

(19)日本国特許庁(JP)

(12)特許公報(B2)

(11)特許番号
特許第7697886号
(P7697886)

(45)発行日 令和7年6月24日(2025.6.24)

(24)登録日 令和7年6月16日(2025.6.16)

(51)国際特許分類	F I		
G 0 1 B 11/00 (2006.01)	G 0 1 B 11/00	B	
G 0 1 B 11/03 (2006.01)	G 0 1 B 11/03	H	
G 0 1 S 17/34 (2020.01)	G 0 1 S 17/34		

請求項の数 33 (全54頁)

(21)出願番号	特願2021-557331(P2021-557331)	(73)特許権者	000004112
(86)(22)出願日	令和2年3月24日(2020.3.24)		株式会社ニコン
(65)公表番号	特表2022-519927(P2022-519927 A)	(73)特許権者	511054444
(43)公表日	令和4年3月25日(2022.3.25)		ニコン・メトロロジ・エヌヴェ
(86)国際出願番号	PCT/US2020/024505		ベルギー・B - 3 0 0 1・ルーヴェン・
(87)国際公開番号	WO2020/198253		ゲルテンアークセバーン・3 2 9
(87)国際公開日	令和2年10月1日(2020.10.1)	(74)代理人	100161207
審査請求日	令和5年3月22日(2023.3.22)		弁理士 西澤 和純
(31)優先権主張番号	62/823,553	(74)代理人	100140774
(32)優先日	平成31年3月25日(2019.3.25)		弁理士 大浪 一徳
(33)優先権主張国・地域又は機関	米国(US)	(74)代理人	100175824
			弁理士 小林 淳一
		(72)発明者	スロットウィンスキー・アンソニー
			アメリカ合衆国・2 2 9 5 8・バージニ
			最終頁に続く

(54)【発明の名称】 装置及び構造物の製造方法

(57)【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ダイクロイックビームスプリッタと、
前記ダイクロイックビームスプリッタに向けて、プローブビームを照射するように配置された光ファイバと、
前記ダイクロイックビームスプリッタから前記プローブビームを受光し、前記プローブビームを軸に沿ってターゲットに照射するように前記軸上を移動可能な可動レンズを含む、対物レンズと、
前記ダイクロイックビームスプリッタによって前記軸から分岐した軸上に配置され、前記ターゲットで反射され前記ターゲットの像を形成するイメージングビームを前記ダイクロイックビームスプリッタを介して受光するイメージセンサと、を備え、
前記可動レンズは、前記イメージセンサ上に前記イメージングビームを集束すると共に、前記プローブビームを前記ターゲットに集束させるように移動可能である、装置。

【請求項 2】

前記対物レンズは、前記プローブビームを前記軸に沿って前記ターゲットに照射するように配置された固定レンズを備え、
前記対物レンズは、前記固定レンズに対して前記軸上に前記可動レンズを移動可能である、請求項 1 に記載の装置。

【請求項 3】

前記光ファイバは、前記プローブビームと共に、前記プローブビームとは波長が異なるトレーサビームを前記ダイクロイックビームスプリッタに向けて照射する、請求項 1 又は 2 に記載の装置。

【請求項 4】

前記対物レンズは、前記ダイクロイックビームスプリッタからトレーサビームを受光し、前記プローブビームと前記トレーサビームとを前記ターゲットに向けるように配置されており、

前記プローブビームは $1200\text{ nm} \sim 1800\text{ nm}$ の波長を有し、前記トレーサビームは $400\text{ nm} \sim 700\text{ nm}$ の波長を有する、請求項 1 から 3 のいずれか一項に記載の装置。

【請求項 5】

前記ダイクロイックビームスプリッタは、前記ダイクロイックビームスプリッタによって前記プローブビームが前記可動レンズに反射され、前記ダイクロイックビームスプリッタによって前記イメージングビームが前記イメージセンサに透過されるように配置されている、請求項 1、2 又は 4 のいずれか一項に記載の装置。

【請求項 6】

前記ダイクロイックビームスプリッタは、キューブダイクロイックビームスプリッタ、プレートダイクロイックビームスプリッタ、または二重反射ダイクロイックビームスプリッタである、請求項 1、2 又は 5 のいずれか一項に記載の装置。

【請求項 7】

前記ダイクロイックビームスプリッタは、前記可動レンズに面する第 1 の表面と、前記イメージングビームを前記イメージセンサに向け、前記ターゲットから戻される前記プローブビームの一部を前記光ファイバに向けるように配置されたダイクロイック反射面と、を含む二重反射ダイクロイックビームスプリッタである、請求項 1 から 5 のいずれか一項に記載の装置。

【請求項 8】

前記ダイクロイックビームスプリッタは、前記可動レンズに面する第 1 の表面と、前記イメージングビームが前記第 1 の表面によって前記イメージセンサに反射されるように前記イメージングビームを前記第 1 の表面に向けるように配置されたダイクロイック反射面とを含む二重反射ダイクロイックビームスプリッタであり、

前記ターゲットから前記光ファイバに戻される前記プローブビームの一部は、前記反射面によって前記光ファイバに送られる、請求項 1 から 5 のいずれか一項に記載の装置。

【請求項 9】

前記ダイクロイックビームスプリッタは、前記可動レンズに面する第 1 の表面と、前記ターゲットから戻された前記プローブビームの一部を前記第 1 の表面に向けるように配置されたダイクロイック反射面とを含む二重反射ダイクロイックビームスプリッタであり、

前記イメージングビームは、前記ダイクロイック反射面によって前記イメージセンサに送られる、請求項 1 から 5 のいずれか一項に記載の装置。

【請求項 10】

前記第 1 の表面は、前記ダイクロイック反射面から受光した前記イメージングビームに対する臨界角よりも大きい角度に配置されている、請求項 7 から 9 のいずれか一項に記載の装置。

【請求項 11】

前記二重反射ダイクロイックビームスプリッタは、出力面を含み、前記出力面は、前記ターゲットから戻され、前記ダイクロイック反射面によって前記第 1 の表面に反射された前記プローブビームの前記一部が、反射されて前記出力面に通常入射するように配置される、請求項 7 から 10 のいずれか一項に記載の装置。

【請求項 12】

前記二重反射ダイクロイックビームスプリッタは、出力面を含み、前記出力面は、前記ターゲットから戻され、前記ダイクロイック反射面によって前記第 1 の表面に反射された前記イメージングビームが、反射されて前記出力面に通常入射するように配置される、請

10

20

30

40

50

求項 7 から 11 のいずれか一項に記載の装置。

【請求項 13】

前記二重反射ダイクロイックビームスプリッタは、前記第 1 の表面と前記ダイクロイック反射面との間に頂角を有する第 1 のプリズムを含み、

前記頂角は、 $\sin^{-1}(1/n)$ より大きく、 n は前記第 1 のプリズムの屈折率である、請求項 7 から 12 のいずれか一項に記載の装置。

【請求項 14】

前記二重反射ダイクロイックビームスプリッタの前記ダイクロイック反射面は、前記第 1 のプリズムの表面上に規定されている、請求項 13 に記載の装置。

【請求項 15】

前記二重反射ダイクロイックビームスプリッタが、それぞれの合わせ面で互いに固定された第 1 のプリズムおよび第 2 のプリズムを含み、前記ダイクロイック反射面が前記合わせ面に配置されている、請求項 13 に記載の装置。

【請求項 16】

前記ダイクロイック反射面は、前記合わせ面のうちの少なくとも 1 つに規定されている、請求項 15 に記載の装置。

【請求項 17】

前記ダイクロイックビームスプリッタは、ダイクロイックプレートおよび平面反射器を含み、前記ダイクロイックプレートは、前記ターゲットから戻された前記プローブビームの一部を前記平面反射器に向かわせ、前記イメージングビームを前記イメージセンサに送るように配置されている、請求項 1 から 5 のいずれか一項に記載の装置。

【請求項 18】

前記ダイクロイックビームスプリッタは、ダイクロイックプレートおよび平面反射器を含み、前記ダイクロイックプレートは、前記イメージングビームを前記平面反射器に反射し、前記ターゲットから戻された前記プローブビームの一部を送るように配置されている、請求項 1 から 5 のいずれか一項に記載の装置。

【請求項 19】

前記光ファイバは、偏光保持シングルモード (PRSM) 光ファイバであり、偏光ビームスプリッタ (PBS) をさらに備え、前記 PBS は、前記 PRSM 光ファイバからの前記プローブビームが、前記 PBS によって前記ダイクロイックビームスプリッタに実質的に送られる偏光状態で、受光されるように配置されている、請求項 1 から 18 のいずれか一項に記載の装置。

【請求項 20】

前記偏光状態は、直線偏光状態である、請求項 19 に記載の装置。

【請求項 21】

前記プローブビームに円偏光状態を生成し、前記プローブビームの一部を前記光ファイバに向けて反射して局部発振器ビームを生成するために、前記 PBS と前記ダイクロイックビームスプリッタとの間に配置された波長板をさらに備える、請求項 19 又は 20 に記載の装置。

【請求項 22】

前記波長板は、前記 PBS から前記プローブビームを受光するように配置された入力面と、前記波長板の前記入力面から前記プローブビームを受光するように配置された出力面とを有し、

前記入力面または前記出力面の一方は、反射防止コーティングされており、前記入力面および前記出力面の他方は、前記局部発振器ビームとして前記プローブビームの一部を反射する、請求項 21 に記載の装置。

【請求項 23】

前記光ファイバから前記プローブビームと前記トレーサビームとを受け取るように配置された混合レンズと、前記混合レンズの軸方向部分の前記軸に沿って配置されたダイクロイックフィルタとをさらに備え、

10

20

30

40

50

前記ダイクロイックフィルタは、前記プローブビームを透過し、前記トレーサビームを透過しない、請求項 3 に記載の装置。

【請求項 2 4】

前記混合レンズの軸方向部分の前記軸に沿って配置されたダイクロイック反射器をさらに備え、

前記ダイクロイックフィルタは、前記プローブビームを透過し、前記トレーサビームを反射するダイクロイック反射器である、請求項 2 3 に記載の装置。

【請求項 2 5】

前記ダイクロイックフィルタが、前記トレーサビームを実質的に透過しない波長依存偏光子である、請求項 2 3 に記載の装置。

【請求項 2 6】

前記混合レンズの軸方向部分の前記軸に沿って配置されたダイクロイック反射器をさらに備え、

前記ダイクロイック反射器は、前記プローブビームを透過し、前記トレーサビームを反射し、

前記ダイクロイック反射器の寸法は、前記イメージセンサの対応する寸法に基づく、請求項 2 3 に記載の装置。

【請求項 2 7】

前記プローブビームを受光し、前記プローブビームを集束させるように配置された混合レンズと、

前記混合レンズの軸方向部分の前記軸に沿って配置され、前記プローブビームを透過し、前記トレーサビームを反射するダイクロイック反射器、とを備え、

前記ダイクロイック反射器の寸法は、前記イメージセンサの対応する寸法に基づく、請求項 2 3 に記載の装置。

【請求項 2 8】

前記ダイクロイック反射器の寸法は、前記イメージセンサの対応する寸法と、前記混合レンズ焦点から前記ダイクロイック反射器までの前記軸に沿った光学距離と前記混合レンズ焦点から前記イメージセンサまでの光学距離との比との積の少なくとも 0 . 5、0 . 7 5、1 . 0、または 1 . 5 倍である、請求項 2 4、2 6、2 7 のいずれか一項に記載の装置。

【請求項 2 9】

前記ダイクロイックフィルタは、前記可動レンズのレンズ面に配置されている、請求項 2 3 に記載の装置。

【請求項 3 0】

請求項 1 から 2 9 のいずれか一項に記載の装置を用いて、

前記ターゲットから戻された前記プローブビームで、前記ターゲットまでの距離を測定する、装置。

【請求項 3 1】

構造物の形状に関する設計情報を生成する設計工程と、

前記設計情報に基づいて前記構造物を作成する成形工程と、

作製された前記構造物の形状を請求項 3 0 に記載の装置を用いて、測定する測定工程と、前記測定工程で得られた形状情報と前記設計情報とを比較する検査工程と、を有する構造物の製造方法。

【請求項 3 2】

前記検査工程の比較結果に基づいて実行され、前記構造物の再加工を実施する修復工程を有する、請求項 3 1 に記載の構造物の製造方法。

【請求項 3 3】

前記修復工程は、前記成形工程を再実行する工程である、請求項 3 2 に記載の構造物の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、レーザレーダおよびレーザ追跡システム、そのようなシステムのための光学系および構成要素、ならびに関連付けされた測定方法および装置に関する。

【背景技術】

【0002】

レーザレーダシステムは、一般に、戻りビームの一部の検出に基づいて物体距離の推定値を生成する。戻りビームを局部発振器信号と混合し、戻りビームと局部発振器との間の周波数差を測定することに基づいて距離を推定するヘテロダイン方式を使用して高感度検出が提供される。適切なチャープでビームを送信することにより、ドップラーシフトを引き起こす可能性がある物体の動きが存在する場合でも、これらの測定を行うことができる。

10

【0003】

実際の実施態様では、カメラは、プローブ（測定）ビームとビジュアルアライメントに使用されるポインティング（またはトレーサ）ビームの両方を受け取るターゲット表面を撮像する。カメラは、ターゲットイメージを生成するように調整されるレンズを含み、プローブビームおよびトレーサビームは、別個の調整可能なレンズを用いてターゲット上にイメージされる。視覚/可視イメージ用に異なるレンズを使用し、IRプローブビーム用にビーム集束レンズを使用することにより、簡単なレンズ設計が可能になる。残念ながら、2つの可動レンズを使用するには、それぞれに移動または他のステージが必要であり、カメラ軸とプローブビーム軸とのアライメントを維持することは困難であり、アライメントのずれは、粗いビジュアルアライメント以上に、カメラ画像を使用することを困難にする。

20

【0004】

ヘテロダインレーザレーダにおける他の困難は、測定対象物に関連付けされた信号経路と局部発振器（local oscillator：LO）経路との間の経路長の変動に基づく。LO経路変動は、測距誤差を引き起こすだけでなく、戻ってきたプローブビーム部分とLOビームとの間の偏光の相対状態の変化による信号変動も引き起こす。例えば、金属または誘電体ミラーまたはビームスプリッタなどの光学部品による反射は、異なる偏光状態間に位相シフトを導入する可能性がある。そのような変動は、距離感度を低下させるか、またはドロップアウト、すなわち完全な信号損失につながる可能性がある。

30

【0005】

レーザレーダの実際の用途は、典型的には、測定される部品へのアライメントを必要とし、1つまたは複数のツーリングボールのセットを部品の周りに配置しなければならない。そのような設定は遅くなる可能性があり、部品を測定できる進度を制限する。したがって、改善が必要である。

【発明の概要】

【課題を解決するための手段】

【0006】

装置は、ダイクロイックビームスプリッタと、ダイクロイックビームスプリッタにプローブビームを軸に沿って向けるように配置された光ファイバとを備えている。対物レンズは、軸上に配置されるとともに、固定レンズ、および、ダイクロイックビームスプリッタからプローブビームを受光するように配置されている可動レンズとを備えている。イメージセンサは、ダイクロイックビームスプリッタに光学的に結合され、ダイクロイックビームスプリッタを介してターゲットからイメージングビームを受光するように軸上に配置されており、可動レンズは、イメージセンサでターゲットイメージを形成し、プローブビームをターゲットに集束させるように移動可能である。いくつかの例では、ダイクロイックビームスプリッタは、プローブビームがダイクロイックビームスプリッタを介して可動レンズに透過され、イメージングビームがダイクロイックビームスプリッタによってイメージセンサに反射されるように配置される。他の例では、対物レンズは、ダイクロイックビームスプリッタからトレーサビームを受光し、プローブビームおよびトレーサビームをタ

40

50

ターゲットに向けるように配置され、プローブビームは $1200\text{ nm} \sim 1800\text{ nm}$ の波長を有し、トレーサビームは $400\text{ nm} \sim 700\text{ nm}$ の波長を有する。いくつかの代替形態では、ダイクロイックビームスプリッタは、プローブビームがダイクロイックビームスプリッタによって可動レンズに反射され、イメージングビームがダイクロイックビームスプリッタによってイメージセンサに送られるように配置される。典型的な実施形態では、ダイクロイックビームスプリッタは、キューブダイクロイックビームスプリッタ、プレートダイクロイックビームスプリッタ、または二重反射ダイクロイックビームスプリッタである。

【0007】

さらなる実施形態では、ダイクロイックビームスプリッタは、可動レンズに面する第1の表面と、イメージングビームをイメージセンサに向け、ターゲットから戻されるプローブビームの一部を光ファイバに向けるように配置されたダイクロイック反射面とを含む二重反射ダイクロイックビームスプリッタである。他の実施形態では、ダイクロイックビームスプリッタは、可動レンズに面する第1の表面と、イメージングビームが第1の表面によってイメージセンサに反射され、ターゲットから光ファイバに戻されるプローブビームの一部が反射面によって光ファイバに送られるように、イメージングビームを第1の表面に向けるように配置されたダイクロイック反射面とを含む二重反射ダイクロイックビームスプリッタである。さらに追加の例では、ダイクロイックビームスプリッタは、可動レンズに面する第1の表面と、ターゲットから戻されたプローブビームの一部を第1の表面に向けるように配置されたダイクロイック反射面とを含む二重反射ダイクロイックビームスプリッタであり、イメージングビームは、ダイクロイック反射面によってイメージセンサに送られる。他の代表的な例では、第1の表面は、ダイクロイック反射面から受け取られたイメージングビームに対して臨界角よりも大きい角度に配置され、二重反射ダイクロイックビームスプリッタは、出力面を含み、出力面は、ターゲットから戻され、ダイクロイック反射面によって第1の表面に反射されたプローブビームの一部が反射されて出力面に垂直に入射するように配置されている。いくつかの実施形態では、二重反射ダイクロイックビームスプリッタは、第1の表面とダイクロイック反射面との間の頂角 β を有する第1のプリズムを含み、 β は $\sin^{-1}(1/n)$ より大きく、 n はプリズムの屈折率である。いくつかの例によれば、二重反射ダイクロイックビームスプリッタのダイクロイック反射面は、第1のプリズムまたは第2のプリズムの表面上に規定される。場合によっては、二重反射プリズムは、それぞれの合わせ面で互いに固定された第1のプリズムおよび第2のプリズムを含み、ダイクロイック反射面は合わせ面に配置されている。いくつかの特定の例では、ダイクロイック反射面は、合わせ面のうちの少なくとも1つに規定される。

【0008】

他の代替形態では、ダイクロイックビームスプリッタは、ダイクロイックプレートおよび平面反射器を含み、ダイクロイックプレートは、ターゲットから戻されたプローブビームの一部を平面反射器に向け、イメージングビームをイメージセンサに送るように配置される。さらに他の例では、ダイクロイックビームスプリッタは、ダイクロイックプレートおよび平面反射器を含み、ダイクロイックプレートは、イメージングビームを平面反射器に反射し、ターゲットから戻されたプローブビームの一部を送るように配置される。

【0009】

いくつかの代表的な例では、光ファイバは、偏光保持シングルモード (polarization retaining single mode: PRSM) 光ファイバであり、偏光ビームスプリッタ (polarizing beam splitter: PBS) をさらに備え、PBSは、PRSM光ファイバからのプローブビームが、PBSによってダイクロイックビームスプリッタに実質的に送られる偏光状態 (典型的には直線偏光状態) で、受光されるように配置されている。装置は、プローブビームに円偏光状態を生成し、プローブビームの一部を光ファイバに向けて反射して局部発振器ビームを生成するために、PBSとダイクロイックビームスプリッタとの間に配置された波長板を含み得る。さらなる例では、波長板は、PBSからプローブビームを受光するように配置された入力面

10

20

30

40

50

と、波長板の入力面からプローブビームを受光するように配置された出力面とを有する。入力面または出力面的一方は、反射防止コーティングされており、入力面および出力面の他方は、プローブビームの一部を局部発振器ビームとして反射する。

【 0 0 1 0 】

典型的には、光ファイバから測定ビームを受けるように混合レンズが配置され、混合レンズの軸方向部分の軸に沿ってダイクロイックフィルタが配置され、ダイクロイックフィルタは、測定ビームを透過し、トレーサビームを実質的に透過しにくい。他の例では、ダイクロイックフィルタは、測定ビームを透過し、トレーサビームを反射するダイクロイック反射器である。いくつかの例では、ダイクロイックフィルタは、トレーサビームを実質的に透過しない波長依存偏光子である。代表的な実施形態によれば、ダイクロイック反射器は、混合レンズの軸方向部分の軸に沿って配置され、ダイクロイック反射器は、測定ビームを透過し、トレーサビームを反射し、ダイクロイック反射器の寸法は、イメージセンサの対応する寸法に基づく。いくつかの実施形態では、混合レンズは、測定ビームを受光し、ビーム角直径 α 内に測定ビームを集束させるように配置される。ダイクロイック反射器は、混合レンズの軸方向部分の軸に沿って配置され、ダイクロイック反射器は、測定ビームを透過し、トレーサビームを反射し、ダイクロイック反射器の寸法は、イメージセンサの対応する寸法に基づく。代表的な例では、ダイクロイック反射器の寸法は、イメージセンサの対応する寸法と、混合レンズ焦点からダイクロイック反射器までの軸に沿った光学距離と混合レンズ焦点からイメージセンサまでの光学距離との比との積の少なくとも0.5、0.75、1.0、または1.5倍である。便宜上、ダイクロイックフィルタは、可動レンズのレンズ面に配置されている。

【 0 0 1 1 】

装置は、光ファイバと、光ファイバから測定ビームを受光し、測定ビーム焦点を生成するように配置された混合レンズとを備えている。表面を有する光学素子は、測定ビーム焦点に近接して配置され、測定ビームの一部を反射して局部発振器ビームとして光ファイバに戻す。対物レンズは、光学素子から測定ビームを受光し、測定ビームの一部をプローブビームとしてターゲットに向かわせ、ターゲットから戻されたプローブビームの一部を光ファイバに向かわせて信号ビームを形成するように配置される。いくつかの例では、光学素子は、混合レンズから測定ビームを受光する入射面と、入射レンズの反対側の出射面とを有する波長板であり、出射面は、測定ビームの一部を反射するために測定ビーム焦点に近接して配置されている。他の例では、波長板は、混合レンズから測定ビームを受光する入射面と、入射レンズの反対側の出射面とを有し、入射面は、測定ビームの一部を反射するために測定ビーム焦点に近接して配置されている。典型的な例では、波長板の入射面および出射面的一方は、混合レンズから測定ビームを受光するように配置された反射防止コーティングを含み、入射面および出射面の他方は、混合レンズから測定ビームを受光するように配置されたコーティングされていない部分を有する。いくつかの代替形態では、混合レンズから測定ビームを受講し、測定ビームを波長板に結合するために、偏光ビームスプリッタが配置される。場合によっては、測定ビーム焦点に近接して配置された表面を有する光学素子が偏光ビームスプリッタ (P B S) である。他の例では、光学素子は、 P B S と、 P B S に固定された波長板とを含む。またさらなる例では、 P B S は、光ファイバから測定ビームを受光するように結合された入射面を有し、波長板は、 P B S からの測定ビームを対物レンズに結合し、測定ビームの一部を反射して局部発振器ビームとして光ファイバに戻すように配置された出射面を含む。

