目的のためであり、本願に記載されている内容をいかようにも限定するものではない。

【0002】

10

(関連出願の引用)

本願は、米国仮特許出願第 62 / 326, 576 号 (2016 年 4 月 22 日出願、名称「Multi-Wavelength Lidar System」) および米国仮特許出願第 62 / 396, 295 号 (2016 年 9 月 19 日出願、名称「WDM Lidar System」) の非仮出願である。米国仮特許出願第 62 / 326, 576 号および米国仮特許出願第 62 / 396, 295 号の全内容は、参照により本明細書に引用される。

【背景技術】

【0003】

自律的 (自走運転) および半自律的自動車は、周囲の物体の検出および位置特定のために、レーダ、画像認識カメラ、およびソナー等の異なるセンサおよび技術の組み合わせを使用する。これらのセンサは、衝突警告、自動緊急ブレーキ、車線逸脱警告、車線維持支援、アダプティブクルーズコントロール、および自動運転を含む、運転者の安全性における多くの改良を可能にする。これらのセンサ技術の中でも、光検出および測距 (L I D A R) システムは、物体距離のリアルタイム測定を可能にする最も重要なもののうちの 1 つである。

20

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0004】

ここで、添付の図面に示されているその例示的な実施形態を参照しながら、本教示をより詳細に説明する。本教示は、多様な実施形態および実施例に関連して説明されるが、本教示がそのような実施形態に限定されることを意図するものではない。そうではなく、本教示は、当業者によって理解されるように、多様な代替、変形および相当物に及ぶ。本明細書の本教示を入手する権利を有する当業者は、本明細書に説明される本開示の範囲内である、追加の実装、修正および実施形態、ならびに他の使用分野を認識するであろう。

30

【0005】

本明細書では、「一実施形態」または「ある実施形態」の言及は、実施形態に関連して説明される特定の特徵、構造、または特性が、本教示の少なくとも一実施形態に含まれることを意味する。本明細書内の種々の場所における語句「一実施形態では」の表出は、必ずしも全て同一実施形態を参照するわけではない。

40

【0006】

本教示の方法の個々のステップは、本教示が動作可能のままである限り、任意の順序および／または同時に実施されることができると理解されたい。さらに、本教示の装置および方法は、本教示が動作可能のままである限り、説明される実施形態の任意の数または全てを含むことができると理解されたい。

【0007】

本教示は、光を反射および／または散乱させる種々の物体または標的までの距離を測定する、光検出および測距システム (L I D A R) に関する。特に、本教示は、有利には、複数の波長の光を使用して、性能を改良し、また、従来技術 L I D A R システムと比較して、サイズ、コスト、および複雑性を低減させ得る、L I D A R システムに関する。

50

【0008】

本教示のシステムは、単一エミッタおよび／または複数のエミッタを含む、光源を使用してもよい。例えば、単一要素VCSELまたは単一縁放出レーザデバイスを使用する、光源は、単一エミッタと見なされるであろう。1つ以上の基板上に配列される複数のVCSEL要素または複数の縁放出レーザ源を使用する、光源は、複数のエミッタ源と見なされるであろう。マルチ要素エミッタは、1次元および2次元アレイを含む、種々のアレイ構成において構成され得る。以下の説明は、単一エミッタ源および／またはマルチエミッタレーザ源を伴う、種々の実施形態を参照する。しかしながら、本教示のLIDARシステムの特典の実施形態の特徴は、単一エミッタおよび／またはマルチエミッタレーザ源のいずれかに限定されるものと見なされるべきではなく、むしろ、本教示に準拠するように、単一エミッタおよび／またはマルチエミッタレーザ源の両方に適用されるものとより広義に解釈されるべきであることが、当業者に明白となるであろう。

10

本発明は、例えば、以下を提供する。

(項目1)

多波長LIDARシステムであって、前記多波長LIDARシステムは、

a) 第1の波長を有する第1の光学ビームを生成する第1のレーザ源および第2の波長を有する第2の光学ビームを生成する第2のレーザ源と、

b) 前記第1および第2の光学ビームを受信するように位置付けられている光学要素であって、前記光学要素は、前記第1の光学ビームを第1の経路内に投影し、第1のビームプロファイルを標的平面に形成し、前記第2の光学ビームを第2の経路内に投影し、第2のビームプロファイルを前記標的平面に形成する、光学要素と、

20

c) 前記標的平面において反射された前記第1のビームプロファイルの一部および前記標的平面において反射された前記第2のビームプロファイルの一部を受信するように位置付けられている光学受信機であって、前記光学受信機は、前記第1のビームプロファイルの受信された反射部分に対応する第1の波長信号を第1の出力において生成し、前記標的平面における前記第2のビームプロファイルの反射部分に対応する第2の波長信号を第2の出力において生成する、光学受信機と、

d) 前記光学受信機の前記第1および第2の出力に電氣的に接続された第1の入力を有するコントローラと

を備え、

30

前記コントローラは、前記光学受信機によって生成された前記第1および第2の波長信号から測定点群を生成し、前記測定点群の角度分解能は、前記標的平面における前記第1のビームプロファイルと前記第2のビームプロファイルとの相対的な位置に依存する、多波長LIDARシステム。

(項目2)

前記第1および第2のレーザ源のうちの少なくとも1つは、統合されたレンズレットを備えている、項目1に記載の多波長LIDARシステム。

(項目3)

前記第1および第2のレーザ源のうちの少なくとも1つは、パルスレーザ源を備えている、項目1に記載の多波長LIDARシステム。

40

(項目4)

前記第1および第2のレーザ源は、第1のパルス幅を伴う第1のパルス光学ビームおよび第2のパルス幅を伴う第2のパルス光学ビームをそれぞれ生成するように構成されている、項目3に記載の多波長LIDARシステム。

(項目5)

前記第1および第2のレーザ源は、第1のシグネチャを伴う第1のより高次の光学ビームおよび第2のシグネチャを伴う第2のより高次の光学ビームをそれぞれ生成するように構成されている、項目3に記載の多波長LIDARシステム。

(項目6)

前記第1および第2のレーザ源は、第1の繰り返し率を伴う第1のパルス光学ビームお

50

よび第 2 の繰り返し率を伴う第 2 のパルス光学ビームをそれぞれ生成するように構成されている、項目 3 に記載の多波長 L I D A R システム。

(項目 7)

前記第 1 および第 2 のレーザ源のうちの少なくとも 1 つは、偏光光学ビームを生成するように構成されている、項目 1 に記載の多波長 L I D A R システム。

(項目 8)

前記第 1 および第 2 のビームプロファイルは、前記標的平面上で空間的に重複し、それによって、前記測定点群の角度分解能を増加させる、項目 1 に記載の多波長 L I D A R システム。

(項目 9)

前記光学要素は、前記第 1 および第 2 の光学経路が実質的に同一であるように、前記第 1 および第 2 の光学ビームを投影する、項目 1 に記載の多波長 L I D A R システム。

(項目 10)

前記光学要素は、前記第 1 および第 2 の光学経路が異なる光学経路であるように、前記第 1 および第 2 の光学ビームを投影する、項目 1 に記載の多波長 L I D A R システム。

(項目 11)

前記角度分解能は、第 1 および第 2 の角度分解能を備えている、項目 1 に記載の多波長 L I D A R システム。

(項目 12)

前記測定点群の視野は、第 1 および第 2 の視野を備えている、項目 1 に記載の多波長 L I D A R システム。

(項目 13)

前記光学要素は、自由空間光学要素を備えている、項目 1 に記載の多波長 L I D A R システム。

(項目 14)

前記光学要素は、波長マルチプレクサを備えている、項目 1 に記載の多波長 L I D A R システム。

(項目 15)

前記光学要素は、回折光学要素を備えている、項目 1 に記載の多波長 L I D A R システム。

(項目 16)

前記光学要素は、レンズを備えている、項目 1 に記載の多波長 L I D A R システム。

(項目 17)

前記光学要素は、前記測定点群の角度分解能が前記標的平面から前記光学要素までの所定の距離において 0.4 度未満であるように構成されている、項目 1 に記載の多波長 L I D A R システム。

(項目 18)

前記光学要素は、複数の光学要素を備えている、項目 1 に記載の多波長 L I D A R システム。

(項目 19)

前記光学受信機は、前記第 1 の波長を伴う光を検出する第 1 の受信機と、前記第 2 の波長を伴う光を検出する第 2 の受信機とを備えている、項目 1 に記載の多波長 L I D A R システム。

(項目 20)

較正、性能、および信頼性監視のうちの少なくとも 1 つを提供する性能モニタをさらに備えている、項目 1 に記載の多波長 L I D A R システム。

(項目 21)

前記性能モニタは、光パワーモニタを備えている、項目 20 に記載の多波長 L I D A R システム。

(項目 22)

10

20

30

40

50

前記性能モニタは、波長モニタを備えている、項目20に記載の多波長L I D A Rシステム。

(項目23)

温度モニタをさらに備えている、項目1に記載の多波長L I D A Rシステム。

(項目24)

熱制御デバイスをさらに備えている、項目23に記載の多波長L I D A Rシステム。

(項目25)

前記受信機の前記第1および第2の出力は、同一出力である、項目1に記載の多波長L I D A Rシステム。

(項目26)

多波長L I D A Rシステムであって、前記多波長L I D A Rシステムは、

a) 第1の波長を有する第1の複数の光学ビームを生成する第1の複数のレーザエミッタおよび第2の波長を有する第2の複数の光学ビームを生成する第2の複数のレーザエミッタと、

b) 前記第1および第2の複数の光学ビームを受信するように位置付けられている光学要素であって、前記光学要素は、前記第1の複数の光学ビームを第1の複数の経路内に投影し、第1の複数のビームプロファイルを標的平面に形成し、前記第2の複数の光学ビームを第2の複数の経路内に投影し、第2の複数のビームプロファイルを前記標的平面に形成する、光学要素と、

c) 前記標的平面において反射された前記第1の複数のビームプロファイルの一部および前記標的平面において反射された前記第2の複数のビームプロファイルの一部を受信するように位置付けられている光学受信機であって、前記光学受信機は、前記第1の複数のビームプロファイルの受信された反射部分に対応する複数の第1の波長信号を第1の出力において生成し、前記標的平面における前記第2の複数のビームプロファイルの反射部分に対応する第2の複数の波長信号を第2の出力において生成する、光学受信機と、

d) 前記光学受信機の前記第1および第2の出力に電氣的に接続された第1の入力を有するコントローラと

を備え、

前記コントローラは、前記光学受信機によって生成された前記第1および第2の複数の波長信号から測定点群を生成し、前記測定点群の角度分解能は、前記標的平面における前記第1の複数のビームプロファイルのうちの少なくとも1つと前記第2の複数のビームプロファイルのうちの少なくとも1つとの相対的な位置に依存する、多波長L I D A Rシステム。

(項目27)

前記第1および第2の複数のレーザエミッタのうちの少なくとも1つは、統合されたレンズレットを備えている、項目26に記載の多波長L I D A Rシステム。

(項目28)

前記第1および第2の複数のレーザエミッタのうちの少なくとも1つは、2次元アレイを備えている、項目26に記載の多波長L I D A Rシステム。

(項目29)

単一のレーザエミッタが励起されることができるよう、前記第1の複数のレーザエミッタのうちの少なくともいくつかのアノードは、第1の金属接点に電氣的に接続され、前記第1の複数のレーザエミッタのうちの少なくともいくつかのカソードは、第2の金属接点に電氣的に接続される、項目26に記載の多波長L I D A Rシステム。

(項目30)

前記第1および第2の複数のレーザエミッタのうちの少なくとも1つは、湾曲基板上に位置付けられている、項目26に記載の多波長L I D A Rシステム。

(項目31)

前記第1および第2の複数のレーザエミッタのうちの少なくとも1つは、パルスレーザ源を備えている、項目26に記載の多波長L I D A Rシステム。

10

20

30

40

50

(項目 3 2)

前記第 1 および第 2 の複数のレーザエミッタは、第 1 のパルス幅を伴う第 1 の複数のパルス光学ビームおよび第 2 のパルス幅を伴う第 2 の複数のパルス光学ビームをそれぞれ生成するように構成されている、項目 3 1 に記載の多波長 L I D A R システム。

(項目 3 3)

前記第 1 および第 2 の複数のレーザエミッタは、第 1 のシグネチャを伴う第 1 の複数のより高次の光学ビームおよび第 2 のシグネチャを伴う第 2 の複数のより高次の光学ビームをそれぞれ生成するように構成されている、項目 3 1 に記載の多波長 L I D A R システム。

(項目 3 4)

前記第 1 および第 2 の複数のレーザエミッタは、第 1 の繰り返し率を伴う第 1 の複数のパルス光学ビームと、第 2 の繰り返し率を伴う第 2 の複数のパルス光学ビームとを生成するように構成されている、項目 3 1 に記載の多波長 L I D A R システム。

(項目 3 5)

前記第 1 および第 2 の複数のレーザエミッタのうちの少なくとも 1 つは、複数の偏光光学ビームを生成するように構成されている、項目 2 6 に記載の多波長 L I D A R システム。

(項目 3 6)

前記第 1 の複数のビームプロファイルのうちの少なくとも 1 つは、前記標的平面上で前記第 2 の複数のビームプロファイルのうちの少なくとも 1 つと空間的に重複し、それによって、前記測定点群の角度分解能を増加させる、項目 2 6 に記載の多波長 L I D A R システム。

(項目 3 7)

前記光学要素は、前記第 1 の複数の光学経路のうちの少なくとも 1 つが前記第 2 の複数の光学経路のうちの少なくとも 1 つと実質的に同一であるように、前記第 1 および第 2 の複数の光学ビームを投影する、項目 2 6 に記載の多波長 L I D A R システム。

(項目 3 8)

前記光学要素は、前記第 1 および第 2 の複数の光学経路が異なる光学経路であるように、前記第 1 および第 2 の複数の光学ビームを投影する、項目 2 6 に記載の多波長 L I D A R システム。

(項目 3 9)

前記測定点群の角度分解能は、第 1 および第 2 の角度分解能を備えている、項目 2 6 に記載の多波長 L I D A R システム。

(項目 4 0)

前記測定点群の視野は、第 1 および第 2 の視野を備えている、項目 2 6 に記載の多波長 L I D A R システム。

(項目 4 1)

前記第 1 および第 2 の複数のレーザエミッタは、前記測定点群が第 1 の密度を伴う第 1 の測定点群と第 2 の密度を伴う第 2 の測定点群とを備えているように構成されている、項目 2 6 に記載の多波長 L I D A R システム。

(項目 4 2)

前記光学要素は、自由空間光学要素を備えている、項目 2 6 に記載の多波長 L I D A R システム。

(項目 4 3)

前記光学要素は、波長マルチプレクサを備えている、項目 2 6 に記載の多波長 L I D A R システム。

(項目 4 4)

前記光学要素は、回折光学要素を備えている、項目 2 6 に記載の多波長 L I D A R システム。

(項目 4 5)

10

20

30

40

50

前記光学要素は、レンズを備えている、項目 2 6 に記載の多波長 L I D A R システム。
(項目 4 6)

前記光学要素は、前記測定点群の角度分解能が前記標的平面から前記光学要素までの所定の距離において 0. 4 度未満であるように構成されている、項目 2 6 に記載の多波長 L I D A R システム。

(項目 4 7)

前記光学要素は、複数の光学要素を備えている、項目 2 6 に記載の多波長 L I D A R システム。

(項目 4 8)

前記光学受信機は、前記第 1 の波長を伴う光を検出する第 1 の受信機と、前記第 2 の波長を伴う光を検出する第 2 の受信機とを備えている、項目 2 6 に記載の多波長 L I D A R システム。

10

(項目 4 9)

較正、性能、および信頼性監視のうちの少なくとも 1 つを提供する性能モニタをさらに備えている、項目 2 6 に記載の多波長 L I D A R システム。

(項目 5 0)

前記性能モニタは、光パワーモニタを備えている、項目 4 9 に記載の多波長 L I D A R システム。

(項目 5 1)

前記性能モニタは、波長モニタを備えている、項目 4 9 に記載の多波長 L I D A R システム。

20

(項目 5 2)

温度モニタをさらに備えている、項目 2 6 に記載の多波長 L I D A R システム。

(項目 5 3)