【 0 0 1 2 】

いくつかの例では、 P B S は、測定ビームのプローブビーム部分を波長板に反射するように配置され、光検出器は、ターゲットおよび局部発振器ビームからプローブビームの一部を受け取り、ヘテロダイン電気信号を生成するために光ファイバに結合される。検出システムは、ヘテロダイン電気信号に基づいてターゲット距離推定値を提供する。

【 0 0 1 3 】

いくつかの例では、装置は、それぞれ第1および第2の波長で第1および第2の測定ビ

10

20

30

40

50

ームを生成する第1および第2の測定ビーム源を含む。ビームコンバイナは、第1および第2の測定ビームを受光し、第1および第2の測定ビームを結合して結合測定ビームを形成するように配置され、光ファイバは、結合測定ビームを混合レンズに向ける。混合レンズは、光学素子において結合ビームを集束し、結合測定ビームの一部を反射して第1および第2の局部発振器ビームとして光ファイバに向けて戻す。他の例によれば、第1および第2の光検出器は、ターゲットからプローブビームの一部ならびに第1および第2の局部発振器ビームを受光し、第1および第2のヘテロダイン電気信号を生成するように配置される。場合によっては、第1および第2の光検出器は、光ファイバに結合されるか、ファイバおよび/または偏光ビームスプリッタからプローブビームの一部を受光するように結合される。検出システムは、第1および第2のヘテロダイン電気信号に基づいてターゲット距離推定値を提供する。さらなる例では、混合レンズは、光ファイバから測定ビームおよびトレサビームを受光し、対物レンズの軸上にダイクロイックフィルタが配置され、ダイクロイックフィルタはトレサビームに対して非透過性である。

【0014】

方法は、関連付けられたビーム開口数を有するトレサビームをビームスプリッタに向かわせるステップを含む。トレサビーム開口数の一部は、ビームスプリッタが測定ビームおよび部分的に覆い隠された/減衰されたトレサビームを受光するように、遮断され、覆い隠され、減衰され、散乱される。ビームスプリッタからの部分的に覆い隠されたトレサビームは、対物レンズを有するターゲットに向けられ、イメージングビームは、ビームスプリッタを有する検出器に向けられたビームスプリッタで受講され、トレサビームの覆い隠された部分は、撮像検出器に対応する。

【0015】

方法は、光ファイバからの測定ビームを測定ビーム焦点に集束させるステップと、局部発振器ビームを生成するために、測定ビームの一部を光ファイバに向けて反射させるステップとを含む。場合によっては、測定ビームは、ビームスプリッタを介して、測定ビームの一部を光ファイバに反射する表面を有する光学素子に集束される。具体例では、光学素子は波長板であり、反射面は波長板の表面である。他の実施形態では、光学素子は偏光ビームスプリッタ(PBS)であり、反射面はPBSの表面である。

【0016】

いくつかの例では、装置は、プローブビームを軸に沿ってターゲットに向かわせ、少なくとも1つのターゲット寸法の推定値を生成するように配置されたレーザレーダを含み、レーザレーダは、プローブビーム軸を走査するように結合されたプローブビームスキャナを含む。ターゲットの画像を生成するために軸に沿って光学的に撮像部が配置され、ターゲットイメージ内で識別された少なくとも1つの特徴に基づいてプローブビームをターゲット位置に向けるように、撮像部にプローブビームスキャナが結合されている。いくつかの例では、撮像部はイメージセンサであり、イメージプロセッサはターゲットイメージ内の少なくとも1つの特徴を識別する。いくつかの例では、少なくとも1つの特徴は設計特徴であり、ターゲット位置は設計特徴に関連付けられている。他の例では、少なくとも1つの特徴は、ツーリングボールまたは眼球球であり、ターゲット位置は、ツーリングボールまたは眼球球の位置に基づいて判定される。さらなる例では、ターゲット位置は、眼球球の位置に基づいて判定される。

【0017】

さらなる例では、装置は、プローブビームを軸に沿ってターゲットに向けるように配置されたレーザレーダを備え、レーザレーダは、プローブビーム軸を走査するように結合されたプローブビームスキャナを備えている。撮像システムは、ターゲットの画像を生成するために軸に沿って光学的に配置されたイメージセンサと、イメージセンサにおいてターゲットイメージの焦点を調整するために対物レンズに結合されたフォーカス機構とを備えている。イメージプロセッサは、ターゲットの画像およびターゲットまでの距離の推定値に基づいて少なくとも1つのターゲット寸法の推定値を生成するために撮像システムに結合される。いくつかの例では、レーザレーダは、ターゲットまでの距離の推定値を生成す

10

20

30

40

50

るように構成されるか、またはターゲットまでの距離の推定値がオートフォーカス機構などのフォーカス機構の調整に基づく。一例では、ターゲット位置は、眼球球の位置に基づいて判定される。いくつかの例では、撮像システムは、複数の画像部分を生成するように構成され、イメージプロセッサは、複数の画像部分を共通の画像に繋ぎ合わせるように構成される。追加の例では、イメージプロセッサは、テストグリッド画像に基づいて、例えば少なくとも1つの画像部分などの少なくとも1つの画像部分の歪みを少なくとも部分的に補正するように構成される。

【0018】

測定装置は、走査可能なレーザプローブビームを提供するレーザレーダと、移動可能なミラーを含む遠隔ミラーシステムとを備えている。レーザレーダは、ターゲットへ反射されてターゲットの少なくとも1つの特徴を測定するために、走査可能なレーザプローブビームを遠隔ミラーシステムの移動可能なミラーに向かわせるように構成される。いくつかの例では、遠隔ミラーシステムは、少なくとも1つのツーリングボールまたは眼球球を含み、レーザレーダは、走査可能なレーザプローブビームを少なくとも1つのツーリングボールまたは眼球球に向けることで遠隔ミラーシステムの位置を判定するように配置される。典型的な例では、レーザレーダは、走査可能なレーザプローブビームがターゲットの少なくとも1つの特徴に向けられるように、移動可能なミラーの調整を開始するために遠隔ミラーシステムに結合される。

【0019】

開示された技術の上記および他の目的、特徴、および利点は、添付の図面を参照して進められる以下の詳細な説明からより明らかになるであろう。

【図面の簡単な説明】

【0020】

【図1】ボアサイト撮像およびプローブビーム集束に使用される共通の可動レンズを含む代表的なレーザレーダの一部の概略図である。

【図2】ボアサイト撮像およびプローブビーム集束のための固定レンズおよび可動レンズを含む代表的なレーザレーダの概略図である。

【図3】二重反射ダイクロイックビームスプリッタを含む代表的なレーザレーダシステムを示す概略図である。

【図4】可視ビーム部分をイメージセンサに向け、プローブビームを光ファイバにノードから向ける薄いビームスプリッタを含む代表的なレーザレーダシステムの一部を示す概略図である。

【図5A】トレーサビームの反射部分を制御するように設計されたモデル光学フィルタの透過率を示す図である。

【図5B】トレーサビームの反射部分を制御する代表的な光学フィルタの透過率を示す図である。

【図5C】図5Bに示すような透過率を有する光学フィルタなしで得られたボアサイト画像を示す図である。

【図5D】図5Bに示すような透過率を有する光学フィルタありで得られたボアサイト画像を示す図である。

【図6A】可動レンズ構成要素および2回反射ダイクロイックビームスプリッタを含む代表的な光学系の概略図である。

【図6B】可動レンズ構成要素および2回反射ダイクロイックビームスプリッタを含む代表的な光学系の概略図である。

【図6C】図6A～図6Bの例で提供されるような代表的な光学系の色収差を示す図である。

【図7A】可動レンズ構成要素および2回反射ダイクロイックビームスプリッタを含む代表的な光学系の概略図である。

【図7B】例示的な2回反射ダイクロイックビームスプリッタを示す図である。

【図8A】周辺加重ダイクロイックフィルタを含むレーザレーダ光学系を示す図である。

10

20

30

40

50

【図 8 B】画質を改善し、撮像のための有効開口数 (numerical aperture : NA) を低減するためにイメージングビーム部分を反射するダイクロイックフィルタを示す図である。

【図 8 C】画質を改善し、撮像のための有効開口数 (NA) を低減するためにイメージングビーム部分を反射するダイクロイックフィルタを示す図である。

【図 9 A】中央ダイクロイックフィルタコーティングを有する混合レンズ素子を有する光学系を示す図である。

【図 9 B】中央ダイクロイックフィルタコーティングを有する混合レンズ素子を有する光学系を示す図である。

【図 9 C】中央ダイクロイックフィルタコーティングを有する混合レンズ素子を有する光学系を示す図である。

10

【図 9 D】トレーサビームの中央部分を減衰させるように透過率の角度依存性を有するダイクロイックフィルタコーティングを有する混合レンズ素子を有する光学系を示す図である。

【図 9 E】代表的なダイクロイックフィルタの波長の関数としての透過率のグラフである。

【図 10】局部発振器ビームを生成するために猫目石再帰反射器として配置された混合レンズおよび波長板を含むレーザレーダ光学系を示す図である。

【図 11】局部発振器ビームを生成するために猫目石再帰反射器として配置された混合レンズおよび波長板を含むレーザレーダ光学系を示す図である。

【図 12 A】温度制御チャンバ内に配置された基準アームと連通するように結合された混合光学系および投影光学系を含むレーザレーダシステムを示す図である。

20

【図 12 B】温度制御チャンバ内に配置された基準アームと連通するように結合された混合光学系および投影光学系を含むレーザレーダシステムを示す図である。

【図 12 C】代表的な混合光学系を示す図である。

【図 13 A】局部発振器ビームを生成するための猫目石再帰反射器を含むレーザレーダシステムの性能を示す図である。

【図 13 B】局部発振器ビームを生成するための猫目石再帰反射器を含むレーザレーダシステムの性能を示す図である。

【図 13 C】局部発振器ビームを生成するための猫目石再帰反射器を含むレーザレーダシステムの性能を示す図である。

30

【図 14 A】代表的な 2 回反射ダイクロイック (または中立) プリズムを示す図である。

【図 14 B】代表的な 2 回反射ダイクロイック (または中立) プリズムを示す図である。

【図 14 C】代表的な 2 回反射ダイクロイック (または中立) プリズムを示す図である。

【図 14 D】代表的な空気離間した反射器を示す図である。

【図 15 A】個別にまたは任意の組み合わせで使用することができるレーザレーダ / 追跡器方法を示す図である。

【図 15 B】個別にまたは任意の組み合わせで使用することができるレーザレーダ / 追跡器方法を示す図である。

【図 15 C】個別にまたは任意の組み合わせで使用することができるレーザレーダ / 追跡器方法を示す図である。

40

【図 16 A】別の例示的なレーザレーダシステムを示す図である。

【図 16 B】2 つの基準アームを提供する代表的な光ファイバ回路を示す図である。

【図 16 C】ビーム伝送ファイバの変位に基づくビーム走査を示す図である。

【図 17 A】代表的なマルチビームレーザレーダを示す図である。

【図 17 B】マルチビームを生成するファイバの代表的な配置を示す図である。

【図 17 C】マルチビームを生成するファイバの代表的な配置を示す図である。

【図 17 D】図 17 B ~ 図 17 C のファイバ配置によって生成されたターゲットにおけるビームスポットを示す図である。

【図 18】検出器アレイを含む代表的なマルチビームレーザレーダを示す図である。

【図 19】共焦点レーザレーダを使用してターゲット寸法および特徴サイズを取得する代

50

表的な方法を示す図である。

【図 2 0】共焦点レーザレーダなどのレーザレーダの代表的な処理および制御アーキテクチャを示す図である。

【図 2 1】球上に規定された代表的な追跡ターゲットを示す。

【図 2 2】共焦点レーザレーダを使用する代表的な測定方法を示す図である。

【図 2 3】隠れた領域を測定するための追跡ターゲットの配置を示す図である。

【図 2 4】隠れた領域を測定するための追跡ターゲットの配置に対する代替手法を示す図である。

【図 2 5 A】レーザレーダシステムを備えた協調ロボット (collaborative robot: COBOT) の使用を示す図である。

10

【図 2 5 B】レーザレーダシステムを備えた協調ロボット (COBOT) の使用を示す図である。

【図 2 6】関心対象上の特徴を測定する代表的な方法を示す図である。

【図 2 7】複数のターゲット特徴の迅速な並列測定のためのシステムを示す図である。

【図 2 8】部品を製造し、製造された部品が不良であるか許容可能であるかを評価するためのレーザレーダまたは他のプロファイル測定システムを含む代表的な製造システムのブロック図である。

【図 2 9】製造された構造または構成要素が許容可能であるかどうか、およびそのような製造された構造を修復することができるかどうかを判定するためのプロファイル測定を含む代表的な製造方法を示すブロック図である。

20

【図 3 0 A】代表的な基準アームアセンブリを示す図である。

【図 3 0 B】代表的な基準アームアセンブリを示す図である。

【図 3 1】焦点追跡を提供する代表的なレーザレーダを示す図である。

【図 3 2】本明細書に開示される方法および装置のいずれかを使用して、基板またはターゲット (またはターゲット特徴) に固定されたツーリングボールを追跡する代表的な方法のブロック図である。

【図 3 3】代表的なコンピューティング環境を示す図である。

【発明を実施するための形態】

【0021】

本出願および特許請求の範囲で使用される場合、単数形「a」、「an」、および「the」は、文脈上他に明確に指示されない限り、複数形を含む。さらに、「含む (includes)」という用語は「備える (comprises)」を意味する。さらに、「結合された (coupled)」という用語は、結合されたアイテム間の中間要素の存在を必ずしも排除するものではない。場合によっては、要素は、中間要素を除外するために直接結合されると呼ばれる。

30

【0022】

本明細書に記載されたシステム、装置、および方法は、決して限定するものとして解釈されるべきではない。代わりに、本開示は、単独で、ならびに互いに様々な組み合わせおよび部分的組み合わせで、様々な開示された実施形態のすべての新規かつ非自明の特徴および態様を対象とする。開示されたシステム、方法、および装置は、任意の特定の態様または特徴またはそれらの組み合わせに限定されず、開示されたシステム、方法、および装置は、任意の 1 つまたは複数の特定の利点が存在すること、または問題が解決されることを必要としない。動作の理論は、説明を容易にするためのものであるが、開示されたシステム、方法、および装置は、そのような動作の理論に限定されない。

40

【0023】

開示された方法のいくつかの動作は、便利な提示のために特定の連続した順序で説明されているが、以下に記載された特定文言によって特定の順序が必要とされない限り、この説明の方法は並べ替えを包含することを理解されたい。例えば、順次に記載された動作は、場合によっては並べ替えられ、または同時に実行されてもよい。さらに、簡単にするために、添付の図は、開示されたシステム、方法、および装置を他のシステム、方法、およ

50

び装置と組み合わせて使用することができる様々な方法を示さない場合がある。さらに、説明は、開示された方法を説明するために「生成する (p r o d u c e) 」および「提供する (p r o v i d e) 」などの用語を使用することがある。これらの用語は、実行される実際の動作の高レベルの抽象化である。これらの用語に対応する実際の動作は、特定の実施態様に応じて異なり、当業者によって容易に識別可能である。

【 0 0 2 4 】

以下の説明において便宜上、「光 (l i g h t) 」および「光放射 (o p t i c a l r a d i a t i o n) 」という用語は、 $300\text{ nm} \sim 10\text{ }\mu\text{m}$ の波長範囲で伝播する電磁放射線を指すが、他の波長を使用することもできる。そのような放射線は、プロファイリング、検出、または他の方法で調査される1つまたは複数の標的に向けられ得る。この放射は、本明細書では、典型的にはレーザダイオードなどのレーザによって生成された光放射に基づく1つまたは複数の「ビーム (b e a m s) 」を伝播すると呼ばれる。本出願で使用されるように、ビームはコリメートされる必要はなく、導波路内を伝播する放射もビームと呼ばれる。ビームは、1つまたは複数のレーザ横モードに関連付けされた空間的範囲を有することができ、実質的にコリメートされることができる。光ファイバまたは他の光導波路およびコヒーレントレーザ源が容易に利用可能な波長が便利である。いくつかの例では、約 1550 nm の波長のレーザダイオードが使用される。

【 0 0 2 5 】

便宜上、ビームは、1つまたは複数の軸に沿って伝播するものとして説明される。そのような軸は、一般に、1つまたは複数の線分に基づいているため、軸は、ミラー、プリズム、レンズ、および他の光学素子に応じて曲げられるか、折り畳まれるか、そうでなければ応じるときに、いくつかの非共線セグメントを含むことができる。「レンズ (l e n s) 」という用語は、本明細書では、単一の屈折光学素子 (シングレット) 、または1つもしくは複数のシングレット、ダブレット、もしくは他の複合レンズを含む複合レンズを指すために使用される。いくつかの例では、ビームは屈折光学素子によって成形または向けられるが、他の例では、ミラーなどの反射光学素子が使用されるか、または屈折および反射素子の組み合わせが使用される。そのような光学系は、それぞれ、屈折光学系、反射光学系、および反射屈折光学系と呼ぶことができる。好都合であり得るように、他のタイプの屈折要素、反射要素、回折要素、ホログラフィック要素および他の光学素子を使用することができる。いくつかの例では、入力ビームを透過ビームと反射ビームとに分離するために、キューブビームスプリッタなどのビームスプリッタが使用される。これらのビームのいずれかは、好都合であり得るように、コヒーレント検出システムにおいて測定ビームまたは局部発振器ビームとして機能するように構成することができる。ビームスプリッタはファイバカプラとして提供することもでき、いくつかの実施形態では偏光ビームスプリッタが好ましい。用語「ビームスプリッタ」 (b e a m s p l i t t e r) はまた、典型的には、ビームコンバイナを指すために使用される。ファイバカプラおよびファイバ波長分割マルチプレクサ (w a v e l e n g t h d i v i s i o n m u l t i p l e x e r s : W D M) は、ビームを結合または分離することができる。

【 0 0 2 6 】

開示された例では、レーザレーダシステムは、多角形、閉曲線の部分、ラスタ、w パターン、または他のパターンとすることができる走査経路にわたってプローブまたは測定ビームを走査するように構成され、走査は周期的または非周期的とすることができる。ターゲットに向けられた測定ビームまたはプローブビームにตอบสนองして、ターゲットにおける反射、散乱、回折、屈折、または他のプロセスに基づいて戻りビームが得られる。戻りビームの評価は、ターゲット特性の推定を可能にする。以下の例は、例えば、表面に向けられた光ビームの受信機に戻される部分に基づいて表面トポグラフィの推定値を提供するように構成されたレーザレーダに関して提供される。開示された方法および装置は、レーザトラッカシステムに組み込むこともできる。

【 0 0 2 7 】

本明細書に記載のいくつかの例では、測定光ビームは、ターゲットに向けられるプロー

10

20

30

40

50

ブビーム、基準長さに向けられることによってカリブレーションに使用することができる基準ビーム、および／またはプローブビームと組み合わせてヘテロダイン検出およびターゲット距離推定に使用される局部発振器ビームに分割される。他の例では、ターゲットに向けられたビームはプローブビームと呼ばれ、検出のために戻された部分は信号ビームと呼ばれる。開示された例では、1つまたは複数の光ビームの一部は、ターゲット、検出器に向けられるか、または1つから1つまたは複数の目的地に伝達される。本明細書で 사용되는場合、ビーム部分は、光ビーム全体を含む光ビームの任意の部分を目指す。多くの例では、ポインティングまたはトレーサビームは、1つまたは複数のプローブビームと共にターゲットに伝播する。トレーサビームは可視波長にあり、プローブビームが意図されたターゲット位置に向けられていることをユーザが確認することを可能にする。そのようなトレーサビームは、そうでなければ未使用であり、場合によっては、望ましくないトレーサビーム反射がターゲットのボアサイトカメラ画像と干渉する可能性がある。プローブビームは、典型的には約900nmを超える波長であり、しばしば適切なビーム源は約1300nmおよび1500nmの波長を有する。他の波長を使用することもできる。

【0028】

開示されたシステムは、一般に、偏光ビームスプリッタ(PBS)などの1つまたは複数のビームスプリッタと、キューブビームスプリッタまたはプレートビームスプリッタなどのダイクロイックビームスプリッタ(dichroic beam splitters: DBS)とを含む。ビームスプリッタ面は、プレート面、プリズム面、レンズ面、または他の湾曲面もしくは平面に設けることができる。本明細書で 사용되는場合、DBSは、第1の波長範囲で優先的に反射(または透過)し、第2の波長範囲で優先的に透過(または反射)するビームスプリッタである。説明の便宜上、ビームスプリッタ面の角度(傾斜角)は、光軸に対してビームスプリッタ面に垂直な軸から測定される。PBSおよびDBSは、プローブビームの効率的な使用および優れたターゲットイメージ強度を可能にするが、偏光および波長に依存しない(中性)ビームスプリッタも使用することができる。

【0029】

いくつかの例では、回転は方位角および仰角を参照して説明される。このような角度は、典型的には、本明細書で 사용되는ように、垂直軸および水平軸に対して定義されるが、垂直軸および水平軸を有する配向は必要ではない。典型的には、システムは、そのような角度を参照して説明され、システムは、標準的な使用中の向きにあると仮定される。

【0030】

以下に説明する典型的な例では、ターゲットに向けられたプローブビームは偏光されているが、偏光されていないまたはランダムに偏光されたビームを使用することができる。光学フィルタは、5%、2%、1%、またはそれ以下の透過率の場合、非透過性と呼ばれる。プローブビームおよびトレーサビームなどのビームは、関心対象のある表面またはその近くに集束され得る。本明細書で 사용되는場合、ビームは、ビームウエストが表面の ± 0.5 、1、2、5、または10レイリー範囲内にある場合、表面に集束されていると呼ばれる。

【0031】

掃引周波数レーザレーダ

以下では、レーザレーダシステムの様々な構成および態様が開示される。開示されたシステム、システム構成要素、モジュール、および関連付けられた方法は、様々なレーザレーダシステムで使用することができる。典型的な例では、いわゆる掃引周波数レーザレーダシステムが提供される。典型的なコヒーレントレーダシステムは、一般に、1つまたは複数のレーザダイオード光源を使用する。レーザダイオード周波数は、レーザダイオード注入電流を変調することによって、またはレーザダイオード温度を変調することによって、または何らかの他の方法で直接変調される。レーザ周波数は、一般に、線形周波数掃引または線形「チャープ」を生成するように波形で変調される。レーザ周波数 $f(t)$ は、時間 t の関数として以下のように表すことができる。

$$f(t) = f_0 + (\Delta f / \Delta t) t = f_0 + \gamma t,$$

10

20

30

40

50

【 0 0 3 2 】

式中、 f_0 はレーザ初期周波数であり、 $\gamma = \Delta f / \Delta t$ はレーザ周波数変化率である。線形掃引は必要とされず、時間の関数としての任意のレーザ周波数変動は、階段状もしくは他の不連続な周波数変動、または多項式もしくは他の関数に基づく連続的な変動など、理論的に有用であるが、線形チャープは一般により便利で実用的である。周波数変調 (frequency modulated: FM) 測定ビームは標的に集束され、ビームの一部は散乱され、反射され、屈折され、または受信機光学系によって収集されるように方向付けられる。局部発振器ビーム (「LOビーム」) は、一般に、測定ビームを生成するために使用されるのと同じレーザビームの一部として得られる。標的へのおよび標的からの測定ビーム伝播に関連付けされたラウンドトリップ通過時間は、測定ビームの戻り部分 (戻りビーム) と局部発振器とが光学的に混合されたときに得られる周波数差をもたらす。この周波数差は、ターゲット距離を判定するために使用することができる。戻りビームおよびLOは、PINフォトダイオード (典型的には二乗則検出器と呼ばれる) などの検出器に向けられて、和周波信号および差周波信号を生成する。和周波数 ($1.5 \mu\text{m}$ の測定ビームでは数百THz) は利用可能な検出器帯域幅を超えるが、戻りビームおよびLOビームはまた、検出器帯域幅内に差周波数 Δf (ヘテロダイン周波数) を生成する。標的位置までの距離 R は、 $R = c \Delta f / 2 \gamma$ として計算することができ、ここで、 Δf は戻りビームに関連付けされたヘテロダイン周波数であり、 γ はチャープ速度であり、 c は光速である。ヘテロダイン周波数生成はまた、LOおよび戻りビームが直交偏光されていないことを必要とするが、範囲は振幅ではなく周波数差に基づいて決定されるため、偏光効果はヘテロダイン信号レベルを低減するが、ヘテロダイン周波数は変化しない。

10

20

【 0 0 3 3 】

距離測定の精度がレーザ周波数変調の線形性によって制限され得るので、成功したレーザレーダシステムはレーザ周波数を正確に制御または測定する。例えば、ターゲットが1メートル離れている場合、1mmの精度を確保するためには、1000分の1の直線性が必要である。したがって、FMレーザレーダ用のレーザ源は、高線形チャープを提供するように構成され、線形性からの変動が検出され、補正される。場合によっては、範囲測定は、数ミクロン範囲の精度を有することができる。

【 0 0 3 4 】

FMレーザレーダシステムは、信号検出がヘテロダインビート周波数に基づくため、周囲の照明条件および表面反射率の変化の影響をほとんど受けず、ヘテロダインビート周波数は信号振幅に依存せず、迷光放射の影響を受けない。したがって、戻りビーム、測定ビーム、またはLOビームの振幅または強度変動は、距離測定にほとんど影響しない傾向がある。加えて、コヒーレントなヘテロダイン検出は、FMコヒーレントなレーザレーダが、9桁のダイナミックレンジに対応するわずか1ピコワットの戻りビーム出力で信頼性の高い測定を行うことができるように、ショットノイズ限界まで光信号を首尾よく検出することができる。

30

【 0 0 3 5 】

以下のいくつかの例では、1つまたは2つの波長のプローブビームを使用するシステムが示されている。一般に、1つまたは複数のプローブビームを使用することができ、2つのカウンターチャープビームの使用は、レーザレーダと標的との間の相対運動に関連付けされたドップラーシフト誤差の補正、修正、または排除を可能にする。

40

【 0 0 3 6 】

いくつかの例では、開示されたシステムは、単一の対物レンズ (固定レンズおよび可動レンズを有する) を使用して、プローブおよび信号ビームを標的に向けて集束させ、ターゲットの画像を生成する。これは、ボアサイト画像とプローブビームとのアライメントを維持する傾向がある。プローブビームおよび画像ビームの波長の違い、ならびに使用される高い開口数 (NA) のために、色収差補正は困難であり得、ダイクロイックプリズム型ビームスプリッタによる撮像は、コマ収差などのかなりの量の他の収差を導入し得る。対物レンズによる焦点合わせの前に組み合わされたプローブ/トレーサビームを成形するた

50

めに追加レンズが使用される場合、イメージングビームとは無関係にプローブビーム収差（可視波長トレーサビームとプローブビームの赤外線波長との間の色収差など）を補正するために追加のレンズが使用され得る。場合によっては、そのような追加のレンズを使用すると、過剰なトレーサビーム反射が生じ、トレーサビームを成形すると、ターゲット撮像に干渉する可能性がある反射部分などのビーム部分を低減することができる。いくつかの例では、追加のレンズは、波長板表面などの光学表面にビーム焦点を提供して、猫目石再帰反射器構成を使用して局部発振器（LO）ビームを生成してLO安定性を提供する。

【0037】

以下では、説明を簡便にするために、開示された技術の代表的な例が提供される。任意の例の特徴および態様のいずれも、他の例の特徴および態様と組み合わせることができる。

10

【0038】

実施例 1

図1を参照すると、レーザレーダまたは他の装置用の光学系100は、光ファイバ端102から測定（またはプローブ）ビームおよびポインティング（またはトレーサ）ビームを放射する光ファイバ101を含む。ビームスプリッタ104は、プローブビームおよびトレーサビームを受け取り、固定レンズ109、112および可動レンズ110（二箇所に示されている）を含む対物レンズ108に一部を向けるように配置されている。可動レンズ110は、一般に、対物レンズ108によって提供される焦点を調整するために軸120に沿った位置に移動可能である。固定レンズ112は、組み合わされたプローブ/トレーサビーム114をターゲット116に結合する。典型的な例では、プローブビーム波長は1200nm~1700nmであり、トレーサビーム波長は400nm~700nmであり、典型的には650nm~700nmであり、容易に入手可能なレーザダイオードを使用することができる。

20

【0039】

対物レンズ108はまた、典型的にはターゲット116の広帯域または周囲照明に基づくイメージングビームと共に、ターゲット116から戻されたプローブビームおよびトレーサビームの一部を受け取る。プローブビームの戻り部分は、ファイバ101内を伝播するように、ビームスプリッタ104を通してファイバ端102に向けられる。イメージングビームは、ビームスプリッタ面106によってトレーサビームの一部と共にイメージセンサ118に結合される。ビームスプリッタ面106は、一般に、プローブビームを優先的に透過させ、イメージングビームを反射する（または、必要に応じて、プローブビームを反射し、イメージングビームを透過させる）薄膜ダイクロイックフィルタである。軸120に沿って可動レンズ110の位置を調整することによって、プローブビームおよびトレーサビームがターゲット116上に集束され、イメージングビームがイメージセンサ118上に集束される。したがって、対物レンズ108は、広い波長範囲（例えば、250nm~1700nm）にわたって動作しなければならない。しかしながら、プローブ、トレーサ、およびイメージングビームに単一のレンズ108を使用することにより、ビームアライメントが維持され、ビーム走査中にビームが変位しない。図1に示すように、レンズ108およびビームスプリッタ104は、ターゲット上にプローブビームおよびトレーサビームを投影し、イメージセンサ118上にターゲット116の画像上を投影する投影システム130を形成する。場合によっては、イメージセンサ118およびファイバ端102は、可視波長において光学的に共役であり、またはほぼ共役である。しかしながら、色収差のために、プローブビーム波長では、イメージセンサ118およびファイバ端102は、一般に、色収差の補正がないと光学的に共役ではない。いくつかの例では、そのような色収差を提供することができ、便利であるが、必須ではない。

30

40

【0040】

実施例 2

図2を参照すると、代表的なレーザレーダ200の一部は、固定レンズ210および可動レンズ208を有する対物レンズ206を含む軸204に沿って配置された投影光学系202を含む。可動レンズ208は、軸204に沿って移動可能であり、イメージセンサ

50

2 1 2 でターゲットの画像を形成し、ターゲットのファイバ端 2 1 4 からのプローブビームおよびトレサビームを走査可能軸 2 1 6 に沿って集束させる。ビームスプリッタ 2 1 8 (典型的にはダイクロイックビームスプリッタ) は、画像ビームをイメージセンサ 2 1 2 に結合し、プローブビームおよびトレサビームをターゲットとファイバ端 2 1 4 との間に結合する。

【0041】

焦点ビームおよびプローブビームは、軸受 2 2 4 によって保持されたシャフト 2 2 2 に固定され、座標系 2 5 0 の z 軸に平行な軸 2 0 4 を中心に回転可能なエレベーション反射器 2 2 0 で走査される。シャフトの回転は、シャフト 2 1 6 に配置されたエンコーダ 2 3 0 を用いて測定される。いくつかの構成要素は、ハウジング 2 3 2 内に配置されている。

10

【0042】

実施例 3

図 3 は、プローブビームおよびトレサビームを標的との間で通信する光学系 3 0 0 を示す。ファイバ端 3 0 4 を有する光ファイバ 3 0 2 は、プローブビームおよび / またはトレサビームまたはその両方をビームスプリッタ 3 0 6 に結合する。ビームスプリッタ 3 0 6 は、それぞれのプリズム面に配置されたダイクロイック (または他の反射面) 反射器 3 1 2 を有する第 1 のプリズム 3 0 8 および第 2 のプリズム 3 1 0 を含む。場合によっては、ダイクロイック反射器 3 1 2 は、プリズム 3 0 8、3 1 0 の一方または両方に塗布された薄膜コーティングによって規定されるか、または別個の基板上的別個のコーティングが使用される。プリズム 3 0 8、3 1 0 をダイクロイック反射器 3 1 2 において互いに固定することが好都合である。ダイクロイック反射器は、伝播軸 3 1 6 に対して角度 θ に配置されている。伝播軸 3 1 6 は、対物レンズに面するプリズム面 3 1 4、ファイバ端 3 0 4 に面するプリズム面 3 1 8、およびイメージセンサ 3 2 4 に面するプリズム面 3 2 0 にほぼ垂直である。上述したように、イメージセンサ 3 2 4 およびファイバ端 3 0 4 は、特に撮像 / トレサ波長において光学的に共役であり得る。

20

【0043】

ダイクロイック反射器 3 1 2 は、ターゲットおよび対物レンズから受けたイメージングビームをプリズム面 3 1 4 へと向けるように配置されており、その結果、イメージングビームは、例えば内部全反射によってプリズム面 3 2 0 へと反射される。角度 θ は、一般に、表面 3 1 4 で内部全反射を提供するように選択されるが、適切な反射率を提供するためにコーティングを提供することができる。45 度より大きい角度 θ は、ダイクロイック反射器 3 1 2 へのビームの入射角を減少させ、その結果、ダイクロイック反射器は、波長の関数としての反射率の変動および / または偏光状態の関数としての反射率の変動などの角度依存変動をより少なく示す。例えば、ビーム入射角を低減する角度 θ は、50°、55°、60°、65°、70°、75°、またはそれ以上とすることができる。

30

【0044】

実施例 4

図 4 を参照すると、ビームコンバイナ / セパレータ光学系 4 0 0 は、トレサビームおよび / またはプローブビームをプレートビームスプリッタ 4 0 6 に伝送するファイバ端 4 0 2 を有する光ファイバ 4 0 1 を含む。プローブビームおよび / またはトレサビームは、プレートビームスプリッタ 4 0 6 (この例では、透過される) によって軸 4 1 6 に沿って対物レンズに結合される。対物レンズから戻されたイメージングビームは、狭帯域フィルタ 4 0 8 を介してプレートビームスプリッタ 4 0 6 によって結合され、イメージセンサ 4 1 0 に集束される。この例では、プレートビームスプリッタ 4 0 6 は、プローブビームがターゲットに効率的に結合され、イメージングビームがイメージセンサ 4 1 0 に効率的に結合されるように、ダイクロイックビームスプリッタである。狭帯域フィルタ 4 0 8 は、トレサビーム波長で減衰する。そのようなフィルタのモデル透過曲線が図 5 A に示されており、例示的なダイクロイックフィルタの代表的な透過曲線 5 0 2 のグラフ 5 0 0 が図 5 B に示されており、図 5 C ~ 図 5 D は、それぞれ、そのようなフィルタを用いておよび用いずに得られた代表的な画像である。

40

50

【 0 0 4 5 】

図 5 B に示す特性を有するダイクロイックフィルタ（ビームスプリッタ）は、例えばプリズム面 3 2 0（図 3 参照）に配置され得る。典型的には、適切なフィルタは、イメージセンサ（図 3 のイメージセンサ 3 2 4 など）に最も近いプリズム面に配置され、選択されたプリズム面上にコーティングとして設けられる。ダイクロイックフィルタは、入射角 0 度における平均透過率が 9 0 % 以上の範囲 5 0 4 において、透過帯域幅 4 8 0 ~ 6 3 0 nm のバンドパス光学フィルタとして機能することができる。ダイクロイックフィルタはまた、5 0 6 に示すように透過率が 5 % ± 3 % である 6 5 2 nm ~ 6 6 2 nm の波長範囲でノッチフィルタの役割を果たす。より長い波長は使用されず、これらの波長でのダイクロイックフィルタ性能は無関係である。図 5 B の例は、図 5 A のモデルよりも容易に製造される。イメージセンサを用いた撮像のための透過率は、約 4 8 0 nm ~ 6 3 0 nm の範囲で 5 0 %、7 5 %、8 0 %、または 9 0 % を超え、トレーサ波長の透過率は 1 0 %、5 %、2 . 5 %、1 %、または 0 . 5 % 未満であることが一般的に好ましい。

10

【 0 0 4 6 】

実施例 5

図 6 A を参照すると、代表的なレーザシステム 6 0 0 は、軸 6 0 8 に沿って配置された固定レンズ 6 0 4 および可動（集束）レンズ 6 0 6 を有する対物レンズ 6 0 2 を含む。集束レンズ 6 0 6 は、一般に、軸 6 0 8 に沿って移動可能であるようにステージに固定される。（集束レンズ 6 0 6 は、第 2 の焦点位置において破線で示されている）。ファイバ端 6 1 0 は、プローブビームおよび / またはトレーサビームを、偏光ビームスプリッタ 6 1 2、混合レンズ 6 1 4、および 1 / 4 波長板 6 1 6 を含む混合光学系 6 0 9 に結合する。以下でさらに説明するように、混合レンズ 6 1 4 は、プローブビームの反射部分が局部発振器ビームとして機能するようにファイバ端 6 1 0 に向かって戻されるように、波長板 6 1 6 の表面 6 1 7 にプローブビームを集束させる。組み合わされたプローブ / トレーサビームは、軸 6 0 8 に垂直な面 6 2 0、6 2 2、6 2 6 を有する二重反射ビームスプリッタ 6 1 8 を介して対物レンズ 6 0 2 によってターゲットに集束される。ダイクロイック面 6 2 3（または他のビームスプリッタ面）は、イメージングビームをターゲットからイメージセンサ 6 3 0 へと向かわせ、プローブビームの戻り部分をターゲットからファイバ端へと、またはファイバ端 6 1 0 に向かって伝送する。イメージセンサ 6 3 0 に到達するトレーサビーム部分を低減するために、図 5 A ~ 図 5 B に示すように、適切な狭帯域フィルタ 6 2 9 を設けることができる。そうでなければイメージセンサ 6 3 0 に到達する可能性があるトレーサビーム部分を低減するために、ノッチフィルタまたは他のフィルタを使用することができる。1 / 4 波長板 6 1 6 をダブルパスすると、戻されたプローブビームと、（LO ビームを形成する）表面 6 1 7 で反射されたプローブビームの一部とが、ファイバ端 6 1 0 から放射されたプローブビームの偏光と直交する共通の直線偏光になる。次いで、戻されたプローブビームおよび LO ビームは、ホモダインまたはヘテロダイン検出のために検出器 6 1 1 で干渉する。図 6 A に示すように、PBS 6 1 2 は、ファイバ端 6 1 0 からのプローブビームを透過し、戻ってきた信号および LO ビームを反射するように配置されているが、PBS 6 1 2 は、プローブビームを反射し、戻ってきたプローブおよび LO ビームを透過するように配置することができる。上述したように、ダイクロイック面 6 2 3 は、より小さい入射角、すなわちキューブビームスプリッタに典型的な 4 5 度未満の角度で使用するように設計することができるため、ダイクロイックコーティング性能の向上を可能にするように傾斜している。加えて、焦点ずれに応じた反射率の変動が低減され、焦点ずれに応じてターゲットイメージ位置がシフトしない傾向がある。プリズム面は軸 6 0 8 に対して好都合に垂直であるが、他の角度を使用することもできる。二重反射ビームスプリッタ 6 1 8 はまた、追加のクリアランス 6 5 0 を提供する。

20

30

40

【 0 0 4 7 】

実施例 6

図 6 B に示す別の例では、1 つまたは複数のプローブビームがファイバ 6 5 2 によって放射され、PBS 6 5 4、プローブビームレンズまたはレンズアセンブリ 6 5 6、1 / 4

50

波長板 6 5 7、二反射プリズム 6 5 8、可動レンズ 6 6 0 および固定レンズ 6 6 2 を介してターゲットに向けられる。プローブビームの一部は、検出器または検出器アセンブリ 6 7 0 に戻され、観察ビームは、二反射プリズム 6 5 8 によってイメージセンサ 6 7 2 に結合される。LO ビームは、PBS 6 5 4 によって検出器 6 7 0 にも向けられる。他の例では、LO ビームは波長板 6 5 7 の表面からの反射によって生成される。

【0048】

イメージセンサ 6 7 2 において高画質の画像を取得するためには、可視波長における色収差を十分に低減する必要がある。しかしながら、可視波長およびプローブ (IR) とポインティング (赤色レーザ) との間の両方で色収差の許容可能な低い値を得ることは、レンズ設計上の困難な課題である。図 6 C は、6 9 5 で示される可視波長 (範囲 6 9 0 において、矢印 6 9 1 で示す色収差) およびプローブ (すなわち、IR) 波長ならびに 6 9 4 でのポインティングビーム波長での色収差を示す。混合レンズ 6 5 6 は、ポインティングビームとプローブビーム (可視および IR) との間の色収差を低減または排除するように選択され、レンズ 6 6 0、6 6 2 は、可視範囲 6 9 0) の色収差を低減するように選択される。フォーカスシフトは、0.5 m から無限遠の範囲のターゲット距離に対して示されており、曲線は、0.5 m のターゲット距離に関連付けられた曲線 6 9 7 を除いて、ほぼ重なり合う。

【0049】

実施例 7

図 7 A は、プローブビームおよびトレーサビームの一方または両方をターゲットとの間で通信し、ターゲットから撮像光 (場合によってはイメージングビームと呼ばれる) を受け取る対物レンズ 7 0 2 を含む光学アセンブリ 7 0 0 を示す。対物レンズ 7 0 2 は、プローブビームおよびトレーサビームをターゲットに集束させ、ターゲットをイメージセンサ 7 0 8 上にイメージすることを可能にする固定レンズ 7 0 4 および可動レンズ 7 0 6 を含む。ビームスプリッタ 7 1 0 は、対物レンズ 7 0 2 を介してターゲットにプローブビームおよびトレーサビームを送り、1 つまたは複数の検出器 (図 7 A には図示せず) に結合するためにターゲットからのプローブビームの少なくとも戻り部分を透過する。ビームスプリッタ 7 1 0 は、ビーム伝播軸 7 1 8 (光学面 7 1 4 は、7 1 6、7 2 0 で折り畳まれた状態で伝播軸に垂直である) に対して垂直に配置された光学面 7 1 2、7 1 4、7 1 6 を含む。伝播軸 7 1 8 は、互いに対して様々な角度にある軸セグメントによって規定される。ビームスプリッタ 7 1 0 は、第 1 のプリズム 7 1 0 A と、第 2 のプリズム 7 1 0 B と、典型的には波長依存反射および透過を提供する多層薄膜コーティングであるビームスプリッタ層 7 2 0 とを備えている。ターゲットの画像を形成するために使用されるイメージングビームは、図 7 では 7 2 2 として示されており、ビームスプリッタ層 7 2 0 によって反射され、次いで光学面 7 1 6 によってイメージセンサ 7 0 8 に反射される。プリズム角 β は、典型的には、イメージングビームが臨界角よりも大きい角度、すなわち $\sin^{-1}(1/n)$ よりも大きい角度で入射するように選択され、 n はプリズム 7 1 0 B の屈折率である。いくつかの例では、プローブビーム (単数または複数) は、上述のように波長板の表面などの平面 7 4 0 に中間焦点を有する。

【0050】

図 7 B を参照すると、ビーム結合および分離のための光学系は、図 7 A のビームスプリッタ 7 1 0 と同様であるが、線源 / 検出器システム 7 6 0 からの 1 つまたは複数のプローブビーム (およびトレーサビームの一部) をターゲットに反射し、1 つまたは複数のプローブビームの戻り部分を線源 / 検出器システム 7 6 0 に結合するダイクロイック面 7 5 4 を有するビームスプリッタ 7 5 2 を含む。画像ビームは、軸 7 6 2 に沿ってイメージセンサ 7 6 4 に送られる。他の例のように、軸 7 6 2 は、互いに対して様々な角度にある軸セグメントによって画定され、軸 7 6 2 の一部は、X 線源 / 検出器システム 7 6 0 およびイメージセンサ 7 6 4 まで延在する。