熱制御デバイスをさらに備えている、項目 5 2 に記載の多波長 L I D A R システム。

(項目 5 4)

前記受信機の前記第 1 および第 2 の出力は、同一出力である、項目 2 6 に記載の多波長 L I D A R システム。

(項目 5 5)

前記第 1 および第 2 の複数のレーザエミッタのうちの少なくとも 1 つは、統合されたレーザドライバを備えている基板上に形成されている、項目 2 6 に記載の多波長 L I D A R システム。

30

(項目 5 6)

前記測定点群の角度分解能は、少なくとも 1 つの次元において変動する、項目 2 6 に記載の多波長 L I D A R システム。

(項目 5 7)

前記第 1 および第 2 の複数のレーザエミッタのうちの少なくとも 1 つは、V C S E L アレイを備えている、項目 2 6 に記載の多波長 L I D A R システム。

(項目 5 8)

多波長 L I D A R システムであって、前記多波長 L I D A R システムは、

40

a) 複数のレーザエミッタであって、前記複数のレーザエミッタの各々は、複数の光学ビームのうちの 1 つを生成し、前記複数の光学ビームのうちの少なくとも 2 つは、異なる波長を有する、複数のレーザエミッタと、

b) 前記複数の光学ビームを受信するように位置付けられている光学要素であって、前記光学要素は、前記複数の光学ビームを複数の経路内に投影し、複数のビームプロファイルを標的平面に形成し、前記複数のビームプロファイルのうちの少なくとも 2 つは、前記異なる波長を有する、光学要素と、

c) 前記標的平面において反射された前記複数のビームプロファイルの一部を受信するように位置付けられている光学受信機であって、前記光学受信機は、複数の出力において、前記複数のビームプロファイルの受信された反射部分に対応する複数の信号を生成し、

50

前記複数の信号のうちの少なくとも2つは、前記異なる波長に対応する、光学受信機と、
d) 前記光学受信機の複数の出力に電氣的に接続された複数の入力を持つコントローラと

を備え、

前記コントローラは、前記光学受信機によって生成された前記複数の信号から測定点群を生成し、前記測定点群の角度分解能は、前記異なる波長を伴う前記少なくとも2つのビームプロファイルの相対的な位置に依存する、多波長L I D A Rシステム。

(項目59)

前記複数のエミッタは、前記複数の光学ビームの各々が異なる波長を持つように構成されている、項目58に記載の多波長L I D A Rシステム。

(項目60)

前記複数のエミッタは、前記複数の光学ビームの各々の波長が各それぞれの光学ビームの半径方向位置の関数として変化するように構成されている、項目58に記載の多波長L I D A Rシステム。

(項目61)

前記光学要素によって投影される複数の経路は、複数の平行経路を備えている、項目60に記載の多波長L I D A Rシステム。

【図面の簡単な説明】

【0009】

本教示は、好ましい例示的な実施形態に応じて、そのさらなる利点とともに、添付の図面を参照しながら、発明を実施するための形態においてさらに具体的に説明される。当業者は、以下で説明される図面は、説明のみを目的とすることを理解するであろう。図面は、必ずしも一定の縮尺ではなく、代わりに、概して、本教示の原則を説明することに重点が置かれている。図面は、出願者の教示の範囲をどのような点からも制限することを意図しない。

【図1】図1は、車両内に実装される本教示のL I D A Rシステムの動作を図示する。

【図2】図2は、自動車の周囲のための典型的L I D A R感知システムの2次元視野および範囲要件を表す、概略図を図示する。

【図3】図3は、本教示のマルチモジュールL I D A Rセンサシステムの実施形態を図示する。

【図4】図4は、本教示のL I D A Rセンサシステムの実施形態のための距離の関数として水平角度分解能を提示する表を図示する。

【図5】図5は、V e l o d y n e L i D A R ^{T M}システムの広告性能を提示する表を図示する。

【図6】図6は、本教示のL I D A Rシステムの実施形態の性能仕様を提示する表を図示する。

【図7】図7は、本教示の2つのレーザを使用する多波長L I D A Rシステムの実施形態を図示する。

【図8】図8は、本教示の2つのレーザおよび波長コンバイナを使用する、多波長L I D A Rシステムのための照明器の実施形態を図示する。

【図9】図9は、本教示の異なる波長のための複数の受信機を使用する、受信機の実施形態を図示する。

【図10】図10は、本教示による、多波長L I D A Rシステムのための単純コーディングスキームの実施形態を図示する。

【図11】図11は、21の個々の開口によって形成されるクラスタを備えている従来技術クラスタV C S E Lデバイスの図面を図示する。

【図12A】図12Aは、個々に配列される複数のクラスタV C S E Lデバイスを備えているチップを図示する。

【図12B】図12Bは、バーに配列される複数のクラスタV C S E Lデバイスを備えているチップを図示する。

10

20

30

40

50

【図12C】図12Cは、本教示の複数のクラスタVCSELデバイスを備えているチップのアノード金属接点パッドの上面図を図示する。

【図12D】図12Dは、図12Cに図示される複数のクラスタVCSELデバイスを備えているチップのカソード金属接点パッドの底面図を図示する。

【図13】図13は、本教示の多波長LIDARシステムのためのマルチエミッタレーザ源の実施形態を図示する。

【図14】図14は、本教示の多波長LIDARシステムのための照明器の実施形態の断面の略図を図示する。

【図15A】図15Aは、本教示の単波長2Dマルチエミッタレーザ源照明の実施形態のための測定点群を図示する。

10

【図15B】図15Bは、本教示の2波長2Dマルチエミッタレーザ源照明の実施形態のための測定点群を図示する。

【図16】図16は、本教示の別の2波長LIDARの実施形態のための測定点群を図示する。

【図17】図17は、本教示の3波長LIDARの実施形態のための測定点群を図示する。

【図18】図18は、本教示の多波長LIDARシステムのための照明器の実施形態を図示する。

【図19】図19は、図18の照明器実施形態を用いて生成され得る測定点群を図示する。

20

【図20】図20は、本教示の多波長LIDAR構成における2つのマルチエミッタ源を使用して生成された測定点群の実施形態を図示する。

【図21】図21は、本教示による、多波長LIDARの実施形態によって生成された測定点群を図示し、全視野を横断した1つの波長における測定点の密度は、第2の波長のその半分である。

【図22】図22は、本教示の4つの波長を利用する、多波長LIDARの測定点群の実施形態を図示する。

【図23A】図23Aは、本教示による、多波長LIDARの実施形態のためのVCSELアレイレイアウトを図示し、角度分解能は、特定の方向に変化する。

【図23B】図23Bは、本教示による、変動する角度分解能に伴って多波長LIDARの実施形態によって生成された測定点群を図示する。

30

【図24A】図24Aは、本教示のマルチモードマルチエミッタVCSELレーザ源の実施形態を図示する。

【図24B】図24Bは、図24AのマルチモードマルチエミッタVCSELレーザ源の投影されたビームプロファイルの断面を図示する。

【図24C】図24Cは、図24AのマルチモードマルチエミッタVCSELレーザ源のための投影角度を図示する。

【図25】図25は、本教示による、VCSELデバイスに近接近して位置する温度を測定するために使用されるデバイスを備えているVCSELアレイの実施形態を図示する。

【図26】図26は、本教示による、VCSELアレイ温度を制御するための能動式熱制御デバイスを備えている、VCSELアレイの実施形態を図示する。

40

【図27】図27は、本教示による、VCSELを加熱および冷却するための熱電クーラ（TEC）を備えている、温度制御式VCSELアレイの実施形態を図示する。

【図28A】図28Aは、本教示のコンパクトVCSELレーザドライバアセンブリの実施形態の上面図を図示する。

【図28B】図28Bは、図28AのコンパクトVCSELレーザドライバアセンブリの実施形態の側面図を図示する。

【図28C】図28Cは、図28AのコンパクトVCSELレーザドライバアセンブリの実施形態の底面図を図示する。

【図29】図29は、本教示の多波長LIDARのためのコンパクトVCSELレーザド

50

ライバアセンブリの別の実施形態を図示する。

【図30】図30は、本教示の多波長L I D A RのためのコンパクトV C S E Lレーザドライバアセンブリの実施形態のシステムブロック図を図示する。

【図31】図31は、本教示のマルチ要素多波長L I D A Rシステムのための多波長光パワーモニタの実施形態を図示する。

【図32】図32は、本教示による、異なる波長を放出するレーザ開口を備えている、V C S E Lクラスタレイアウトの実施形態を図示する。

【図33】図33は、図32のV C S E Lクラスタレイアウトを備えている、照明器の実施形態を図示する。

【発明を実施するための形態】

10

【0010】

図1は、車両に実装される、本教示のL I D A Rシステム100の動作を図示する。L I D A Rシステム100は、標的場面向かって光源によって生成された光ビーム102を投影する、照明器とも称される、レーザプロジェクタと、その標的場面における人物106として示される物体から反射する光104を受信する、受信機を含む。L I D A Rシステムはまた、典型的には、物体106についての距離情報を反射光から算出する、コントローラと、所望の範囲および視野（F O V）を横断して静的パターンであり得る、光の特定のパターンを走査または提供し得る、要素を含む。受信機およびコントローラは、受信された信号光を、L I D A Rシステム範囲およびF O V内にある周囲環境の点毎3Dマップを表す、測定値に変換するために使用される。種々の実施形態では、コントローラは、特定の用途に応じて、単純電気回路またはより複雑なプロセッサであることができる。

20

【0011】

照明器および受信機を形成する、レーザ源および光学ビーム投影手段は、車両108の正面側に位置してもよい。人物106および／または車もしくは電柱等の別の物体は、源から受信機に反射された光を提供し、その物体までの範囲または距離が、判定される。当技術分野において公知のように、L I D A R受信機は、光源から放出される光パルスの飛行時間測定に基づいて、範囲情報を計算する。加えて、特定の範囲と関連付けられ、源およびプロジェクタシステムの特定の設計に基づく、標的平面内の場面を照明する、光学ビームプロファイルについての既知の情報が、反射表面についての場所情報を判定し、それによって、場面の完全なx、y、zまたは3次元写真を生成するために使用される。言い換えると、周囲環境の点毎3Dマップは、L I D A Rシステムの視野内の源からの照明を受信機に反射させる全ての表面からの位置情報を示す、測定データの集合を表す。このように、L I D A Rシステムの視野内の物体の3D表現が、取得される。点毎3Dデータマップはまた、測定点群と称され得る。

30

【0012】

図2は、自動車202のための典型的周囲感知L I D A Rシステム200の2次元視野および範囲要件を表す、概略図を図示する。例えば、アダプティブクルーズコントロール機能は、側方視「周囲ビュー」視野および範囲206と比較して、狭い視野であるが、より長い距離範囲要件を伴う、視野および範囲204を要求し得る。一般に、自動車上のセンサ機能は、L I D A R、レーダ、カメラ、および超音波センサの組み合わせによって可能にされ得る。周囲環境についての情報を生成するこれらのセンサデータの組み合わせは、多くの場合、「センサ融合」と称される。

40

【0013】

本教示は、L I D A Rが、自律的、すなわち、自動運転または運転者支援車両のために広く使用される、自動車両の文脈においてL I D A Rシステムを説明するが、実施形態は、任意の車両に適用可能であり得ることを理解されたい。他のタイプの車両は、ロボット、トラクタ、トラック、飛行機、ドローン、ボート、船舶、およびその他を含み得る。本教示はまた、種々の定常用途にも適用可能である。例えば、高密度都市規模では、L I D A Rは、車両および歩行者の両方の交通を監視するために採用され得る。L I D A Rシス

50

テムのコストが経時的に削減されるため、L I D A Rが多くの異なる用途において展開される状況が見られることが期待され得る。

【0014】

図3は、本教示の自動車302のためのセンサシステム300を図示する。略図中の2D楔形によって図示される種々の範囲およびFOVとともに動作する、6つの別のL I D A Rモジュール304が、存在する。L I D A Rモジュール304のうちの4つが、主に、側方ビューであって、それぞれ、約120度の範囲およびFOV306を有する。前方モジュールは、最狭FOVおよび最長距離範囲を有する、範囲およびFOV308とともに示される。

【0015】

自動車感知のためのいくつかの従来技術L I D A Rシステム設計は、L I D A Rシステムが、衝突を回避するための適正な時間を提供するために、30mの距離において車の正面を歩行中の歩行者を解像可能であるべきであることを開示している。歩行者断面は、約280mmであって、したがって、L I D A Rシステムのために要求される角度分解能は、約0.5度である必要がある。例えば、「Vertical Cavity Surface Emitting Laser (VCSEL) Array Laser Scanner」と題された米国特許第7,544,945号を参照されたい。

【0016】

しかしながら、本教示の1つの特徴は、自動用途が、はるかに高い角度分解能を要求し得、いくつかの用途では、0.5度をはるかに下回ることの認識である。より高い角度分解能は、ある形態の画像識別を可能にすることができる。例えば、より高い分解能は、センサシステムが歩行者と電柱または2台のオートバイと車を区別可能となることを可能にするであろう。したがって、100m範囲における0.1度角度分解能の標的仕様が、要求され得る。角度分解能は、より短い距離に関してより低くなり得る。

【0017】

図4は、本教示のL I D A Rセンサシステムの一実施形態のための距離の関数としての水平角度分解能を提供する、表400を図示する。表400に提示されるデータは、測定された物理的距離が重要なパラメータであると仮定する。

【0018】

将来的車両は、完全な360度FOVを網羅するために、複数の低コストL I D A Rセンサを採択するであろう。また、車両の正面を直接見るための距離のL I D A R要件と比較して、側方ビューおよび死角のための距離の異なるL I D A R要件が存在し得ることも考えられる。回転しない、ソリッドステートL I D A Rシステムに関して、FOVは、180度未満でなければならないと理解される。例えば、Innoviz Technologiesによって製造された従来技術L I D A Rシステムは、0.1度角度分解能と組み合わせられた100度水平(H)×25度垂直(V)FOVを広告している。Quanergy Systemsによって製造された従来技術L I D A Rシステムは、0.1度未満の角度分解能を伴う120度水平FOVを広告している。Quanergy SystemsのL I D A Rは、光学位相アレイを送信機として使用し、これは、アレイを通して投影されるにつれてレーザパルスの位相をシフトさせることによって、光のパルスを操向することができる。位相アレイを使用する1つの不利点は、標的における照明パターンに影響を及ぼし得る、サイドローブの存在である。本教示のソリッドステートレーザ源L I D A Rシステムは、位相アレイアプローチと関連付けられたサイドローブを生産しない。単波長の光を使用する従来技術システムの別の限定は、光の速度である。200メートルに関する進行時間は、0.67マイクロ秒であって、L I D A Rシステムがオーバーヘッドに応じて、約1マイクロ秒または同程度毎にレーザを発射するように限定される。レーザパルスレートは、システムが曖昧性を伴うことなく測定点毎に戻りパルスを識別可能であるように、典型的には、検出器のFOV内において本1MHzレートより高くない。

【0019】

10

20

30

40

50

いくつかのL I D A Rシステムは、複数のレーザを照明器内で利用し、角度分解能、リフレッシュレート、およびF O V等のシステム性能を改良することに役立てる。しかしながら、V e l o d y n e L i D A R^{T M} S y s t e m sによって製造されたもの等の従来技術マルチレーザ源コンパクトL I D A Rシステムは、32のレーザを使用する単一ユニットを用いて、恣意的に高精細な角度分解能、広F O V、および高リフレッシュレートを達成することができない。

【0020】

図5は、V e l o d y n eから市販のL i D A R^{T M}システムの広告性能を提示する、表500を図示する。これらのV e l o d y n eシステムは、回転し、したがって、360度の水平視野を有する。垂直方向では、32のレーザが、1.25度の均一角度分解能を伴って、広告40度視野を提供するように配列される。回転システムを用いることで、全視野は、回転率でのみリフレッシュされ得ることが明白となるはずである。同様に、全32のレーザは、システムが、回転しないとき、本質的に、単一水平方向に向いているように、単一垂直線に配列される。そのようなシステムは、典型的には、10Hzの回転率で動作され、約0.16度の角度分解能を提供する。より低速の回転速度も、より高精細な角度分解能を達成するために使用されることができ、リフレッシュレートを犠牲とする。物体が、回転システムが1回転完了するためにかかる時間内に有意に移動する場合、車両は、物体を回避するために、またはその周囲において適切に操向するために十分に迅速に応答不可能であり得る。任意の方向を任意の時間に見ることができるシステムが、より高いレートで視野をリフレッシュ可能であるために望ましい。実際は、適正なリフレッシュレートおよび高精細角度分解能とともに、全360度周囲ビューを提供可能であるように、複数の回転L I D A Rシステムは、いくつかの事例では、4つものL I D A Rシステムが、単一自動車上で使用される。

【0021】

本教示の多波長L I D A Rシステムの1つの特徴は、比較的に高リフレッシュレートを提供することである。リフレッシュレートは、フレームレートとしても知られる。本教示のいくつかの実施形態は、30Hzと少なくとも同一、潜在的に、1kHzの高い典型的低コストCMOSカメラシステムリフレッシュレートである、システムリフレッシュレートを提供する。高リフレッシュレートが重要である理由を理解するために、100km/時で進行する自動車を検討する。これらの条件下、自動車は、0.1秒以内に約3メートル移動するであろう。したがって、リフレッシュレートが、わずか10Hzである場合、車の正面の物体は、その時間内に有意に移動し、分解能の有意な損失を生じさせるであろう。本教示のL I D A Rシステムに関して、4つの波長を利用し、4,096のレーザが1つのフレーム内で測定され、パルス持続時間が1マイクロ秒であると、リフレッシュレートは、単一システムのために1kHzである。複数のシステムが、完全な360度視野を網羅するために使用される場合でも、リフレッシュレートは、依然として、1kHzとなるであろう。これは、測定あたり単一パルスを仮定する。測定あたり複数のパルスが必要とされる場合、リフレッシュレートは、より低くなるであろう。

【0022】

図6は、本教示のL I D A Rシステムの種々のパラメータと関連付けられた仕様を提供する、表600を図示する。表600におけるシステム仕様は、マルチエミッタ2D V C S E Lアレイ源を利用する、ソリッドステートシステムを仮定する。本仕様を達成するために、4,096の個々のレーザが、要求される。これは、例えば、垂直方向における32のレーザのアレイと、水平方向における128のレーザとを使用することによって達成されることができ、4波長システムでは、32×32アレイが、波長毎に必要とされる。レーザが250ミクロンピッチにある実施形態では、32×32のレーザのアレイは、8mm×8mm占有面積を有するであろう。より低いコストのための他の構成では、より小さいアレイが、使用されることができ、これらの構成では、システムは、より少ないレーザを使用して、4×4mm占有面積を伴うアレイを達成することができる。システム仕様は、追加のレーザを用いて改良することができる。将来的には、4×4mm占有面

積内に 32×32 アレイを可能にする 125 ミクロンピッチでレーザを取得することができるようになることが期待される。

【0023】

125 cm^3 未満の本教示の L I D A R システムのためのモジュールサイズおよび／または 1 辺に 2.5 インチ未満の寸法を伴うモジュールを実現することが望ましい。いくつかの実施形態では、モジュールは、照明器および受信機を同一モジュール内に含む。いくつかの実施形態では、照明器および受信機のための別のモジュールが存在する。

【0024】

本教示の 1 つの特徴は、照明器が個々の明確に異なる波長を伴う光学ビームを放出するレーザを含むことである。図 7 は、本教示による、 2 つのレーザを使用する多波長 L I D A R システム 700 の実施形態を図示する。第 1 のレーザ 702 は、第 1 の波長において動作し、第 2 のレーザ 704 は、第 2 の波長において動作する。レーザは、ビームプロファイルを L I D A R システムの F O V および範囲を横断して種々の標的平面に形成するために使用される、光学投影要素の一部を形成する、統合または別のコリメーション光学（図示せず）を含み得る。照明器 706 はまた、光学ビームをさらに成形および投影し、特定のビームプロファイルを標的平面 710 に形成する、光学デバイス 708 を含むことができる。種々の実施形態では、種々のタイプの光学デバイスが、投影要素を形成するために使用されることができ、例えば、レンズ、回折光学、プリズム、薄膜波長敏感デバイス、および部分反射ミラーのうちの 1 つ以上のものを含む。

【0025】

受信機 712 は、L I D A R システムの F O V および範囲内の種々の標的平面 710 において物体の表面から反射された光を受信する。受信機 712 は、源 702 、 704 によって放出される 2 つの波長からの光を区別することができる。したがって、各波長から反射された照明は、別個に処理される。コントローラ 714 は、受信された光を処理するために使用される。コントローラ 714 は、L I D A R データを出力 716 に提供する。コントローラ 714 の複雑性は、L I D A R システムの特定の実施形態に依存する。コントローラ 714 は、レーザ源 702 、 704 を制御するために使用され得る。種々の実施形態では、コントローラ 714 は、電気回路、電子チップ、マイクロプロセッサ、またはコンピュータのいずれかまたは全てを備え得る。 N の波長のレーザを図 7 に示される実施形態に追加することは、簡単である。いくつかの実施形態では、光をコリメートし、所望の F O V を提供する、追加の光学要素が存在する。

【0026】

投影要素は、レーザビームまたは複数のレーザビームを特定の方向にコリメートまたは別様に成形および投影する要素として本明細書に説明される。投影要素は、光学ビームの経路内に位置付けられる、 1 つ以上の光学デバイスを備え得る。これらのデバイスおよびその位置は、レーザ源から放出されるビームまたは複数のビームの初期形状および経路とともに、所望のビームプロファイルを生産し、これは、空間内の特定の点におけるビーム形状および／またはビーム位置の組み合わせである。

【0027】

いくつかの実施形態では、追加の光学デバイスが、レーザ源からの光学ビームを投影するために使用される。図 8 は、本教示の 2 つの単一エミッタレーザ 802 、 804 および波長コンバイナ 806 を使用する多波長 L I D A R システムのための照明器 800 の実施形態を図示する。異なる波長を伴う 2 つのレーザ源 802 、 804 は、 2 つの光学ビーム 808 、 810 を 2 つの経路上に生成する。波長コンバイナ 806 は、ビームを 2 つの平行経路 812 、 814 上で組み合わせるために使用される。いくつかの実施形態では、平行経路は、図 8 に図示されるように、オフセットされる。いくつかの実施形態では、平行経路は、完全に重複する。いくつかの実施形態では、波長コンバイナ 806 後の経路は、必ずしも、平行ではないが、所望のビームプロファイルを L I D A R システムの F O V および範囲内の標的平面に生産するように配列される。波長コンバイナ 806 の使用は、システムの物理的レイアウトおよび L I D A R によって生成された関連付けられたビームブ

ロファイルの両方における追加の柔軟性を可能にする。

【0028】

本教示の1つの特徴は、コンパクトシステム内において異なる波長を使用して、異なる L I D A R F O V、範囲、および／または分解能を生産する能力である。2つ以上の波長における光ビームは、投影要素を形成するが、依然として、各波長における異なる範囲および／または F O V ならびに／もしくは分解能を表す測定点群をもたらす、異なるビームプロファイルを実現する、同一光学デバイスの少なくともいくつかを共有可能であり得る。例えば、信号波長を使用する従来技術 L I D A R システムに関する1つの問題は、100メートル範囲に到達するために要求される送出パワーが、非常に高く、近接近反射（例えば、数メートル）に関して、受信機が飽和することである。これは、これらの従来技術 L I D A R システムが物体の近傍に対して見通しがきかないことを意味する。本問題は、2波長システムを用いて解決されることができ、第1の波長は、100メートル範囲のために使用されるが、第2の波長は、近接近測定のために意図された低パワーのみを有する。2波長を使用することで、測定は、並列動作能力のため、同時であることができる。2つを上回る波長の拡張も、簡単である。

10

【0029】

本教示の別の特徴は、追加の波長を伴うレーザが L I D A R 測距以外の他の機能を実施するために追加され得ることである。例えば、追加のレーザが、L I D A R システム内の光学デバイスの配向の測定を提供するために追加されることができ、追加の波長におけるこれらの源からの光は、光学ビームを投影し、および／または光学ビームを複製もしくは走査する、要素の角度測定を提供するという唯一の目的を果たし得る。いくつかの実施形態では、M E M S デバイスが、ビームを投影するために使用され、ミラー位置の直接フィールドバックを有するために重要であり得る。適切な受信機測定システムと組み合わせられた別のレーザは、ミラー位置の直接角度測定を提供し得る。前述の実施形態の自然な流れとして、それぞれの場合において、同一波長の複数のレーザ、すなわち、各波長の単一レーザの代わりに、各波長のレーザの1Dまたは2Dアレイのいずれかを使用するであろう。

20

【0030】

本教示の多波長 L I D A R システムのいくつかの実施形態は、それぞれ独立して異なる波長の光を検出する、複数の受信機を備えている、受信機を使用する。図9は、本教示の異なる波長のための複数の受信機902を使用する、受信機900の実施形態を図示する。本実施形態では、L I D A R システムの範囲および F O V 内の物体から標的平面において反射された反射光904は、2つ以上の受信機902によって検出される。各受信機902は、単一波長を検出可能である。受信機のための本実施形態を使用する多波長 L I D A R システムは、各波長からのパルス信号が時間内で重複される、異なるレーザ波長の同時動作を可能にすることができる。

30

【0031】

L I D A R システムの実践的実装では、電子機器の速度および種々の構成要素の光学電気帯域幅に関する物理的限定が、存在する。レーザ波長が別個かつ同時に検出されることが可能な多波長 L I D A R 実装は、これらの物理的限定の影響を実質的に低減させることができる。これは、全体的により高い性能の L I D A R システムをもたらす。

40

【0032】

本教示の多波長 L I D A R システムの1つの特徴は、モジュール内の光学性能監視の含有である。L I D A R モジュール内の光学性能監視は、種々の理由から、重要であり得る。例えば、照明器アセンブリの内側への光パワー監視の組み込みは、較正、性能、および信頼性監視を改良することができる。レーザは、寿命に伴って劣化し、したがって、光が外部物体から反射された後の受信された光学信号のみに依拠するのではなく、光がプロジェクタから出射するにつれたプロジェクタアセンブリ自体内のレーザ出力パワーを監視することが有用であり得る。また、V C S E L レーザに近接する温度の監視も、信頼性および性能を改良するために有用であり得る。温度およびパワーの監視は、診断のためだけで

50

はなく、また、動作の間、レーザを制御し、システムの性能および／または寿命を改良するために使用されることができる。

【0033】

本教示の多波長L I D A Rシステムの性能モニタのいくつかの実施形態は、光パワー監視を使用する。送信機からのレーザ出力パワーを監視し、それを予期される基準値と比較することが、レーザ自体または光学機械アセンブリのいずれかからの光学送信機の性能における劣化の検出を可能にするであろうことは、周知である。例えば、「System and Method for Monitoring Optical Subsystem Performance in Cloud L I D A R Systems」と題された米国特許出願公開第US 20160025842 A 1号は、点群測定のために設計されるL I D A Rシステムのためのレーザ出力パワー監視の利点を説明する。本教示の多波長L I D A Rシステムの実施形態における光パワー監視の使用は、これらの従来技術システムを改良し、多波長L I D A R動作のより良好な角度分解能ならびに他の特徴を提供することができる。

10

【0034】

本教示のパワー監視要素は、照明器内の光学デバイスから反射された光を監視する。照明器内で検出された反射光もまた、受動監視目的のためだけではなく、また、レーザ電流バイアスの追加の制御を提供するために使用されることができる。レーザダイオードは、ある範囲の動作バイアス電流を有する。多くのレーザシステムでは、必ずしも、L I D A R用途のためのものではないが、レーザは、閉ループ方式で動作され、モニタダイオードから受信されたフォトダイオード電流は、バイアス制御ループへの入力としての役割を果たす。モニタフォトダイオード電流を監視し、入射パワーの略線形関数である、一定値を維持することによって、システムは、温度または機械的シフト等のシステム安定性における変化に反応し、改良された出力パワー安定性を維持することが可能となるであろう。また、レーザバイアスの本監視および制御は、システムレベルにおける光パワーの損失を伴わずに、その寿命にわたるレーザのある劣化量に適応することができる。

20

【0035】

本教示のL I D A Rシステムのための性能モニタのいくつかの実施形態は、光の1つ以上のパラメータを監視する。照明器内で検出された反射光は、レーザ波長、光パワー、パルスタイミング、およびパルス周波数に関して監視されることができる。波長は、単に、フォトダイオードではなく、代わりに、波長ならびに光パワーの検出を可能にする、光学のより複雑なセットである、受信機を含む、パワーモニタを使用することによって検出されることができる。複数の波長が使用されるL I D A R設計では、特に、波長が絶対値において近接する場合、システムパラメータが意図される通りであることを確実にするために、その絶対または相対値を監視することが所望され得る。レーザの絶対波長または異なる波長のレーザ間の相対オフセットのいずれかを監視する種々の方法は、当技術分野において公知である。例えば、エタロンベースのデバイスが、波長モニタとして使用され得る。

30

【0036】

多波長パワー監視はまた、障害がレーザ劣化または光学性能におけるシフトによって生じているかどうかを検出するためのシステムロバスト性を改良する。多波長パワー監視はまた、波長の1つのセットが失敗する場合、冗長性を提供する。波長の1つのセットの動作時の部分的または完全故障は、依然として、波長毎の光学監視が独立する場合、波長の他のセットを使用して、システムの部分的動作のための能力を可能にするであろう。

40

【0037】

本教示の多波長L I D A Rシステムの別の特徴は、それらが種々の光学源からの干渉に抵抗性または耐性があり得ることである。いくつかのL I D A Rシステムは、比較的単純なレーザポインタ、またはL I D A Rシステムから放出される信号を記録し、次いで、再生する方法と組み合わせられたレーザ距離計技術を使用すると、混信または欺騙され得ることは、周知である。これは、ハッカーが他の車、歩行者、またはさらに壁の偽画像を

50

作成し得る場合、自動車および運転者の安全性に潜在的に有意なリスクを表す。

【0038】

さらに、より多くのL I D A Rシステムが展開されるにつれて、他の車両または定常交通監視からであるかどうかにかかわらず、他のL I D A Rシステムからの干渉に耐性があるシステムを有することがますます重要となっている。種々の実施形態では、パルス信号の暗号化が、含まれてもよい。しかしながら、暗号化を伴わなくても、本教示による多波長システムは、暗号化されたパルスの使用を問わず、波長に基づいて、受信されたデータが本物であることを確認することができる。例えば、本教示の多波長L I D A R構成のいくつかの実施形態は、1つの波長が「混信」される場合、他の波長が、依然として、動作を継続するために利用可能となるであろうように、各波長の独立使用を可能にする。これらのシステムは、潜在的セキュリティリスクを確認し、および／または意図されないシステム干渉に対して制御された応答を可能にすることができる。したがって、本教示の多波長L I D A Rシステムは、単波長L I D A Rと比較して、向上されたセキュリティを提供し、ブラインディング、ジャミング、反射、中継、およびなりすまし攻撃を防止する。

10

【0039】

本教示の多波長L I D A Rシステムの別の特徴は、受信機および処理電子機器に関する改良されたシステム正確度および／または低減された要件である。これらの利点は、複数の波長を使用することによって達成される。自動L I D A Rシステムのために要求されるサンプリングレートを検討する。100キロメートル／時間(k p h)で移動する車は、約28ミリメートル／ミリ秒(mm/m s e c)で進行する。2台の車が、相互に接近する場合、相対距離は、そのレートの2倍、すなわち、56mm/m s e cで減少するであろう。測定点毎に50mm(約2インチ)の距離正確度を伴って、全視野を横断して正確なシステムに関して、その時間の間、完全なF O Vを走査することが可能である必要がある。

20

【0040】

便宜上、特定の所望の3D点毎測定場所と1対1で対応する1,000のレーザクラスターを使用する、多源L I D A Rシステムを仮定する。全F O Vを横断した位置正確度に関して、上記に説明されるように、1m s e c毎に全ての1,000レーザを通して走査する必要があるであろう。一度に1つのレーザのみ動作させ、検出することができる、単波長システムに関して、これは、その測定点に関する位置情報を入手するために、1マイクロ秒(μ s e c)／レーザのみを有することを意味する。異なる波長の2つのレーザを同時に動作させることができる、多波長L I D A Rシステムでは、レーザあたり許容される時間は、2倍となり、2μ s e c／測定点を有することができる。本追加の時間は、1つ以上の方法において性能および／または信頼性を改良するために使用されることができる。例えば、追加の時間は、例えば、追加のサンプルを採取し、平均することによって、信号完全性を改良するために使用されることができる。追加の時間はまた、電子機器のために要求されるデータレートを低減させるために使用されることができる。加えて、追加の時間は、よりロバストなコーディングスキームを実装するために使用されることができる。