【0051】

実施例 8

図 8 A を参照すると、光学系 8 0 0 は、プローブビームおよび/またはトレーサビームをビームスプリッタ 8 0 4 に結合するように配置された光ファイバ端 8 0 2 を含む。対物レンズ 8 0 6 は、プローブビーム（単数または複数）をターゲットに集束させることができるように、固定レンズ 8 1 0 および可動（焦点）レンズ 8 0 8 を含む。光学フィルタ 8 2 0 は、プローブビームおよびトレーサビームを受け取り、少なくともプローブビームをターゲットに送るように配置される。フィルタ 8 2 0 は、開口 8 2 4 を有するダイクロイック層 8 2 2 を含む。ダイクロイック層 8 2 2 は、典型的にはリング形状であり、プローブビーム波長で透過性であり、可視波長またはイメージセンサ 8 3 0 によって使用される他の波長で減衰するように選択される。したがって、フィルタ 8 2 0 は、イメージングビームの開口数を低減し、対物レンズ 8 0 6 の設計を単純化することができる。4 0 0 nm ~ 7 0 0 nm の波長範囲（標的撮像用）および 1 3 0 0 ~ 1 6 0 0 nm の波長範囲（プローブビーム集束）で同時に精密撮像およびビーム集束に適したレンズの設計は困難であり得ることが理解されよう。フィルタ 8 2 0 などのフィルタを用いると、プローブビーム開口数は、微細な焦点合わせを可能にするために大きいままであり得るが、イメージングビーム開口数を制限することにより、満足のいく画像が提供される。図 8 A にダイクロイック層 8 2 2 が示されているが、同様の吸収層を使用することができる。開口 8 2 4 の直径または他の寸法は、対物レンズ設計と併せて選択することができる。図 8 A の例では、開口 8 2 4 を通ってダイクロイック層 8 2 2 を通って伝播するための光路長差は、一般に、プローブビームに焦点誤差を導入するのを回避するのに十分に小さく保たれる。

【 0 0 5 2 】

図 8 B ~ 図 8 C に代表的なフィルタ 8 5 0、8 6 0 が示されている。フィルタ 8 5 0 は、減衰リング 8 5 2 と、基板の片面、片面または両面に設けられた透過中央領域 8 5 4 とを含む。減衰リング 8 5 2 には、イメージングビーム（典型的には 4 0 0 nm ~ 7 0 0 nm であるが、他の波長での画像化を使用することもできる。）を優先的に減衰させる吸収性、反射性、偏光性、または他の層を設けることができる。減衰リング 8 5 2 および透過中央領域 8 5 4 は、減衰リング 8 5 2 と透過中央領域 8 5 4 との間の位相差に関連付けられたプローブビーム集束誤差を排除または低減するために、共通の厚さまたは共通の光学的厚さを有することができる。図 8 C の例では、フィルタ 8 6 0 は、透過領域 8 6 4 の周りに配置された減衰リング 8 6 2 を含む。

【 0 0 5 3 】

実施例 9

図 9 A は、1 つまたは複数のプローブビームおよびトレーサビームを偏光ビームスプリッタ（polarizing beam splitter: PBS）9 0 4 および撮像レンズ 9 0 6 に向けるように配置された光ファイバ端 9 0 2 を含む光学系 9 0 0 を示す。撮像レンズ 9 0 6 は、プローブビームを波長板 9 1 0、一般にはプローブビーム内に円形の偏光状態（state of polarization: SOP）を生成する 1 / 4 波長板の表面 9 0 8 に集束させる。典型的には、撮像レンズ 9 0 6 は、波長板 9 1 0 の表面 9 0 8 上に光ファイバ端 9 0 2 の像を形成する。表面 9 0 8 は、プローブビームの一部を、ファイバ端 9 0 2 に戻されるか、そうでなければ通常は局部発振器ビームとして使用するために向けられるように、撮像レンズ 9 0 6 に反射して戻す。表面 9 0 8 は、数パーセントの反射率が一般に十分な局部発振器ビーム出力を生成するのに十分であるため、コーティングされていない表面とすることができる。表面 9 0 8 を撮像レンズ 9 0 6 の焦点に配置することにより、局部発振器ビームは、波長板 9 0 8 の傾斜に応答して低減された変動でファイバ端 9 0 2 に戻される傾向がある。ダイクロイックビームスプリッタ 9 1 2 がプローブビームおよびトレーサビームを受け取り、対物レンズ 9 1 4 がプローブビームをターゲット 9 1 6 に集束させる。戻ったプローブビーム部分は、ファイバ端 9 0 2 に向かって再び結合され、イメージングビームは、ビームスプリッタ 9 1 2 によってイメージセンサ 9 2 0 に反射される。

【 0 0 5 4 】

図 9 A ~ 図 9 B に示すように、撮像レンズ 9 0 6 はまた、プローブビームまたはトレー

サビームのうちの1つまたは複数の中央部分を遮断するように配置された中央遮蔽部922を含む。ほとんどの例では、トレーサビームの一部は、ビームスプリッタ912のターゲットに面する表面926によって反射されたトレーサビームの全部または一部がイメージセンサ920に到達しないように選択された角度直径内で遮断または減衰される。この遮断は、トレーサビームの一部がイメージセンサに到達するのを低減し、その結果、優れたターゲットイメージが生成される。ビーム部分930、931は、軸936（すなわち、より大きな開口数のビーム部分）から変位され、ターゲット916に向かって伝播する。対応するビーム部分は、ビームスプリッタ912によって反射されるが、イメージセンサ920には到達しない。トレーサビームの中央部分932（低開口数部分）は遮断または減衰され、イメージセンサ920に到達せず、または低減されたビームパワーでイメージセンサに到達する。中央遮蔽部922は、典型的には、プローブビームを透過し、トレーサビーム波長で反射するダイクロイック反射器によって提供される。ダイクロイック反射器の寸法は、イメージセンサの対応する寸法に基づく。いくつかの例では、撮像レンズ906は、ビーム角直径 α 内でプローブビームを集束させ、ダイクロイック反射器の寸法は、イメージセンサの対応する寸法と、混合レンズ焦点からダイクロイック反射器までの軸に沿った光学距離と混合レンズ焦点からイメージセンサまでの光学距離との比との積の少なくとも0.5、0.75、1.0、または1.5倍である。図9Cに示すように、イメージセンサ920に反射されるトレーサビーム部分を減衰させる遮蔽寸法 d_{obs} は、 $d_{obs} = (Z_{SENSOR} / Z_{MIXLENS}) D$ として決定することができ、ここで、Dはイメージセンサ寸法であり、 Z_{SENSOR} および $Z_{MIXLENS}$ は混合レンズ焦点からのイメージセンサ920および中央遮蔽部922の軸方向距離である。トレーサビーム部分の除去が望まれる程度に応じて、より大きいまたはより小さい寸法も使用することができる。（便宜上、図9Cは、折り畳まれていない図9Aの光学系を示す。）

10

20

【0055】

図9Dに、トレーサビーム部分がイメージセンサに到達するのを低減する別の手法を示す。図9Aの光学系と同様の光学系において、撮像レンズ952は、波長板960または他の光学素子の表面958にプローブビーム集束を生成する。ダイクロイックコーティング956は、撮像レンズ952に設けられ、入射角および波長の関数として可変透過率を提供する。典型的には、ダイクロイックコーティング956の中央部分は、トレーサビームに対して高反射性であるが、プローブビームに対して透過性である。より高い入射角に関連付けられたものなどのダイクロイック反射器の他の部分は、トレーサビームならびにプローブビームを透過する傾向がある。そのようなコーティングは、ビームスプリッタまたは波長板の平面などの他の表面に配置することができる。図9Eは、代表的なダイクロイックコーティングの透過曲線である。図9Eに示すように、プローブビームは最大30度の入射角で透過されるが、トレーサ波長での透過率は実質的に変化し、垂直入射での透過率は低く、角度の関数として透過率が増加する。

30

【0056】

実施例10

図10を参照すると、光学系1000は、対物レンズ1002と、ターゲット1008に焦点を合わせるためにプローブビームおよびトレーサビームを対物レンズ1002に向ける混合光学系1004とを含む。場合によっては、2つのカウンターチャージされたプローブビームが使用される。混合光学系1004は、1つまたは複数のプローブビームおよびトレーサビームを結合ビーム1013としてPBS1012に向け、次いで混合レンズ1014に向けるファイバ端1010を含む。混合レンズ1014は、結合ビーム1013を波長板1016の表面1018に集束させ、表面1018からのプローブビームの反射部分は、局部発振器ビームとして機能するようにファイバ端1010に向かって戻される。表面1018からの反射部分の偏光状態(SOP)は、90度回転する。波長板1016の反対側は、典型的には反射防止コーティングを有する。

40

【0057】

混合レンズ1014と波長板1016との組み合わせは、波長板1016の傾斜に反応

50

しにくい猫目石再帰反射器 1 0 3 0 として機能する。プローブビーム（単数または複数）および局部発振器ビーム（単数または複数）の一部は、P B S 1 0 1 2 によって、各プローブビーム波長についてプローブビーム部分および L O 部分を受け取るように結合されたそれぞれの検出器を通常含む検出器アセンブリ 1 0 3 2 に向けられる。

【 0 0 5 8 】

実施例 1 1

図 1 1 は、プローブ/トレーサビームが P B S 1 1 1 2 によって混合レンズ 1 1 1 4 に反射されて、表面 1 1 1 8 からの反射部分の偏光状態（S O P）が 9 0 度回転するように、プローブ/トレーサビームを波長板 1 1 1 6 のターゲット側表面 1 1 1 8 に集束させる、図 1 0 と同様の光学系を示す。波長板 1 1 1 6 の反対側は反射防止コーティング 1 1 2 1 を有する。この例では、戻りビーム部分は、ビームスプリッタ 1 1 1 2 によって検出器 1 1 3 2 に送られる。

【 0 0 5 9 】

実施例 1 2

図 1 2 A を参照すると、レーザレーダシステム 1 2 0 0 は、ポインティングレーザ 1 2 0 2、第 1 のプローブレザ 1 2 0 4、およびファイバモジュール 1 2 1 0 に結合された第 2 のプローブレザ 1 2 0 6 を含み、ファイバモジュールは、温度制御可能であり、排気または不活性ガスで満たされ得る密閉容器 1 2 1 1 を含む。プローブレザ 1 2 0 4、1 2 0 6 は、それぞれの光アイソレータ 1 2 0 5、1 2 0 7 を介して結合され、次いで、ファイバモジュール 1 2 1 0 に出力するために第 1 および第 2 のプローブビームを組み合わせる波長分割マルチプレクサ（W D M）1 2 1 2 に結合される。ファイバモジュール 1 2 1 0 は、組み合わせられたプローブビームの一部を W D M 1 2 1 6 に向けるファイバカプラ 1 2 1 4 を含み、W D M は、プローブビームの一部をトレーサレーザ 1 2 0 2 からのトレーサまたはポインティングビーム（赤色または他の可視ビームなど）と組み合わせ、ファイバ端 1 2 1 8 で組み合わせられたプローブ/ポインティングビームを出力する。他の例では、W D M 1 2 1 2 およびファイバカプラ 1 2 1 4 は、密閉容器 1 2 1 1 内に配置された単一のカブラに置き換えられる。カブラ 1 2 1 4 はまた、プローブビーム部分をカブラ 1 2 2 2 に向かわせ、カブラは、一方が基準ファイバ 1 2 2 6 を含む 2 つの異なる経路を介してビーム部分をカブラ 1 2 2 4 に結合する。次いで、カブラ 1 2 2 4 は、異なる経路に関連付けられたビーム部分を結合し、結合ビームを W D M 1 2 2 8 に向かわせ、W D M は、各経路からのビーム部分を、それぞれ第 1 のプローブレザ 1 2 0 2 および第 2 のプローブレザ 1 2 0 4 の波長に関連付けられた基準検出器 1 2 3 0、1 2 3 2 に向ける。基準検出器 1 2 3 0、1 2 3 2 の各々におけるビーム部分は、基準ファイバ 1 2 2 6 の長さならびに第 1 および第 2 のプローブビームにおける周波数チャープに関連付けられた周波数においてヘテロダイン信号を生成する。これらのヘテロダイン信号および既知の基準ファイバ 1 2 2 6 の長さに基づいて、プローブレザ周波数チャープおよび標的 1 2 5 0 から得られる測定信号は、距離測定値のキャリブレーションまたは確認に使用することができる。

【 0 0 6 0 】

ファイバ端 1 2 1 8 は、結合ビームを混合光学系 1 2 3 4 に結合する。P B S 1 2 3 6 は結合ビームを受け取り、混合レンズ 1 2 3 8 は、局部発振器部分を反射して P B S 1 2 3 6 に戻す 1 / 4 波長板 1 2 3 9 の表面 1 2 4 0 にビーム焦点を形成する。結合ビームの他の部分は、ビームがビームスプリッタ 1 2 4 4（プレートとして示されているが、キューブ、二重反射または他のものを使用することができる）を通して、結合ビームをターゲット 1 2 5 0 に集束させるための固定レンズ 1 2 4 8 および可動レンズ 1 2 4 6 を有する対物レンズに伝播する投影光学系 1 2 4 2 に向けられる。ビームスプリッタは、イメージングビームをカメラ 1 2 5 7 に向ける。1 つまたは複数の走査ミラー 1 2 4 9（典型的には図 2 に示すように）は、結合ビームをターゲット 1 2 5 0 に向かわせ、ターゲット 1 2 5 0 からの結合ビームの戻り部分は、投影光学系 1 2 4 2 および混合光学系 1 2 3 4 に向けて戻される。それぞれの局部発振器ビームと共にターゲット 1 2 5 0 から戻されたビー

ム部分は、PBS 1236によってダイクロイックビームスプリッタ1260に反射される。検出器1262、1264は、それぞれの波長に関連付けされたビーム部分および局部発振器ビームを受け取り、対応するヘテロダイン信号を生成するように配置される。他の例では、各検出器の前の波長フィルタと共に通常のビームスプリッタ（すなわち、非偏光性および非二色性）が使用される。そのような構成は、一般に、いくつかの追加の信号損失に関連付けされるが、生成するのにより便利であり得る。

【0061】

図12Aに示すように、局部発振器（LO）ビームは、混合レンズの焦点における1/4波長板表面からの反射を使用して生成される。合成レンズ1238および1/4波長板1239は、1/4波長板1239の表面に集束される入射ビームのための猫目石再帰反射器として機能する。1/4波長板1239の傾斜があっても、プローブビームのLOおよび戻り部分のアライメントが提供される。例えば、7.5mmの混合レンズ焦点距離の場合、-0.6mmから0.6mmの間の正確な焦点からの変位に対する波長板傾斜の関数としてのビームオフセット（スポットオフセット）が図13Aにプロットされている。正確な焦点の場合、スポットオフセットはすべての傾斜に対して0である。図13Bはスポットオフセットの関数としての信号損失を示し、図13Cはビーム1302、1304間の検出器表面でのスポットオフセット（spot offset: SO）を示す。

【0062】

図12Bは、図12Aのレーザレーダ1200と同様のレーザレーダ1280を示す。ただし、図12Bの例では、ファイバ1226などの基準経路の一部または全部の構成要素を含む温度制御オープン1290が示されている。一般に、すべての光ファイバ構成要素をオープン内に配置し、オープンを排気して密封することが好ましい。ファイバ端1218は、プローブビームの一部を検出器アセンブリ1293に向けるPBS1292を含む局部発振器光学アセンブリ1291に結合ビームを向ける。PBSは完全ではなく、したがって「誤った」偏光の一部が反射されるので、反射される部分は総ビームの一部であることに留意されたい。プローブビームの他の部分は、1/4波長板1294に向けられ、標的から戻された部分は、PBS1292によって1/4波長板1294に反射され、次いで再帰反射器1295に反射される。次いで、プローブビームは、図示のように検出器アセンブリ1293に向けられる。図12Aのプレートビームスプリッタ1244の代わりに、キューブビームスプリッタ1296が、観察ビームの一部をカメラ1297に反射するように配置されている。レンズ1238は、レンズ1246、1248を使用するプローブビームおよびイメージングビームの独立した集束を可能にする。

【0063】

図12Cは、猫目石アセンブリ1284および検出器モジュール1281を含む混合光学系1279を示す。猫目石アセンブリ1284は、入力プローブビームを波長板1286の表面に集束させて反射によってLOビームを生成するレンズ1285を含む。検出器モジュール1281は、第1の波長の透過部分が検出器1288に向けられ、第2の波長の反射部分が検出器1289に向けられるように、LOおよび戻りプローブビーム部分をダイクロイックビームスプリッタ1287に向けるPBS1283を含む。第1の波長と第2の波長との間の波長差は、ダイクロイックビームスプリッタ1287による分離のために、1、2、5、10、20、50、または100nm以上とすることができる。混合光学系1279は、コンパクトにすることができ（総体積が2立方インチ未満）、必要な構成要素が少なく、容易かつ安定してアライメントすることができる。

【0064】

実施例13

図14A～図14Dは、二重反射ビームスプリッタに関する。図14Aは、ダイクロイック面1404がプリズム1406の頂角として定義される角度 β で配置された二重反射プリズムビームスプリッタ1400を示す。図14Bは、プリズム角度ならびにビームスプリッタ面1410、1412に垂直な軸1408に対する入射角および反射角を示すプリズム1406の詳細図である。図14Cは、プリズム1406などのプリズムを含むこ

10

20

30

40

50

とができる別の代替の二重反射ビームスプリッタ 1 4 2 0 を示す。図 1 4 D に示すように、二重反射ビームスプリッタ 1 4 5 2 は、プレートダイクロイックビームスプリッタ 1 4 5 4 および反射器 1 4 6 0 を含む。プレートダイクロイックビームスプリッタ 1 4 5 4 および反射器 1 4 6 0 は、軸 1 4 5 6 上に配置されている。反射器 1 4 6 0 は、例えば、透過プレートの表面 1 4 5 8 上に規定することができる。

【 0 0 6 5 】

実施例 1 4

図 1 5 A ~ 図 1 5 C は、レーザレーダもしくはレーザトラッカシステムまたは他の光学測定システムにおいて個別にまたは組み合わせて使用することができる代表的な方法を示す。図 1 5 A に示すように、方法 1 5 0 0 は、1 5 0 2 でプローブビームとトレーサビームとを結合するステップと、1 5 0 4 で固定部分および可動部分を有する対物レンズを用いて、結合ビームをターゲットに向けるステップとを含む。ターゲットから受け取ったプローブビーム部分は、ダイクロイックビームスプリッタに戻され、1 5 0 6 で検出器に向けられる。1 5 0 8 において、画像ビームはイメージセンサに向けられ、1 5 1 0 において、ターゲットにおけるプローブビームの焦点およびイメージセンサにおけるイメージングビームの焦点が可動レンズによって調整される。

【 0 0 6 6 】

図 1 5 B に示されるように、方法 1 5 3 0 は、1 5 3 2 において、1 つまたは複数のプローブビームとトレーサビームとを結合するステップと、1 5 3 4 において、結合ビームを反射面に集束させて、プローブビームの各々の部分を含む逆伝播局部発振器 (L O) ビームを生成するステップとを含む。1 5 3 6 において、ターゲットから受け取ったプローブビームの部分が受け取られ、L O ビームと共に 1 つまたは複数の検出器に向けられる。1 5 3 8 において、戻されたプローブビーム部分と対応する L O ビームとの間のヘテロダイン周波数に基づいて、ターゲット距離または高さが推定される。

【 0 0 6 7 】

図 1 5 C に示されているように、方法 1 5 5 0 は、1 5 5 2 において、(1 つまたは複数のプローブビームおよびトレーサビームなどの) ビームをファイバベース WDM などのビームスプリッタと結合するステップと、1 5 5 4 において、トレーサビームの中央または低 N A 部分を遮断するステップとを含む。1 5 5 6 において、結合ビーム (トレーサビームの中心部分を除く) は、ダイクロイックビームスプリッタに向けられる。1 5 5 8 において、イメージングビームがダイクロイックビームスプリッタからイメージセンサに向けられ、1 5 6 0 において、1 つまたは複数のプローブビームの戻り部分が処理されて距離または高さ推定値が生成される。典型的には、戻りビーム部分は、異なる (ヘテロダイン) 周波数で電気信号を生成するために対応する局部発振器ビームと混合され、ヘテロダイン周波数は距離 / 高さに関してキャリブレーションされる。

【 0 0 6 8 】

実施例 1 5

図 1 6 A は、一般に温度制御された密閉された不活性ガス充填または排気エンクロージャ 1 6 0 3 内に配置されたファイバモジュール 1 6 0 2 を含む代表的なレーザレーダ 1 6 0 0 を示す。ファイバモジュール 1 6 0 2 は、プローブレザ 1 6 0 4 に結合された光アイソレータ 1 6 0 6 およびファイバカップラ 1 6 0 8 を備えている。WDM 1 6 1 0 は、プローブレザ 1 6 0 4 からのプローブビームおよびトレーサレーザ 1 6 1 2 からのトレーサビームの一部を受け取るように結合され、組み合わせられたプローブ / トレーサビームを混合光学系 1 6 1 4 に結合する。混合光学系 1 6 1 4 は、ターゲットから戻されたプローブビームの部分を 1 つまたは複数の検出器 1 6 1 6 に結合して、ターゲット距離または高さを判定するために処理される電気信号を生成する。混合光学系 1 6 1 4 は、組み合わせられたプローブ / トレーサビームを投影光学系 1 6 1 8 に結合し、次いでターゲットへの伝送のためにビームスキャナ 1 6 2 0 に結合する。投影光学系 1 6 1 8 はまた、投影光学系 1 6 1 8 に設けられた対物レンズと組み合わせて、ボアサイトカメラ 1 6 1 7 として機能するイメージセンサにイメージングビームを向ける。ビームスキャナ 1 6 2 0、投影光学

系 1 6 1 8、および混合光学系 1 6 1 4 はまた、プローブビームの戻り部分をターゲットから 1 つまたは複数の検出器 1 6 1 6 に向ける。さらに、基準フォトダイオード 1 6 3 0 は、カプラ 1 6 0 8 から受け取ったプローブビーム部分が、ヘテロダイン信号周波数を距離または高さに関連付けることができるように、所定の長さを有する基準ファイバ 1 6 3 6 に向けられるように、ファイバカプラ 1 6 3 2、1 6 3 4 に結合される。レーザレーダ 1 6 0 0 は、本明細書に開示される混合光学系、投影光学系、およびビームスキャナのいずれかを使用することができ、場合によっては、1 つまたは複数の省略することができる。一変形例では、検出器 1 6 1 6 は省略され、検出器 1 6 2 2 は、信号ビームを受け取るようにファイバモジュール 1 6 0 2 のファイバカプラ 1 6 2 4 に結合される。

【0069】

10

図 1 6 A の例は、単一のプローブレザのみを示しているが、典型的には、異なる波長の 2 つのプローブレザが使用され、レーザは、ターゲット運動に関連付けられたドップラシフトを低減または排除してヘテロダイン検出を可能にするカウンタチャープビームを生成する。ほとんどの例のように、トレーサビームはアライメントを確認するために使用されるが、それ以外は未使用である。