30

【0041】

本教示の多波長L I D A Rシステムの別の特徴は、レーザパルスのより高次の変調およびコーディングの使用である。本変調およびコーディングは、受信機の光子効率を改良し、信号を暗号化し、および／または干渉に対する耐性を増加させるために使用される、光学信号のための多数の公知のより上位層のコーディング技法の形態をとることができる。単純バイナリのオン／オフパルスを送信する代わりに、より高次の変調を組み込むことによって、コーディング／暗号化の実装を可能にすることができる。コーディング／暗号化は、セキュリティリスクおよび他のレーザシステムからの干渉の低減を可能にするために望ましい。実装され得る公知のより高次の層変調およびコーディングスキームは、例えば、パルス位置変調、位相変調、副搬送波周波数変調を含む周波数変調、振幅変調、偏光変調、拡散スペクトル、およびその他を含む。

40

50

【0042】

図10は、本教示による、多波長L I D A Rのための単純コーディングスキーム1000の実施形態を図示する。上のグラフ1002は、時間の関数としての単純非エンコードバイナリパルス光パワーを提示する。パルス幅は、大部分のL I D A Rシステムが、わずか1 μ s e cの全ウィンドウ／パルスを有するため、典型的には、30～200ナノ秒（n s e c）の長さである。

【0043】

下のグラフ1004は、単純振幅ベースのコーディングスキームを図示し、パルスは、6つのセクションに分割され、それぞれ、4つの可能なレベルを伴う。第1のセクションは、最大パワーに固定され、T O F測定のタイミングならびに残りのパルスのための基準信号振幅の設定のために使用され得る。しかしながら、最後の5つのセクションは、4つの可能な振幅レベルに伴って、信号レベルにおいて変動され得る。説明されるパルスは、次いで、1, 024の一意のパルス形状を与えるであろう。したがって、1, 000レーザL I D A Rシステム内の各レーザは、その独自のパルス形状または一意にコード化されたシグネチャを有することができる。その独自の一意にコード化されたシグネチャを伴う各レーザを有することは、受信機電子機器が、信号をデコードし、その信号を発射したレーザを正確に識別することを可能にする。セキュリティは、各レーザの一意にコード化されたシグネチャを通して、かつ任意の所与のレーザパルスのための予期される一意にコード化されたシグネチャに合致させる観点から、受信機と送信機との間のループを閉鎖し、受信された実際のパルスと比較することを可能にするこの両方によって改良される。

【0044】

本教示の多波長L I D A Rシステムの別の特徴は、並列処理の使用である。レーザパルスをコード／暗号化するためのより高次の変調の追加は、より高速の電子機器およびより複雑な信号処理方法を要求する。レーザドライバ、レーザ、および物理的相互接続から成る、完全なレーザ回路の光学電気（O／E）帯域幅は、より高次の変調帯域幅に適応するために十分に高くなければならない。

【0045】

受信機帯域幅は、制約であり得る。より良好な光学結合のために、またはより多くの光が受信機によって捕捉されることを実現するために、受信機フォトダイオードの開口（すなわち、感光面積）は、大きくあるべきである。しかしながら、改良された帯域幅および周波数応答のために、より小さい開口サイズを有することが望ましい。したがって、妥協が行われ得る。複数の波長の使用は、測定点の並列処理を可能にすることに役立ち得、これは、電子機器、帯域幅、および受信機設計に関するシステム制約を低減させることに役立つために使用され得る、追加の時間を効果的に作成する。例えば、図10を参照すると、ゼロ立ち上がりおよび立ち下がり時間を伴う、光学パルス形状が、描写される。実際のシステムは、光学信号に関する有限立ち上がりおよび立ち下がり時間を有し、これは、十分に長い場合、振幅変調を劣化させるであろう。明細書に説明されるいくつかの本実施形態は、コーディング／暗号化を支援して、受信機の光学電気R F性能の全体的最適化を可能にする。

【0046】

単波長L I D A Rシステムまたは複数の独立波長に依拠しないL I D A Rシステムでは、受信機が同一波長の複数のレーザからの光を区別することができないため、1つのみのレーザが、典型的には、一度にバイアスされる。公知、例えば、多波長通信用途では、1つを上回る波長を伴うシステムは、1つを上回るレーザの同時動作、いわゆる並列動作を可能にすることが、公知である。同様に、異なる波長を使用する、L I D A Rシステムは、より低いデータレートにおいてパルスのコーディング／暗号化を可能にすることができる。これは、より低速かつより安価な構成要素の使用を可能にし、および／またはより強力な暗号化を可能にする結果をもたらす。これは、部分的に、受信機が異なる波長を伴う光を同時に測定するように設計され得るためである。多波長システムのための受信機は、例えば、それぞれ1つの波長からの光のみを受信するようにフィルタリングされた2つの

別のフォトダイオード要素を有し得る。

【0047】

最初の自走運転車を含む、自動車用途のための初期のL I D A Rシステムは、スピン式ミラーから反射される単一高パワーレーザを採用し、反射されたレーザビームは、環境の走査を実施するために使用される。スピン式ミラーを使用するL I D A Rシステムは、さらなる複雑性を有し、したがって、潜在的機械的信頼性問題が、可動部品に関して存在する。スピン式ミラーの使用を回避するために、L I D A Rシステムは、単一レーザと複数のレーザを置換することが提案された。例えば、「Distance Measuring Apparatus」と題された米国特許第5, 552, 893号を参照されたい。複数のレーザを使用することによって、もはやスピン式ミラーを利用して、走査を実施する必要がない。複数のレーザは、ある方式において、機械的または光学的にグループとしてシフトされることができる、または個々のレーザの数は、環境の点毎マッピングの所望の粒度と1対1関係を有するために十分であることができる。一般に、より良好な機械的信頼性のために、可動部品を伴わない「ソリッドステート」システムを有することが非常に望ましいが、1対1マッピングを有するために十分に大きい複数のレーザを有することと関連付けられた有意なコストおよび複雑性が、存在する。

10

【0048】

本教示のL I D A Rシステムのいくつかの側面では、垂直キャビティ面発光レーザ（VCSEL）アレイが、複数のレーザを提供するために使用される。VCSELアレイは、円形ビーム発散を提供すること、単一基板上に製造可能であること、高電気光学効率、および低コスト等、多くの望ましい特徴を有する。

20

【0049】

先に説明されるように、いくつかの推定は、衝突を回避するための適正な時間を提供するために、L I D A Rシステムは、30メートルの距離において車の正面を歩行中の歩行者を解像可能であるべきであることを示す。歩行者断面は、約280mmであって、したがって、L I D A Rシステムのために要求される角度分解能は、約0.5度である必要がある。複数のレーザがレーザと環境の3D点毎マッピングとの間の1対1マッピングを有するために、要求されるレーザの数は、システムFOVを角度分解能要件によって除算することによって計算される。典型的L I D A Rシステムは、20度FOVを有し得、これは、30メートルにおける歩行者を解像するための角度分解能要件を満たすための40のレーザを含み得る。本計算は、1つのみの方向に関するものであって、2D情報を生成するであろうことに留意されたい。類似計算は、垂直方向に関しても要求される。システムが、水平および垂直の両方に20度FOVを有する場合、1, 600のレーザが、要求されるであろう。1, 600の別のレーザを使用するシステムは、動作の複雑性、組立、およびコストに関する有意な課題を提示する。公知のL I D A Rシステムは、より少ない数のレーザを使用するが、ボイスコイル、圧電変換器、ステッパモータ、形状記憶変換機構、および振動モータ等の種々のデバイスを使用して、それらをグループとしてシフトさせ、要求される分解能を達成することを開示している。例えば、「Vertical Cavity Surface Emitting Laser (VCSEL) Array Laser Scanner」と題された米国特許第7, 544, 945号を参照されたい。

30

40

【0050】

いくつかの公知のL I D A Rシステムは、可動レンズシステムとともにVCSELのアレイを使用し、ビームをシフトさせる。レンズが移動されるにつれて、各レーザビームは、異なる方向に向けられる。視野の全マッピングが、レンズシステムの適切な移動と組み合わせられる、各レーザを選択的かつ電氣的にバイアスすることによって、達成される。VCSELアレイは、複数の個々のVCSELチップまたはVCSELチップのサブアレイから形成されることができる。可動レンズは、圧電変換器または他の機械的手段によって作動されることができる。例えば、「Scanning Apparatus and Associated Methods」と題された米国特許第6, 680, 788号

50

を参照されたい。

【0051】

本教示によるL I D A Rシステムのいくつかの実施形態は、複数の半導体レーザを使用し、レーザは、1つを上回るレーザ波長を有する。本明細書に説明される具体的実施形態は、異なる波長の半導体レーザを使用して、単一レーザ波長システムと比較して3D点毎マッピングのために比較的により高い粒度を伴うL I D A Rシステムを可能にすることを含む。本教示の1つの特徴は、3D点毎マッピングのための比較的により高い粒度が、可動レンズシステムまたはL I D A Rシステム内の他の可動部品の使用を要求せずに、達成され得ることである。

【0052】

複数のレーザ波長を使用する、本教示によるL I D A Rシステムの実施形態は、全体的システムのためのコンパクトな機械的サイズを維持しながら、1つのみのレーザ波長を使用するシステムと比較して、粒度または角度分解能を有意に改良することができる。前述のように、自動車L I D A Rシステムは、高正確度を伴って30mにおける歩行者を検出可能であるために、F O Vを横断して測定点毎に0.5度未満の粒度を有することが非常に望ましい。完璧にコリメートされた光ビームは、ゼロ発散度を有するものであるが、実際のシステムでは、放出されるレーザ光ビームの性質ならびに光学および機械的アセンブリにおける理想的なものからの逸脱が、完璧にコリメートされた光ビームの実現を妨害することを理解されたい。

【0053】

複数のレーザを有するL I D A Rシステム内のレーザビームをコリメートするための2つの一般的方法が、存在する。第1の方法では、各個々のレーザからの光は、その独自の専用レンズまたはレンズシステムによって、別個にコリメートされる。第2の方法では、複数のレーザビームのコリメーションは、共有光学システムを用いて実施される。

【0054】

別の従来技術L I D A Rシステムは、湾曲基板上に位置するレーザを備え、レーザ毎に個々のレンズを使用する。例えば、「Low Cost Small Size L I D A R for Automotive」と題された米国特許公開第2015/0219764号を参照されたい。本特許出願は、独立して設定され得る、F O Vおよびコリメーションを伴うシステムを説明する。すなわち、コリメーションの程度は、所望のF O Vから独立してレーザ毎に使用される光学の個々のセットによって制御されることができる。しかしながら、コリメーションに対する物理的限定が、存在する。V C S E Lデバイスは、有限ビーム径ならびに有限発散角度の両方を有する。0.2の開口数(N A)を伴う典型的850nm V C S E Lデバイスに関して、数mmの焦点距離(および物理的直径)を伴う屈折光学が、0.5度未満の発散を伴うビームを生産するために要求されるであろう。個々のレンズの直径は、隣接するレーザ間の間隔を物理的に限定するであろう。複数のレーザからの光のコリメーションのために使用される個々のレンズシステムは、物理的に別の要素ではなく、アレイの形態であり得ることに留意されたい。しかしながら、隣接するレーザの間隔に関する限定は、依然として、要因となるであろう。

【0055】

いくつかの従来技術L I D A Rシステムは、各V C S E Lデバイスにわたって形成される1対1の複数のマイクロレンズと組み合わせられる、基板上にパターンで配列される複数のV C S E Lを使用する。例えば、「Laser Arrays for Variable Optical Properties」と題された米国特許公開第US2015/0340841A1号を参照されたい。各レンズは、V C S E Lデバイスからのレーザビームのコリメートと、そのための投影角度の設定の両方を行うであろう。ポインティング角度は、V C S E L中心軸から主レンズ軸をオフセットすることによって達成されることができる。いくつかの公知のL I D A RコリメーションシステムにおけるV C S E Lは、裏側照明式であって、レンズは、V C S E L開口と反対の基板の表面上にある。これらのV C S E Lでは、基板は、V C S E Lの波長に透過性である必要がある。また、上側

照明式VCSELを使用して、レンズをVCSEL開口と同一表面上に形成することも可能である。

【0056】

マルチエミッタVCSELを使用するいくつかの従来技術LIDARシステムは、レンズおよび約数百ミクロンのVCSEL要素の間隔を伴う、コンパクト設計を有する。これらのシステムは、本質的に、VCSELアレイチップと同一機械的規模において光学システムを提供する。しかしながら、これらのシステムは、個々のデバイスからの発散が恣意的に低くすることができないため、小角度分解能を達成不可能であることを含む、有意な短所に悩まされる。そのようなシステムは、レンズのサイズおよび曲率によって性能において制約されるであろう。そのようなシステムでは、発散は、特に、レンズおよび放出VCSEL開口がオフセットされるデバイスに関して、恣意的に小さく設定されることができない。ビーム径および発散は、線形に関連する。

10

【0057】

検査によって、本システムの拡大は、わずかであって、レーザビーム径は、そのようなレンズシステムによって有意に拡張され得ないことが分かっている。本アプローチが0.5度未満の発散を有するために、VCSELデバイス自体の開口数が、最初から小さい状態で開始し、850nm上側照明式VCSELに関して、典型的0.2NAよりはるかに低くしなければならない。VCSELデバイスのために本質的に小開口数を要求することは、VCSEL出力パワーおよび波長に影響を及ぼすことによって、本アプローチの実践を限定し得る。また、同一レンズがコリメーションおよび投影角度の設定のために使用されることから、レンズの半径が、コリメーションのための最適半径と同一レンズ半径である可能性が低い、所望の投影角度に依存するようになるため、これは、追加の制約をレンズ設計に課す。

20

【0058】

単一波長における複数のレーザを含む、従来技術LIDARシステムに見出されるコリメーションの第2の方法は、共有光学システムを使用して、複数のレーザをコリメートすることである。これらのシステムのうちのいくつかでは、単一大レンズが、コリメートするならびに各VCSELデバイスの投影角度の設定の両方のために使用される。単一レンズの代わりに、2つ以上のレンズも同様に、コリメーションのための共有レンズシステムの下層概念を変化させずに、使用され得ることに留意されたい。コリメーションおよび投影角度の両方のための共有光学を使用する一側面は、レンズの中心軸に対するVCSELデバイスの側方位置と投影されたレーザビームのポインティング角度との間の直接マッピングが存在することである。同一または類似波長の2つのVCSELレーザ間の側方距離は、共有レンズシステムによって作成された投影角度における差異に対応するであろう。

30

【0059】

さらに、VCSELデバイスは、理想的点源ではなく、代わりに、有限側方サイズを有するため、全体的光学システムのFOVもまた縮小させることなく光学によって低減されることができない、追加の発散が存在するであろう。また、同一または類似波長を伴うレーザを使用する共有光学アプローチは、他のパラメータの中でもとりわけ、VCSELの有限サイズ、コリメートされたビームの発散、VCSELデバイスの数、およびFOVに応じて、3D測定スパン内のビーム重複または間隙につながり得る。

40

【0060】

本教示のLIDARシステムの1つの特徴は、放出開口のクラスタを伴うVCSELチップを使用して、これらのデバイスによって提供されるより高い光パワーおよび大径クラスタを利用することである。本明細書に説明されるように、VCSELデバイスは、理想的点源ではなく、代わりに、有限側方寸法を有する。さらに、LIDAR照明のために使用される高パワー上部放出VCSELレーザは、典型的には、複数の発光開口を使用して、要求される高パワー出力に到達する。これらの複数の開口は、クラスタまたはグループを形成し、理想的には、依然として、要求される電気光学効率を維持しながら、可能な限り物理的に近接して位置する。