【0070】

実施例 1 6

図 1 6 B を参照すると、代表的な光学系 1 6 5 0 は、第 1 のプローブレザ 1 6 5 4 と、第 2 のプローブレザ 1 6 5 8 と、可視（典型的には赤色発光）レーザ 1 6 5 2 とを含む。各プローブレザビームの一部は、それぞれの検出器 1 6 5 6、1 6 5 8 においてヘテロダイン信号を生成するためにそれぞれの基準経路 1 6 6 6、1 6 6 8 に向けられる。カプラ 1 6 7 0 は、可視 / プローブカプラ 1 6 7 2 において可視レーザ 1 6 5 2 からの可視ビームと組み合わせられるプローブビームの部分を組み合わせる。典型的には、基準ヘテロダイン周波数を安定化させるために、気密封止された温度コントローラエンクロージャ 1 6 6 4 が設けられる。

20

【0071】

実施例 1 7

代替的な光学系 1 6 8 0 が図 1 6 C に示されている。出力ファイバ端 1 6 8 8 にアクチュエータ 1 6 9 0 が取り付けられ、ファイバ端 1 6 8 8 および関連付けされた出力ビームの変位を可能にする。ボイスコイル、圧電、または他のデバイスがアクチュエータとして機能することができる。変位されたビームは、上述のようにビームカプラ 1 6 8 4 および混合光学系 1 6 8 2 を通って、出力ビームを標的に撮像するレンズ 1 6 9 1 に向けられる。ビーム変位は、標的における出力ビームの小さな運動または走査をもたらす。比較的小さなファイバ運動の場合、混合光学系によって生成された LO ビームおよび測定ビームは、使用可能な RF（ヘテロダイン）信号を提供するために検出器 1 6 8 6 で効率的に重なり合ったままである。ボイスコイルまたは圧電スタックなどの小型で高速なアクチュエータを使用することにより、ビームを非常に迅速かつ正確に掃引することができる。二重アクチュエータを使用して、2 つの横方向に掃引することができる。これは、典型的にははるかに遅い走査ミラーを使用せずに孔またはポストなどの特徴を迅速に測定するために、ターゲット上の慎重に選択された点を測定する方法を提供する。この走査に関連付けされたビーム変位に対応するために、より大きな面積の検出器が便利であり得るが、過剰な検出器サイズは検出器帯域幅を制限し、ヘテロダイン信号の大きさを低減する可能性がある。一例では、1 mm のファイバ変位は、0.4 mrad の角度ビーム走査を生成する。単一波長の単一プローブビームのみが図 1 6 C に示されているが、2 つ以上の波長をそれぞれの検出器と共に使用することができる。

30

40

【0072】

実施例 1 8

図 1 7 A ~ 図 1 7 C に示すように、測定システム 1 7 0 0 は、測定を同時に行うことができる複数の測定位置を提供するために複数のファイバ出力 1 7 0 1 を含むことができる。測定システム 1 7 0 0 は、光アイソレータ 1 7 0 5 を介して結合された可視レーザ 1 7

50

02およびプローブレーザ1704を含む。プローブレーザビームの一部は、基準アームトップ（典型的にはファイバカブラ）1706によって、基準アーム1712および可視／プローブカブラ1703に向けられる。1行N列のカブラ1708は、結合された可視／プローブビームを受け取り、N個の結合された可視／プローブ出力ビームを生成する。あるいは、 $1 \times N$ スイッチを使用することができる。これらのN個のビームは、共通の走査投影光学系に向けることができる。便宜上、関連付けされた局部発振器ビームおよび検出器は示されていない。

【0073】

図17B～図17Cは、N個のビームを混合光学系に向けるように構成された光ファイバの代表的なアレイ1720を示す。代表的なファイバ端1722～1726は十字状に配置され、それぞれがコア1727などのそれぞれのコアを有する。出力ファイバが標準的な直径 $125\mu\text{m}$ のPMファイバである場合、そしてファイバが接触している場合、コアは $125\mu\text{m}$ 離れている。このアレイをターゲットに集束させると、図17Dに示すビームパターン1750が生成され、ビームスポット1753～1756は可視ターゲット表面上に直接示され、ビームスポット1752はターゲットの凹部1706内にある。結合ビームの角度分離は、0.5、1、2、5、10、または 20mrad 以上であり得る。大きな分離は、適切なビーム焦点を維持するために対物レンズ特性に注意する必要がある。大きなビーム分離（例えば、0.5、1、2、5、10、 20mm ）を達成することができる。図17Dの例では、孔1706を囲む豆スポット1753～1756は、孔1706の平面までの範囲に関連付けされた戻りプローブビームを同時に提供し、凹部1706の画像を処理して、範囲情報と共に孔直径を提供することができる。そのような測定は、走査を必要とする従来の手法よりもはるかに高速である。

【0074】

図18は、代表的なマルチファイバ光構成を示す図である。この構成では、検出器アレイ1810は、各ファイバの混合信号（すなわち、戻されたプローブビーム部分およびLOビーム）を捕捉するように配置される。複数のファイバ端1802（代表的なファイバ端1802₁、1802₂を含む）は、プローブビームを偏光ビームスプリッタ、ならびに上述のレンズおよび $1/4$ 波長板を含む猫目石アセンブリ1807に向ける。猫目石アセンブリ1807は、プローブビームの一部を $1/4$ 波長板の表面から反射することによってLOビームを生成する。プローブビームは、対物レンズ1811によって物体1812に向けられ、複数のファイバ端1802の各ファイバからのプローブビームは、物体1812に対応するビームスポットを提供する（例えば、代表ビームスポット1808₁、1808₂）。物体1812からのプローブビーム部分は、対物レンズ1811、猫目石アセンブリ1807、およびPBS、ならびに検出器アレイ1810のそれぞれの検出器（例えば、代表的な検出器1810₁、1810₂）に戻される。二重波長プローブビームが使用される場合、ダイクロイックビームスプリッタおよび追加の検出器アレイを使用することができる。2つのファイバ端のみからのビームが示されており、ファイバ端1802₁からのビームは1804₁、1806₁として示され、ファイバ端1802₂からのビームは1804₂、1806₂として示されている。複数のファイバ端1802の各々に関連付けされたヘテロダイン信号は、対応する処理要素1820（処理要素1820₁、1820₂など）で処理されて、距離、範囲、または寸法の推定値を確立する。他の例では、単一の処理システムが使用され、ヘテロダイン信号が一度に1つずつ処理される。例えば、電気スイッチは、すべてのヘテロダイン信号を受け取り、処理のために選択されたヘテロダイン信号を順次結合することができる。図18では、ファイバ端は単一の方向に沿って分布して示されているが、十字形または他の分布（例えば、多角形の対角線、曲線、エッジ、および／または内部に沿って）を使用することができる。

【0075】

実施例19

レーザレーダは、レーダ軸に沿って整列されたカメラを含むことができる。そのような実装形態は、重力および温度などの環境条件に対する空間的配向によって変化するキャリ

10

20

30

40

50

ブレーションパラメータを有する安価な監視カメラを使用することができる。カメラデータは、レーザ走査データとは無関係に処理されて提示され、カメラとレーザレーダデータとの間のリアルタイム調整は困難であり得る。いくつかの開示されている例では、計測カメラは、レーザレーダ測定経路を有する共通の集束光学系を使用するように配置されており、そのようなカメラは、本明細書では共焦点カメラと呼ばれ、関連レーザレーダは共焦点レーザレーダ (confocal Laser Radar: cLR) と呼ばれる。これは、カメラとレーザレーダとの間の6自由度 (degrees of freedom: DOF) にわたる測定値を提供する。そのようなカメラは、高精細カメラとすることができ、LRとカメラデータとのリアルタイム調整を可能にするデータ間のレイテンシを最小化または低減するために、システムアーキテクチャ内の低レベルでカメラデータを提供するように結合することができる。共焦点レーザレーダにおいて2つの測定モード (LRおよびカメラ) を使用することにより、LRを指して関心のある特徴を最適に測定することが可能になる。さらに、低レイテンシデータインターフェースは、リアルタイムアルゴリズムおよびカメラ内で識別可能な特徴の追跡を可能にする。

10

【0076】

レーザレーダは、関心対象表面までの方位角、仰角、および距離を測定する。方位角および仰角は、適切な軸上のエンコーダから読み取られる。距離測定は、ヘテロダイン干渉法で達成され、周囲光からの干渉なしにほぼすべての表面で行うことができる。距離 (R)、方位角 (A) および仰角 (E) の直線座標 XYZ への変換は、以下のような周知の球面座標からデカルト座標への変換によって達成される。

20

$$X_{LR} = R * \cos(E) * \cos(A)$$

$$Y_{LR} = R * \cos(E) * \sin(A)$$

$$Z_{LR} = R * \sin(E)$$

【0077】

キャリブレーションされたカメラは、画像内のすべてのピクセルの方位角および仰角を決定することができる角度測定デバイスとして見ることができる。LRとカメラとが共焦点関係を有することにより、距離測定はカメラ画像にスケールを提供することができる。この関係により、カメラの中心画素を XYZ_{LR} に直接関連付けることができる。シーンへのカメラ焦点面の投影が | LR の中心軸に垂直であることを保証することはできないが、実際の関係はキャリブレーションプロセスによって判定することができる。

30

【0078】

キャリブレーションされたカメラでは、距離が LR によって判定されると、平面特徴をカメラによって直接測定することができる。距離が確立されると、球などの既知の幾何学的形状を有する他の特徴も測定することができる。

【0079】

再び図12Aを参照すると、測定距離 (0.5 m ~ 3.0 m または 5.0 m など) にわたるプローブビーム集束を可能にするために、レンズ1246、1248のうちの1つまたは複数にオートフォーカス (auto-focus: AF) 線形移動ステージ1253が結合される。ビームスプリッタ1244は、ビーム位置をカメラスクリーンまたは他の表示装置に表示できるように、標的または他のシーンからの可視光 (または他の撮像放射) をカメラ1257に反射する。カメラ1257は、1つまたは複数の処理システム1258に結合され、出力を使用して、コンピュータベース測定アルゴリズムのための入力画像を提供することもできる。カメラ1257およびプローブビームは同じ集束光学系を共有するので、カメラセンサアレイと標的上の測定ビームの位置 (測定点) との関係は、カメラ搭載が安定している限り不変のままである。この不変性は、カメラ1257を共焦点カメラとして確立し、オートフォーカスステージ1253を使用して走査ビーム集束を可能にする。一例では、焦点は、カメラ1257によって生成された画像に最大のコントラストを提供するように調整される。そのような構成では、プローブビームを迅速に集束させ、カメラ画像内の選択された位置に向けることができる。異なる焦点位置におけるカメラに対するプローブビームの位置の変動は、存在する場合、周囲温度に起因す

40

50

る任意の変動と同様にキャリブレーションによって補正することができる。レーザレーダフォーカスコントローラ 1 2 5 5 によって提供されるように、レーザレーダプローブビームに基づく焦点信号を使用して、追加の焦点補正を行うことができる。以下で説明する他の例では、処理システム 1 2 5 8 を使用して、より大きな画像を形成するために画像と一緒に繋ぎ合わせ、一緒に繋ぎ合わされる画像の歪みを補正し、ツーリングボールまたは眼球球などのターゲット特徴または対象物を識別または追跡することができる。

【 0 0 8 0 】

実施例 2 0

図 1 9 を参照すると、ターゲット特徴サイズまたは寸法を確立する方法 1 9 0 0 は、1 9 0 2 でターゲット表面までの距離を確立するステップを含む。1 9 0 3 で決定されたようにターゲット表面が平面である場合、1 9 0 4 でターゲット特徴の画像が取得される。ターゲット表面が平面でない場合、ターゲット表面の形状、傾斜、および距離は、1 9 0 5 で、通常は追加の走査によって確立される。あるいは、既知の幾何学的形状の形状または構造の予備画像の歪みを評価することができる。1 9 0 6 において、画像の倍率が、いくつかまたはすべての画像（すなわち、標的）位置について決定される。決定された画像倍率により、1 9 1 0 で、画像上の特徴サイズを実際の寸法に適切にスケールリングすることができる。これらのスケールリングされた寸法は、1 9 1 0 で報告または記憶することができる。いくつかの例では、スケールリングされた寸法を設計寸法と比較して、特徴が正しくサイズ設定されているかどうかを判定する。

【 0 0 8 1 】

実施例 2 1

図 2 0 を参照すると、レーザレーダシステム 2 0 0 0 は、標的方位角および仰角を確立するための報告および調整、距離を報告するレーザ測距測定電子機器、ならびに方位角および仰角を制御するモータを含むレーザレーダ測距システム 2 0 0 2 を含む。共焦点カメラ 2 0 0 4 はまた、ターゲットの画像を生成するように配置され、レーザレーダ測距システム 2 0 0 2 およびカメラ 2 0 0 4 の両方は、組み込みプロセッサ 2 0 0 6 に結合される。したがって、レーザレーダ距離データおよび画像データは、イーサネットまたはユニバーサルシリアルバス（Universal Serial Bus : USB）などのネットワークまたは他の通信接続を介した遠隔プロセッサへのそのようなデータの通信に関連するレイテンシを増加させることなく、組み込みプロセッサ 2 0 0 6 に提供される。図 2 0 の例示的なシステムは、レーザレーダ測距システムと共焦点カメラとを密接に結合することによって得られる迅速な動作で、共焦点カメラとレーザレーダデータとの協働使用を可能にする。これらの測定システムの各々は、データストリームを継続的に作成している。図示のように、このデータは、共焦点レーザレーダに物理的に関連付けられた組み込みコンピュータで組み合わせられる。共焦点レーザレーダを備えた組み込みコンピュータのこの使用は、測定される部品のデジタル表現であるコンピュータ支援設計（computer aided design : CAD）に基づいて選択された特徴が測定される検索を容易にする。多くの場合、CAD 座標で測定される特徴のリストがある。実際の部品が測定される通常の下では、特徴は CAD の理想的な座標にはない。さらに、理想的な測定は、好ましくは、測定装置、ここでは共焦点レーザレーダが測定される特徴の中心にあるときに行われる。任意の予め選択された特徴を識別することができる検索アルゴリズムが実行されなければならないが、これらの検索アルゴリズムは非常に非効率的であり得る。共焦点レーザレーダの共焦点および/または計測関係のために、特徴がカメラの視野内にあるとき、関心のある特徴は自動的にかつ迅速にセンタリングされ得る。

【 0 0 8 2 】

他の例では、測定前に高速アライメントを得ることができる。多くの用途では、システムが対象の特徴を測定する前に、部品へのアライメントを実行しなければならない。アライメントは、（1）レーザレーダが部品との既知の関係を有するツーリングボールのセットを測定する絶対的なアライメント、または（2）特徴のセットに対するアライメントの 2 つのタイプのアライメントとすることができる。上述したように、カメラで検索するこ

10

20

30

40

50

とにより、特徴を迅速に見つけることができる。ツーリングボールの場合、共焦点レーザレーダは追加の利点を有する。レーザレーダをツーリングボール上にセンタリングするためにカメラを使用することができる。すべてのアルゴリズムにおいて、一般に、ツーリングボールの表面測定値をツーリングボールの中心に投影することができるように、ツーリングボールの半径は既知であると仮定される。センタリング後、4つの異なるアルゴリズムを使用することができる：(1) 光沢のあるツーリングボールの場合、カメラがレーザレーダを正確にセンタリングしており、表面までの距離を単に測定していると仮定し、(2) 光沢のあるツーリングボールの場合、W字形レーザレーダ走査を実行してツーリングボールまでの正確な角度を決定し、次いで表面までの距離を測定し、(3) つや消しのツーリングボールの場合、カメラがレーザレーダを正確にセンタリングしており、単に表面までの距離を測定していると仮定し、(4) つや消しのツーリングボールの場合、表面を走査して球体フィットを実行してツーリングボールの位置を判定する。すべての場合において、カメラでセンタリングする能力は、速度および全体的な生産性を向上させる。

【0083】

カメラは、レーザレーダ距離測定と併せて特徴(ツーリングボールなど)を測定することができる。さらに、カメラは、孔、スロット、多角形などの平面特徴を測定することができる。これらのタイプの測定では、特徴の中心に空隙のみがある。したがって、レーザレーダシステムは、特徴の周りの表面を指すようにカメラ視野を意図的にオフセットしなければならない。

【0084】

実施例22

図21を参照すると、代表的な追跡標的2100が示されている。追跡標的2100は、球上に規定された同心円環2102、2104を有する球2101に基づく。リング2102、2104は、異なる色、反射率、表面仕上げ、パターン、またはカメラ画像で容易に見られる他の特徴を有する。標的の他の部分2106、2108は、共通の表面色または仕上げなどを有することができる。場合によっては、部分2106、2108は光沢があり反射率が高いが、リング2102、2104は異なる色を有する。そのような追跡標的は、1、2、3、またはそれ以上のリングを有することができる。このような追跡標的の見え方を考慮して便宜上、本明細書では「眼球球」または「eyeball sphere: ES」と呼ぶ。

【0085】

図22は、ESを使用する代表的な方法2200を示す。ESは、例えば、カメラの視野の外側に部分を有し得る螺旋または角度探索を使用してレーザレーダで探索することによって、2202でカメラの視野内に最初に配置されなければならない。場合によっては、オペレータは、ターゲットまたはレーザレーダ位置を調整することができる。2204で、ESは共焦点カメラで追跡される。ESは、環状リングをカメラ視野の中心に保つことによって追跡することができる(または追跡の誤差を低減する)。リングが視野の中心を離れると、誤差を最小にするようにレーザレーダ(および共焦点カメラ)を配向するようにレーザレーダ内の1つまたは複数のモータに指令される。運動の速度は連続的に計算され、速度が閾値を下回ると、2206でESが運動していないと宣言される。次に、2208において、球の位置の測定がトリガされる。返された測定値は球の中心である。通常、対象の測定値は表面であり、球の測定値は表面に投影される。

【0086】

ESは特に便利であるが、球に取り付けられたコーナーキューブ(「球状に取り付けられた再帰反射器」または「Spherically Mounted Retroreflectors: SMR」と呼ばれる)などの他の追跡ターゲットを使用することができる。そのようなターゲットは、球の中心にコーナーキューブ反射点を有するべきであり、そうでなければ誤差が生じる可能性がある。ESは、SMRとは異なり、誤った取り扱いに応答してミスアライメントを示さない。ESの様々な領域に塗料を提供したり、エッチングしたり、フロストしたり、反射性、金属性、二色性または他のコーティングでコーティ

ングしたりすることができる。

【 0 0 8 7 】

E S または他の追跡標的は、レーザレーダ 2 3 0 4 への高い入射角を有する標的領域の測定を可能にするか、または隠される。図 2 3 を参照すると、追跡標的 2 3 0 2 が異なる位置に示されており、レーザレーダ 2 3 0 4 からのプローブビーム 2 3 0 1 が標的 2 3 0 8 の隠れた領域 2 3 1 0 に到達することを可能にする。

【 0 0 8 8 】

いくつかの例では、E S は、異なる色のリングを追加することによって精密球を変更することによって形成される。リングはまた、再帰反射塗料で充填され、フラッシュによってそれらを非常に視認可能にすることができる。球は、3つの測定モード、すなわち(1)カメラから角度が使用され、球の中心までの距離がレーザレーダから得られるつや消し、(2)球面に適合するつや消し球、または(3)角度を見つけるための鏡面点上のW字形レーザレーダ走査、次いで鏡面点までの距離測定を作成する、つや消し材料または光沢のいずれかで作製され得る。モード2および3では、レーザレーダはすべての測定を行い、カメラはレーザレーダを球の中心に置き、球が動いていないことを検出している。モード1では、カメラは依然として動きの欠如の追跡および検出に使用されるが、カメラの角度測定値はL R 測定値と組み合わされて測定をほぼ瞬時に行う。

【 0 0 8 9 】

実施例 2 3

別のタイプの隠れ点ツールを追跡と共に使用することもできる。図 2 4 に示すように、ベクトルバー 2 4 0 0 を作成することができる。E S 2 4 1 0、2 4 1 2 の中心が、プローブビーム軸 2 4 1 6、2 4 1 7 を有するレーザレーダ 2 4 0 4 によって測定される場合、結果は、測定球 2 4 0 3 の中心または測定点に投影され得る。このような測定は、スタジア測定と呼ぶことができる。完全な 6 D O F ツールは、異なる位置に配置された3つの眼球球を用いて作成することができ、これらの眼球球は同一直線上にある必要はない。

【 0 0 9 0 】

2つの眼球球を用いて、2つの眼球球(XYZ_1 、 XYZ_2)の XYZ 位置である2つの測定が行われる。 XYZ_1 と XYZ_2 との間の距離は重要ではないが、E S 2 5 1 2 と測定球 2 4 0 3 との間の距離 D_m は既知でなければならない。3つすべての球の中心が同一直線上にある場合、優れた測定結果が得られる。測定球 2 4 0 3 の中心は、通常の技術を使用して標的の表面に投影される。測定球 2 4 0 3 の XYZ のサンプル計算は以下の通りである。

【 数 1 】

$$XYZ_m = XYZ_2 + D_m * \frac{XYZ_2 - XYZ_1}{\|XYZ_2 - XYZ_1\|}$$

【 0 0 9 1 】

このような測定は、待ち時間が短いため、各球体ボールを10分の数秒で測定できるため実用的である。固定的に分離された2つの眼球球と測定球とを有する器具が便利であるが、そのような器具は、シャフト 2 4 1 4 に沿って異なる位置に移動することができる単一の眼球球を使用することができる。次いで、各位置での測定値を使用することができる。

【 0 0 9 2 】

実施例 2 4

レーザレーダを使用する自動測定システムは、高価で時間のかかる設定プロセスを必要とし、完了までに数週間を要し、熟練した人員を必要とする可能性がある。本明細書では、計測グレードの高精度度(h i g h d e f i n i t i o n : H D)またはレーザレーダに組み込まれた他のカメラを利用するシステムが開示される。孔、スロット、スタッドおよび他の特徴などの特徴を識別および/または測定するための機械学習アルゴリズムが

提供される。いわゆる「協調ロボット」（通常、ミラーまたは他の光学系を含む）は、死角測定、および測定装置のローカル追跡を可能にして、セットアップ時間を短縮し、測定時間をスピードアップする。

【 0 0 9 3 】

いくつかの開示された例では、測定される部品の周りに配置されるツーリングボールは必要ではなく、拡張現実アプリケーションは、部品の C A D 画像およびカメラ画像をオーバーレイすることができる。これにより、部品の自動検出が可能になり、選択された標的領域を測定 / 走査するようにレーザレーダに指示するために使用することができる。その場合、関心のあるターゲット領域を特定するために長いレーザレーダ走査は必要ない。いくつかの用途では、直接の視線にない点に到達することが隠れているか困難な点の測定のために、レーザレーダと共に追加のミラーが使用される。そのようなミラーは、一般に小さく、したがって、固定位置からの限られた視野を提供する。このようなミラーをロボットに取り付けることにより、この限られた視野を自動化された動きで大きく広げることができる。協調ロボットの使用は、ミラーの容易な位置決めを可能にし、安全のために測定領域を保護する必要がある。したがって、協調ロボットは、静的なミラー位置よりも大きな視野を可能にし、単一のレーザレーダ位置からのより多くの測定も可能にする、複数の再現可能で安定した位置にミラーを配置することができる。

【 0 0 9 4 】

図 2 5 A を参照すると、ミラー 2 5 0 6 は、協調ロボット (c o l l a b o r a t i v e r o b o t : C O B O T) 2 5 0 4 のツールフランジ 2 5 0 7 に取り付けられる。典型的には、C O B O T は、ミラー 2 5 0 6 を選択された位置および角度に設定することができるように、1 つまたは複数の移動ステージおよび 1 つまたは複数の回転ステージを含む。いくつかの例では、ツーリングボール 2 5 2 8 は、剛性シャフト上のミラー 2 5 0 6 の前方のオフセットに取り付けられる。(この例ではツーリングボールが使用されているが、計測カメラを含むシステムはツーリングボールを使用する必要はない。) レーザレーダ 2 5 0 0 は、レーザレーダ 2 5 0 0 を反復可能に位置決めすることができるよう、単一の固定位置に配置されるか、またはプログラム可能ポジションに固定される。ミラー 2 5 0 6 の位置は、手動で、またはシミュレーションソフトウェアを使用して、選択されたレーザレーダ位置から測定対象物の隠れた特徴が見えるようにロボット 2 5 0 4 にプログラムされる。図 2 5 B に示すように、ツーリングボール 2 5 2 8 の初期位置は、レーザレーダ 2 5 0 0 を用いて直接および間接的 (すなわち、ミラー 2 5 0 6 におけるツーリングボール 2 5 2 8 の反射を介して) の両方で測定され、ツーリングボール 2 5 2 8 の公称位置を決定し、ツーリングボール 2 5 2 8 の中心とミラー 2 5 0 6 内のツーリングボール像とを結ぶ線の垂直二等分面を通るミラー 2 5 0 6 の表面を画定する。C O B O T 2 5 0 4 の移動に加えて、ツールフランジ 2 5 0 7 が固定されたアーム 2 5 0 5 を移動させて、物体 2 5 0 8 上の追加の位置にアクセスすることができる。

【 0 0 9 5 】

この設定に続いて、C O B O T 2 5 0 4 は、複数のプログラムされた位置の各々へと駆動されることができ、レーザレーダ 2 5 0 0 は、先に得られた公称値に基づいてツーリングボールを自動的に測定することができる。これにより、サンプル測定に使用するためのミラー位置の自動で正確な決定が可能になる。場合によっては、典型的には、より低い精度が十分である場合、ロボットの再現性が十分であり得る。

【 0 0 9 6 】

ミラー測定および C O B O T 位置決めを調整するために、C O B O T からのデジタルまたは物理 I O には、測定 P C への直接接続、または O P C 、 P r o f i n e t もしくは他の標準 P L C インターフェースに基づくプログラマブルロジックコントローラ (p r o g r a m m a b l e l o g i c c o n t r o l l e r : P L C) を介した接続のいずれかが提供される。P C 上のインターフェースソフトウェアは、C O B O T からの移動信号および位置内信号、ならびにレーザレーダからの測定信号と調整することができる。これは、他のものを教示するために接続する別個のソフトウェアプラットフォームを備えてもよ

10

20

30

40

50

く、または P L C との通信およびレーザレーダ自体の両方を制御するのに適した単一のソフトウェアの一部であってもよい。

【 0 0 9 7 】

取り付けられたツーリングボール 2 5 2 8 と組み合わせて C O B O T 2 5 0 4 およびミラー 2 5 0 6 を使用することにより、より高速な測定が可能になり、レーザレーダまたは部品の再配置を低減した測定が可能になり、必要なツーリングボール測定の回数が低減される。単一のレーザレーダ位置に対して複数のミラー位置を作成することができ、部品の他の測定中にミラー移動を行うことができ、デッド測定時間を短縮し、または再配置移動中に同時に行うことができる。C O B O T 2 5 0 4 は、必ずしも安全フェンシングまたはゾーニングを必要とせず、したがって、部品の近くに配置することができ、オペレータが近くににいる間に移動することさえできる。ミラー 2 5 0 6 の自動洗浄は、ミラー表面上への材料の堆積を防止するために、パッドを介した、またはエアコームもしくは送風機からの C O B O T 2 5 0 4 の力フィードバックに基づくことができる。

10

【 0 0 9 8 】

図 2 5 A は、C O B O T 2 5 0 4 におけるツーリングボール 2 5 2 8 に加えて、測定対象物 2 5 0 8 に配置された代表的なツーリングボール 2 5 2 0 ~ 2 5 2 3 を示す。ツーリングボール 2 5 2 8 および 2 5 2 0 ~ 2 5 2 3 は、走査面 2 5 0 1 からのビーム走査にตอบสนองして、それぞれの軸 2 5 1 0 および 2 5 1 1 ~ 2 5 1 4 に沿って照射することができる。

【 0 0 9 9 】

実施例 2 5

ボアサイトカメラ/レーザレーダシステムは、ターゲットの異なる部分に関連付けされた複数の画像をともに繋ぎ合わせることによってターゲットイメージの取得を可能にする。各カメラ画像は、レーザレーダで得られたターゲット距離に関連付けることができ、任意のカメラ傾斜は、上述したように既知の形状の特徴を使用して補正することができる。図 2 6 に示す代表的な方法 2 6 0 0 では、2 6 0 2 において、共焦点レーザレーダが固定位置に設定され、2 6 0 4 において、ターゲットの少なくとも一部の画像が取得される。2 6 0 6 において、レーザレーダプローブビームを使用してターゲット部分までの距離が測定される。2 6 0 8 において、取得された画像および関連付けされた距離、方位角、仰角、およびレーザレーダ位置座標が格納される。2 6 1 0 において、追加の画像が意図されているかどうかが判定される。そうであれば、レーザレーダ位置を 2 6 0 2 に設定して画像取得を繰り返す。レーザレーダ位置は、以前の位置、または選択された新しい位置に固定されたままであり得る。すべての意図された画像が取得された場合、2 6 1 2 で画像はより大きな対象領域の画像を作成するために繋ぎ合わせされる。この画像は、特定のターゲット特徴の位置を特定し、特徴測定値を提供し、追加のレーザレーダ測定のためのターゲット領域を識別するために、または他の目的のために使用することができる。典型的な例では、レーザレーダは、評価中のターゲットの全体図を生成するために 1 回または複数回再配置される。

20

30

【 0 1 0 0 】

場合によっては、画像の繋ぎ合わせは、カメラ/プローブビームキャリブレーション後に優れた結果をもたらす。例えば、いくつかの例では、カメラ視野中心は、プローブビーム/トレーサビームが入射するターゲット上の位置に対応する画像部分を含む 1 つまたは複数の画像に基づいて決定される。別の例では、グリッドパターンの画像を評価して、カメラおよびプローブビームによって使用される投影レンズによって導入される画像歪みを判定することができる。そのような歪みは、繋ぎ合わせされる画像に対して修正または補正することができる。

40

【 0 1 0 1 】

実施例 2 6

図 2 7 を参照すると、共焦点レーザレーダ 2 7 0 4 などのレーザレーダと共に使用するための代表的な制御および測定装置 2 7 0 0 は、測定コントローラ 2 7 0 6 および埋め込み特徴プロセッサ 2 7 0 8 を含む。これらの一方または両方は、1 つまたは複数の中央処

50

理装置、FPGA、ASICに、またはシステムオンチップ(System on a Chip: SOC)として実装することができる。図示のように、測定コントローラ2706に通信される特徴セット2710には、1つまたは複数の特徴が含まれ、各特徴について、対応する走査パスの要求を特徴プロセッサ2708に通信する。走査パスが返され、レーザレーダ2704の適切な走査が実行され、レーザレーダ測定データが特徴プロセッサ2708に返される。満足のいく測定データを受け取ると、特徴プロセス2708は、測定が完了したことを測定コントローラ2706に通信する。同様のメッセージングが特徴セット2710の各特徴について実行され、1つまたは複数の他の走査経路の走査が処理されている間に、1つまたは複数の走査経路に対するデータの処理を実行することができる。特徴セット2710は、部品寸法、孔のサイズおよび位置、部品形状、向きなどの様々な標的特徴の仕様を含むことができる。レーザレーダ2704から返される走査データは、レーザ距離データおよび/または共焦点カメラで得られた画像データを含むことができる。

【0102】

実施例27

適切な撮像システム(高精細カメラなど)を含むレーザレーダでは、レーザレーダプロブビームは、ターゲットイメージから選択された特徴に基づいて関心領域に向けることができる。そのような測定では、ツーリングボールは必要とされない。さらに、ターゲット設計(CAD画像など)は、部品評価のためにカメラ画像でオーバーレイまたは他の方法で表示することができる。評価される特徴は、カメラ画像、および特徴測定のために生成された走査経路から識別することができる。レーザレーダは、部品評価のためにこれらの走査経路で駆動することができる。上記のように、協調ロボットに配置されたミラーは、そうでなければレーザレーダの再配置なしでは不可能である測定に使用することができる。場合によっては、協調ロボットは、選択された走査経路に基づいて制御される。協調ロボットは、人間のオペレータに厳しい安全対策を必要とする空間に配置することができ、したがって測定プロセスを簡素化する。場合によっては、レーザレーダまたは他の測定装置の位置は、GPS、ジャイロスコープ、および/または加速度計を使用して決定することができ、場合によっては、そのような追跡は、アライメントのためにツーリングボールを使用する必要性を排除することができる。

【0103】

対照的に、従来のレーザレーダは、各ロボット位置に対して部品上に4つのツーリングボールを配置する必要がある。通常、10以上のロボット位置が必要である。本明細書に開示されるようにツーリングボールなしでアライメントすることができるレーザレーダは、迅速で簡単な部品のセットアップおよび測定を可能にすることができる。上述のようにカメラを使用して、機械学習を使用して、部品が対応するCAD設計に適合するという仮定に依存することなく、特徴を検出し、誤った位置にあるように見える特徴を識別し、特徴パラメータを調整することができる。

【0104】

実施例28

図28は、船舶、航空機、または他のシステムもしくは装置の一部の1つまたは複数の構成要素を製造し、そのような製造された構成要素を評価および再処理するのに適した代表的な製造システム2800を示す。システム2800は、典型的には、上述のレーザレーダシステムなどの形状またはプロファイル測定システム2805を含む。製造システム2800はまた、設計システム2810と、成形システム2820と、コントローラ2830と、修復システム2840とを含む。コントローラ2830は、設計および/または測定された1つまたは複数の製造された構造の測定および設計座標または他の特性を記憶するように構成された座標記憶装置2831を含む。座標記憶装置2831は、一般に、ハードディスク、ランダムアクセスメモリ、または他のメモリデバイスなどのコンピュータ可読媒体である。典型的には、設計システム2810、成形システム2820、形状測定システム2805、および修復システム2840は、ネットワークプロトコルを使用し

10

20

30

40

50

て通信バス 2815 を介して通信する。

【0105】

設計システム 2810 は、製造される構造物の形状、座標、寸法、または他の特徴に対応する設計情報を作成し、作成した設計情報を成形システム 2820 に伝達するように構成される。さらに、設計システム 2810 は、設計情報を記憶のためにコントローラ 2830 の座標記憶装置 2831 に通信することができる。設計情報は、典型的には、生成される構造のいくつかまたはすべての特徴の座標を示す情報を含む。

【0106】

成形システム 2820 は、設計システム 2810 によって提供された設計情報に基づいて構造を生成するように構成される。成形システム 2820 によって提供される成形プロセスは、鋳造、鍛造、切断、または他のプロセスを含むことができる。形状測定システム 2805 は、製造された構造の一以上の特徴の座標を測定し、測定された座標を示す情報または構造形状に関連付けられた他の情報をコントローラ 2830 に通信するように構成される。

【0107】

コントローラ 2830 の製造検査部 2832 は、座標記憶部 2831 から設計情報を取得し、プロファイル測定装置 100 から受け取った座標やその他の形状情報等の情報と、座標記憶部 2831 から読み出した設計情報とを比較するように構成されている。製造検査部 2832 は、一般に、ランダムアクセスメモリ、フラッシュドライブ、ハードディスク、または他の物理的装置などの有形のコンピュータ可読媒体に記憶されたプロセッサおよび一連のコンピュータ実行可能命令として提供される。設計と実際の構造データとの比較に基づいて、製造検査部 2832 は、一般に座標記憶装置 2831 に記憶することもできる 1 つまたは複数の設計公差に基づいて、製造構造が設計情報に従って成形されているか否かを判定することができる。すなわち、製造検査部 2832 は、製造された構造物の良否を判定することができる。そして、製造検査部 2832 は、構造物が設計情報にしたがって成形されていない（不良である）場合、構造物の修復が可能であるか否かを判定する。修復可能である場合、製造検査部 2832 は、製造された構造の欠陥部分を識別し、適切な座標または他の修復データを提供することができる。製造検査部 2832 は、1 つまたは複数の修復命令または修復データを生成し、修復命令および修復データを修復システム 2840 に転送するように構成される。そのような修復データは、修復を必要とする場所、必要な再成形の程度、または他の修復データを含むことができる。修復システム 2840 は、修復データに基づいて製造された構造の欠陥部分を処理するように構成される。

【0108】

実施例 29

図 29 は、図 28 に示すような製造システムを組み込むことができる代表的な製造方法 2900 を示すフローチャートである。2902 において、製造される構造物の形状に対応して設計情報が取得または作成される。2904 において、構造物は、設計情報に基づいて製造または「成形」される。2906 において、製造された構造の座標、寸法、または他の特徴が、製造された構造に対応する形状情報を得るために、上述のレーザレーダシステムなどのプロファイル測定システムを用いて測定される。2908 において、製造された構造は、実際の寸法と設計寸法、座標、製造公差、または他の構造パラメータとの比較に基づいて検査される。2910 において、製造された構造物が良品であると判定された場合、製造された部品が受け入れられ、2914 において処理が終了する。2910 において、例えば図 19 に示すようにコントローラ 1930 の製造検査部 1932 によって製造部品が不良であると判定された場合、2912 において、製造部品が修復可能であるかどうかを判定することができる。修復可能な場合、製造された部品は、2916 で再処理または修復され、次いで、それぞれ 2906、2908、2910 で測定、検査、および再評価される。製造された部品が 2912 で修復不可能であると判定された場合、プロセスは 2914 で終了する。

【0109】

10

20

30

40

50

図 2 9 の方法によれば、プロファイル測定システムを使用して、製造された構造の座標または他の特徴を正確に測定または評価することにより、製造された構造を評価して、構造が欠陥であるか否かを判定することができる。さらに、製造された構造体が不良であると判定された場合、設計および実際の構造体の寸法および特徴に基づいて部品が修復可能であるとみなされる場合、再処理プロセスを開始することができる。測定、検査、評価工程を繰り返すことで、不良品を再処理したり、不良品であっても修復できないものを廃棄したりすることができる。図 2 8 ~ 図 2 9 の特定のシステムおよび方法は例示にすぎず、他の構成を使用することができる。

【 0 1 1 0 】

上記の実施形態では、構造物製造システム 2 8 0 0 は、本明細書に開示されたレーザレ
ーダおよび関連する光学系などのプロファイル測定システムと、設計システム 2 8 1 0 と
、成形システム 2 8 2 9 と、部品が許容可能であるか否かを判定するように構成されたコン
ントローラ 2 8 3 0 (検査装置) と、修復システム 2 8 4 0 とを含むことができる。しか
しながら、他のシステムおよび方法を使用することができ、図 2 8 ~ 図 2 9 の例は、説明
を簡便にするために提供されている。

【 0 1 1 1 】

実施例 3 0

上記で開示したようなレーザベースの測定システム用の基準アセンブリの追加の実施形
態を図 3 0 A ~ 図 3 0 B に示す。図 3 0 A を参照すると、基準アームアセンブリ 3 0 0 0
は、典型的には排気または不活性ガスで満たされた気密エンクロージャ 3 0 0 2 に結合さ
れた真空定格ファイバフィードスルー 3 0 0 2 ~ 3 0 0 5 を含む。ファイバフィードス
ルー 3 0 0 2、3 0 0 3、3 0 0 4 は、典型的には、ポインティングレーザ 3 0 0 8、プロ
ーブレザ 3 0 0 9、および基準検出器 3 0 1 0 にそれぞれ結合される。ファイバフィ
ードスルー 3 0 0 2 は、トレーサビームを第 1 のカプラ 3 0 1 2 に送る。ファイバフィ
ードスルー 3 0 0 3 は、プローブビームをアイソレータ 3 0 1 4 に送り、次いで、アイソレ
ータは、プローブビームを第 1 のカプラ 3 0 1 2 に結合する。組み合わされたプローブ/ト
レーサビームは、上述したような適切な走査、集束、および検出システムに送るために、
第 1 のカプラ 3 0 1 2 からファイバフィードスルー 3 0 0 5 に向けられ、次いで F C / A
P C コネクタ 3 0 1 6 などの光ファイバコネクタに向けられる。第 1 のカプラ 3 0 1 2 は
、アイソレータ 3 0 1 4 からのプローブビームの一部を、このビーム部分をそれぞれの経
路 3 0 2 2 A、3 0 2 2 B に沿って伝播する第 1 および第 2 の部分に分割する第 2 のカプ
ラ 3 0 2 0 に向ける。必要に応じて、ファイバフィードスルー 3 0 0 3 とアイソレータ 3
0 1 4 との間にファイバ遅延長 3 0 8 0 を配置して、内部構成要素 (プローブレザなど)
からの反射が典型的な測定範囲外のヘテロダイン周波数を生成するようにすることがで
きる。経路 3 0 2 2 A、3 0 2 2 B は、典型的には、これらの経路のうちの 1 つに追加の
ファイバ長を含めることによって提供される安定した固定された経路差を有する。第 3 の
カプラ 3 0 2 4 は、経路 3 0 2 2 A、3 0 2 2 B から第 1 および第 2 のビーム部分を受け
取り、これらの部分を結合し、結合された部分をファイバフィードスルー 3 0 0 4 を介し
て基準検出器 3 0 1 0 に向ける。固定経路差は、第 1 のビーム部分と第 2 のビーム部分と
の間のビート信号を特定の長さに関連付けることを可能にする。

【 0 1 1 2 】

エンクロージャ 3 0 0 2 は、典型的には、銅製であり、熱電 (t h e r m o e l e c t
r i c : T E C) モジュール 3 0 8 3 および制御電子機器 3 0 8 4 によって温度制御され
る。エンクロージャ 3 0 0 2 の外側には、通常、エンクロージャ 3 0 0 2 を周囲環境から
絶縁するためにエンクロージャ 3 0 0 2 を取り囲む絶縁体 (図示せず) が設けられる。エン
クロージャ 3 0 0 2 は、ボルトおよびリングによって封止された蓋を有する。エンク
ロージャ 3 0 0 2 を排気または窒素などの他のガスで満たすために、管 3 0 8 2 を設ける
ことができる。管 3 0 8 2 は、エンクロージャの蓋に配置することができ、銅で作ること
ができる。そのような管は、一般に、エンクロージャ 3 0 0 2 の排出または充填後にピン
チオフまたは他の方法でシールされる。銅は便利な材料であるが、他の材料を使用するこ

10

20

30

40

50

ともできる。場合によっては、エンクロージャは乾燥ガスで満たされる。

【0113】

図30Bを参照すると、デュアルプローブビームと共に使用するための基準アームアセンブリ3040は、典型的には排気または不活性ガスで満たされた気密エンクロージャ3042に結合されたファイバフィードスルー3043A～3043Fを含む。ファイバフィードスルー3043A、3043B、3043C、3043D、3043Fは、通常、それぞれ、ポインティングレーザまたはトレーシングレーザ3048、第1のプローブレザ3049A、第2のプローブレザ3049B、第1の基準検出器3050A、および第2の基準検出器3050Bに結合される。ファイバフィードスルー3043Aは、トレーサビームを第1のカブラ3052に送り、ファイバフィードスルー3043B～3043Bは、プローブビームをアイソレータ3054A～3054Bに送り、次いで、アイソレータ3054A～3054Bは、プローブビームを第2のカブラ3055に結合する。組み合わせられたプローブビームは、第2のカブラ3055から第1のカブラ3052に向けられ、組み合わせられたプローブ/トレーサビームは、ファイバフィードスルー3043Fに向けられ、次いで、適切な走査、集束、および検出システムに送るためのFC/APCコネクタ3056などの光ファイバコネクタに向けられる。ファイバカブラ3052は、使用されない出力3090を含み、3070で後方反射を低減または排除するために終端される。

10

【0114】

第2のカブラ3055は、アイソレータ3054A、3054Bからの組み合わせられたプローブビームの一部を方向付け、次いで結合ビーム部分をそれぞれの経路3062A、3062Bに沿って伝播する第1の部分と第2の部分とに分割する第3のカブラ3060に向ける。必要に応じて、ファイバ遅延長3045A、3045Bは、ファイバフィードスルー3043B、3043Cとアイソレータ3054A、3054Bとの間に配置され得る。経路3062A、3062Bは、典型的には、これらの経路のうちの一方に追加のファイバ長3047を含めることによって提供される安定した固定された経路差を有する。第3のカブラ3064は、経路3062A、3062Bから第1および第2のビーム部分を受け取り、これらの部分を組み合わせ、組み合わせた部分をファイバフィードスルー3043D、3043Eを介してそれぞれの基準検出器3050A、3050Bに向ける。固定経路差は、第1のビーム部分と第2のビーム部分との間のビート信号を特定の長さに関連付けることを可能にする。最も実用的な例では、光学フィルタ3080A、3080Bは、基準検出器3050Aが第1のプローブレザ3049Aによって提供される第1の波長のビーム部分のみを受け取り、基準検出器3050Bが第2のプローブレザ3049Bによって提供される第2の波長のビーム部分のみを受け取るように配置される。例えば、第1および第2の波長は、約1550nmおよび1560nmであり得る。ファイバ遅延長3045A、3045Bは、ファイバフィードスルー3043B、3043Cとアイソレータ3054A、3054Bとの間に配置されてもよく、その結果、内部構成要素からの反射は、典型的な測定範囲外となり得るヘテロダイン周波数を生成する。波長分離のために、第3のカブラ3064および光フィルタ3080A、3080Bの代わりに、波長分波カブラを用いてもよい。