50

【0061】

図11は、21の個々の開口1104によって形成されるクラスタ1102を備えている、従来技術クラスタVCSELデバイス1100の図面を図示する。21の個々の発光開口1104は、クラスタ1102を形成する。VCSELクラスタ1102内のVCSEL開口1104は、並列に電氣的に接続され、したがって、ともにバイアスされなければならない。クラスタVCSELデバイス1100から要求される出力パワーは、システム設計毎に異なるが、全体的LIDARシステムが容認可能信号対雑音比を満たすために、概して、パルス動作中、1Wのピーク光パワーを超える。例えば、「High Power Top Emitting Vertical Cavity Surface Emitting Laser」と題された米国特許第8,247,252号を参照されたい。

10

【0062】

光学システムの設計におけるいくつかの重要パラメータは、クラスタVCSELチップの側方サイズ（寸法）、個々のVCSEL開口1104の開口数と組み合わせられたVCSELクラスタ1102の直径である。これらのパラメータは、コリメーションのためのレンズ要件を判定するであろう。VCSELクラスタ1102の側方寸法が大きいほど、コリメーションのために要求される焦点距離は大きくなる。より大きい側方寸法は、概して、物理的により大きい光学システムにつながる。

【0063】

本教示によるLIDARシステム内でVCSELデバイスを使用する1つの特徴は、複数のクラスタVCSELデバイスを単一チップ上に有する能力である。図12Aは、複数のクラスタVCSELデバイス1202を備えている、アレイ1200を図示する。図12Aは、2次元アレイにおける25のクラスタVCSELデバイス1202を図示する。アレイは、個々にバイアスされ得る、25の個々のクラスタVCSELデバイス1202のための接点1204とともに形成される。

20

【0064】

図12Bは、複数のクラスタVCSELデバイス1252を備えている、アレイ1250を図示する。図12Bは、アレイが5つのバーを形成する接点1254と接続される5つのクラスタVCSELデバイス1252を含むように配列され、各バーは、5つのクラスタVCSELデバイス1252を含むことを図示する。単一モノリシック2D VCSELアレイも同様に生産され得ることは、当業者に明白となるであろう。

30

【0065】

図12Cは、複数のクラスタVCSELデバイス1274を2DモノリシックVCSELアレイ内に備えている、チップ1272のアノード金属接点パッド1270の上面図を図示する。図12Cに図示されるチップは、上側照明式VCSELアレイである。単一行内の全てのVCSELの全てのアノードは、単一金属接点とともに接続される。

【0066】

図12Dは、図12Cに図示される複数のクラスタVCSELデバイスを備えている、チップ1272のカソード金属接点パッド1276の底面図を図示する。単一行内の全てのカソードは、単一金属接点とともに接続される。金属化の本パターンを用いることで、個々のVCSELデバイス1274（図12C）は、所望のバイアスレベルにおける各行および列接点をバイアスすることによって動作されることができる。5つの行および5つの列を伴う本特定の実施形態に関して、10の電気接続のみが、VCSELデバイス1274が個々に接続される場合、25の電気接続に対して要求される。当業者は、これが多数の可能な電気アドレス指定構成のうちの1つであって、本教示がエミッタのための特定の行および列幾何学形状に限定されないことを理解されるであろう。電気接続の数を低減させる本利点は、2D VCSELアレイのサイズが増加するにつれて大きくなる。一般に、レーザエミッタの1つのグループのアノードが、1つの接点に接続され、レーザエミッタの第2のグループのカソードが、第2の接点に接続されると、レーザエミッタの第1および第2のグループの両方に属するそれらの個々のレーザ、すなわち、接続されるアノ

40

50

ードおよびカソードを有するもののみが、第1および第2の接点が適切にバイアスされるときに励起されるであろう。レーザエミッタの1つのグループのアノードに接続される1つの接点およびレーザエミッタの第2のグループのカソードに接続される第2の接点の使用は、接続の構成に応じて、特定のバイアス条件のために1つのレーザエミッタまたはレーザエミッタのグループを励起するために使用されることができる。

【0067】

従来技術LIDARシステムは、LIDARシステムの角度分解能の改良を可能にするために、異なるレーザ波長を利用しない。本教示のLIDARシステムの1つの特徴は、それらが、複数のレーザ波長を使用して、低コストコンパクト光学設計におけるより高精細角度分解能および性能を可能にすることである。さらに、本教示の多波長LIDARシステムは、本明細書に説明されるように、改良されたセキュリティおよび並列化のための単純経路を提供する。

10

【0068】

本教示のLIDARシステムの1つの特徴は、共有レンズシステムを使用して、所望の視野にわたってレーザビームのコリメートおよび投影の両方を行う、LIDARシステムのための複数の波長レーザ源の使用である。図13は、本教示の多波長LIDARシステムのためのマルチ要素エミッタレーザ源1300の実施形態を図示する。クラスタVCSELデバイス1302を含む、複数のレーザは全て、共通表面1304上に位置する。表面は、示されるように平坦である、または湾曲であり得る。

20

【0069】

図13は、垂直方向に均一にインタリーブされた2つの異なるVCSEL波長を伴う、マルチ要素エミッタレーザ源1300を図示する。図13に示される実施形態は、単一共通基板1304を図示するが、複数の基板もまた使用され得ることが、当業者に明白となるであろう。6つのVCSELバー1306、1308が、存在する。バー1306のクラスタVCSELデバイス1302は、1つの共通波長において放出する。これらは、図中で「VCSEL λ_1 」と標識されるバー1306である。暗色バー1308のクラスタVCSELデバイス1302は、異なる波長において放出する。バー1308は、図中で「VCSEL λ_2 」と標識される。合計30のクラスタVCSELデバイス1302が、示される。

30

【0070】

図13のマルチ要素エミッタレーザ源1300と関連して使用される照明器は、所望のFOVにわたるビームのコリメーションおよび投影の両方のために共有レンズシステムを使用する。図14は、本教示の多波長LIDARシステムのための照明器1400の実施形態の断面の略図を図示する。照明器1400は、マルチエミッタレーザ源1402と、波長マルチプレクサ1406およびレンズ1408を備えている、投影要素1404を含む。投影要素1404は、レーザ源1402から放出されるレーザビーム1410、1412を投影するために使用される。マルチエミッタレーザ源1402のためのエミッタは、VCSEL基板1414上に位置する。図14は、異なる波長の2つのVCSELバーからの光がシステムを通して進行する方法を図示する。明確にするために、2つのVCSELエミッタからのレーザビーム1410、1412のみが、光線トレースされて示される。

40

【0071】

図14では、投影要素1404は、2つの光学デバイス1406、1408を備えている。第1の光学デバイスは、2つの波長のうちの一方にあって、1つの光学経路からのレーザビーム1410と、共通光学経路上の別の光学経路上の2つの波長の他方におけるレーザビーム1412を組み合わせるように作用する、波長に敏感な光学である、波長マルチプレクサ1406である。いくつかの実施形態では、波長マルチプレクサは、一方の波長の光学経路を実質的にシフトさせながら、第2の波長を妨害されずに通過させるように設計される、回折光学を備えている。回折光学要素は、当技術分野において周知であって、レーザの精密なビーム操向およびビーム成形を提供するために使用されることができる

50

。加えて、回折光学要素は、波長選択的であることができる。他の実施形態では、プリズム等の屈折光学のアレイが、使用される。第2のデバイスは、レーザビーム1410、1412をさらに投影および成形し、所望のパターンのビーム形状およびLIDARシステムの標的平面におけるビーム位置を形成するために使用される、レンズ1408である。

【0072】

照明器によって標的平面に形成されるビームプロファイルからの光は、その標的平面における物体の表面から反射される。LIDARシステムにおける標的平面は、完全な範囲およびFOVにわたって動作する、仮想参照点である。システムが物体の3次元表現をLIDARシステムによってプローブされている視野および範囲内に生成し得るように、多くの異なる標的平面がLIDARモジュールからの種々の距離に存在する。

10

【0073】

標的平面において光学ビームプロファイルによって照明された物体の表面から反射された光の一部は、受信機に指向される。受信機は、光を検出し、受信された光学信号を電気信号に変換する。コントローラは、光源および受信機に接続され、受信された信号を測定点群に変換する。測定点群内の点の角度分解能は、以下にさらに説明されるように、標的平面におけるビームプロファイルの相対的な位置に依存する。図14に図示される照明器1400の実施形態の多くの他の変形例が存在することが、当業者に明白となるであろう。例えば、VCSELレーザは、平面または湾曲のいずれかである、共通表面に位置してもよい。湾曲または平坦である中心表面からのVCSELのある程度の逸脱は、図14の実施形態の原理を変化させずに可能にされることもまた、明白となるであろう。

20

【0074】

図15Aは、本教示の単波長2Dレーザ源照明の実施形態のための測定点群1500を図示する。測定点1504の垂直間隔1502間に表される距離は、垂直角度分解能を判定し、点群上の点の水平間隔1506は、点群の水平角度分解能を判定する。

【0075】

図15Bは、本教示の2波長2Dレーザ源照明の実施形態のための測定点群1550を図示する。 λ_1 を伴うVCSELに対応する測定点は、円形1552として示され、 λ_2 を伴うVCSELに対応する測定点は、三角形1554として示される。 λ_1 において受信された反射から導出される点群と、 λ_2 において受信された反射から導出される点群とを含む、本測定点群を複合点群と見なすことが有用である。

30

【0076】

図15Bに図示される測定点群1550は、図13に図示される異なる波長のVCSELエミッタのパターンを伴うマルチエミッタレーザ源を図14の照明器構成とともに使用して実現されることができる。標的平面において照明器によって生成された光学ビームからの光の一部は、物体の表面によって反射され、特定の波長における光を検出可能な1つ以上の光学受信機に入射する。結果として生じる測定点群1550は、異なる波長における異なるビームプロファイルからの光を表す点を含む。

【0077】

図13-15を参照すると、異なる波長のVCSELバー1306、1308は、レーザ源の異なる行を垂直方向に占有し、異なる行内の個々のVCSELデバイス1302は、水平方向にオフセットされたその中心を有する。異なる波長バー内のエミッタからの光学ビームは、光学ビーム位置が標的平面において垂直方向に若干オフセットされるように、投影要素1404によって投影される。これは、オフセット1556を測定点群内に生じさせる。隣接するバー内のVCSELの中心位置におけるオフセットは、投影要素の設計とともに、各波長を表す測定点をオフセット垂直線に沿って水平にインタリーブさせる。所与の寸法における測定の角度分解能は、その寸法における点のオフセットに直接関連し、これは、標的平面でのその寸法における光学ビームの位置に直接関連する。

40

【0078】

図15Aおよび図15Bの両方を参照すると、2波長ソリューションの使用と関連付けられた性能トレードオフが、明白である。図15Bの実施形態では、1つの波長における

50

光学ビームは、実質的に中断されずに進行するが、第2の波長における光学ビームは、第1の波長における光学ビームと1つの方向において実質的に重複する位置に意図的にシフトされる。図15Bの図面に示される各波長における光学ビームの位置におけるオフセット1556は、波長マルチプレクサの設計に基づいて調節されることができる。例えば、いくつかの実施形態では、これは、図14における波長マルチプレクサ1406の適切な設計を要求する。種々の実施形態では、投影要素内の種々のデバイスは、2つの波長におけるレーザのビームを位置付けるために使用される。これらの同一デバイスまたは他のデバイスは、ビーム形状と同様に、標的平面におけるその位置も変更し得る。

【0079】

図15Aの単一波長実施形態と比較して、図15Bの実施形態は、システムの全体的物理的サイズを比較的に一定に保ちながら、好ましい方向、この場合、水平方向に角度分解能を2倍にするが、垂直方向における角度分解能を半分にするを犠牲にする。いくつかの用途では、例えば、歩行者の代わりに、システムがわずか100mmの断面を伴う電柱または木を区別する必要がある場合、1つの方向におけるより高精細の分解能が、好ましいまたは必要であり得る。30mでは、0.15度未満の角度分解能を必要とされるであろう。電柱および木は、高さがあるが、細く、したがって、垂直におけるより広い角度分解能を犠牲にして、非常に小角度分解能を水平方向に有することが非常に望ましくあり得る。いくつかの実施形態では、測定点群の角度分解能は、標的平面から光学投影要素までの所定の距離において0.4度未満である。

【0080】

図16は、本教示の2波長LIDARの実施形態のための測定点群1600を図示する。本実施形態では、垂直方向における任意の分解能を諦めず、角度分解能を2倍にしながら単一線1602を追加可能である。FOV内の線1602の本1つの垂直位置では、水平における角度分解能が2倍となる。また、中心位置では、VCSEL波長の1つのセットの動作が失敗する場合、冗長性を有することにも留意されたい。単一線1602のような複数の線は、マルチプレクサの複雑性を犠牲にして追加されることができる。

【0081】

図17は、本教示の3波長LIDARの実施形態のための測定点群1700を図示する。本実施形態では、測定点群は、3つの波長のための標的平面におけるビーム位置を調節することによって生成される。本測定点群によって提供される視野および分解能は、レーザ源および投影要素によって提供されるビームプロファイルの詳細に依存する。いくつかの実施形態では、プロファイルは、レンズレット(lenslet)を使用してレーザエミッタをコリメートすることによって提供される。いくつかの実施形態では、レンズレットは、VCSELデバイスと統合される。複数の波長におけるコリメートされたビームは、異なる波長におけるビームを共通方向に沿って標的に向かって投影する、波長に敏感な要素に対して位置付けられ、指向される。波長に敏感な要素の適切な設計およびVCSELの物理的レイアウトを用いることで、再び、測定点群1700に図示されるように、垂直方向における約1/3の分解能を犠牲にして、1つの方向に3倍の角度分解能を伴うシステムを生成することができる。3つの波長のそれぞれからの光は、独立して、受信されるため、各測定点によって表される位置は、部分的または完全に、重複し、測定点群の分解能を増加させる、および/または冗長測定点を提供することができる。図17の実施形態では、測定点群1700の増加される分解能は、水平方向に提供される。種々の実施形態では、より高い角度分解能の方向はまた、VCSELデバイスのレイアウトおよび波長マルチプレクサの具体的設計に応じて、垂直またはさらに対角線になるように変化されることができる。

【0082】

本教示の1つの特徴は、異なる波長で動作する単一要素エミッタまたはマルチ要素エミッタのいずれかである光源が同一表面上に位置する必要がなく、表面は、3次元空間内で異なる空間平面に沿って配向され得ることである。例えば、平面は、2つの直交平面上にあり得る。いくつかの実施形態では、異なる波長を伴う少なくとも2つのグループのレー

ザから成る複数の表面放出レーザを使用する。また、3次元空間を利用して、各グループのレーザは、必ずしも直交ではない平面または湾曲である、2つ以上の表面に配向される。本実施形態では、レーザが共通表面上に共存する実施形態に関して、パッケージングおよび光学整合複雑性が増加するが、任意の妥協を伴わずに、両直交方向において全視野を横断して分解能角度を増加させることが可能である。これは、1つを上回る波長と関連付けられたより高い精度ならびに全ての能力への完全アクセスの両方を提供する。すなわち、同時動作、冗長性、セキュリティ、および多波長動作の他の特徴を実現可能である。

【0083】

図18は、本教示の多波長LIDARシステムのための照明器1800の実施形態を図示する。本実施形態では、異なる波長VCSEL 1802およびVCSEL 1804を伴う少なくとも2つのグループのレーザから成る、複数の表面放出レーザを使用する。また、3次元空間を利用し、VCSEL 1802およびVCSEL 1804は、直交する2つの表面に配向される。ビームは、1つの波長を通過させる一方、第2の波長を反射させる、波長マルチプレクサ1806の使用によって、組み合わせられる。

【0084】

図18は、2つの異なる波長を伴うレーザVCSEL 1802およびVCSEL 1804の2つのセットからの光を組み合わせる不可欠な原理を図示する。1つの波長VCSEL 1802のエミッタの1つのセットは、共通表面上にある。異なる波長VCSEL 1804のエミッタの第2のセットは、直交に配向される、第2の表面上にある。波長マルチプレクサ1806は、例えば、第1の波長が偏向されずに通過することを可能にする一方、第2の波長が45度で偏向され、出力ビームが組み合わせられる、薄膜フィルタの使用によって、実現されることができる。便宜上、マルチプレクサ1806を三角形断面の2つの等しいプリズムによって形成される立方体の形状で示し、波長を反射または通過させる薄膜フィルタは、2つの三角形プリズムが触れる立方体の中心平面に位置する。