20

30

40

【0115】

図30A～図30Bの例では、プローブビームに使用される光ファイバは、通常、偏光保持シングルモード(polarization retaining single mode: PRSM)ファイバであり、トレーサビームの場合、PRSMファイバは通常使用されない。ヘテロダイン周波数を確立するために使用される長さの差は、一般に1m～200m、典型的には5、10、15、20、25、または50mの長さのファイバを使用する。

【0116】

実施例31

図31を参照し、共焦点撮像を伴う代表的なレーザレーダシステム3100は、軸31

50

01 に沿って、第1のレンズ3106に、次いで波長板3108に、プローブビームおよびトレサビームを向けるビームスプリッタ3104を含み、波長板は上述のように反射によって局部発振器（LO）ビームを生成するために使用することができる。LOビームは他の方法でも生成することができ、波長板3108からの反射は好都合な例にすぎない。次いで、プローブ/トレサビームは、キューブビームスプリッタ3110（または上述のプレートビームスプリッタもしくは二重反射ビームスプリッタ）などのビームスプリッタを介して、固定レンズ部分3116および可動（集束）レンズ部分3114を含む対物レンズ3112に向けられる。ビームスキャナ3120は、集束されたプローブ/トレサビームを受け取り、ビームをターゲットに向ける。イメージセンサ3122は、レーザレーダが共焦点撮像を提供するように軸3101上に配置されている。フォーカスコントローラ3124は、イメージセンサ3122に結合され、移動ステージまたは他の移動機構3126を用いて可動レンズ3114を調整することによってターゲットからの画像のオートフォーカスを提供する。プローブビームの戻り部分は、ビームスプリッタ3104に向けられ、次いで検出器3128に向けられる。検出器3128で生成されたヘテロダインまたは他の信号は、ターゲット表面の特性評価を可能にする。

【0117】

フォーカスコントローラおよび移動機構3126によるオートフォーカスは、プローブビームが様々なターゲット領域を走査するときにプローブビームのフォーカスを維持することを可能にする。従来のシステムでは、ターゲットにプローブビームの焦点を確立することは時間がかかる可能性がある。共焦点イメージセンサを使用すると、イメージセンサ3122で生成されたターゲットイメージを使用して迅速な焦点調整が可能になる。したがって、焦点を確立および調整することができ、イメージセンサ3122およびフォーカスコントローラ3124を使用して、プローブビームを視野の任意の選択部分に向けることができる。画像をつなぎ合わせてターゲットのパノラマ画像を提供するための、特徴を識別する処理のために、非一時的なコンピュータ可読メモリまたはネットワーク接続3130がイメージセンサ312から画像を受け取る。

【0118】

実施例32

図32は、基板またはターゲットに固定されたツーリングボールを追跡する（またはターゲット特徴を追跡する）代表的な方法を示す図である。1つまたは複数のツーリングボールをターゲットに固定して、座標決定のための基準点を提供することができる。ツーリングボールは、一般に、レーザレーダなどのレーザベースの測定装置において探索ビームの十分な反射を提供するために、反射ボール形状の表面を含む。

【0119】

図32に示すように、3202において、走査された探索光ビームの戻り部分に基づいて、ツーリングボールの位置が特定され、記録される。光ビームは、ツーリングボールを追跡するために、円、螺旋、w形、またはジグザグなどの様々なパターンで走査することができる。3204において、特定された位置が評価されて、一次走査に対する位置を決定する。一次走査は、3206において、ツーリングボールの位置が一次走査に対して好ましい位置にあるように調整される。典型的には、一次走査は、ツーリング位置が一次走査範囲内のほぼ中心になるように調整される。3208において、追加の走査に関する判定が行われる。

【0120】

実施例33

図33および以下の説明は、上記の方法のいずれかを含む、開示された技術が実装される例示的なコンピューティング環境の簡潔で一般的な説明を提供することを意図している。必須ではないが、開示された技術は、パーソナルコンピュータ（PC）によって実行されるプログラムモジュールなどのコンピュータ実行可能命令の一般的な文脈で説明される。一般に、プログラムモジュールは、特定のタスクを実行する、または特定の抽象データ型を実装する、ルーチン、プログラム、オブジェクト、構成要素、データ構造などを含

10

20

30

40

50

む。さらに、開示された技術は、ハンドヘルドデバイス、マルチプロセッサシステム、マイクロプロセッサベースまたはプログラム可能な家庭用電化製品、ネットワークPC、ミニコンピュータ、メインフレームコンピュータなどを含む他のコンピュータシステム構成で実施されてもよい。開示された技術はまた、通信ネットワークを介してリンクされた遠隔処理装置によってタスクが実行される分散コンピューティング環境で実施されてもよい。分散コンピューティング環境では、プログラムモジュールは、ローカルおよび遠隔メモリ記憶装置の両方に配置されてもよい。

【0121】

図33を参照すると、開示された技術を実装するための例示的なシステムは、例示的な従来のPC3300の形態の汎用コンピューティングデバイスを含み、これは、1つまたは複数の処理ユニット3302と、システムメモリ3304と、システムメモリ3304を含む様々なシステム構成要素を1つまたは複数の処理ユニット3302に結合するシステムバス3306とを含む。システムバス3306は、メモリバスまたはメモリコントローラ、周辺バス、および様々なバスアーキテクチャのいずれかを使用するローカルバスを含むいくつかのタイプのバス構造のいずれかであってもよい。例示的なシステムメモリ3304は、読み出し専用メモリ(read only memory: ROM)3308およびランダムアクセスメモリ(random access memory: RAM)3310を含む。PC3300内の要素間の情報の転送を助ける基本ルーチンを含む基本入出力システム(basic input/output system: BIOS)3312は、ROM3308に記憶されている。メモリ3304はまた、形状識別および処理、レーザレダおよびCOT制御および通信、ならびに設計データの取得のそれぞれのためのコンピュータ実行可能命令およびデータを含む部分3371~3373を含む。

【0122】

例示的なPC3300は、ハードディスクからの読み出しおよびハードディスクへの書き込みのためのハードディスクドライブ、リムーバブル磁気ディスクからの読み出しまたはリムーバブル磁気ディスクへの書き込みのための磁気ディスクドライブ、およびリムーバブル光ディスク(CD-ROMまたは他の光学媒体など)からの読み出しまたはリムーバブル光ディスクへの書き込みのための光ディスクドライブなどの、1つまたは複数の記憶装置3330をさらに含む。そのような記憶装置は、それぞれ、ハードディスクドライブインターフェース、磁気ディスクドライブインターフェース、および光学ドライブインターフェースによってシステムバス3306に接続することができる。ドライブおよびそれらの関連するコンピュータ可読媒体は、PC3300のためのコンピュータ可読命令、データ構造、プログラムモジュール、および他のデータの不揮発性記憶を提供する。磁気カセット、フラッシュメモ리카ード、デジタルビデオディスク、CD、DVD、RAM、ROMなど、PCによってアクセス可能なデータを格納することができる他のタイプのコンピュータ可読媒体も、例示的な動作環境で 사용할 ことができる。

【0123】

複数のプログラムモジュールは、オペレーティングシステム、1つまたは複数のアプリケーションプログラム、他のプログラムモジュール、およびプログラムデータを含む記憶装置3330に記憶することができる。ユーザは、キーボードおよびマウスなどのポインティングデバイスなどの1つまたは複数の入力デバイス3340を介して、PC3300にコマンドおよび情報を入力することができる。他の入力装置は、デジタルカメラ、マイクロフォン、ジョイスティック、ゲームパッド、サテライトディッシュ、スキャナなどを含むことができる。これらおよび他の入力装置は、システムバス3306に結合されたシリアルポートインターフェースを介して1つまたは複数の処理ユニット3302に接続されることが多いが、パラレルポート、ゲームポート、またはユニバーサルシリアルバス(USB)などの他のインターフェースによって接続されてもよい。モニタ3346または他の種類の表示装置も、ビデオアダプタなどのインターフェースを介してシステムバス3306に接続される。スピーカおよびプリンタ(図示せず)などの他の周辺出力デバイスが含まれてもよい。

10

20

30

40

50

【 0 1 2 4 】

PC 3300は、遠隔コンピュータ3360などの1つまたは複数の遠隔コンピュータへの論理接続を使用してネットワーク環境で動作することができる。いくつかの例では、1つまたは複数のネットワークまたは通信接続3350が含まれる。遠隔コンピュータ3360は、別のPC、サーバ、ルータ、ネットワークPC、またはピアデバイスもしくは他の共通ネットワークノードであってもよく、典型的には、PC 3300に関して上述した要素の多くまたはすべてを含むが、図33にはメモリ記憶装置3362のみが示されている。パーソナルコンピュータ3300および/または遠隔コンピュータ3360は、論理的なローカルエリアネットワーク(local area network: LAN)およびワイドエリアネットワーク(wide area network: WAN)に接続することができる。そのようなネットワーキング環境は、オフィス、企業規模のコンピュータネットワーク、イントラネット、およびインターネットにおいて一般的である。

10

【 0 1 2 5 】

PC 3300は、LANネットワーキング環境で使用される場合、ネットワークインターフェースを介してLANに接続される。WANネットワーキング環境で使用される場合、PC 3300は、典型的には、インターネットなどのWANを介した通信を確立するためのモデムまたは他の手段を含む。ネットワーク化された環境では、パーソナルコンピュータ3300またはその一部に関して示されたプログラムモジュールは、遠隔メモリ記憶装置またはLANもしくはWAN上の他の場所に記憶することができる。図示のネットワーク接続は例示的なものであり、コンピュータ間の通信リンクを確立する他の手段が使用されてもよい。

20

【 0 1 2 6 】

開示された技術の原理が適用され得る多くの可能な実施形態を考慮して、図示された実施形態は好ましい例にすぎず、本開示の範囲を限定するものとして解釈されるべきではないことを認識されたい。