【0085】

VCSEL 1802およびVCSEL 1804の2つの基板の位置は、波長マルチプレクサ1806に対して側方にシフトされ、2つのビームの所望の重複またはインターリーブを作成することができる。図19は、図18の照明器実施形態とともに生成され得る、測定点群1900を図示する。

【0086】

本教示の1つの特徴は、各波長が異なる角度分解能を有する、多波長LIDARシステムを提供することである。異なる波長のビームプロファイルは、異なる動作範囲を可能にするために、実質的に異なることができる。これらの実施形態に関して、複数の波長を別個に検出することができる受信機を有するという事実を利用する。

【0087】

図20は、本教示の多波長LIDAR構成における2つのマルチ要素エミッタ源を使用して生成された測定点群2000の実施形態を図示する。第1の波長から生成された測定点群2000の点2002および第2の波長から生成された点2004から分かるように、各波長は、垂直軸に異なる角度分解能を有する。したがって、2つの波長のための測定点群の垂直分解能は、実質的に異なり、この場合、2倍である。

【0088】

図20の実施形態では、また、2つの波長の重複領域が線2006に存在し、これは、より高い角度分解能をその場所にもたらす。そのような設計は、単一波長設計と比較して、特定の分解能を実現するためにより少ないVCSELレーザに依拠するため、より低いコストおよび複雑性を可能にする。いくつかの特定の用途に関して、より疎らな3D測定も、垂直FOVにおいて容認可能であり得る。1つのそのような実施例は、垂直高さが、車両より高いときである。図20に示される実施形態では、角度分解能の変化は、その基板上のVCSELデバイスの非対称レイアウトから生成される。

【0089】

図21は、本教示による、多波長LIDARの実施形態によって生成された測定点群2

10

20

30

40

50

100を図示し、全視野を横断して1つの波長からの測定点2102の密度は、第2の波長の測定点2104の半分である。本構成は、第2の波長が第1の波長と異なる様式で使用される場合に望ましい。例えば、2つの波長が、異なる距離範囲のために使用されることが意図される場合、角度分解能は、異なり得る。これは、図4の表に示される。角度分解能の差異の他の理由は、より高速の全体的走査のため、または改良されたセキュリティ、もしくは単純部分的冗長性のための第2の波長の使用を含み得る。

【0090】

本教示のLIDARシステムの1つの特徴は、追加の波長が容易に追加され得ることである。追加の波長およびより複雑な波長マルチプレクサを使用することで、より多くの測定点が、追加されることができる。図22は、本教示の測定点群2200の実施形態を図示する。点群は、4つの異なる波長によって提供される測定点を表す。各波長と関連付けられた点は、3D測定点群内の異なる形状として図示される。

10

【0091】

本教示の1つの特徴は、光学システムが、生成された3D点群が異なる方向に沿って異なる角度分解能を有するように構成され得ることである。VCSELアレイ内の要素の間隔を含む、光学構成とともに、投影要素内のコリメーションおよび組み合わせデバイスは、所与の方向における角度分解能を変化させ、所望される密度を最大限にし、要求されない密度を最小限にするように配列される。いくつかの実施形態では、VCSELデバイスは、規則的均一パターンでレイアウトされ、密度は、水平および垂直方向に実質的に一定であるが、必ずしも、各方向に同一であることは要求されない。そのような構成は、比較

20

【0092】

図23Aは、本教示による、多波長LIDARの実施形態のためのVCSELアレイレイアウト2300を図示し、角度分解能は、特定の方向に変化する。基板は、規則的パターンでレイアウトされた25のVCSELレーザ2302を備え、間隔は、各方向に一定であるが、2つの方向間で異なる。水平方向では、各VCSELデバイス2302は、デバイス間で $\times 2304$ の均一間隔で、垂直方向では、デバイス間で $y 2306$ の均一間隔でオフセットされる。したがって、VCSELレーザアレイは、 x -方向における均一間隔および y -方向における均一間隔を有するが、2つの間隔は、同一ではない。

30

【0093】

図23Bは、本教示による、変動する角度分解能を伴う多波長LIDARの実施形態によって生成された測定点群2350を図示する。非均一3D点群は、図23Aの均一VCSEL構造から光学システムによって作成されることができる。図23Bの実施形態では、投影された測定点の間隔は、水平および垂直方向の両方において変動し、もはや均一ではない。垂直方向では、デバイスの下2行のための間隔は、 $u 2352$ であって、各行は、追加の間隔 $u 2352$ ずつ増加し、上部の4 $u 2354$ となる。水平方向では、中心軸を中心として心合される対称パターンが存在し、2つの隣接する列のための間隔 $p 2556$ を伴い、次いで、間隔 $2 p 2358$ まで増加する。本実施形態の1つの特徴は、所与の視野のために全体としてより少ない数のVCSELを有することである。そのような構成は、比較的に低コストを有し、高角度正確度が所望のFOVの一部においてのみ必要とされる用途に有用である。当業者は、多数の他のパターンも、本教示によるLIDARシステムによって生成されることができることを理解されるであろう。

40

【0094】

本教示のLIDARシステムのいくつかの実施形態は、モジュール式设计を有し、VCSELレーザは、異なるFOVを伴う1つ以上の異なる光学設計と併用されるように設計される、別のアセンブリ内に設置される。これらの実施形態では、単一VCSELレーザアセンブリのみが、複数の自動車および／または用途の必要性に対処するように製造される必要がある。異なる標的使用およびコストを伴う異なる車両は、LIDARシステムの数ならびにシステム範囲およびFOVに関して広く変動する要件を有するであろうことが

50

理解され得る。したがって、本教示の L I D A R システムの一側面は、モジュール式 L I D A R システムを構築することである。これらのモジュール式システムでは、モジュール式 V C S E L アセンブリへの通信およびデータ転送は、デジタルであってもよく、全てのアナログ処理は、モジュール式ユニット内で生じ得る。

【0095】

図 2 3 A および 2 3 B に関して説明されるような本教示による異なる方向に変動する角度分解能は、使用される波長の数から独立することを理解されたい。単一波長 L I D A R システムでさえ、異なる方向に変動する分解能から利益を享受し得る。

【0096】

照明器の投影要素は、光学デバイスの種々の組み合わせを用いて構築され、所望のビームプロファイルおよび標的平面における位置を達成することができる。本教示による多波長 L I D A R システムでは、1つの光学デバイスは、波長マルチプレクサとして使用され、異なる波長を組み合わせる。波長マルチプレクサは、ビーム経路またはビーム方向が波長の関数として修正されることを可能にする。種々の公知の波長マルチプレクサデバイスが、使用されることができる。例えば、薄膜フィルタは、1つの波長を通過させる一方、他の波長を反射させるために使用されることができる。また、回折光学も、使用されることができる。使用されるレーザが、線形に偏光される場合、偏光に敏感な光学もまた、使用されることができる。各波長が線形に偏光される（一方の偏光が他方に直交する）、2波長 L I D A R システムに関して、波長マルチプレクサは、偏光ビームスプリッタであることができる。追加の波長を伴う L I D A R システムに関して、波長板を使用して偏光状態を操作し、偏光に基づいて、光を反射または通過させることは、偏光ビームスプリッタを使用して、好適な波長マルチプレクサを作成することができる。

【0097】

いくつかの特定の実施形態では、空間の領域は、ビームを組み合わせるために十分である。マルチモード V C S E L の場合、ビームの組み合わせは、共通マルチプレクサを伴わずに、自由空間内で実施され得る。ビームを組み合わせるために使用される自由空間の本領域は、自由空間光学要素と称される。図 2 4 A - C は、そのような自由空間コンバイナを図示する。図 2 4 A は、本教示のマルチモードマルチエミッタ V C S E L レーザ源照明器 2 4 0 0 の実施形態を図示する。5つのレーザエミッタ 2 4 0 6 を伴う2つの V C S E L アレイ 2 4 0 2、2 4 0 4 がそれぞれ、示される。アレイ 2 4 0 2、2 4 0 4 は、公称上、単一平面に設置されるが、これは、要求されない。アレイは、オフセットされる、または相互に対してある角度にあることができる。別のレンズシステム 2 4 0 8、2 4 1 0 は、各 V C S E L アレイ 2 4 0 2、2 4 0 4 と併用され、投影角度を設定する。実際は、アレイ 2 4 0 2、2 4 0 4 は、約 1 0 mm のみ分離される。

【0098】

動作時、2つのアレイからのビームは、図 2 4 B に示されるように、非常に短距離（< 1 0 0 mm）内で完全にインタリーブされる。図 2 4 B は、図 2 4 A のマルチモードマルチエミッタ V C S E L レーザ源の投影されたビームプロファイル 2 4 3 0 の断面を図示する。アレイ 2 4 0 2、2 4 0 4 からの光ビーム 2 4 3 2、2 4 3 4 は、完全にインタリーブされる。レンズ 2 4 0 8、2 4 1 0 の適切な位置付けを用いることで、各アレイからの投影の角度は、均一間隔を生産するために調節されることができる。図 2 4 C は、図 2 4 A のマルチモードマルチエミッタ V C S E L レーザ源のための投影角度を図示する。示されるビーム投影角度 2 4 5 0 は、最大 2 4 5 2、中間 2 4 5 4、および最小 2 4 5 6 ビーム投影角度のみを含む。各アレイからの対応するレーザは、1 0 mm 離間され、レーザビームは、1 メートルの距離まで投影されて示される。

【0099】

したがって、自由空間の領域が、投影要素内で使用され、L I D A R システムの視野および範囲内の標的平面において、所望のプロファイルのレーザビームを生産してもよい。自由空間を使用して投影された異なる波長のマルチエミッタレーザビームは、隣接する点の 3 D 測定点群（例えば、図 1 5 B に示されるように）を生産するように整合され得る、

または測定点は、所望に応じて、部分的または完全に重複され得ることが、当業者に明白となるであろう。

【0100】

本教示のL I D A Rシステムの別の特徴は、V C S E Lデバイスに近接近する温度モニタの組み込みである。レーザは、温度に敏感である。レーザデバイスの信頼性は、温度の関数としてレーザへのバイアスを制御することによって改良されることができる。例えば、光パワーのある固定値のために要求されるバイアスは、低温ではより低くなるであろうことは、周知である。本教示によるいくつかのL I D A Rシステムは、温度モニタを送信機内に組み込み、改良されたレーザバイアスアルゴリズム、レーザ寿命信頼性改良、および全体的システム性能モニタのためのフィードバックを提供する。

10

【0101】

図25は、本教示による、V C S E Lデバイスに近接近して位置する温度を測定するために使用されるデバイスを備えている、V C S E Lアレイ2500の実施形態を図示する。2つの温度センサ2502、2504は、単一共通基板2506上に位置する。本教示のL I D A Rシステムの種々の実施形態では、1つ以上の温度センサが、使用されることができる。1つの温度センサは、基板2506を横断する温度勾配が小さいまたは良好に予測される場合、適正であり得る。例えば、温度センサは、サーミスタであることができる。サーミスタは、温度に依存する抵抗を有することが当技術分野において周知である。信号をサーミスタを通して通過させ、電流／電圧を測定することによって、動作抵抗、したがって、サーミスタの温度が、計算されることができる。

20

【0102】

本教示によるいくつかのL I D A Rシステムは、製造の間、種々の性能測定のために温度モニタを組み込み、較正することが望ましい。較正とは、好適な認定余裕を伴って要求される性能仕様を満たすためのデバイスのレーザバイアス、温度、および出力パワーの特性評価、ならびに温度の関数としてのレーザバイアスおよび出力パワーの後続調整を意味する。多くの場合、本プロセスは、製造の間に実施される。較正プロセスの間に取得されるレーザバイアスおよび光パワー等の性能パラメータはまた、システムメモリ内に参照として温度の関数として記憶されることができる。

【0103】

L I D A Rシステムの動作の間、実際の温度が、監視され、ルックアップテーブルとしてメモリ内に記憶される値と併用され、レーザバイアスを設定することができる。代替として、光パワーモニタと組み合わせて、動作の間、出力パワー、レーザバイアス、および温度の実際の値が、基準値と比較され、潜在的信頼性問題を示し得る、システム内の任意の有意な変化または劣化を識別することができる。種々の実装では、そのような変化を検出するL I D A Rシステムは、次いで、全体的監視システムに、潜在的点検または修理の必要性がある自動車に関して通信し得る。

30

【0104】

温度センサ2502、2504はまた、V C S E Lレーザデバイス2508がその意図される動作範囲害にあるときを検出するために使用されることができる。自動車は、潜在的に極限天候条件下において、屋外で動作されるため、システムの信頼性および安全性にとって、ある程度の正確度を伴って、V C S E Lレーザデバイス2508の温度を把握することが重要であり得る。システムは、温度が動作外であるときを検出可能であって、次いで、周囲条件が動作基準を満たすまで、動作を防止する等、いくつかの措置を講じ得る。

40

【0105】

図26は、本教示による、V C S E Lアレイ2600温度を制御するために使用される能動式熱制御デバイス2602、2604を備えている、V C S E Lアレイ2600の実施形態を図示する。能動式熱制御デバイス2602、2604は、V C S E L温度を調節し、容認可能な動作範囲内にもたらしするために使用される。能動式熱制御の組み込みは、時として、L I D A Rシステムのより広範囲の動作温度を提供するために使用され得るため

50

、望ましい。局在能動式熱制御デバイス2602、2604は、VCSELアレイ2600の基板2606上に共存し、所望の熱効率を達成するように構築される。熱制御デバイス2602、2604は、加熱抵抗器要素であることができる。しかしながら、加熱抵抗器要素のみを使用するシステムは、VCSELを加熱可能であるが、冷却不可能であろう。代替として、熱電クーラ(TEC)が、加熱ならびに冷却の両方を行うことができる、能動式熱制御デバイスとして使用され得る。

【0106】

VCSEL基板2606は、いくつかのサーミスタ2608、2610と、加熱抵抗器であり得る、熱制御デバイス2602、2604を含む。サーミスタ2608、2610は、基板を通してレーザと熱的に結合され、温度を監視するために、レーザに比較的

10

【0107】

図27は、本教示による、VCSEL2704を加熱および冷却するための熱電クーラ(TEC)2702を備えている、温度制御VCSELアレイ2700の断面を図示する。サーミスタ2706をVCSEL2704に近接近させることに加え、サーミスタ2708はまた、基部温度を測定するために、TEC2702の基部に設置され得る。

【0108】

本教示のLIDARシステムの別の特徴は、高度に統合されたレーザドライバおよびVCSELアセンブリの使用であって、レーザドライバおよびVCSELレーザは、同一基板上に設置され、所望のRF性能のために最適化される。図28A-Cは、本教示の多波長LIDARのためのコンパクトVCSELレーザドライバアセンブリの実施形態を図示する。図28Aは、本教示のコンパクトVCSELレーザドライバアセンブリの実施形態の上面図2800を図示する。図28Bは、図28AのコンパクトVCSELレーザドライバアセンブリの実施形態の側面図2830を図示する。図28Cは、図28AのコンパクトVCSELレーザドライバアセンブリの実施形態の底面図2850を図示する。

20

【0109】

図28A-28Cを参照すると、VCSEL2802のアレイは、基板2804の片側に設置される。ドライバチップ2806は、反対側に設置される。多層基板2804が、レーザドライバ信号をドライバ2806からVCSEL2802のアレイ内のレーザにルーティングするために使用されることができる。多層基板2804は、印刷回路基板、セラミック基板である、または可撓性多層回路上にあり得る。当業者は、他の基板材料もまた使用されることができることを理解されるであろう。

30

【0110】

図29は、本教示による、多波長LIDARシステムのためのコンパクトVCSELレーザドライバアセンブリ2900の別の実施形態を図示する。レーザドライバ2902は、VCSELアレイ2906と同一基板2904および同一側に位置する。9クワッドレーザドライバICを伴うアセンブリ2900が、VCSELアレイ2906内の36のVCSELレーザのために基板上に位置付けられる。