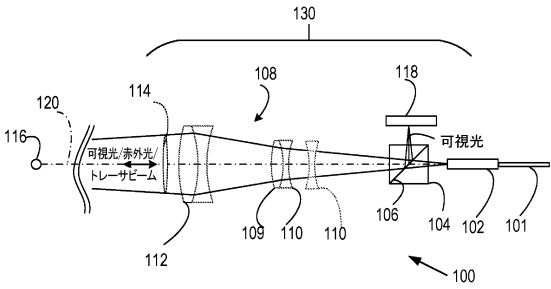
30

40

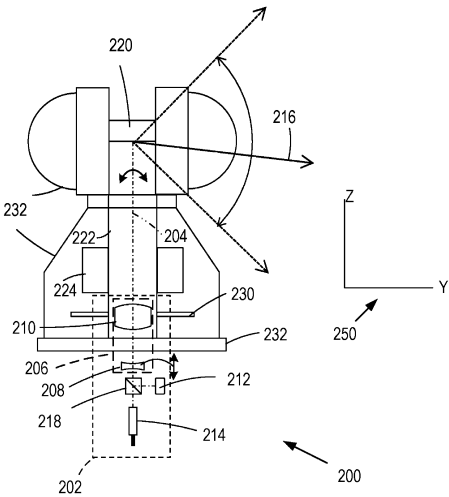
50

【図面】

【図 1】

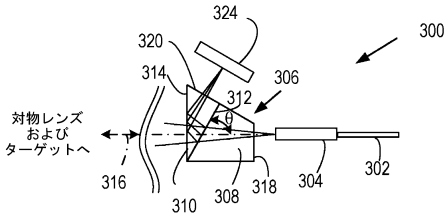


【図 2】

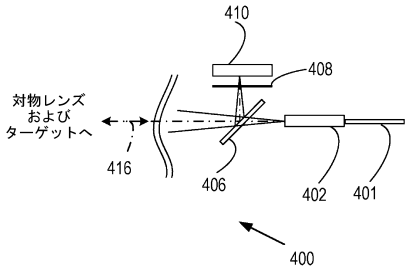


10

【図 3】



【図 4】



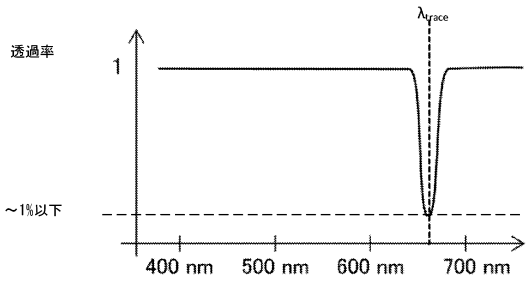
20

30

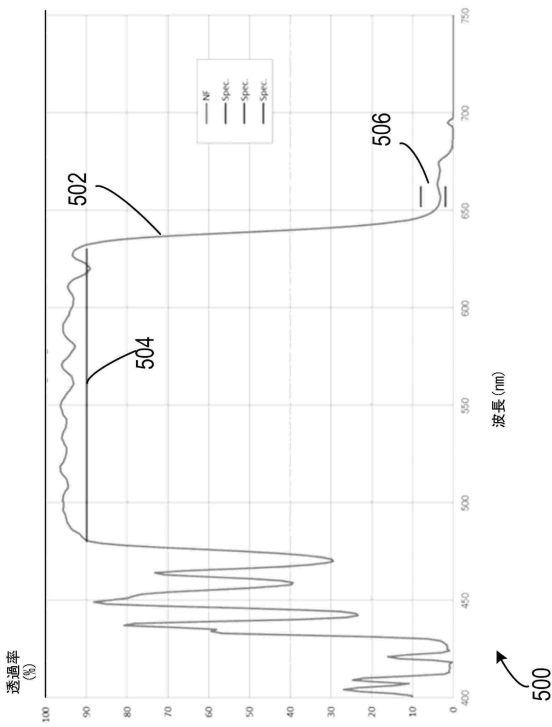
40

50

【図 5 A】



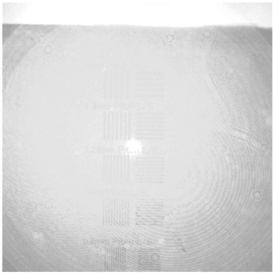
【図 5 B】



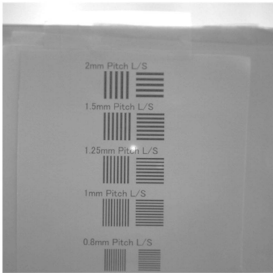
10

20

【図 5 C】



【図 5 D】

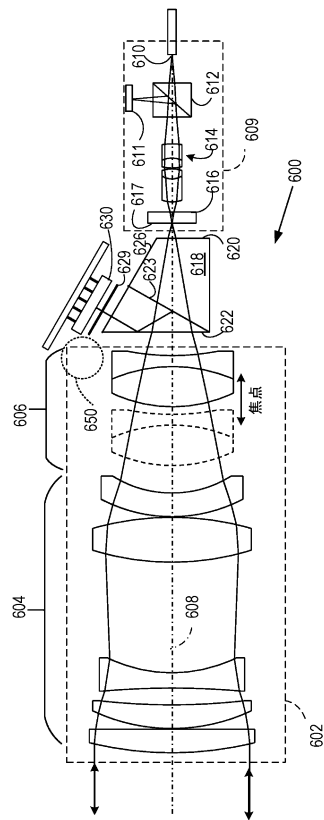


30

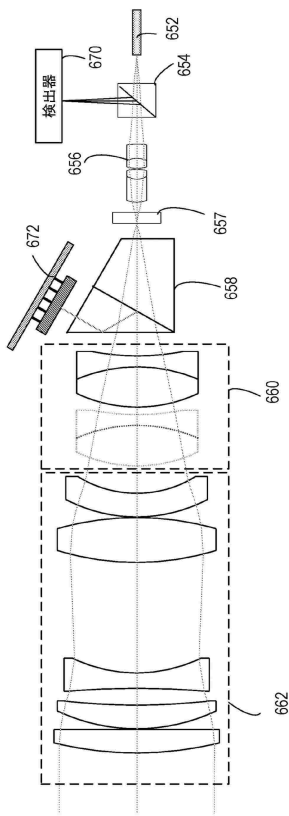
40

50

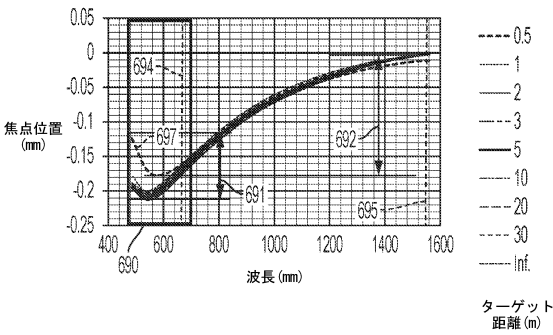
【図 6 A】



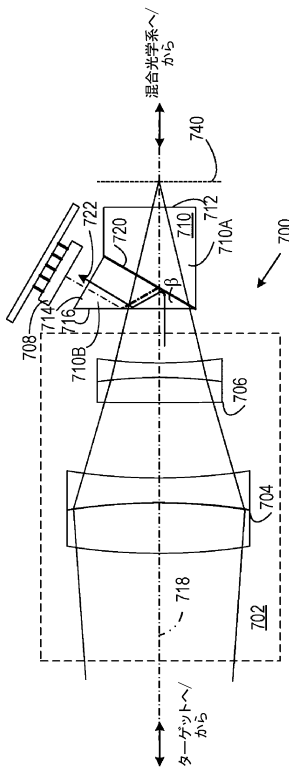
【図 6 B】



【図 6 C】



【図 7 A】



10

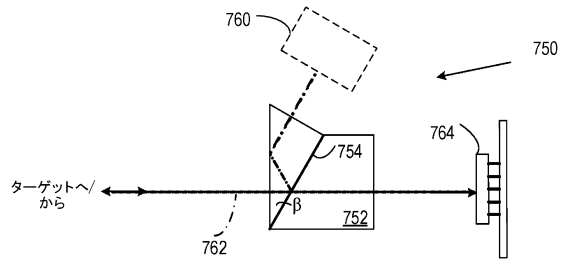
20

30

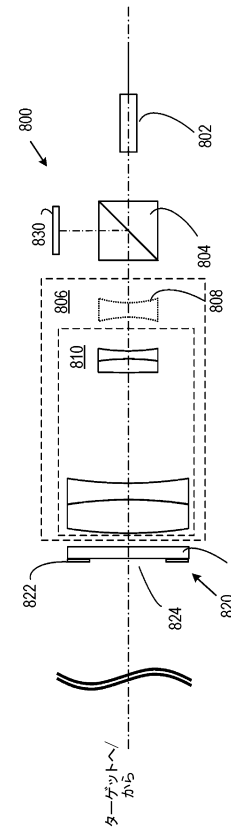
40

50

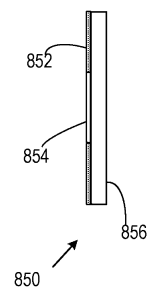
【 図 7 B 】



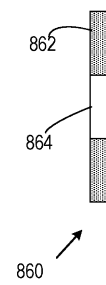
【 図 8 A 】



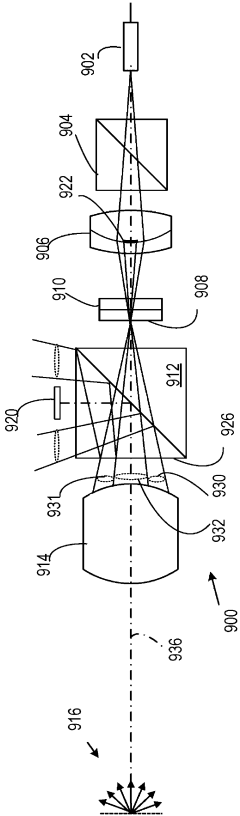
【 図 8 B 】



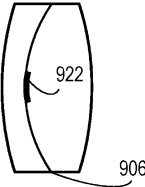
【 図 8 C 】



【図 9 A】



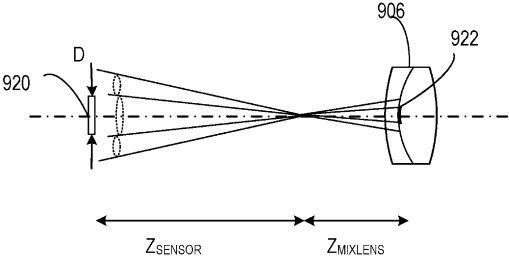
【図 9 B】



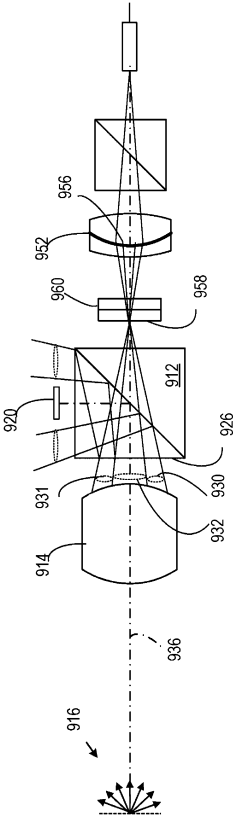
10

20

【図 9 C】



【図 9 D】

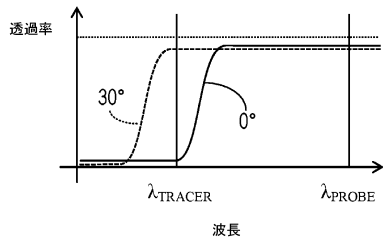


30

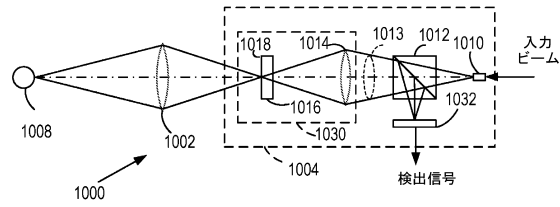
40

50

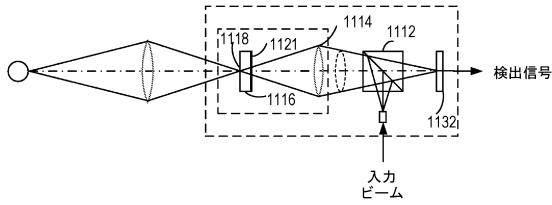
【図 9 E】



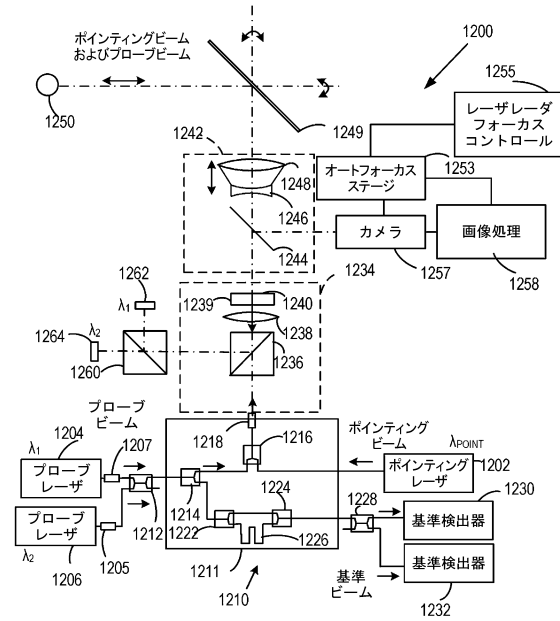
【図 1 0】



【図 1 1】



【図 1 2 A】



10

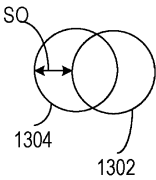
20

30

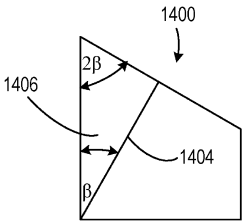
40

50

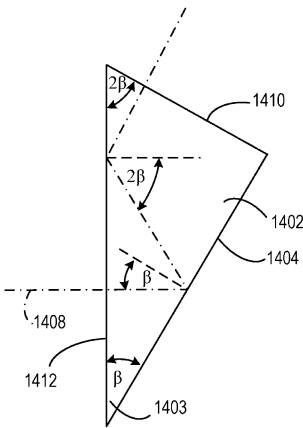
【図 1 3 C】



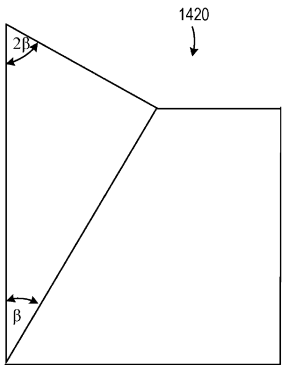
【図 1 4 A】



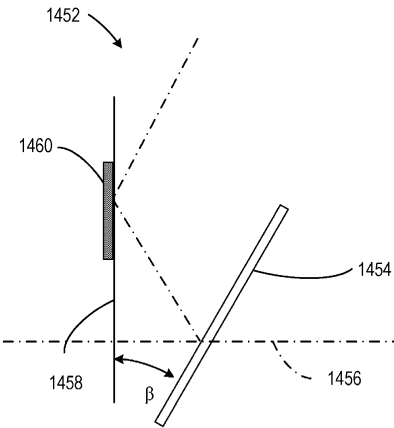
【図 1 4 B】



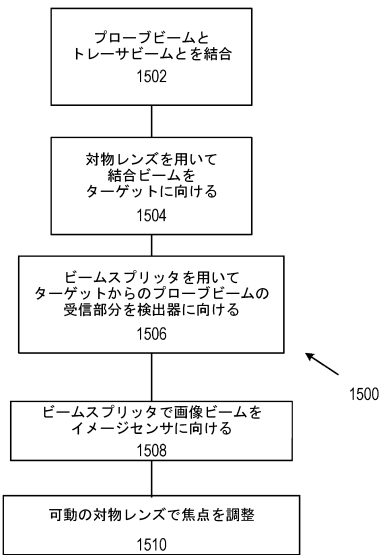
【図 1 4 C】



【図 1 4 D】



【図 1 5 A】



10

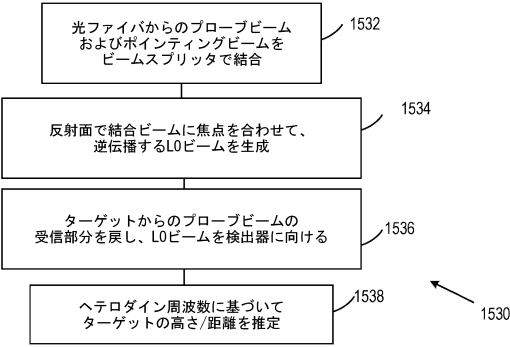
20

30

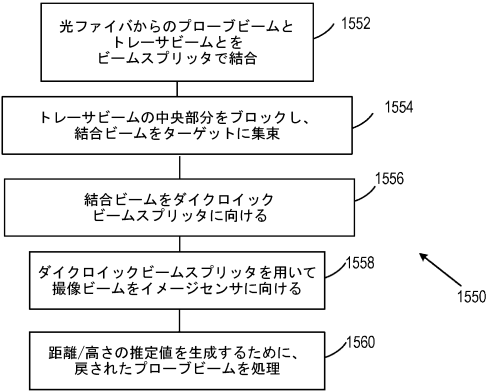
40

50

【図 1 5 B】

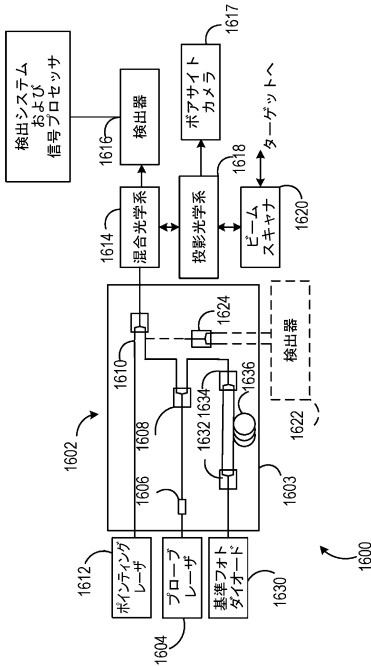


【図 1 5 C】

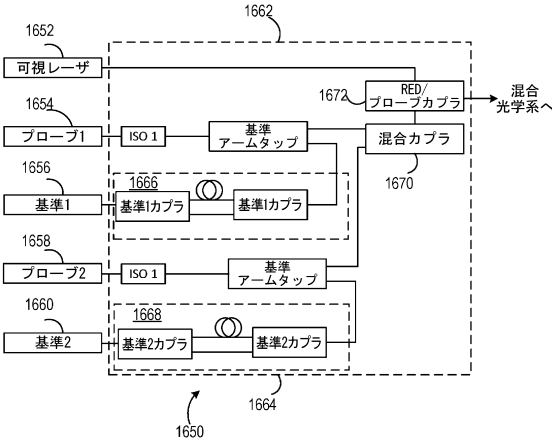


10

【図 1 6 A】



【図 1 6 B】



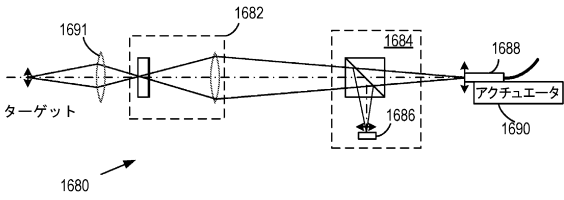
20

30

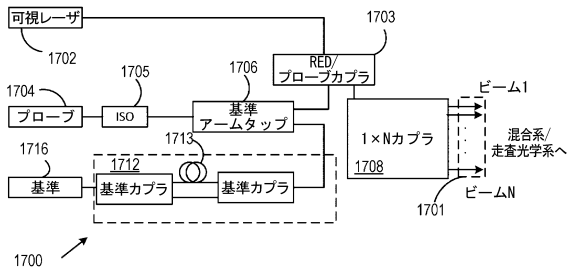
40

50

【図 16 C】

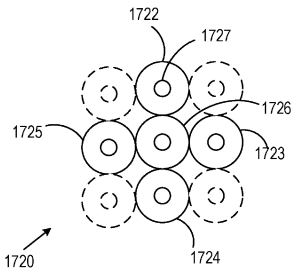


【図 17 A】

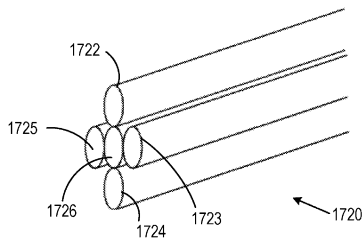


10

【図 17 B】



【図 17 C】



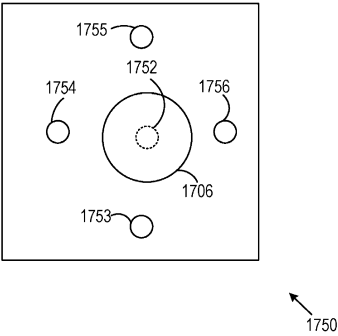
20

30

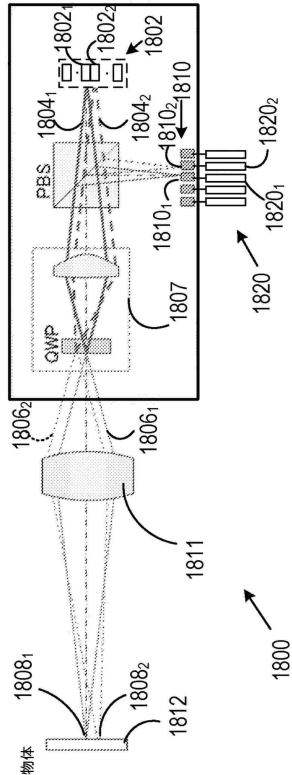
40

50

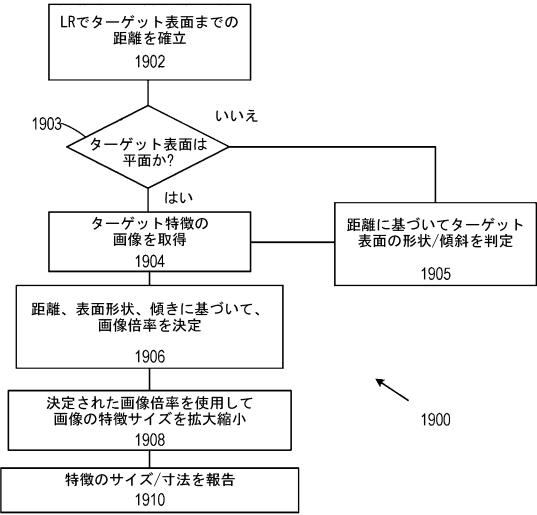
【図 17D】



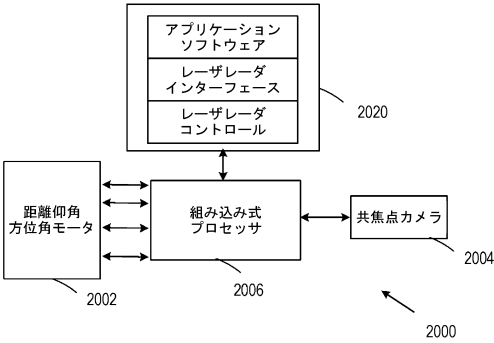
【図 18】



【図 19】



【図 20】



10

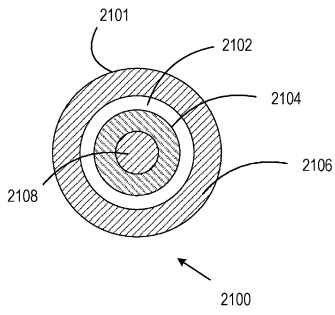
20

30

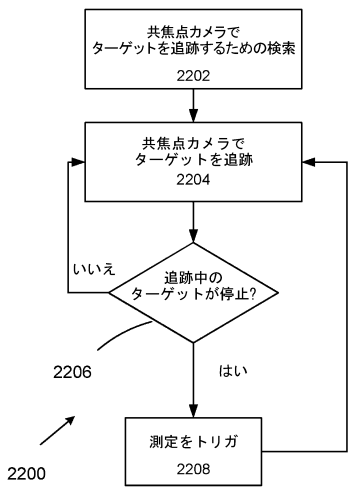
40

50

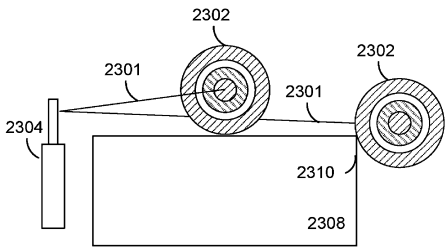
【図 2 1】



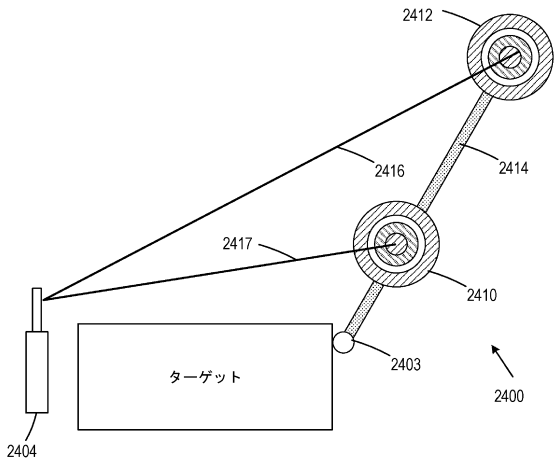
【図 2 2】



【図 2 3】



【図 2 4】



10

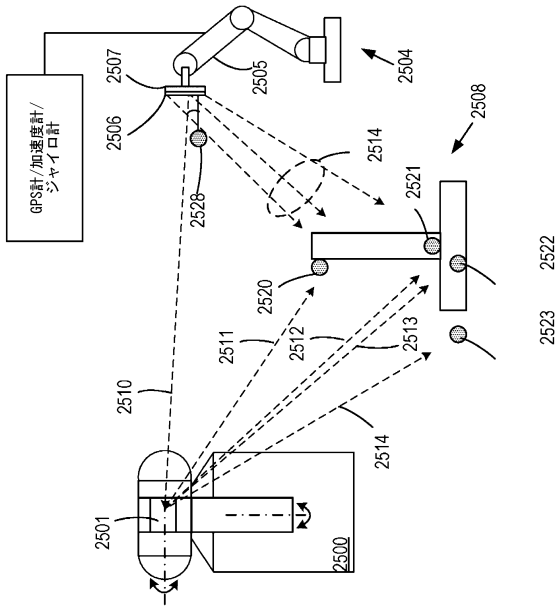
20

30

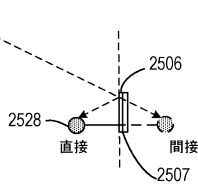
40

50

【図 25 A】

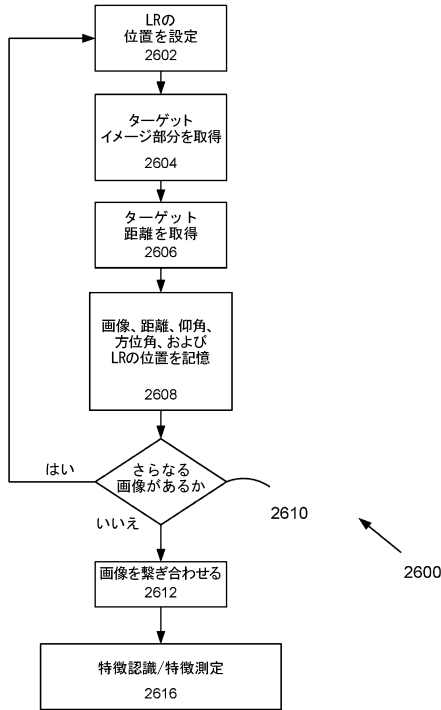


【図 25 B】

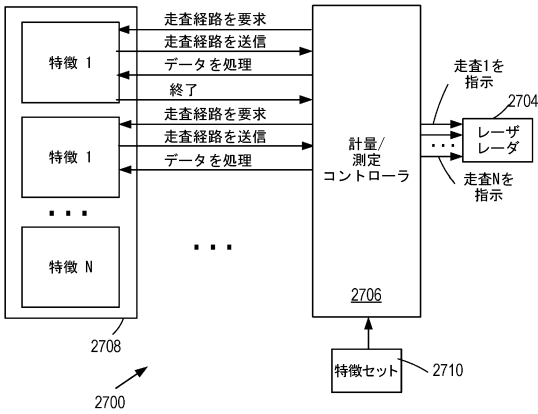


10

【図 26】



【図 27】



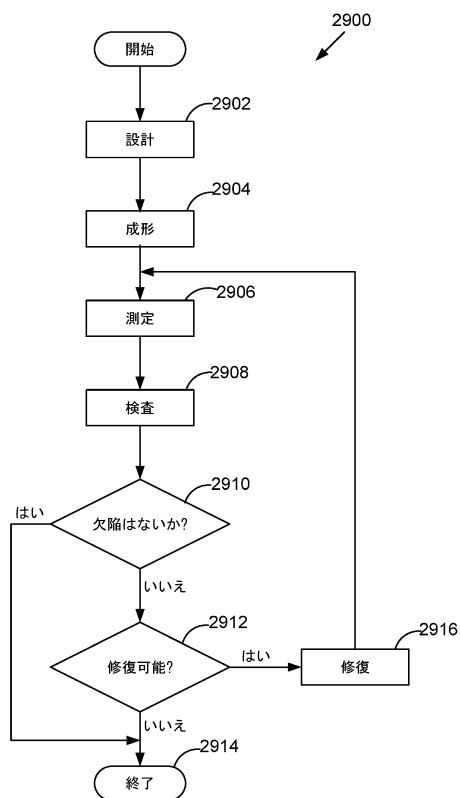
20

30

40

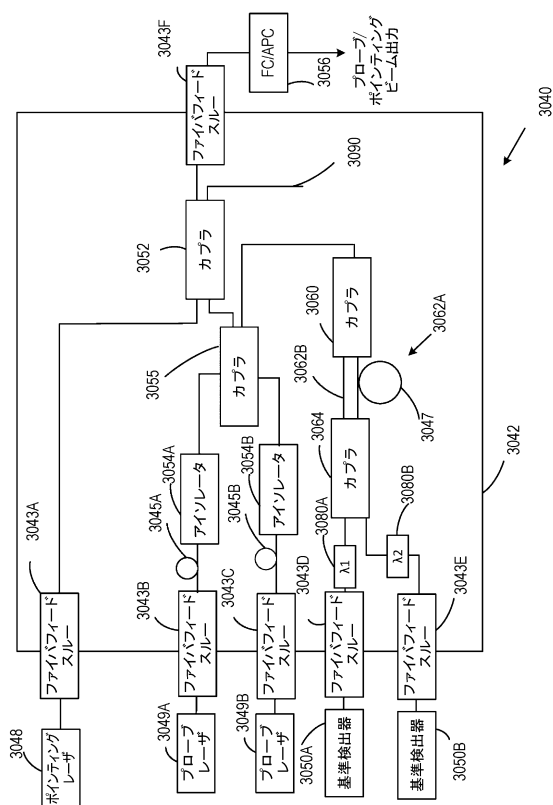
50

【圖 29】



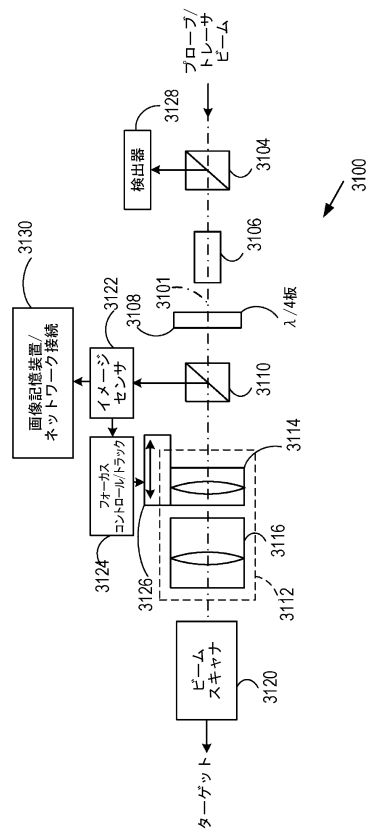
20

【図 30 B】

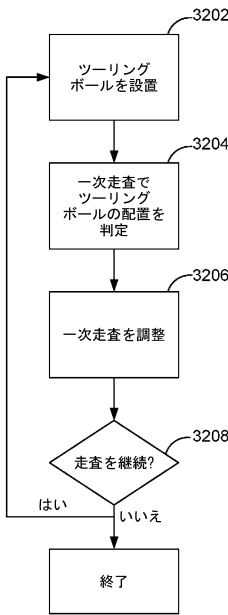


40

【図 3 1】



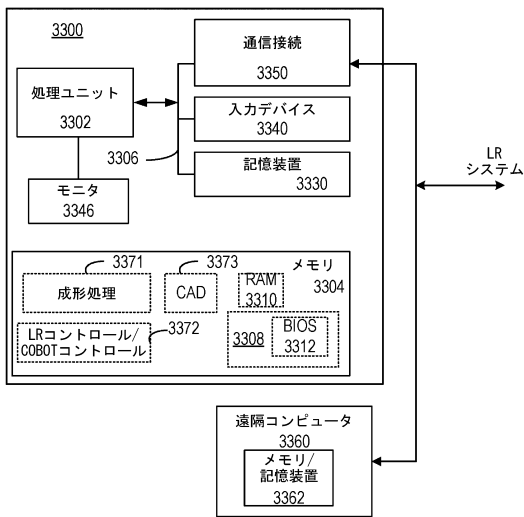
【図 3 2】



10

20

【図 3 3】



30

40

50

フロントページの続き

- ア・ネリースフォード・１８８・サドルバック・ノール
(72)発明者 チャムシン・ガッサン
アメリカ合衆国・２０１６９・バージニア・ヘイマーケット・６４６９・アシュビー・グループ・
ループ
(72)発明者 ヘッジ・トム
アメリカ合衆国・２０１６９・バージニア・ヘイマーケット・５８０２・クランスウィック・コー
ト
(72)発明者 ライトウラー・ポール
イギリス・Ｂ３６・０ＥＬ・バーミンガム・ウェスト・ミッドランズ・キャッスル・ブロムウィッ
チ・１１７・マールボロ・ロード
(72)発明者 スミス・ダニエル・ジーン
アメリカ合衆国・８５７１８・アリゾナ・タクソン・１２４０Ｅ・カレ・マリポーサ
(72)発明者 日高 康弘
東京都港区港南二丁目１５番３号 株式会社ニコ内
(72)発明者 荒井 正範
東京都港区港南二丁目１５番３号 株式会社ニコ内
審査官 梶田 真也
(56)参考文献 特開２０１９－１０９２１９（ＪＰ，Ａ）
特開２０１７－２２３５４０（ＪＰ，Ａ）
特開平０８－１９３８３２（ＪＰ，Ａ）
米国特許第０４８２４２５１（ＵＳ，Ａ）
米国特許出願公開第２０１４／００６３４９１（ＵＳ，Ａ１）
米国特許出願公開第２０１４／０２４６５３６（ＵＳ，Ａ１）
国際公開第２０１７／１５１４６７（ＷＯ，Ａ１）
(58)調査した分野 (Int.Cl.，ＤＢ名)
Ｇ０１Ｂ １１／００－１１／３０
Ｇ０１Ｃ ３／００－３／３２
１５／００－１５／１４
Ｇ０１Ｓ ７／４８－７／５１
１７／００－１７／９５