【0111】

図30は、本教示の多波長LIDARのためのコンパクトVCSELレーザドライバアセンブリ3000の実施形態のシステムブロック図を図示する。本実施形態では、パルス生成チェーン3002が、VCSELアセンブリ3004の同一搬送波上でローカルに生成される。パルス生成チェーン3002は、パルスコントローラ3006と、メモリ3008と、パルスパターン発生器3010と、レーザドライバ3012とを備えている。レーザドライバ3012は、示されるように、VCSELレーザ3014に接続される。いくつかの実施形態では、レーザドライバは、複数のVCSELレーザを駆動するために使用される共通接点に接続される。いくつかの実施形態では、パルス形状は、ローカルメモリ内に記憶される、またはコントローラおよびパターン発生器の組み合わせによって生成され得る。

40

50

【0112】

システムプロセッサ3016は、デジタル入力／出力接続3018を介して接続される。システムプロセッサ3016は、レーザを制御し、レーザに発射およびその長さを命令する、命令のセットを生成する。これらの命令は、パターンタイプを判定するであろう。しかし、レーザのパターン生成およびバイアスは、VCSELアセンブリ上でローカルに行われる。レーザドライバパルスパターンをVCSELアセンブリ上でローカルに生成することは、全体的LIDARシステムへの要求されるインターフェースを大幅に簡略化する。いくつかの実施形態では、パルスコントローラ3006、メモリ3008、パルスパターン発生器3010およびレーザドライバ3012機能は全て、単一ICパッケージ内に含有される。種々の実施形態では、VCSELデバイスは、密閉してパッケージ化または非密閉してパッケージ化されることができる。

10

【0113】

図31は、本教示のマルチ要素多波長LIDARシステムのための多波長光パワーモニタの実施形態を図示する。本マルチ要素多波長LIDARシステムは、図14に関連して説明される多波長LIDARシステムにおけるものと同一照明器投影要素を利用するが、光パワー監視を可能にするための追加の要素を伴う。部分的ミラー3102は、複数のレーザ3106からの光ビームが反射されるであろう光学システム内の点において、光学ビーム3104の一部を反射させる。いくつかの実施形態では、部分的ミラー3102の設置は、光学システム内の単一点に行われる。他の実施形態では、反射光は、複数の反射要素を使用して、システム内の1つを上回る点においてサンプリングされる。複数の反射要素は、部分的ミラーであることができる。複数の反射要素はまた、ビームを投影することができる。

20

【0114】

反射光は、それぞれ1つのみの波長の光に敏感である、モニタ光検出器3108、3310のセットに指向される。モニタ光検出器3108、3310は、単に、個々のブロードバンドフォトダイオードの正面に位置付けられる切り欠きフィルタであることができる。本教示の多波長LIDARの一側面は、異なる波長のレーザの同時および独立動作を有する能力である。これは、2つの波長の光パワーを独立して監視することを可能にし、これは、システム能力を改良する。

【0115】

典型的には、光学システム内には、ビームが大きく重複する場所が存在する。図31の監視されるLIDAR照明器では、重複は、光学デバイス3112後に生じる。透明ウィンドウ3114上に搭載される反射要素および部分的ミラー3102は、本重複位置内に位置付けられることができる。ウィンドウ3114は、便宜的搭載表面を作製し、光を実質的に通過させる、任意の機械的構造によって置換され得る。反射要素および部分的ミラー3102は、光の一部を反射させ、これは、典型的には、総光パワーの5%未満である。反射要素および部分的ミラー3102は、ウィンドウ3114の両側に搭載されることができる。加えて、本反射要素および部分的ミラー3102は、異なる波長の光を2つの方向に反射させるように示される。別の検出器3108、3310は、使用される各波長からの光を検出および監視するために使用される。これはまた、反射要素および部分的ミラー3102が、両波長からの光を1つの方向に反射させる一方、光が、依然として、別のフォトダイオードおよび適切な波長フィルタ処理を使用して別個にサンプリングされる場合に該当し得る。

30

40

【0116】

照明器内で検出された反射光はまた、レーザ電流バイアスの追加の制御を提供するために使用されることができる。レーザダイオードは、ある範囲の動作バイアス電流を有する。LIDARシステムを含む、レーザシステムは、多くの場合、閉ループ方式で動作され、モニタダイオードから受信されたフォトダイオード電流は、バイアス制御ループへの入力としての役割を果たす。LIDARシステムは、入射パワーの略線形関数である、モニタフォトダイオード電流を監視し、一定値を維持することによって、温度または機械的シ

50

フト等のシステム安定性の変化に反応し、改良された出力パワー安定性を維持することが可能であろう。また、レーザバイアスの本監視および制御は、システムレベルにおける光パワーの損失を伴わずに、その寿命にわたるレーザのある劣化量に適応することができる。

【0117】

多波長パワー監視はまた、障害がレーザ劣化または光学性能におけるシフトによって生じているかどうかを検出するためのシステムロバスト性を改良する。多波長パワー監視はまた、波長の1つのセットが失敗する場合、冗長性を提供する。波長の1つのセットの動作時の部分的または完全故障は、依然として、波長毎の光学監視が独立する場合、波長の他のセットを使用して、システムの部分的動作のための能力を可能にするであろう。

10

【0118】

本教示の別の側面は、光学監視を実施する、L I D A Rシステムである。いくつかの実施形態では、各検出器3108、3110において受信された光は、レーザ波長、光パワー、パルスタイミング、およびパルス周波数等のパラメータに関して監視される。これらの実施形態では、受信機は、単に、図31に描写されるように、フォトダイオード検出器ではなく、また、波長ならびに光パワーの検出を可能にする、光学を含む。複数の波長が使用されるL I D A R設計では、特に、波長が絶対値において近接する場合、システムパラメータが意図される通りであることを確実にするために、その絶対または相対値を監視することが所望され得る。レーザの絶対波長または異なる波長のレーザ間の相対オフセットのいずれかを監視する種々の方法は、当技術分野において公知である。これらの方法のうちいくつかは、エタロンベースの監視デバイスを使用する。

20

【0119】

本教示の多波長L I D A Rシステムの別の特徴は、アレイ内に位置付けられるレーザの波長差が、コリメーションを改良するために使用されることができることである。実際は、V C S E Lデバイスのウェハは、多くの場合、公称波長が、ウェハ全体を横断して共通であって、単一V C S E Lクラスタによって被覆されるウェハの小部分内の波長の分布が、1nm未満のように非常に小さくなるように製造される。公称V C S E L波長は、ある場合には、V C S E L設計アプローチおよび採用される製造方法に応じて、ウェハを横断してシフト不可能であり得る。しかしながら、異なる波長が異なる開口のために標的化されることを可能にする、いくつかのV C S E L製造方法が存在する。そのようなV C S E Lでは、波長に敏感な光学とともに波長シフトを利用し、波長に敏感ではない光学を用いて達成されるものより良好なコリメーションを提供することができる。

30

【0120】

図32は、本教示による、異なる波長を放出するレーザ開口を備えている、V C S E Lクラスタレイアウト3200の実施形態を図示する。V C S E Lクラスタレイアウト3200は、13のV C S E L開口3202を含有する。本V C S E Lクラスタレイアウト3200は、便宜上、方法をより明確に説明するために選定されるが、実際の実践では、より密度が高く、より均一に取り込まれるV C S E Lクラスタが、使用され得る。本実施形態では、クラスタ内の個々のV C S E L開口3202の波長は、半径方向位置に基づいてシフトする。また、特定の半径に沿ってV C S E L開口3202によって放出される波長は、全ての角度に関して一定である。図32では、各V C S E L開口3202は、中心V C S E L開口からの位置を示す数字を用いて標識される。

40

【0121】

図33は、図32のV C S E Lクラスタレイアウトを備えている、照明器の実施形態を図示する。V C S E Lクラスタ3302は、本教示による、波長に敏感な光学デバイス3304とともに位置付けられる。V C S E Lクラスタ3302は、図32に関して説明されるように、半径方向に変動する波長を有する。この場合、波長に敏感な光学デバイス3304は、その波長に依存する量だけ光学ビーム3306を偏向するように作用する。光学デバイス3304によって投影される光学ビーム3306の経路は、経路の平行セットである。光学デバイス3304の偏向は、したがって、クラスタ内の開口の全てが同一波

50

長である場合に達成されることができ、より小さい直径のコリメートされたビームをもたらす。いくつかの実施形態では、波長に敏感な光学デバイスは、光の入力ビームの偏向の大きさがその波長に依存するように製造される、回折光学である。

【0122】

いくつかの実施形態では、VCSEL構造が、構成され、VCSELは、クラスタ内の特定の波長が所望の波長であるように製造される。いくつかの実施形態では、VCSELクラスタ内の波長は、構造を横断して温度勾配を有するように構成されるVCSELクラスタを使用して、半径方向位置の関数として変化される。典型的VCSELレーザは、 $0.1 \text{ nm}/^\circ\text{C}$ の波長温度係数を伴って、温度に敏感である。半径方向に変動する熱勾配を伴う構造を有するVCSELクラスタはまた、デバイス全てが一定温度で同一波長を放出する場合でも、クラスタを横断してVCSEL波長のシフトにつながるであろう。

【0123】

(均等物)

本出願者の発明は、多様な実施形態に関連して説明されるが、本出願者の発明がそのような実施形態に限定されることを意図するものではない。そうではなく、本出願者の教示は、多様な代替、変形および相当物に及び、当業者によって理解されるように、本教示の精神および範囲から逸脱することなくその中に作成されることが可能である。

10

【図1】

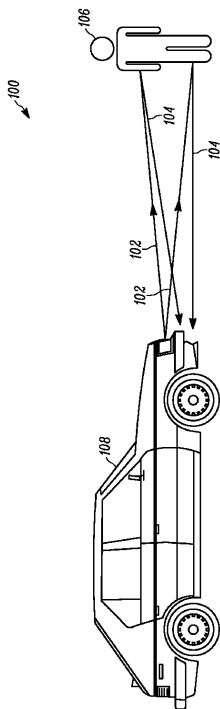


FIG. 1

【図2】

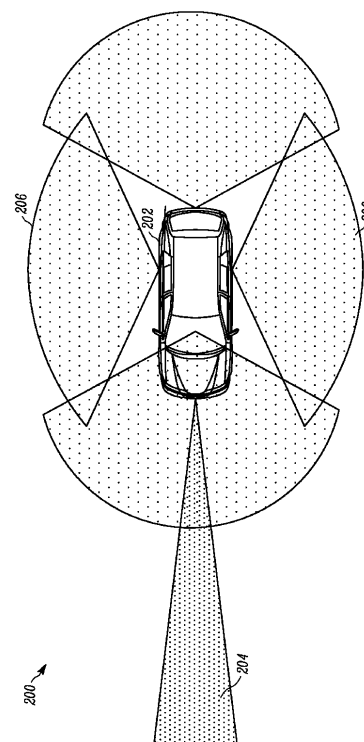


FIG. 2

【図 8】

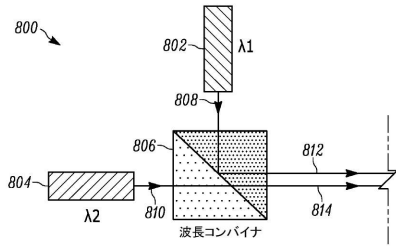


FIG. 8

【図 9】

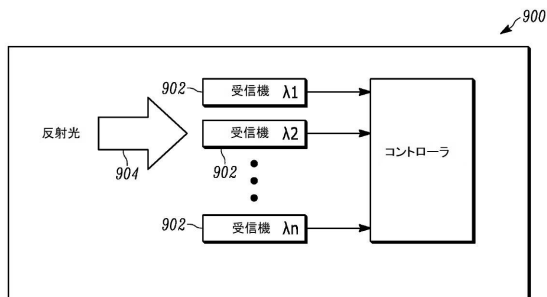


FIG. 9

【図 10】

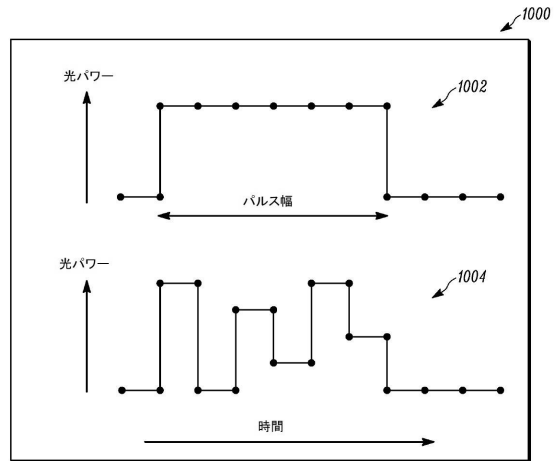


FIG. 10

【図 11】

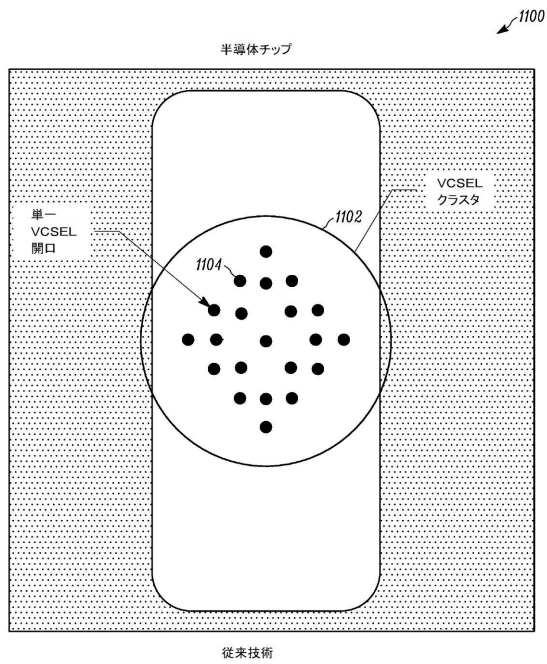


FIG. 11

【図 12 A】

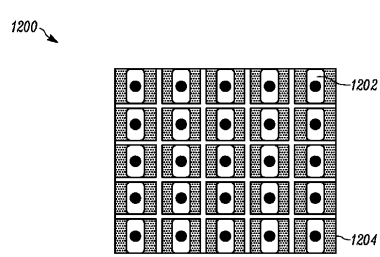


FIG. 12A

【図 12 B】

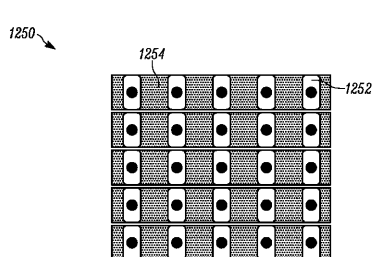


FIG. 12B

【図 1 2 C】

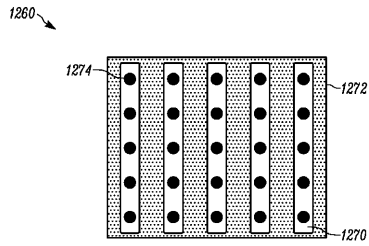


FIG. 12C

【図 1 2 D】

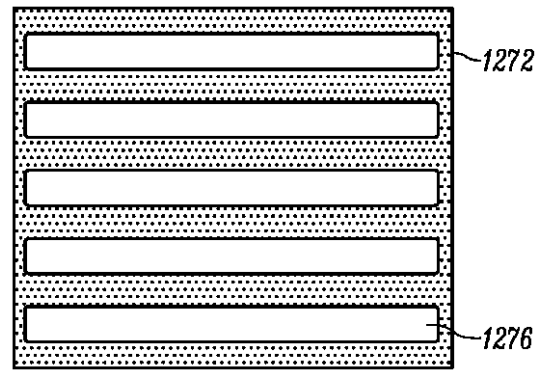


FIG. 12D

【図 1 3】

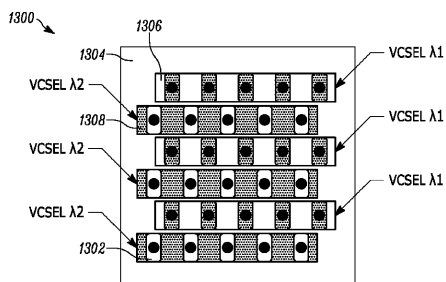


FIG. 13

【図 1 4】

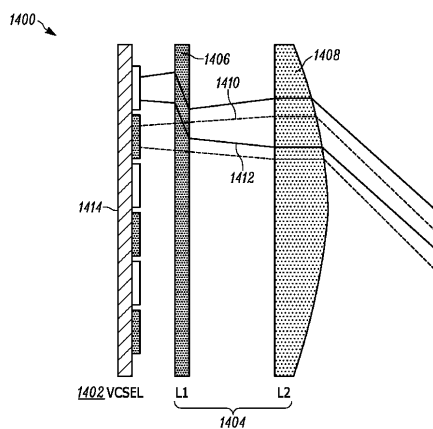


FIG. 14

【図 1 5 A】

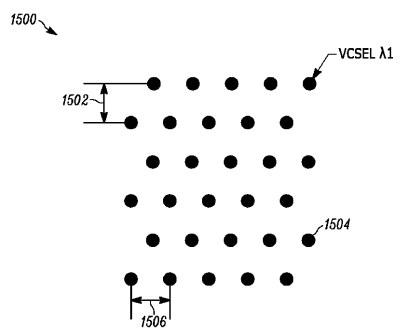


FIG. 15A

【図 1 5 B】

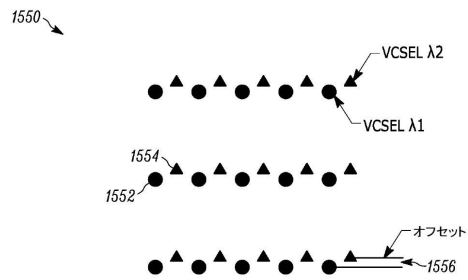


FIG. 15B

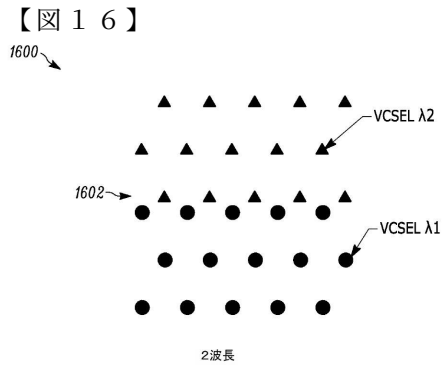


FIG. 16

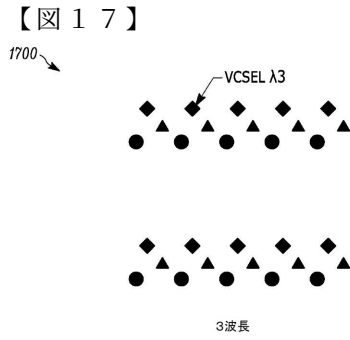


FIG. 17

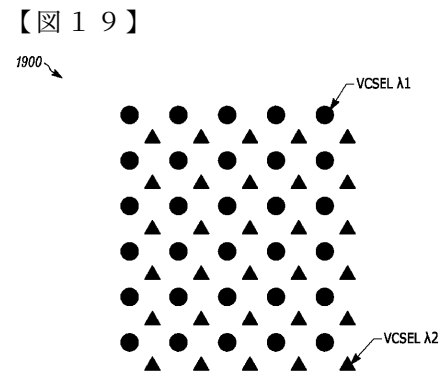


FIG. 19

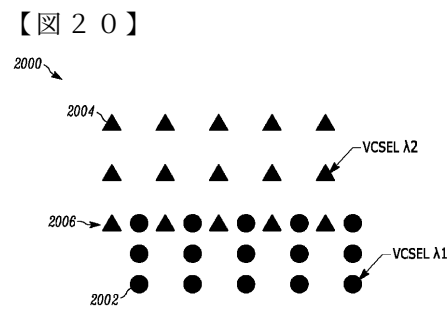


FIG. 20

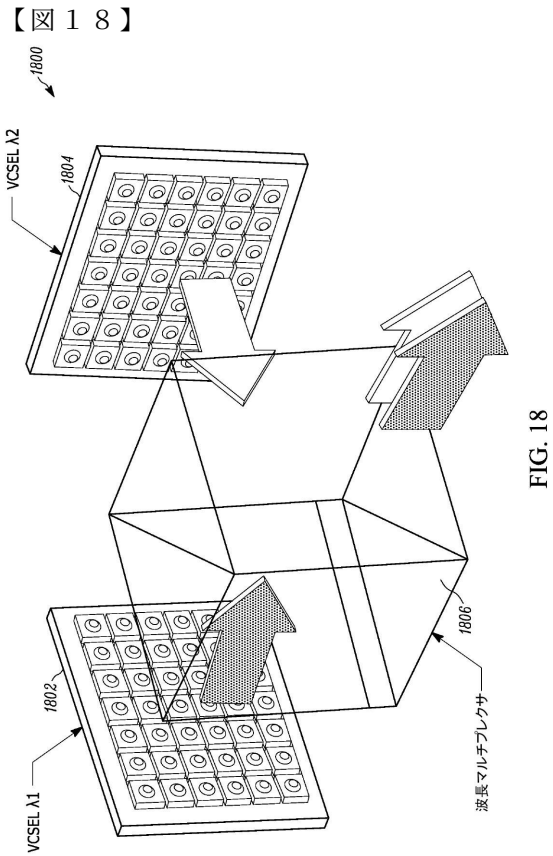


FIG. 18

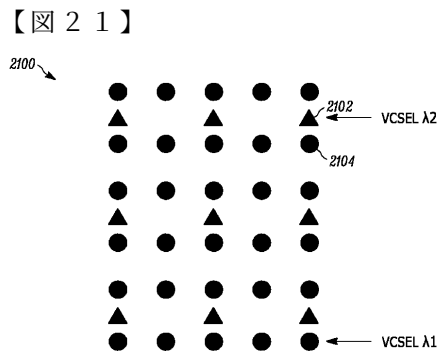


FIG. 21

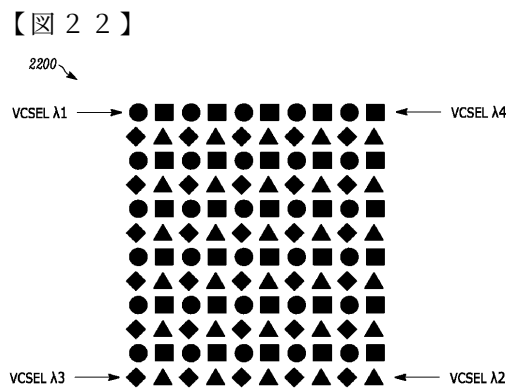


FIG. 22

【図 2 3 A】

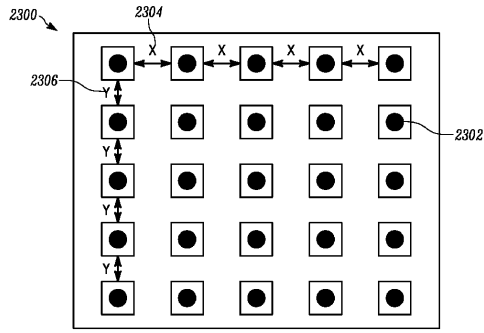


FIG. 23A

【図 2 3 B】

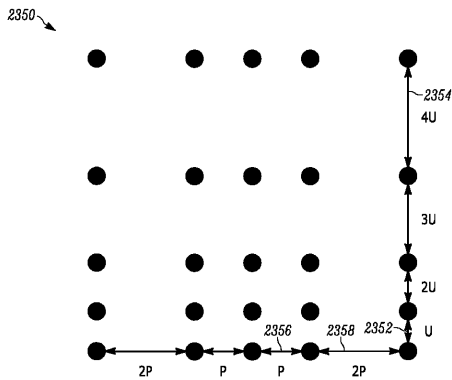


FIG. 23B

【図 2 4 A】

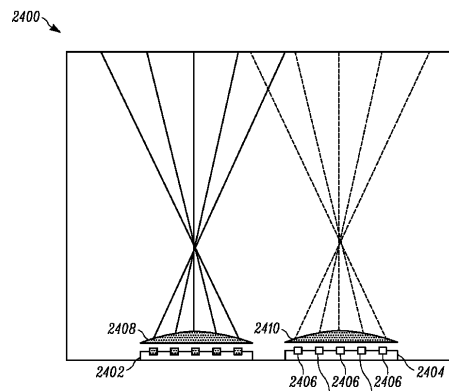


FIG. 24A

【図 2 4 B】

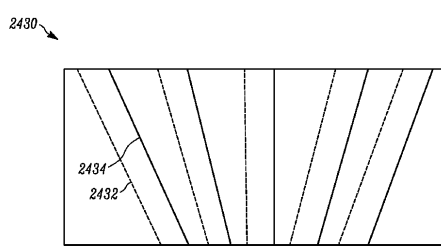


FIG. 24B

【図 2 4 C】

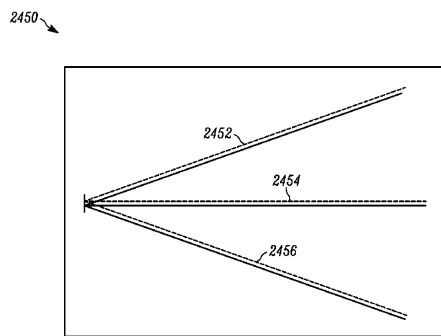


FIG. 24C

【図 2 6】

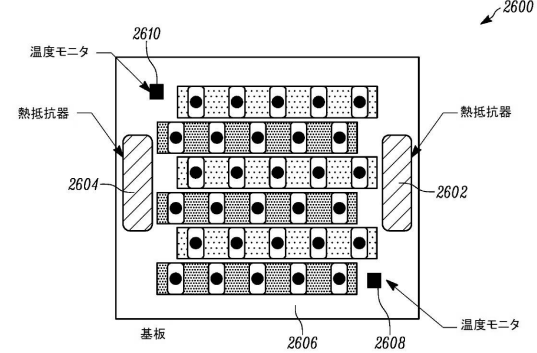


FIG. 26

【図 2 5】

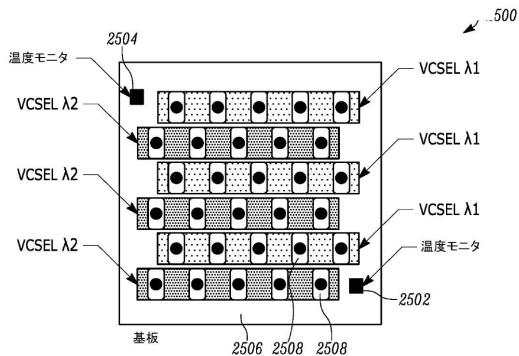


FIG. 25

【図 27】

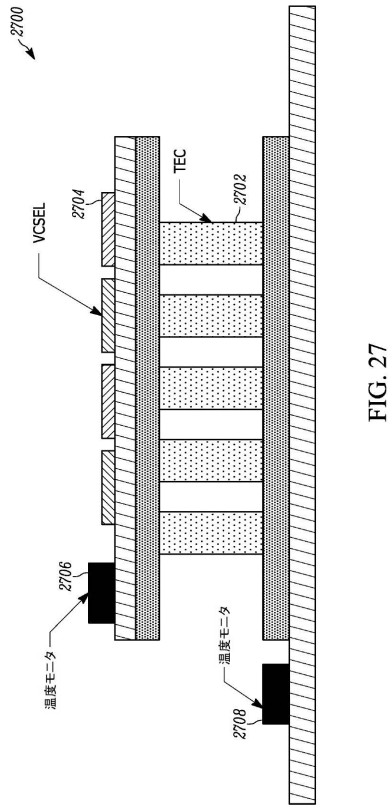


FIG. 27

【図 28 A】

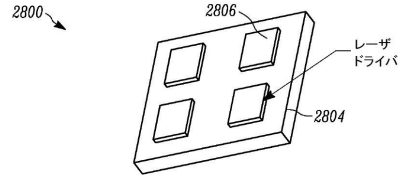


FIG. 28A

【図 28 B】

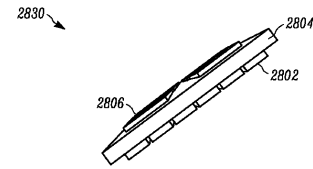


FIG. 28B

【図 28 C】

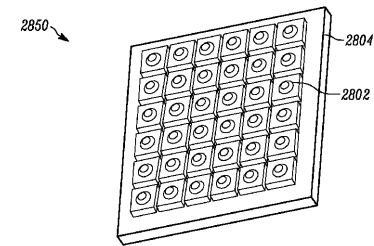


FIG. 28C

【図 29】

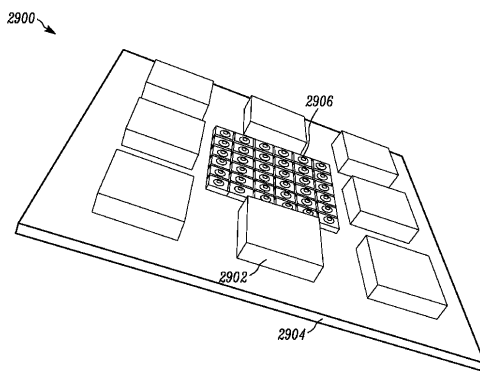


FIG. 29

【図 30】

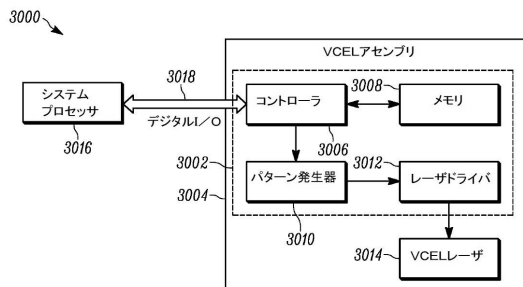


FIG. 30

【図 31】

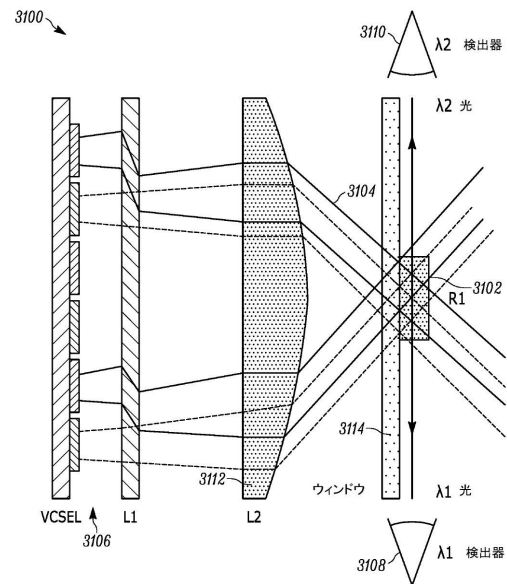
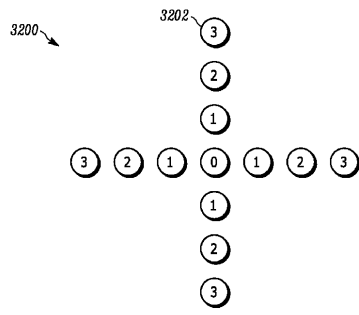
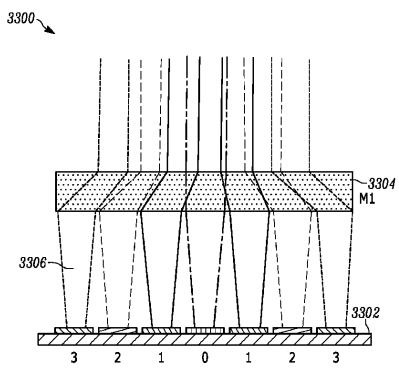


FIG. 31

【図 3 2】



【図 3 3】



フロントページの続き

(31)優先権主張番号 15/456,789

(32)優先日 平成29年3月13日(2017.3.13)

(33)優先権主張国・地域又は機関
米国(US)

(74)代理人 230113332

弁護士 山本 健策

(72)発明者 ドノバン, マーク ジェイ.

アメリカ合衆国 カリフォルニア 94040, マウンテン ビュー, フォードハム ウェイ
1517

審査官 渡辺 慶人

(56)参考文献 特開2004-361315 (JP, A)

特開2010-256291 (JP, A)

特表2012-504771 (JP, A)

米国特許出願公開第2007/0181810 (US, A1)

米国特許出願公開第2014/0043309 (US, A1)

米国特許出願公開第2010/0302528 (US, A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

G01S 7/48 - 7/51

17/00 - 17/95

G01B 11/00 - 11/30

G01C 3/00 - 3/32